

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**

**ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ СЕМЕНА КУЗНЕЦА**

**Методические рекомендации  
к выполнению практических заданий  
по учебной дисциплине  
"ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ".  
Модуль 3 "Производственные процессы  
технологических систем"  
для иностранных студентов направлений подготовки  
6.030507 "Маркетинг" и 6.030601 "Менеджмент"  
всех форм обучения**

**Харьков. Изд. ХНЭУ им. С. Кузнецца, 2014**

Утверждено на заседании кафедры техники и технологии.  
Протокол № 9 от 22.05.2013 г.

**Составитель** Стрельчук Р. М.

М54            Методические рекомендации к выполнению практических заданий по учебной дисциплине "Основы технологических систем". Модуль 3 "Производственные процессы технологических систем" для иностранных студентов направлений подготовки 6.030507 "Маркетинг" и 6.030601 "Менеджмент" всех форм обучения / сост. Р. М. Стрельчук. – Х. : Изд. ХНЭУ им. С. Кузнеца, 2014. – 60 с. (Рус. яз.)

Рассмотрены основные вопросы учебной дисциплины, представлены практические работы, а также методические рекомендации к их выполнению с целью более детального ознакомления студентов с технологическими системами.

Рекомендовано для студентов экономических направлений подготовки.

## Введение

Практическое освоение материала учебной дисциплины "Основы технологических систем" предусматривает формирование комплексных представлений о роли технологических процессов и систем в экономике государства, понимания их влияния на глубинные процессы перестройки страны и нахождения реальных путей их воплощения.

Для этого с целью приобретения навыков деловой предпринимательской деятельности на конкретных примерах, приводимых в практических работах, с позиций системного подхода закрепляются как базовые основополагающие инженерные знания, необходимые для понимания наиболее важных особенностей функционирования современных предприятий в сфере производства.

Выдавая студенту практическое задание, преподаватель указывает время, которое отводится на выполнение работы. Для углубления знаний приведены основная и дополнительная литература, ресурсы сети интернет.

Оформление работы выполняется на листах формата А4. Структура отчета работы включает в себя: тему, цель работы, краткое пояснение работы, анализ действующих технологий производства, выводы.

Полностью выполненная и оформленная работа передается преподавателю на проверку. Ответив на вопросы по практической работе и выставив оценку, преподаватель возвращает ее студенту. Работа, которая хранится у него до конца семестра. Зачтенные работы снабжаются титульным листом. Отчет заданий, содержащий все работы, выполненные студентом, представляется преподавателю в конце семестра во время сдачи зачета и в дальнейшем хранится на кафедре.

# Практическая работа № 1

## Производство цветных металлов

### Методические рекомендации

**Цель работы** – ознакомиться с технологией производства цветных сплавов на примере получения меди.

Около 70 элементов таблицы Менделеева составляют цветные металлы, без которых невозможно развитие отраслей промышленности. Цветные металлы широко различаются как по свойствам, так и по способам получения. Так, галлий и цезий имеют температуры плавления 29,8 и 28,5°C соответственно, то есть их можно расплавить в руке, а вольфрам плавится при температуре 3400 °С. Литий, имея плотность 0,53 г/см<sup>3</sup>, не тонет ни в бензине, ни в керосине, а плотность тантала составляет 26,6 г/см<sup>3</sup>. Для производства цветных металлов применяются пирометаллургия, гидрометаллургия, электролиз, как водных растворов, так и расплавленных солей.

Все цветные металлы делят на 5 групп:

1. Тяжёлые цветные металлы – это металлы, плотность которых превышает 7 г/см<sup>3</sup>. Типичные представители: медь (8,94 г/см<sup>3</sup>), никель (8,92 г/см<sup>3</sup>), свинец (11,34 г/см<sup>3</sup>), цинк (7,14 г/см<sup>3</sup>), олово (7,3 г/см<sup>3</sup>) и др.

2. Легкие цветные металлы – алюминий (2,7 г/см<sup>3</sup>), магний (1,74 г/см<sup>3</sup>), кальций (1,55 г/см<sup>3</sup>), барий (3,75 г/см<sup>3</sup>), натрий (0,97 г/см<sup>3</sup>), калий (0,86 г/см<sup>3</sup>) и др.

3. Благородные металлы – золото, серебро, платина и металлы платиновой группы.

4. Редкие металлы – это металлы, Кларк которых составляет 10<sup>-10</sup> (кларки элементов – числовые оценки среднего содержания химических элементов в земной коре, гидросфере, атмосфере. Введен Ферсманом А. Е. в честь американского геохимика. Кларка Ф. У.). Типичные представители этой группы металлов: титан, индий, рений, галлий, вольфрам, литий, молибден и др.

5. Полупроводниковые металлы: селен, мышьяк, сурьма, германий и др.

Следует отметить, что приведенное деление условное. Так, например, титан и литий могут быть отнесены к легким металлам, а практически все полупроводниковые металлы – к редким. Производство цвет-

ных металлов следует рассмотреть на примере получения меди, как наиболее распространенного материала. Медь – один из важнейших металлов, относится к I – й группе Периодической системы; порядковый номер 29; атомная масса – 63,546; плотность – 8,92 г/см<sup>3</sup>; температура плавления – 1083°С; температура кипения – 2595°С. По электропроводности она несколько уступает лишь серебру и является главным проводниковым материалом в электро- и радиотехнике, потребляющих 40...50 % всей меди. Почти во всех областях машиностроения используются медные сплавы – латуни и бронзы. Медь как легирующий элемент входит в состав многих алюминиевых и других сплавов. Мировое производство около 6 – 7 млн т, в том числе вторичной меди около 2 млн т. Медь встречается в природе главным образом в виде сернистых соединений CuS (ковеллин), Cu<sub>2</sub>S (халькозин) в составе сульфидных руд (85...95 % запасов), реже в виде окисных соединений Cu<sub>2</sub>O (куприт), углекислых соединений CuCO<sub>3</sub>·Cu(OH)<sub>2</sub> – малахит 2CuCO<sub>3</sub>·Cu(OH)<sub>2</sub> – азурит и самородной металлической меди (очень редко). Окисные и углекислые соединения трудно поддаются обогащению и перерабатываются гидрометаллургическим способом. Наибольшее промышленное значение имеют сульфидные руды, из которых получают около 80 % всей меди. Самыми распространенными сульфидными рудами являются медный колчедан, медный блеск и др. Все медные руды являются бедными и обычно содержат 1...2 %, иногда меньше 1 % меди. Пустая порода, как правило, состоит из песчаников, глины, известняка, сульфидов железа и т. п. Многие руды являются комплексными – полиметаллическими и содержат, кроме меди, никель, цинк, свинец и другие ценные элементы в виде окислов и соединений. Примерно 90 % первичной меди получают пирометаллургическим способом, около 10 % – гидрометаллургическим способом.

**Гидрометаллургический способ** состоит в извлечении меди путем ее выщелачивания (например, слабыми растворами серной кислоты) и последующего выделения металлической меди из раствора. Этот способ, применяемый для переработки бедных окисленных руд, не получил широкого распространения в нашей промышленности.

**Пирометаллургический способ** состоит в получении меди путем ее выплавки из медных руд. Он включает обогащение руды, ее обжиг, плавку на полупродукт – штейн, выплавку из штейна черной меди, ее рафинирование, то есть очистку от примесей (рис. 1).

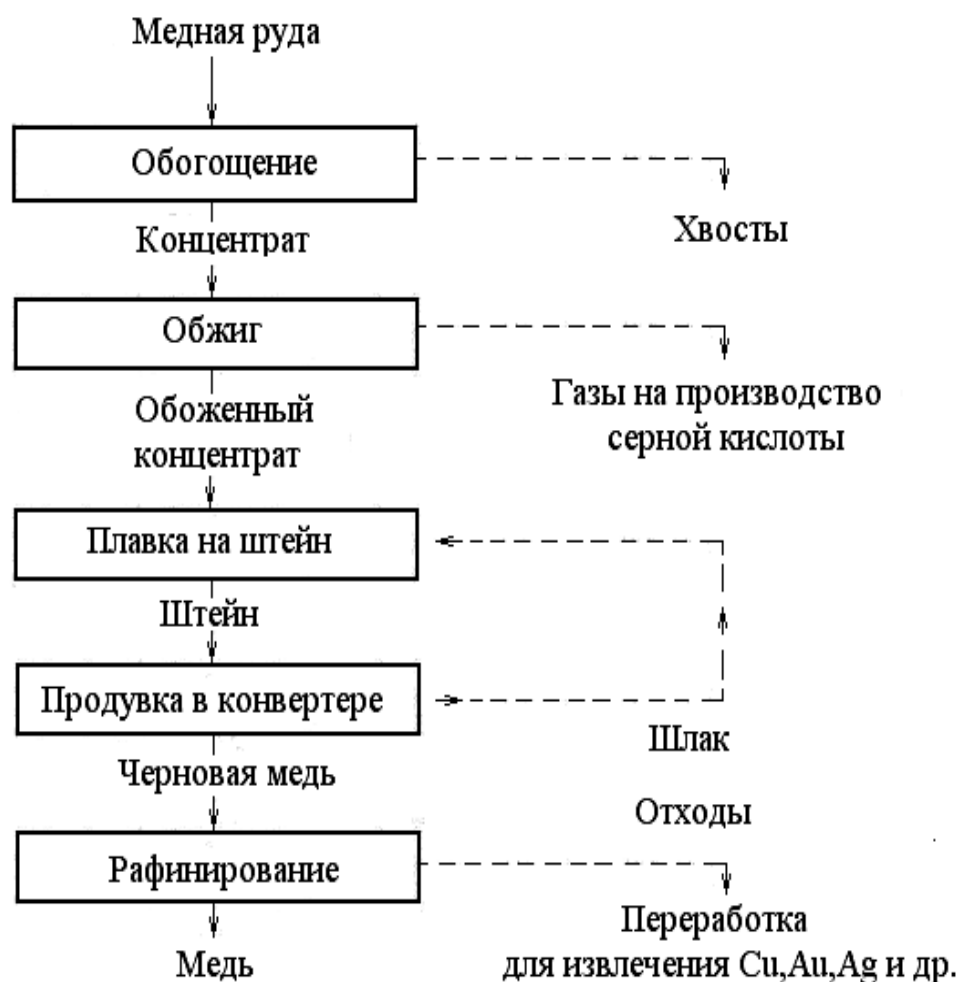


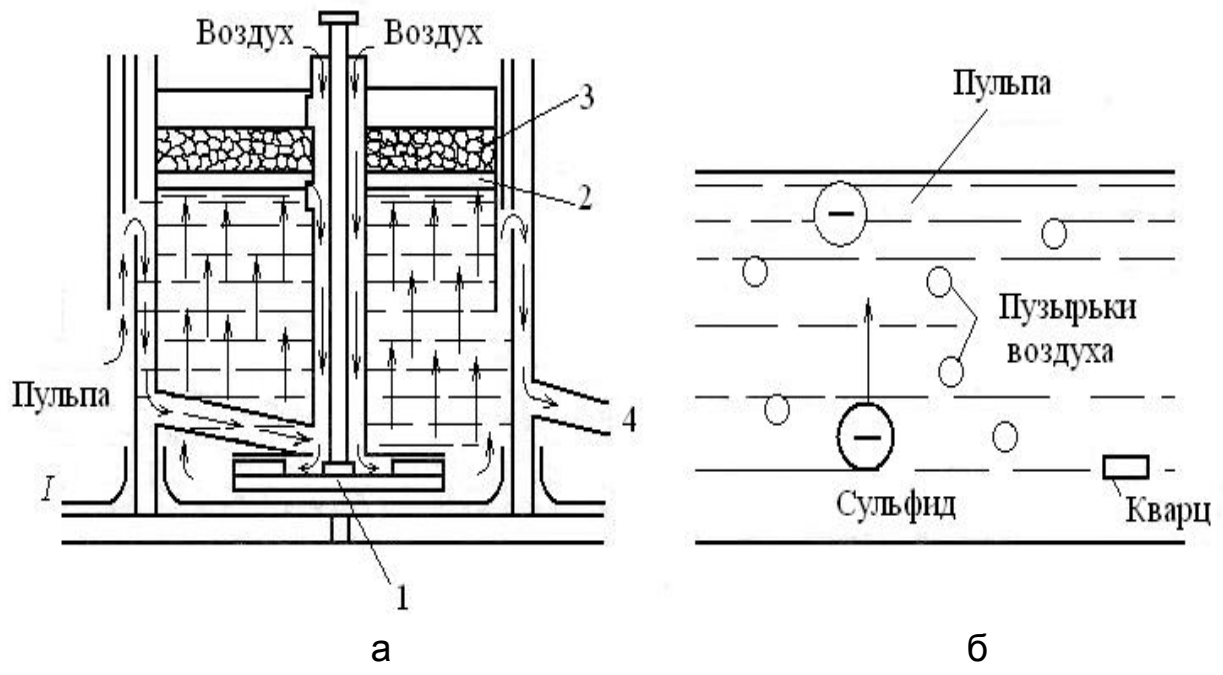
Рис. 1. Упрощенная схема пирометаллургического производства меди

### Обогащение медных руд.

Бедные медные руды подвергают обогащению для получения концентрата, содержащего 10 – 35 % меди. При обогащении комплексных руд возможно извлечение из них и других ценных элементов. Наиболее широко для обогащения медных руд применяется метод флотации. Флотация основана на различном смачивании водой металлсодержащих частиц и частиц пустой породы (рис. 2).

В ванну флотационной машины подают пульпу – суспензию из воды, тонкоизмельченной руды (0,05...0,5 мм) и специальных реагентов, образующих на поверхности металлсодержащих частиц пленки, не смачиваемые водой. В результате энергичного перемешивания и аэрации вокруг этих частиц возникают пузырьки воздуха. Они всплывают, извлекая с собой металлсодержащие частицы, и образуют на поверхности ван-

ны слой пены. Частицы пустой породы, смачиваемые водой, не всплывают и оседают на дно ванны. Из пены фильтруют частицы руды, сушат их и получают рудный концентрат, содержащий 10 – 35 % меди. При переработке комплексных руд применяют селективную флотацию, последовательно выделяя металлсодержащие частицы различных металлов. Для этого подбирают соответствующие флотационные реагенты.



**Рис. 2. Схема флотации: а – принципиальная схема механической флотационной машины (вариант); б – схема всплывания частиц; 1 – мешалка с лопастями; 2 – перегородка; 3 – схема минерализованной пены; 4 – отверстие для удаления хвосты (пустой породы); I – зона перемешивания и аэрации**

**Обжиг.** Рудные концентраты, достаточно богатые медью, плавят на штейн "сырыми" – без предварительного обжига, что снижает потери меди (в шлаке – при плавке, унос – с пылью при обжиге); основной недостаток: при плавке сырых концентратов не утилизируется сернистый газ  $SO_2$ , загрязняющий атмосферу. При обжиге более бедных концентратов удаляется избыток серы в виде  $SO_2$ , который используется для производства серной кислоты. При плавке получают достаточно богатый медью штейн, производительность плавильных печей увеличивается в 1,5 – 2 раза.

Обжиг производят в вертикальных многоподовых цилиндрических печах (диаметр 6,5 – 7,5 м, высота 9 – 11 м), в которых измельченные материалы постепенно перемещаются механическими гребками с верхнего первого пода на второй - ниже расположенный, затем на третий и т. д. Необходимая температура (850 °С) обеспечивается в результате горения серы (CuS, Cu<sub>2</sub>S и др.). Образующийся сернистый газ SO<sub>2</sub> направляется для производства серной кислоты.

Производительность печей невысокая – до 300 т шихты в сутки, безвозвратный унос меди с пылью около 0,5 %.

Новым, прогрессивным способом является обжиг в кипящем слое (рис. 3). Сущность этого способа состоит в том, что мелкоизмельченные частицы сульфидов окисляются при 600...700 °С кислородом воздуха, поступающего через отверстия в подине печи. Под давлением воздуха частицы обжигаемого материала находятся во взвешенном состоянии, совершая непрерывное движение и образуя "кипящий" ("псевдоожиженный") слой. Обожженный материал "переливается" через порог печи. Отходящие сернистые газы очищают от пыли и направляют в сернокислотное производство. При таком обжиге резко повышается интенсивность окисления; производительность в несколько раз больше, чем в многоподовых печах.

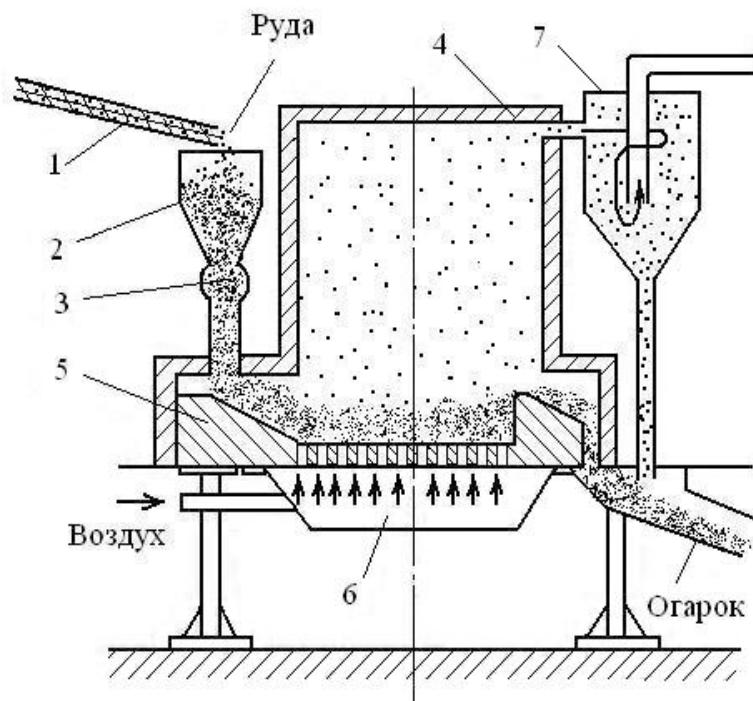


Рис. 3. Схема обжига в кипящем слое:

- 1 – транспортер; 2 – бункер; 3 – дозатор; 4 – камера печи;
- 5 – газораспределительная подина; 6 – воздушная коробка;
- 7 – пылеуловитель



**Плавка на штейн.** Плавку на штейн концентрата наиболее часто проводят в пламенных печах, работающих на пылевидном, жидком или газообразном топливе. Такие печи имеют длину до 40 м, ширину до 10 м, площадь подины до 250 м<sup>2</sup> и вмещают 100 т и более переплавляемых материалов. В рабочем пространстве печей развивается температура 1500 – 1600 °С. При плавке на подине печи постепенно скапливается расплавленный штейн – сплав, состоящий в основном из сульфида меди Cu<sub>2</sub>S и сульфида железа FeS. Он обычно содержит 20 – 60 % Cu, 10 – 60 % Fe и 20 – 25 % S. В расплавленном состоянии ( $t_{пл} - 950...1050$  °С) штейн поступает на переработку в черновую медь.

Плавку концентратов производят также в электропечах, в шахтных печах и другими способами. Технически совершенная плавка в электропечах (ток проходит между электродами в слое шлака) нашла ограниченное применение из-за большого расхода электроэнергии. Медные кусковые руды с повышенным содержанием меди и серы часто подвергают медносерной плавке в вертикальных шахтных печах с воздушным дутьем. Шихта состоит из руды (или брикетов), кокса и других материалов. Выплавляемый бедный штейн с 5 – 8 % Cu обогащают повторной плавкой до 25 % Cu, удаляя избыток железа. Эта плавка экономически выгодна, так как из печных газов улавливают до 90 % элементарной серы руды. Черновую медь выплавляют путем продувки в расплавленного штейна воздухом в горизонтальных цилиндрических конверторах (рис. 4) с основной футеровкой (магнезит) с массой плавки до 100 т. Конвертор установлен на опорных роликах и может поворачиваться в требуемое положение. Воздушное дутье подается через 40 – 50 фурм, расположенных вдоль конвертора.

Через горловину конвертора заливают расплавленный штейн. При этом конвертор поворачивают так, чтобы не были залиты воздушные фурмы. На поверхность штейна через горловину или специальное пневматическое устройство загружают песок – флюс для ошлакования окислов железа, образующихся при продувке. Затем включают воздушное дутье и поворачивают конвертор в рабочее положение, когда фурмы находятся ниже уровня расплава. Плотность штейна (5г/см<sup>3</sup>) значительно меньше удельного веса меди (8,9 г/см<sup>3</sup>). Поэтому в процессе плавки штейн доливают несколько раз: пока не будет использована вся емкость конвертора, рассчитанная на выплавляемую медь. Продувка воздухом продолжается до 30 ч. Процесс выплавки черновой меди из штейна делится на два периода.

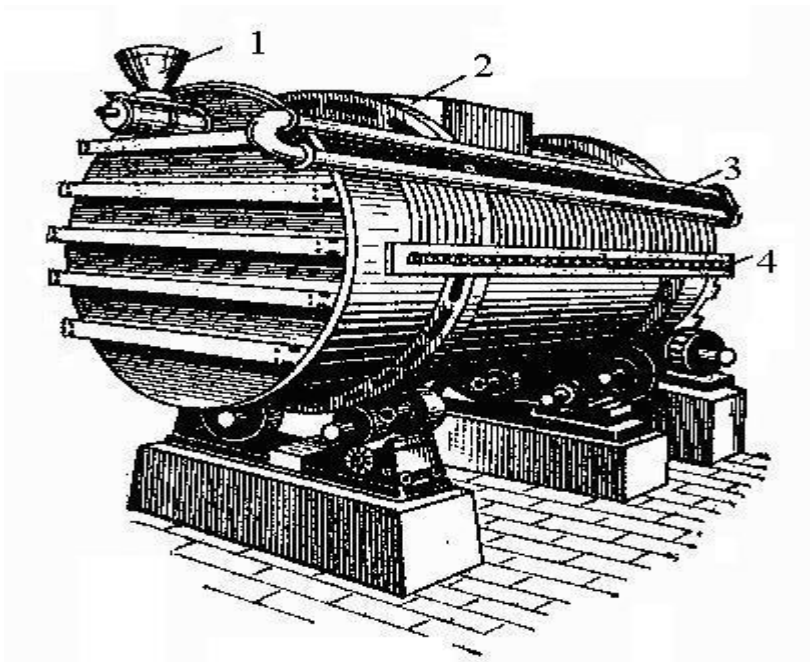
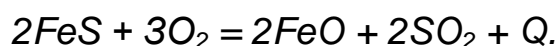


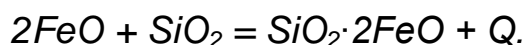
Рис. 4. Конвертор для продувки штейна:

- 1 – приспособление для загрузки флюса во время плавки;  
 2 – горловина конвертора; 3 – воздухопровод для подачи дутья;  
 4 – воздушные фурмы

В первом периоде происходит окисление  $FeS$  кислородом воздушного дутья по реакции:



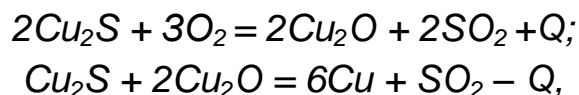
Образующаяся закись железа  $FeO$  ошлаковывается кремнеземом  $SiO_2$  флюса:



По мере необходимости образующийся железистый шлак сливают через горловину (поворачивая конвертор), доливают новые порции штейна, загружают флюс и продолжают продувку. К концу первого периода железо удаляется почти полностью. Штейн состоит в основном из  $Cu_2S$  и содержит до 80 % меди.

Шлак содержит до 3 %  $Cu$  и его используют при плавке на штейн.

Во втором периоде создаются благоприятные условия для протекания реакций:



приводящих к восстановлению меди.

В результате плавки в конверторе получается черновая медь. Она содержит 1,5...2 % примесей (железа, никеля, свинца и др.) и не может быть использована для технических надобностей. Плавку меди выпускают из конвертора через горловину, разливают на разливочных машинах в слитки (штыки) или плиты и направляют на рафинирование.

Рафинирование меди – ее очистку от примесей – проводят огневым и электролитическим способом.

Огневое рафинирование ведут в пламенных печах емкостью до 400 т. Его сущность состоит в том, что цинк, олово и другие примеси легче окисляются, чем сама медь, и могут быть удалены из нее в виде окислов. Процесс рафинирования состоит из двух периодов - окислительного и восстановительного. В окислительном периоде примеси частично окисляются уже при расплавлении меди. После полного расплавления для ускорения окисления медь продувают воздухом, подавая его через погруженные в жидкий металл стальные трубки. Окислы некоторых примесей ( $SbO_2$ ,  $PbO$ ,  $ZnO$  и др.) легко возгоняются и удаляются с печными газами. Другая часть примесей образует окислы, переходящие в шлак ( $FeO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ). Золото и серебро не окисляются и остаются растворенными в меди.

В этот период плавки происходит также и окисление меди по реакции  $4Cu + O_2 = 2Cu_2O$ .

Задачей восстановительного периода является раскисление меди, то есть восстановление  $Cu_2O$ , а также дегазация металла. Для его проведения окислительный шлак полностью удаляют. На поверхность ванны насыпают слой древесного угля, что предохраняет металл от окисления. Затем проводят так называемое дразнение меди. В расплавленный металл погружают сначала сырые, а затем сухие жерди (шесты). В результате сухой перегонки древесины выделяются пары воды и газообразные углеводороды, они энергично перемешивают металл, способствуя удалению растворенных в нем газов (дразнение на плотность).

Газообразные углеводороды раскисляют медь, например, по реакции  $4Cu_2O + CH_4 = 8Cu + CO_2 + 2H_2O$  (дразнение на ковкость). Рафинированная медь содержит 0,3...0,6 %  $Sb$  и других вредных примесей, иногда до 0,1 % ( $Au + Ag$ ).

Готовую медь выпускают из печи и разливают в слитки для прокатки или в анодные пластины для последующего электролитического рафинирования. Чистота меди после огневого рафинирования составляет 99,5 – 99,7 %.

Электролитическое рафинирование обеспечивает получение наиболее чистой, высококачественной меди. Электролиз проводят в ваннах из железобетона и дерева, внутри футерованных листовым свинцом или винипластом. Электролитом служит раствор сернокислой меди ( $\text{CuSO}_4$ ) и серной кислоты, нагретый до 60 – 65 °С, Анодами являются пластины размером 1х1 м толщиной 40 – 50 мм, отлитые из рафинируемой меди. В качестве катодов используют тонкие листы (0,5 – 0,7 мм), изготовленные из электролитической меди. Аноды и катоды располагают в ванне попеременно; в одной ванне помещают до 50 анодов. Электролиз ведут при напряжении 2...3 В и плотности тока 100... 150 А/м<sup>2</sup>.

При пропускании постоянного тока аноды постепенно растворяются, медь переходит в раствор в виде катионов  $\text{Cu}^{2+}$ . На катодах происходит разрядка катионов  $\text{Cu}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cu}$  и выделяется металлическая медь. Анодные пластины растворяются за 20 – 30 суток. Катоды наращивают в течение 10 – 15 суток до массы 70 – 140 кг, а затем извлекают из ванны и заменяют новыми [4].

При электролизе на катоде выделяется и растворяется в меди водород, вызывающий охрупчивание металла. В дальнейшем катодную медь переплавляют в плавильных печах и разливают в слитки для получения листов, проволоки и т. п. При этом удаляется водород. Расход электроэнергии на 1 т катодной меди составляет 200 – 400 кВт/ч. Электролитическая медь имеет чистоту 99,95 %. Часть примесей оседает на дне ванны в виде шлама, из которого извлекают золото, серебро и некоторые другие металлы.

## **Практическая работа № 2**

### **Изучение основных технологических процессов выплавки стали**

#### **Методические рекомендации**

**Цель работы** – ознакомиться с технологическим процессом выплавки стали.

Стали – железоуглеродистые сплавы, содержащие практически до 1,5 % углерода. Кроме углерода, сталь всегда содержит в небольших количествах постоянные примеси: марганец (до 0,8 %), кремний (до 0,4 %), фосфор (до 0,07 %), серу (до 0,06 %), что связано с особенностями тех-

нологии ее выплавки. В технике широко применяют также легированные стали, в состав которых для улучшения качества дополнительно вводят хром, никель и другие элементы. Существует свыше 1 500 марок углеродистых и легированных сталей – конструкционных, инструментальных, нержавеющей и т. д.

### **Современные способы получения стали**

Для массового производства стали в современной металлургии основными исходными материалами являются передельный чугун и стальной скрап (лом). По химическому составу сталь отличается от передельного чугуна меньшим содержанием углерода, марганца, кремния и других элементов. Поэтому выплавка стали – передел чугуна (или же чугуна и скрапа) в сталь – сводится к проведению окислительной плавки для удаления избытка углерода, марганца и других примесей. При выплавке легированных сталей в их состав вводят соответствующие элементы.

### **Сущность процесса получения стали**

Основными исходными материалами для производства стали являются передельный чугун и стальной лом (скрап). Сравнения химических составов передельного чугуна и стали показывает, что содержание углерода и примесей в стали существенно ниже, чем в чугуне (см. табл. 1).

Таблица 1

### **Состав передельного чугуна и низкоуглеродистой стали**

Материал	Состав, %				
	Углерод	Кремний	Марганец	Фосфор	Сера
Передельный чугун	4,0 – 4,4	0,76 – 1,26	До 1,75	0,15– 0,3	0,03– 0,07
Низкоуглеродистая сталь	0,14–0,22	0,12 – 0,3	0,4 – 0,65	0,05	0,055

Таким образом, для передела чугуна в сталь необходимо снизить содержание углерода и примесей. Поэтому сущностью любого металлургического передела чугуна в сталь является снижение содержания углерода и примесей путем их избирательного окисления и перевода

в шлак и газы в процессе плавки. В результате окислительных реакций, осуществляемых на первом этапе передела чугуна в сталь, углерод соединяется с кислородом, образуя CO, который удаляется в атмосферу печи. Кремний, марганец, фосфор, сера образуют окислы или другие соединения, нерастворимые или малорастворимые в металле ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaS}$  и др.), которые в процессе плавки частично удаляются в шлак. Однако, в полной мере окислить примеси не удастся, так как несмотря на их значительно большее сродство к кислороду, чем у железа, по мере снижения содержания примесей в соответствии с законом действующих масс начинает окисляться железо. Окислы железа растворяются в железе, насыщая металл кислородом. Сталь, содержащая кислород, непригодна для обработки давлением –ковки, прокатки, так как в ней образуются трещины при деформации в нагретом состоянии. Для уменьшения содержания кислорода в стали в процессе плавки ее раскисляют, так как вводят в нее элементы с большим сродством к кислороду, чем у железа. Взаимодействуя с кислородом стали, эти элементы образуют нерастворимые окислы, частично всплывающие в шлак. Для раскисления стали используют ферросплавы – ферросилиций, ферромарганец, а также алюминий. Раскисление является завершающим этапом выплавки стали.

Чугун переделывают в сталь в различных по принципу действия металлургических агрегатах. Основными из них являются кислородные конвертеры, мартеновские печи и другие электропечи. В 1974 г. мировое производство стали составило около 700 млн т в год. В нашей стране в 1975 г. около половины всего объема стали выплавлено в мартеновских печах, около трети в кислородных конвертерах и остальное в дуговых электропечах. Соотношение между способами производства стали непрерывно изменяется. Объем производства стали, выплавляемой в высокопроизводительных агрегатах – кислородных конвертерах и крупных электропечах возрастает, а стали, выплавляемой в мартеновских печах, постепенно уменьшается.

### **Производство стали в конвертерах**

Сущность кислородно-конверторного процесса заключается в том, что налитый в плавильный агрегат (конвертор) расплавленный чугун продувают струей кислорода сверху. Углерод, кремний и другие примеси окисляются и тем самым чугун переделывается в сталь. Первые опыты по разработке этого способа осуществил в 1933 – 1934 гг. Мозговой А. И.

В промышленности кислородно-конверторный передел впервые начали применять в 1952 – 1953 гг. на заводах Австрии в Линце и Донавице. Благодаря технико-экономическим преимуществам этот способ получил очень быстрое и широкое распространение и является основным направлением развития в массовом производстве стали. Доля кислородно-конверторной стали, составляла в 1960 г. около 4 %, в 1965 г. – около 25 %, в настоящее время – около 40 % мировой выплавки стали.

### **Кислородно-конвертерный процесс.**

Это выплавка стали из жидкого чугуна в конвертере с основной футеровкой и продувкой кислородом сверху через водоохлаждаемую фурму [20].

**Кислородный конвертер.** Устройство кислородного конвертора показано на рис. 5. Его грушевидный корпус (кожух) 3 сварен из листовой стали толщиной до 110 мм; внутри он футерован основными огнеупорными материалами 4 общей толщиной до 1 000 мм, емкостью 130...350 т жидкого чугуна.

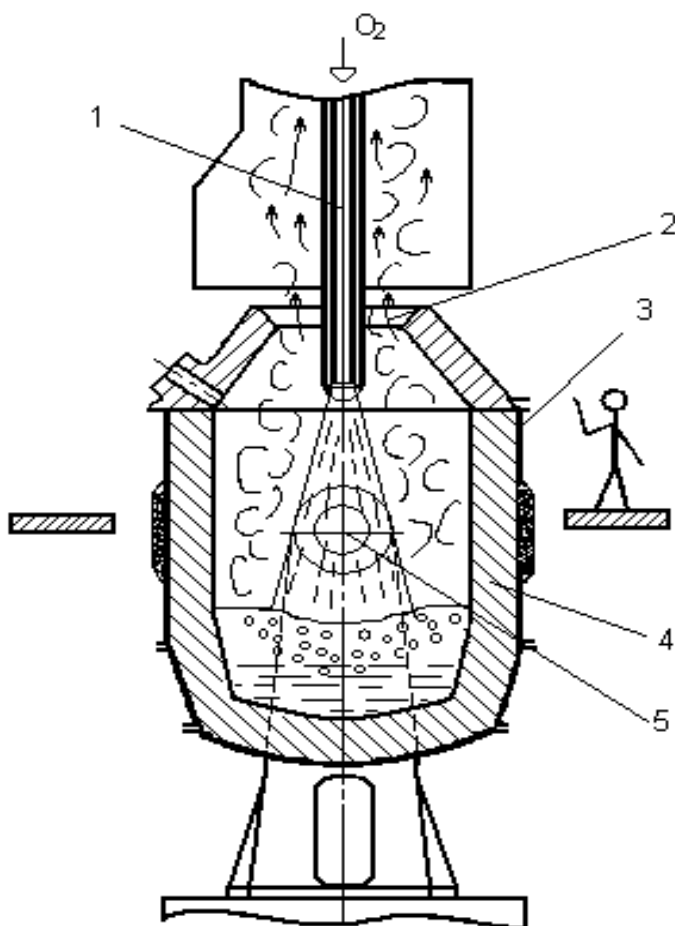
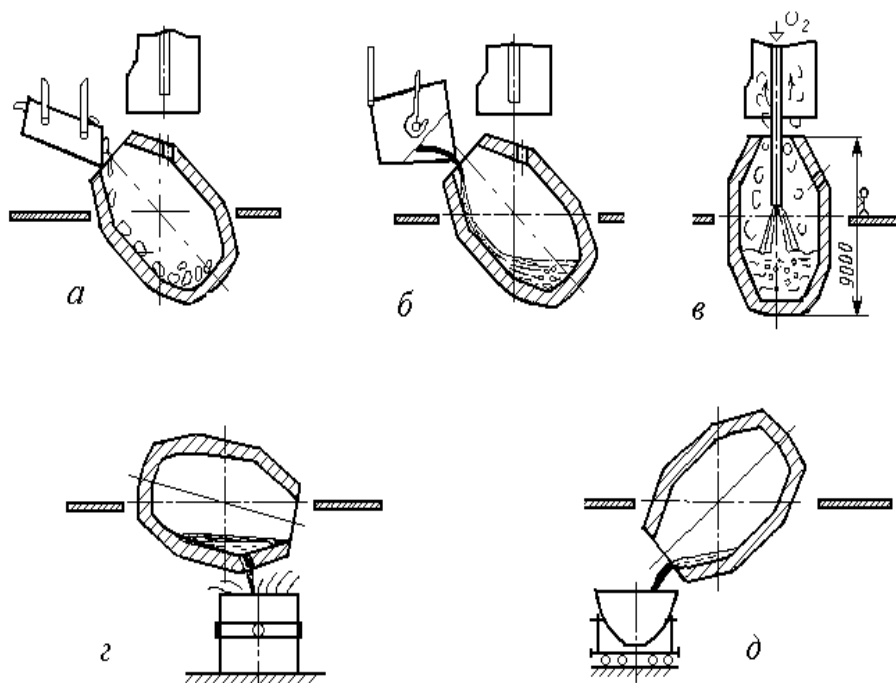


Рис. 5. Схема устройства кислородного конвертера

В процессе работы конвертер можно поворачивать на цапфах 5 вокруг горизонтальной оси на  $360^\circ$  для завалки скрапа, заливки чугуна, слива стали, шлака и т.д. Во время продувки чугуна кислородом конвертер находится в вертикальном положении. Кислород в конвертер (9...14 ат.) подают с помощью водоохлаждаемой фурмы 1, которую вводят в конвертер через его горловину 2. Фурму устанавливают строго вертикально по оси конвертера. Ее поднимают специальным механизмом, сблокированным с механизмом вращения конвертера так, что конвертер нельзя повернуть, пока из него не удалена фурма.

**Шихтовые материалы.** Такими материалами для кислородно-конвертерного процесса являются жидкий передельный чугун, стальной лом, известь, железная руда, боксит, плавиковый шпат. Чугун для переработки в кислородных конвертерах должен содержать 3,7 – 4,4 % С; 0,7 – 1,1 % Мn; 0,4 – 0,8 % Si; 0,03 – 0,08 % S; <0,15 – 0,3 % P. Известь необходима для наводки шлака. Она должна содержать более 90 % CaO и минимальное количество SiO<sub>2</sub> и серы. Боксит и плавиковый шпат применяют для разжижения шлака.

Технология плавки показана на рис. 6. После выпуска очередной плавки конвертер наклоняют и через горловину с помощью завалочных машин загружают скрапом.



**Рис. 6. Последовательность технологических операций при выплавке стали в кислородных конвертерах: а – загрузка скрапа; б – заливка жидкого чугуна; в – продувка кислородом; г - выпуск стали в ковш; д – слив шлака в шлаковую чашу**



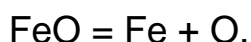
Затем в конвертер заливают чугун при температуре 1250 – 1400°С из чугуновозных ковшей. После этого конвертер поворачивают в вертикальное положение, внутрь его вводят кислородную фурму и подают кислород. Одновременно с началом продувки в конвертер загружают шлакообразующие материалы (известь, боксит, железную руду). Расстояние головки фурмы от уровня металла в конвертере 0,3 – 0,7 м, в зависимости от емкости конвертера. Струи кислорода, поступающие под большим давлением в конвертер, проникают в металл, вызывают его циркуляцию в конвертере и перемешивание со шлаком.

Благодаря интенсивному окислению примесей чугуна при взаимодействии с кислородом в зоне под фурмой температура достигает 2400 °С.

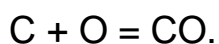
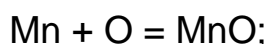
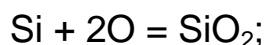
**Окислительный период.** В кислородном конвертере составляющие чугуна окисляются газообразным кислородом закиси железа (FeO), растворяющимся в металле и шлаке при продувке. В зоне контакта кислородной струи с чугуном в первую очередь окисляется железо, так как его концентрация во много раз выше концентрации примесей:



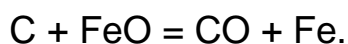
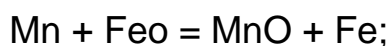
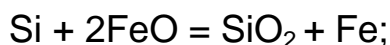
Закись железа растворяется в шлаке и металле, обогащая металл кислородом:



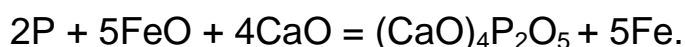
Окисление примесей чугуна кислородом, растворенным в металле, происходит по реакциям:



Часть примесей окисляется на границе металл – шлак окислами железа, содержащимися в шлаке:



В кислородном конвертере благодаря присутствию шлаков с большим содержанием CaO и Fe, интенсивному перемешиванию металла и шлака легко удаляется из металла фосфор:



Образовавшийся фосфат кальция удаляется в шлак. В чугунах перерабатываемых в конвертерах, должно быть не более 0,15 % P. При повышенном (до 0,3 %) содержании фосфора необходимо для более полного его удаления производить промежуточный слив шлака и наводить новый, что снижает производительность конвертера. Удаление серы из металла происходит по реакции  $FeS + CaO = CaS + FeO$ . Вместе с тем высокое содержание в шлаке (до 7...20 %) затрудняет протекание реакции удаления серы из металла. Поэтому для передела в сталь в кислородных конвертерах применяют чугун с ограниченным содержанием серы (до 0,07 %). Подачу кислорода заканчивают в момент, когда содержание углерода в металле соответствует заданному содержанию в стали. Для этого осуществляют автоматический контроль химического состава металла по ходу плавки с использованием ЭВМ. После этого конвертер поворачивают и производят выпуск стали в ковш [10].

**Раскиление стали.** При выпуске стали из конвертера в ковш ее раскисляют вначале ферромарганцем, затем ферросилицием и алюминием. Затем из конвертера сливают шлак. В кислородных конвертерах трудно выплавлять легированные стали, содержащие легкоокисляющие легирующие элементы. Поэтому в кислородных конвертерах выплавляют низколегированные стали, содержащие до 2...3 % легирующих элементов. Легирующие элементы вводят в ковш, предварительно расплавив их в электропечи, или легирующие ферро-сплавы вводят в ковш перед выпуском в него стали. Окисление примесей чугуна в кислородном конвертере протекает очень быстро: плавка в конвертерах емкостью 130...300 т заканчивается через 20 – 25 мин. Поэтому кислородно-конвертерный процесс производительнее плавки стали в мартеновских печах: производительность конвертера емкостью 300 т достигает 400...500 т/ч стали, а мартеновских печей и электропечей не более 80 т/ч. Вследствие этого производство стали в нашей стране в основном увеличивается за счет ввода в строй новых кислородно-конвертерных цехов.

## Практическая работа № 3

# Металлы в промышленном производстве и способы их получения

### Методические рекомендации

**Цель работы** – ознакомиться с различными материалами и способами их получения.

**Конструкционные стали.** Сталь является сложным по составу железо - углеродистым сплавом. Кроме железа и углерода – основных компонентов, а также возможных легирующих элементов, сталь содержит некоторое количество постоянных и случайных примесей, влияющих на ее свойства. Углерод, концентрация которого в конструкционных сталях достигает 0,8 %, оказывает определяющее влияние на их свойства. Степень его влияния зависит от структурного состояния стали, ее термической обработки. После отжига или в горячекатаном состоянии без термической обработки углеродистые конструкционные стали имеют ферритно-перлитную структуру, состоящую из двух фаз – феррита и цементита. Количество цементита, который имеет высокую твердость и хрупкость, увеличивается пропорционально концентрации углерода. В связи с этим, по мере повышения содержания углерода, повышается прочность и твердость, но снижаются пластичность и вязкость стали (рис. 7).

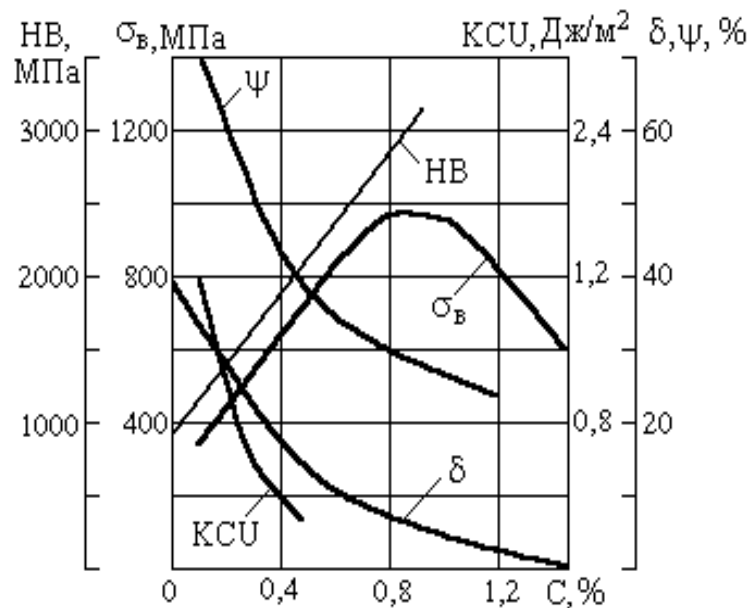


Рис. 7. Влияние углерода на механические свойства горячекатаных сталей

Кроме снижения ударной вязкости углерод заметно повышает верхний порог хладноломкости, расширяя температурный интервал перехода стали в хрупкое состояние (рис. 8). Каждая 0,1 % С повышает верхнюю границу этого перехода примерно на 20 °С. При 0,4 % С порог хладноломкости равен 0 °С. При большей концентрации углерода температура хрупкости достигает 20°С; сталь становится менее надежной в работе. Влияние углерода еще более значительно после закалки стали [4].

Например,  $\sigma_B$  достигает максимума при 0,4 % С. При большей концентрации углерода  $\sigma_B$  становится нестабильным из-за хрупкого разрушения стали. Углерод изменяет и технологические свойства стали. При увеличении его содержания снижается способность сталей деформироваться в горячем и, особенно в холодном состоянии, затрудняется свариваемость. Постоянными примесями в стали являются марганец, кремний, сера, фосфор и такие газы, как кислород, азот, водород.

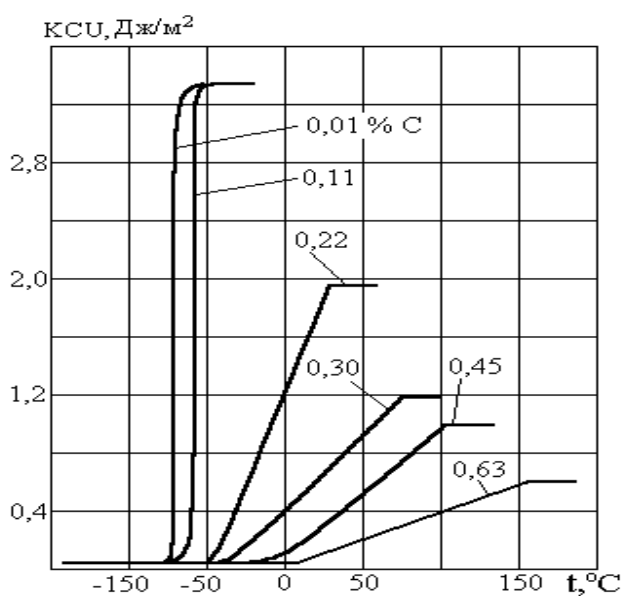


Рис. 8. Влияние углерода на хладноломкость стали

Марганец – полезная примесь вводится в сталь для раскисления и остается в ней в количестве 0,3...0,8 %. Марганец уменьшает вредное влияние кислорода и серы. Кремний – полезная примесь, вводится в сталь в качестве активного раскислителя и остается в ней в количестве до 0,4 %, оказывая упрочняющее действие.

Сера – вредная примесь, вызывающая красноломкость стали – хрупкость при горячей обработке давлением. В стали она находится в виде сульфидов FeS, которые образуют с железом эвтектику с низкой темпе-

ратурой плавления (988 °С) и располагаются по границам зерен. При горячей деформации границы зерен оплавляются, и сталь хрупко разрушается.

Введение марганца устраняет красноломкость за счет связывания серы в сульфиды MnS, которые при этом снижают пластичность и вязкость стали.

Положительное влияние серы проявляется лишь в улучшении обрабатываемости резанием.

Фосфор – вредная примесь. Он растворяется в феррите, упрочняет его, но вызывает хладноломкость – снижение вязкости по мере понижения температуры. Каждая 0,01 % P повышает порог хладноломкости на 25 °С.

Кислород, азот и водород – вредные примеси. Их влияние наиболее сильно проявляется в снижении пластичности и повышении склонности стали к хрупкому разрушению.

По концентрации углерода стали подразделяют на низкоуглеродистые (< 0,3 % С), среднеуглеродистые (0,3...0,7 % С) и высокоуглеродистые (> 0,7 % С).

По качеству стали классифицируют на: стали обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особо высококачественные. Качество стали определяется содержанием вредных примесей. Стали обыкновенного качества содержат до 0,055 % S и 0,045 % P, качественные – не более 0,04 % S и 0,035 % P, высококачественные – не более 0,025 % S и 0,025 % P, особо высококачественные – не более 0,015 % S и 0,025 % P.

**По степени раскисления и характеру затвердевания** стали классифицируют на спокойные, полуспокойные и кипящие.

Раскисление – процесс удаления из жидкого металла кислорода, проводимый для предотвращения хрупкого разрушения стали при горячей деформации.

Спокойные стали раскисляют марганцем, кремнием и алюминием. Они содержат мало кислорода и затвердевают спокойно без газовыделения. Кипящие стали раскисляют только марганцем. Перед разливкой в них содержится повышенное количество кислорода, который при затвердевании, частично взаимодействуя с углеродом, удаляется в виде пузырей CO. Кипящие стали дешевы, их производят низкоуглеродистыми и практически без кремния ( $Si \leq 0,07 \%$ ), но с повышенным количеством

газообразных примесей. Полуспокойные стали по степени раскисления занимают промежуточное положение между спокойными и кипящими.

Углеродистые конструкционные стали выпускают обыкновенного качества и качественные.

Стали обыкновенного качества (ГОСТ 380) выпускают в виде проката и поковок. В зависимости от гарантируемых свойств их поставляют трех групп А, Б, В. Их маркируют сочетанием букв "Ст" и цифрой от 0 до 6, показывающей номер марки.

Стали групп Б и В имеют перед маркой буквы Б и В, указывающие на их принадлежность к этим группам. Группа А в обозначении марки не указывается.

Степень раскисления обозначается добавлением индексов: "сп" – спокойная, "пс" – полуспокойная, "кп" – кипящая. Например, Ст3сп, БСт3пс, ВСт3кп. Спокойными и полуспокойными производят стали Ст1...Ст6, кипящими – Ст1...Ст4 всех трех групп. Сталь Ст0 по степени раскисления не разделяют.

Стали группы А поставляют с гарантированными механическими свойствами, химический состав не указывают. Стали группы Б поставляют с гарантированным химическим составом, механические свойства не гарантируются. Стали группы В поставляют с гарантированными механическими свойствами и химическим составом.

Углеродистые стали обыкновенного качества предназначены для изготовления различных металлоконструкций, а также слабо-нагруженных деталей машин и приборов. Углеродистые качественные стали поставляют в виде проката, поковок и других полуфабрикатов с гарантированным химическим составом и механическими свойствами. Эти стали маркируются двухзначными числами 05, 08, 10, 15, 20, ..., 85, обозначающими среднее содержание углерода по массе в сотых долях процента (ГОСТ 1050). Спокойные стали маркируют без индекса, полуспокойные и кипящие – с индексом. Качественные стали для станков – автоматов маркируют с указанием буквы А впереди: А11, А12, А20. Качественные стали для котлов маркируют с указанием буквы "К" позади: 12К, 15К...и т. д. Низкоуглеродистые стали 05, 08, 10 применяют для холодной штамповки различных изделий. Без термической обработки в горячекатаном состоянии их используют для шайб, прокладок, кожухов и других деталей, изготавливаемых холодной деформацией и сваркой.

Стали 15, 20, 25 – цементируемые, предназначены для деталей небольшого размера, от которых требуется твердая, износостойкая поверхность и вязкая сердцевина (кулачки, шестерни и т. д.), а также горячекатаные и после нормализации для изготовления деталей машин и приборов невысокой прочности (крепежные детали, втулки, штуцеры, трубы, змеевики и т. д.). Среднеуглеродистые стали 30...55 применяют после улучшения для изготовления деталей небольшого размера, работоспособность которых определяется сопротивлением усталости (шатунны, коленчатые валы, оси и т. п.). Стали 40 ... 50 после нормализации и поверхностной закалки применяют для изготовления крупных деталей, работающих при невысоких циклических и контактных нагрузках, например, валы, ходовые винты, кулачки распределительных валиков и т. д. Стали с высоким содержанием углерода (60 ... 85), а также с увеличенным содержанием марганца (60Г, 65Г и 70Г) преимущественно применяют в качестве рессорно-пружинных после закалки и среднего отпуска, а также для прокатных валков, шпинделей станков и других крупных деталей после нормализации.

**Чугуны.** При весьма медленном охлаждении и наличии графитизирующих добавок (Si, Ni и другое.) железоуглеродистые сплавы могут кристаллизоваться в соответствии с диаграммой железо – графит.

Диаграмма состояния железо – графит отличается от диаграммы состояния железо – цементит тем, что эвтектика образуется при температуре 1 153 °С и содержит 4,26 % С в виде графита.

Эвтектоидное превращение протекает при температуре 738 °С, причем эвтектоидная точка соответствует 0,7 % С. Эвтектоид состоит из феррита и графита. В интервале температур 1 153 ... 738 °С из аустенита выпадает вторичный графит. При этом состав аустенита изменяется по линии  $E'S'$ . Состав жидкой фазы при кристаллизации первичного графита меняется по линии  $C'D'$ .

Кристаллы первичного графита и графита эвтектики имеют сложную форму в виде лепестков, выходящих из одного центра. Вторичный графит и графит эвтектоида, как правило, выделяется на лепестках первичного и эвтектического графита.

В плоскости шлифа графит имеет вид прямолинейных или искривленных пластинок, которые представляют собой различные сечения графитных лепестков (рис. 9а).

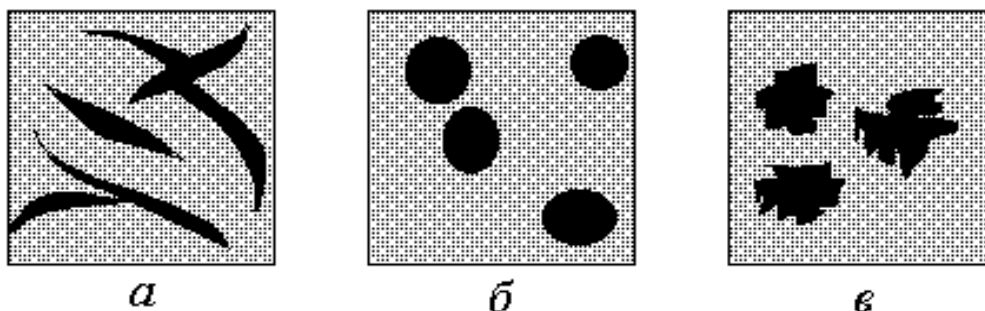


Рис. 9. Схема микроструктуры чугунов:  
**а – серый чугун; б – высокопрочный чугун; в – ковкий чугун**

Графит придает сплавам железо – углерод серый цвет, поэтому чугун, образованный согласно диаграмме состояния железо – графит называют серым. Из-за большого количества цементита белые чугуны тверды ( $HB = 4\ 500 \dots 5\ 500$  МПа), хрупки и для изготовления деталей машин не применяются. Ограниченное применение имеют отбеленные чугуны – отливки из серого чугуна со слоем белого чугуна в виде твердой корки на поверхности. Из них изготавливают прокатные валки, листы, плуги, тормозные колодки, шары для мельниц и другие детали, работающие на износ.

В промышленности широко применяют литейные серые, высокопрочные и ковкие чугуны, в которых весь углерод или часть его (половинчатый чугун) находится в виде графита.

Графит обеспечивает пониженную твердость, хорошую обрабатываемость резанием, а также высокие антифрикционные свойства вследствие низкого коэффициента трения. Вместе с тем включения графита снижают прочность и пластичность, так как нарушают сплошность металлической основы сплава.

По химическому составу серые чугуны разделяют на обычные и легированные. Обычные серые чугуны содержат основные элементы Fe-C-Si и постоянные примеси Mn, P и S. Содержание углерода 2,2...3,7 %, кремния – 1...3 %, марганца – 0,2...1,1 %, фосфора – 0,02...0,3 %, серы – 0,02...0,15 %. В зависимости от состава и скорости охлаждения отливки структура металлической основы серого чугуна может быть различной.

Различают три вида серых чугунов:

Перлитный серый чугун, имеющий в структуре перлит и графит, количество связанного углерода составляет ~ 0,8 %.

Ферритно-перлитный серый чугун, имеющий ферритно-перлитную основу, количество связанного углерода менее 0,8 %.



Ферритный серый чугун, имеющий ферритную основу, весь углерод находится в виде графита.

Прочность, твердость и износостойкость растут с увеличением количества перлита.

Марка серого чугуна состоит из букв СЧ (серый чугун) и цифры, показывающей значение временного сопротивления при растяжении в кгс/мм<sup>2</sup>. Например, чугун СЧ25 имеет ферритно-перлитную основу и  $\sigma_B = 25 \text{ кгс/мм}^2 \approx 250 \text{ МПа}$ .

Ферритные серые чугуны (СЧ10, СЧ15, СЧ18) предназначены для слабо- и средненагруженных деталей: крышки, фланцы, маховики, корпуса редукторов, подшипников, насосов, суппорты, тормозные барабаны, диски сцепления и пр.

Ферритно-перлитные серые чугуны (СЧ20, СЧ21, СЧ25) применяют для деталей, работающих при повышенных статических и динамических нагрузках: блоки цилиндров, картеры двигателя, поршни цилиндров, барабаны сцепления, станины различных станков, зубчатые колеса и другие отливки.

Перлитные серые модифицированные чугуны (СЧ30, СЧ35, СЧ40, СЧ45) используют для деталей, работающих при высоких нагрузках или в тяжелых условиях износа: зубчатые колеса, гильзы блоков цилиндров, шпиндели, распределительные валы и др.

Для деталей, работающих при повышенных температурах, применяют легированные серые чугуны: жаростойкие, содержащие дополнительно Cr и Al, и жаростойкие, содержащие дополнительно Cr, Ni и Mo.

Для снятия литейных напряжений и стабилизации размеров чугунные отливки отжигают при 500...600 °С в течение 2...10 ч с последующим охлаждением с печью.

Высокопрочными называют чугуны, в которых графит имеет шаровидную форму (рис. 9б). Их получают модифицированием магнием, который вводят в жидкий чугун в количестве 0,02...0,08 %. Ввиду того, что модифицирование чугунов чистым магнием сопровождается сильным пироэффектом, чистый магний заменяют лигатурами (например, сплавом магния и никеля).

Чугун после модифицирования имеет следующий химический состав: 3,0...3,6 % С; 1,1...2,9 % Si; 0,3...0,7 % Mn; до 0,02 % S и до 0,1 % P. По структуре металлической основы высокопрочный чугун может быть ферритным (до 20 % перлита) или перлитным (до 20 % феррита).

Шаровидный графит – менее сильный концентратор напряжений, чем пластинчатый графит, и поэтому меньше снижает механические свойства металлической основы. Чугуны с шаровидным графитом обладают более высокой прочностью и некоторой пластичностью. Маркируют высокопрочные чугуны по пределу прочности в кгс/мм<sup>2</sup> и относительному удлинению в процентах (%), например, ВЧ50-7, ВЧ120-2.

Высокопрочные чугуны применяют в различных отраслях техники, эффективно заменяя сталь во многих изделиях и конструкциях. Из них изготавливают оборудование прокатных станков, кузнечно-прессовое оборудование, в турбостроении, дизеле-, тракторо- и автомобилестроении – коленчатые валы, поршни и многие другие ответственные детали, работающие при высоких циклических нагрузках и в условиях изнашивания.

Ковкими называют чугуны, в которых графит имеет хлопьевидную форму (рис. 9в). Их получают отжигом белых доэвтектических чугунов. Такой графит, в отличие от пластинчатого, меньше снижает механические свойства металлической основы, вследствие чего ковкий чугун по сравнению с серым обладает высокой прочностью и пластичностью.

Отливки из белого чугуна, подвергаемые отжигу на ковкий чугун, изготавливают тонкостенными (не более 50 мм), иначе в сердцевине при кристаллизации выделяется пластинчатый графит, чугун становится непригодным для отжига. По этой же причине исходные белые чугуны имеют пониженное содержание углерода и кремния. Их состав: 2,4...0,9 % С; 1,0...1,6 % Si; 0,2...1,0 % Mn; до 0,2 % S и до 0,18 % P.

По структуре металлической основы, которая определяется режимом отжига, ковкие чугуны бывают ферритными и перлитными. Отжиг на ферритные чугуны проводят в защитной среде по режиму 1 (рис. 10), состоящего из медленного (20...25 ч) нагрева до 950...1000 °С (чуть ниже эвтектической температуры), выдержке при этой температуре 10...15 ч для графитизации эвтектического и избыточного вторичного цементита, медленного охлаждения до 720...740 °С (ниже температуры эвтектоидного превращения) для распада выделяющегося вторичного цементита и выдержке при этой температуре 25...30 ч для графитизации цементита перлита.

Перлитный ковкий чугун получают отжигом в окислительной среде по режиму 2 (рис. 10). В этом случае увеличивают продолжительность первой стадии графитизации, после которой отливки непрерывно охлаждают до 20 °С.

Принцип маркировки ковких чугунов такой же, как и для высокопрочных, например, КЧ37–12. Из ковких чугунов изготавливают детали высокой прочности, работающие в тяжелых условиях износа, способные воспринимать ударные и знакопеременные нагрузки.

Большая плотность отливок ковкого чугуна позволяет изготавливать детали водо- и газопроводных установок; хорошие литейные свойства исходного белого чугуна – отливки сложной формы.

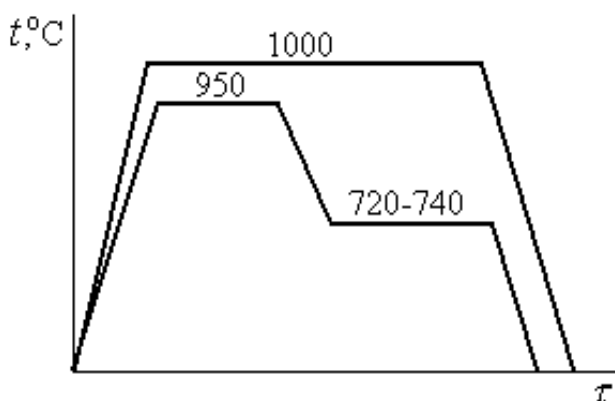


Рис. 10 **Схема отжига белого чугуна на ковкий**

Сравнительно новым конструкционным материалом является чугун с вермикулярным графитом (ЧВГ), обладающий высоким временным сопротивлением (300...400 МПа), относительным удлинением 0,9...3,0 % и сравнительно небольшой твердостью (НВ 130...290). Этот чугун обладает более высокими служебными свойствами по сравнению с серым чугуном. По своим физико-механическим свойствам чугун с вермикулярным графитом близок к высокопрочному чугуну с ферритной металлической основой.

Чугун с вермикулярным графитом обозначают ЧВГ30, ЧВГ35, ЧВГ40, ЧВГ45. Буквы в обозначении показывают принадлежность к чугунам с вермикулярным графитом, цифры – временное сопротивление. В чугуне с вермикулярным графитом графит имеет червеобразную извилистую форму с равномерным его расположением и стабильными размерами графитовых включений по сравнению с серым чугуном. В металлической основе содержится в основном феррит. Для получения чугуна с вермикулярным графитом с оптимальными механическими, эксплуатационными и технологическими свойствами необходим следующий химический состав: 3,3...3,8 % С; 2,4...2,6 % Si; 0,6...0,8 % Mn; 0,015 % S; 0,02...0,06 % P; и 0,10...0,15 % РЗМ (редкоземельные металлы).

Чугун для получения вермикулярного графита плавят в электропечах и режут в вагранках. В качестве шихтовых материалов используют передельный чугун, возврат собственного производства, ферросилиций и лигатуры, содержащие РЗМ. Из чугуна с вермикулярным графитом изготавливают опорные детали головок цилиндров, тормозные рычаги, бандажные кольца шестерен грузовиков, несущие кронштейны, соединительные фланцы, тормозные колодки и др.

## Практическая работа № 4

### Виды заготовок деталей машин и способы их получения

#### Методические рекомендации

**Цель работы** – ознакомиться с различными видами заготовок и способами их получения.

Основное назначение заготовительного производства состоит в обеспечении механических цехов высококачественными заготовками.

В машиностроении используют заготовки, получаемые литьем, обработкой давлением, сваркой, а также из пластмасс и порошковых материалов (табл. 2). Современное заготовительное производство располагает возможностью формировать заготовки самой сложной конфигурации и самых различных размеров и точности. В настоящее время средняя трудоемкость заготовительных работ в машиностроении составляет 40...45 % общей трудоемкости производства машин. Главная тенденция в развитии заготовительного производства состоит в снижении трудоемкости механической обработки при изготовлении деталей машин за счет повышения точности их формы и размеров.

Таблица 2

#### Примерная структура производства заготовок в машиностроении

Вид заготовок	Доля заготовок %	Вид заготовок	Доля заготовок, %
Сварные конструкции	50	Поковки:	
Отливки	39,65	штампованные	8,2
в том числе из:		из слитков	2,1
чугуна	28,28	изделия из металлических порошков	0,05
стали	9,3		
цветных металлов	2,07		

Заготовкой называется предмет труда, из которого изменением формы, размеров, свойств поверхности и (или) материала изготавливают деталь.

Различают три основных вида заготовок: машиностроительные профили, штучные и комбинированные [6]. Машиностроительные профили изготавливают постоянного сечения (например, круглого, шестигранного или трубы) или периодического. В крупносерийном и массовом производстве применяют также специальный прокат. Штучные заготовки получают литьем, ковкой, штамповкой или сваркой. Комбинированные заготовки – это сложные заготовки, получаемые соединением (например, сваркой) отдельных более простых элементов. В этом случае можно снизить массу заготовки, а для более нагруженных элементов использовать наиболее подходящие материалы.

Заготовки характеризуются конфигурацией и размерами, точностью полученных размеров, состоянием поверхности и т.д.

Формы и размеры заготовки в значительной степени определяют технологию как ее изготовления, так и последующей обработки. Точность размеров заготовки является важнейшим фактором, влияющим на стоимость изготовления детали. При этом желательно обеспечить стабильность размеров заготовки во времени и в пределах изготавливаемой партии. Форма и размеры заготовки, а также состояние ее поверхностей (например, отбел чугуновых отливок, слой окалины на поковках) могут существенно влиять на последующую обработку резанием. Поэтому для большинства заготовок необходима предварительная подготовка, заключающаяся в том, что им придается такое состояние или вид, при котором можно производить механическую обработку на металлорежущих станках. Особенно тщательно эта работа выполняется, если дальнейшая обработка осуществляется на автоматических линиях или гибких' автоматизированных комплексах. К операциям предварительной обработки относят: зачистку, правку, обдирку, разрезание, центрование, а иногда и обработку технологических баз.

Основные способы производства заготовок – литье, обработка давлением, сварка. Способ получения той или иной заготовки зависит от служебного назначения детали и требований, предъявляемых к ней, от ее конфигурации и размеров, вида конструкционного материала, типа производства и других факторов.

Литьем получают заготовки практически любых размеров как простой, так и очень сложной конфигурации. При этом отливки могут иметь сложные внутренние полости с криволинейными поверхностями, пересе-

кающимися под различными углами. Точность размеров и качество поверхности зависят от способа литья. Некоторыми специальными способами литья (литье под давлением, по выплавляемым моделям) можно получить заготовки, требующие минимальной механической обработки.

Отливки можно изготавливать практически из всех металлов и сплавов. Механические свойства отливки в значительной степени зависят от условий кристаллизации металла в форме. В некоторых случаях внутри стенок возможно образование дефектов (усадочные рыхлоты, пористость, горячие и холодные трещины), которые обнаруживаются только после черновой механической обработки при снятии литейной корки.

Обработкой металлов давлением получают машиностроительные профили, кованные и штампованные заготовки.

Машиностроительные профили изготавливают прокаткой, прессованием, волочением. Эти методы позволяют получить заготовки, близкие к готовой детали по поперечному сечению (круглый, шестигранный, квадратный прокат; сварные и бесшовные трубы). Прокат выпускают горячекатаный и калиброванный. Профиль, необходимый для изготовления заготовки, можно прокалибровать волочением. При изготовлении деталей из калиброванных профилей возможна обработка без применения лезвийного инструмента [19].

Ковка применяется для изготовления заготовок в единичном производстве. При производстве очень крупных и уникальных заготовок (массой до 200...300 т) ковка – единственный возможный способ обработки давлением. Штамповка позволяет получить заготовки, более близкие по конфигурации к готовой детали (массой до 350...500 кг). Внутренние полости поковок имеют более простую конфигурацию, чем отливок, и располагаются только вдоль направления движения рабочего органа молота (пресса). Точность и качество заготовок, полученных холодной штамповкой, не уступают точности и качеству отливок, полученных специальными методами литья.

Обработкой давлением получают заготовки из достаточно пластичных металлов. Механические свойства таких заготовок всегда выше, чем литых. Обработка давлением создает волокнистую макроструктуру металла, которую нужно учитывать при разработке конструкции и технологии изготовления заготовки. Например, в зубчатом колесе, изготовленном из проката (рис. 11а), направление волокон не способствует повышению прочности зубьев. При изготовлении заготовки штамповкой из полосы (рис. 11б) или осадкой из прутка (рис. 11в) можно получить более благоприятное расположение волокон.

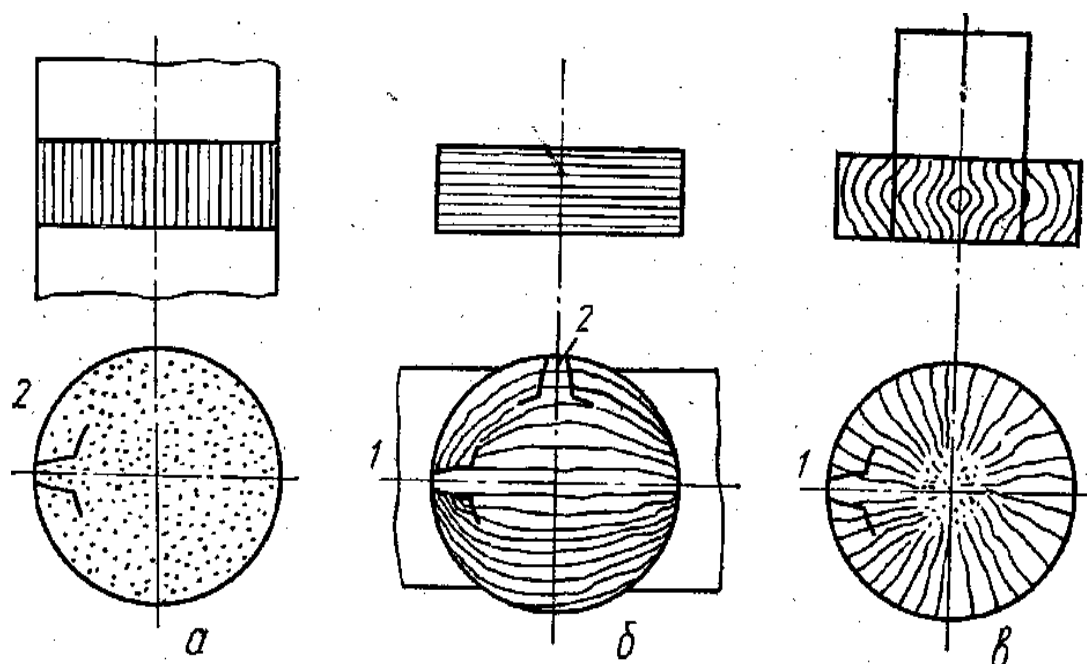


Рис. 11. Макроструктура зубчатых колес, изготовленных:  
 а – из проката; б – штамповкой из полосы; в – осадкой из прутка;  
 1 – благоприятное; 2 – неблагоприятное расположение волокон

Сварные заготовки изготавливают различными способами сварки – от электродуговой до электрошлаковой. В ряде случаев сварка упрощает изготовление заготовки, особенно сложной конфигурации. Слабым местом сварной заготовки является сварной шов или околошовная зона. Как правило, их прочность ниже, чем основного металла. Кроме того, неправильная конструкция заготовки или технология сварки могут привести к дефектам (коробление, пористость, внутренние напряжения), которые трудно исправить механической обработкой.

Комбинированные заготовки сложной конфигурации дают значительный экономический эффект при изготовлении элементов заготовки штамповкой, литьем, прокаткой с последующим соединением их сваркой. Комбинированные заготовки применяют при изготовлении крупных коленчатых валов, станин кузнечно-прессового оборудования, рам строительных машин и т. д. [21].

Перспективно в настоящее время получение заготовок из пластмасс и порошковых материалов. Характерной особенностью таких заготовок является то, что они по форме и размерам могут соответствовать форме и размерам готовых деталей и требуют лишь незначительной, чаще всего отделочной обработки.

Одну и ту же деталь можно изготовить из заготовок, полученных различными способами. Одним из основополагающих принципов выбора заготовки является ориентация на такой способ изготовления, который обеспечит ей максимальное приближение к готовой детали. В этом случае существенно сокращается расход металла, объем механической обработки и производственный цикл изготовления детали. Однако при этом в заготовительном производстве увеличиваются расходы на технологическое оборудование и оснастку, их ремонт и обслуживание. Поэтому при выборе способа получения заготовки следует проводить технико-экономический анализ двух этапов производства – заготовительного и механообрабатывающего.

Разработка технологических процессов изготовления заготовок должна осуществляться на основе технического и экономического принципов. В соответствии с техническим принципом выбранный технологический процесс должен полностью обеспечить выполнение всех требований чертежа и технических условий на заготовку.

В соответствии с экономическим принципом изготовление заготовки должно вестись с минимальными производственными затратами.

Из нескольких возможных вариантов технологического процесса при прочих равных условиях выбирают наиболее экономичный, при равной экономичности – наиболее производительный. Если ставятся специальные задачи, например срочный выпуск какой-нибудь важной продукции, решающими могут оказаться другие факторы (более высокая производительность, минимальное время подготовки производства и др.).

Наиболее сложные по конфигурации заготовки можно изготавливать различными способами литья. Литье в песчаные формы и по выплавляемым моделям позволяют получать заготовки сложной формы с различными полостями и отверстиями. В то же время некоторые способы литья (например, литье под давлением) выдвигают определенные ограничения к форме отливки и условиям ее изготовления.

Заготовки, получаемые штамповкой, должны быть более простыми по форме. Изготовление отверстий и полостей штамповкой в ряде случаев затруднено, а использование напусков резко увеличивает объем последующей механической обработки. Для простых по конфигурации деталей часто заготовкой является прокат – прутки, трубы и т. п.

Хотя в этом случае объем механической обработки возрастает, такая заготовка может быть достаточно экономичной из-за низкой стоимо-



сти проката, почти полного отсутствия подготовительных операций и возможности автоматизации процесса обработки. Для литья иковки размеры заготовки практически не ограничиваются. Нередко ограничивающим параметром в этом случае являются определенные минимальные размеры (например, минимальная толщина стенки отливки, минимальная масса поковки). Штамповка и большинство специальных методов литья ограничивают массу заготовки до нескольких десятков или сотен килограммов. Форма (группа сложности) и размеры (масса) отливок и поковок влияют на их себестоимость. Причем масса заготовки влияет активнее, так как с ней связаны расходы на оборудование, оснастку, нагрев и т. п. Значительное снижение стоимости изготовления литых и штампованных заготовок происходит при увеличении их массы от 2 до 30 кг [18].

Требуемая точность геометрических форм и размеров заготовок существенно влияет на их себестоимость. Чем выше требования к точности отливок, штамповок и других заготовок, тем выше стоимость их изготовления. Это определяется главным образом увеличением стоимости формообразующей оснастки (модели, штампы, пресс-формы), уменьшением допуска на ее износ, применением оборудования с более высокими параметрами точности (и, следовательно, более дорогого), увеличением расходов на его содержание и эксплуатацию. В оптовых ценах на заготовки это удорожание выражается в виде надбавок к базовой цене. Размеры надбавок составляют для отливок 3...6 %, для штамповок 5...15 %.

Качество поверхностного слоя заготовки сказывается на возможности ее последующей обработки и на эксплуатационных свойствах детали (например, усталостная прочность, износостойкость). Оно формируется практически на всех стадиях изготовления заготовки. Технологический процесс определяет не только микрогеометрию поверхности, но и физико-механические свойства поверхностного слоя.

В качестве примера сравним заготовки, полученные литьем в песчаные формы и под давлением. В первом случае получают грубую неточную поверхность. При обработке такой заготовки резанием возникает неравномерная нагрузка на резец, что в свою очередь снижает точность обработки. Особенно ярко это проявляется при обработке внутренних поверхностей.

Во втором случае поверхность заготовки имеет низкую высоту микронеровностей, но в связи с высокой скоростью охлаждения и отсутствием

податливости формы в поверхностном слое металла создаются остаточные напряжения растяжения. Последние могут привести к короблению отливки и трещинам. Иногда остаточные напряжения выявляются не сразу, а при последующей механической обработке. Съём слоя металла с поверхности нарушает равновесие напряжений и приводит к деформации готовой детали. Каждый способ производства заготовок требует от материала определенного комплекса технологических свойств. Поэтому часто материал накладывает ограничения на выбор способа получения заготовки. Так, серый чугун имеет прекрасные литейные свойства, но не куется. Титановые сплавы обладают высокими антикоррозионными свойствами, но получить из них отливки или поковки весьма затруднительно.

Технологические свойства оказывают влияние на себестоимость изготовления заготовок. Например, переход при изготовлении отливки от чугуна к стали повышает себестоимость литья (без учета стоимости материала) на 20...30 %. Применение легированных и высокоуглеродистых сталей при производстве заготовок штамповкой повышает стоимость их изготовления на 5...7 %.

Если заготовки из одного и того же материала получать различными способами, а именно: литье, обработка давлением, сварка, то они будут обладать неидентичными свойствами, так как в процессе изготовления заготовки происходит изменение свойств материала. Так, литой металл характеризуется относительно большим размером зерен, неоднородностью химического состава и механических свойств по сечению отливки, наличием остаточных напряжений и т. д. Металл после обработки давлением имеет мелкозернистую структуру, определенную направленность расположения зерен (волокнистость). После холодной обработки давлением возникает наклеп. Холоднокатаный металл прочнее литого в 1,5...3,0 раза. Пластическая деформация металла приводит к анизотропии свойств: прочность вдоль волокон примерно на 10...15 % выше, чем в поперечном направлении.

Сварка ведет к созданию неоднородных структур в самом сварном шве и в околошовной зоне. Неоднородность зависит от способа и режима сварки. Наиболее резкие отличия в свойствах сварного шва получают при ручной дуговой сварке. Электрошлаковая и автоматическая дуговая сварки дают наиболее качественный и однородный шов.

# Практическая работа № 5

## Изучения основных технологических процессов обработки металлов давлением

### Методические рекомендации

**Цель работы** – ознакомиться с основными видами технологических процессов обработки металлов давлением.

Изучения основных технологических процессов обработки металлов давлением рассмотрим на примере производство сортового проката. Важнейшая роль в прокатном производстве принадлежит сортовым станам, которые предназначены для получения сортового проката: круглой и квадратной стали от 8 до 150 мм, балок и швеллеров высотой от 50 до 200 мм, угловой стали от 20 x 20 до 200 x 200 мм и др. В зависимости от размеров сечений, получаемых сортовых материалов и соответственных диаметров валков эти станы подразделяются на мелко-сортные (диаметр валков 250...300 мм), среднесортные (350...500 мм), крупносортные (500...750 мм).

Сортовые станы по расположению клетей бывают 4 основных типов:

Линейные – станы устаревшей конструкции. Рабочие клетки крупносортных и средне-сортных станов располагающиеся в одну или две линии. Первая линия из обжимной клетки реверсивной дуо или три с диаметром валков 600 – 800 мм. Вторая линия клетей состоит из трех черновых клетей трио и чистой клетки дуо. Рабочие клетки линейных мелко-сортных станов располагаются в две или три линии.

Последовательные – самостоятельный привод каждой клетки позволяет увеличить скорость прокатки в последующих клетях и осуществлять независимую прокатку полосы в каждой клетке.

Полунепрерывные – состоят из нескольких непрерывных групп. На выходе из непрерывной группы раскат обрезается, кантуется и задается в следующую непрерывную группу (среднесортные, мелкосортные станы).

Непрерывные – имеют компактное расположение клетей, что позволяет сократить число транспортирующих механизмов (рольгангов, шлепперов). Возможно, вести высоко автоматизированный скоростной процесс. Сокращается продолжительность цикла прокатки и потери тепла в процессе прокатки, возможно получение тонкостенных профилей (среднесортные, мелкосортные, проволочные).

Нагрев заготовок перед прокаткой на стане осуществляется преимущественно в проходных методических печах различных конструкций и производительности с газовым отоплением. Температура нагрева заготовок перед прокаткой в зависимости от марки стали, колеблется от 1100 до 1260 °С.

Прокатка всех профилей производится по утвержденным схемам калибровок и заданному скоростному режиму прокатки. Развитие сортовых станов идет по пути перехода от линейных и последовательных станов к полунепрерывным и непрерывным станам, обеспечивающих повышение скорости и производительности.

Основными направлениями совершенствования технологии сортопрокатного производства является освоение новых профилей, по своей форме и размерам максимально приближенных к готовым изделиям и обеспечивающих при этом экономию металла и трудозатрат в сфере их производства и потребления. Тенденция совершенствования технологии производства стальной проволоки заключается в увеличении скорости прокатки до 60 – 100 для обычных и 30 – 40 м/с для качественных марок сталей, сужении диапазона допусков. Тенденции развития сортамента прокатных изделий заключаются в уменьшении их геометрических размеров, повышение геометрической точности исполнения, получение законченного (не требующего дополнительной обработки) изделия, улучшении технико-экономических показателей и свойств. Огромное значение будут приобретать специальные профили проката.

ГОСТ 2591-71 предусматривает производство квадратной стали размером от 5 до 200 мм. Чистота поверхности такого проката (при условии предварительного удаления дефектов при зачистки заготовок), а также хорошее качество кромок должны соответствовать заданиям производства. Для этого калибровку выполняют с учетом обеспечения указанных условий. Очень важно прокатывать заготовку таким образом, чтобы полученный готовый профиль имел минимальную массу 1 м длины.

В практике работы отечественных заводов квадратную сталь прокатывают с применением ромбических калибров, число которых определяется размерами готового профиля. Например, для получения квадратной стали больших размеров с хорошими кромками достаточно иметь один ромбический калибр (рис. 12а). Для мелких квадратов, имеющих небольшие обжатия в чистовом проходе, уже недостаточно иметь один ромбический калибр. Для получения и обеспечения хорошего качества

углов применяют два промежуточных ромба (рис. 12б). В целях повышения устойчивости квадрата в ромбическом калибре в практике работы отечественных мелкосортных станов верхний валок предчистового квадрата несколько смещают относительно нижнего в сторону, противоположную направлению прокатки.

В этом случае положение предчистового квадрата в ромбическом калибре становится устойчивым. Более того, даже некоторое незаполнение боковых углов предчистового квадрата не скажется на качестве чистового профиля, так как боковые углы квадрата всегда попадут в углы при вершинах ромбического калибра, а хорошо выполненные углы при вершинах квадрата становятся боковыми углами ромба.

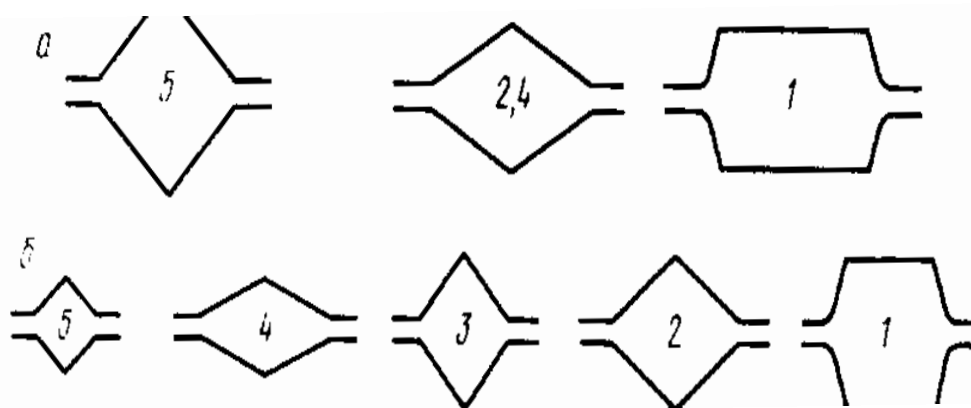


Рис. 12. Прокатка квадратной стали с одним (а) и двумя (б) промежуточными ромбическими калибрами:

1 – черновой квадрат; 2 – черновой ромб; 3 – предчистовой квадрат; 4 – предчистовой ромб; 5 – чистовой квадрат

Таким образом, благодаря некоторому смещению верхнего валка предчистового квадрата достигается нормально выполненный предчистовой ромб, что в свою очередь позволяет получить качественные углы квадратного профиля.

Иногда для прокатки квадратных профилей применяют вытяжную систему овал-квадрат, которая дает возможность работать при очень высоких вытяжках, достигающих в некоторых случаях в овальных калибрах до 2,2, а в квадратных до 1,5. Чистовой квадрат в этом случае получают через один промежуточный ромб.

Построение чистового калибра для круглой стали осуществляют следующим образом (рис. 13).

Определяют расчетный диаметр калибра (для горячего профиля при прокатке на минус)  $d_r = (1,011 - 1,015)d_x - \text{это часть допуска} + 0,01d_x$ ,

где  $0,01d_x$  – увеличение диаметра по указанным выше причинам:  
 $d_x = (d_1 + d_2)/2$  – диаметр круглого профиля в холодном состоянии.

Тогда

$$d_r = (1,011 - 1,015) (d_1 + d_2)/2,$$

где  $d_1$  и  $d_2$  – максимальная и минимальная допустимые значения диаметра.

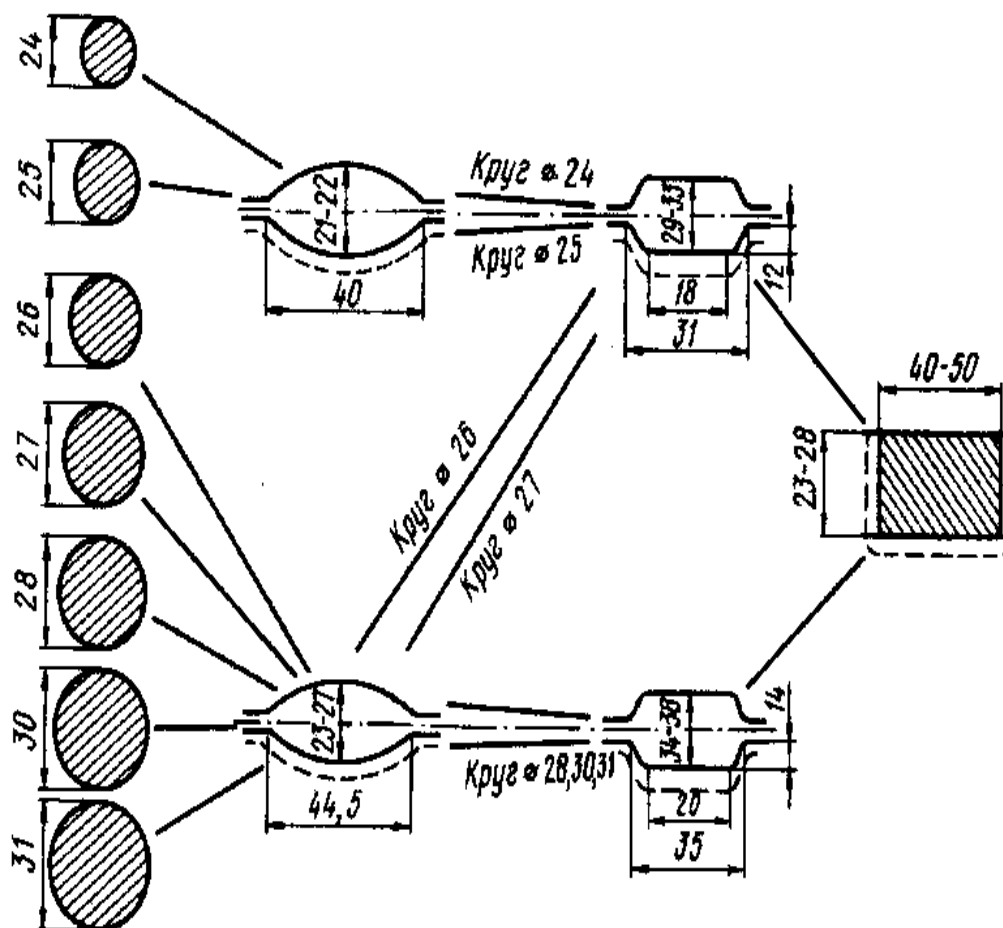


Рис. 13. Пример калибровки круглой стали

Предчистовые калибры для круга конструируют с учетом точности, предъявляемой к готовому профилю. Чем больше форма овала приближается к форме круга, тем точнее получается готовый круглый профиль. Теоретически наиболее подходящей формой профиля для получения правильного круга является эллипс. Однако такой профиль довольно затруднительно удерживать при входе в чистовой круглый калибр, поэтому применяют его сравнительно редко.

Плоские овалы хорошо удерживаются проводками и, кроме того, обеспечивают большие обжатия. При малых обжатиях овала весьма незначительны возможности колебания размеров в круглом калибре. Однако обратное явление справедливо лишь для случая, когда применяют большой овал и большую вытяжку.

Для круглых профилей средних и больших размеров овалы, очерченные одним радиусом, оказываются чересчур вытянутыми по большой оси и вследствие этого не обеспечивают надежного захвата полосы валками. Применение острых овалов помимо того, что не обеспечивает получения точного круга, вредно отражается на стойкости круглого калибра, особенно в выходной клетке стана. Необходимость частых замен валков резко снижает производительность стана, а быстрая выработка калибров приводит к появлению вторых сортов, а иногда и брака.

Изучение причин и механизма выработки калибров показало, что острые кромки овала, которые остывают быстрее, чем остальные части полосы, обладают значительным сопротивлением деформации. Эти кромки, входя в калибр валков чистовой клетки, действуют на дно калибра как абразив. Жесткие кромки в вершинах овала образуют на дне калибра ложбинки, которые приводят к образованию выступов на полосе по всей ее длине. Поэтому для круглых профилей диаметром 50 – 80 мм и выше более точное выполнение профиля достигается применением двух и трех радиусных овалов. Они имеют примерно ту же толщину, что и овал, очерченный одним радиусом, но благодаря применению дополнительных малых радиусов кривизны, ширина овала уменьшается.

Подобные овалы достаточно плоские для удержания их в проводках и обеспечивают надежный захват, а более округленный контур овала, приближающийся по своей форме к форме эллипса, создает благоприятные условия для равномерной деформации по ширине полосы в круглом калибре.

Наиболее распространенным профилем является угловая сталь. Угловую сталь прокатывают на разнообразных станах, линейных, зигзагообразных, шахматных, полунепрерывных, непрерывных. Применение непрерывных станов, а также необходимость сокращения до минимума времени на смену калибров предъявляют все более высокие требования и к калибровке прокатных валков.

В зависимости от особенностей стана применяют различные калибровки угловой стали. Наиболее распространенные схемы приведены на рис. 14. В связи с развитием, непрерывной прокатки все большее значение приобретает освоение калибровок для прокатки угловой стали со свободным уширением. Преимущества прокатки угловой стали в открытых калибрах, по сравнению с другими способами следующие: неглубокий врез в подготовительных калибрах и простота их формы позволяет

увеличивать коэффициенты деформации, что сокращает общее число проходов; универсальность использования калибров для прокатки различных размеров уголка, что сокращает парк валков и время на переделки; отсутствие образования заусенцев и закатов.

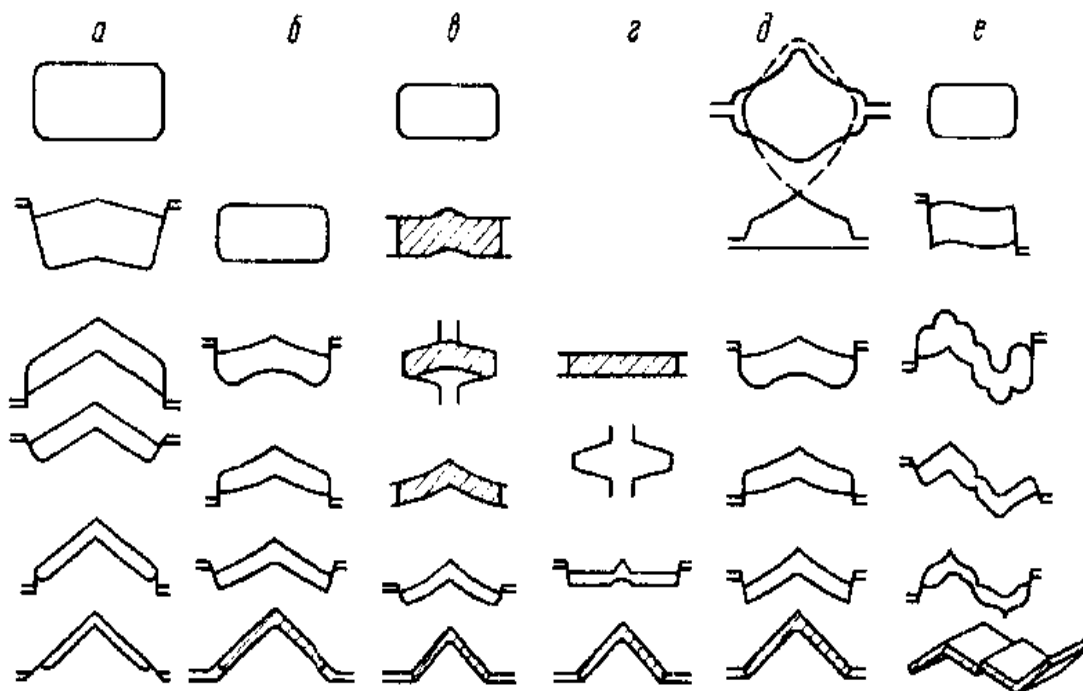


Рис. 14. Схемы калибров для угловой стали:

**а – с прямыми полками в закрытых калибрах; б – с развернутыми полками в закрытых калибрах; в – с применением открытых калибров; г – со сгибанием в чистовом калибре; д – диагональная калибровка; е – с разрезанием зетообразного профиля в чистовом калибре**

Прокатка угловых профилей в калибрах со свободным уширением дает наибольший эффект на станах с последовательным расположением клетей, когда представляется возможным автоматизировать и механизировать весь производственный цикл. Это способствует установлению постоянной температуры прокатки в каждом проходе и обеспечивает постоянство величины уширения. Чтобы облегчить настройку, применяют ребровые калибры, позволяющие точно определить ширину полосы, задаваемой в предчистовой закрытый калибр. Наличие ребрового калибра, помимо всего прочего, делает калибровку со свободным уширением еще более универсальной.

Дальнейшим развитием прокатки угловой стали является калибровка со сгибами прямых полок; развернутых полок, развернутых полок



сдвоенного профиля, подобно зетовому; с последующей разрезкой в чистовом калибре на два угловых профиля. Прокатка угловой стали со сгибом полок является наиболее старым способом, который в настоящее время не применяется по причине наличия существующих недостатков. При прокатке угловой стали со сгибом прямых полок имеет место значительная разница в катающих диаметрах валков, обрабатывающих полки профиля. Имеющаяся разница в окружных скоростях по ширине калибра увеличивает трение между полосой и валками, которое в свою очередь ведет к увеличению расхода энергии при прокатке и повышению износа калибров валков. К тому же глубокий врез калибров ослабляет бочку валков и приводит к необходимости уменьшения коэффициентов высотной деформации при прокатке и увеличении числа проходов.

Прокатка угловой стали со сгибом развернутых полок сдвоенного профиля, подобно зетовому, с последующей разрезкой в чистовом калибре на два угловых профиля хотя и позволяет почти удвоить производительность стана, однако сложность транспортировки двух полос одновременно и возможность образования заусенцев при продольной разрезке сдерживает распространение указанного способа. Этот способ представляет интерес для прокатки зетовых профилей. В связи с этим рациональным способом прокатки угловой и зетовой стали, получившим всеобщее признание и распространение на практике, является способ прокатки со сгибом развернутых полок в последующих калибрах. При таком способе прокатка может осуществляться как в закрытых, так и в открытых калибрах. Однако при любой схеме первому фасонному калибру должен предшествовать калибр, необходимый для контроля ширины полосы.

К общим признакам перечисленных схем калибровки угловой стали относят: построение условного чистового калибра в развернутом виде по одному методу с другими предчистовыми калибрами; методику построения и расчета равнобоковой угловой стали; определение общего и частных коэффициентов высотной деформации аналогично принятому при калибровке полосовой стали; определение размеров калибров по средней линии полок; поправки к величинам расчетного свободного уширения на внеконтактную деформацию (при изгибе профиля); изменение угла в вершине в развернутых калибрах по ходу прокатки; конструктивные размеры радиусов, углов и других параметров при построении калибров.

# Практическая работа № 6

## Полимерные материалы и их свойства

### Методические рекомендации

**Цель работы** – изучить основные виды полимерных материалов и их свойства.

Пластмассы – это материалы на основе полимеров (высокомолекулярных соединений), в состав которых может входить значительное число компонентов как органического, так и минерального происхождения, обеспечивающих реализацию в материале широкого спектра разнообразных свойств.

Пластмассы применяются в основном в виде твердых, жестких материалов, изделия из которых способны выдерживать значительные нагрузки. Температурная область эксплуатации пластмасс охватывает интервал от – 200 °С до +800 – 1000 °С.

Физические свойства полимеров зависят не только от молекулярного веса и формы молекулы, но и от строения молекулярной цепочки. Современная технология синтеза полимеров позволяет контролировать возможность образования различных структур. К основным молекулярным структурам полимеров относятся: линейные, разветвленные, сшитые и сетчатые, а также возможные изомерные конфигурации.

На рис. 15 представлены схематические изображения линейных, разветвленных, сшитых и сетчатых полимеров.

Линейные полимеры – это макромолекулы, в которых повторяющиеся единицы последовательно присоединяются к концам друг друга. Такие длинные макромолекулы представляют собой гибкие цепочки, которые можно сравнить со спагетти (рис. 15а). Между цепочками линейных полимеров может существовать вандерваальсово взаимодействие с образованием водородных связей. Типичными примерами линейных полимеров являются полиэтилен, поливинилхлорид, полистирол, полиметилметакрилат, полибутадиен, нейлон и фторопласты.

Разветвленные (лестничные) полимеры представляют основную цепь макромолекулы с присоединенными боковыми длинными ответвлениями (рис. 15б). Боковые ветви, присоединенные к основной цепи, могут образовываться в ходе химических реакций в процессе синтеза полимера.

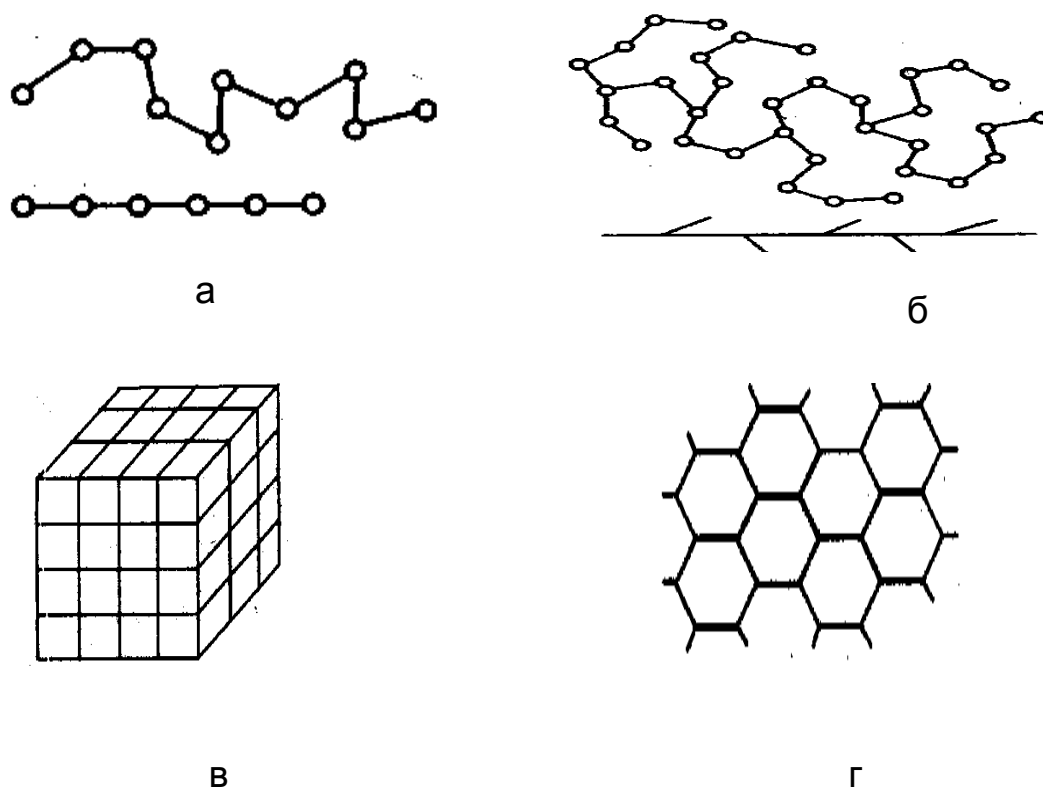


Рис. 15. Схематические изображения полимеров: а – линейные; б – разветвленные; в – сшитые; г – сетчатые

Плотность молекулярной упаковки снижается, что приводит к уменьшению удельного веса материала. В полимерах, которые обычно рассматриваются как линейные, также могут существовать боковые ответвления. Например, полиэтилен высокой плотности (ПЭВП) – это линейный полимер, а макромолекулы полиэтилена низкой плотности (ПЭНП) содержат короткие боковые ответвления.

Разветвленная форма соответствует полиизопрену, полиизобутилену, полиэтилентерефталату.

Сшитые полимеры имеют соседние линейные цепочки, связанные между собой в различных местах ковалентными связями (рис. 15в). Образование поперечных сшивок происходит непосредственно в процессе синтеза, а также путем необратимых химических реакций с другими химическими веществами, например серой. Часто формирование поперечных сшивок осуществляется путем введения посторонних атомов или молекул, ковалентно присоединяемых к основным цепям. В частности резины получают именно вследствие образования поперечных связей между макромолекулярными цепями.

Сшитые формы макромолекул свойственны полиизобутилену, фторопласту, некоторым видам силикона и эпоксидированным полимерам. К полимерным композициям со сшитой трехмерной формой макромолекул относятся эбониты и фенопласты.

Сетчатые полимеры представляют собой полифункциональные мономеры, образующие три или более активные ковалентные связи, которые выстраиваются в трехмерную сетчатую структуру. Такие материалы обладают особенными механическими и термическими свойствами. К таким полимерам относятся эпоксидные смолы, полиуретаны и фенолформальдегидные смолы. Сшитую сетчатую (паркетную) форму макромолекул имеют целлюлоза, хитин и другие природные полимеры.

Для оценки качества полимерных материалов в классификационной системе выделены два основных параметра: прочность, то есть способность противостоять внешним нагрузкам и теплостойкость – способность сохранять работоспособность в определенном интервале температур.

Промышленные полимеры по своим свойствам могут быть разделены на 4 группы:

- 1) пластмассы общетехнического назначения (полиолефины, полистиролы, поливинилхлорид, полиакрилаты, эфиры целлюлозы);
- 2) пластмассы инженерно-технического назначения (материалы на основе полиамидов, поликарбоната, полиацеталей, модифицированного полифениленоксида, полиалкилентерефталатов;
- 3) теплостойкие и высокопрочные пластики;
- 4) материалы специального назначения.

Состав пластмасс разнообразен. Простые пластмассы – это полимеры без добавок. Сложные пластмассы – это смеси полимеров с различными добавками, такими как наполнители, стабилизаторы, пластификаторы и т. д. Изделия из пластмасс изготавливаются как на основе индивидуального полимера, так и полимернаполненной композиции.

Наполнители добавляются в количестве 40...70 % по массе для повышения механических свойств, снижения стоимости и изменения других параметров. Наполнители – это органические и неорганические вещества в виде порошков (древесная мука, сажа, слюда, кварцевый песок, тальк, двуокись титана, графит), волокон (хлопчатобумажные, стеклянные, асбестовые, полимерные) и листов (бумага, ткани из различных волокон, древесный шпон).

Стабилизаторы – различные органические вещества, которые вводят в количестве нескольких процентов для сохранения структуры молекул и стабилизации свойств.

Пластмассы имеют свойство стареть в связи изменением структуры молекул. Добавки стабилизаторов замедляют старение.

Пластификаторы добавляют в количестве 10...20 % для уменьшения хрупкости и улучшения формуемости.

Пластификаторами являются вещества, которые уменьшают межмолекулярное взаимодействие и хорошо совмещаются с полимерами. Часто пластификаторами служат эфиры, а иногда и полимеры с гибкими молекулами и небольшой молекулярной массой (олигомеры).

Специальные добавки – смазочные материалы, красители, добавки для уменьшения статических зарядов и горючести, для защиты от плесени, ускорители и замедлители отверждения и другие – служат для изменения или усиления какого-либо свойства.

Отвердители, изменяя структуру полимеров, влияют на многие свойства пластмасс. Чаще всего используют такие отвердители, которые ускоряют полимеризацию (оксиды некоторых металлов, уротропин и другие вещества).

В зависимости от поведения при нагревании полимеры делятся на две группы – термопластичные и терморезистивные.

Термопластичные полимеры при нагревании размягчаются, а при охлаждении затвердевают. Никаких необратимых химических превращений при нагревании и охлаждении в этих полимерах не происходит.

Терморезистивные полимеры или реактопласты при нагревании претерпевают необратимые химические превращения, в результате которых они твердеют, утрачивают растворимость в различных средах и способность к изменению формы.

Основой классификации пластмасс служит химический состав полимера. Применение пластмасс как конструкционных материалов экономически целесообразно. По сравнению с металлами переработка пластмасс менее трудоемка, число операций в несколько раз меньше и отходов получается немного.

Пластмассовые детали, как правило, не нуждаются в отделочных операциях. Характерными особенностями пластмасс являются малая плотность – 1000...2000 кг/м<sup>3</sup>, а у пенопластов от 15 до 800 кг/м<sup>3</sup>; высокая химическая стойкость; хорошие электроизоляционные свойства;

невысокая теплопроводность – 0,2...0,3 Вт/(м·К) и значительное тепловое расширение, в 10...30 раз больше, чем у обычных сталей.

К недостаткам пластмасс относятся низкая теплостойкость, большинство из них разлагается при температурах 150...300 °С, малая жесткость и небольшая вязкость по сравнению с металлами.

Все пластмассы подразделяются на термопластичные и термореактивные.

Термопласты – это пластмассы, которые после формования изделия сохраняют способность к повторной переработке.

Реактопласты – это пластические массы, переработка которых в изделия сопровождается химическими реакциями, без повторного использования в качестве вторичного сырья.

### **Термопластичные пластмассы**

К основным термопластичным материалам, применяемым в промышленности, относятся полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, полистирол, полиамиды т. д. Эти материалы изготавливают из высокомолекулярных органических соединений. Исходным сырьем, как правило, служат низкомолекулярные соединения. Макромолекулы имеют линейную или разветвленную форму. Полиэтилен получают полимеризацией этилена  $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ . В результате образуются линейные молекулы с повторяющимся звеном  $(-\text{CH}_2 - \text{CH}_2-)_n$ . При полимеризации (температура 80 °С и давление до 200 МПа) получают полиэтилен низкого давления (ПЭНД) или высокой плотности (ПЭВП). Если полимеризация осуществляется при давлениях 300...400 МПа и температуре 150 °С, получают полиэтилен среднего давления (ПЭСД). При более высоких давлениях и температуре 200...300 °С получают полиэтилен высокого давления (ПЭВД) или низкой плотности (ПЭНП). Предел прочности при растяжении составляет 8...16 МПа для ПЭВД, 21 – 29 МПа для ПЭСД и 26,5 – 32,5 для ПЭНД. Относительное удлинение меняется от 200 % для ПЭНД до 800 % для ПЭВД. Температура плавления полиэтилена находится в пределах от 105 до 130 °С. Изделия из ПЭВД могут эксплуатироваться до 60 °С, из ПЭНД – до 100 °С. Изделия становятся хрупкими при температуре ниже 70 °С. Полиэтилен обладает водостойкостью, стоек в растворах серной и соляной кислот, щелочах. Пленки из полиэтилена газопроницаемы, но водяные пары проникают плохо. Поэтому их используют для упаковки продуктов. Полиэтилен является экологически безвредным, поэтому его применяют в медицине, жилищном строительстве,

в пищевом машиностроении. Полипропилен получают полимеризацией пропилена.

### **Термореактивные пластмассы**

Термореактивные пластмассы отличаются от термопластичных повышенной теплостойкостью, практически полным отсутствием ползучести под нагрузкой при обычных температурах, постоянством физико-механических свойств в интервале температур их эксплуатации.

Термореактивные пластмассы получают на основе эпоксидных, полиэфирных, полиуретановых, фенолформальдегидных и кремнийорганических полимеров с различными наполнителями.

Из этого класса пластмасс наиболее распространенными являются фенолформальдегидные пластические массы, имеющие общее название – фенопласты. При термической деструкции полимеров этого типа образуется углеродистый остаток (так называемый кокс), обладающий высокой термостойкостью. При нагревании или в присутствии отвердителей смолы переходят в полимеры, имеющие сетчатое строение. В зависимости от характера наполнителя и степени его дисперсности фенопласты подразделяют на пресс-порошки, волокниты и слоистые пластики. Пресс-порошки применяют для изготовления как технических, так и бытовых изделий. От характера наполнителя зависят механическая прочность, теплостойкость, химическая стойкость и диэлектрические свойства. Из органических наполнителей чаще всего используют древесную муку, из неорганических – слюду, кварц, плавиковый шпат, каолин. Пластмассы с минеральными наполнителями превосходят по свойствам пластмассы с органическим наполнителем. Максимальная температура эксплуатации составляет 200 °С.[9] Пресс-материалы с порошковыми наполнителями обладают относительно невысокими механическими свойствами, при растяжении  $\sigma_{\text{в}} = 30 \dots 60$  МПа, при сжатии  $\sigma_{\text{в}} = 150 \dots 190$  МПа.

При использовании волокнистых наполнителей из асбеста, хлопковой целлюлозы и стеклянного волокна прочность повышается до  $\sigma_{\text{в}} = 90$  МПа при растяжении и  $\sigma_{\text{в}} = 1200$  МПа при сжатии. При увеличении длины волокон до 30 мм ударная вязкость возрастает с 90 кДж/м<sup>2</sup> до 200 кДж/м<sup>2</sup>.

### **Пластмассы общетехнического назначения**

Пластмассы общетехнического назначения изготавливают из полиолефинов. Полиолефинами называются полимерные материалы, получаемые путем полимеризации и сополимеризации непредельных соединений ряда олефинов – этилена, пропилена, бутана, гексана и др.

Марки полиэтиленов состоят из восьми цифр: Первая цифра указывает на способ производства: 1 – высокое давление при полимеризации; 2 – низкое давление. Две последующие цифры обозначают метод производства базовой марки: 01 – 49 – автоклавный; 50 – 99 – в трубчатом реакторе. Четвертая цифра указывает на способ усреднения полимера: 0 – холодным смешением, 1 – в расплаве. Пятая цифра обозначает группу плотности. Цифры после тире – увеличенный в 10 раз показатель текучести расплава (ПТР) [10].

Например, марка 15803 – 020 показывает, что это базовая марка ПЭ высокого давления (1), полученная в трубчатом реакторе (58), холодного усреднения (0), группы плотности 3 и с ПТР 2 г/10 мин. Применяется для изготовления пленок, ламинированных и упаковочных материалов (с фольгой или бумагой), для изоляции проводов и кабелей, при изготовлении детских игрушек, изделий бытового назначения, медицинских изделий, для изготовления бутылок (для воды, соков, моющих средств и т.п.), упаковочных коробок и банок. Полиэтилен высокой плотности (ПЭВП низкого и среднего давления) характеризуется более высокой теплостойкостью, огнестойкостью, более высоким пределом при растяжении и изгибе. Марки ПЭВП (цифра 2 – низкое давление) имеют порядковые номера от 201 до 210 (синтез в среде растворителей), 270 – 279 (газофазный), 217 – 224 (высокопрочный), 215 – 216 (высокомолекулярный). Применяется для изготовления трубопроводов для транспортировки жидкостей и газов, коррозионно-устойчивой аппаратуры, всевозможных бутылок, бочек и других емкостей, в качестве изоляционного материала в электротехнике и электронике, при изготовлении тары для транспортировки мясной и рыбной продукции (ящики, короба). Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) обладает повышенными прочностными показателями, низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью, стойкостью к растрескиванию, химической стойкостью в наиболее агрессивных средах; температурный интервал эксплуатации от -260 до + 120 °С. Переработка СВМПЭ осуществляется методом спекания, прессования и плунжерной экструзии, литьем под давлением.

Применяется СВМПЭ для изготовления высокопрочных технических изделий, стойких к удару, растрескиванию и истиранию (шестерни, втулки, муфты, ролики, валики, звездочки и т.п.), а также в эндопротезировании, для изолирующих деталей аппаратуры, работающей в диапазоне высоких и сверхвысоких частот и пористых изделий (фильтров, глушителей шума, прокладок), для замены дорогостоящего фторопласта.



Марочный ассортимент полипропилена (ПП) включает 5 марок, получаемых при среднем давлении (01002 – 01020), 13 марок, получаемых при низком давлении (21003 – 21230) и 3 марки блоксополимера с этиленом (22007 – 22030). Обозначение марки ПП состоит из 5 цифр: первая цифра 2 или 0 указывает на давление при синтезе (низкое или среднее), вторая цифра указывает вид материала: 1 – полимер, 2 – сополимер. Три последующие цифры означают десятикратное значение показателя текучести расплава. В обозначении композиции через тире указывается номер рецептуры стабилизации, через запятую цвет и число рецептуры окрашивания. Например, марка 21180-16, Т20 обозначает ПП, полученный на металлоорганическом катализаторе при низком давлении, ПТР составляет 18 г/10 мин., рецептура добавки № 16 – антикоррозионная, материал содержит 20 % талька. К группе термопластов также относятся полимеры на основе стирола и сополимеров с другими мономерами (акрилонитрил, метилметакрилат, бутадиен). Полистиролы подразделяются на полистирол общего назначения, ударопрочный полистирол и АБС-пластики. Полистирол общего назначения отличается высокими диэлектрическими свойствами, оптической прозрачностью, низкой теплостойкостью (до 70 °С) и низкой ударной вязкостью, хорошо перерабатывается в изделия литьем под давлением и экструзией. Марочный ассортимент – 16 марок. Маркировка полистирола общего назначения – ПС. Ударопрочный полистирол отличается повышенными показателями ударной вязкости в диапазоне температур (до -30...-40 °С). Маркировка ударопрочного полистирола – УПС.

АБС-пластики обладают повышенной теплостойкостью, ударной прочностью и хемостойкостью, перерабатываются литьем под давлением и экструзией. Марочный ассортимент около 20 марок. Маркировка АБС-пластиков – АБС. Из полистиролов изготавливают изделия электротехнической и электронной промышленности (ПС); крупногабаритные изделия холодильников, ящики и короба для транспортировки товаров, внутреннюю облицовку зданий (УПС); корпуса телевизоров, компьютеров, лодок, детских ванн (АБС).

Поливинилхлорид (ПВХ). Различают жесткий и эластичный ПВХ. Жесткий ПВХ (винипласт) обладает высокой механической прочностью, значительными водо- и хемостойкостью, хорошими диэлектрическими свойствами, низкой ударной прочностью и невысокой температурой эксплуатации (до 70...80 °С). Применяется в производстве листов, труб,

профилей, пленки. Эластичный ПВХ (пластикат) характеризуется высокой эластичностью в диапазоне температур от - 60 до + 100 °С, высокой водо-, бензо- и маслостойкостью, хорошими диэлектрическими свойствами, склонностью пластификаторов к миграции и выпотеванию, что ведет к ухудшению эластичности и морозостойкости. Из эластичного ПВХ выпускаются кабели, шланги, изоляция, прокладки, обувь, изделия медицинского назначения. Маркировка ПВХ, на примере ПВХС6358 Ж, означает: С – суспензионный, значение константы Фикентчера – 63, группа насыпной плотности – 5 (0,45 – 0,6 г/см<sup>3</sup>), остаток на сите 8 %, рекомендуется для производства жестких изделий.

Полиметилметакрилат (ПММА). Отличается исключительно высокой прозрачностью, высокой температурой размягчения, хорошими механическими свойствами, склонностью к растрескиванию. Из ПММА изготавливают органические стекла, световые фонари бытовых приборов и зданий.

### **Пластмассы инженерно-технического назначения**

Полиамиды – высокомолекулярные полимеры, содержащие в основной цепи амидные группы (NH-CO-) и представляющие высококачественные волокнообразующие материалы.

Обладают высокими физико-механическими свойствами, особенно при ударных нагрузках; прекрасной стойкостью к маслам, бензину, керосину; химической стойкостью в щелочных средах; низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью; нестабильностью размеров в условиях эксплуатации, связанных с большим водопоглощением.

Наиболее распространенными являются полиамид – 6 (капрон), полиамид – 66, полиамид – 610 и полиамид – 12. Маркируются полиамиды – ПА – 6, ПА – 6.6, ПА – 6.10, П – 12Л.

Полиформальдегиды (ПФ) – характеризуются достаточно высокой теплостойкостью (температура эксплуатации до 140 °С), высокой прочностью и жесткостью, стойкостью к углеводородам и маслам, низким водопоглощением и высокой размерной стабильностью, а также низким коэффициентом трения.

Выпускается целый ряд марок сополимеров ПФ, СФД, СТД, из которых изготавливают изделия электропромышленности, автомобилестроения, спортивного инвентаря, зубчатых колес, кулачков, подшипников, деталей водопроводной арматуры.

Поликарбонат (ПК) – термопластичный полимер на основе дифенилолпропана и хлорангидрида угольной кислоты, обладающий высокой стойкостью к ударным нагрузкам, низким водопоглощением, высокой оптической прозрачностью и высокими диэлектрическими свойствами. Температурный интервал эксплуатации ПК от -100 до + 135 °С.

Широко применяется для изготовления корпусных изделий, прозрачных экранов, крышек, автомобильных фар, очков, линз, объективов фотоаппаратов. Маркируются поликарбонаты – ПК.

Полибутилентерефталат (ПБТФ) и полиэтилентерефталат (ПЭТФ) – термопластичные полиэфиры, характеризующиеся высокой твердостью и жесткостью, высокой размерной стабильностью, высокой износостойкостью, хорошей теплостойкостью. Они находят применение в производстве шестерен, подшипников, втулок, бутылей, флаконов, звеньев цепных передач, деталей замков. Маркируются – ПБТФ, ПЭТФ.

### **Теплостойкие пластмассы**

Полиарилаты – термопластичные полиэфиры на основе ароматических дикарбоновых кислот и двухатомных фенолов, обладающие хорошими диэлектрическими свойствами, высокими физико-механическими свойствами, стабильными в условиях длительного старения.

Марочный ассортимент содержит две группы: на основе дифенилолпропана (марки "О") с рабочим интервалом температур 175...180 °С и на основе фенолфталеина (марки "Ф" с рабочим интервалом температур 220...250 °С. На основе полиариатов выпускают лаки, пленочные материалы электроизоляционного назначения.

Полиимиды – термостойкие поликонденсационные полимеры на основе ароматических тетракарбоновых кислот и ароматических диаминов, обладающие высокой термостойкостью, высокими механическими характеристиками при повышенных температурах от -250 до +250 °С (кратковременно до 300 ... 400 °С), не окисляются при 250 ... 275 °С.

Фторполимеры (фторопласты) – полимеризационные полимеры на основе тетрафторэтилена и его сополимеров с диеновыми соединениями, обладающие чрезвычайно высокими стойкостью и диэлектрическими свойствами в диапазоне рабочих температур от -260 до +350 °С, склонностью к ползучести под нагрузкой, низкой износостойкостью и радиационной стойкостью. Используются в качестве труб, пленок, паст, уплотнительных элементов, изоляции и др.

Маркировка фторполимеров – Ф-4, Ф-3, Ф-2, Ф-40.

# Практическая работа № 7

## Электрофизические процессы и их применение в промышленном производстве

### Методические рекомендации

**Цель работы** – ознакомиться с электрохимическими процессами и их применением в промышленном производстве.

В современном машиностроении возникают технологические проблемы, связанные с обработкой новых материалов и сплавов (например, жаро- и кислотостойкие, специальные никелевые стали, тугоплавкие сплавы, композиты, неметаллические материалы: алмазы, рубины, германий, кремний, порошковые тугоплавкие материалы и т. п.), форму и состояние поверхностного слоя, которых трудно получить известными механическими методами [19].

К таким проблемам относится обработка весьма прочных или весьма вязких материалов, хрупких и неметаллических материалов (керамика), тонкостенных нежестких деталей, а также пазов и отверстий, имеющих размеры в несколько мкм; получение поверхностей деталей с малой шероховатостью, с очень малой толщиной дефектного поверхностного слоя и т. д.

В этих условиях, когда возможность обработки резанием ограничена плохой обрабатываемостью материала изделия, сложностью формы обрабатываемой поверхности или обработка вообще невозможна, целесообразно применять электрофизические и электрохимические методы обработки.

Их достоинства следующие:

- 1) механические нагрузки либо отсутствуют, либо настолько малы, что практически не влияют на суммарную погрешность точности обработки;
- 2) позволяют изменять форму обрабатываемой поверхности заготовки (детали);
- 3) позволяют влиять и даже изменять состояние поверхностного слоя детали;
- 4) не образуется наклеп обработанной поверхности;
- 5) дефектный слой не образуется;
- 6) удаляются прижоги поверхности, полученные при шлифовании;

7) повышаются: износостойкость, коррозионная стойкость, прочность и другие эксплуатационные характеристики поверхностей деталей.

Кинематика формообразования поверхностей деталей электрофизическими и электрофизическими методами обработки, как правило, проста, что обеспечивает точное регулирование процессов и их автоматизацию.

На обрабатываемость деталей такими методами (за исключением ультразвукового) не влияют твердость и вязкость материала детали.

Существуют следующие основные схемы электрохимической обработки [16]:

Обработка с неподвижными электродами (рис. 16).

По этой схеме получают местные облегчения в деталях, отверстия в листовых материалах, наносят информацию (порядковые номера, шифры изделий и др.), удаляют заусенцы. Требуемая форма углубления или отверстия получается за счет нанесения на заготовку 2 слоя диэлектрика 3. Электрод-инструмент 1 не перемещается к обрабатываемой поверхности – межэлектродный зазор по мере съема металла с заготовкой 2 возрастает, а скорость  $V_э$  прокачки электролита снижается. Процесс будет неустановившимся с нестационарным по времени режимов обработки.

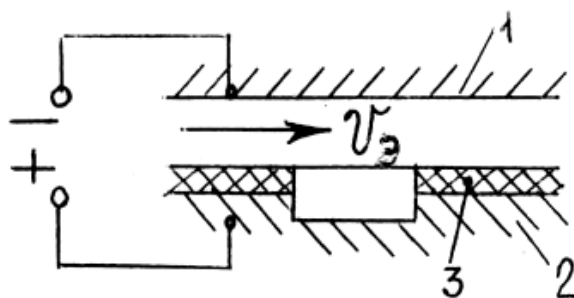


Рис. 16. Схема обработки с неподвижными электродами:  
1 – электрод-инструмент; 2 – заготовка; 3 – диэлектрик

Прошивание углублений, полостей и отверстий (рис. 17).

При такой схеме электрод-инструмент 1 имеет одно рабочее движение – поступательное движение со скоростью  $V_u$  к детали 2. Межэлектродный зазор ( $S$ ) – постоянный, то есть режим стационарный. Электролит прокачивается со скоростью  $V_э$ . По этой схеме изготавливают ра-

бочие полости ковочных штампов, пресс-форм, прошивают отверстия, пазы, перья лопаток турбин, вырезают заготовки различного профиля.

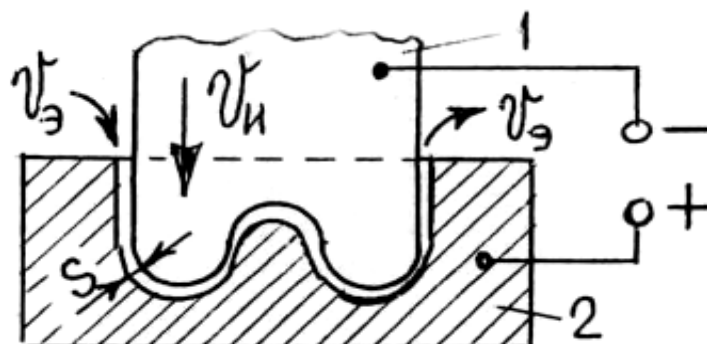


Рис. 17. Схема прошивания:  
1 – электрод-инструмент; 2 – заготовка

К такой схеме относят и получение отверстий струйным методом (рис. 18). Электрод-инструмент состоит из токопровода 1, омываемого потоком электролита. Токопровод находится внутри корпуса 3 из диэлектрика. Электролит создает токопроводящий канал между токопроводом 1 и заготовкой 2. В месте контакта жидкости с обрабатываемой поверхностью материал заготовки растворяется и образуется углубление. Процесс идет достаточно быстро только при высоких напряжениях (до нескольких сотен вольт). Так получают отверстия диаметром 1,5...2,0 мм и вырезают контуры деталей сложной формы.

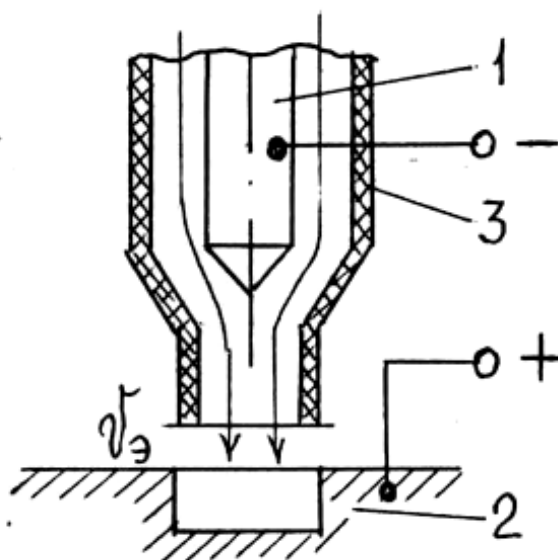


Рис. 18. Схема прошивания струйным методом:  
1 – электрод-инструмент (токопровод); 2 – заготовка;  
3 – диэлектрический корпус

Точение наружных и внутренних поверхностей (рис. 19).

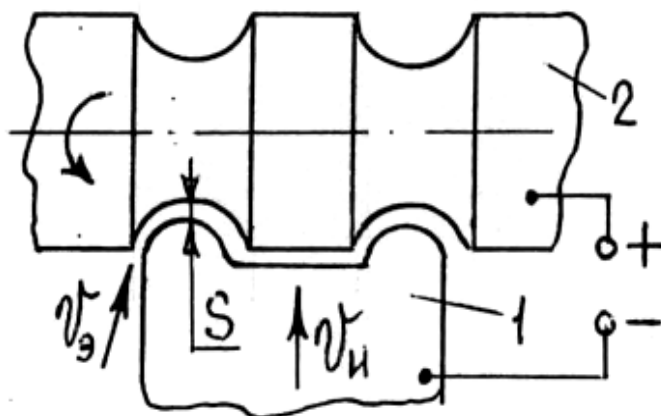


Рис. 19. Схема точения наружных поверхностей:  
1 – электрод-инструмент; 2 – заготовка

По такой схеме электрод-инструмент 1 выполняет роль резца, без контакта. В зазор  $S$  прокачивается электролит со скоростью  $V_{\text{э}}$ . При точении внутренней поверхности электрод-инструмент 1 перемещается вдоль заготовки 2 со скоростью  $V_{\text{и}}$ .

Межэлектродный зазор  $S$  может поддерживаться диэлектрическими прокладками 3 (рис. 20).

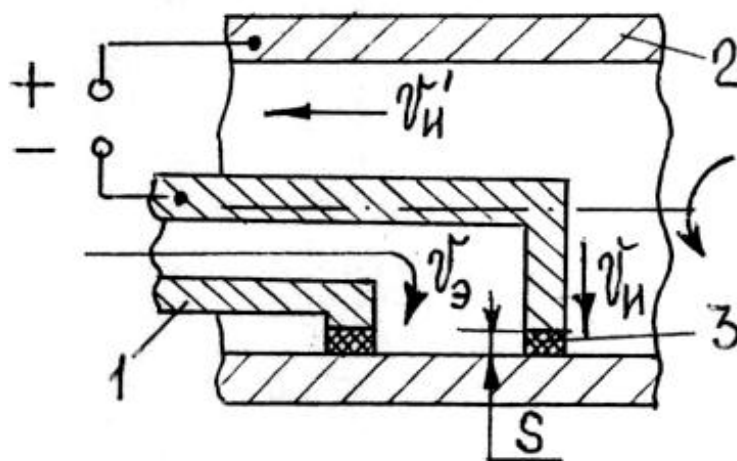


Рис. 20. Схема точения внутренних поверхностей:  
1 – электрод-инструмент; 2 – заготовка; 3 – прокладки диэлектрические

Протягивание наружных и внутренних поверхностей в заготовках.

Заготовки должны иметь предварительно обработанные поверхности, по которым можно базировать электрод-инструмент. Его устанавливают относительно заготовки с помощью диэлектрических прокладок. Электрод-инструмент продольно перемещается (иногда вращается).

По такой схеме выполняют чистовую обработку цилиндрических отверстий, нарезание резьбы, шлицев, винтовых канавок.

Разрезание заготовок.

При разрезании заготовок используется профилированный инструмент (вращающийся диск) или непрофилированный – проволока (рис. 21).

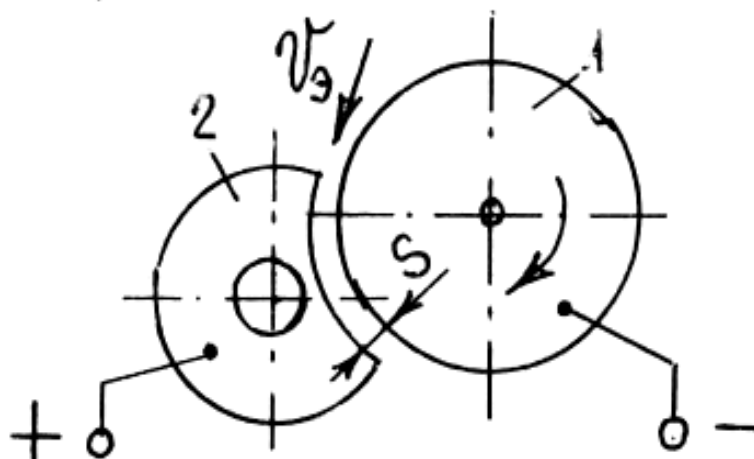


Рис. 21. Схема разрезания профилированным инструментом:  
1 – электрод-инструмент (диск); 2 – заготовка

При этой схеме зазор между инструментом-электродом и заготовкой должен быть постоянным.

Для выполнения в заготовках различных фигурных пазов, щелей особенно в нежестких материалах применяется непрофилированный инструмент-электрод в виде проволоки из латуни, меди или вольфрама (рис. 22).

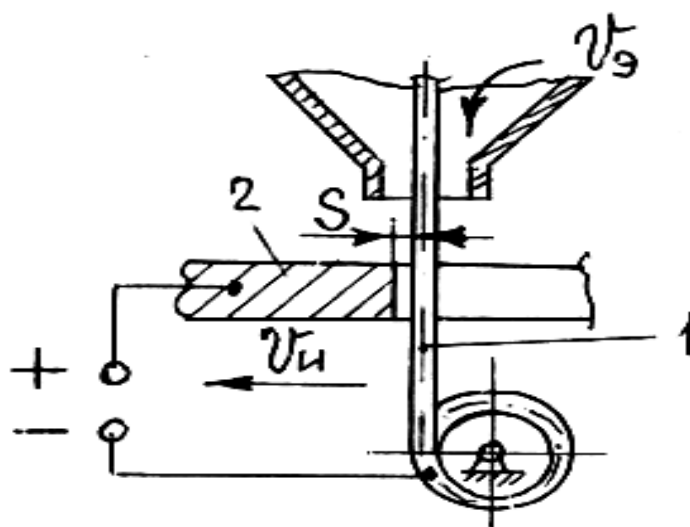


Рис. 22. Схема разрезания непрофилированным инструментом:  
1 – инструмент-электрод (проволока); 2 – заготовка



Для устранения влияния износа проволоки на точность обработки проволока непрерывно перематывается с катушки на катушку, что позволяет участвовать в работе все новым ее элементам.

Шлифование.

При этом используется вращающийся металлический инструмент цилиндрической формы, который поступательно движется вдоль заготовки 2 со скоростью  $V_u$  (рис. 23).

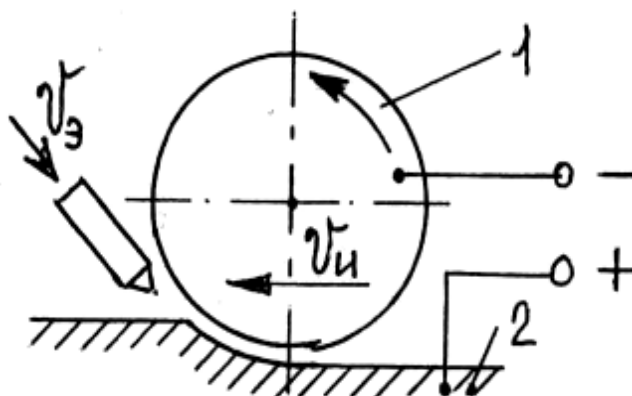


Рис. 23. Схема шлифования:  
1 – электрод-инструмент; 2 – заготовка

Это окончательная операция при изготовлении пакетов пластин из магнитомягких материалов, когда при обработке недопустимы механические усилия, а также для изготовления деталей из вязких и прочных сплавов.

## Использованная литература

### Основная

1. Конструкционные материалы [Текст] : справочник / под общ. ред. Б. Н. Арзамасова. – М. : Машиностроение, 1990. – 688 с.
2. Конструкционные свойства пластмасс [Текст] / под общ. ред. Р. М. Шнейдеровича, И. В. Крагельского. – М. : Машиностроение, 1968. – 212 с.
3. Металловедение и термическая обработка стали : справочник : в 3 т. Т.2: Основы термической обработки / под ред. М. Л. Бернштейна, А. Г. Рахштадта. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Metallургия, 1983. – 367 с.

4. Обработка металлов резанием : справочник технолога / под общ. ред. А. А. Панова. – М. : Машиностроение, 1988. – 736 с.

5. Технология конструкционных материалов : учебн. пособ. для вузов / А. М. Дальский, В. С. Гаврилюк, Л. Н. Бухаркин и др ; [Под общ. ред. А. М. Дальского]. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1990. – 352с.

### **Дополнительная**

6. Бахтинов В. Б. Прокатное производство : учебник для техникумов. В. Б. Бахтинов. – М. : "Металлургия", 1987. – 416 с.

7. Бирюков Б. Н. Электрофизические и электрохимические методы размерной обработки / Б. Н. Бирюков. – М. : Машиностроение, 1981. – 287 с.

8. Воскобойников В. Г. Общая металлургия : учебник для вузов / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Академкнига, 2005. – 768 с.

9. Грудев А. П. Технология прокатного производства : учебник для вузов / А. П. Грудев, Л. Ф. Машкин, М. И. Ханин. – М. : Металлургия, 1994. – 656 с.

10. Дегтярев М. Г. Материаловедение. Технология конструкционных материалов : учебник / Г. Дегтярев. – М. : Колос, 2007. – 360 с.

11. Дриц М. Х. Технология конструкционных материалов и материаловедение : учебн. для немашин. спец. вузов / М. Х. Дриц, М. А. Москалев – М. : Высшая школа, 1990. – 446 с.

12. Каллистер У. Д. Материаловедение: от технологии к применению (металлы, керамика, полимеры) / У. Д. Каллистер, Д. Дж. Ретвич ; пер. с англ. под ред. А. Я. Малкина. – СПб. : Научные основы и технологии, 2011. – 896 с.

13. Колесов С. Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник для вузов / С. Н. Колесов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 2008. – 535 с.

14. Котлер Ю. А. Металлургия благородных металлов : учебник для вузов : в 2 кн. / Ю. А. Котлер, М. А. Меретуков, Л. С. Стрижко. – М. : МИСИС ; Руда и Металлы, 2005. – 392 с.

15. Материаловедение : учебник / В. Н. Макаров, Г. Г. Мухин и др. – Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2001. – 352 с.

16. Попилов Л. Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов : справочник / Л. Я. Попилов. – 2-е изд. доп. и перераб. – М. : Машиностроение, 1982. – 418 с.

17. Технологические процессы в машиностроении: проектирование и производство заготовок : учебн. пособ. / В. С. Кушнер, А. С. Верещака, А. Г. Схиртладзе и др. – Омск : Изд. ОмГТУ, 2005. – 116 с.

18. Фетисов, Г. П. Материаловедение и технология металлов : учебник / Г. П. Фетисов. – М. : Высшая школа, 2000. – 638 с.

19. Фотеев Н. К. Технология электроэрозионной обработки / Н. К. Фотеев. – М. : Машиностроение, 1980. – 285 с.

20. Чередниченко В. С. Материаловедение. Технология конструкционных материалов : учебник / В. С. Чередниченко. – М. : ОМЕГА-Л, 2007. – 752 с.

21. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов : учебн. пособ. : (в 2-х т.). / Б. А. Артамонов, Ю. С. Волков, В. И. Дрожалова и др. ; [под ред. Б. А. Артамонов]. – М. : Высшая школа, 1983. – 438 с.

### **Ресурсы сети Интернет**

22. Государственная научно-техническая библиотека Украины (ГНТБ Украины) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://gntb.gov.ua/>.

23. Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.nbuv.gov.ua/>.

24. Сайт электронной технической литературы [Электронный ресурс] Режим доступа : <http://tehnika.at.ua/>.

25. ТехЛит.ру – крупнейшая бесплатная электронная Интернет-библиотека. – Режим доступа : <http://www.tehlit.ru/>.

