

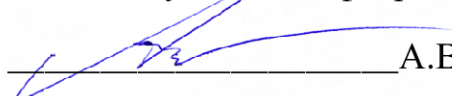
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тульский государственный университет»

Политехнический институт  
Кафедра «Сварка, литье и технология конструкционных материалов»

Утверждено на заседании кафедры  
СЛиТКМ  
«25» января 2021 г., протокол № 6

И.о. заведующего кафедрой

 А.В. Анцев

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
по выполнению лабораторных работ  
по дисциплине (модулю)  
«Технология конструкционных материалов»**

**основной профессиональной образовательной программы  
высшего образования – программы специалитета**

по специальности  
**17.05.02 Стрелково-пушечное, артиллерийское и ракетное оружие**

со специализацией  
**Стрелково-пушечное вооружение**

Форма обучения: очная


Идентификационный номер образовательной программы: 170502-01-21

Тула 2021 год

## Разработчик(и) методических указаний

Страхова Е.А., доц., к.т.н.

(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

# «ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### Материалы для производства металлов и сплавов.

### Устройство доменной печи

#### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Изучить химический состав, способы подготовки и назначение материалов, используемых для производства металлов и сплавов, устройство доменной печи.

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

##### 2.1. Материалы для производства металлов и сплавов

Шихтой (или исходными материалами) для производства металлов и сплавов являются руды, флюсы, топливо.

*Железные руды.* К ним относится магнитный железняк  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (55...60 % Fe), красный железняк  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (55...60 % Fe), бурый железняк  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (37...55 % Fe), шпатовые железняки  $\text{FeCO}_3$  (30...40 % Fe).

*Марганцевые руды* применяют для выплавки ферромарганца (10...82 % Mn), а также передельных чугунов, содержащих до 1 % Mn. Марганец в рудах содержится в виде оксидов и карбонатов:  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ ,  $\text{MnCO}_3$  и др.

*Топливо* служит не только горючим для расплавления шихты, но и химическим реагентом для восстановления железа из руды. Топливом в металлургических печах являются кокс, природный газ, мазут, доменный (колошниковый) газ, пылевидный каменный уголь.

Кокс получают на коксохимических заводах сухой перегонкой (при  $1000^\circ\text{C}$ , без доступа воздуха) особых сортов каменного угля, содержащих битумы. Кокс содержит 80 - 88 % углерода, 8 - 12 % золы, 2 - 5 % влаги, 0,5 - 2 % серы, 0,02 - 0,2 % фосфора. Куски кокса должны иметь размеры 25 - 60 мм. Теплотворная способность 27300 - 29400 кДж/кг.

Природный газ содержит 90 - 98 % углеводородов ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ) и 1% азота. Теплотворность природного газа 33600 - 39600 кДж/м<sup>3</sup>.

Мазут - остаток от перегонки нефти; содержит 84 - 88 % углерода, 10-12% водорода; калорийность - 41800 кДж/кг.

Доменный газ получается при выплавке чугуна в доменных печах. Примерный состав газа: 12 %  $\text{CO}_2$ , 28 %  $\text{CO}$ , 0,5 %  $\text{CH}_4$ , 2,5 %  $\text{H}_2$ , остальное - азот. Калорийность - 3600 - 4200 кДж/м<sup>3</sup>.

Каменный уголь сжигают в пылевидном (крупность 0,05 мм) состоянии, его теплотворная способность 26000 кДж/кг.

*Флюсы* - это материалы, загружаемые в плавильные печи для образования легкоплавкого соединения (шлака) с пустой породой руды и золой топлива. Шлак защищает металл от печных газов и воздуха; в него переходят вредные примеси, неметаллические включения.

В качестве флюсов используются: известняк ( $\text{CaCO}_3$ ), доломитизированный известняк, содержащий  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ , известь (85...90 %  $\text{CaO}$ ), боксит (20...60 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 3...20 %  $\text{SiO}_2$ , 15...45 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), плавиковый шпат (90...95 %  $\text{CaF}_2$ ), кварцевый песок (~ 95 %  $\text{SiO}_2$ ).

*Огнеупорные материалы.* Внутреннюю облицовку (футеровку) металлургических печей и ковшей для разливки металла выполняют из огнеупорных материалов, способных выдерживать нагрузки при высоких температурах, противостоять изменениям температур, химическому воздействию шлака и печных газов, обладать постоянством объема.

Огнеупоры применяются в виде порошка, кирпичей и фасонных изделий; по химическим свойствам разделяют на кислые, основные и нейтральные.

Материалы, содержащие в большом количестве кремнезем ( $\text{SiO}_2$ ), называют *кислыми* (динасовые, кварцеглинистые). Например, кварцевый песок, динасовый кирпич; их огнеупорность 1690 - 1700 °С.

Материалы, содержащие основные оксиды ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ) называют *основными* (обоженный доломит, магнезит, магнезитохромит); их огнеупорность более 2000 °С.

Огнеупоры, основу которых составляет глинозем ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), оксид хрома(III)  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , углерод – *нейтральными* (высокоглиноземистые, хромомагнезитовые,

шамотные; углеродистые кирпичи и блоки с содержанием углерода до 92 % в виде графита); они обладают высокой огнеупорностью.

## **2.2. Подготовка руд к доменной плавке**

В целях обеспечения в шихтовых материалах оптимального содержания железа (около 60%), уменьшения вредных примесей (серы, фосфора) руды подвергают специальной подготовке, которая заключается в дроблении, сортировке по крупности, обогащении и окусковании.

Куски руды дробят и сортируют на дробилках и классификаторах.

Обогащение руд основано на использовании различия плотности, магнитных и поверхностных свойств минералов.

Промывка руды водой позволяет отделить песок, глину.

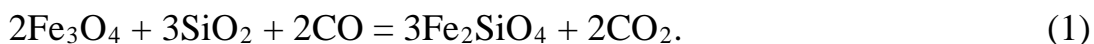
*Гравитация* - отделение руды от пустой породы при пропускании струи воды через дно вибрирующего сита: пустая порода вытесняется в верхний слой и уносится водой.

*Магнитная сепарация* - измельченную руду подвергают действию магнита, притягивающего железосодержащие материалы.

Применяют два способа *окускования*: агломерацию и окатывание.

*Агломерация* заключается в спекании шихты, состоящей из железной руды (крупностью до 8 мм) - 45 - 50 %, возврата мелкого агломерата - 20 - 30 %, известняка (крупностью до 2 мм) - 15 - 20 %, коксовой мелочи - 4 - 6 %, влаги - 6 - 9 %.

Спекание выполняют на агломерационных машинах. Процесс спекания продолжается 10 - 20 минут. Горение топлива доводит температуру до 1400 - 1600 °С. В процессе спекания частично удаляется сера, мышьяк, восстанавливаются окислы железа с образованием жидких фаз:



Фаялит ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ) имеет температуру плавления 1205 °С, застывая, образует пористый спекагломерат.

*Окатывание*. Шихта из измельченных концентратов, флюса, топлива, связующих веществ (бентонит – глина, гидроалюмосиликат) в количестве 0,3 - 1,5% и воды (8 - 10 %) при обработке во вращающихся барабанах, тарельчатых чашах приобретает форму шариков - окатышей диаметром до 30 мм. Окатыши высу-

шивают и обжигают при температуре 1200 – 1350 °С, после чего они становятся прочными и пористыми.

Использование офлюсованных агломерата и окатышей вместо сырой руды снижает расход кокса на 18 - 22 %, увеличивает производительность доменных печей на 25 - 26%.

### 2.3. Устройство доменной печи

Доменный процесс является основным способом получения чугуна.

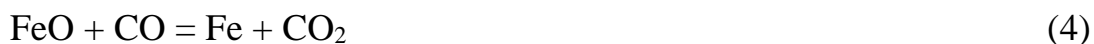
Чугун – это сплав железа с углеродом и другими примесями (Si, Mn, S, P и др.); содержание углерода более 2,14% (до 6,67%). Сущность процесса получения чугуна в доменных печах заключается в восстановлении оксидов железа, входящих в состав руды, оксидом углерода, водородом и твердым углеродом, содержащимся в коксе. Процесс доменной плавки непрерывный.

Восстановление железа из руды начинает происходить при помощи окиси углерода (непрямое восстановление) в верхних горизонтах печи, где температура невысока, и постепенно усиливается при опускании вниз по мере повышения температуры примерно до 900 °С. Обычно в доменных газах содержится небольшое количество водорода, поэтому основное восстановление идет за счет окиси углерода и углерода кокса.

Восстановление окисью углерода начинается в шахте и происходит ступенчато от высшего окисла железа к низшему в следующем порядке:



Протекают следующие реакции восстановления:



Основной реакцией считается реакция (4), т.к. конечным продуктом является металлическое железо, и она же называется *реакцией косвенного восстановления железа*, протекает при умеренных температурах (500...900 °С) с выделением тепла.

При более высоких температурах (выше 1000...1100 °С) в присутствии раскаленного кокса в доменной печи идет восстановление железа при помощи углерода по реакции:



Эта реакция называется *прямым восстановлением* железа. Считается, что в доменной печи около 60...50 % железа образуется по реакции (4), т.е. с помощью окиси углерода, и 50...40 % с помощью твердого углерода (реакция (5)). Прямое восстановление железа происходит в районе распара доменной печи.

Сырые материалы (агломерат, окатыши, кокс), находящиеся в твердом состоянии, загружают в печь сверху, а в нижнюю часть через фурмы подают нагретый воздух и жидкое, газообразное или пылевидное топливо. Полученные от сжигания топлива газы проходят через столб шихты и отдают ей свою химическую и тепловую энергию. Опускающаяся рудная шихта нагревается, восстанавливается и плавится. Часть кокса расходуется в печи на восстановление железа и других элементов, а также на науглероживание железа, но большее его количество достигает фурм, где и сгорает. Общий вид доменной печи показан на рис. 1.

Доменная печь снаружи заключена в металлический кожух толщиной 20 - 25 мм в верхней части и 35 - 40 мм в нижней. Кожух выполняют цельносварным. С внутренней стороны кожуха находится огнеупорная футеровка, охлаждаемая холодильниками.

Внутренние очертания вертикального разреза доменной печи называют ее профилем, в котором различают колошник 6, шахту 5, распар 4, заплечики 3, горн 1, лещадь 15. Взвешенную шихту подают на колошник при помощи двух скипов (вагонеток) 9,двигающихся снизу вверх по мосту 12 к засыпному аппарату 8 и, опрокидываясь, высыпают шихту в приемную воронку 7 распределителя шихты. При опускании малого конуса 10 засыпного аппарата шихта попадает в чашу 11, а при опускании большого конуса 13 - в доменную печь. Наличие двух последовательно опускающихся конусов обеспечивает герметизацию колошника при загрузке шихты. Для равномерного распределения шихты в домен-



ной печи малый конус и приемная воронка после очередной загрузки поворачиваются на угол, кратный  $60^\circ$ .

Через загрузочное устройство в печь непрерывно подают шихту в таком количестве, чтобы весь полезный объем печи был заполнен. *Полезный объем печи* - это объем, занимаемый шихтой от лещади до нижней кромки большого конуса засыпного аппарата при его опускании. Современные доменные печи имеют полезный объем 2000 - 5500 м<sup>3</sup>. Полезная высота  $H$  доменной печи достигает 35 метров.

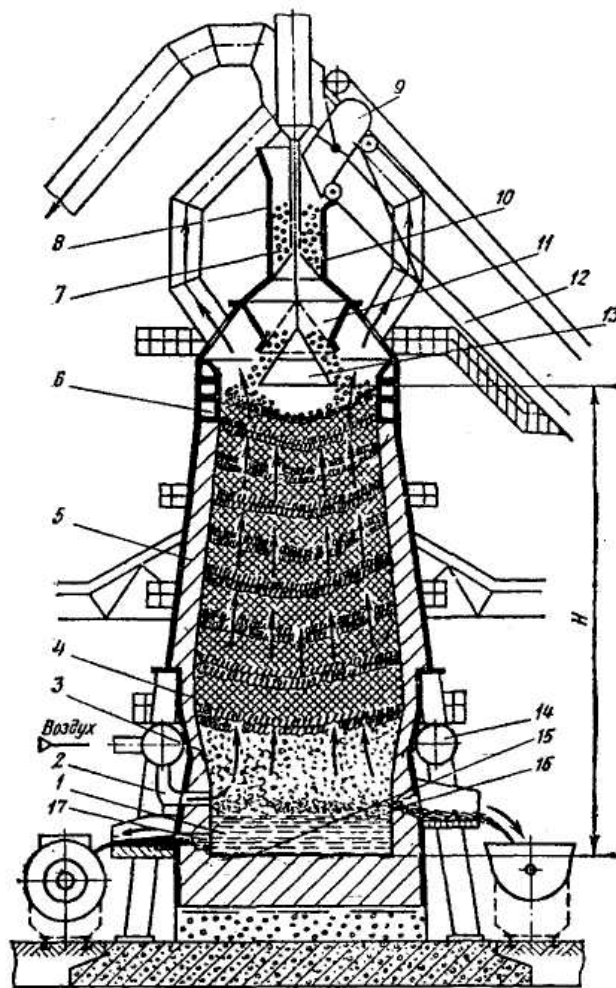


Рис. 1. Устройство доменной печи

Для выпуска шлака в горне есть летка 16, для выпуска чугуна – летка 17. Чугун в зависимости от объема печи выпускается примерно через каждые 3-4 ч, шлак – через каждые 1-1,5 ч. В период между выпусками летки заделываются огнеупорной массой.

В верхней части горна находятся фурменные устройства 14, через которые в печь поступает нагретый воздух, необходимый для горения топлива. Воздух



поступает в доменную печь из воздухонагревателя (рис. 2), внутри которого имеются камера сгорания 2 и насадка 3. Насадка обычно выполняется шести-гранными огнеупорными блоками с круглыми ячейками, ее поверхность нагрева составляет около  $30 \text{ м}^2$  на  $1 \text{ м}^3$  объема насадки.

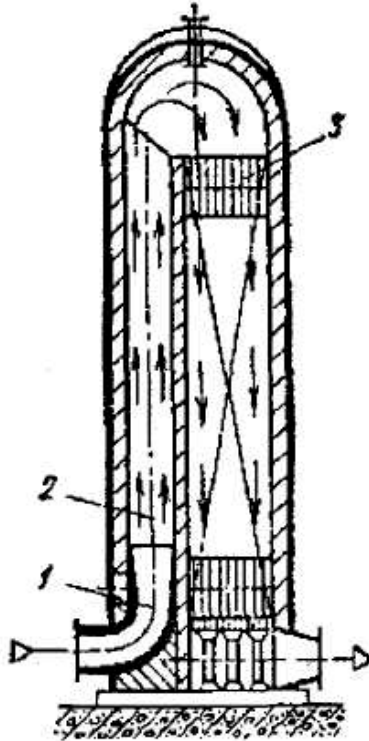


Рис. 2. Устройство воздухонагревателя

В камеру сгорания к горелке 1 подается очищенный от пыли доменный газ, который, сгорая, нагревает насадку и удаляется через дымовую трубу. Затем подача газа к горелке прекращается и через насадку пропускается воздух, подаваемый турбовоздуходувной машиной. Воздух, проходя через насадку, нагревается до температуры  $1050 - 1300 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и поступает к фурменному устройству 14, а отсюда через фурмы 2 (рис. 1) - в рабочее пространство со скоростью  $100 - 150 \text{ м/с}$ . Доменная печь имеет четыре воздухонагревателя: в то время как в одних насадка нагревается, в других - отдает теплоту холодному воздуху, нагревая его. После охлаждения насадки воздухом нагреватели переключаются.

Для футеровки печи применяют шамотный кирпич, высокоглиноземистый кирпич и углеродистые блоки.

Фундамент печи состоит из двух частей: нижней, подземной, называемой подошвой, и верхней, называемой пнем. Подошву выполняют из бетона, а пень - из жароупорного бетона. Фундамент делают в виде огнеупорной плиты толщи-

ной около 4 м. Над фундаментом располагается лещадь, которую выполняют из углеродистых блоков и высокоглиноземистого кирпича (внутренняя часть). Толщина лещади около 5,5 м. Кладка лещади и горна заключена в чугунные плитовые холодильники толщиной около 160 мм с трубками диаметром 45 мм, по которым циркулирует вода.

Заплечики и распар чаще всего делают тонкостенными из высокоглиноземистого кирпича и охлаждают ребристыми плитовыми холодильниками.

Шахту выкладывают из шамотного кирпича, содержащего 35%  $Al_2O_3$ ; на 2/3 высоты снизу охлаждают холодильниками.

Внутренняя часть колошника выполняется из литых стальных сегментов.

На охлаждение кладки, приходящейся на 1 м<sup>3</sup> объема доменной печи, расходуют 1,0 - 1,5 м<sup>3</sup> воды в час.

К *вспомогательным устройствам* доменной печи относятся:

- шихтовый двор, где хранятся, подготавливаются, взвешиваются загружаемые шихтовые материалы;
- литейные дворы, которые обеспечивают печи чугуновозами и шлаковозами;
- воздухонагреватели;
- две водопроводные магистрали, подающие воду для охлаждения горна и лещади;
- газоуловители и газоочистители, которые улавливают доменный (колошниковый) газ и очищают его от пыли.

### **3. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ И НАГЛЯДНЫЕ ПОСОБИЯ**

3.1. Натуральные образцы материалов, используемых для производства металлов и сплавов (руды, флюсы, топливо, огнеупорные материалы, ферросплавы).

3.2. Схема устройства доменной печи.

3.3. Кинофрагменты технологического процесса выплавки чугуна.

### **4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

4.1. Ознакомиться с пособием, натуральными образцами материалов и операциями их подготовки, схемами установок для подготовки руд к плавке.

4.2. Изучить устройство доменной печи, доменного цеха, кинофрагменты технологического процесса выплавки чугуна.

4.3. Оформить отчет по работе.

## **5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

5.1. Описание цели работы.

5.2. Краткая характеристика, назначение материалов, используемых для производства металлов, способов их подготовки к плавке.

5.3. Схема доменного производства, доменной печи и воздухонагревателя.

5.4. Краткое описание устройства доменной печи.

## **6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

6.1. Перечислите основные железные руды, используемые для выплавки чугунов.

6.2. Назовите виды топлива, используемые в металлургических печах.

6.3. Изложите сущность способов окускования руды.

6.4. Перечислите основные части профиля доменной печи.

## **7. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Технология конструкционных материалов: учебник для студентов машиностроительных ВУЗов / Под общей редакцией А.М. Дальского. – М.: Машиностроение, 2003. – 512 с.

2. Колесов С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебник для вузов / С.Н. Колесов. – М.: Высшая школа, 2004. – 512 с.

3. Технология конструкционных материалов (Технологические процессы в машиностроении): учебник для студентов машиностроительных специальностей ВУЗов в 4 ч. / Под общей ред. Э.М. Соколова, С.А. Васина, Г.Г. Дубенского. – Тула, Издательство ТулГУ. – 2007.

# «ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### Производство стали

#### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Ознакомиться с сущностью процесса производства стали, устройством основных плавильных агрегатов, способами разливки стали.

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

##### 2.1. Сущность процесса

*Сталью* называют деформируемый (ковкий) сплав железа с углеродом и другими примесями (содержание углерода в стали обычно не превышает 1,5 %, теоретически до 2,14 %). Кроме углерода, сталь всегда содержит в небольших количествах примеси: марганец (до 0,6 %), кремний (до 0,4 %), фосфор (до 0,06 %), серу (до 0,06 %), что связано с особенностями технологии ее выплавки. Кроме углеродистых сталей, в технике широко применяют легированные стали, в состав которых входят хром, никель и другие элементы. Существует свыше 1500 марок углеродистых и легированных сталей - конструкционных, инструментальных, коррозионностойких (нержавеющих) и др.

Значение стали в народном хозяйстве чрезвычайно важно. Нет практически ни одной отрасли хозяйства, где бы не применяли сталь. В настоящее время годовая выплавка стали в мире составляет свыше 1600 млн. т., в том числе в нашей стране более 70 млн. т.

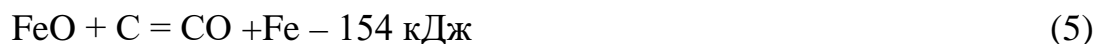
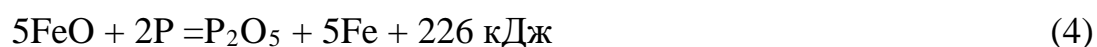
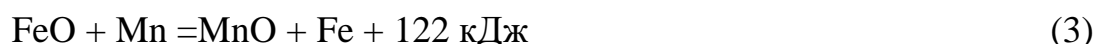
Основными «массовыми» способами выплавки стали являются конвертерный (>60% от всего мирового объема выплавляемой стали) и в электропечах (≈40%).

*Основными материалами для производства стали* являются переплавочный чугун и стальной лом (скрап). В чугуне значительно больше углерода, а также марганца, кремния и других примесей, чем в выплавляемой стали. Поэтому

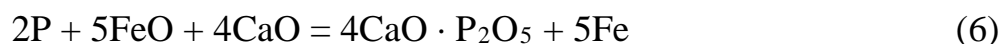
сущностью передела чугуна (или чугуна и стального лома) в сталь является снижение содержания углерода и примесей путем их избирательного окисления и перевода в шлак и газы в процессе плавки.

Процессы выплавки стали осуществляют в несколько этапов.

*Первый этап* - расплавление шихты и нагрев ванны жидкого металла. На этом этапе интенсивно окисляется железо и примеси по реакциям:



Чем больше оксида железа содержится в жидком металле, тем активнее окисляются примеси. В связи с этим для ускорения окисления примесей в сталеплавильные агрегаты добавляют железную руду, окалину, содержащие много оксидов железа. Наиболее важной задачей первого этапа является удаление фосфора - одной из вредных примесей в стали. Удаление фосфора возможно при плавлении металла в печи, имеющей основную футеровку, при использовании основного шлака, содержащего СаО. Оксид кальция СаО при невысоких температурах характерных для первого этапа плавки, связывает ангидрид Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub> в шлак:



Т.о., невысокая температура ванны, наличие в шлаке FeO и повышенное содержание в нем СаО являются необходимыми условиями удаления из стали фосфора.

*Второй этап* – «кипение» металлической ванны - начинается по мере ее прогрева до более высоких температур, чем на первом этапе. Кипение ванны вызывают пузырьки оксида углерода СО, образующиеся в результате протекания реакции (5). Эта реакция является основной в металлургическом переделе чугуна в сталь, потому что при протекании этой реакции уменьшается содер-

жание углерода в металле до требуемого. При «кипении» выравниваются температура и химический состав по объему ванны, частично удаляются неметаллические включения, прилипающие к всплывающим пузырькам CO, а также другие газы (H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>), проникающие в пузырьки CO. Все это способствует повышению качества металла.

В этот же период создаются условия для удаления из металла другой вредной примеси – серы. Сера в стали находится в виде сульфида FeS, который также растворяется в основном шлаке.

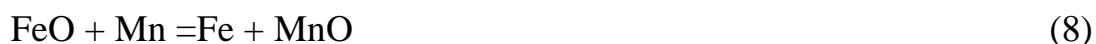
Чем выше температура, тем большее количество FeS растворяется в шлаке, взаимодействуя с оксидом кальция:



Высокая температура расплава, повышенное содержание CaO в шлаке, минимальное содержание в шлаке FeO являются необходимыми условиями удаления из стали серы.

Примечание. В сталеплавильных печах с кислой футеровкой нет условий для уменьшения количества фосфора и серы в стали, так как использовать в них основной шлак с высоким содержанием (CaO) нельзя из-за разрушения футеровки. Поэтому в кислых печах можно выплавлять сталь только из шихтовых материалов с малым количеством серы и фосфора.

*Третий этап* (завершающий) - раскисление стали – заключается в удалении из расплава кислорода, присутствующего в виде оксида железа FeO, который понижает механические свойства стали, особенно при высоких температурах. Одним из способов раскисления является осаждающее раскисление, которое осуществляют введением в жидкую сталь раскислителей (ферромарганца, ферросилиция, алюминия), содержащих элементы (Mn, Si, Al и др.), обладающие большим сродством к кислороду, чем железо:



Образующиеся оксиды  $MnO$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  имеют меньшую плотность, чем сталь, и удаляются в шлак.

По степени раскисления различают кипящую, спокойную и полуспокойную сталь. *Кипящая* - наименее раскисленная сталь, образующаяся при раскислении одним ферромарганцем. Эта сталь «кипит» в изложнице в результате взаимодействия имеющегося в металле  $FeO$  и углерода:



В слитках кипящей стали не образуется усадочная раковина; усадка стали рассредоточена по полостям газовых пузырей, возникающих при кипении стали в изложнице. При прокатке слитка газовые пузыри завариваются.

*Спокойная сталь* - полностью раскисленная (ферромарганцем, ферросилицием, алюминием). Спокойная сталь затвердевает без выделения газов, в верхней части слитка образуется усадочная раковина, а в средней - усадочная осевая рыхлость. Для устранения усадочных дефектов слитки спокойной стали отливают с прибылью. Сталь в прибыли долгое время остается жидкой и питает слиток, а усадочная раковина располагается в прибыли, которую при прокатке отрезают.

*Полуспокойная сталь* имеет промежуточную раскисленность между спокойной и кипящей, частично раскисляется в печи и ковше, а частично - в изложнице. Полуспокойная сталь сохраняет преимущества спокойной и кипящей стали и не имеет их недостатков. Слиток имеет в нижней части структуру спокойной стали, а в верхней - кипящей. Ликвация (неоднородность химического состава) в верхней части слитков полуспокойной стали меньше, чем у кипящей, и близка к ликвации спокойной стали, но без усадочной раковины.

Легирование стали осуществляют введением в расплав необходимого количества ферросплавов или чистых металлов.

## **2.2. Производство стали в кислородных конвертерах**

*Кислородно-конвертерный процесс* - это выплавка стали из жидкого чугуна в конвертере с основной футеровкой и продувкой технически чистым



(>99,5%) кислородом через водоохлаждаемую фурму.

*Кислородный конвертер* (рис. 1) - это сосуд 3 грушевидной формы, изготовленный из стального листа и выложенный изнутри основным кирпичом 4; емкость 130... 500 т жидкого чугуна. Конвертер на цапфах 5 можно поворачивать вокруг горизонтальной оси на 360°. Перед плавкой конвертер наклоняют, через горловину 2 загружают скрап (не более 30%), заливают чугун при температуре 1250 ... 1400 °С. После этого конвертер поворачивают в вертикальное положение, внутрь его вводят фурму 1 и через нее подают кислород под давлением 0,9...1,4 МПа. Одновременно с началом продувки в конвертер загружают известь, железную руду.

В зоне контакта кислородной струи с чугуном в первую очередь окисляется железо. Образующийся оксид железа обогащает металл кислородом, что приводит к интенсивному окислению кремния, марганца, углерода (см. реакции (1) ... (5)). При этом происходит разогрев ванны теплотой, выделяющейся при окислении примесей.

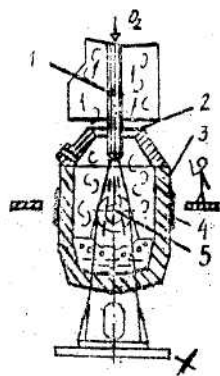


Рис. 1. Схема устройства кислородного конвертера:  
1 - фурма; 2-горловина; 3 -кожух; 4-футеровка; 5-цапфа

Подачу кислорода заканчивают, когда содержание углерода в металле соответствует заданному. После этого конвертер поворачивают и выпускают сталь в ковш. В процессе выпуска сталь раскисляют в ковше осаждающим методом (ферромарганцем, ферросилицием и алюминием (см. реакции (8)...(10))). Продолжительность плавки составляет 25...50 мин.

Наибольшее распространение в мире получила комбинированная продув-

ка кислородом сверху и нейтральным газом снизу; через донные фурмы могут вдуваться не только аргон или азот, но и  $\text{CO}_2$  с интенсивностью до  $0,1\text{ м}^3/(\text{т} \cdot \text{мин})$  и даже  $\text{CO}$ .

Преимуществами кислородно-конвертерного способа являются высокая производительность процесса, простота устройства печи, отсутствие необходимости использования топлива для нагрева металла, невысокие эксплуатационные расходы.

Однако из-за быстроты процесса в кислородных конвертерах трудно выплавлять стали в узко заданном интервале по содержанию углерода, а также стали, содержащие легкоокисляющиеся легирующие элементы. Поэтому в конвертерах выплавляют низколегированные (до 2...3 % легирующих элементов) стали, конструкционные стали с различным содержанием углерода, кипящие и спокойные.

### 2.3. Производство стали в мартеновских печах

*Мартеновская печь* (рис. 2) - пламенная отражательная регенеративная печь. Рабочее пространство печи снизу ограничено подиной 9, сверху сводом 10, а с боков передней 5 и задней стенками. Основную мартеновскую печь футеруют магнезитовым кирпичом, кислую мартеновскую печь - диносовым кирпичом. В передней стенке печи имеются загрузочные окна 4 для подачи шихты и флюса, а в задней - отверстие для выпуска готовой стали.

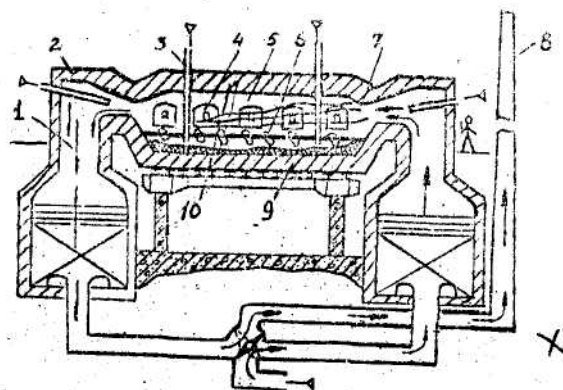


Рис.2. Схема мартеновской печи:

- 1-регенератор; 2-головка; 3-фурма; 4 - загрузочное окно;  
5-передняя стенка; 6 - шихта; 7- факел;  
8 - дымовая труба; 9- подина; 10 - свод

Для подогрева воздуха и газа печь имеет два регенератора 1. Регенератор - это камера из огнеупорного кирпича, выложенного в клетку. Отходящие из печи газы нагревают насадку регенератора до 1250...1280 °С. Вдуваемый в печь воздух, проходя через регенератор, нагревается до температуры 1000...1200 °С и поступает в головку печи 2, где смешивается с топливом; на выходе из головки образуется факел 7, имеющий температуру 1750...1800 °С. В качестве топлива в мартеновских печах используется природный газ или мазут.

Отходящие газы проходят через противоположную головку, направляются во второй регенератор, нагревая его насадку, и покидают печь через дымовую трубу 8. После охлаждения насадки регенератора клапаны переключаются, и поток газов в печи изменяет направление.

В зависимости от исходных материалов мартеновский процесс делится на скрап-процесс и скрап-рудный процесс. При *скрап-процессе* шихта содержит до 60...85 % стального лома и 15...40 % передельного чугуна, а при *скрап-рудном процессе* основной частью шихты является жидкий чугун, а остальное - небольшие добавки скрапа (10...15 %), железной руды и флюсов. Скрап-рудный процесс осуществляется на заводах, имеющих доменное производство, а скрап-процесс - в металлургических цехах машиностроительных заводов. Физико-химические основы окисления примесей, удаления фосфора и серы, раскисления стали аналогичны описанному в разделе 2.1.

В нашей стране были построены мартеновские печи вместимостью 200...900 т жидкой стали. Мартеновский процесс обеспечивает возможность переработки в неограниченном количестве стального лома, а также чугуна (даже твердого) любого состава. Вместе с тем процесс отличается большой продолжительностью (4...12 ч) и худшими технико-экономическими показателями. Так, себестоимость мартеновской стали на 3...5 % выше себестоимости кислородно-конвертерной стали, а удельные капиталовложения больше на 20...30 %. 12 большегрузных мартеновских печей могут быть заменены двумя конвертерами по 400 т каждый. По этой причине выплавку в мартеновских печах со-

кращают и новые печи не строят. Стали с высокой температурой плавления и улучшенными качественными показателями выплавляют в электропечах.

## 2.4. Производство стали в электрических печах

Плавильные электропечи бывают дуговыми и индукционными. *Дуговая электрическая печь* (рис. 3) питается трехфазным током и имеет три цилиндрических электрода 9 из графитизированной массы. Между электродами и шихтой 3 возникают электрические дуги с температурой до 6000 °С.

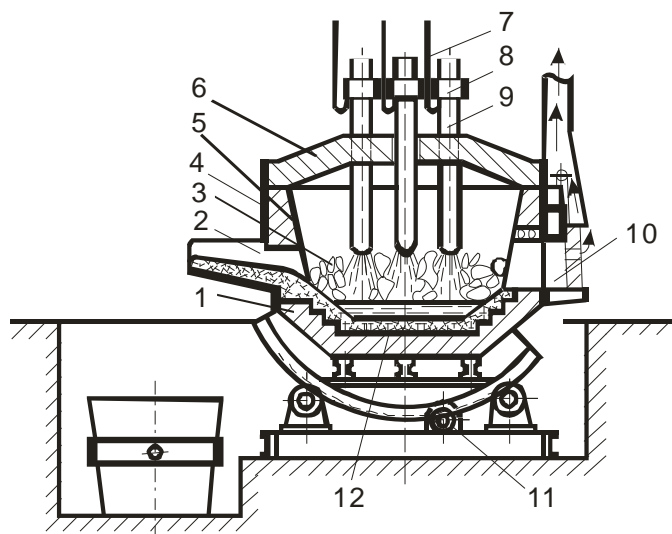


Рис. 3. Схема дуговой электрической плавильной печи:

1-футеровка; 2-летка; 3-металлическая шихта; 4-кожух; 5-стенка; 6-свод; 7-кабель; 8-электрододержатель; 9-электрод; 10-рабочее окно; 11-механизм наклона; 12-набивная подина

Стальной кожух 4 печи футеруется огнеупорным кирпичом 1, основным (магнезитовым, магнезитохромитовым) или кислым (динасовым). Печь загружают при снятом своде 6. После загрузки шихты электроды через отверстия в своде опускаются и включается ток. Выпуск готового металла происходит через летку 2. При выпуске металла печь наклоняется на 45° в сторону выпускного отверстия. Если надо выпустить шлак, печь наклоняется на 10...15° в сторону рабочего окна 10.

Шихта для плавки в дуговых печах содержит 90...100 % стального скрапа и до 10 % передельного чугуна. Емкость современных дуговых печей доходит

до 200...400 т.

В дуговых печах выплавляют высококачественные углеродистые и легированные стали - конструкционные, инструментальные, жаропрочные, жаростойкие и др.

Преимущества дуговых электропечей:

1) возможность получения самых высококачественных сталей и тугоплавких сплавов с минимальным количеством газов, вредных примесей и неметаллических включений;

2) гибкость работы при всех режимах и характерах производства, с использованием твёрдой и жидкой завадки с любым количеством дешевого стального лома;

3) самый маленький угар металла и особенно легирующих примесей по сравнению со всеми плавильными агрегатами;

4) простота устройства, компактность и лёгкость обслуживания печей.

Основными недостатками дуговых печей являются местный перегрев расплава под электродами, науглероживание стали углеродом электродов, поэтому выплавлять стали с очень низким содержанием углерода в них нельзя.

*Индукционные плавильные печи* (рис. 4) представляют собой тигель 4, вокруг которого располагается спиральный многovitковый индуктор 3, выполненный из медной трубки, в которой циркулирует вода для охлаждения. Через индуктор проходит переменный ток повышенной частоты 500...2000 Гц. Загруженный в тигель металл находится в переменном электромагнитном поле и разогревается мощными вихревыми токами (токи Фуко). Тигель изготавливают из кислых (кварцит) или основных (магнезитовый порошок) огнеупоров. Вместимость тигля 60 кг...25 т.

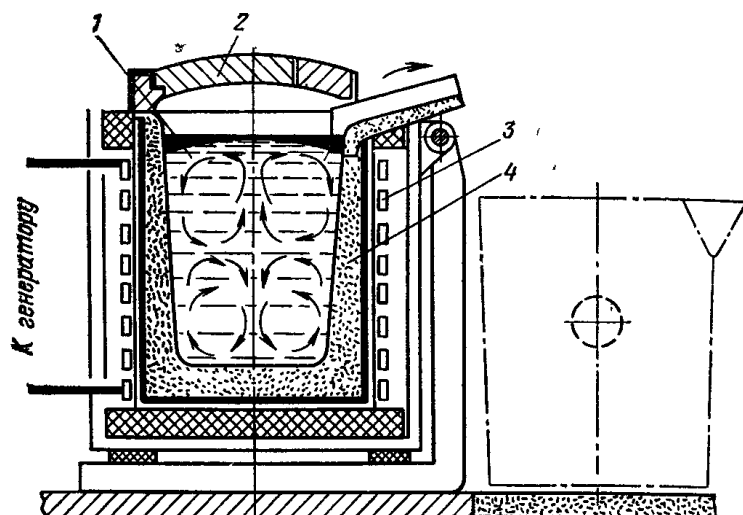


Рис. 4. Схема индукционной тигельной плавильной печи:  
1-металл; 2-съёмный свод; 3-водоохлаждаемый индуктор; 4-тигель

Индукционные печи имеют преимущества перед дуговыми: в них отсутствует электрическая дуга, что позволяет выплавлять сталь с низким содержанием углерода, газов и малым угаром элементов. При плавке в металле возникают электродинамические силы, которые перемешивают металл в печи и способствуют выравниванию химического состава, всплыванию неметаллических включений. Небольшие размеры печей позволяют помещать их в камеры, где можно создавать любую атмосферу или вакуум.

Однако эти печи имеют малую стойкость футеровки, и температура шлака в них недостаточна для протекания металлургических процессов между металлом и шлаком.

Используя чистую от вредных примесей шихту, в индукционных печах выплавляют высококачественные стали и сплавы, чугун различных марок, выплавляют сталь и сплавы из легированных отходов методом переплава или из чистого железа и скрапа с добавкой ферросплавов методом сплавления.

## 2.5. Разливка стали

Выплавленную сталь выпускают из плавильной печи в разливочный ковш, из которого ее разливают в изложницы (ёмкостью от нескольких килограмм до 300 т и более) или кристаллизаторы машины для непрерывного литья заготовок (МНЛЗ).

Существует два способа разливки стали в изложницы: разливка сверху (рис. 5, а) и разливка сифоном (рис. 5, б). При разливке сверху каждая изложница заполняется металлом отдельно. Преимущество – простота конструкции. Недостатки: разбрызгивание металла с образованием неровностей на поверхности слитка, обязательна обработка поверхности слитка; трудно регулировать скорость подачи металла.

При разливке сифоном металл заливается в центральный литник, от которого металл по каналам плавно без разбрызгивания подводится к изложницам снизу. Поверхность слитка получается чистой, ровной и гладкой, не требующей обработки; можно разливать большую массу металла одновременно в несколько изложниц (до 60). Недостатки – около 20 % металла теряется в литниковой системе; дороговизна и трудоемкость процесса.

Для обычных углеродистых сталей используют разливку сверху, а для легированных и высококачественных - разливку сифоном.

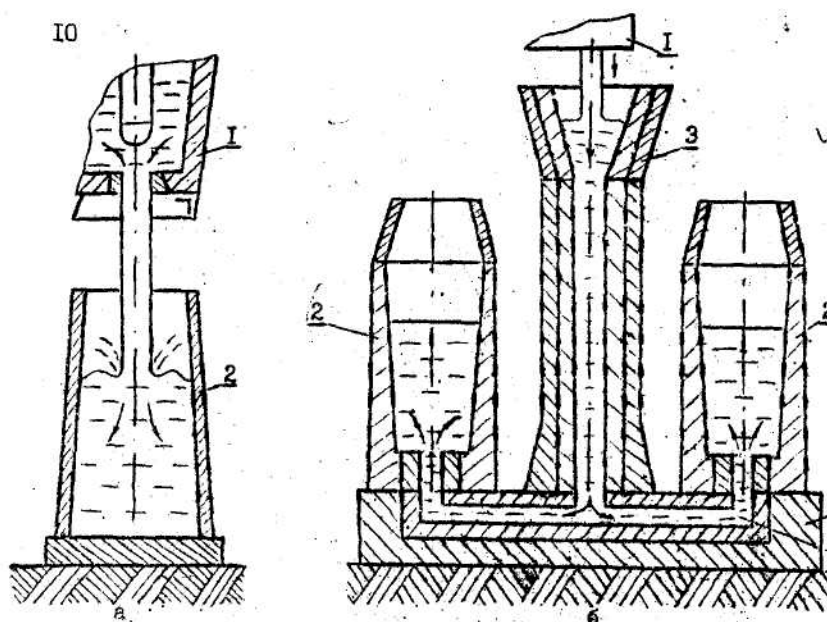


Рис. 5. Разливка стали в изложницы:  
а - сверху; б - сифоном; 1-сталеразливочный ковш; 2-изложница;  
3-центральный литник; 4-поддон; 5-соединительный канал

Наиболее прогрессивным способом разливки стали является *непрерывная*



разливка (рис. 6), при которой металл из ковша 1 через промежуточный ковш 2 непрерывно подают в водоохлаждаемую изложницу без дна – медный кристаллизатор 3, из нижней части которого вытягивается затвердевающий слиток 4. Окончательное затвердевание слитка происходит в зоне вторичного охлаждения 6. Затем затвердевший слиток попадает в зону резки 7, где разрезается газовым резаком 8 на части заданной длины. На МНЛЗ отливают слитки с прямоугольным, квадратным и круглым поперечным сечением.

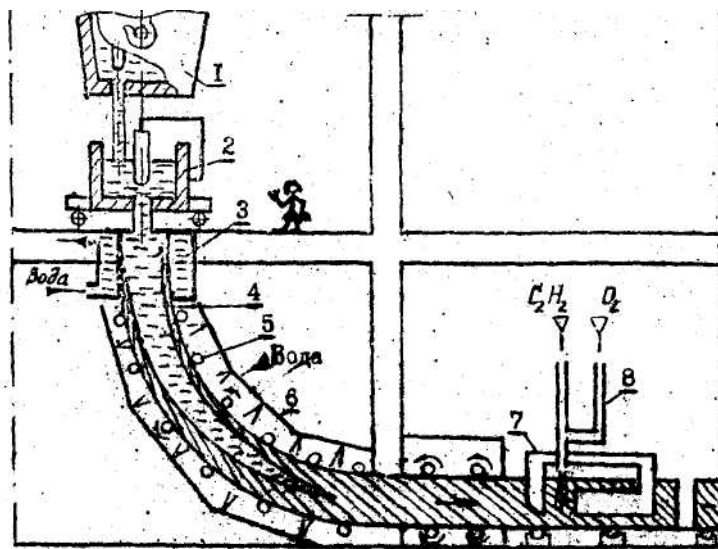


Рис. 6. Схема машины непрерывного литья заготовок:

- 1 - ковш; 2 - промежуточный ковш; 3 - кристаллизатор;
- 4 - затвердевающий слиток; 5 - тянущие валки;
- 6 - зона вторичного охлаждения; 7 - зона резки; 8 - газовый резак

Преимущества непрерывной разливки перед разливкой в изложницы:

- 1) процесс непрерывный, исключается необходимость подготовки составов с изложницами, прокатки слитков на обжимных станах, блюмингах и слябингах;
- 2) слитки, полученные на МНЛЗ, имеют плотную, мелкозернистую структуру, отсутствуют усадочные раковины, характеризуются высокой однородностью механических свойств в продольном и поперечном направлениях;
- 3) слитки имеют гладкую, ровную поверхность, не требующую дополнительной обработки;
- 4) выход годных заготовок может достигать 96 ... 98% массы разливае-

мой стали вместо 75 ... 80 % при разливке в изложницы.

Недостатки – дорогостоящие установки, большие габариты.

### **3. ОБЪЕКТЫ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ**

3.1. Натурные образцы сталей - темплеты, вырезанные из слитков, полученных на МНЛЗ.

3.2. Схемы плавильных агрегатов, установок МНЛЗ.

3.3. Кинофрагменты технологических процессов выплавки стали в различных плавильных агрегатах.

### **4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

4.1. Ознакомиться с основами теории процессов выплавки стали, устройством основных сталеплавильных агрегатов и способами разливки металла.

4.2. Ответить на контрольные вопросы.

### **5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА**

5.1. Цель и задачи работы.

5.2. Теоретические сведения по технологии производства и разливки стали.

### **6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

6.1. Опишите три этапа выплавки стали.

6.2. Сравните особенности производства стали в различных плавильных агрегатах, их преимущества и недостатки.

6.3. Назовите основные способы разливки стали, их достоинства и недостатки.

### **7. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Технология конструкционных материалов / А.М. Дальский, И.А. Арutyюнова, Т.М. Барсукова и др. - М.: Машиностроение, 1985. - 448 с.

2. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. Общая металлургия. - М.: Металлургия, 1985.- 480 с.

# «ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### Технология изготовления отливок в песчаных формах

#### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Изучить операции ручной формовки в парных опоках, заливку металла в форму, охлаждение и выбивку отливок. Рассчитать процент выхода годного литья от металлозавалки.

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Сущность процесса изготовления отливки состоит в получении жидкого сплава и заливки его в заранее приготовленную литейную форму. При охлаждении сплав затвердевает и сохраняет конфигурацию рабочей полости этой формы. Общая схема технологического процесса изготовления отливок в песчаных формах приведена на рис. 1.

*Формовкой* называют процесс изготовления разовых литейных форм. Это комплекс трудоёмких и ответственных технологических операций, во многом определяющий качество производимых отливок. Литейную форму изготавливают из формовочной смеси по модельному комплекту.

*Формовочная смесь* – многокомпонентная смесь материалов, соответствующая условиям технологического процесса изготовления литейных форм. Для её приготовления в качестве исходных формовочных материалов используется формовочный песок, литейные формовочные глины и вспомогательные материалы (мазут, графит, торф и другие). Основную массу смеси (90%) составляет оборотная смесь, подготовленная для повторного употребления в качестве составляющей части формовочной смеси.

Формовочная смесь подразделяется на облицовочную, наполнительную и единую. Из *облицовочной смеси* изготавливают рабочий слой формы. Это наиболее качественная смесь. *Наполнительная смесь* используется для наполнения

форм после нанесения на поверхность модели рабочего слоя из облицовочной смеси. В её состав входит 90-98% оборотной смеси.

*Единой* называют смесь, которая используется одновременно в качестве облицовочной и наполнительной смеси. Эта смесь применяется при механизированном и автоматизированном производстве отливок.

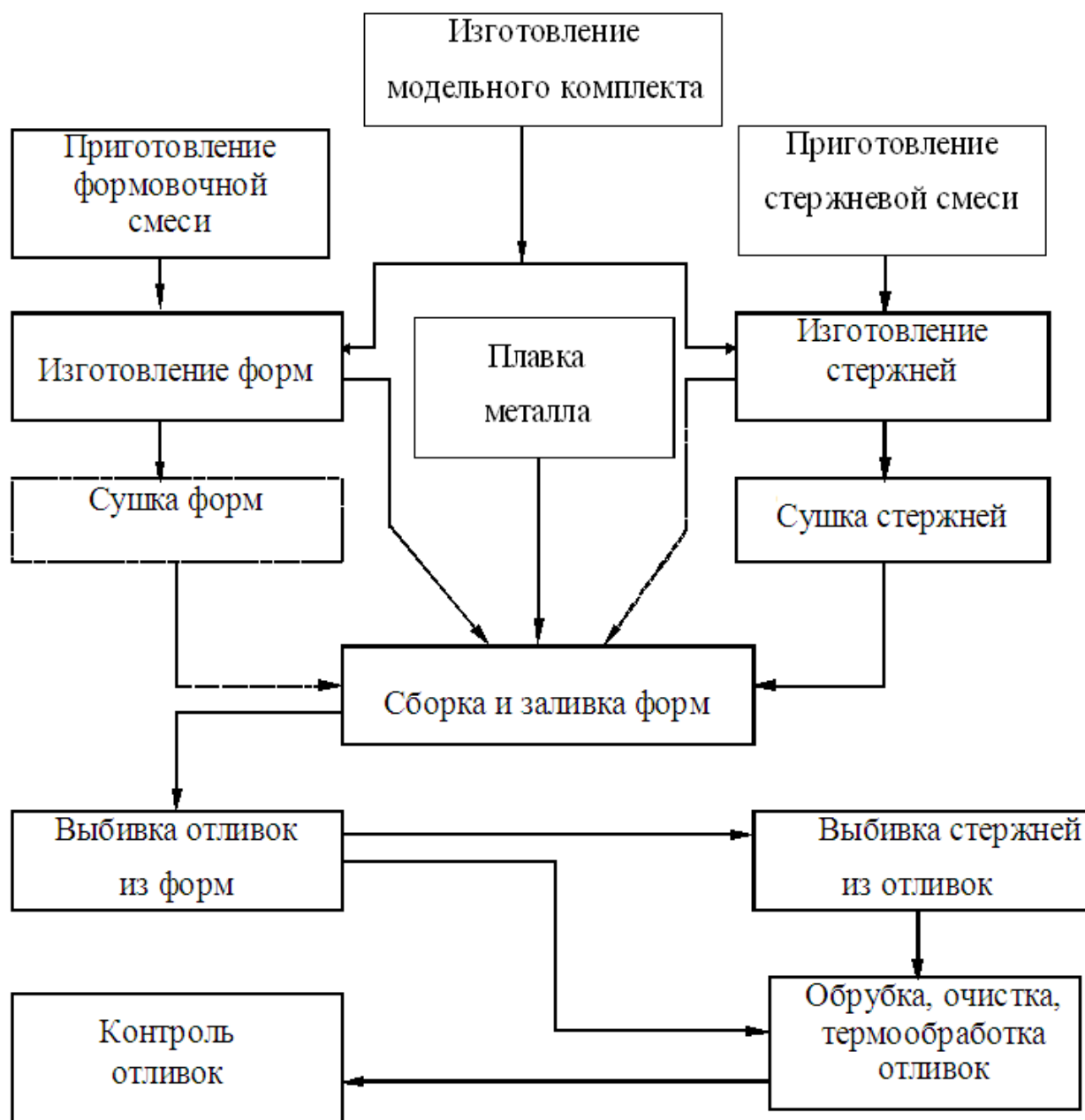


Рис. 1. Схема технологического процесса изготовления отливок в песчаных формах

*Стержневая смесь* – многокомпонентная смесь материалов, соответствующая условиям технологического процесса изготовления литейных стерж-

ней. Она должна иметь более высокие огнеупорность, газопроницаемость, податливость, легко выбиваться из отливки. Стержневую смесь для сложных стержней получают смешиванием кварцевого песка с различными связующими материалами (синтетические смолы, олифа, сульфитно-спиртовая барда и др.) Вводятся также технологические добавки - древесные опилки, торф, гранулированный уголь, мазут и другие.

*Модельный комплект* - это приспособления (оснастка), необходимые для образования при формовке рабочей полости литейной формы. Он включает в себя литейную модель, стержневые ящики (один или несколько), модели литниковой системы, модельные плиты и другие приспособления, которые изготавливаются из дерева, алюминиевых сплавов, пластмасс, а иногда из чугуна, стали, медных сплавов.

*Литейная модель* - приспособление, при помощи которого в литейной форме получают отпечаток, соответствующий конфигурации отливки. Модели бывают неразъемные и разъемные. По наружной геометрической форме модель соответствует конфигурации отливки и отличается от готовой литой детали на величину усадки металла, припуска на механическую обработку и наличием формовочных уклонов, позволяющих извлекать модель из формы в процессе формовки.

Для получения в отливке внутренних полостей в литейную форму при сборке помещают *стержни*, которые предварительно изготавливают из стержневой смеси по стержневым ящикам - приспособлениям, имеющим рабочую полость для получения в ней стержня нужных размеров и очертаний.

Формовку производят в специальных металлических приспособлениях (рамках), называемых *опоками*, которые служат для удержания формовочной смеси при выполнении литейной формы, транспортировке и заливке ее расплавленным металлом. Верхняя и нижняя опоки (ВО - верхняя опока, НО - нижняя опока) между собой фиксируются с помощью спаривающих штырей.

В зависимости от конфигурации отливок, их размеров и сложности, а также условий и характера производства формовку производят:

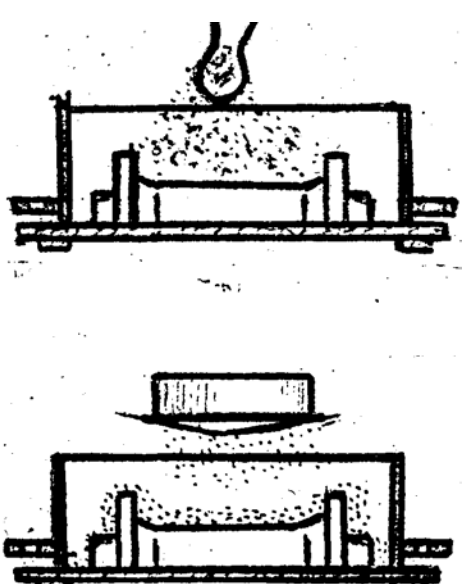
- по неразъемной (цельной) модели;
- по разъемной модели;
- по модели со сложными разрезами.

Формовка по цельной модели применяется в производстве простых отливок без внутренних полостей и конструктивных выступов на поверхности (рис. 2).

В производстве сложных отливок форму обычно изготавливают по разъемной модели с последующей простановкой стержней (рис. 3).

Итак, формовка - это технологический процесс изготовления форм и стержней из формовочных и стержневых смесей по модельным комплектам с последующей сборкой их под заливку металлом. Формовка включает уплотнение формовочной смеси, позволяющее получить точный отпечаток модели в форме и придать необходимую прочность смеси; устройство в форме вентиляционных каналов для выхода из полости формы образующихся газов и пара при заливке расплавленного металла; извлечение моделей из формы; отделку и сборку формы.

## 2.1. Основные операции ручной формовки

Операции ручной формовки	Эскиз
<p>1. Подготовка модели к формовке (осмотр) и установка ее на подмодельную плиту. Если модель разъемная, то устанавливается разъемом на плиту нижняя половина модели и нижняя опока. Модель обдувается сжатым воздухом и для предотвращения прилипания формовочной смеси припыливается серебристым графитом, ликоподием или мелким сухим песком.</p> <p>2. При ручной формовке на модель наносится через сито слой облицовочной смеси толщиной 15-25 мм и уплотняется на модели обжатием руками.</p>	

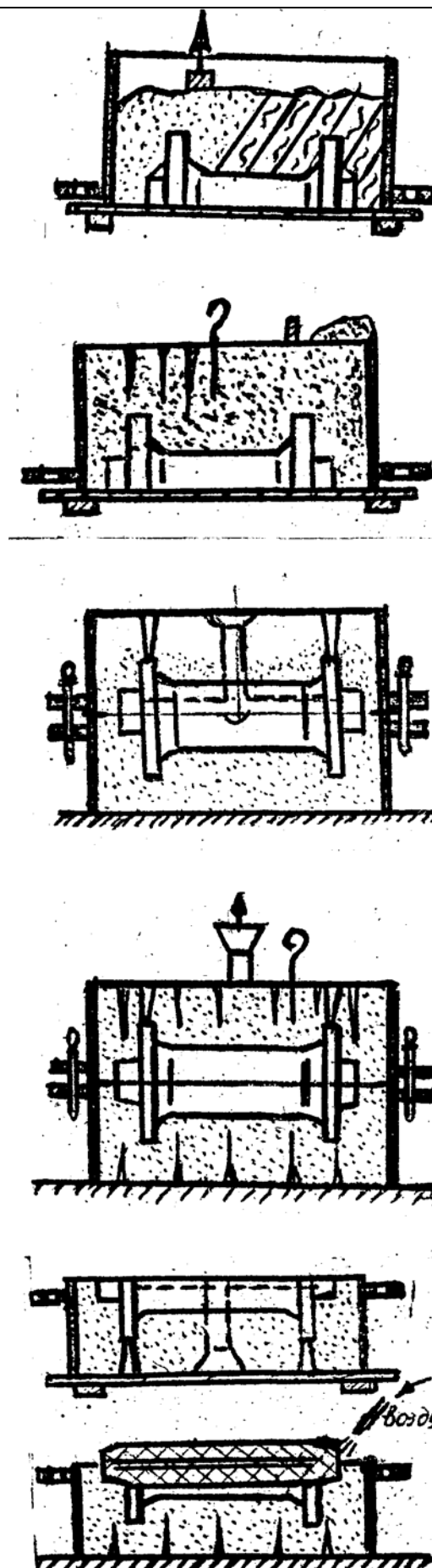
3. Порционно засыпается и уплотняется с помощью ручной или пневматической трамбовки наполнительная смесь. (При машинной формовке уплотнение смеси производится формовочной машиной.)

4. С помощью линейки-счищальки удаляется по верхнему ладу опоки излишек смеси и душником накалываются вентиляционные каналы (духа). Количество наколов в зависимости от площади опоки колеблется от 5 до 15 на  $\text{дм}^2$ .

5. Нижняя полуформа переворачивается на  $180^\circ$ . При машинной формовке модель механически удаляется, при ручной - на половину модели, находящуюся в нижней полуформе, накладывается вторая половина модели со спаривающимися шипами. На нижнюю опоку по спаривающим штырям устанавливают верхнюю опоку. Устанавливают модели шлакоуловителя, стояка, выпоров. Поверхность полуформы по разъему посыпается разделительным песком, и производится набивка верхней опоки формовочной смесью. При этом повторяются те же операции, что и при набивке нижней опоки.

6. Удаляются модели стояка и выпоров, накалываются вентиляционные каналы.

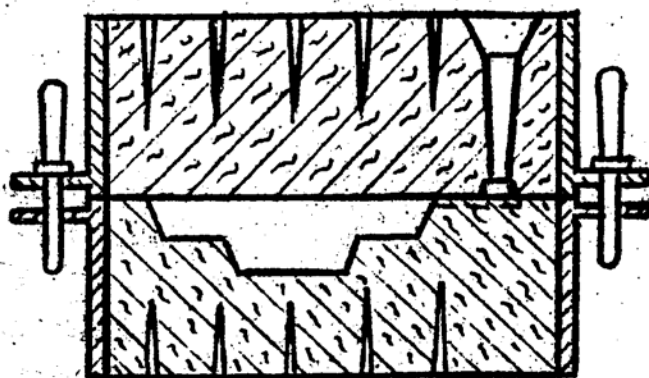
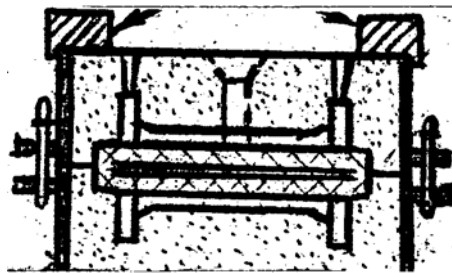
7. Верхняя полуформа снимается с нижней и переворачивается на  $180^\circ$ . Извлекаются модели (собственно модель, модель шлакоуловителя и питателей). С помощью гладилки и других инструментов отделяются поврежденные места формы.



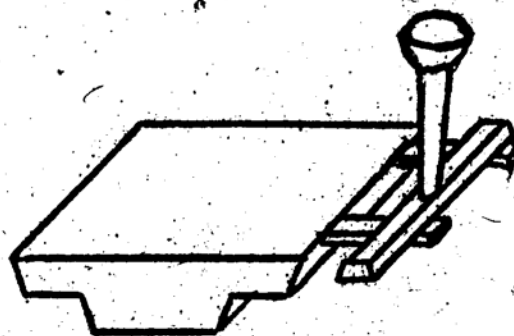


В нижнюю полуформу ставятся стержни. Форма обдувается сжатым воздухом для удаления сора и пыли.

8. Нижняя полуформа осторожно по спаривающим штырям накрывается верхней полуформой. Для предупреждения подъема верхней опоки в период заливки обе половинки скрепляются скобами или на верхнюю опоку перед заливкой ставится груз определенного веса.

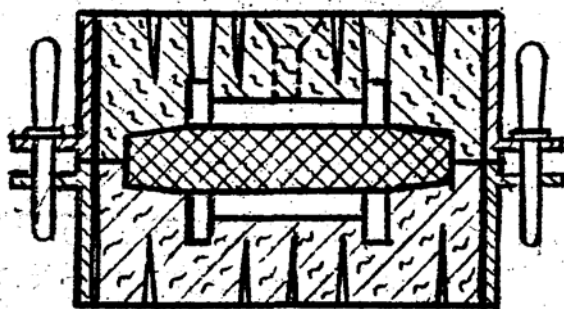


а

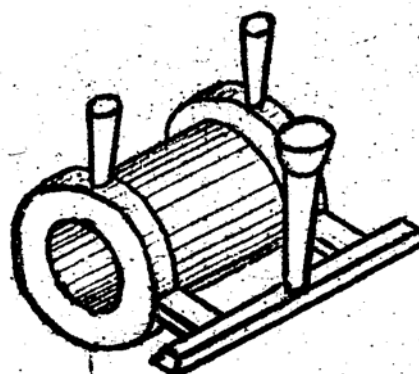


б

Рис. 2. Формовка по неразъемной модели: а - литейная форма в сборе; б - отливка с литниковой системой



а



б

Рис. 3. Формовка по разъемной модели: а - литейная форма в сборе;

## 2.2. Литниковая система

*Литниковой системой* называется совокупность каналов и элементов литейной формы для подвода расплавленного металла в полость формы, обеспечения ее заполнения и питания отливки при затвердевании.

Литниковая система имеет следующие основные элементы (рис. 4):

- *литниковая чаша* (или *воронка*) 1 - резервуар для приема жидкого металла из ковша, частичного удержания шлака и передачи металла в стояк;
- *стояк* 2 - вертикальный канал, обычно суживающийся книзу, предназначенный для передачи металла из чаши к другим элементам литниковой системы (литниковому ходу, питателям);
- *литниковый ход* 3 (называемый «шлакоуловителем» в производстве чугуновых отливок и «коллектором» в производстве цветного литья) - это горизонтальные каналы, предназначенные для передачи металла из стояка к питателям и частичного удержания шлака;
- *питатели* (литники) 4 - каналы, предназначенные для передачи металла непосредственно в полость формы.

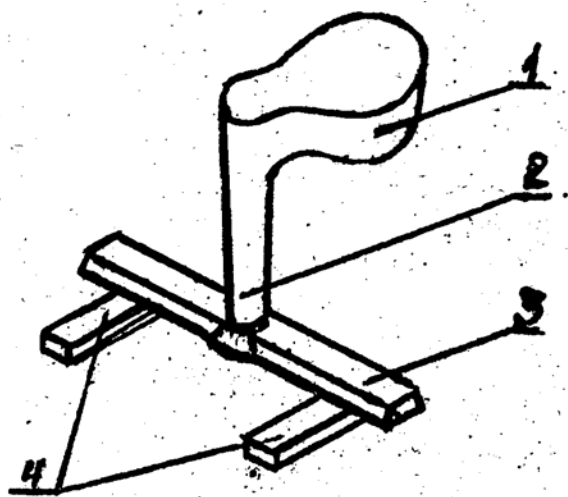


Рис. 4. Основные элементы литниковой системы

Для вывода газов из полости формы и визуального контроля ее заполнения металлом делаются *выпоры*. Их располагают на наиболее высоких частях отливки в форме.

### **2.3. Методические указания по разработке технологического процесса изготовления песчаных форм**

В зависимости от конструкции отливки выбирают способ формовки, плоскость разъёма и положение формы при заливке. При этом следует руководствоваться следующим:

1. Плоскость разъёма располагается таким образом, чтобы части модели свободно извлекались из формы.

2. Желательно, чтобы вся отливка или большая её часть располагалась в нижней опоке, что необходимо для предотвращения брака по перекосам и смещениям.

3. Следует стремиться к тому, чтобы отливка формировалась с минимальным количеством стержней.

4. Для получения более плотного металла в ответственных частях отливки необходимо их располагать в нижней полуформе.

5. Поверхности, которые служат базой при механической обработке, должны располагаться в одной полуформе.

Выбрав расположение отливки в форме, можно определить конструкцию литниковой системы и рассчитать площади сечений её каналов.

В наиболее простых и широко применяемых литниковых системах металл подводится к отливке по плоскости разъёма. Шлакоуловитель располагается в верхней полуформе, а питатели - в нижней.

При изготовлении отливок из серого чугуна подводить металл следует в тонких сечениях. В этом случае скорость охлаждения в толстых и тонких сечениях отливки выравнивается, что способствует снижению внутренних напряжений. При получении отливок из стали металл обычно подводят в толстые сечения, что обеспечивает направленное затвердевание отливки и хорошую работу прибылей.

## **2.4. Заливка, охлаждение и выбивка отливок**

Приготовленный в плавильной печи жидкий металл поступает на заливку форм в ковшах, которые предварительно футеруют огнеупорным материалом, просушивают и прогревают до температуры 750-850 °С (для сплавов железа).

Металл заливают в форму при определённой температуре его перегрева. Разрыв струи во время заливки не допускается. Залитая металлом форма охлаждается до определённой технологическим процессом температуры, а затем разрушается, и извлекается отливка. Использованная формовочная смесь поступает на переработку, а отливка - на очистку и обработку.

## **3. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ И НАГЛЯДНЫЕ ПОСОБИЯ**

3.1. Камерная электропечь сопротивления.

3.2. Опоки.

3.3. Модельные плиты, модели.

3.4. Инструмент: лопата, сито, совок, трамбовка, гладилка, линейка, душник.

3.5. Формовочная смесь.

3.6. Сплав силумин.

## **4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ**

Изучить технологический процесс изготовления отливки в песчаной форме, изготовить литейную песчаную форму, залить её жидким сплавом, после затвердевания выбить отливку, очистить и визуально установить дефекты.

## **5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

5.1. В условиях литейной лаборатории кафедры способом ручной формовки изготовить песчаную форму в двух опоках (вариант отливки и соответствующего модельного комплекта выбирается по указанию преподавателя).

5.2. Приготовить в электрической печи алюминиевый сплав силумин.

5.3. Залить литейную форму этим сплавом.

- 5.4. Охладить форму и выбить отливку.
- 5.5. Визуально определить качество полученной отливки.
- 5.6. Взвесить отливку, литниковую систему, выпоры и др.
- 5.7. Убрать рабочие места.

## **6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

- 6.1. Описать технологический процесс изготовления отливки.
- 6.2. По заданному варианту отливки описать последовательность операций формовки и дать эскиз литейной формы в сборе.
- 6.3. Привести эскиз конструкции литниковой системы для заданного варианта отливки.
- 6.4. Оценить качество полученной отливки.
- 6.5. Рассчитать выход годного литья по формуле:

$$\text{В.Г.(\%)} = (Q / P) * 100,$$

где  $Q$  - масса отливки;  $P$  - масса шихтовых материалов, расходуемых на отливку,

$$P = Q + Q_{\text{л.с.}} + Q_{\text{п.}} + Q_{\text{у.}} + Q_{\text{б.п.}},$$

где  $Q_{\text{л.с.}}$  - масса литниковой системы;  $Q_{\text{п.}}$  - масса прибылей;  $Q_{\text{у.}}$  - масса металла, угоревшего в процессе плавки;  $Q_{\text{б.п.}}$  - масса безвозвратных потерь металла, брызги, выплески и т.д.

При расчете принять  $(Q_{\text{у.}} + Q_{\text{б.п.}}) = 2-3 \%$  от массы металлозавалки на данную отливку.

## **7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 7.1. Из каких материалов изготавливают модели?
- 7.2. Что входит в модельный комплект?
- 7.3. Какие основные элементы литниковой системы?
- 7.4. Основные компоненты, входящие в состав формовочной смеси.
- 7.5. Каково назначение вентиляционных каналов (духов)?
- 7.6. Основные требования к заливке металла в форму.
- 7.7. Что такое выход годного литья?

## **8. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Технология конструкционных материалов: учебник для студентов машиностроительных ВУЗов / Под общей редакцией А.М. Дальского – М.: Машиностроение, 2003. – 512 с.
2. Колесов С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебник для вузов / С.Н. Колесов. – М.: Высшая школа, 2004. – 512 с.
3. Технология конструкционных материалов (Технологические процессы в машиностроении): учебник для студентов машиностроительных специальностей ВУЗов в 4 ч. / Под общей ред. Э.М. Соколова, С.А. Васина, Г.Г. Дубенского. – Тула, Издательство ТулГУ. – 2007.

# «ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### Литье в оболочковые формы

#### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Ознакомление с технологическим процессом изготовления оболочковых форм и отливок данным способом.

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

*Литье в оболочковые формы* является одним из наиболее прогрессивных методов производства отливок из чугуна, стали и некоторых цветных сплавов, отличающихся повышенной точностью размеров и чистотой поверхности.

Данным способом получают изделия путем заливки расплавленного металла в формы в виде оболочек. Последовательность операций технологического процесса изготовления оболочковых форм и получения в них отливок представлена на рис. 1.

Точность полученных отливок достигает 0,3 - 0,5 мм на 100 мм, в особых случаях можно получить точность 0,2 мм на 100 мм. Припуски на механическую обработку могут быть уменьшены до 0,25 - 0,55 мм, чистота поверхности соответствует 4 - 6 классам.

Благодаря высокой точности и чистоте поверхности отливок, объем механической обработки деталей сокращается до 40 - 50 % (в отдельных случаях механическая обработка может быть полностью исключена), снижается до 30 - 50 % масса заготовок, уменьшается до 50 % трудоемкость очистных и обрубных работ и в 8 - 10 раз оборот формовочных материалов.

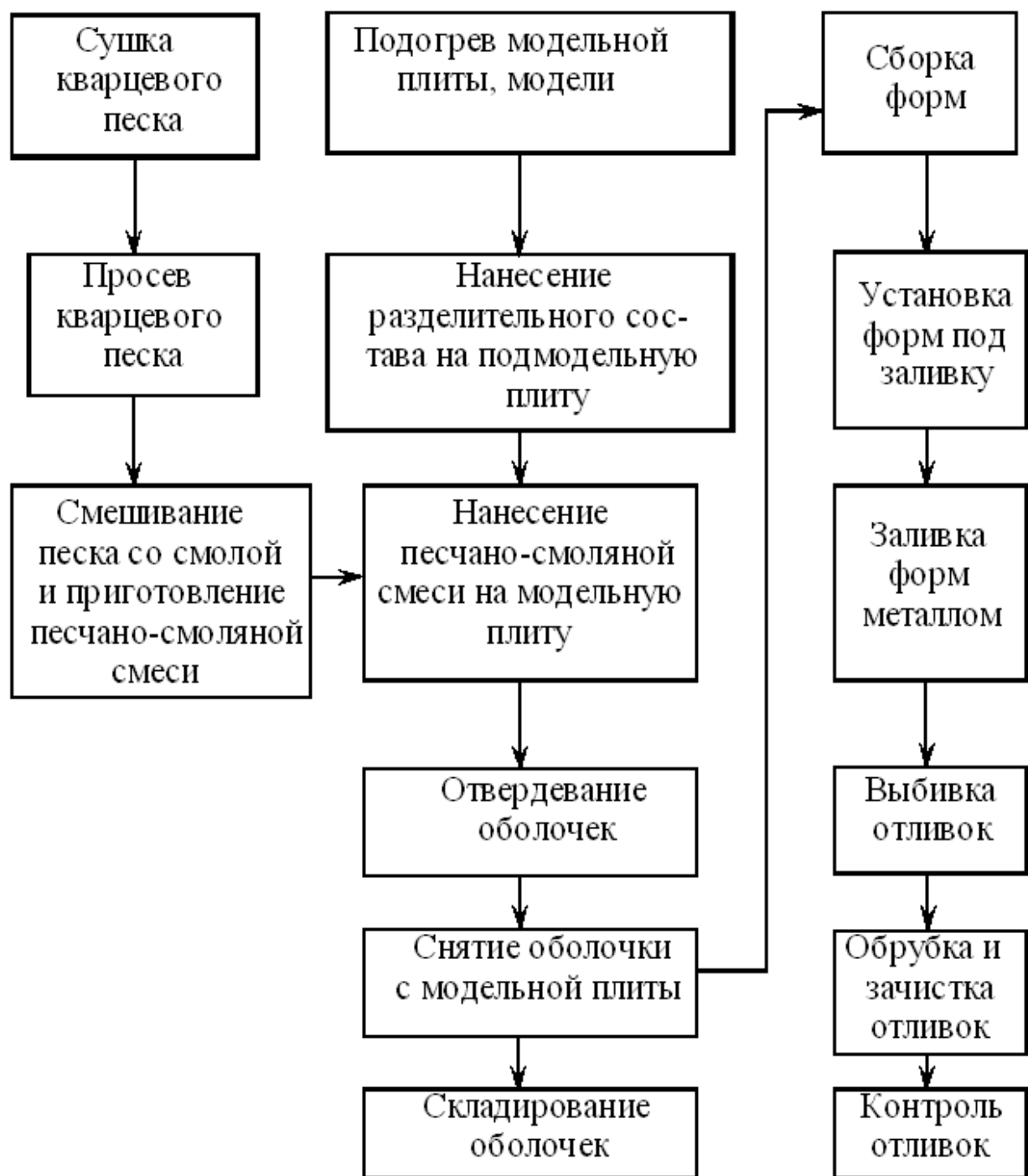


Рис. 1. Последовательность операций при изготовлении отливок в оболочковых формах

Способ литья в оболочковые формы является высокоэффективным для изготовления сложных тонкостенных отливок, отличается простотой оснастки



и небольшими капитальными затратами на оборудование для механизации и автоматизации производства. Прочная, сухая и газопроницаемая оболочковая форма обеспечивает получение отливок без газовых раковин, перекосов, трещин, засоров и позволяет изготавливать отливки с более тонкими стенками (3-15 мм), чем при обычном литье.

Оболочковые формы негигроскопичны, хорошо выдерживают транспортировку, их можно хранить длительное время.

Хорошие технологические свойства оболочковых форм позволяют заливать металл при более низкой температуре по сравнению с той, которая обычно рекомендуется для каждого сплава.

Недостатками данного способа литья являются:

- 1) высокая стоимость смоляных связующих;
- 2) повышенное выделение вредных химических веществ в ходе термического разложения смоляного связующего;
- 3) ограничения по массе отливок (до 100 кг), т.к. для получения тяжелых отливок прочность оболочек недостаточна. Чаще всего этим методом отливают изделия массой от 1 до 30 кг.

Литье в оболочковые формы нашло применение во многих отраслях машиностроения (детали для автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных машин) и приборостроения.

## **2.1. Приготовление формовочной песчано-смоляной смеси**

При изготовлении оболочковых форм применяются следующие материалы:

1. Кварцевый песок (содержание окиси кремния должно быть не менее 96 %, глины - до 2 % и окиси железа - не более 1,05 %).
2. Пульвербакелит (смесь новолачной смолы с уротропином).

3. Технический фурфурол - бесцветная, быстротемнеющая жидкость с приятным запахом. Температура кипения 162°C. Получается обработкой разбавленными кислотами (серной, соляной) растительных материалов-отрубей, опилок, лузги подсолнечника. Технический фурфурол - растворитель pulver-бакелита.

4. Силиконовая жидкость (кремнийорганические соединения) - разделительная смазка.

5. Озокерит (горный воск) - разделительная смазка.

6. Формальдегидная смола МФ-17 - состав для склеивания.

7. Ортофосфорная кислота или хлористый аммонит - ускорители для за-твердевания клея.

8. Древесная мука или декстрин - наполнители для клея.

Рекомендуемые рецептуры формовочных смесей приведены в таблице.

Для приготовления смеси применяют шнековый смеситель или центро-бежные бегуны.

Таблица

Рецептура формовочных смесей

№ смеси	Наименование смеси	Компоненты смеси, весовых частей			
		Песок, 50/100	Песок, 100/200	Пulver-бакелит	Фурфурол
1	Для отливок из чугуна	80	70	6	1,0-1,1
2	Для отливок из стали	-	100	7	1,1-1,2
3	Для отливок из алюминия	-	100	7	1,1

Загрузка компонентов смеси производится в определенной последовательности:

1. Перемешивание просушенного и просеянного крупного и мелкого песка - 5 мин.
2. Перемешивание песка с фурфуролом - 1 - 1,5 мин.
3. Перемешивание смеси с пульвербакелитом- 5 мин.

Формовочная песчано-смоляная смесь может быть не плакированной и плакированной.

В *неплакированной смеси* смола находится в порошкообразном состоянии. В смесители или бегуны загружают сухой кварцевый песок 93 - 94 %, вводят увлажнитель, керосин, жидкий бакелит (0,2 - 0,5 %), перемешивают 5 - 7 мин. и вводят порошкообразную смолу – пульвербакелит (6 - 7 %). Смесь перемешивают в течение 10 - 16 мин. и просеивают.

В *плакированной смеси* зерна песка плакированы, т.е. покрыты пленкой твердой смолы. Такая смесь не расслаивается, формы имеют более высокую прочность, газопроницаемость. Плакированные смеси приготавливают горячим или холодным способом.

При *горячем плакировании* в смесители загружают нагретый до 100-120°C кварцевый песок и порошкообразный пульвербакелит. Смола плавится, обволакивает зерна песка, на их поверхности после охлаждения образуются пленки отвердевшей смолы.

При *холодном плакировании* вводимая в формовочную смесь смола растворяется в ацетоне, техническом спирте или других растворителях.

При перемешивании в бегунах зерна песка покрываются тонкой пленкой раствора, а после испарения растворителя - твердой пленкой смолы.

После перемешивания смесь сушат, просеивают и выдерживают 6 - 25 ч для выветривания остатков ацетона.

## 2.2. Технологический процесс получения оболочковых полуформ

Сущность технологического процесса литья в оболочковые формы состоит в следующем: предварительно нагретую одностороннюю плиту с металлическими моделями покрывают формовочной смесью из песка и термореактивной искусственной смолы (пудербакелита). Под действием тепла смола в слое смеси, прилегающем к модели и плите, плавится и на модельной плите образуется однородная полутвердая песчано-смоляная оболочка. После удаления избытка смеси модельная плита с образовавшейся на ней полутвердой оболочкой подвергается дополнительному нагреву в печи для отвердевания оболочки.

Твердую оболочку - полуформу снимают с модельной плиты и соединяют с соответствующей ей другой оболочковой полуформой. При этом проставляют стержни, как при обычной формовке. Полуформы скрепляют зажимами или склеивают по разъему.

Полученную оболочковую форму заливают расплавом, а затем выбивают затвердевшую отливку

Для предотвращения прилипания оболочек к модельной плите и для облегчения их съема модельную плиту покрывают разделительным составом - силиконовой жидкостью. Затем плиту нагревают до температуры 200 - 250°C.

Нагретую металлическую модельную плиту 1 с моделями закрепляют на опрокидывающем бункере 2 (рис. 2, а) с формовочной смесью 3 и поворачивают его на 180° (рис. 2, б).

Формовочная смесь насыпается на модельную плиту и выдерживается 10-30 с. От теплоты модельной плиты термореактивная смола в пограничном слое плавится, склеивает песчинки с образованием однородной полутвердой песчано-смоляной оболочки 4 толщиной 5-20 мм в зависимости от времени

выдержки. Бункер возвращается в исходное положение (рис. 2, в), излишки формовочной смеси сыплются на дно бункера, а модельная плита с образовавшейся оболочкой снимается с бункера и нагревается в печи (рис. 2, г) при температуре 350-400 °С в течение 1,5-2 мин, при этом термореактивная смола переходит в твердое необратимое состояние. Твердая оболочка снимается с модели специальными толкателями (штифтовые механизмы) (рис. 2, д). Аналогично получают вторую полуформу.

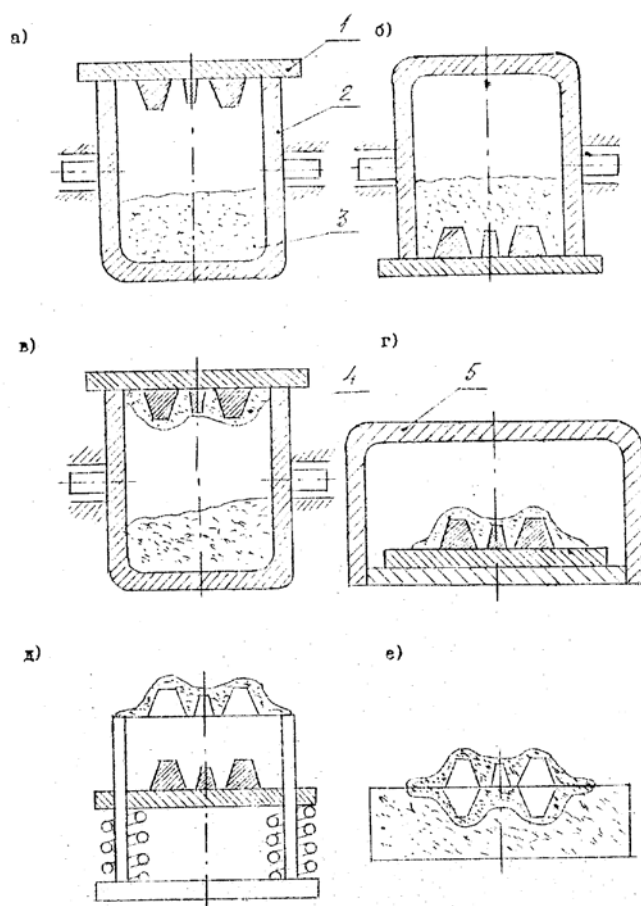


Рис. 2. Схема технологического процесса изготовления отливки в оболочковой форме

### 2.3. Сборка форм и подготовка к заливке

Готовые оболочковые формы получают путем соединения обеих полуформ механическим методом (используя скобы и струбцины) или химическим (склеивая быстротвердеющим клеем на специальных прессах). Предварительно в формы устанавливают литейные стержни.

#### **2.4. Заливка форм**

Заливка форм производится в горизонтальном или вертикальном положении. Собранные формы небольших размеров с горизонтальной плоскостью разъема укладывают для заливки на слой песка.

Формы с вертикальной плоскостью разъема и крупные формы для предохранения от коробления и преждевременного разрушения оболочки при заливке расплава устанавливают в опоки-контейнеры и засыпают кварцевым песком или металлической дробью (рис. 2, е).

Подготовленную литейную форму заливают расплавом через литниковую систему.

#### **2.5. Выбивка отливок**

Процесс выбивки и освобождения отливок от песчано-смоляной смеси значительно облегчается благодаря тому, что после заполнения формы металлом и выгорания связующей смолы прочность формы теряется.

### **3. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ И НАГЛЯДНЫЕ ПОСОБИЯ**

3.1. Модельная плита универсальная, модели.

3.2. Песчано-смоляная смесь.

3.3. Шнековый смеситель ШС-400.

3.4. Центробежные бегуны маятникового типа.

3.5. Сито для просеивания смеси.

3.6. Банка с разделительной жидкостью.

- 3.7. Металлическая щетка.
- 3.8. Наполнительная рамка, скобы.
- 3.9. Электродпечь сопротивления.
- 3.10. Весы.
- 3.11. Алюминиевый сплав.

#### **4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ**

Изготовить отливку из алюминиевого сплава методом литья в оболочковые формы.

#### **5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

- 5.1. Ознакомиться с описанием работы.
- 5.2. Подготовить песчано-смоляную смесь.
- 5.3. Произвести подогрев модельной плиты до температуры 220-260 °С.
- 5.4. Нанести слой разделительной жидкости на рабочую поверхность модельной плиты.
- 5.5. Нанести ровным слоем песчано-смоляную смесь на модельную плиту, выдержать 15-25 с, ссыпать излишки смеси в ящик.
- 5.6. Модельную плиту с образовавшейся оболочкой поместить в печь и выдержать в течение 1,2-2 мин при температуре 350-400 °С.
- 5.7. Снять оболочковую полуформу с модельной плиты.
- 5.8. Произвести сборку литейной формы: проставить в нижнюю полуформу стержни, накрыть верхней половиной и скрепить половинки стальными скобами.
- 5.9. Произвести заливку формы жидким металлом.
- 5.10. Выбить затвердевшую отливку.

#### **6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

- 6.1. Описание цели работы.
- 6.2. Описание технологии производства отливок в оболочковых формах.

6.3. Эскизы последовательности операций формовки при литье в оболочковые формы.

6.4. Оценка качества изготовленных литейной формы и отливки.

## **7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

7.1. Каковы преимущества способа литья в оболочковые формы по сравнению с литьем в песчаные формы?

7.2. Из каких материалов изготавливают оболочковые формы?

7.3. В чем разница между плакированной и не плакированной формовочной смесью?

7.4. Каким образом осуществляется горячее и холодное плакирование-формовочной смеси?

7.5. Каковы основные этапы технологического процесса получения оболочковых полуформ?

7.6. Какими способами осуществляется сборка форм?

7.7. Каковы особенности заливки сплава в формы с вертикальной плоскостью разъема?

7.8. Какова область применения литья в оболочковые формы?

## **8. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Технология конструкционных материалов: учебник для студентов машиностроительных ВУЗов / Под общей редакцией А.М. Дальского – М.: Машиностроение, 2003. – 512 с.

2. Колесов С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебник для вузов/ С.Н. Колесов. – М.: Высшая школа, 2004. – 512 с.

3. Технология конструкционных материалов (Технологические процессы в машиностроении): учебник для студентов машиностроительных специальностей ВУЗов в 4 ч. / Под общей ред. Э.М. Соколова, С.А. Васина, Г.Г. Дубенского. – Тула, Издательство ТулГУ. – 2007.



# «ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### Литье в кокиль

#### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Изучение технологического процесса получения отливок в металлических формах (кокилях).

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

*Литье в кокиль* - это технологический процесс производства отливок в постоянных металлических формах, заполняемых под действием силы тяжести расплавленного металла (рис. 1).

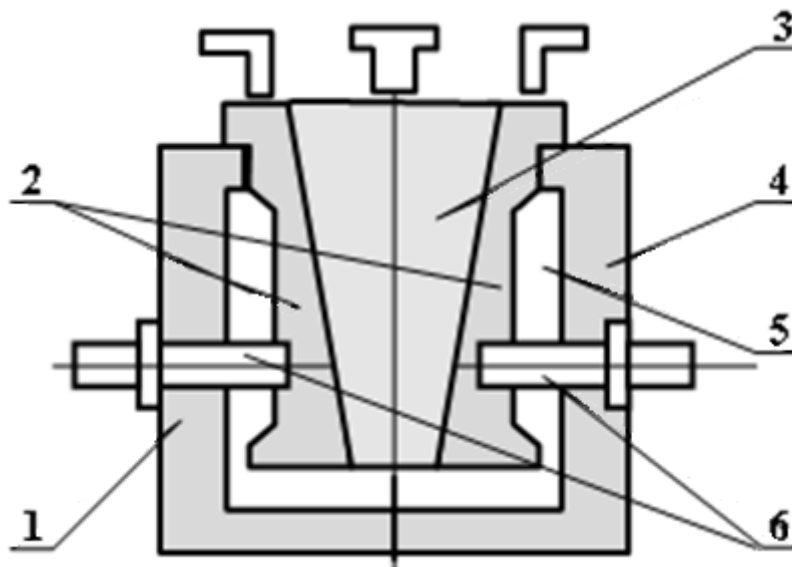


Рис. 1. Схема кокиля с вертикальным разъемом для отливки поршня автомобильного двигателя:

1 - левая половина кокиля; 2 - боковые части вертикального металлического стержня; 3 - средний клин вертикального стержня; 4 - правая половина кокиля; 5 - полость формы (отливка); 6 - горизонтальные металлические стержни для отверстий под пальцы

*Литье в кокиль* является одним из наиболее прогрессивных способов литейного производства. Оно широко применяется в массовом производстве отливок из алюминиевых, магниевых, медных сплавов, чугуна и стали.

*Кокили* изготавливают из чугуна, стали, алюминиевых сплавов. Рабочие поверхности кокилей из алюминиевых сплавов часто подвергают анодированию, т.е. электролитическим путем покрывают тонким слоем окиси алюминия, для повышения их стойкости.

**Основные операции технологического процесса.** Перед заливкой расплава новый кокиль подготавливают к работе: поверхность рабочей полости и разъем тщательно очищают от следов загрязнений, ржавчины, масла, проверяют легкость перемещения подвижных частей, точность их центрирования, надежность крепления.

С целью увеличения срока службы и снижения величины напряжений в отливках кокили перед заливкой нагревают до температуры 250 - 400 °С, на поверхность рабочей полости и металлических стержней наносят слой огнеупорного покрытия – облицовки и краски. Основной причиной разрушения кокиля являются сложные термохимические процессы, вызываемые неравномерным циклическим нагревом и охлаждением рабочей стенки кокиля во всех трех ее измерениях (по толщине, длине, ширине). Слой краски резко изменяет условия теплоотвода и облегчает удаление отливки из формы. Состав облицовок и красок зависит в основном от типа заливаемого сплава, а их толщина – от требуемой скорости охлаждения отливки: чем толще слой огнеупорного покрытия, тем медленнее отливка охлаждается. Вместе с тем слой огнеупорного покрытия предохраняет рабочую поверхность формы от резкого повышения ее температуры при заливке, оплавления и схватывания с металлом отливки.

Для уменьшения напряжений и трещин в отливках при кокильном литье необходимо применять сплавы с узким температурным интервалом кристаллизации, которые проявляют минимальную склонность к образованию трещин (чем больше скорость образования центров кристаллизации и меньше скорость их роста, тем меньше размер кристалла (зерна), выросшего из одного центра, и, следовательно, более мелкозернистой будет структура металла).

Стойкость кокилей зависит от рода заливаемого сплава, массы отливок и их сложности. Она может составлять от нескольких сот заливок (для стали) до сотен тысяч (для цветных сплавов), см. таблицу.

Таблица

Приблизительная стойкость кокилей

Заливаемый сплав	Отливки	Материал кокиля	Стойкость кокиля (число отливок)
Сталь	Мелкие	Чугун	400...600
	Крупные		50...100
Чугун	Мелкие	Чугун	1000...8000
	Крупные		200...1000
	Крупные	Сталь 15Л	400...1000
	Мелкие Средние	Медный сплав	3000...10000 3000...8000
Медные	Мелкие	Чугун	1000...10000
	Средние		1000...8000
	Мелкие	Сталь	1000...1500
	Средние		500... 3000
Цинковые,	Мелкие	Чугун	Сотни тысяч
магниевые,	Средние		Десятки тысяч
алюминиевые	Крупные		Несколько тысяч

Для быстрого и беспрепятственного извлечения отливок формы имеют необходимое число разъемов. В большинстве случаев разъемы располагают в вертикальных плоскостях с необходимым типом литниковой системы (верхней, сифонной, вертикально-щелевой). Раскрытие и закрытие кокилей, а также извлечение стержней из отливок осуществляется с помощью специальных механизмов (реечных, винтовых, эксцентриковых, рычажных) или машинами (механическими, пневматическими, гидравлическими).

Литье в кокиль имеет следующие преимущества по сравнению с литьем в песчано-глинистые формы:

1. Повышенная скорость охлаждения способствует получению плотных отливок с мелкозернистой структурой и уменьшению пористости газового происхождения.
2. Более высокие механические свойства отливок ( $\sigma_v$ , HB и  $\delta$  повышаются на 15 - 30 %).
3. Физико-химическое взаимодействие металла отливки и кокиля минимально, что определяет высокое качество поверхности отливки. Отливки не имеют пригара.
4. Кокиль имеет минимальную газотворность, определяемую в основном составами огнеупорных покрытий, наносимых на поверхность рабочей полости.
5. Большая точность размеров, экономия 40 - 50 % металла за счет снижения припусков на механическую обработку.
6. Форма многоразовая, процесс малооперационный: производительность труда возрастает в 4 - 5 раз.
7. Повышение съема годного металла с единицы производственной площади; снижение себестоимости изготовления отливок.
8. Значительная экономия или полное прекращение потребления формовочных и стержневых смесей.
9. Более высокая степень механизации и автоматизации технологического процесса.
10. Улучшение условий работы и общего санитарного состояния производства.

Однако способ литья в кокили имеет и недостатки:

1. Высокая стоимость кокиля, сложность и трудоемкость его изготовления.
2. Ограниченная стойкость кокиля, измеряемая числом годных отливок, которые можно получить в данном кокиле. От стойкости кокиля зависит экономическая эффективность процесса.

3. Неподатливость кокиля, которая приводит к появлению в отливках напряжений, а иногда и трещин.

4. Кокиль практически газонепроницаем, газовые раковины в кокильных отливках – явление нередкое. Поэтому расположение отливки в форме, способ подвода расплава и вентиляционная система должны обеспечивать удаление воздуха и газов из кокиля при заливке.

Преимущества и недостатки кокильного способа определяют в итоге рациональную область его использования. Вследствие высокой стоимости кокилей экономически целесообразно применять этот способ литья только в серийном или массовом производстве. Серийность при литье чугуна должна составлять более 20 крупных или более 400 мелких отливок в год, а при литье алюминия – не менее 400 - 700 отливок в год.

Литье в кокиль является одним из основных способов производства отливок с высокими физико-механическими свойствами для авиационной, химической, судостроительной и автомобильной промышленности (поршни, цилиндры, головки блоков цилиндров, корпуса насосов и другие детали).

### **3. ОБЪЕКТЫ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ**

- 3.1. Кокиль для отливки поршня.
- 3.2. Плавильная электропечь сопротивления.
- 3.3. Стальной тигель.
- 3.4. Алюминиевый сплав.
- 3.5. Огнеупорная краска.

### **4. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ**

- 4.1. Изучить теоретическую часть.
- 4.2. Изучить устройство и принцип работы кокилей.
- 4.3. Ознакомиться с технологией получения отливки.

### **5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

- 5.1. Посмотреть учебный кинофильм «Кокильное литье».
- 5.7. Дать оценку качеству отливки, полученной способом литья в кокиль.
- 5.8. Указать причины обнаруженных дефектов отливки.

## **6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА**

6.1. Название работы.

6.2. Цель и задачи работы.

6.3. Технологический процесс изготовления отливки поршня автомобильного двигателя.

6.4. Эскизы кокиля и полученной отливки.

6.5. Перечислить дефекты обнаруженной отливки и указать их причины.

## **7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

7.1. Что представляет собой технологический процесс литья в кокиль?

7.2. Благодаря чему при литье в кокиль обеспечиваются высокие физико-механические свойства отливок?

7.3. Из каких материалов изготавливают кокили?

7.4. От чего зависит стойкость кокилей?

7.5. Какие литниковые системы применяются при литье в кокиль?

7.6. Чем обеспечивается вентиляция кокилей?

## **8. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Степанов Ю.А., Баландин Г.Ф., Рыбкин В.А. Технология литейного производства. Специальные виды литья. - М.: Машиностроение, 1983. - 287 с.

2. Дальский А.М. и др. Технология конструкционных материалов. - М.: Машиностроение, 1977. - 664 с.

3. Сафронов В.Я. Справочник по литейному оборудованию. - М.: Машиностроение, 1985. - 320 с.

# «ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

### Ручная электродуговая сварка

#### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Ознакомление с основами ручной электродуговой сварки, сварочными материалами и оборудованием.

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

##### 2.1. Сущность процесса дуговой сварки

*Сваркой* называют технологический процесс получения неразъемных соединений за счет образования атомно-молекулярных связей между элементарными частицами сопрягаемых деталей при их местном или общем нагреве, пластическом деформировании или совместном действии того и другого.

При ручной дуговой сварке пост состоит из источника питания сварочной дуги, сварочных проводов, электрододержателя и электродов.

Дуга зажигается в результате прикосновения конца электрода, соединенного с одним полюсом источника тока, к свариваемому металлу, соединенному с другим полюсом того же источника, с последующим быстрым отводом электрода.

*Дуга* - это мощный стабильный разряд электричества в ионизированной атмосфере газов и паров металла. Ионизация дугового промежутка происходит во время зажигания дуги и непрерывно поддерживается в процессе ее горения. Процесс зажигания дуги включает в себя три этапа: короткое замыкание электрода на заготовку, отвод электрода на расстояние 3-6 мм и возникновение устойчивого дугового разряда. Короткое замыкание (рис. 1, а) выполняется для разогрева торца электрода 1 и заготовки 2 в зоне контакта с электродом. После отвода электрода (рис. 1, б) с его разогретого торца (катода) под действием электрического поля начинается эмиссия электронов 3. Столкновение быстро движущихся по направле-

нию к аноду электронов с молекулами газов и паров металла приводит к их ионизации 4. В результате дуговой промежуток становится электропроводным и через него начинает проходить электрический ток. Процесс зажигания дуги заканчивается возникновением устойчивого дугового разряда (рис. 1, в). Температура столба дуги 6 достигает 6000-7000 °С, а температура катодного 5 и анодного 7 пятен стальных электродов соответственно 2400 ° и 2600 °С.

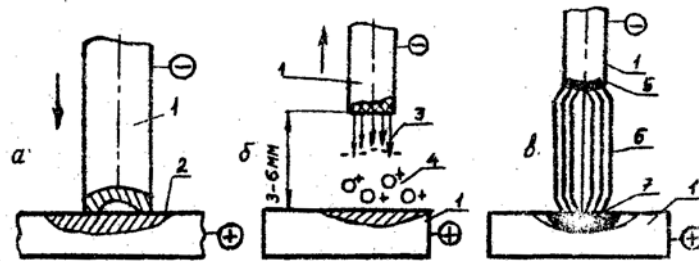


Рис. 1. Схема процесса зажигания дуги

До зажигания дуги напряжение между электродами и свариваемым изделием обычно составляет 50...60 В; в момент касания электродом изделия напряжение падает почти до нуля, а при нормальном ее горении поддерживается в пределах 16-30 В в зависимости от длины дуги и типа электрода.

Схема ручной дуговой сварки приведена на рис. 2.

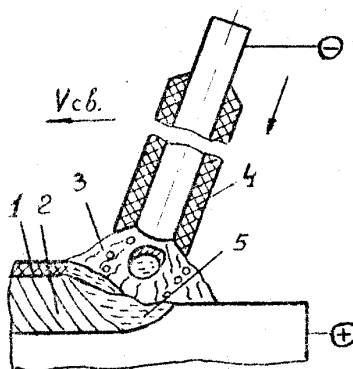


Рис. 2. Схема ручной дуговой сварки металлическим покрытым электродом

Стержень электрода плавится, и расплавленный металл каплями стекает в сварочную ванну 5. Вместе со стержнем плавится покрытие электрода 4, образуя



газовую и газослаковую защиту 3 дуги и сварочной ванны, которая изолирует их от воздуха. По мере движения дуги металл сварочной ванны затвердевает и образуется сварочный шов 2. Жидкий шлак по мере остывания образует на поверхности шва шлаковую корку 1.

## 2.2. Источники питания сварочной дуги

Для питания сварочной дуги применяют источники, работающие на переменном токе (сварочные трансформаторы) и постоянном токе (выпрямители, инверторы).

*Сварочные трансформаторы* являются наиболее простыми, долговечными, обладают высоким КПД. Трансформаторный источник питания относительно недорого стоит.

Но использование для сварки переменного тока имеет и определенные недостатки. У такого источника питания сварочной дуги большие габариты и очень большая масса. Дуга горит нестабильно, и сильно зависит от скачков питающего напряжения. Возникает необходимость в использовании специальных покрытых электродов. Перечень металлов и сплавов, которые можно варить переменным током (в основном это низкоуглеродистые стали), ограничен.

Наиболее простую схему имеют сварочные трансформаторы с отдельным дросселем (рис. 3), состоящие из двух отдельных частей: понижающего трансформатора 1 и дросселя 3, включенных последовательно в сварочную цепь.

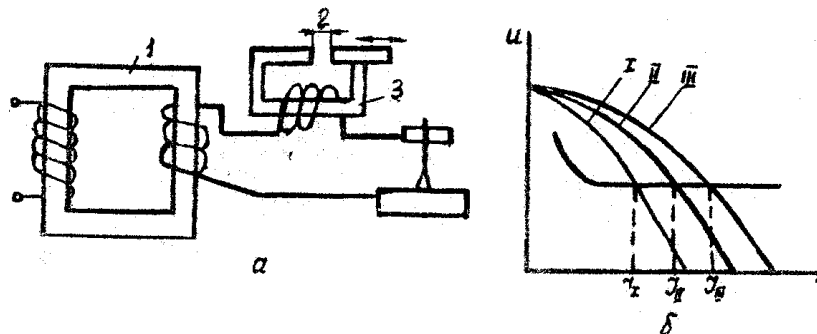


Рис. 3. Сварочный трансформатор:  
а - схема трансформатора с отдельным дросселем;  
б - внешние характеристики

При прохождении переменного тока через обмотку дросселя (рис. 3, а) в ней возбуждаются электродвижущие силы самоиндукции, направленные противоположно основному напряжению. В результате падения напряжения на дросселе источник сварочного тока получает падающую внешнюю характеристику.

Дроссель также служит для плавного регулирования сварочного тока путем изменения величины воздушного зазора 2 в его сердечнике. Так, например, с увеличением зазора индуктивное сопротивление дросселя уменьшается, а сварочный ток увеличивается (рис. 3, б, I-III).

Широко применяют трансформаторы с увеличенным магнитным рассеянием и подвижной вторичной обмоткой. В этих трансформаторах (рис. 4, а) первичная 1 и вторичная 2 обмотки раздвинуты относительно друг друга, что обуславливает их повышенное индуктивное сопротивление вследствие появления магнитных потоков рассеяния. При работе трансформатора основной магнитный поток  $\Phi_0$ , создаваемый первичной и вторичной обмотками, замыкается через железный сердечник 3. Часть магнитного потока ответвляется и замыкается вокруг обмоток через воздушное пространство, образуя потоки рассеяния  $\Phi_{s1}$  и  $\Phi_{s2}$ . Потоки рассеяния индуцируют в обмотках электродвижущую силу, противоположную основному напряжению. С увеличением сварочного тока увеличиваются потоки рассеяния и, следовательно, возрастает индуктивное сопротивление вторичной обмотки, что и создает внешнюю падающую характеристику трансформатора.

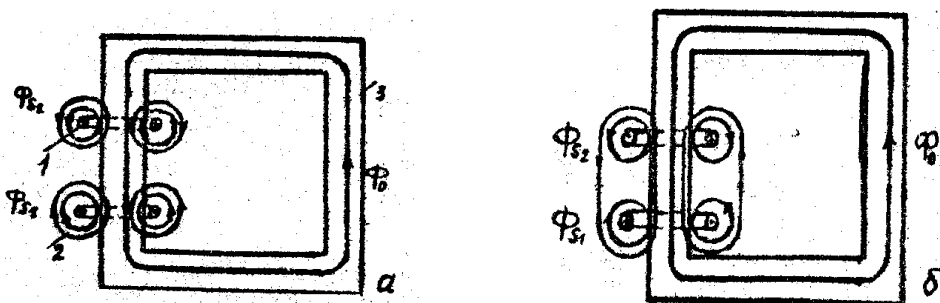


Рис. 4. Схемы сварочных трансформаторов с увеличенным магнитным рассеянием

## и подвижной вторичной обмоткой

Для плавного регулирования сварочного тока изменяют расстояние между обмотками трансформатора. При сближении обмоток (рис. 4, б) происходит частичное взаимное уничтожение противоположно направленных потоков рассеяния  $\Phi_{s1}$ , и  $\Phi_{s2}$ , что уменьшает индуктивное сопротивление вторичной обмотки и увеличивает сварочный ток. Минимальный сварочный ток соответствует наибольшему расстоянию между обмотками и максимальным потокам рассеяния.

*Выпрямитель* - это устройство, выпрямляющее переменный ток, т.е. преобразующее его в постоянный. Для этого используются полупроводниковые элементы на основе селена либо кремния.

У выпрямителей много достоинств. Это бесшумная работа, высокий КПД (выше, чем у трансформаторов), широкий диапазон использования (можно варить любые металлы и сплавы). У такого источника питания малые потери на холостом ходу, сравнительно небольшие габариты и вес, и малое потребление энергии.

Недостатков у них немного, но они существенные. Выпрямители достаточно дороги, сильно нагреваются во время рабочего процесса, поэтому нуждаются в хорошей системе охлаждения, за которой надо тщательно следить (пыль может вывести из строя систему охлаждения). Кроме того, они очень чувствительны к скачкам напряжения.

*Инверторы* - особый класс источников питания сварочной дуги. Благодаря малым размерам и удобству в обращении они активно используются там, где нужна мобильность, а также есть ограничения по мощности, которую можно взять от сети. Большинство инверторных источников питания сварочной дуги можно включать в обычную розетку без перегруза сети.

Инверторный аппарат осуществляет сварку переменным током высокой частоты, который он получает из постоянного тока, а его, в свою очередь - из промышленного переменного. В силу высокой частоты сварочного тока уже не требу-

ется сглаживания пульсаций. Выпрямленный ток подается непосредственно на сварочный электрод.

Инвертор позволяет увеличить частоту тока в 1000 раз - до 50 кГц. За счет этого удалось добиться существенного снижения размеров и веса аппарата.

Некоторые инверторные источники питания сварочной дуги позволяют производить сварку и постоянным, и переменным током.

К их достоинствам, кроме габаритов, относится малое энергопотребление, высокий уровень безопасности, плавная регулировка выходного тока и малое разбрызгивание расплава при сварке.

Однако аппарат нуждается в тщательном уходе и защите от пыли, чувствителен к отрицательным температурам и не дешев в ремонте.

### **2.3. Сварка на прямой и обратной полярности**

При применении постоянного тока различают сварку на прямой и обратной полярностях. В первом случае электрод подключают к отрицательному полюсу (катод), а во втором - к положительному (анод).

Основное отличие сварки прямой и обратной полярности – локализация точки максимального разогрева. *При прямой полярности* дуга получается плотной, сильнее нагревается металл; *при обратной полярности* формируется рассеянная область контакта дуги с металлом – электрод. Способ подключения полюсов зависит от толщины и физических свойств металла. Обратную полярность при сварке используют, когда нужно аккуратно проварить металл, без прожогов.

Подключение клемм зависит и от условий сварки. Прямая полярность подходит для обычной порошковой проволоки. На обратную полярность переходят, применяя защитный газ или используя флюсовую присадку.

### **2.4. Электроды для ручной дуговой сварки**

Для ручной дуговой сварки штучными электродами выпускают стальную проволоку диаметром 1,6 - 12 мм. Электроды с покрытием изготавливают длиной 250- 450 мм. Наибольшее применение получили электроды диаметром 4 и 5 мм,

длиной 400-450 мм.

По ГОСТ 2246-76 стальная сварочная проволока разделяется на три группы: низкоуглеродистая (Св-08, Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА, Св-10Г2 и другие), легированная (Св-12ГС, Св-08Т2С, Св-10ГН, Св-08ГСМ) и высоколегированная (Св-12Х11НМФ, Св-12Х13, Св-10Х17Т и другие). Обозначение легирующих элементов в составе: Г – марганец; М – молибден; Н – никель; С – кремний; Т – титан; Ф – ванадий; Х – хром. Буквы «А» и «АА» в конце марки обозначают пониженное содержание серы и фосфора.

Пример условного обозначения проволоки: 4Св-08Х20Н9Г7Т (4 - диаметр проволоки 4 мм; Св - проволока сварочная, содержащая до 0,08% углерода, 20% хрома, 9% никеля, 7% марганца, 1% титана).

Электроды подразделяются на тонкопокрытые и толстопокрытые.

*Толстопокрытые электроды* часто называют *качественными* электродами; толщина слоя покрытия может достигать до 3 мм. Они создают при сварке газовую и шлаковую защиту, стабилизируют дугу, раскисляют ванну металла, легируют наплавленный металл, формируют сварной шов.

В состав толстых покрытий электродов входят газообразующие материалы (мрамор, мел, древесная мука, крахмал, пищевая мука, целлюлоза и другие), шлакообразующие материалы (марганцевая руда, рутиловый концентрат, полевой шпат, каолин, гранит и другие), раскисляющие вещества (ферросилиций, ферротитан, алюминий и другие). В качестве связующего вещества применяют жидкое натриевое стекло.

*Тонкое покрытие* (толщиной 0,1 - 0,25 мм) электродов представляет собой тонкий порошок мела ( $\text{CaCO}_3$ ), сцементированный жидким стеклом. Пары кальция и его соединений легко ионизируются. Благодаря этому дуга горит между электродом и сварочной ванной устойчиво, стабильно. Тонкие покрытия называются *стабилизирующими*. Они не защищают металл от вредного действия атмосферного воздуха. При сварке такими электродами выгорают углерод, марганец,

кремний. В результате механические свойства сварного соединения получаются низкими. Применяют их при сварке неответственных соединений.

### **3.ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ И НАГЛЯДНЫЕ ПОСОБИЯ**

- 3.1. Сварочный трансформатор.
- 3.2. Электрододержатель.
- 3.3. Рабочее место сварщика.
- 3.4. Стенды с электродами, типами сварных соединений.

### **4.ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ**

- 4.1. Изучить технологические приемы ручной сварки.
- 4.2. Изучить теоретическую часть работы.
- 4.3. Познакомиться с расчетами режимов ручной дуговой сварки.

### **5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

- 5.1. Изучить основы теории.
- 5.2. Изучить чертеж сварочного соединения (рис. 5). Размеры сварного соединения взять из таблицы данных по указанию преподавателя.

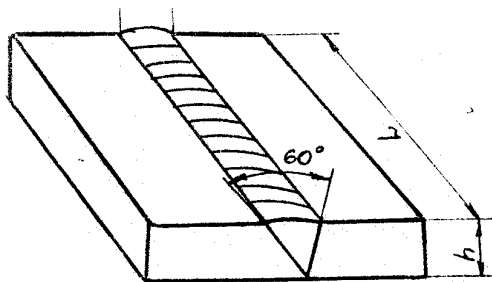


Рис. 5. Схема сварного соединения

Таблица. Данные для расчета режимов сварки

Толщина изделия $h$ , мм	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Длина шва $L$ , мм	70	80	100	120	150	150	160	170	170	180	180	200	200	220	260
Диаметр электрода $d$ , мм	4	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6

### 5.3. Произвести расчет режимов сварки.

Сила сварочного тока (А) определяется по формуле:

$$J = kd,$$

где  $k$  - коэффициент, зависящий от типа электрода, А/мм (для электродов из малоуглеродистой стали  $k = 50$  А/мм);  $d$  - диаметр электрода, мм (таблица).

Рабочее напряжение дуги (В):

$$U_d = \alpha + \beta l,$$

где  $\alpha$  - коэффициент, выражающий сумму падений напряжения на катоде и аноде ( $\alpha = 10 - 12$  В);  $\beta$  - коэффициент, выражающий падение напряжения на 1 мм длины дуги ( $\beta = 2 \dots 3$  В/мм);  $l$  - длина дуги, мм,

$$l = d/2 + 1.$$

Скорость сварки (м/час):

$$V = \alpha_n J / (\rho F),$$

где  $\alpha_n$  - коэффициент наплавки, определяемый опытным путем: при ручной сварке  $\alpha_n = (8 \cdot 10^{-3} \dots 9 \cdot 10^{-3}$  кг/(А\*час));  $\rho$  - плотность свариваемого металла, кг/м<sup>3</sup>;  $F$  - площадь поперечного сечения шва, м<sup>2</sup>;

$$F = (ha)/2,$$

где  $h$  - толщина свариваемого изделия (таблица), м;  $a$  - ширина шва, м (рис. 5).

Количество выплавленного металла (кг):

$$Q = FL\rho,$$

где  $F$  - площадь поперечного сечения шва, м;  $L$  - длина шва, м (таблица);  $\rho$  - плотность свариваемого металла, кг/м<sup>3</sup>.

Длительность сварки, ч:

$$T = Q/(\alpha_n J)$$

5.4. Составить отчет.

## **6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

6.1. Название и цель работы, рисунки.

6.2. Сущность процесса дуговой сварки.

6.3. Характеристика сварочных материалов: электродной проволоки, обмазок.

6.4. Схема сварки металлическим покрытым электродом.

6.5. Расчет режимов сварки.

6.6. Ответы на контрольные вопросы.

## **7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

7.1. Что такое электрическая дуга?

7.2. Из каких этапов состоит процесс зажигания дуги?

7.3. Какое назначение имеет дроссель при работе трансформатора?

7.4. Назовите виды сварочной проволоки. Приведите пример условного обозначения электродной проволоки с расшифровкой.

7.5. Назовите типы электродных покрытий. Каково их назначение?

## **8. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Технология конструкционных материалов: учебник для студентов машиностроительных ВУЗов / Под общей ред. А.М. Дальского – М.: Машиностроение, 2003. – 512 с.

2. Колесов С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебник для вузов/ С.Н. Колесов. – М.: Высшая школа, 2004. – 512 с.



3. Технология конструкционных материалов (Технологические процессы в машиностроении): учебник для студентов машиностроительных специальностей ВУЗов в 4 ч./ Под общей ред. Э.М. Соколова, С.А. Васина, Г.Г. Дубенского. – Тула, Издательство ТулГУ. – 2007.

# «ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

### Контактная сварка

#### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Ознакомление с технологией стыковой, точечной и шовной контактной сварки.

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

*Контактная сварка* - это сварка с применением давления и теплоты, выделяющейся при прохождении электрического тока через находящиеся в контакте соединяемые элементы детали или изделия.

##### 2.1. Физическая сущность процесса контактной сварки

По виду энергии, используемой для образования сварного соединения, контактная сварка относится к термомеханическому классу.

Для осуществления контактной сварки необходимы два вида энергии: теплота и давление.

##### 2.1.1. Теплота в процессе контактной сварки

Количество теплоты, необходимое для осуществления контактной сварки, определяют по закону Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 R t,$$

где  $Q$  - количество теплоты, Дж;  $I$  - сила сварочного тока, А;  $R$  - полное сопротивление участка сварочной цепи, в котором происходит выделение теплоты, Ом;  $t$  - время прохождения электрического тока (время нагрева), с.

Полное сопротивление сварочной цепи:

$$R = R_1 + R_2 + R_3,$$

где  $R_1$  - сопротивление контакта между свариваемыми элементами, Ом;

$R_2$  - сопротивление материала свариваемых элементов на участке прохождения электрического тока, Ом;

$R_3$  - сопротивление контакта между токоподводящими электродами и

свариваемыми элементами, Ом.

Основными источниками теплоты являются сопротивления  $R_1$  и  $R_2$ . Теплота, выделяемая сопротивлением  $R_3$ , в значительной степени отводится токоподводящими электродами.

Однако сумма сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  весьма незначительна и обычно не превышает 0,005...0,1 Ом. Во избежание тепловых потерь время прохождения тока назначают небольшим: секунды и доли секунд, а сварочный ток используют весьма большой силы: 1...500 кА.

Второй путь интенсификации процесса нагрева, которым часто пользуются на практике, заключается в искусственном поддержании неплотного контакта между свариваемыми элементами. Контактное сопротивление  $R_1$  достигает больших значений, что приводит к ускоренному выделению большого количества теплоты в месте контакта соединяемых элементов.

Температура в зоне контакта свариваемых элементов друг с другом достигает больших значений, при которых происходит плавление и даже кипение свариваемого металла. Металл околошовной зоны разогревается за счёт теплопроводности.

### **2.1.2. Давление в процессе контактной сварки**

Помимо теплоты в процессе контактной сварки необходимо создать соответствующее давление для того, чтобы возникли межатомные силы сцепления при сближении свариваемых элементов.

Величина давления зависит от пластических свойств материала, способа соединения и размеров свариваемых элементов.

Удельное давление при контактной сварке составляет 1...100 МПа, или 1...100 МН/м<sup>2</sup>.

### **2.2. Виды контактной сварки**

При контактной сварке соединяемые элементы детали или изделия собирают встык или внахлёстку и с помощью специальных электродов подводят к ним электрический ток.

Способ сборки соединяемых элементов перед сваркой зависит от их конструктивных особенностей и предопределяет вид контактной сварки.

Основными видами контактной сварки являются:

- стыковая;
- точечная;
- шовная.

### 2.3. Стыковая контактная сварка

*Стыковая контактная сварка* - это сварка, при которой соединение свариваемых элементов детали происходит по всей поверхности стыкуемых торцов (рис. 1).

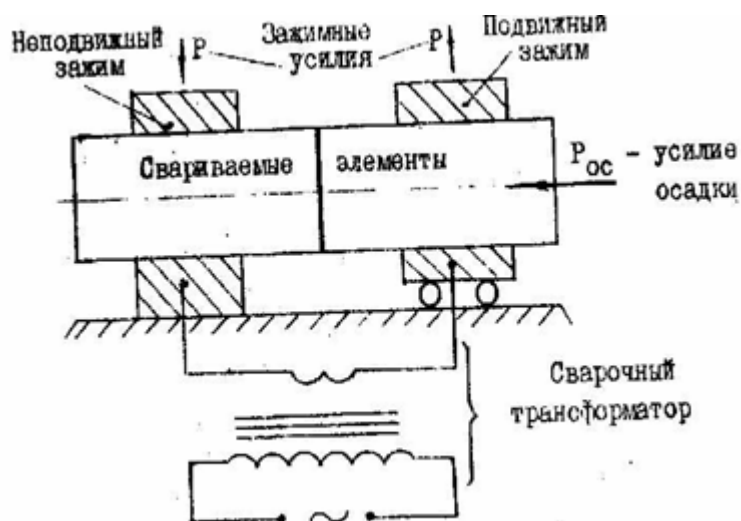


Рис. 1. Схема стыковой контактной сварки

При стыковой контактной сварке элементы свариваемой детали собирают встык (свариваемые поверхности соединяются смежными торцами, находятся на одной поверхности или в одной плоскости) и закрепляют в специальных зажимах сварочной машины. Один из зажимов неподвижен, второй подвижен и осуществляет сжатие элементов детали после их нагрева до пластического состояния (осуществляет осадку).

Электрический ток от сварочного трансформатора подаётся к зажимам машины, а от них - к свариваемым элементам. При прохождении электрического тока через свариваемые элементы детали или изделия они разогреваются.

Методом стыковой контактной сварки можно сваривать прутки сплошного сечения, полосы, ленты, рельсы, балки, трубы толсто- и тонкостенные (рис. 2).

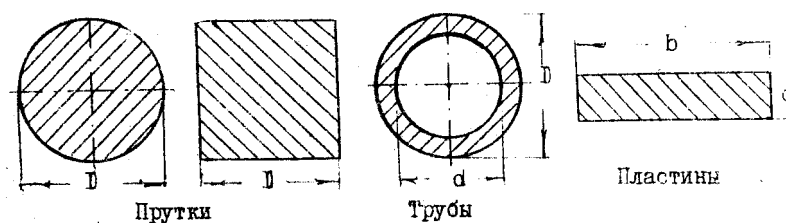


Рис. 2. Виды свариваемых сечений при стыковой контактной сварке

Для обеспечения равномерного нагрева торцы свариваемых элементов должны быть перпендикулярны усилию осадки; различие в диаметрах не должно превышать 15%, а в толщине - 10%.

При закреплении свариваемых элементов в зажимах сварочной машины необходимо правильно назначить установочную длину - величину выступающих из зажимов машины концов свариваемых элементов.

Установочная длина зависит от электропроводности и теплопроводности материала каждого свариваемого элемента, а также от способа сварки.

### 2.3.1. Методы стыковой контактной сварки

Стыковую контактную сварку можно осуществлять следующими методами:

- сопротивлением;
- оплавлением.

*Сварка сопротивлением* - это такой метод стыковой контактной сварки, при котором:

- вначале приводят в соприкосновение свариваемые элементы;
- затем включают электрический ток. В процессе нагрева свариваемые элементы прижимают торцами друг к другу с небольшим усилием  $P_{сж}$ . После нагрева до пластического состояния свариваемые элементы сдавливают с большим усилием  $P_{ос}$  - производят осадку.

После осадки свариваемые элементы укорачиваются за счет пластической деформации материала в прилежащих к торцам областях. В месте стыка соединяемых элементов образуются утолщения - усиление.

Дефекты стыковой сварки сопротивлением возможны в том случае, если контактирующие элементы отдельных деталей не будут, как следует подготовлены. Так, в данном случае необходимо удаление всех окислов, неровностей, загрязнений. Все это может провоцировать неравномерный нагрев и, следовательно, дефект.

Стыковая сварка труб и других элементов должна производиться с учетом того, что чем больше сечение у свариваемых поверхностей, тем ниже качество полученного соединения. Это можно объяснить образованием в стыке окислов. Этим же объясняются некоторые ограничения на применение сварки сопротивлением: площадь сечения деталей не должна превышать 200 мм<sup>2</sup>.

Стыковую сварку сопротивлением применяют для соединения элементов со сплошным сечением типа круга, квадрата (стержни, проволока), а также труб из низкоуглеродистой стали.

Прочность сварного соединения, полученного методом сопротивления, обычно несколько ниже прочности основного металла.

*Сварка оплавлением* – это такой метод стыковой контактной сварки, при котором:

- вначале включают электрический ток;
- затем приводят в соприкосновение свариваемые элементы.

В процессе нагрева свариваемые элементы находятся в слабом соприкосновении друг с другом. В процессе сближения деталей контактировать начинают отдельные микронеровности на торцах. Слабый контакт между свариваемыми элементами способствует процессу непрерывного оплавления на торцах и нагреву прилежащих к ним областей материала. Когда торцы детали переходят в такое состояние, когда на их поверхностях появляется слой жидкого металла, к ним прикладывается определенное усилие - производят осадку.

После осадки свариваемые элементы укорачиваются за счёт выдавливания расплавленного материала и шлака из плоскости стыка и за счет пластической деформации материала в прилежащих к торцам областях.

В месте стыка соединяемых элементов образуется небольшое усиление и грат - застывшие капли выдавленных металла и шлака. Полученное соединение будет отличаться минимальным количеством дефектов ввиду того, что все окисные пленки и продукты разложения также оказываются выдавленными в грат.

Прочность сварного соединения, полученного методом оплавления, близка к прочности основного металла. Стыковая сварка оплавлением дает более качественное соединение из-за того, что металл на поверхности торцов, который, например, может быть загрязнен, удаляется в процессе оплавления.

Стыковой сваркой оплавлением соединяют элементы с любыми формами сечения (трубопроводы, рельсы, арматуру железобетона, ободья колес автомобилей, звенья цепей) площадью до 100 000 мм<sup>2</sup>, сваривают стали высокоуглеродистые и низколегированные, а также цветные металлы и их сплавы.

*Сварка оплавлением с подогревом* является разновидностью сварки оплавлением. Подогрев свариваемых элементов осуществляют чередованием коротких замыканий с процессом непрерывного оплавления. Такой способ нагрева уменьшает потребляемую электрическую мощность.

Заключительный этап сварки оплавлением с подогревом ведут так же, как и при сварке оплавлением.

## **2.4. Точечная и шовная контактная сварка**

### **2.4.1. Точечная контактная сварка**

*Точечная контактная сварка* - это сварка, при которой соединение свариваемых элементов происходит в отдельных точках (рис. 3).

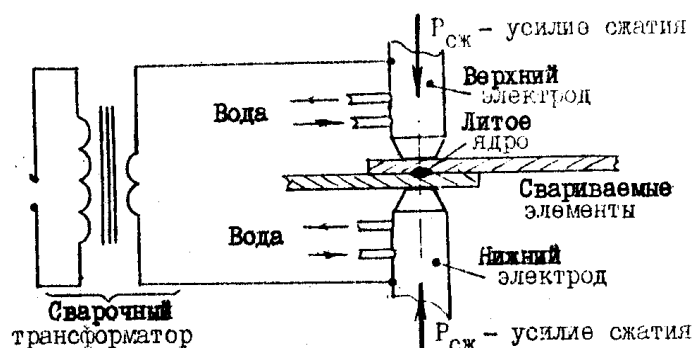


Рис. 3. Схема точечной контактной сварки

При точечной контактной сварке свариваемые элементы детали или изделия собирают внахлёстку (свариваемые поверхности параллельны и немного перекрывают друг друга), устанавливают и зажимают между электродами сварочной машины.

Электроды для точечной сварки представляют собой цилиндрические стержни с конической или сферической рабочей поверхностью, изготавливаемые из меди или её сплавов.

Электрический ток от сварочного трансформатора через электроды подаётся к свариваемым элементам.

Наибольшее количество теплоты выделяется в контакте между свариваемыми элементами. В месте контакта металл расплавляется, образуя литое ядро. Прилежащие к ядру слои металла нагреваются до пластического состояния и, деформируясь под действием сжимающего усилия электродов, препятствуют вытеканию жидкого металла из ядра.

Конструктивное оформление сварных соединений, выполняемых точечной сваркой, регламентирует ГОСТ 15878-79.

Точечной контактной сваркой можно сваривать изделия из листов и прутков, собранных внахлёстку (рис. 4).



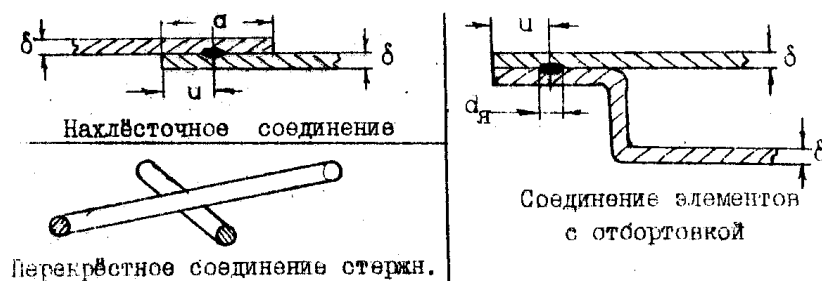


Рис. 4. Некоторые типы сварных соединений при точечной контактной сварке

### 2.4.2. Шовная контактная сварка

*Шовная контактная сварка* - это сварка, при которой соединение свариваемых элементов детали или изделия осуществляется сплошным рядом сварных точек, перекрывающих друг друга примерно на  $1/3$ .

Шовная сварка во многом подобна точечной, но отличается от нее тем, что в качестве электродов используют вращающиеся ролики (рис. 5).

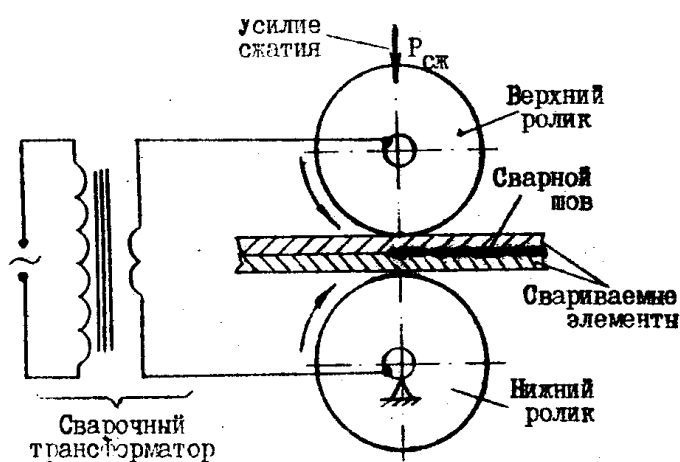


Рис. 5. Схема шовной сварки

При шовной сварке так же, как и при точечной, свариваемые элементы собирают внахлестку, устанавливают и зажимают между роликами, а затем включают электрический ток.

Электрический ток от сварочного трансформатора через вращающиеся ролики - электроды подаётся к свариваемым элементам изделия.

Свариваемые элементы перемещаются между вращающимися роликами,

и образуется сплошной ряд сварных точек - сварной шов.

Виды сварных соединений при точечной и шовной сварках одинаковы (рис. 4), но шовную сварку применяют, когда необходимо обеспечить:

- большую прочность сварного шва;
- герметичность сварного соединения.

Шовную сварку можно осуществлять двумя методами:

- с непрерывной подачей электрического тока;
- с прерывистой (импульсной) подачей электрического тока.

Шовная сварка с непрерывной подачей электрического тока отличается неустойчивостью процесса.

Шовная сварка с прерывистой подачей электрического тока обеспечивает образование отдельных сварных точек, перекрывающих друг друга.

## **2.5. Сварочные машины для контактной сварки**

Сварочную машину для стыковой контактной сварки подбирают по силе сварочного тока и усилию осадки.

Маркировка состоит из двух заглавных букв русского алфавита и четырех цифр без знаков разделения.

Буквы обозначают название машины и вид контактной сварки:

А или М - первая буква маркировки обозначает название машины: «Автомат», «Агрегат» или «Машина»;

С, Т или Ш - вторая буква маркировки обозначает вид сварки: «Стыковая», «Точечная» или «Шовная».

Цифры обозначают:

- первые две цифры - номинальный сварочный ток, кА;
- вторые две цифры - номер модели машины.

## **2.6. Режимы стыковой, точечной и шовной контактной сварки**

На параметры режима стыковой, точечной и шовной контактной сварки оказывают влияние:

- физико-механические характеристики свариваемого материала;

- размеры соединяемых элементов детали или изделия;
- метод сварки.

Основные параметры режима стыковой, точечной и шовной контактной сварки:

$I$  - сила сварочного тока, А;

$P$  - усилие осадки или сжатия, Н;

$t$  - длительность нагрева или время действия тока, с.

**Расчётные зависимости для определения параметров режима стыковой, точечной и шовной контактной сварки.**

Сила сварочного тока:

$$I = i * F,$$

где  $I$  - сила сварочного тока, А;  $i$  - плотность тока, А/мм<sup>2</sup>;  $F$  - площадь сечения, через которое проходит электрический ток, мм<sup>2</sup>.

Усилие осадки (для стыковой сварки):

$$P_{oc} = P_o * F,$$

где  $P_{oc}$  - усилие осадки, Н;  $P_o$  - удельное давление осадки, МПа или МН/м<sup>2</sup>;  $F$  - площадь свариваемого сечения, м<sup>2</sup>.

Время действия сварочного тока  $t$  назначают ориентировочно и впоследствии уточняют в процессе отладки технологического процесса сварки.

Сила сварочного тока  $I$  и время нагрева  $t$  зависят от выбранного режима стыковой контактной сварки.

Усилие сжатия (для точечной и шовной сварки):

$$P_{сж} = P_c * F,$$

где  $P_{сж}$  - усилие сжатия, Н;  $P_c$  - давление сжатия, МПа или МН/м<sup>2</sup>;  $F$  - площадь свариваемого сечения, м<sup>2</sup>.

Время нагрева или время действия сварочного тока находится в обратной пропорциональной зависимости от силы тока: чем больше сила сварочного тока, тем меньше время, затрачиваемое на нагрев свариваемых элементов, тем выше производительность сварки.

Режимы контактной сварки в зависимости от скорости нагрева: жёсткий, средний и мягкий.

*Жёсткий режим* контактной сварки отличается от мягкого большей силой сварочного тока и меньшим временем его действия.

Рекомендуемые режимы стыковой контактной сварки для каждого метода сварки и для определённого вида свариваемого материала даны в приложениях 1 и 2. После назначения режимов стыковой контактной сварки подбирают тип сварочной машины (приложение 3).

Режим точечной и шовной контактной сварки назначают по методике приложения 5; данные для назначения режима точечной и шовной сварки приведены в приложениях 6 и 7, образцы изделий – приложение 8.

### **3. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ, МАТЕРИАЛЫ**

- 3.1. Машины для стыковой, точечной и шовной контактной сварки.
- 3.2. Образцы для стыковой, точечной и шовной контактной сварки.
- 3.3. Плакаты.

### **4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ**

- 4.1. Усвоить сущность стыковой, точечной и шовной контактной сварки как сварки термомеханического класса.
- 4.2. Освоить технологию стыковой, точечной и шовной контактной сварки.
- 4.3. Усвоить принцип расчёта режима сварки и выбора оборудования.

### **5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

#### **1) Стыковая контактная сварка**

- 5.1. Ознакомиться с описанием работы.
- 5.2. Ознакомиться с устройством и принципом работы машины для сты-

ковой контактной сварки.

5.3. Произвести сборку и закрепление на машине свариваемых образцов.

5.4. Произвести сварку на жестком и мягком режимах методами:

- сопротивления;

- оплавления.

5.5. Сравнить сварные соединения, полученные сваркой сопротивлением и сваркой оплавлением.

5.6. Рассчитать режим стыковой контактной сварки. Методика и рекомендации по расчету режима стыковой контактной сварки приведены в приложении 4.

5.7. Подобрать сварочную машину по результатам расчёта режима стыковой контактной сварки. Техническая характеристика сварочных машин для стыковой сварки приведена в приложении 3.

5.8. Результаты расчета режима стыковой контактной сварки и выбора сварочной машины занести в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты расчета режима стыковой контактной сварки

Метод стыковой контактной сварки	Размер соединяемых элементов, мм	Сила сварочного тока, А	Усилие осадки, Н	Тип сварочной машины
сопротивлением				
оплавлением				

## **2) Точечная и шовная контактная сварка**

5.9. Ознакомиться с описанием работы.

5.10. Ознакомиться с видами сварных соединений, полученных точечной и шовной контактными сварками.

5.11. Ознакомиться с устройством и принципом работы сварочных машин для точечной и шовной контактной сварки.

5.12. Произвести зачистку, сборку, закрепление на машине и сварку соединяемых образцов.

5.13. Назначить режим точечной или шовной (по указанию преподавателя) контактной сварки. Методика и рекомендации по выбору режима сварки приведены в приложении 5 и 6.

5.14. Подобрать сварочную машину по результатам расчёта режима сварки. Техническая характеристика машин для контактной сварки приведена в приложении 7.

5.15. Результаты расчета режима сварки и выбора сварочной машины занести в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты расчета режима и выбора сварочной машины  
при точечной и шовной контактной сварке

Вид контактной сварки	Размер соединяемых элементов, мм	Сила сварочного тока, А	Усилие сжатия, Н	Тип сварочной машины
Точечная				
Шовная				

5.16. Ответить на контрольные вопросы.

## 6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

6.1. Цель и задачи работы.

6.2. Определение сущности контактной сварки с кратким описанием видов энергии для её осуществления.

6.3. Схемы и краткое описание стыковой, точечной и шовной контактной сварки.

6.4. Краткая характеристика методов стыковой контактной сварки

6.5. Расчетные зависимости для определения основных параметров режима контактной сварки.

6.6. Таблицы с результатами расчета режима и выбором сварочной машины.

## **7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

7.1. Назовите виды поперечных сечений элементов деталей или изделий, которые можно сваривать с помощью стыковой контактной сварки.

7.2. Назовите причины укорачивания свариваемых элементов после осадки при стыковой контактной сварке:

- сопротивлением;
- оплавлением.

7.3. Какой метод стыковой контактной сварки дает более прочное соединение?

7.4. Конструктивные особенности изделий, получаемых точечной и шовной контактной сваркой.

7.5. Какие факторы определяют выбор режима контактной сварки?

## **8. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Алексеев Е.К., Мельник В.И. Сварка в промышленном строительстве. – М.: Стройиздат, 1977. - 360 с.

2. Кабанов Н.С. Сварка на контактных машинах. - М.: Высшая школа, 1979. - 215 с.

3. Сварка и резка в промышленном строительстве: Справочник / Под ред. Б.Д. Малышева. - М.: Стройиздат, 1977. - 780 с.

4. Аксельрод Ф.А., Зайцев М.П. Контактная сварка. - М.: Профтехиздат, 1962. - 464 с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

Ориентировочные режимы *стыковой* контактной сварки  
методом сопротивления изделий из низкоуглеродистой стали

Параметры режима	
Плотность сварочного тока, А/мм <sup>2</sup>	20...60
Удельное давление сжатия, МПа или МН/м <sup>2</sup>	10...15
Удельное давление осадки, МПа или МН/м <sup>2</sup>	20...50
Длительность нагрева, с	0,3...0,8D
Припуск на осадку, мм	0,2 ...0,3D
D - размер поперечного сечения свариваемого элемента, мм	

### Приложение 2

Ориентировочные режимы *стыковой* контактной сварки  
методом оплавления изделий из низкоуглеродистой стали

Параметры режима	Сварка оплавлением	
	непрерывным	с подогревом
Плотность сварочного тока, А/мм <sup>2</sup>	6...8	3...5
Удельное давление осадки МПа или МН/м <sup>2</sup>	50...100	10... 60
Длительность нагрева, с		
Припуск на оплавление и осадку, мм	0,4...1,0D	0,5...0,8D
D - размер поперечного сечения свариваемого элемента, мм	0,8...1,01D	0,4...0,7D



## Приложение 3

### Технические характеристики машин для *стыковой* контактной сварки

Марка машины	Свариваемое сечение, мм <sup>2</sup>	Номинальный сварочный ток, кА	Максимальное усилие осадки, Н	Назначение машины
МС-0301 МС-0501	50 78	3,2 5	1200 2400	Для сварки изделий из низкоуглеродистой стали методом сопротивления
МС-1202 МС-1602	600 1000	12,5 16	32000 50000	Для сварки изделий из низкоуглеродистой стали методом оплавления

## Приложение 4

### Методика расчета режима *стыковой* контактной сварки

Расчет режима стыковой контактной сварки произвести в следующей последовательности.

1. Определить вид свариваемого материала.

2. Выбрать метод сварки: сопротивлением, оплавлением или оплавлением с подогревом.

3. Определить установочную длину.

Установочная длина для изделий из низкоуглеродистой стали равна:

- при сварке сопротивлением -  $0,5 \dots 1,0D$ .

- при сварке оплавлением -  $0,75 \dots 1,0D$  или  $4 \dots 5\delta$ ,

где  $D$  - диаметр, сторона квадрата и т.д., мм;  $\delta$  - толщина элемента, мм.

Для изделий из цветных металлов и сплавов установочная длина в 2...3 раза больше, чем для изделий из стали.

4. Определить величину осадки  $a$  или осадки с оплавлением ( $a + b$ ) в зависимости от выбранного метода стыковой контактной сварки, используя данные приложений 1 или 2.

5. Определить площадь свариваемого сечения  $F$ , мм<sup>2</sup>.

6. Определить силу сварочного тока  $I$ , А; используя данные приложений 1 или 2.

Высокоуглеродистые и низколегированные стали обладают повышенным удельным электросопротивлением и пониженной теплопроводностью. Для них плотность тока  $i$  в 1,5... 2 раза меньше, чем для низкоуглеродистых сталей.

Цветные металлы и их сплавы обладают высокими электропроводностью и теплопроводностью. Для них плотность тока следует назначать значительно выше, чем для низкоуглеродистых сталей.

7. Определить усилие осадки  $P_{ос}$ , Н, используя данные приложений 1 или 2.

При сварке высокоуглеродистых и низколегированных сталей давление осадки следует назначать примерно в 1,5 раза выше, чем при сварке низкоуглеродистых сталей.

При сварке цветных металлов и их сплавов давление осадки не должно превышать 10...15 МПа или 10...15 МН/м<sup>2</sup>.

8. Определить ориентировочное время нагрева  $t$ , с, используя данные приложений 1 или 2.

9. Выбрать тип сварочной машины для стыковой контактной сварки на основании расчетов силы сварочного тока  $I$  и усилия осадки  $P_{ос}$ , используя данные приложения 3.

Методика назначения режима *точечной* и *шовной* контактной сварки

Назначать режим точечной и шовной контактной сварке рекомендуется в следующей последовательности.

1. Определить вид свариваемого материала.
2. Определить размеры свариваемых элементов:  $\delta$ , мм.
3. Назначить вид сварки: точечная или шовная, учитывая конструктивные особенности свариваемого изделия, назначенного преподавателем (приложение 8).

Шовную сварку применяют в тех случаях, когда необходимы высокая прочность сварного шва и герметичность сварного соединения.

4. Определить размеры сварного шва. При точечной сварке размером сварного шва считают диаметр литого ядра сварной точки:  $d_{\text{я}} = 2,5 \dots 4\delta$ , где  $d_{\text{я}}$  - диаметр литого ядра сварной точки, мм;  $\delta$  - толщина свариваемого элемента, мм.

При шовной сварке размером сварного шва считают ширину шва, которую определяют как диаметр литого ядра, так как процесс образования сварного шва при шовной сварке одинаков с процессом образования сварной точки при точечной сварке:  $d_{\text{я}} = 3 \dots 4,5\delta$ , где  $d_{\text{я}}$  - ширина шва, мм;  $\delta$  - толщина свариваемого элемента, мм.

5. Определить размещение сварного шва. Обычно размещение сварного шва определяют, исходя из расчета прочности сварного соединения, но можно использовать и следующие зависимости (см. рис. 2 и приложение 8):

$A = 2,5 \dots 3d_{\text{я}}$  - нахлестка при однорядном шве, мм;

$u = 1,2 \dots 1,5 d_{\text{я}}$  - расстояние от края свариваемого элемента до центра сварной точки, мм;

$I_{\text{т}} = 3,5 \dots 4d_{\text{я}}$  - расстояние между точками при точечной контактной сварке, мм;

$I_{\text{ш}} = 2 \dots 2,5d_{\text{я}}$  - шаг при шовной сварке, обеспечивающий получение прочно-плотного шва, мм.

6. Определить площадь сечения, через которое проходит электрический ток:

$$F = \frac{\pi d_p^2}{2},$$

Где  $F$  - площадь сечения, через которое проходит электрический ток, мм;  $d_p$  - расчетный диаметр точки, мм.

При точечной контактной сварке  $d_p = 1,15 \dots 1,2 d_{\text{я}}$ .

При шовной контактной сварке  $d_p = 1,3 \dots 1,4 d_{\text{я}}$ .

7. Выбрать режим контактной сварки: жесткий или мягкий.

Обычно низкоуглеродистые стали толщиной до 5 мм сваривают как при жестком, так и при мягком режиме, а при толщине металла больше 5 мм сваривают преимущественно при мягком режиме.

Самозакаливающиеся стали сваривают при мягком режиме, а нержавеющей стали - при жестком.

Цветные металлы и их сплавы обычно сваривают при жестком режиме.

8. Определить силу сварочного тока в зависимости от выбранного режима сварки, используя данные приложения 6:

$$I = i * F.$$

При шовной сварке шунтирование сварочного тока - замыкание на ранее сваренные точки - больше, чем при точечной сварке. Поэтому плотность тока при шовной сварке следует назначать на 20...40% больше, чем при точечной.

9. Определить усилие сжатия, используя данные приложения 6:

$$P_{\text{сж}} = P_{\text{с}} * F.$$

10. Определить ориентировочно длительность нагрева, используя данные приложения 6.

При точечной сварке время нагрева равно времени сварки. При импульсной шовной сварке время сварки складывается из времени действия тока (времени нагрева) и времени пауз. Время пауз равно или больше времени действия тока в 2...2,5 раза.

11. Выбрать тип сварочной машины в зависимости от выбранного вида сварки и на основании расчетов  $I$  и  $P_{\text{сж}}$ , используя данные приложения 7.

## Приложение 6

### Оrientировочные режимы *точечной* и *шовной* контактной сварки изделий из низкоуглеродистой стали

Параметры режима	Режим сварки	
	жёсткий	мягкий
Плотность сварочного тока, А/мм <sup>2</sup>	200...400	80...100
Удельное давление сжатия, МПа или МН/м <sup>2</sup> .	70... 100	20...40
Длительность нагрева, с	0,2...1,5	2...3

## Приложение 7

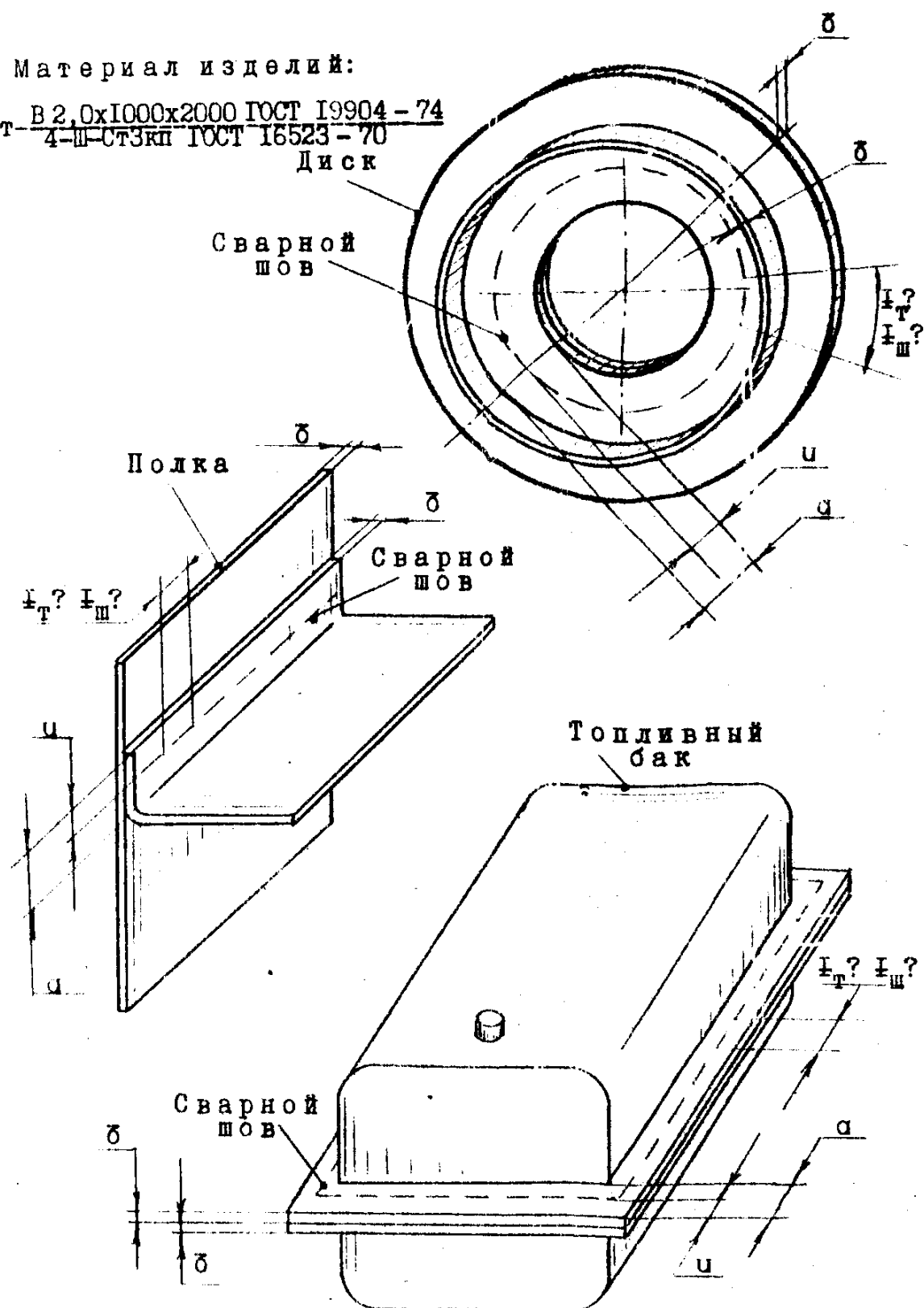
### Технические характеристики машин для *точечной* и *шовной* сварки

Марка машины	Толщина свариваемых элементов, мм	Номинальный сварочный ток, кА	Максимальное усилие, Н	Назначение машины
МТ-0501 МТ-0809	0,2...1,0 0,2...3,0	5 8	10000 30000	Для сварки изделий из низкоуглеродистой стали
МТ-1209	0,5...4,0	12,5	50000	Для сварки изделий из низкоуглеродистой стали
МТ-1609	0,5... 5,0	16	63000	Для сварки изделий из низкоуглеродистой стали
МТ-2510	4,5...10	25	140000	Для сварки изделий из низкоуглеродистой стали
МШ-1001 МШ-1601	0,2...1,2 0,25... 1,5	10 16	25000 50000	Для сварки изделий из низкоуглеродистой стали
МШ-2001	0,5...1,8	20	80000	Для сварки изделий из низкоуглеродистой стали

## Приложение 8

### Образцы изделий для *точечной* и *шовной* сварки

Материал изделий:  
 В 2,0х1000х2000 ГОСТ 19904-74  
 Лист-4-Ш-СТЗКП ГОСТ 16523-70  
 Диск



# «ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

### Свободная ковка

#### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Изучение характера формоизменения заготовки при обработке давлением.

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

*Ковкой* называют вид обработки металлов давлением, при котором исходной, предварительно нагретой заготовке придают необходимую форму с помощью универсального инструмента, не ограничивающего течение металла в плоскости, перпендикулярной действию силы.

Ковка является одним из наиболее экономичных способов получения высококачественных заготовок в единичном производстве и единственно возможным способом получения заготовок большой массы (можно изготавливать *поковки* различной массы - от нескольких граммов до сотен тонн).

##### 2.1. Нагрев металла перед обработкой давлением

Все металлы и сплавы имеют тенденцию к увеличению пластичности и уменьшению сопротивления деформированию при повышении температуры в случае выполнения ряда требований, предъявляемых к процессу нагрева. Так, каждый металл должен быть нагрет до вполне определенной максимальной температуры. Если нагреть, например, сталь до температуры, близкой к температуре плавления, наступает *пережог*, выражающийся в появлении хрупкой пленки между зернами металла вследствие окисления их границ. При этом происходит полная потеря пластичности. Пережог исправить нельзя, пережженный металл может быть отправлен только на переплавку.

Ниже температуры пережога находится зона перегрева. *Явление перегрева* заключается в резком росте размеров зерен. Механические свойства изделия, полученного обработкой давлением из перегретой заготовки, оказываются низ-

кими. Брак по перегреву в большинстве случаев можно исправить отжигом. Однако для некоторых сталей (например, хромоникелевых) исправление перегретого металла сопряжено со значительными трудностями, и простой отжиг оказывается недостаточным.

Максимальную температуру нагрева, т.е. температуру начала горячей обработки давлением, следует назначать такой, чтобы не было пережога и перегрева. В процессе обработки нагретый металл остывает, соприкасаясь с более холодным инструментом и окружающей средой. Заканчивать горячую обработку давлением следует также при вполне определенной температуре, ниже которой пластичность падает и в изделии возможно образование трещин.

Каждый металл и сплав имеет свой строго определенный температурный интервал горячей обработки давлением. Например, алюминиевый сплав АК4 470 - 350 °С; титановый сплав ВТ8 1100 - 900 °С. Для углеродистых сталей температурный интервал нагрева определяют по диаграмме состояния железо-цементит в зависимости от содержания углерода. Например, для стали 45 температурный интервал 1200 - 750 °С, а для стали У10 1100 - 850 °С.

Наибольшее время требуется для нагрева крупных заготовок из высоколегированных сталей из-за их низкой теплопроводности. Например, время нагрева слитка массой ~40 т из легированной стали составляет более 24 ч.

Однако с увеличением времени нагрева увеличивается окисление поверхности металла, в результате на поверхности, например, стальной заготовки образуется *окалина* - слой, состоящий из оксидов железа:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{FeO}$ . Кроме потерь металла с окалиной, последняя, вдавливаясь в поверхность заготовки при деформировании, вызывает необходимость увеличения припусков на механическую обработку. Окалина увеличивает износ деформирующего инструмента, т.к. ее твердость значительно больше твердости горячего металла.

При высоких температурах на поверхности стальной заготовки интенсивно окисляется не только железо, но и углерод: происходит так называемое *обезуглероживание*. Толщина обезуглероженного слоя в отдельных случаях до-



стигает 1,5 - 2 мм.

Для уменьшения окисления заготовки нагревают в нейтральной или восстановительной атмосфере.

## **2.2. Нагревательные устройства**

Устройства, в которых нагревают металл перед обработкой давлением, можно подразделить на нагревательные печи и электронагревательные устройства.

В *нагревательных печах* теплота к заготовке передается главным образом конвекцией и излучением из окружающего пространства нагревательной камеры, выложенной огнеупорным материалом. Теплоту получают в основном сжиганием газообразного топлива, реже жидкого (мазута).

По конструктивным признакам печи разделяют на ряд разновидностей. Например, одним из наиболее распространенных типов являются камерные печи, в которых заготовки укладывают на под печи. В крупносерийном производстве применяют механизированные проходные печи методического действия, в которых заготовки загружают с одной стороны печи, перемещают по поду и выгружают с другой стороны печи нагретыми.

В *электронагревательных устройствах* теплота выделяется в самой заготовке либо при пропускании через нее тока большой силы в контактных устройствах, либо при возбуждении в ней вихревых токов - в индукционных устройствах. Преимущества электронагрева: высокая скорость, значительно превышающая скорость нагрева в печах; почти полное отсутствие окалины; удобство автоматизации; улучшение условий труда. Однако применяют электронагревательные устройства только при необходимости нагрева достаточно большого количества одинаковых заготовок диаметром до 75 мм в контактных и до 200 мм в индукционных устройствах.

## **2.3. Основные кузнечные операции**

К основным кузнечным операциям относятся осадка, протяжка, прошивка, рубка, гибка и скручивание. С помощью этих операций формоизменяют за-

готовку в процессековки.

Осадка - это кузнечная операция, в результате которой увеличивается площадь поперечного сечения заготовки за счет уменьшения ее длины (рис.1).

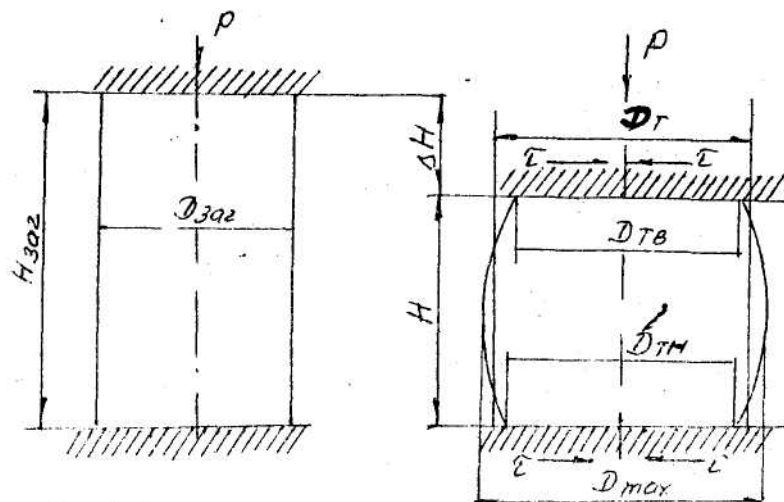


Рис. 1. Схема осадки

Заготовку диаметром  $D_{заг}$ , и высотой  $H_{заг}$ , деформируют параллельно ее оси. После осадки диаметр заготовки увеличивается до  $D_{max}$ , а боковая поверхность становится бочкообразной вследствие действия контактных сил трения  $\tau$ . При этом высота заготовки уменьшается на величину  $\Delta H$ .

Осадку применяют перед прошивкой для выравнивания торцов, уменьшения высоты прошиваемых заготовок, для получения поковок с относительно большими площадями поперечного сечения (фланцев, дисков шестерен и т.д.)

При осадке на боковой поверхности цилиндрической заготовки наблюдается бочкообразование.

Абсолютная величина бочкообразности определяется по формуле:

$$\Delta \delta = D_{max} - D_T \quad (1)$$

где  $D_{max}$  - максимальный диаметр осаженого образца, мм;  $D_{TB(TH)}$  - диаметр торца осаженого образца, мм;  $D_T$  - средний диаметр торцов осаженого образца, мм:

$$D_T = (D_{TB} + D_{TH}) / 2 \quad (2)$$

Относительная величина бочкообразности цилиндрического образца

определяется по формуле:

$$\delta_0 = \Delta\delta / D_T \quad (3)$$

Основными факторами, характеризующими процесс осадки, являются степень деформации  $\varepsilon$  при осадке и величина осадки  $q$ :

$$\varepsilon = (H - H_1) / H = \Delta H / H \cdot 100\% \quad (4)$$

$$q = H / H_1 = F_1 / F \quad (5)$$

где  $F$  и  $F_1$  - площади поперечного сечения заготовки до и после осадки.

*Протяжкой* называют кузнечную операцию, при которой увеличивают длину исходной заготовки при одновременном уменьшении площади ее поперечного сечения (рис. 2). Она является основной формоизменяющей операцией при изготовлении гладких, ступенчатых и коленчатых валов, шатунов, цилиндров, колец и других деталей.

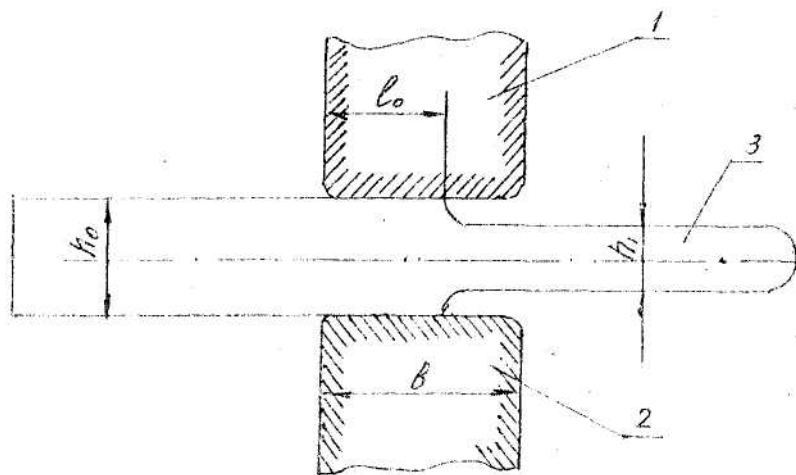


Рис. 2. Схема протяжки: 1 - верхний боек; 2 - нижний боек;  
3 - обжимаемая заготовка

*Прошивка* - кузнечная операция, посредством которой в заготовке получают сквозные или глухие полости (углубления) за счет вытеснения материала (рис. 3). Заготовку прошивают с помощью инструментов прошивней. При ковке на молотах отверстия прошивают или сплошными прошивнями, или пустотелыми прошивнями (для получения отверстий диаметром 400 - 710 мм и более). Схема прошивки сквозного отверстия сплошным прошивнем представлена на

рис. 3.

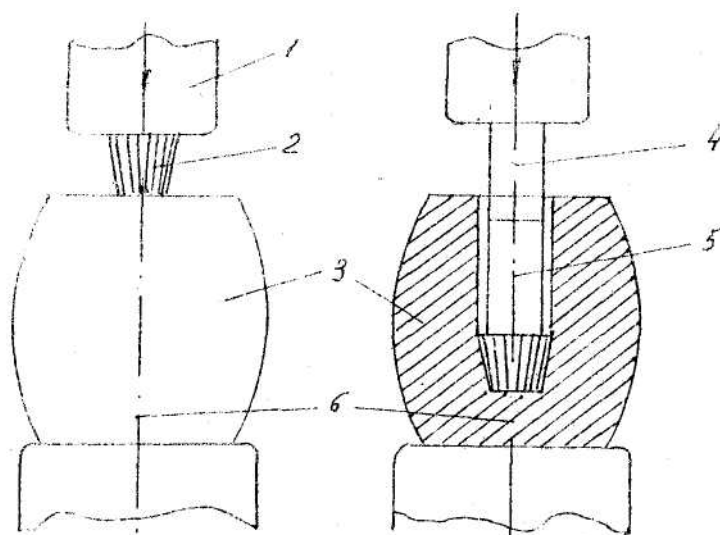


Рис. 3. Схема прошивки: 1 - верхний боек; 2 - основной прошивень; 3 - заготовка; 4 и 5 - надставки; 6 - прибыльная сторона слитка

*Отрубкой* называют полное отделение части заготовки по незамкнутому контуру путем внедрения в заготовку деформирующего инструмента. Разделение заготовки на части по незамкнутому контуру называют *разрубкой* (рис. 4). Отрубают с помощью топоров различных форм.

*Гибка* - кузнечная операция, посредством которой образуют или изменяют углы между частями заготовки или придают ей изогнутую форму. Гибку применяют как основную операцию для получения изделий типа угольников, кронштейнов, крюков, хомутов и других изделий.

*Скручивание* - это кузнечная операция, с помощью которой часть заготовки поворачивается вокруг продольной оси. Скручивание применяют при ковке многоколенных коленчатых валов, крупных сверл, бурильных инструментов и т.п. деталей.

## 2.4. Оборудование дляковки

Ковку подразделяют на ручную и машинную. При *ручной ковке* используют кувалды и наковальни с набором инструмента (гладилок, обсечек, клещей и т.д.) Ручную ковку применяют для ремонтных целей и гибочных работ.

При *машинной ковке* различных поковок применяют пневматические молоты (рис. 5) и гидравлические прессы. *Молот* – это машина, придающая нагретому металлу форму путем удара, а *пресс* изменяет форму заготовки постепенно, оказывая на нее давление.

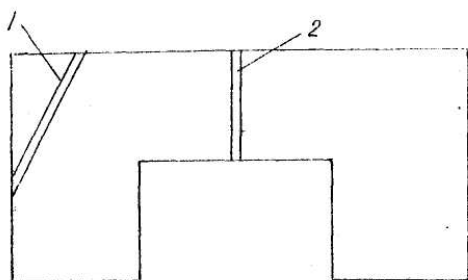


Рис. 4. Отрубка(1) и разрубка (2)

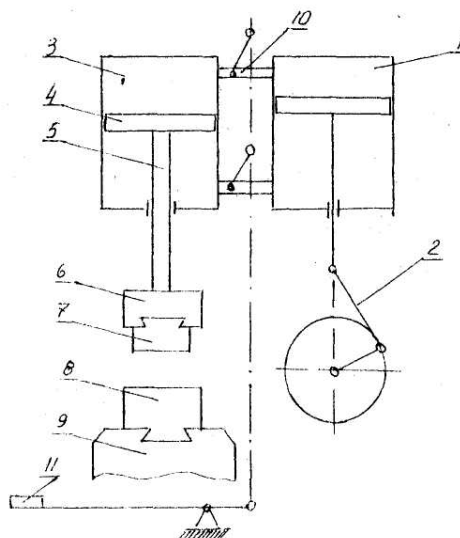


Рис. 5. Кинематическая схема пневматического молота

Поршень компрессорного цилиндра 1, приводимый в движение кривошипно-шатунным механизмом 2 от электродвигателя, сжимает, то снизу, то сверху находящийся в цилиндре воздух. Сжатый воздух из компрессорного цилиндра поступает в рабочий цилиндр 3, где попеременно то снизу, то сверху давит на рабочий поршень 4, выполненный заодно со штоком 5 и бабой 6, несущей верхний боек 7. Заготовка помещается на нижний боек 8, который крепится к шабату 9.

С помощью управляющего устройства 10 (воздушные краны, действующие от педали 11) можно получать любое количество ударов.

### 3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В работе используются цилиндрические образцы из свинца и стали с различной величиной отношения  $H_0 / D_0$ . Осадка производится на испытательной

гидравлической машине с различной степенью деформации.

Измерения производятся штангенциркулем. Инструмент - плоские бойки с набором ограничительных прокладок.

#### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Штангенциркулем с точностью до 0,1 мм измерить размеры исходных образцов и вычислить их объем. В таблицу 1 занести результаты измерений.

Таблица 1

Размеры исходных образцов

Образец	$D_o, \text{мм}$	$H_o, \text{мм}$	$V_o, \text{мм}^3$

4.2. Произвести осадку образцов на прессе в 2 этапа. После каждого этапа производится измерение высоты  $H$ , максимального диаметра  $D_{max}$ , диаметра верхнего торца  $D_{ТВ}$ , диаметра нижнего торца  $D_{ТН}$ . Полученные результаты заносятся в таблицу 2.

Таблица 2

Размеры деформированных образцов

Номер образца	$D_{ТВ}$	$D_{ТН}$	$D_T$	$D_{max}$	$\delta_o$	$\epsilon$	$q$

4.3. Определяются значения величины бочкообразности  $\delta_o$ , степень деформации при осадке  $\epsilon$  и величина осадки  $q$ .

4.4. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 2.

## **5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА**

5.1. Описать ход работы.

5.2. По полученным результатам сделать заключение о влиянии геометрических параметров заготовки и степени деформации на коэффициент бочкообразования при осадке цилиндрических образцов. Построить графические зависимости  $\delta = F(\epsilon)$  и  $\delta = F(q)$ .

## **6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

6.1. С какой целью нагревают металл перед обработкой давлением?

6.2. Какие нагревательные устройства применяются для нагрева заготовок перед ковкой?

6.3. Охарактеризуйте основные кузнечные операции.

6.4. В каких случаях применяют осадку?

6.5. Какое оборудование применяют для машиннойковки?

6.6. В чем разница между явлениями перегрева и пережога?

## **7. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. - М., Машиностроение, 1977. - 484 с.

2. Охрименко Я.М. Технология кузнечно-штамповочного производства. - М., Машиностроение, 1976. - 560 с.

3. Семенов Е.И. Ковка и объемная штамповка. - М., Машиностроение, 1972. - 350 с.

# «ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

### Горячая объемная штамповка

#### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Ознакомиться с основными расчетами и операциями при изготовлении поковки методом горячей объемной штамповки.

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

*Горячая объемная штамповка* – это вид обработки металлов давлением, при котором формообразование поковки из нагретой заготовки осуществляют с помощью специального инструмента – штампа. *Штамп* – это толстостенная металлическая форма, состоящая из двух частей, одна из которых (верхняя) прикрепляется к бабе, другая часть (нижняя) – к штамподержателю, установленному на шаботе молота. В верхней и нижней части штампа размещаются рабочие полости (ручьи).

Горячей объемной штамповкой изготавливают *поковки* различной формы и размеров из сталей, цветных металлов и сплавов. Горячую объемную штамповку широко используют в массовом и крупносерийном производстве. Общий технологический процесс горячей штамповки складывается из отрезки заготовок, их нагрева, штамповки (в несколько переходов и операций), отрезки облоя и зачистки заусенцев, термической обработки, правки и калибровки поковок.

Штамповка производится на паровоздушных штамповочных молотах, кривошипных горячештамповочных прессах, горизонтально-ковочных машинах.

Штамповка может быть осуществлена в открытых и закрытых штампах. При штамповке в *открытых штампах* поковка получается с облоем- некоторым избытком металла в исходной заготовке, вытесненным на заключительной фазе процесса штамповки в облойную канавку (рис. 1, а).



*Закрытымі, или безоблойными, называют штампы, в которых металл деформируют в замкнутом пространстве (рис. 1, б).*

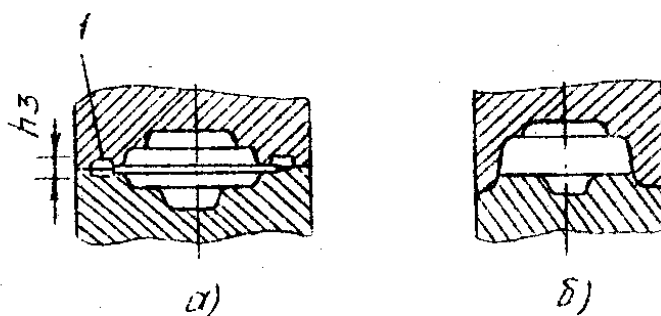


Рис. 1. Схемы штамповки в открытых и закрытых штампах:  
1 – заусеночная канавка

Открытые и закрытые штампы могут быть одно- или многоручьевыми.

В многоручьевом штампе (рис. 2) ручки подразделяются на следующие:

1. *заготовительные* - протяжной, подкатной, гибочный, пережимной, формовочный;
2. *штамповочные* - предварительный (черновой) и окончательный (чистовой);
3. *отрубной* (для отделения готовой поковки от прутка).

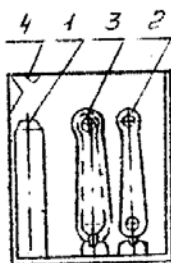


Рис. 2. Схема многоручьевого штампа для штамповки поковки шатуна:  
1 - подкатной ручей; 2 - штамповочный черновой ручей;  
3 - штамповочный чистовой ручей; 4 - отрубной ручей

*Заготовительные ручки* предназначены для фасонирования в штампах. Фасонирование – перераспределение металла заготовки с целью придания ей формы, обеспечивающей последующую штамповку с малым отходом металла.

*Протяжной ручей* предназначен для увеличения длины отдельных участков заготовки за счет уменьшения площади их поперечного сечения.

*Подкатной ручей* служит для местного увеличения сечения заготовки (набора металла) за счет уменьшения сечения рядом лежащих участков, т.е. для распределения объема металла вдоль оси заготовки в соответствии с распределением его в поковке.

*Пережимной ручей* предназначен для уменьшения вертикального размера заготовки в местах, требующих уширения.

*Гибочный ручей* применяют только при штамповке поковок, имеющих изогнутую ось.

*Формовочный ручей* служит для придания заготовке формы, приближающей её к форме поковки в плоскости разъема, если при этом не требуется значительно перераспределения металла вдоль оси заготовки.

*Штамповочные ручки* предназначены для получения готовой поковки.

*Черновой ручей* предназначен для максимального приближения формы заготовки к форме поковки сложной конфигурации. В открытых штампах черновой ручей не имеет облойной канавки. Применяется для снижения износа чистового ручья, но может отсутствовать.

*Чистовой ручей* служит для получения готовой поковки, имеет размеры «горячей поковки», т.е. больше, чем у холодной поковки, на величину усадки. В открытых штампах по периметру ручья предусмотрена облойная канавка. Чистовой ручей располагается в центре штампа, т.к. в нем возникают наибольшие усилия при штамповке.

При разработке технологических операций изготовления поковки методом объемной штамповки составляют чертеж поковки (рис. 3) с учетом припусков и

допусков на механическую обработку, величина которых берется в зависимости от сложности и размеров детали.

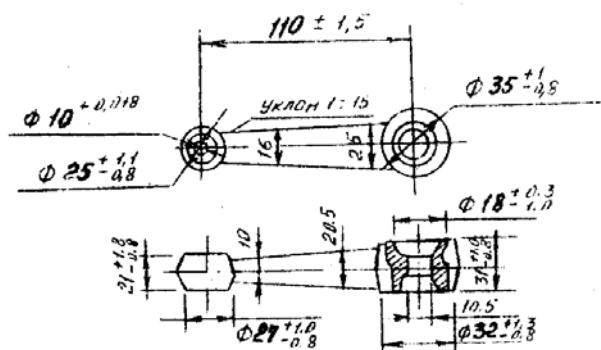


Рис. 3. Эскиз поковки

На основании чертежа поковки определяют ее объем и массу, а учитывая отходы металла в процессе обработки, устанавливают объем и вес исходной заготовки.

1. Определение объема исходной заготовки для штамповки на молоте, мм<sup>3</sup>:

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{пок}} + V_{\text{обл}} + V_{\text{уг}},$$

где  $V_{\text{заг}}$  – объем исходной заготовки;  $V_{\text{пок}}$  – объем поковки;  $V_{\text{обл}}$  – объем отхода металла на облой;  $V_{\text{уг}}$  – объем металла на угар при нагреве;

$$V_{\text{обл}} = (0,5 \dots 0,8) * f_{\text{обл}} S,$$

где  $f_{\text{обл}}$  – площадь сечения канавки для заусенца;  $S$  – периметр поковки по линии разреза. Большие значения коэффициента следует брать для поковки сложной конфигурации.

Ориентировочные значения величины площади  $f_{\text{обл}}$  берут в зависимости от масс поковок: до 0,5 кг  $f_{\text{обл}} = 1,1 \text{ см}^2$ ; 5-12 кг  $f_{\text{обл}} = 3,2 \text{ см}^2$ ; 40-100 кг  $f_{\text{обл}} = 11,2 \text{ см}^2$ .

2. Определение массы исходной заготовки, кг:

$$G_{\text{заг}} = V_{\text{заг}} \gamma,$$

где  $\gamma$  – плотность металла. Для стали  $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$ .

3. Определение размеров исходной заготовки:

Диаметр заготовки, мм:

$$D_{\text{заг}} = 1,08 \sqrt{\frac{V_{\text{заг}}}{K}},$$

где  $D_{\text{заг}}$  – диаметр заготовки в мм;  $K$  – коэффициент, учитывающий возможности продольного изгиба ( $K=1,5 \div 2,5$ ).

Полученное значение  $D_{\text{заг}}$  в соответствии со стандартом округляют до ближайшего большего значения по сортаменту проката (см. табл. 1).

Длина заготовки, мм:

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

где  $F_{\text{заг}}$  – площадь поперечного сечения заготовки, мм<sup>2</sup>.

4. Определение коэффициента использования металла:

$$\eta = \frac{G_{\text{пок}}}{G_{\text{заг}}} * 100\%,$$

где  $G_{\text{пок}}$  – масса поковки, г;  $G_{\text{заг}}$  – масса исходной заготовки, г.

5. Определение времени нагрева исходной заготовки, ч:

$$Z = \alpha K D \sqrt{D},$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий способ укладки заготовок на поду печи (табл. 2);  $K$  – коэффициент, учитывающий марку стали (для углеродистой стали  $K=10$ ; для легированной стали  $K=20$ );  $D$  – диаметр или сторона квадрата заготовки, м.

6. Определение мощности кузнечного штамповочного молота:

$$G = K * F,$$

где  $G$  – масса падающих частей молота, кг;  $K$  – сопротивление металла деформированию при температурековки (для углеродистой стали 5-8 кг/см<sup>2</sup>; для легиро-

ванной стали 12 кг/см<sup>2</sup>);  $F$  – площадь поперечного сечения заготовки в конце деформации, см<sup>2</sup>.

7. Определение усилия обрезающего пресса, необходимого для обрезки заусенца:

$$P = \sigma_{cp} \delta_3 SK ,$$

где  $P$  – усилие пресса, кг;  $\delta_3$  – толщина заусенца, мм;  $\delta_3 = 0,015 D_{\text{пок}}$ ;  $\sigma_B$  – предел прочности при растяжении;  $\sigma_B = 300$  МПа;  $\sigma_{cp} = 0,8 \sigma_B$ , МПа;  $S$  – периметр заусенца по плоскости среза, мм;  $K$  – коэффициент, учитывающий притупление режущих кромок инструмента ( $K=1,5 \dots 2,0$ ).


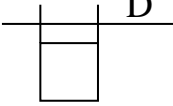


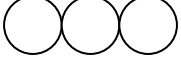

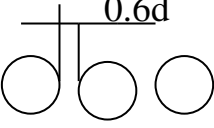
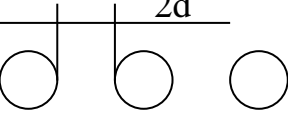
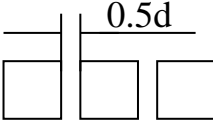
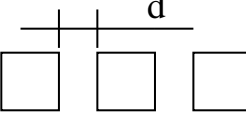
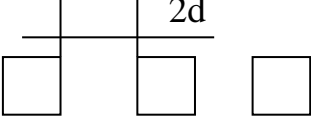
Таблица 1

Данные для определения параметров исходной заготовки

Диаметр стали, мм	Площадь поперечного сечения, см <sup>2</sup>	Диаметр стали, мм	Площадь поперечного сечения, см <sup>2</sup>
25	4,90	36	10,18
26	5,30	38	11,34
28	6,15	40	12,57
30	7,06	42	13,85
32	8,04	45	18,10
34	9,07		

Таблица 2

Данные для определения характеристик заготовки

Расположение заготовок в печи	Коэффициент	Расположение заготовок в печи	Коэффициент
	1		1
	1		1.4
	2		4
	1.4		
	1.3		2.2
			2
			1.8

8. Составить технологический процесс штамповки шатуна.

### 3. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ И НАГЛЯДНЫЕ ПОСОБИЯ

#### 3.1. Эскизы поковок

3.2. Образцы поковок

3.3. Штампы объемной горячей штамповки

3.4. Учебный фильм «Горячая объемная штамповка»

#### 4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

Составить карту технологического процесса штамповки шатуна по заданным формам (табл. 3).

Таблица 3

Карта технологического процесса штамповки шатуна по заданным формам

Эскиз поковки	Марка стали
	Масса поковки
	Размеры заготовки Вес заготовки Коэффициенты использования металла Топливо Температурные интервалы Время нагрева

Таблица 4

Сводная таблица технологического процесса штамповки шатуна

№ п/п	Наименование операции	Эскизы переходов	Оборудование	Инструменты

#### 5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1. Изучить представленные объекты исследования.

5.2. Познакомиться с содержанием учебного фильма.

5.3. Составить схему заданного одноручьевого штампа.

5.4. Составить схему заданного многоручьевого штампа.

5.5. Произвести основные расчеты (при изготовлении поковок).

## **6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 6.1. Какие виды штампов применяются при горячей объемной штамповке?
- 6.2. В каких случаях применяют многоручьевые штампы?
- 6.3. Какие ручки могут быть в многоручьевом штампе?
- 6.4. Из чего складывается объем исходной заготовки для штамповки?
- 6.5. На каком оборудовании осуществляется горячая объемная штамповка?

## **7. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Технология конструкционных материалов: учебник для студентов машиностроительных ВУЗов / Под общей редакцией А.М. Дальского. – М.: Машиностроение, 2003. – 512 с.
2. Колесов С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебник для вузов/ С.Н. Колесов. – М.: Высшая школа, 2004. – 512 с.
3. Технология конструкционных материалов (Технологические процессы в машиностроении): учебник для студентов машиностроительных специальностей ВУЗов в 4 ч. / Под общей ред. Э.М. Соколова, С.А. Васина, Г.Г. Дубенского. – Тула, Издательство ТулГУ. – 2007.



# **«ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»**

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10**

### **Холодная листовая штамповка**

#### **1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ**

Изучить сущность процесса обработки листового материала ножницами и в штампах; ознакомиться с принципами работы и устройством кривошипного пресса простого действия, с типами раскроев и методикой определения норм расхода материалов; получить навыки расчета рабочих размеров пуансонов и матриц и усилия вырубки и пробивки.

#### **2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Для деталей, получаемых методом холодной штамповки, применяют весьма разнообразные материалы как металлические, так и неметаллические.

Наиболее распространенными материалами, обрабатываемыми холодной штамповкой, являются сталь, медь и ее сплавы, алюминий и алюминиевые сплавы, никель и никелевые сплавы, цинк, свинец, неметаллы (бумага, картон, эбонит, асбест, гетинакс, текстолит, кожа, войлок, целлулоид).

При холодной обработке металла давлением происходит его *наклёп*. Наклёп повышает предел прочности и твердость, но понижает пластичность и ударную вязкость. Чем больше деформация металла при штамповке, тем больше наклеп, который устраняется отжигом.

##### **2.1. Основные операции холодной листовой штамповки**

Форма будущей детали задается матрицей и пуансоном, которые прижимают к листовой заготовке с двух сторон под большим давлением. Деформируясь, листовая заготовка повторяет форму матрицы и пуансона.

Все рабочие операции холодной листовой штамповки делятся на две большие группы: формоизменяющие и разделительные. При проектировании технологии листовой штамповки технолог комбинирует операции из обеих групп.

К *формоизменяющим операциям* листовой штамповки относятся операции, изменяющие пространственную форму листа без нарушения его целостности, такие, как:

*Гибка* - придание плоской заготовке изогнутой вдоль продольной оси формы. Различают V-образную, U-образную и более сложные формы гибки.

*Вытяжка* - преобразование плоской заготовки в полую пространственную форму. При вытяжке может меняться толщина заготовки.

*Отбортовка* - создание бортов по наружному или внутреннему контуру изделия.

*Обжим* - обжатие материала заготовки в конической матрице с целью уменьшения размеров концевой части детали.

*Формовка* - изменение формы части детали с сохранением линии наружного контура.

Основными *разделительными операциями* листовой штамповки являются резка (отрезка), вырубка и пробивка в штампах.

*Резка* - отделение части материала по незамкнутому контуру. Применяется как для получения готовых изделий, так и для деления листа на полосы или заготовки нужного размера с целью дальнейшей обработки. Производится ножницами различных видов и в отрезных штампах.

Вырубка и пробивка листового металла в штампах являются самыми распространенными операциями холодной штамповки. В результате вырубки (пробивки) происходит отделение одной части металла от другой аналогично процессу разрезки, но по замкнутому контуру.

Характер деформирования заготовки для этих операций одинаков, отличаются они только назначением. *Вырубкой* оформляют наружный контур детали, а *пробивкой* – внутренний контур (изготовление отверстий).

Процесс вырубки протекает следующим образом: пуансон, оказывая давление на металл, сначала производит смятие поверхности, а затем разделение благодаря появлению трещин скалывания (рис. 3).

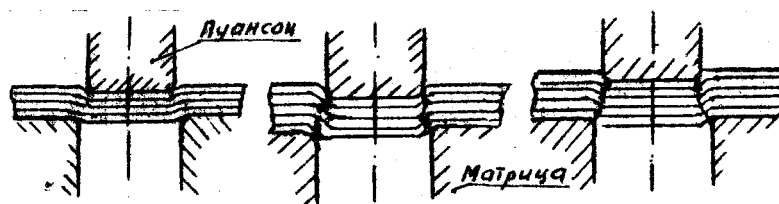


Рис. 3. Последовательность процесса вырубки

Эти трещины направлены под некоторым углом к оси инструмента и для их встречи необходим определенный зазор между пуансоном и матрицей. Величина зазора зависит от толщины и рода штампуемого материала и может быть выбрана по табл. 1.

Таблица 1  
Двусторонние зазоры (Z) между пуансоном и матрицей.

Толщина материала, мм	Величина зазора от толщины материала, %		Толщина материала, мм	Величина зазора от толщины материала, %	
	Сталь	Латунь Медь		Сталь	Латунь Медь
От 0,5 до 0,8	5	4	От 1,5 до 2,0	9	6
От 0,8 до 1,0	6	5	От 2,0 до 3,0	10	7
От 1,0 до 1,5	7	5	От 3,0 до 4,0	12	7

Правильно выбранный зазор обеспечивает чистый срез по периметру вырезаемой детали или пробиваемого отверстия.

Если этот зазор взять малым, то скалывающие трещины не встречаются и поверхность среза получается рваной. При большом зазоре деталь получается с вырывами и заусенцами по контуру.

Зазор между пуансоном и матрицей при вырубке детали обеспечивается за счет уменьшения размеров пуансона  $d_n$  (размер матрицы  $d_m$  равен размеру детали), а при пробивке отверстия - за счет увеличения рабочего отверстия матрицы  $d_m$ ; размер пуансона  $d_n$  равен размеру отверстия. Таким образом, при вырубке:

$$d_m = d_{\text{дет.}}, \quad d_n = d_m - Z,$$

а при пробивке:

$$d_n = d_{\text{отв.}}, \quad d_m = d_n + Z.$$

Усилие, необходимое для вырубки или пробивки, зависит от размеров детали, толщины и механических свойств материала, а также от состояния режущих кромок и величины зазора.

Усилие вырубки и пробивки штампами с параллельными режущими кромками определяется по формуле:

$$P = Ls\sigma_{\text{ср}},$$

где  $P$  - усилие резания, МН;  $L$  – периметр изделия или отверстия, м;  $s$  - толщина листа, м;  $\sigma_{\text{ср}}$  - сопротивление срезу, МПа.

Однако требуемое давление пресса необходимо брать несколько больше расчетного усилия (примерно на 20%) с тем, чтобы учесть притупление режущих кромок и неравномерность толщины инструмента.

В целях упрощения подсчета требуемого давления пресса можно в приведенных формулах произвести замену  $\sigma_{\text{ср}}$  (сопротивление срезу) на  $\sigma_{\text{в}}$  (предел прочности при растяжении) по табл. 2, что и даст полное усилие с учетом всех побочных явлений при вырубке.

Таблица 2

Максимальные значения предела прочности для различных материалов

Материал	Предел прочности $\sigma_{\text{в}}$ , МПа	Материал	Предел прочности $\sigma_{\text{в}}$ , МПа
Сталь 20	500	Медь красная мягкая	210
Сталь 30	600	Бронза мягкая	300
Сталь 35-40	650	Латунь мягкая	350

## 2.2. Оборудование и инструмент для листовой штамповки

Для разрезки заготовок применяют следующие типы ножниц: 1) с поступательным движением режущих кромок ножа; 2) с вращательным движением режущих кромок - дисковые ножницы. Ножницы первого типа могут быть с параллельными ножами (рис. 1; один нож неподвижный, а другой - подвижный) или гильотинными (рис. 2), в которых верхний подвижный нож поставлен наклонно по отношению к нижнему неподвижному.

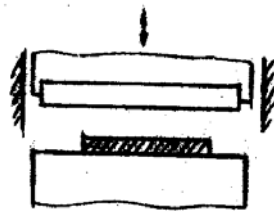


Рис.1. Схема ножниц с параллельными ножами

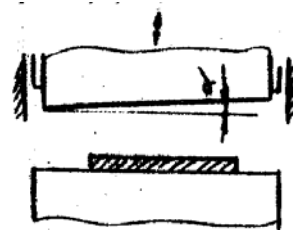


Рис.2. Схема гильотинных ножниц

Недостаток ножниц с параллельными ножами - большие усилия резания. Преимущество - отрезаемые полосы не деформируются, можно резать хрупкие материалы.

Недостаток гильотинных ножниц - деформирование отрезаемой полосы, которую перед штамповкой следует править. При резке хрупких материалов наблюдается растрескивание полос. Преимущество - уменьшение усилия отрезки. Угол скоса верхнего ножа  $= 2...12^\circ$ .

Основной инструмент для вырубки и пробивки – штамп, который устанавливается на пресс. Конструкция штампа для вырубки заготовок приведена на рис. 5.

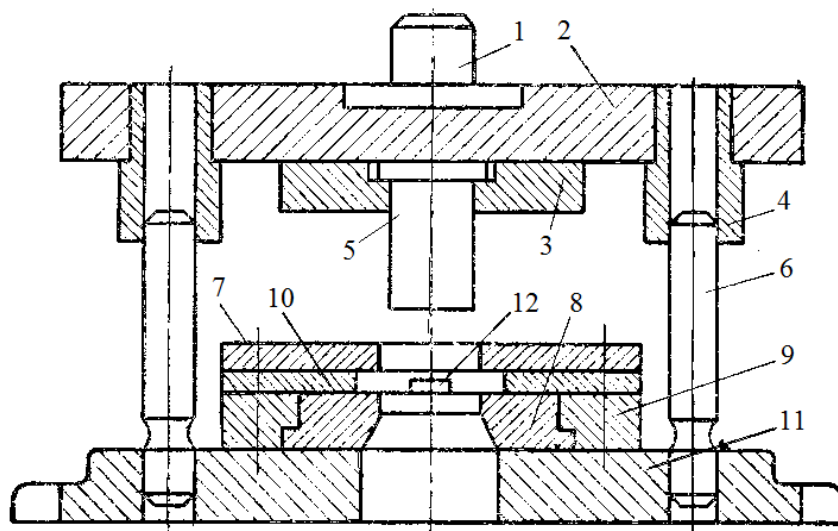


Рис. 5. Вырубной штамп

Пуансон 5 крепится к верхней плите 2 штампа с помощью пуансонодержателя 3. Плита 2 хвостовиком 1 крепится к ползуну пресса. Матрица 8 крепит-

ся к нижней плите 11 штампа с помощью матрицедержателя 9, а нижняя плита - к столу пресса. Соосность пуансона и матрицы достигается при помощи направляющих колонок 6 и втулок 4. Заготовка в виде полосы, направляемая с боков двумя планками 10, подается по матрице 8 (12 – упор). При обратном ходе ползуна съемник 7 снимает полосу с пуансона.

Кинематическая схема кривошипного пресса простого действия приведена на рис. 6. Электродвигатель 9 посредством клиноременной передачи 4 передает движение через пусковую муфту 3 на кривошипный вал 2. Через шатун 5, длина которого регулируется, движение передается на ползун 6, осуществляющий возвратно-поступательное движение.

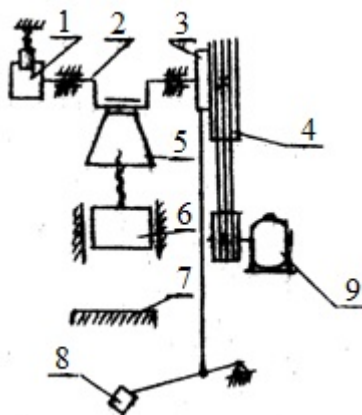


Рис. 6. Кинематическая схема кривошипного пресса простого действия

Пуск пресса на рабочий ход осуществляется педалью 8 через муфту 3. Для остановки вращения кривошипного вала после включения муфты служит тормоз 1. Пресс установлен на столе 7.

### 2.3. Раскрой материала

При штамповке большое значение имеет экономия материала, особенно в массовом и крупносерийном производствах, так как стоимость материала штампованных деталей составляет более 60% от общей их стоимости.

Под общим наименованием «*раскрой материала*» следует понимать определение размеров заготовки (полосы, ленты, листа), а также взаимного расположения контуров смежных вырубаемых заготовок.

Раскрой должен обеспечить высокое качество деталей, высокую произво-

длительность при вырубке, простоту конструкции штампа и наивысшую стойкость его рабочих частей, а также удобство и безопасность работы на штампе.

Между смежными контурами вырубаемых заготовок обычно оставляют перемычки шириной, примерно равной толщине заготовки, хотя в отдельных случаях смежные заготовки вырубают без перемычек (экономия металла при ухудшении качества среза и снижении стойкости инструмента).

В зависимости от формы штампуемых деталей расположение их на полосе может быть прямым (рис. 4, а), наклонным (рис. 4, б), встречным с поворотом полосы (рис. 4, в); многорядным (рис. 4, г) и в зависимости от точности деталей раскрой материала производится или с перемычками между вырезами (с отходом - рис. 4, а, б, в, г), или без перемычек (без отхода, прямой - рис. 4, д).

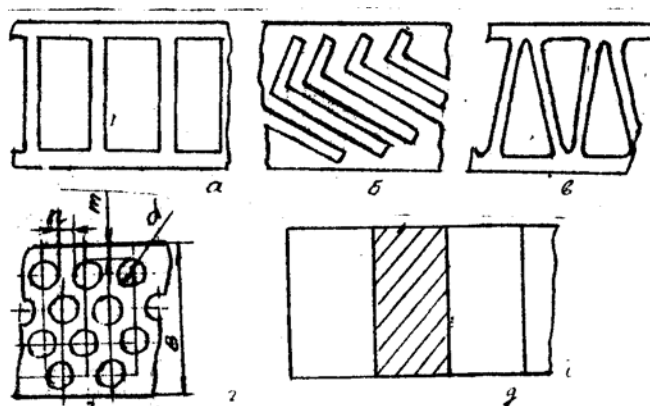


Рис. 4. Типы раскроев полосового материала

Рекомендуемые величины перемычек при вырубке деталей из стали и латуни приведены в табл. 3. Зная размеры штампуемых деталей и величины перемычек, можно определить ширину полосы (ленты)  $B$ .

При многорядных раскроях ширина полосы определяется по формуле:

$$B = 2m + d + 0,86(k-1)(d+n),$$

где  $B$  - ширина полосы, мм;  $d$  - диаметр вырезаемой детали, мм;  $m$  и  $n$  - величины перемычек, мм (табл. 3);  $k$  - число рядов.

Таблица 3

Минимальные перегибы при вырубке деталей из стали и латуни

Толщина материала мм	При ручной подаче (рис. 2,3)						При автома- тической по- даче	
	Круглая вырезка		Не круглая вырезка		Вырезка с по- воротом полос			
	m	n	m	n	m	n	m	n
До 1...	1,5	1,5	2	1,5	3	2	3	2
От 1 до 2	2	1,5	2,5	2	3,5	3	3	2
От 2 до 3	2,5	2	3	3	4	3,5	3	3
От 3 до 4	3	2,5	4	3	5	4	4	3

Коэффициент использования материала ( $\eta$ , %) при штамповке из полосы или листа определяется по формуле:

$$\eta = \frac{nF}{BL} \cdot 100\%,$$

где  $n$  - число деталей, получаемых из полосы или ленты;  $L$  - длина полосы или ленты, мм;  $F$  - площадь одной детали, мм<sup>2</sup>;  $B$  - ширина полосы или ленты, мм.

Шаговый коэффициент использования материала ( $\eta_{ш}$ , %) при штамповке из полосы или ленты определяется по формуле:

$$\eta_{ш} = \frac{F}{B H_{ш}} \cdot 100\%,$$

где  $H_{ш}$  - шаг штамповки (определяется исходя из размера детали и величины перегибы между деталями), мм.

Общий коэффициент использования материала  $\eta$ , отнесенный к листу (при штамповке из листа или резке полос из листа):

$$\eta = \frac{NF}{B_{л} L_{л}} \cdot 100\%,$$

где  $N$  - число деталей из листа, мм;  $B_{л}$  - ширина листа, мм;  $L_{л}$  - длина листа, мм.

Холодная листовая штамповка позволяет получать высокоточные тонкостенные детали различной формы при себестоимости существенно ниже, чем в случае использования литья и механической обработки. Листовая штамповка в



сочетании со сваркой позволяет производить неразъемные узлы практически неограниченных размеров (например, в вагоностроении, судостроении).

### 3. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ И НАГЛЯДНЫЕ ПОСОБИЯ

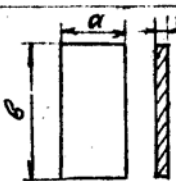
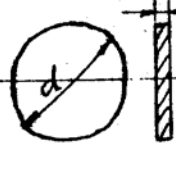
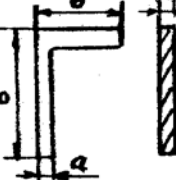
- 3.1. Вырубной (пробивной) штамп.
- 3.2. Настольный гидравлический пресс ПГПР (давление 15,2 МПа).
- 3.3. Заготовки металла (полосы из сплавов алюминия и стали).
- 3.4. Плакаты, стенды.

### 4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

Для конкретной детали по указанию преподавателя (табл. 5) осуществить действия, представленные в пункте 5.

Таблица 5

Исходные данные для самостоятельной работы

№ вар.	Форма детали	Размеры детали			Материал	Вид производства
		a	b	t		
1		12	24	2,50	бронза	Мелкосерийное
2		15	30	1,6	сталь 40	Среднесерийное
3		10	20	0,8	сталь 30	Крупносерийное
4		18	36	1,2	медь	Массовое
5		20	45	0,6	латунь	Крупносерийное
6		15	-	1,55	сталь 35	Мелкосерийное
7		18	-	2,9	сталь 40	Крупносерийное
8		25	-	2,1	сталь 30	Крупносерийное
9		35	-	1,5	медь	Массовое
10		40	-	2,0	латунь	Среднесерийное
11		10	75	0,6	бронза	Среднесерийное
12		20	100	1,0	сталь 20	Мелкосерийное
13		30	120	2,5	сталь 30	Массовое
14		25	125	4,0	медь	Крупносерийное
15		40	150	2,0	латунь	Крупносерийное

### 5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 5.1. Выбрать тип раскроя, подсчитать экономичность.
- 5.2. Рассчитать размеры полосы.

5.3. Рассчитать рабочие размеры пуансона и матрицы.

5.4. Подсчитать усилие вырубки.

## **6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

6.1. Название работы, цель и задачи.

6.2. Краткие сведения по основам теории.

6.3. Эскиз штампа с описанием его устройства и принципа работы.

6.4. Эскиз прессы с описанием его устройства и принципа работы.

6.5. Оформить практическую часть.

## **7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

7.1. Что такое вырубка и пробивка, и как определяется необходимое усилие?

7.2. Объясните устройство вырубного штампа и кривошипного прессы.

7.3. Назовите типы раскроев и как определяется экономичность?

7.4. Как определяются размеры матриц и пуансонов?

7.5. Перечислите основные формоизменяющие операции.

## **8. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Технология конструкционных материалов: учебник для студентов машиностроительных ВУЗов / Под общей редакцией А.М. Дальского. – М.: Машиностроение, 2003. – 512 с.

2. Колесов С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебник для вузов / С.Н. Колесов. – М.: Высшая школа, 2004. – 512 с.

3. Технология конструкционных материалов (Технологические процессы в машиностроении): учебник для студентов машиностроительных специальностей ВУЗов в 4 ч. / Под общей ред. Э.М. Соколова, С.А. Васина, Г.Г. Дубенского. – Тула, Издательство ТулГУ. – 2007.

# «ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

### Обработка на металлорежущих станках

#### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Изучить назначение и устройство токарных, сверлильных и фрезерных станков.

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

##### 2.1. Обработка на токарных станках

На *токарных станках* обрабатываются детали, представляющие собой тела вращения (валы, шкивы, заготовки зубчатых колес и др.) Токарной обработкой на заготовке получают цилиндрические, конические, фасонные поверхности, а также резьбы, фаски и галтели (радиусные переходы), вытачивают канавки, накатывают рифления.

Токарный станок, оснащенный специальным устройством для нарезания резьбы резцом, называется *токарно-винторезным*. На рис. 1 изображен общий вид токарно-винторезного станка. Данный станок состоит из следующих основных частей и узлов.

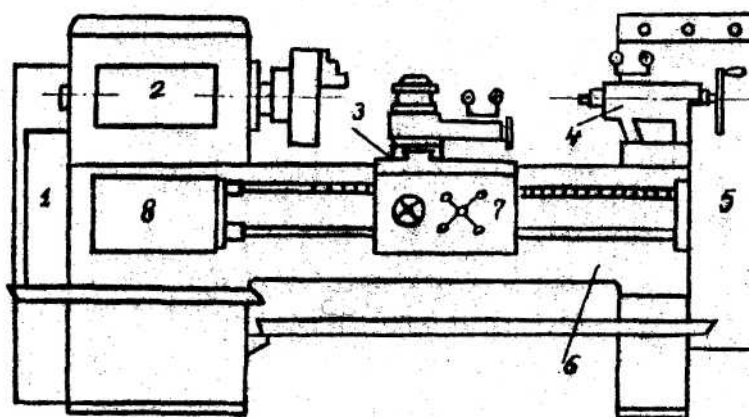


Рис. 1. Общий вид токарно-винторезного станка

*Станина 6* - массивное чугунное основание, на котором смонтированы основные узлы станка. Верхняя часть станины имеет две плоские и две

призматические направляющие, по которым перемещаются суппорт и задняя бабка. Станина установлена на двух тумбах.

*Передняя бабка 2* - чугунная коробка, внутри которой расположены коробка скоростей и шпиндель. *Шпиндель* представляет собой полый вал, на правом конце которого крепится приспособление, зажимающее заготовку. Шпиндель получает вращение от электродвигателя через клиноременную передачу и механизм, состоящий из зубчатых колес, размещенных внутри передней бабки. Этот механизм называется *коробкой скоростей* и служит для изменения частоты вращения шпинделя.

*Суппорт 3* - устройство для закрепления резца и обеспечения движения подачи, то есть перемещения резца в продольном и поперечном направлениях. Движение подачи суппорт получает от ходового вала или ходового винта. Суппорт состоит из следующих сборочных единиц: *каретки*, которая перемещается по направляющим станины; *фартука 7*, в котором расположен механизм преобразования вращательного движения ходового вала и ходового винта в прямолинейное движение суппорта; *поперечных салазок*; *верхних (резцовых) салазок* резцедержателя.

*Коробка подач 8* представляет собой механизм, передающий вращение от шпинделя к ходовому валу или ходовому винту. *Ходовой винт* используется для передачи движения от коробки подач к каретке суппорта при нарезании резьбы, а *ходовой вал* - при выполнении всех основных токарных работ. Коробка подач служит для изменения скорости движения подачи суппорта. Вращательное движение к коробке подач передается от шпинделя через реверсивный механизм (трэнзель) и гитару 1 со сменными зубчатыми колесами. *Гитара* предназначена для настройки станка на различные шаги нарезаемых резьб.

*Задняя бабка 4* - предназначена для поддержания конца длинных заготовок в процессе обработки, а также для закрепления и подачи стержневых инструментов (сверл, зенкеров, разверток).

Включение и выключение электродвигателя, пуск и остановка станка, управление коробкой скоростей, коробкой подач, механизмом фартука и т.п. производится соответствующими органами управления (рукоятками, кнопками, маховичками); 5 – шкаф управления.

Для закрепления заготовок применяют патроны, планшайбы, люнеты, оправки и другие.

Режущими инструментами являются резцы, сверла, зенкеры, развертки, метчики, плашки.

Наиболее распространенным видом режущего инструмента, применяемым на токарных станках, являются резцы. *Резцы* в зависимости от назначения бывают проходные, подрезные, отрезные, расточные, резьбовые, галтельные, фасонные и другие.

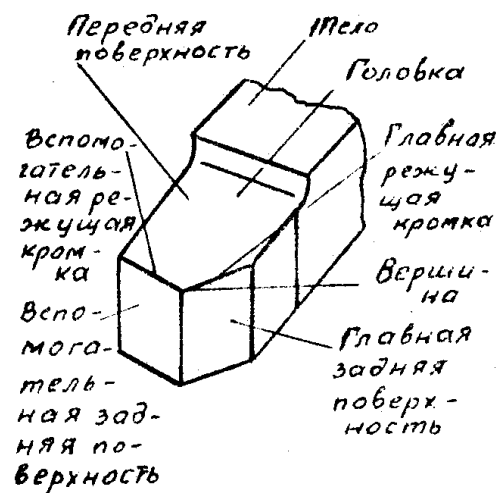


Рис. 2. Схема токарного резца

Токарный резец (рис. 2) состоит из головки (рабочей части) и тела, служащего для закрепления резца. Поверхностям и другим элементам головки резца присвоены следующие названия. *Передней поверхностью резца* называется та поверхность, по которой сходит стружка. *Задними поверхностями резца* называются поверхности, обращенные к обрабатываемой детали, причем одна из них называется главной, а другая - вспомогательной. *Режущими кромками резца* называются линии, образованные пересечением

передней и задних его поверхностей. Режущая кромка, выполняющая основную работу резания, называется главной, а примыкающая к вспомогательной задней поверхности - вспомогательной.

*Вершиной резца* называется место сопряжения главной и вспомогательной кромок. Работоспособность резца определяется его геометрией, то есть углами.

Основные требования, предъявляемые к материалу рабочей части резца:

- твердость (должна быть больше твердости любого обрабатываемого материала);
- вязкость (чтобы во время работы кромка резца не выкрашивалась);
- сопротивление истиранию.

## 2.2. Обработка на сверлильных станках

*Сверлильные станки* делятся на три группы: *универсальные*, *специализированные* (для узкоспециализированной обработки однотипных деталей в определенном диапазоне размеров, когда на линии требуется

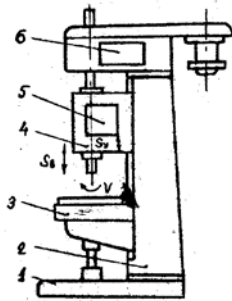


Рис. 3. Схема сверлильного станка

выполнение одной задачи, повторяющейся с большой частотой) и *специальные* (для обработки одной детали; могут обрабатывать только один тип заготовок, который имеет определенную форму; возможно одновременное выполнение нескольких

однотипных задач). Универсальные станки являются самыми распространенными.

Станок модели 2М112 показан на рис. 3. На фундаментной плите 1 смонтирована колонна 2. В ней расположена коробка скоростей 6. Коробка подач 5 расположена в кронштейне 4. Заготовку устанавливают на столе 3.

На универсальных станках можно производить все технологические операции, характерные для обработки отверстий (сверление, рассверливание

предварительно полученных отверстий, зенкерование, развертывание, нарезание резьбы, зенкование и т.д.)

Сверление отверстий в деталях производят в приспособлениях, называемых кондукторами, которые обеспечивают надежное крепление обрабатываемой детали и точное направление режущего инструмента. При сверлении отверстий в заготовках из стали или вязких материалов необходимо применять смазочно-охлаждающие жидкости.

Основным режущим инструментом являются *спиральные сверла*, которые изготавливаются либо из инструментальной углеродистой стали марки У12А, либо из быстрорежущей стали, либо оснащаются пластинками из твердых сплавов. Наибольшее распространение в промышленности получили спиральные сверла. Спиральные сверла (рис. 4) изготавливают диаметром от 0,1 до 80 мм. Они состоят из рабочей части, шейки, хвостовика (конусного или цилиндрического), служащего для крепления сверла в шпинделе станка или в патроне, и лапки, являющейся упором при удалении сверла из шпинделя.

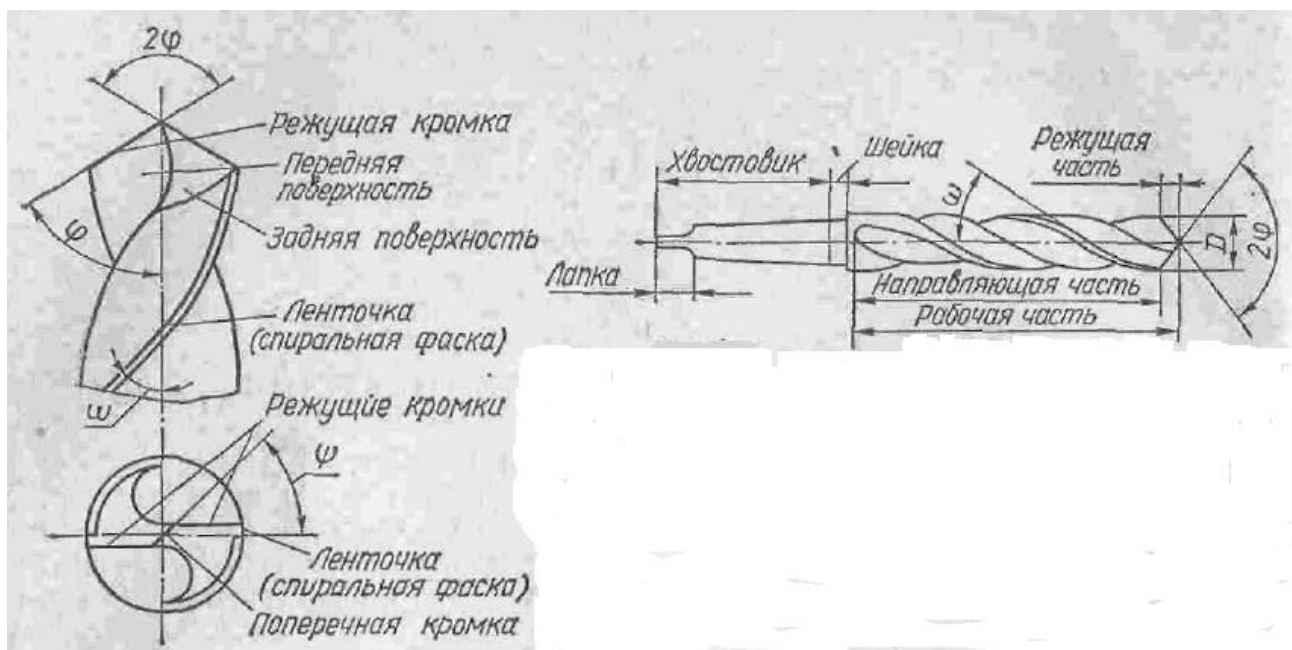


Рис. 4. Схема спирального сверла

*Режущая часть* спирального сверла состоит из двух зубьев, которые в процессе сверления своими режущими кромками врезаются в материал заготовки и срезают его в виде стружки. Это основная часть сверла. Условия

работы сверла определяются главным образом конструкцией его режущей части.

*Направляющая часть* сверла необходима для создания направления при работе инструмента. Поэтому она имеет две направляющие винтовые ленточки, которые при сверлении соприкасаются с рабочей поверхностью направляющей втулки и со стенками обработанного отверстия. Направляющая часть имеет *вспомогательные режущие кромки* - кромки ленточки, которые участвуют в оформлении (калибровании) поверхности обработанного отверстия. Кроме этого направляющая часть сверла служит запасом для переточек инструмента. Она обеспечивает также удаление стружки из зоны резания.

*Хвостовик* служит для закрепления сверла на станке. Он с помощью цилиндрической шейки соединяется с рабочей частью сверла. Наиболее часто рабочая часть сверла изготавливается из быстрорежущей стали, а хвостовик из стали 45. Рабочая часть и хвостовик соединяются сваркой. В промышленности используются также твердосплавные сверла. Режущая часть этих сверл оснащается пластинками твердого сплава либо твердосплавными коронками. У твердосплавных сверл малого диаметра полностью вся рабочая часть может изготавливаться из твердого сплава.

Для уменьшения трения сверла у хвостовика диаметр делается меньше на 0,04...0,10 мм на каждые 100 мм длины сверла. Угол при вершине у сверла для обработки стали, чугуна и твердой бронзы  $2\varphi = 116...118^\circ$ , для обработки алюминия и его сплавов  $2\varphi = 140^\circ$ ; для обработки хрупких материалов  $2\varphi = 80...90^\circ$ . Угол наклона поперечной кромки  $\omega = 55^\circ$ .

Для обработки цилиндрических отверстий в отливках, поковках, штамповках, а также для улучшения чистоты просверленного отверстия применяют *зенкерование* (инструмент – зенкер). Для окончательной обработки отверстий заданной точности и правильной формы применяют *развертывание* (инструмент – развертка).

Для получения фасок в просверленных отверстиях, образования



конических и цилиндрических гнезд под головки винтов и болтов выполняют *зенкование* (инструмент – цилиндрическая или коническая зенковка).

### 2.3. Обработка на фрезерных станках

*Фрезерованием* выполняются: обработка различных плоскостей, фасонных поверхностей, выборка пазов, уступов, отрезные работы; нарезаются зубчатые колеса и резьбы. Основным режущим инструментом является *фреза*.

В зависимости от расположения шпинделя консольно-фрезерные станки делятся на горизонтальные и вертикальные. *Горизонтально-фрезерные* станки характеризуются горизонтальным расположением шпинделя и наличием у станка трех взаимно перпендикулярных движений - продольного, поперечного и вертикального. В универсальных горизонтально-фрезерных станках рабочий стол может еще поворачиваться вокруг вертикальной оси на угол до  $45^\circ$  в каждую сторону. Основными частями станка (рис. 5) являются: станина 1, шкаф для электрооборудования 2, коробка скоростей 3, стол 5, хобот 4, салазки 7, консоль 8 и коробка подач 9.

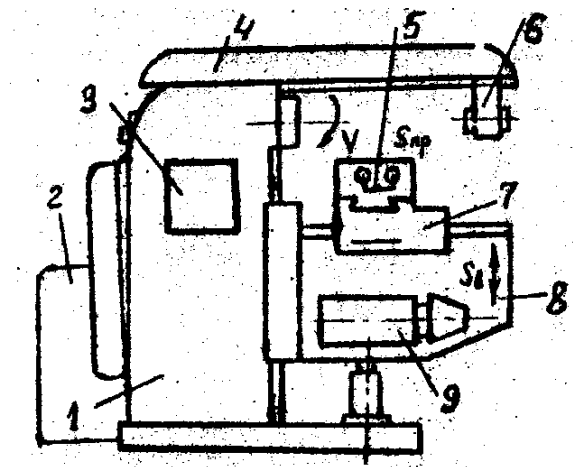


Рис. 5. Схема горизонтально-фрезерного станка

Станина станка служит для крепления всех узлов и механизмов станка. В ней располагается коробка скоростей, которая служит для передачи шпинделю различных частот вращения. Шпиндель фрезерного станка служит для передачи вращения режущему инструменту от коробки скоростей. Хобот служит для поддержания при помощи серьги 6 конца фрезерной оправки с фрезой. Консоль представляет собой отливку коробчатой формы с

вертикальными и горизонтальными направляющими. Вертикальными направляющими она соединена со станиной и перемещается по ним. По горизонтальным направляющим перемещаются салазки. В консоли располагается коробка подач, которая обеспечивает получение рабочих подач и быстрых перемещений стола, салазок и консоли.

Салазки являются промежуточным звеном между консолью и столом станка. По верхним направляющим салазок стол перемещается в продольном направлении, а нижняя часть салазок вместе со столом перемещается в поперечном направлении по верхним направляющим консоли.

В *вертикально-фрезерных* станках вместо хобота имеется поворотная головка, которая крепится к горловине станины и может поворачиваться в вертикальной плоскости на угол от 0 до 45° в обе стороны.

Для установки и закрепления заготовок применяют универсальные приспособления (прихваты, угловые плиты, призмы, машинные тиски и др.)

Поверхности и режущие кромки зубьев фрез (рис. 6) по аналогии с резцами имеют следующие названия. Передняя поверхность зуба 1 – поверхность, по которой сходит стружка. Задняя поверхность зуба 3 – поверхность, обращенная в процессе резания к поверхности резания. Спинка 4 – поверхность, смежная с передней поверхностью одного зуба и задней поверхностью соседнего. Главная режущая кромка 2 выполняет основную работу резания. Вспомогательной режущей кромки у цилиндрических фрез нет. Выемка 5, образуемая передней поверхностью одного зуба и спинкой соседнего зуба, называется канавкой и служит для отвода стружки.

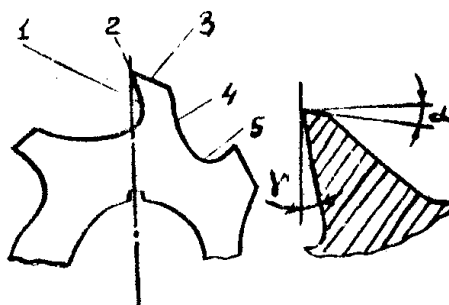


Рис. 6. Поверхности и режущие кромки зубьев фрез

Режущую часть фрез изготавливают из инструментальных углеродистых, быстрорежущих сталей, твердых и минералокерамических сплавов.

### *Виды фрезерных работ*

Горизонтальные плоскости фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках цилиндрическими фрезами (рис. 7, а) и на вертикально-фрезерных станках – торцовыми фрезами (рис. 7, б).

Вертикальные плоскости фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках торцовыми фрезами (рис. 7, в) и торцовыми фрезерными головками, а на вертикально-фрезерных станках – концевыми фрезами (рис. 7, г).

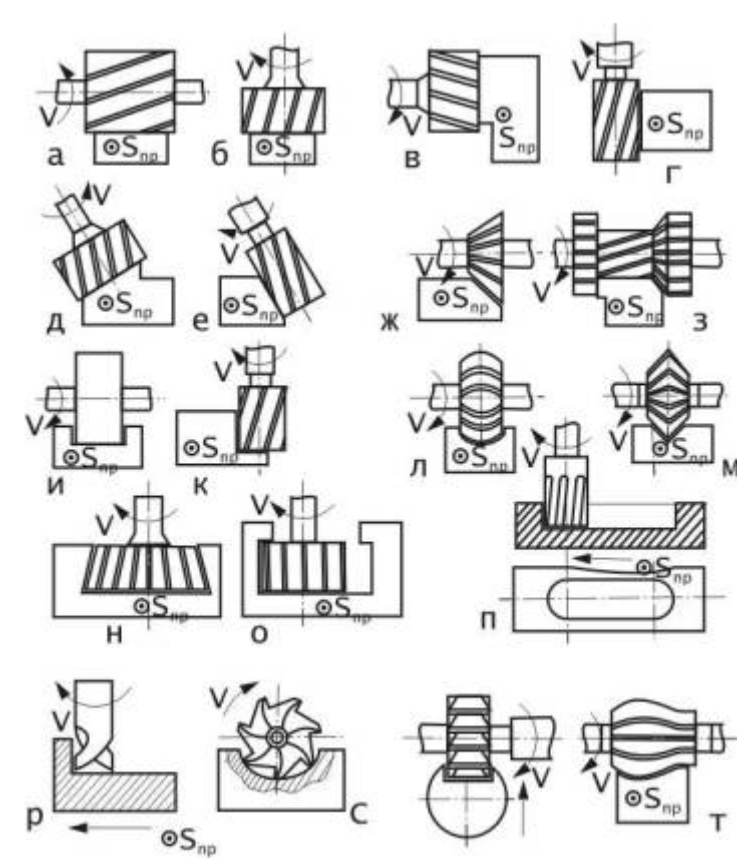


Рис. 7. Схемы обработки поверхностей заготовок на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках

Наклонные плоскости фрезеруют торцовыми (рис. 7, д) и концевыми (рис. 7, е) фрезами на вертикально-фрезерных станках, у которых фрезерная головка со шпинделем поворачивается в вертикальной плоскости. На горизонтально-фрезерном станке скосы фрезеруют одноугловой фрезой (рис. 7, ж).

Комбинированные поверхности фрезеруют набором фрез (рис. 7, з) на горизонтально-фрезерных станках.

Уступы и прямоугольные пазы фрезеруют дисковыми (рис. 7, и) и концевыми (рис. 7, к) фрезами на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках. Уступы и пазы целесообразнее фрезеровать дисковыми фрезами, так как они имеют большее число зубьев и допускают работу с большими скоростями резания.

Фасонные пазы фрезеруют фасонной дисковой фрезой (рис. 7, л), угловые пазы – одноугловой и двухугловой (рис. 7, м) фрезами на горизонтально-фрезерных станках.

Паз типа «ласточкин хвост» фрезеруют на вертикально-фрезерном станке за два прохода: прямоугольный паз – концевой фрезой, затем скосы паза – концевой одноугловой фрезой (рис. 7, н).

Т-образные пазы (рис. 7, о), которые широко применяют в машиностроении как станочные пазы, например на столах фрезерных станков, фрезеруют обычно за два прохода: сначала паз прямоугольного профиля концевой (реже дисковой) фрезой, затем нижнюю часть паза фрезой для Т-образных пазов.

Закрытые шпоночные пазы фрезеруют концевыми фрезами (рис. 7, п), а открытые – концевыми или шпоночными (рис. 7, р) фрезами на вертикально-фрезерных станках.

Пазы под сегментные шпонки фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках дисковыми фрезами (рис. 7, с). Заготовке сообщают вертикальную подачу.

Фасонные поверхности незамкнутого контура фрезеруют на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках фасонными фрезами соответствующего профиля (рис. 7, т).

Применение фасонных фрез эффективно при обработке узких и длинных фасонных поверхностей. Широкие профили обрабатывают набором фасонных

фрез.

## **2.4. Материалы для изготовления режущих инструментов**

Для изготовления резцов и других режущих инструментов применяют следующие материалы:

1. *Вольфрамовые твердые сплавы* предназначены для обработки чугуна, цветных металлов и их сплавов и неметаллических материалов - ВК2, ВК3, ВК6, ВК8 и др. Буква В означает карбид вольфрама, буква К - кобальт. Цифра, стоящая в марке после буквы К, указывает количество кобальта в процентах; остальное - карбид вольфрама.

2. *Титановольфрамовые твердые сплавы* - Т5К10, Т15К6, Т30К4 и другие применяют для обработки всех видов сталей. Буква Т и следующая за ней цифра указывают количество содержащегося в данном сплаве карбида титана (в процентах); К – кобальт; остальное - карбид вольфрама.

3. *Титанотанталовольфрамовые сплавы* ТТ7К12 и ТТ10К8 используются в особо тяжелых случаях, например при обработке стальных отливок и поковок, жаропрочных и других труднообрабатываемых сталей и т.п.

Например, в сплаве ТТ7К12 содержится 7 % карбидов титана и тантала, 12 % кобальта, остальное - карбид вольфрама.

4. *Быстрорежущие стали* марок Р18, Р12, Р9 содержат соответственно 18, 12 и 9 % вольфрама, углерод (~1%), хром (~4%), остальное - железо и другие элементы. Применяют для обработки сталей и цветных металлов.

Быстрорежущие стали повышенной производительности марок: Р18Ф2, Р6М3, Р9К5 и другие, где Ф - ванадий, К - кобальт, М - молибден, а цифры после них указывают на содержание этих элементов в процентах.

5. *Инструментальные углеродистые и легированные стали* применяют значительно реже (для резцов и других инструментов). В инструментальных углеродистых сталях марок У12А, У10А буква У обозначает, что сталь углеродистая, а следующие за ней цифры указывают среднее содержание углерода в десятых долях процента. Буква А в конце марки указывает на то, что

сталь высококачественная, т.е. содержание серы и фосфора менее 0,06 %.

### **3. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ И НАГЛЯДНЫЕ ПОСОБИЯ**

- 3.1. Токарный станок.
- 3.2. Настольный токарный станок.
- 3.3. Горизонтально-фрезерный станок.
- 3.4. Стенды с резцами и фрезами.
- 3.5. Режущие инструменты (резцы, сверла, фрезы).
- 3.6. Плакаты.
- 3.7. Стенды с механизмами станков и приспособлениями к станкам.

### **4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ**

- 4.1. Изучить основы теории по токарной обработке.
- 4.2. Изучить основы теории по сверлильной обработке.
- 4.3. Изучить основы теории по фрезерной обработке.
- 4.4. Закрепить теоретические знания практическим занятием на станках.

### **5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

- 5.1. Изучить устройство станков и проверить свои знания непосредственно у станков.
- 5.2. Изучить устройство резцов, сверл, фрез.
- 5.3. Изучить приспособления к станкам.
- 5.4. Изучить назначение металлорежущих станков.

### **6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

- 6.1. Название, цель и задачи работы.
- 6.2. Краткая запись назначения основных узлов станков.
- 6.3. Типы резцов, фрез, режущих инструментов к сверлильным станкам.
- 6.4. Основные приспособления к станкам.

6.5. Материалы для режущих инструментов.

## **7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

7.1. Устройство токарно-винторезного станка.

7.2. Какие материалы применяют для изготовления резцов и других режущих инструментов?

7.3. Какие технологические операции можно производить на универсальных сверлильных станках?

7.4. В каких случаях применяют зенкеры и развертки?

7.5. Какие операции можно выполнять фрезерованием?

## **8. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Технология конструкционных материалов: учебник для студентов машиностроительных ВУЗов / Под общей редакцией А.М. Дальского. – М.: Машиностроение, 2003. – 512 с.

2. Колесов С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебник для вузов / С.Н. Колесов. – М.: Высшая школа, 2004. – 512 с.

3. Технология конструкционных материалов (Технологические процессы в машиностроении): учебник для студентов машиностроительных специальностей ВУЗов в 4 ч. / Под общей ред. Э.М. Соколова, С.А. Васина, Г.Г. Дубенского. – Тула, Издательство ТулГУ. – 2007.

# «ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

### Технология производства изделий из пластмасс

#### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Ознакомление с различными методами изготовления изделий из пластмасс, находящихся в вязкотекучем состоянии.

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

*Пластмассами* называются материалы на основе высокомолекулярных соединений (полимеров). В качестве добавок в состав пластмасс входят различные наполнители, пластифицирующие вещества, стабилизаторы и красители.

*Полимеры* получают искусственно путём химической переработки таких природных высокомолекулярных веществ, как целлюлоза, каучук, шерсть, шёлк и другие, путём синтеза из низкомолекулярных веществ (мономеров), например непредельных углеводородов, получаемых из предельных при химической переработке нефти, природных газов и каменноугольного дёгтя.

Синтез полимеров осуществляется двумя основными методами: полимеризацией и поликонденсацией.

*Полимеризации* подвергаются только вещества, в молекулах которых содержатся кратные связи или циклические группировки. За счёт этих связей или из-за раскрытия цикла у молекул исходного вещества образуются свободные валентности, которыми они соединяются между собой в макромолекулы (при полимеризации этилена получается полиэтилен).

При *поликонденсации* полимеры получаются из молекул исходных веществ в результате химического взаимодействия между ними, сопровождающегося выделением молекул сравнительно простых веществ ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{NH}_3$  и другие), т.е. поликонденсация в отличие от полимеризации является реакцией замещения.

По свойствам пластмассы так же, как и полимеры, делятся на термопла-



стичные (термопласты) и термореактивные (реактопласты).

*Термопластичными* называются пластмассы с линейной структурой полимеров, которые не подвергаются термической деструкции в стадии пластичности и могут перерабатываться многократно. К термопластам относятся: полиэтилен, полипропилен, полистирол, фторопласт-4, полиамиды, полиформальдегид, поликарбонат, пенопласт, винипласт, органическое стекло.

*Термореактивными* называются пластмассы с пространственной структурой полимеров, которые необратимо твердеют при нагревании, а значит, не могут перерабатываться в изделия многократно (бакелиты, фенолоформальдегидные, карбамидо-формальдегидные смолы, текстолиты, стекловолокниты). Изделия из термореактивных пластмасс получают преимущественно методом прессования.

Технология изготовления деталей из пластмасс имеет ряд специфических особенностей, связанных с природой материала. В ряде случаев в технологическом процессе получения изделий одновременно проходят процессы формообразования и процессы получения пластмассы как конструкционного материала.

В настоящее время в промышленности применяют большое количество методов изготовления деталей из пластмасс. Выбор метода переработки зависит от природы материала и желаемых показателей: физико-механических, диэлектрических, оптических и других свойств изделия.

### **Переработка пластмасс в вязкотекучем состоянии**

Методы переработки пластмасс в вязкотекучем состоянии требуют при формообразовании изделий, как правило, одновременного действия тепла и давления. К этим методам относятся прессование, литьё под давлением, экструзия, каландрование и др.

#### **2.1. Прямое (компрессионное) горячее прессование**

Такое прессование заключается в непосредственном приложении внешнего давления к пресс-материалу, находящемуся в нагретой замкнутой пресс-форме (рис. 1).

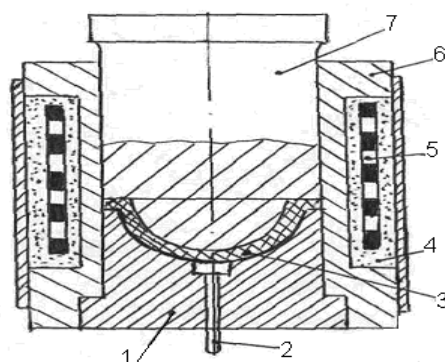


Рис. 1. Схема прямого компрессионного горячего прессования

Инструментом при компрессионном прессовании является пресс-форма, состоящая из матрицы 1, заключённой в обойму 6, пуансона 7, нагревательного элемента 5 с изоляцией 4. Пресс-формы могут быть одногнездовыми (для изготовления одной детали) или многогнездовыми, если позволяют усилия пресса и размеры деталей. В процессе формования необходимо поддерживать максимальную равномерную температуру. Пресс-материал из вязкотекучего состояния, удобного для прессования, постепенно переходит в твёрдое.

Для прохождения полимеризации, предупреждения появления рыхлостей и придания необходимых физико-механических свойств пресс-материал выдерживают определённое время под давлением в пресс-форме. Выдержка является наиболее продолжительной операцией во всём технологическом цикле. После выдержки давление снимают и готовую деталь 3 с помощью выталкивателя 2 извлекают из пресс-формы. При необходимости проводят отделочные операции: зачистку, снятие местных заусенцев и т.п.

Для получения деталей простой конфигурации из термореактивных пластмасс необходимо определённое давление при одновременном нагреве пресс-материала до вязкотекучего состояния.

Для изготовления деталей из некоторых термопластов требуется не только давление и предварительный нагрев, но и последующее охлаждение в пресс-форме до отверждения. В этом случае в качестве теплоносителя применяют пар, а в момент охлаждения по трубам направляется вода. Для прямого прессо-

вания применяют специализированные гидравлические прессы.

Пресс-материал применяют в виде порошка, гранул или таблеток. Применение предварительно отформованных холодным прессованием таблеток упрощает и ускоряет дозировку, позволяет проводить предварительный подогрев, ускоряет удаление летучих веществ. Предварительный подогрев осуществляют токами высокой частоты. При этом за счёт уменьшения времени окончательного нагрева в пресс-форме съём деталей с каждого прессы увеличивается на 20...90%.

## 2.2. Литьевоe прессование

При *литьевом прессовании* перевод пресс-материала в вязкотекучее состояние осуществляется в отдельной камере, вне формующей полости матрицы (рис. 2).

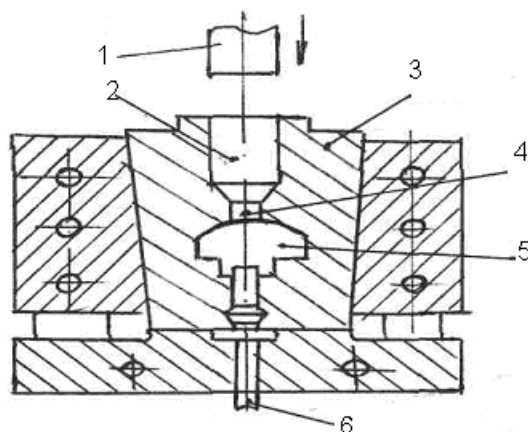


Рис. 2. Схема литьевого прессования

При этом способе прессования пуансон 1 применяют не для формования детали, а для выдавливания пресс-материала из загрузочной камеры 2 пресс-формы 3 в рабочую полость 5 через литник 4. При литьевом прессовании давление в рабочей полости значительно выше, чем при прямом и составляет 15000-20000 МПа.

Литьевоe прессование имеет ряд преимуществ перед прямым прессованием: не происходит смещения и деформации металлической арматуры; равномерно прогретый пресс-материал, обладающий хорошей текучестью, позволяет

получать детали с глубокими отверстиями и различной толщиной стенок; уменьшаются напряжения и деформации; сокращается цикл изготовления деталей. Но при литьевом прессовании увеличивается расход материала.

Литьевое прессование применяют для изготовления деталей сложной конфигурации с глубокими отверстиями и полостями из высокопластичных термореактивных пластмасс. Для литьевого прессования применяют прессы с двумя рабочими плунжерами. Удаление детали осуществляется после разъёма пресс-формы с помощью выталкивателя 6.

### 2.3. Литьё под давлением

*Литье под давлением* применяют для получения изделий из термопластов на специальных литьевых машинах – термопластоавтоматах; осуществляется на литьевых машинах горизонтального и вертикального типов в стадии вязкотекучего состояния термопластов. На рис. 3 приведена схема литья под давлением.

Гранулированное сырьё из бункера 8, подаётся плунжером 9, в цилиндр 6, где происходит пластификация материала с помощью электронагревателя 4. Прессующий поршень 7 подаёт порцию сырья в зону нагрева и порцию пластифицированного материала через сопло 3 и литниковые каналы в рабочую полость пресс-формы 1 для формирования детали 2.

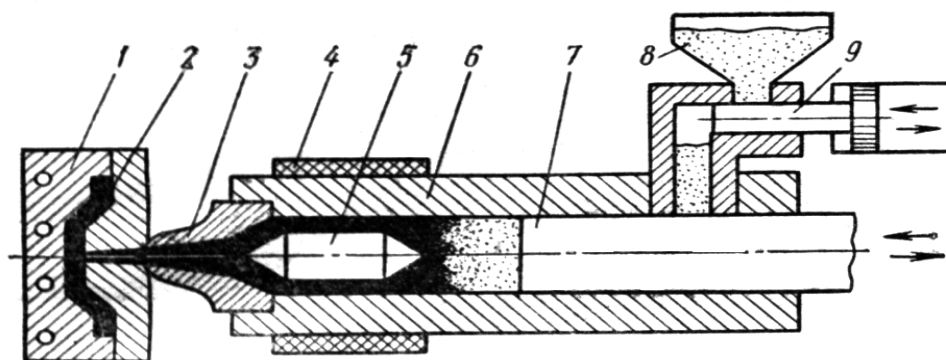


Рис. 3. Схема литья под давлением

Предварительная пластификация материала в отдельном нагревательном цилиндре и его перемешивание с помощью шнека 5 повышают однородность материала, заливаемого в пресс-форму, и улучшают качество изделий. Конечное давление на пластифицированную массу материала зависит от вязкости

массы и составляет 5000...25000 МПа. Цикл длится всего 5-20 с. Методом литья под давлением можно получать изделия сложной формы, с разной толщиной стенок, с ребрами жесткости, с резьбой и т.д.

Литьё под давлением является высокопроизводительным технологическим процессом, позволяющим применять комплексную механизацию и автоматизацию. Производительность процесса литья в 20-40 раз выше производительности прессования, поэтому литьё под давлением является одним из основных способов переработки пластических масс в детали. Качество отливаемых деталей зависит от температур пресс-форм и расплава, давления прессования, продолжительности выдержки под давлением и т.д.

#### **2.4. Литьевой способ (свободное литьё)**

При *литьевоу способе* заполнение формы полимером и отверждение его происходят без давления. Этот способ можно применять для полимеров, обладающих высокой жидкотекучестью, например, оргстекла и др. Свободное литьё термопластов похоже на обычное литьё металлов. При этом способе из-за отсутствия давления могут образовываться раковины, пустоты, пузыри.

#### **2.5. Центробежное литьё**

*Центробежное литье* применяют для получения из термопластичных материалов крупногабаритных отливок, имеющих форму тел вращения (трубы, втулки, зубчатые колёса, шкивы и т.д.) В основном центробежным способом перерабатывают полиамидные смолы.

Исходный материал плавят в плавителе-дозаторе, установленном на специальной машине для центробежного литья. Расплавленную массу определёнными порциями подают в металлическую форму, закреплённую в машине. Форма получает вращение, и расплавленная масса под действием центробежных сил прижимается к внутренней поверхности формы и затвердевает. Центробежные силы не только формируют деталь, но и уплотняют её, перемещают высокомолекулярные фракции полимера к внутренней поверхности, что приводит к улучшению механических свойств.

На физико-механические свойства полиамидов в расплавленном состоянии оказывает отрицательное влияние кислород воздуха. Для устранения этого влияния применяют *вакуумное центробежное литьё*.

Центробежное литьё дает возможность получать изделия различных габаритов. Технологическая оснастка проста и имеет незначительные эксплуатационные расходы.

## **2.6. Экструзия, или непрерывное выдавливание**

*Непрерывное выдавливание* применяется для получения труб, лент, различных профилей из термопластичных пластмасс, для нанесения защитных оболочек на провода и т.д.

Экструзионное формование проводят на специальных машинах - экструдерах (червячных прессах) (рис. 4).

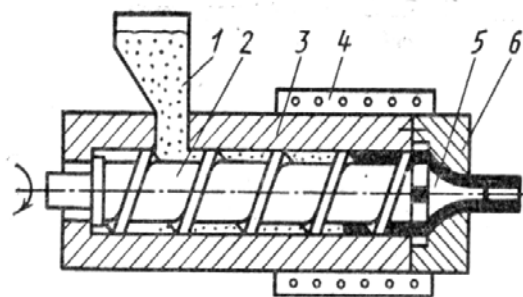


Рис. 4. Схема экструдера

Перерабатываемый термопластичный материал в виде порошка или гранул из бункера 1 попадает в рабочий цилиндр 3, где захватывается вращающимся червяком 2. Червяк, имеющий нарезку с изменяющимся шагом и глубиной гребешков (резьбы), продвигает материал, перемешивает и уплотняет его. За счет передачи теплоты от нагревательного элемента 4 и выделения теплоты при трении частиц материала друг о друга и о стенки цилиндра перерабатываемый материал переходит в вязкотекучее состояние и непрерывно выдавливается через калибровочное отверстие головки 6. Расплавленный материал проходит через радиальные канавки оправки 5.

Для нанесения защитных покрытий из полимерных материалов через оправку пропускают проволоку или кабель.

Процесс выдавливания применяют также для получения полых изделий (бутылок, флаконов и т.д.) При изготовлении пустотелых изделий выходящая из головки горячая труба зажимается в разъемной пресс-форме. Через оправку в трубу подается сжатый воздух, который и раздувает зажатый отрезок трубы в пресс-форме до требуемой конфигурации. Охлаждение происходит при полном контакте пластмассовой детали с внутренними стенками пресс-формы.

Выдавливание является высокопроизводительным автоматизированным и прогрессивным технологическим процессом, с помощью которого перерабатывают до 65% термопластичных материалов.

При получении пленок из термопластов (полиэтилена, полипропилена и др.) используют *метод раздува*. Расплавленный материал продавливают через кольцевую щель насадной головки и получают заготовку в виде труб, которую сжатым воздухом раздувают до требуемого диаметра. После охлаждения пленку подают на намоточные приемники и сматывают в рулон. Способ раздува позволяет получать пленку толщиной до 40 мкм.

Пленки можно получать *методом каландрования (каландрирования)*. Размягченный материал пропускают между валками, в результате чего образуется лента. Каландрованием изготавливают пленки толщиной 0,05-1,0 мм со скоростью до 180 м/мин.

Целлулоидную кино- и фотопленку, целлофан, полиамидные пленки изготавливают *методом полива*. На движущуюся ленту конвейера через щелевидную фильеру подают полимер, растворенный в органическом растворителе. В специальной камере растворитель испаряется, а оставшаяся пленка сматывается в рулон.

### **3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

3.1. Ознакомиться с устройством и работой вертикальной литьевой машины.

3.2. Получить литьём под давлением отливку заданной формы в разъёмной пресс-форме по следующей технологии:

а) загрузка исходных термопластов в виде гранул или волокна в цилиндр машины;

б) разогрев термопласта до вязкотекучего состояния;

в) подготовка и установка пресс-формы на машину под заливку;

г) заполнение пресс-формы термопластом;

д) охлаждение пресс-формы на машине до температуры 40-50 °С;

е) снятие пресс-формы с машины и удаление из неё отливки.

3.3. Замерить давление масла на плунжер цилиндра по манометру, диаметры плунжера, пуансона и сопла.

3.4. Определить объём полученной отливки.

3.5. Рассчитать максимальное усилие, действующее на плунжер рабочего цилиндра, удельное давление пуансона на пластмассу и продолжительность заполнения пресс-формы термопластом.

Максимальное усилие  $P$ , действующее на плунжер рабочего цилиндра, определяется по формуле:

$$P = P_m \cdot \frac{\pi D^2}{4}, \quad (\text{МН})$$

где  $P_m$  – давление масла на плунжер, МН/м<sup>2</sup>;  $D$  – диаметр плунжера, м.

Удельное давление пуансона на пластмассу

$$P_{yd} = \frac{4P}{\pi d^2}, \quad (\text{МН/м}^2)$$

где  $P$  – максимальное усилие, действующее на плунжер, МН;  $d$  – диаметр пуансона, м.

Продолжительность заполнения пресс-формы термопластом приближенно определяется по формуле:

$$\tau = \frac{V}{F \sqrt{2g \frac{P_{yd}}{\gamma}}}, \quad (\text{с})$$



где  $V$  – объём полости пресс-формы (объём отливки),  $\text{м}^3$ ;  $F$  – площадь поперечного сечения сопла,  $\text{м}^2$ ;  $g$  – ускорение силы тяжести,  $g=9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $P$  – удельное давление пуансона на пластмассу,  $\text{МН/м}^2$ ;  $\gamma$  – плотность пластмассы,  $\text{кг/м}^3$ .

#### **4. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА**

4.1. Описать способы получения полимеров, привести основные термопласты и способы получения из них изделий.

4.2. Начертить схемы.

4.3. Привести расчёты по определению максимального усилия машины, удельного давления пуансона на пластмассу и продолжительности заполнения пресс-формы термопластом.

4.4. Результаты замеров и расчётов занести в таблицу.

#### **5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

5.1. С помощью химической переработки каких веществ получают полимеры?

5.2. Какие пластмассы называются термопластичными? Приведите примеры.

5.3. Перечислите способы получения изделий из термопластов.

5.4. Как формируется отливка, получаемая методом центробежного литья?

5.5. Для получения каких изделий применяют метод экструзии (непрерывного выдавливания)?

5.6. Как осуществляется процесс каландрования? Что можно получать этим методом?

Таблица

Результаты замеров и расчетов при литье под давлением термопластов

Давление масла по манометру, МН/м <sup>2</sup>	Диаметр, м			Объем от- ливки, м <sup>3</sup>	Максималь- ное усилие, действующее на плунжер, МН	Удельное давление пуансона на пласт- массу, МН/м <sup>2</sup>	Продолжи- тельность заполне- ния пресс- формы термо- пластом, с
	плунжера	пуансона	сопла				

## 6. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 6.1. Дальский А. М. Технология конструкционных материалов.- М.: Машиностроение, 1985.- 448 с.
- 6.2. Степанов Ю.А., Анучина М.Г., Баландин Г.Ф. Специальные виды литья.- М.: Машиностроение, 1983.- 224 с.