

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

Отчет по практическим работам № 1-6  
по дисциплине «Материаловедение и технология конструкционных материалов»

Выполнил:  
студент группы БГГ-21-01

\_\_\_\_\_ Г.И. Гайсина  
(подпись ,дата)

Проверил:

\_\_\_\_\_ Д.Е. Бугай  
(подпись ,дата)

## Оглавление

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1. ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	2
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2. ПРОМЫШЛЕННЫЕ СТАЛИ.....	4
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3. ОСНОВЫ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	7
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ.....	11
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5. ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ.....	17
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6. ОСНОВЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	27

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1. ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Металлургия – это важнейшая отрасль промышленности и наука о получении металлов из руд.

### **Материалы для производства металлов и сплавов**

Для осуществления металлургических процессов необходимы руда, флюсы, топливо и огнеупорные материалы.

Руда – горная порода, из которой технически возможно и экономически целесообразно в данных конкретных условиях извлекать металлы и их соединения. Руды могут быть простыми, т.е. содержащими один металл, или полиметаллическими, содержащими несколько металлов. Помимо соединений, содержащих металл, в руде имеется еще и пустая порода, которая не содержит извлекаемых металлов или их соединений. Руды с большим содержанием пустой породы называют бедными. Бедные руды подвергают обогащению.

Флюсы – это материалы, загружаемые в плавильную печь, для взаимодействия с пустой породой и золой с образованием легкоплавкого соединения – шлака, который, как правило, должен

иметь значительно меньшую плотность, меньшую температуру плавления, чем у извлекаемого металла (или его соединения) и высокую жидкотекучесть. Во время плавки шлак служит для защиты расплавленного металла от контакта его поверхности с печными газами и воздухом и для удаления вредных примесей. К основным флюсам относятся известняк и доломит. К кислым относятся породы, содержащие кремнезем.

В металлургических печах используют в качестве топлива кокс, природный газ, реже мазут. Важнейшим видом твердого топлива является кокс.

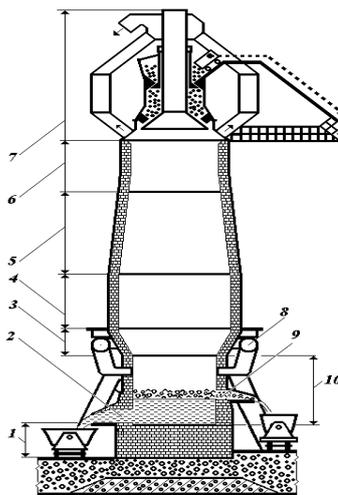
Огнеупорные материалы предназначены для облицовки (футеровки) рабочего пространства металлургических устройств в местах, подвергающихся действию высоких температур. Огнеупорные материалы делят на кислые, основные и нейтральные. Футеровка печи должна соответствовать загружаемому флюсу (кислый флюс – кислая футеровка, основная футеровка – основной шлак).

### Производство чугуна

Чугунами называются сплавы железа с углеродом (более 2,14 % C), в которых обычно содержатся примеси кремния (до 4,3 %), марганца (до 2 %), серы (до 0,07 %) и фосфора (до 1,2 %).

Исходными материалами для производства чугуна являются железные руды, в том числе в виде агломерата и окатышей, кокс и флюсы. Промышленностью разрабатываются четыре основных вида железных руд: красный железняк  $Fe_2O_3$ , магнитный железняк  $Fe_3O_4$ , бурый железняк  $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$  и  $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ , шпатовый железняк  $FeCO_3$ .

Чугун выплавляют в печах шахтного типа – доменных печах, в которые загружают шихту, состоящую из железных и марганцевых руд, агломерата, окатышей, флюсов и кокса. Схема доменной печи приведена на рисунке 2.1. Доменная печь имеет стальной кожух, выложенный внутри огнеупорным кирпичом.



1 – лещадь; 2 – чугунная летка; 3 – заплечики; 4 – распар; 5 – шахта;  
6 – колошник; 7 – засыпной аппарат; 8 – фурма; 9 – шлаковая летка; 10 – горн  
Рисунок 2.1 – Схема доменной печи

Важнейшим процессом, происходящим в доменной печи, является восстановление окислов железа.

### Прямое восстановление железа

Под прямым восстановлением железа понимают способы получения губчатого железа, металлизированного сырья, литого железа или стали непосредственно из железнорудных материалов.

Существующие способы прямого восстановления железа в зависимости от физического состояния получаемого продукта можно разделить на три группы.

1. Получение губчатого железа и металлизированных окатышей, осуществляемое при относительно низких температурах (менее 1100 °С). При этом используются богатые, не содержащие вредных примесей руды или концентраты.

2. Получение крицы (слипшаяся масса губчатого железа), с одновременным с восстановлением оксидов железа, и расплавлением пустой породы с образованием шлака. При этом используются бедные руды и низкосортное твердое топливо

3. Получение жидкой стали, осуществляемое при температуре выше точки плавления железа. При этом используются богатые пылевидные руды и концентраты.

В качестве восстановителей при получении губчатого железа используют газы и газовые смеси:  $CO$ ; водород; смесь  $CO+H_2$ ; твердый углерод.

### Производство стали

Сущность процесса переработки чугуна в сталь сводится к снижению содержания углерода и примесей путем их избирательного окисления и перевода в шлак или газы в процессе плавки. Углерод, окисляясь, удаляется из металла в виде газа  $CO$  или  $CO_2$ , другие же примеси в виде окислов переходят в шлак.

Поскольку в наибольшем количестве в чугуне содержится железо, то оно и окисляется в первую очередь при взаимодействии чугуна с кислородом в сталеплавильной печи:  $2Fe+O_2 = 2FeO+Q$  (1). Одновременно с железом окисляются кремний, марганец, фосфор, сера и др. примеси.

Для ускорения окисления примесей в печь добавляют железную руду, окалину, так как чем больше окислов железа содержится в жидком металле, тем активнее окисляются примеси.

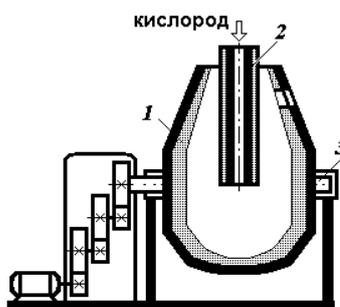
Первый этап – расплавление шихты и нагрев ванны жидкого металла.

Второй этап – «кипение» стали начинается при повышении температуры металла, когда интенсивно окисляется углерод. Выделяющиеся пузырьки  $CO$  интенсивно перемешивают жидкий металл, вызывая «кипение» ванны.

Третий этап – раскисление стали начинается после прекращения «кипения» стали. Он необходим для удаления растворенного в расплавленном металле кислорода. Сталь раскисляют двумя способами: осаждающим (реакции 6, 7, 8) и диффузионным с помощью шлака, рассматриваемым при плавке стали в электродуговой печи.

Спокойная сталь – сталь полностью раскислена в печи и ковше. Кипящая сталь раскислена в печи неполностью, ее раскисление продолжается в изложнице при затвердевании слитка. Полуспокойная сталь имеет промежуточную раскисленность между спокойной и кипящей сталью.

**Кислородный конвертер** (рисунок 2.2) - это сосуд грушевидной формы из стального листа, футерованный внутри огнеупорным материалом. Конвертер устанавливается на цапфах, что позволяет поворачивать его вокруг горизонтальной оси при загрузке шихты и сливе стали.

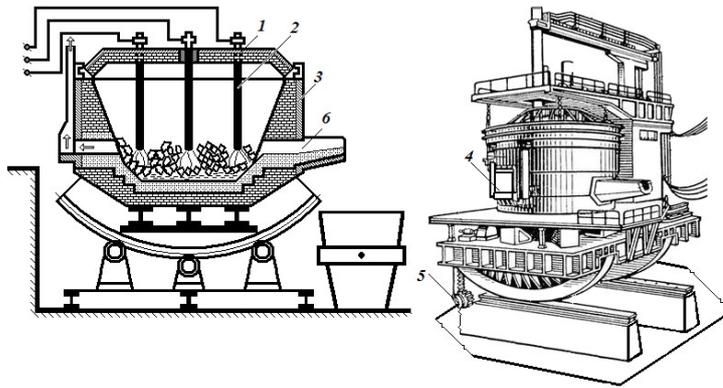


1 - конвертер, 2 - водоохлаждаемая фурма, 3 - цапфы

Рисунок 2.2 - Схема кислородного конвертера

В кислородном конвертере выплавляют углеродистые стали и низколегированные стали. Выплавка высоколегированных сталей в кислородных конвертерах имеет ряд трудностей, поэтому производство их осуществляют в электропечах.

**Производство стали в электрических печах** имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами выплавки стали. В электропечах можно быстро нагревать, плавить и точно регулировать температуру металла, создавать окислительную, восстановительную, нейтральную атмосферу или вакуум. В этих печах можно выплавлять стали и сплавы любого состава, более полно раскислять металл.

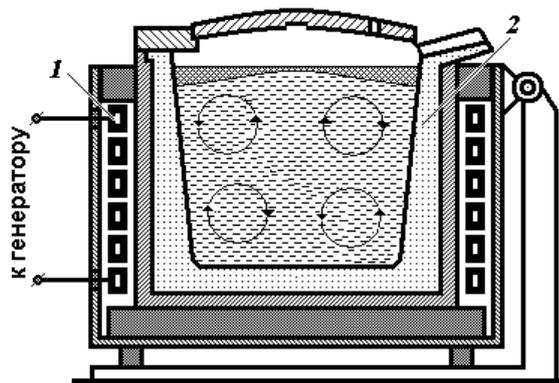


1 – съемный свод, 2 - электроды, 3 - стальной кожух, 4 - рабочее окно,  
5 - механизм наклона печи, 6 - сливной желоб

Рисунок 2.3 - Схема и внешний вид электродуговой печи

По характеру футеровки дуговые электропечи могут быть основными и кислыми. В промышленной практике наибольшее распространение получили печи с основной футеровкой, так как в них возможно практически полное удаление серы и фосфора. Печи с кислой футеровкой используются, главным образом, для производства стального фасонного литья из шихтовых материалов с низким содержанием серы и фосфора, так в кислых печах нет условий для их удаления.

Индукционная тигельная плавильная печь состоит из индуктора 1 (рисунок 2.4), внутри которого находится тигель 2 с металлической шихтой. Индуктор имеет вид соленоида и выполняется из профилированной медной трубки, по которой циркулирует холодная вода. При прохождении через индуктор переменного тока промышленной или повышенной частоты создается переменное электромагнитное поле, которое наводит в металле, находящемся в тигле, вихревые токи (токи Фуко), разогревающие и расплавляющие шихту.



1 - индуктор, 2 – тигель

Рисунок 4 - Схема индукционной тигельной плавильной печи

По сравнению с дуговыми электропечами индукционные печи имеют ряд преимуществ: отсутствие электродов и электрической дуги дает возможность полной изоляции металла от атмосферы и в связи с этим возможность ведения плавки в специально создаваемой газовой атмосфере или в вакууме, возможность получения сталей с очень низким содержанием углерода и малым угаром элементов.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2. ПРОМЫШЛЕННЫЕ СТАЛИ

### Инструментальные стали

Углеродистые стали, относятся к инструментальным материалам общего назначения, применяемым для изготовления ручного режущего инструмента (скорость резания до 3 м/мин). Основные марки: У9; У10; У10А; У11А; У12А.

Низколегированные стали как и углеродистые, применяются для ручного режущего инструмента, но могут применяться и для инструмента, работающего со скоростями до 5 м/мин. Низколегированные инструментальные стали содержат до 5 % легирующих элементов, которые вводят в эти стали для увеличения закаляемости, прокаливаемости, уменьшения вероятности возникновения деформаций и опасности растрескивания. Основным легирующим элементом является хром. Также добавляют марганец (1...2 %) для обеспечения минимальных изменений размеров инструментов при закалке, кремний (1...5 %), который повышает сопротивление отпуску, и вольфрам (1...5 %), увеличивающий износостойкость (ХВ4, 9ХС, ХВСГ).

Теплостойкость - способность сохранять мартенситную структуру и соответственно высокую твердость и износостойкость при длительном нагреве.

Быстрорежущие стали относятся к классу высоколегированных сталей, предназначенных для изготовления инструментов с высокой теплостойкостью (580...640 °С). Быстрорежущие стали обозначаются буквой «Р» - *rapid*, после которой стоит число, указывающее процентное содержание вольфрама. Содержание ванадия (до 2 %) и хрома (около 4 %) в марке не указывается. Стали, дополнительно легированные молибденом, кобальтом или с повышенным содержанием ванадия, содержат в маркировке буквы (М, К, Ф) и цифры, показывающие процент введенных элементов. По эксплуатационным свойствам все быстрорежущие стали делятся на стали нормальной (Р18, Р9Ф5, Р6М3) и повышенной (Р6М5К5, Р9К5, Р10К5Ф5) производительности.

Для порошковых сталей: окончание «М» - мелкая структура; окончание «ОМ» - особо мелкая структура.

Металлокерамические твердые сплавы состоят из тонко измельченных карбидов тугоплавких металлов (вольфрам, титан, тантал), соединенных связкой – кобальтом. Благодаря наличию карбидов тугоплавких металлов сплавы имеют высокую температуростойкость, твердость и износостойкость.

В группу вольфрамовых твердых сплавов входят: ВК3; ВК3М; ВК4; ВК6 ОМ; ВК6М; ВК8; ВК10 ОМ; ВК10М; ВК15 (В - карбид вольфрама, К - кобальт, число после «К» - процентное содержание кобальта, остальное - карбиды вольфрама, М – мелкозернистый, ОМ - особомелкозернистый). По сравнению с другими вольфрамосодержащими твердыми сплавами они характеризуются наибольшими: пределом прочности на изгиб и вязкостью; но наименьшими: температуростойкостью и твердостью.

В группу вольфрамо-титановых твердых сплавов входят: Т30К4; Т15К6; Т14К8; Т5К10; Т5К12 (Т – карбид титана, число после «Т» - процентное содержание карбида титана, К – кобальт, число после «К» - процентное содержание кобальта, остальное - карбиды вольфрама). Эти сплавы характеризуются наибольшими: твердостью, температуростойкостью и износостойкостью; но менее прочны, чем сплавы группы «ВК».

В группу безвольфрамовых твердых сплавов входят: КНТ-16 и ТН-20 (Т-карбид титана, Н-никель, КН - карбонитрид титана, число – суммарное процентное содержание никеля и молибдена, остальное – карбид титана или карбонитрид титана).

Минералокерамика – инструментальный материал на основе окиси алюминия, обладающий большими, чем у твердых сплавов, твердостью и температуростойкостью, но меньшей ударной вязкостью.

### **Жаропрочные стали**

Жаропрочность – способность материала длительное время сопротивляться деформированию и разрушению под действием приложенных сил при высоких (более  $0,3 T_{пл}$ ) температурах. Для обеспечения жаропрочности необходимо замедлить диффузию, ограничить подвижность дислокаций.

Ползучесть - медленное нарастание пластической деформации под действием напряжений, меньших предела текучести.

Предел ползучести – это напряжение, под действием которого материал деформируется на определенную величину за определенное время при заданной температуре.

Предел длительной прочности – это напряжение, вызывающее разрушение материала при заданной температуре за определенное время.

Жаростойкость - способность материалов сопротивляться газовой коррозии (не окисляться) при высокой температуре в течение длительного времени. Для повышения жаростойкости в сталь

вводят хром, алюминий или кремний, которые, находясь в твердом растворе, образуют на поверхности стали защитные пленки оксидов.

Для деталей различных высокотемпературных установок, печей и газовых турбин применяют жаростойкие ферритные (12X17, 15X25 и др.) и аустенитные (20X23Н13, 12X25Н16Г7А, 36X18Н25С2 и др.) стали, обладающие еще и жаропрочностью.

Жаропрочные стали перлитного класса (12X1МФ, 15X11МФ) предназначены для работы при температурах до 580 °С. Различают две группы мартенситных сталей: стали с содержанием 10...12 хрома, добавками *Mo*, *V*, *Nb*, *W* и низким (0,10...0,15 %) содержанием углерода и стали с повышенным содержанием углерода (до 0,4 %), хромом (5...10 %) и кремнием (2...3 %) – сильхромы.

Мартенситные стали первой группы (40X10С2М, 15X5М) предназначены для изделий, работающих при 450...600 °С в атмосфере пара, топочных газов. Из мартенситных сталей изготавливают диски, лопатки, бандаж и крепежные детали паровых турбин.

Стали второй группы (сильхромы) обладают высокой жаростойкостью в среде горячих выхлопных газов и используются для изготовления клапанов двигателей внутреннего сгорания.

### **Износостойкие стали**

Износостойкость – это способность материала оказывать сопротивление изнашиванию (процессу постепенного разрушения поверхностных слоев материала путем отделения его частиц под влиянием сил трения).

Подшипниковые стали применяются для изготовления подшипников качения, храповых механизмов, пальцев различных машин. Основным легирующим элементом шарикоподшипниковых сталей является хром, приблизительное содержание которого (в десятых долях процента) указывается числом, следующим за буквами «ШХ» в марке стали.

Для изготовления тел качения и подшипниковых колец небольших сечений обычно используют высокоуглеродистую хромистую сталь ШХ15 (0,95...1,05 % *C*, 1,3...1,65 % *Cr*), а для больших сечений – хромомарганцевокремнистую сталь ШХ15СГ (0,95...1,05 % *C*, 1,2...1,5 % *Cr*, 0,4...0,65 % *Si*, 3...1,65 % *Mn*).

### **Антифрикционные сплавы**

Антифрикционность - способность материала обеспечивать низкий коэффициент трения скольжения и тем самым низкие потери на трение и малую скорость изнашивания сопряженной детали.

Антифрикционные сплавы предназначены для заливки подшипников скольжения, которые обладают бесшумностью работы и устойчивостью к вибрациям.

Металлические материалы для подшипников скольжения по своей структуре подразделяются на две группы: сплавы с мягкой матрицей и твердыми включениями и сплавы с твердой матрицей и мягкими включениями. К первой группе относятся баббиты (основа олово или свинец), а также бронзы и латуни. Баббиты представляют собой антифрикционные материалы на основе олова или свинца.

К антифрикционным сплавам относятся свинцово-оловянный баббит БН и кальциевый баббит БК2.

Б88 – марка оловянистого баббита. Число 88 обозначает среднее содержание основного компонента (олова) в процентах.

Медь вводят в состав оловянистых баббитов с целью устранения ликвации по плотности.

К сплавам второй группы относятся: свинцовистая бронза (БрС30 - наплавка на стальную ленту), алюминиевые сплавы с оловом (АО9-2 - монометаллические вкладыши). Эти сплавы имеют высокую теплопроводность, что позволяет применять их при больших скоростях скольжения. К сплавам этой группы относятся и серые чугуны. Роль мягкой составляющей в чугунах играет графит.

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3. ОСНОВЫ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Литейное производство - отрасль машиностроения, изготавливающая заготовки или детали (отливки) заливкой расплавленного металла (расплава) заданного химического состава в полость литейной формы, имеющей конфигурацию отливки.

Жидкий металл заливают в разовые формы (после изготовления отливки их разрушают) и многократные (в одной форме можно получить от десятка до нескольких десятков тысяч отливок).

Литейные материалы (металлические сплавы, пластмассы, резина, керамика) должны обладать высокими литейными (технологическими), механическими и эксплуатационными свойствами.

### Литейные свойства сплавов

При проектировании любой детали в первую очередь учитываются механические свойства сплава. При конструировании литой детали и разработке технологии процесса литья дополнительно необходимо учитывать литейные свойства сплава, которые определяют возможность получения качественной отливки, т.е. отливки, отвечающей заданным требованиям.

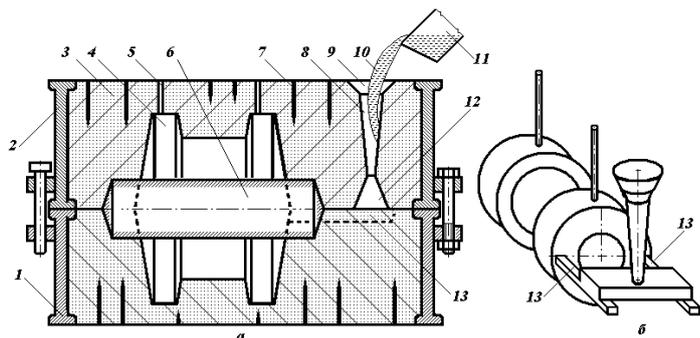


Рисунок 3.1 - Схема процесса литья в разовые съемные формы: а – принципиальная схема; б – отливка после выбивки; 1, 2 – нижняя и верхняя опоки; 3 – форма; 4 – полость формы; 5 – выпор; 6 – литейный стержень; 7 – вентиляционный канал; 8 – вертикальный канал (стояк); 9 – литниковая чаша (воронка); 10 – расплавленный металл; 11 – ковш; 12 – шлакоуловитель; 13 – горизонтальные каналы (питатели)

Наиболее важные литейные свойства сплавов: жидкотекучесть, усадка, склонность к ликвации и поглощению газов.

**Жидкотекучесть** – это способность жидких металлов и сплавов течь по каналам литейной формы, заполнять ее полости и четко воспроизводить рельеф отливки. Жидкотекучесть сплава зависит от его физико-химических свойств (прежде всего – температуры ликвидус) и технологических факторов, прежде всего – температуры заливки.

**Усадка** – это свойство литейных сплавов уменьшаться в объеме и линейных размерах при затвердевании и охлаждении. Линейная усадка – это уменьшение линейных размеров отливки при ее охлаждении от температуры заливки до температуры окружающей среды. Объемная усадка приводит к образованию в отливках усадочных раковин, усадочной пористости, трещин и короблений. В результате усадки появляются пустоты.

### Литейная оснастка

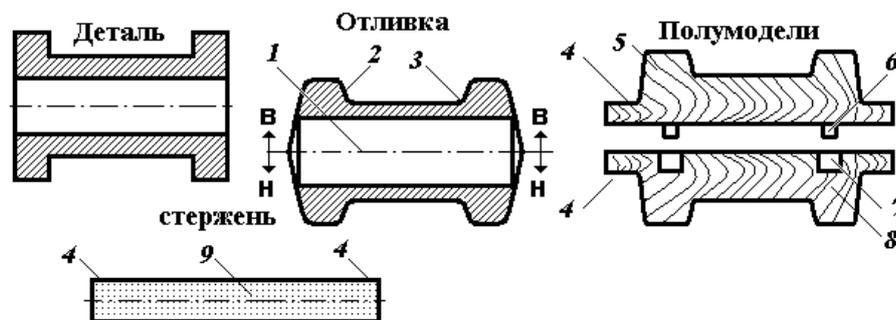
**Литейная форма** – это система элементов, образующих рабочую полость, при заливке которой жидким металлом формируется отливка. Основные требования, предъявляемые к литейным формам, следующие:

- 1) прочность – чтобы под действием напора расплава форма не только не разрушилась, но и не изменила размеры;
- 2) газопроницаемость – чтобы газы, находящиеся как в полости формы, так и в расплаве, могли удаляться (во избежание газовой пористости и газовых раковин в отливках);
- 3) стойкость к химическому взаимодействию с расплавом – чтобы обеспечить простоту извлечения и очистки отливок.

**Литейный стержень** – элемент литейной формы, предназначенный для образования отверстия, полости или иного сложного контура в отливке.

**Литниковая система** – система каналов и устройств для подвода в определенном режиме жидкого металла к полости литейной формы, отделения неметаллических включений и обеспечения питания отливки при затвердевании.

Для изготовления разовых форм применяются литейные модели, обеспечивающие образование в форме отпечатка, соответствующего конфигурации и размерам отливки. Чтобы получить отливку заданных размеров и качества, наружные размеры модели увеличивают на величину припусков на обработку резанием и линейную усадку, предусматривают скругления углов (галтели), формовочные уклоны и пр.



1 – плоскость разъема формы; 2, 3 – литейные уклоны и радиусы; 4 – знаки; 5, 8 – верхняя и нижняя полумодели; 6, 7 – базисующие элементы; 9 – стержень; в-н – направление «верх» и «низ» по отношению к плоскости разъема полуформ

Рисунок 3.2 - Эскизы детали и модели

### Общая технология литья

Технология литья представляет собой совокупность большого количества отдельных процессов литейного производства, которые можно объединить в четыре этапа

1. Технологическая подготовка процесса изготовления отливки. На основании конструкторской (чертеж детали, технические требования, условия работы детали в узле) и технологической документации (величина партии, технологический маршрут обработки) осуществляется: выбор способа литья, разработка чертежа отливки, проектирование технологической оснастки (модель, стержни, литейная форма) разработка технологии, включая определение последовательности и технологических параметров отдельных процессов, операций и переходов.

2. Изготовление формы. На основании разработанных чертежей изготавливаются модель, стержни, необходимая технологическая оснастка. При литье в неметаллические формы наиболее ответственным и трудоемким процессом является формовка - изготовление литейных форм и стержней из формовочных и стержневых смесей.

3. Заливка форм и охлаждение металла отливок. Собранные формы при помощи ковша или литейной машины заливают расплавом. После кристаллизации отливка должна охладиться в форме до определенной температуры, для чего в составе конвейеров и автоматических линий по производству отливок предусматривают охлаждающие ветви.

4. Извлечение из форм и обработка отливок. Охлажденная до заданной температуры отливка удаляется из формы, и из нее извлекаются стержни. При литье в разовые формы эта операция называется выбивкой, которая осуществляется на вибрационных решетках. К этим операциям относятся: *обрубка* - отделение от отливок элементов литниковой системы, заливок по разёму формы и неровностей поверхности. *Зачистка* - механическая обработка поверхности отливок с целью приведения ее в соответствие с требованиями по качеству поверхности.

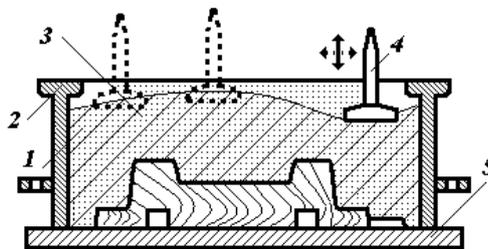
### Способы литья

Наиболее часто все виды литья делят на литье в разовые формы (литье в песчаные формы, в оболочковые формы, литье по выплавляемым моделям и т.д.) и литье в многократные формы (литье в кокиль, под давлением, центробежное литье).

### Литье в песчаные формы

Литье в песчаную форму (ЛПФ) – это литье металла, осуществляемое заливкой разовой литейной формы, изготавливаемой из песчаной формовочной смеси. ЛПФ получило наибольшее распространение, как наиболее дешевый и универсальный способ получения отливок.

Формовка - технологический процесс изготовления литейной формы. В зависимости от степени механизации различают формовку: ручную, машинную и автоматизированную.

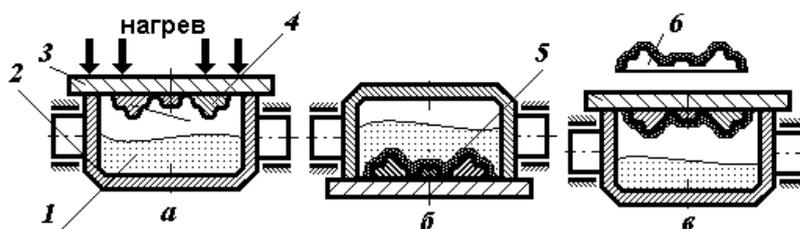


1 – формовочная смесь; 2 - опока; 3 – нижняя полумодель;  
4 – трамбовка; 5 – модельная плита

Рисунок 3.3 - Изготовление нижней полуформы

### Литьё в оболочковые формы (ЛОФ)

ЛОФ основано на применении горячтвёрдеющих формовочных смесей со связующими из терморезистивных смол. При нанесении смеси на горячую модельную плиту смола переходит из твёрдого в вязкотекучее состояние, воспроизводит очертания моделей и затем необратимо затвердевает, сохраняя полученную конфигурацию.



а – подготовка; б – обсыпка; в – переворот; 1 – формовочная смесь; 2 – бункер;  
3 – модельная плита; 4 – модель; 5 – оболочка; 6 – готовая полуформа

ЛОФ традиционно получают ответственные отливки, прежде всего из чугуна, такие как ребристые цилиндры двигателей воздушного охлаждения, коленчатые и распределительные валы и др. Однако, в связи с вредностью и энергоёмкостью процесса, его все чаще заменяют на литье в песчаные формы из холоднотвёрдеющих смесей.

### Литьё по выплавляемым моделям (ЛВМ)

ЛВМ основано на применении моделей из легкоплавкого состава, которые после формовки выплавляются из формы (не извлекаются механически), что позволяет получать отливки наиболее сложной конфигурации с высокой точностью размеров.

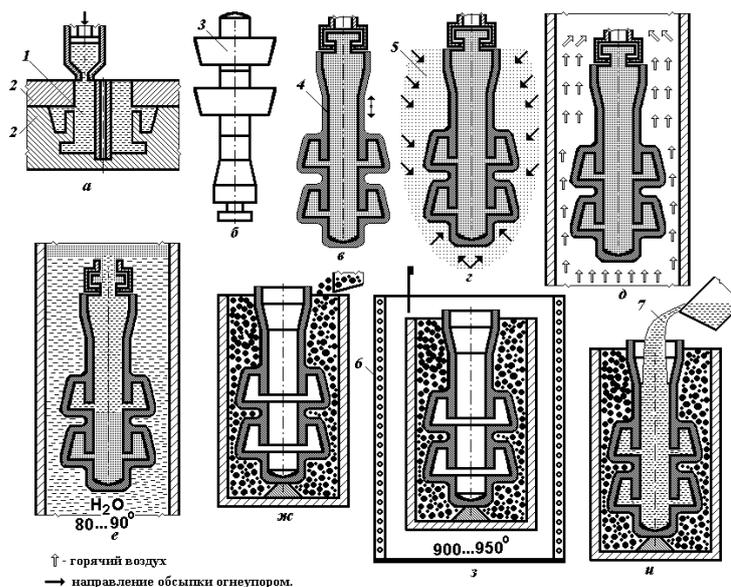


Рисунок 3.5 - Технология литья по выплавляемым моделям:

а – изготовление модельных звеньев; б – сборка модельного блока; в – формовка окунанием; г – обсыпка огнеупором; д – сушка; е – выплавление моделей; ж – засыпка; з – прокаливание формы; и –

заливка; 1 – модель; 2 – пресс-форма; 3 – блок моделей; 4 – слой суспензии; 5 – огнеупор; 6 – нагревательная печь; 7 – расплав

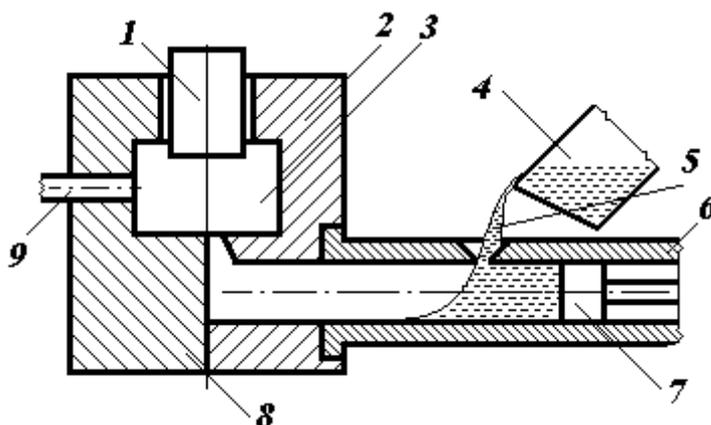
ЛВМ применяют, прежде всего, при производстве небольших отливок сложной конфигурации из стали и тугоплавких сплавов. Способ особенно эффективен, если отливки по качеству поверхности и точности удовлетворяют предъявляемым к детали требованиям, и нет необходимости в последующей обработке резанием. Этим способом получают коромысла клапанов двигателей, детали швейных машин, стрелкового оружия, ювелирные изделия, а также лопатки газотурбинных двигателей, измерительный и режущий инструмент.

### Кокильное литье (КЛ)

КЛ (или литье в кокиль) – это литье, осуществляемое свободной заливкой многократной металлической формы. Главной особенностью КЛ является высокая скорость охлаждения отливок из-за большой теплопроводности формы, что имеет весьма разнообразные последствия (высокие механические свойства продукции, но пониженная стойкость самого кокиля; высокая производительность, но ограниченность минимальной толщины стенки и т.д.).

### Литье под давлением (ЛД)

ЛД характеризуется принудительным заполнением формы расплавом под избыточным давлением. Металлические формы для ЛД, называемые пресс-формами, имеют более сложную конструкцию и изготавливаются более тщательно, чем кокили. Формы и стержни для литья под давлением делают стальными. Применение песчаных стержней исключено, т.к. струя металла под давлением может их разрушить. Для осуществления процесса необходимо применение специальных машин, которые могут быть с вертикальной и горизонтальной, с горячей и холодной камерой прессования.



1 - стержень, 2 - неподвижная половина пресс-формы; 3 - рабочая полость;  
4 – ковш; 5 – расплав; 6 - камера прессования; 7 – поршень; 8 - подвижная половина пресс-формы; 9 – выталкиватель

Рисунок 6 - Схема литья под давлением

ЛД широко применяется в серийном и массовом производстве тонкостенных отливок из цветных сплавов. В машиностроении способ применяют для изготовления широкой номенклатуры корпусных отливок, в том числе в автомобилестроении – для блоков цилиндров, картеров, а также крышек генераторов и других армированных отливок.

### Центробежное литье (ЦЛ)

ЦЛ – это литье, осуществляемое при заливке расплава в металлическую вращающуюся форму. При ЦЛ заливка и кристаллизация расплава происходит в поле действия центробежных сил, что благоприятно сказывается на строении и свойствах отливок.

Достоинства ЦЛ: Высокое качество металла отливки из-за плотной структуры, отсутствия неметаллических включений и пористости. Отсутствие стержней для оформления центральных отверстий ведет к существенной экономии.

ЦЛ чаще всего применяется для получения отливок из чугуна и медных сплавов в форме тел вращения: труб, втулок, колец и др., например, гильз цилиндров и поршневых колец двигателей.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Обработка металлов давлением (ОМД) – технологический процесс формоизменения металлического тела (заготовки) за счет пластической деформации под воздействием на тело внешних сил.

### Прокатка

Прокатка - процесс пластической деформации заготовки между вращающимися валками с целью получения заданных форм, размеров и физико-механических свойств.

Прокатку принято делить на продольную и специальную. Специальные виды прокатки: поперечная, поперечно-винтовая, поперечно-клиновья, а также профилирование плоского проката (листов и лент).

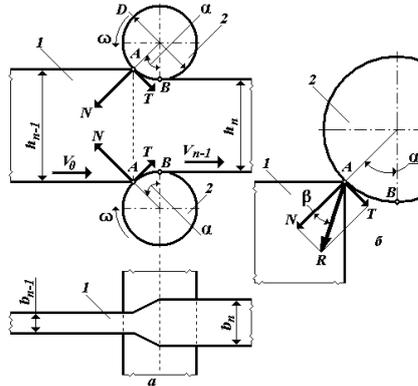


Рисунок 4.1 - Схема продольной прокатки: а - установившийся процесс; б - силы, действующие на заготовку в момент захвата; 1 – заготовка; 2 – валок; N – нормальная сила; T – сила трения; R – равнодействующая сила; А-В – дуга захвата;  $\alpha$  - угол захвата;  $\beta$  - угол трения;  $h_{n-1}$ ,  $b_{n-1}$  – толщина и ширина заготовки;  $h_n$ ,  $b_n$  – толщина и ширина изделия; D – диаметр валка

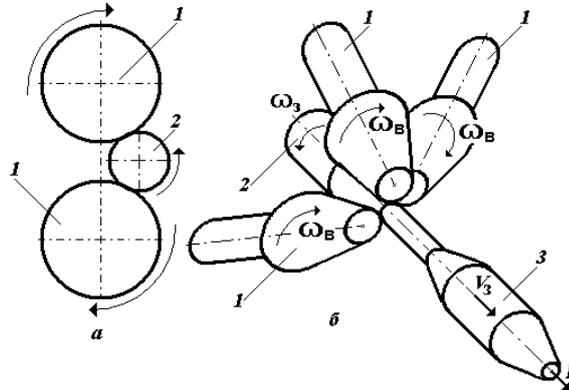
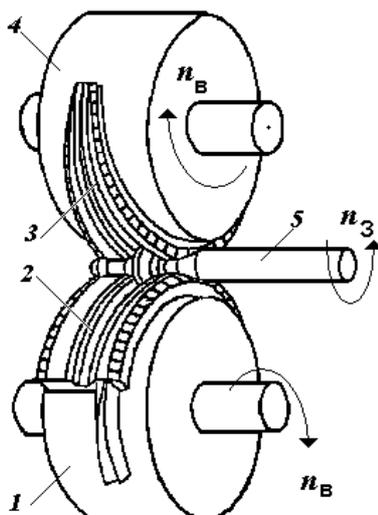


Рисунок 4.2 - Схемы прокатки: а – поперечной в двух валках; б - поперечно-винтовой прокатки профиля переменного по длине сечения с пересекающимися осями валков; 1 - валок; 2 - заготовка; 3 – изделие;  $\omega_B$  - направление вращения валков;  $\omega_3$ ,  $V_3$  - вращательное, и поступательное движения заготовки; P – осевая сила

Процесс поперечно-клиновой осуществляют двумя валками с клиновыми ручьями (рисунок 4.3), оси валков и заготовки параллельны. Валки вращаются в одну сторону, заготовка в другую.



Заготовка кроме вращательного, получает поступательное движение, ручки обычно вытачивают не на валке, а на сменных сегментах, закрепленных на валках.

Продукция, получаемая прокаткой, называется прокатом. Перечень выпускаемого проката с указанием профиля, размеров и допусков на них называется сортаментом. Сортамент проката принято делить на четыре группы: сортовой прокат, плоский прокат, трубы и специальные виды проката.

Рисунок 4.3 - Схема поперечно-клиновой прокатки: 1 - нижний валок; 2, 3 - клиновые ручки; 4 - верхний валок; 5 – заготовка;  $n_B$  - направление вращения валков;  $n_3$  - вращательное движение заготовки.

Продольной прокаткой получают сортовой, плоский и трубный прокат. Сортовой прокат имеет постоянное по длине сечение простой или сложной формы. Его, как правило, получают горячей прокаткой. К профилям простой геометрической формы относятся блюм, квадрат (сторона квадрата 6...250 мм и более), круг (диаметр 4...300 мм), прямоугольник (толщина 1...60 мм, ширина 10...600 мм), правильный многоугольник (в т.ч. шестигранник), треугольник, овал, полукруг, сегмент, ромб. Продольной прокаткой изготавливают ограниченное количество по массе и сортаменту профилей переменного по длине сечения. Поперечной прокаткой получают заготовки цилиндрических шестерен с зубьями (модуль 7...15 мм при горячей деформации, модуль 5...7 мм при холодной), а также бочкообразные ролики подшипников и другие детали с заданным внешним и внутренним профилем. Поперечно-винтовой прокаткой получают гильзы, сортовой прокат, круглые сплошные и полые переменного по длине сечения профили, в том числе периодический прокат, заготовки деталей в виде сплошных и полых тел вращения (специальный прокат).

### Прессование

Прессование - выдавливание металла из замкнутой полости через отверстие в инструменте. Применяют ряд методов прессования. Основные методы: прямой и обратный. При прямом прессовании (рисунок 4.4, а) металл заготовки 3 выдавливается пуансоном 2 и пресс-шайбой 5 через отверстие матрицы 4. При получении полого профиля прямым прессованием (рисунок 4.4, б) металл выдавливается через зазор, образованный отверстием в матрице и иглой 6. При обратном прессовании усилие прессы передается через пуансон (4.4, в) на матрицу. Матрица перемещается относительно стенок контейнера. Металл заготовки выдавливается через отверстие матрицы, образуя изделие 7. Аналогично осуществляется обратное прессование полого профиля.

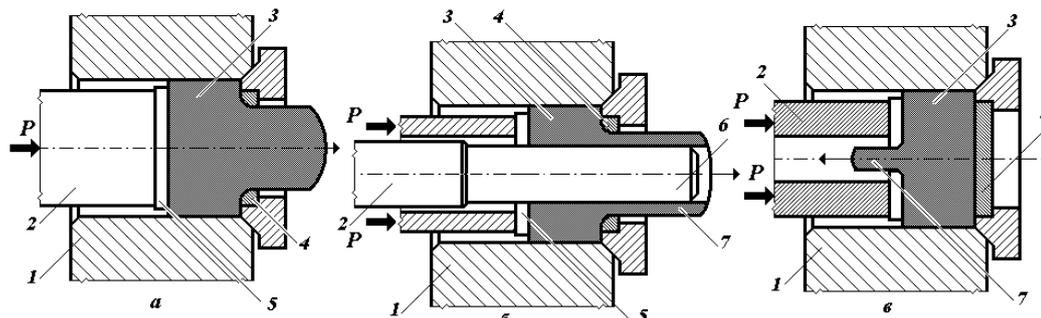


Рисунок 4.4 - Схемы прессования: а - прямое прессование сплошного профиля; б - прямое прессование полого профиля; в - обратное прессование сплошного профиля; 1 - контейнер; 2 - пуансон; 3 - заготовка; 4 - матрица; 5 - пресс-шайба; 6- игла; 7 - прессованное изделие; P – усилие прессования

При прямом прессовании направление движения пуансона и выдавливаемого металла совпадают. Отличительной особенностью прямого метода прессования является перемещение металла заготовки относительно стенок контейнера 1.

При обратном прессовании направление движения выдавливаемого металла и пуансона противоположны. Относительное перемещение металла заготовки и стенок контейнера, следовательно, контактное трение между металлом и стенками контейнера практически отсутствует.

К прессовым инструментам относятся: игла, матрица, контейнер, пресс-шайба (в порядке повышения температуры при эксплуатации). Перед прессованием рабочие части инструмента покрываются технологической смазкой. Применяют также плакирование (покрытие) заготовок пластичными металлами.

Преимущества прессования перед другими видами обработки. Возможность получения сплошных и полых профилей сложного сечения, которые не могут быть получены другими методами, применяемыми в технике, в том числе прокаткой. Переналадка прессы на новый профиль

производится значительно быстрее, чем при прокатке, точность размеров профиля при прессовании выше, шероховатость поверхности меньше. Возможность получения тонкостенных бесшовных труб большого диаметра с малой разностенностью. Возможность обработки давлением металлов и сплавов с пониженной пластичностью (высокопрочные алюминиевые сплавы, бронзы, жаропрочные стали и сплавы и др.). Пластичность при прессовании увеличивается, т.к. металл находится в условиях всестороннего неравномерного сжатия. Возможность высоких степеней деформации (92 % по сечению и более), что обеспечивает высокие механические свойства, в том числе вибропрочность и сопротивление усталости.

Недостатки прессования. Значительный износ инструмента, матриц и особенно игл, из-за больших контактных напряжений и температур, особенно при прессовании никелевых сплавов, сталей и жаропрочных сталей и сплавов. Высокая стоимость инструмента. Неравномерность механических свойств по длине прессованного изделия из-за неравномерности течения металла. Большие технологические отходы, особенно при прессовании труб большого диаметра.

### Волочение

Волочение - процесс протягивания обрабатываемой заготовки через постепенно суживающееся отверстие инструмента (волоки). При волочении площадь поперечного сечения уменьшается, приобретая постоянное сечение по всей длине.

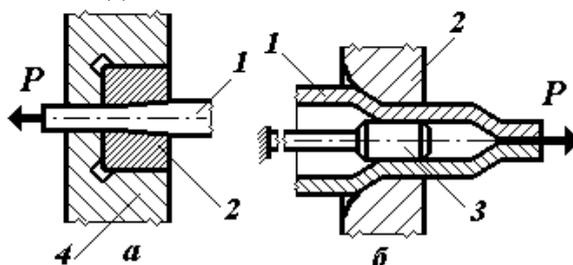


Рисунок 4.5 - Схемы волочения: а – волочение проволоки, прутка, сплошного профиля; б – волочение трубы на оправке; 1- заготовка; 2 – волока; 3 – оправка; 4 – обойма (бандаж); P – усилие волочения

Волочение производят, как правило, в условиях холодной деформации. Волочение проволоки из вольфрама, молибдена, нихрома и цинка производят в горячем состоянии. Волочение в ряде случаев применяется для калибровки сортового проката. Для этого производят одну или несколько протяжек, что повышает точность размеров сечения и улучшает качество поверхности.

### Ковка

Ковка - процесс обработки давлением, при котором для получения изделия заданных форм и размеров по заготовке наносится ряд последовательных ударов бойками молота или нажимов пресса. Изделие, получаемое ковкой или горячей штамповкой, называют поковкой.

Все оборудование дляковки и штамповки можно разделить на две группы: машины статического действия и машины динамического действия.

К машинам статического действия относятся ковочные гидравлические прессы. Ковочные гидравлические прессы строят с номинальной силой до 200 МН и более. Поковки массой 3...5 Мг и более куют только на гидравлических прессах.

К машинам динамического действия относятся ковочные молоты различных конструкций, с ударной массой от 50 кг до 800 Мг и энергией удара от 0,8 до 200 кДж.

Исходным материалом дляковки служат слитки, прокат и прессованные заготовки.

Основные операцииковки. Осадка – уменьшение высоты заготовки при увеличении ее диаметра (рисунок 4.6, а). Осадку применяют для получения поковок типа «диск»; как предварительную операцию перед прошивкой; при изготовлении пустотелых заготовок; для уничтожения литой дендритной структуры, измельчения зерна. Протяжка – удлинение заготовки или ее части (разгонка) за счет уменьшения ее площади поперечного сечения (4.6, в). Протяжку производят последовательными ударами плоского или вырезного бойка по отдельным участкам

заготовки, с подачей последней вдоль оси протяжки и переворотом (при необходимости) на 90°.

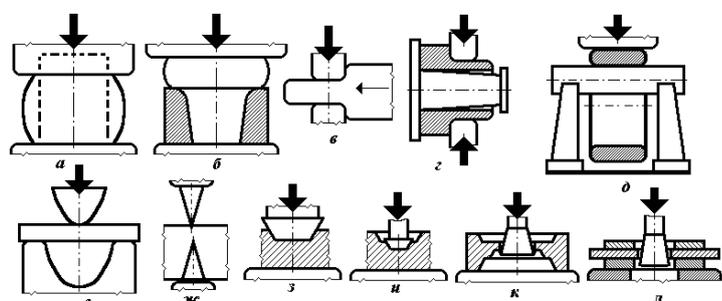


Рисунок 4.6 - Основные операцииковки: а – осадка; б – высадка; в – протяжка; г – протяжка с оправкой; д – раскатка на оправке; е – гибка; ж – отрубка; з – прошивка неглубоких полостей; и – прошивка глубоких полостей; к – прошивка сквозных полостей; л - высадка с подкладкой; стрелками указаны направления действия силыковки

### Объемная штамповка

Объемная штамповка - метод обработки, основанный на применении специального инструмента - штампа. Штамп состоит из двух или нескольких частей, которые в сомкнутом состоянии образуют одну или несколько полостей. При сближении частей штампа происходит принудительное перераспределение металла заготовки, в результате чего полость штампа заполняется, получают заданные формы и размеры поковки.

### Горячая штамповка

Горячая штамповка, по сравнению с ковкой, имеет ряд преимуществ: значительно более высокая производительность; стабильность формы и размеров, более высокая точность размеров; возможность получения поволоков более сложной формы. Однако для штамповки требуются штампы, имеющие высокую стоимость и ограниченную стойкость. По мере увеличения массы (объема) поволоков стоимость штампа увеличивается, а стойкость уменьшается. Исходные материалы для штамповки - стальной прокат в виде прутков (обычно круглого, а также квадратного, прямоугольного и других сечений), блюмсов, труб и профилей переменного сечения (периодический прокат), прессованные прутки и трубы из бронзы, алюминиевых сплавов и других сплавов с пониженной пластичностью. Для штамповки на автоматах и точной горячей штамповки применяют калиброванный прокат.

Технологический процесс горячей штамповки включает: разделку исходных материалов на заготовки, нагрев заготовок, штамповку, первичную термообработку поволоков и отделку поволоков. В соответствии с этим в штамповочных цехах имеются заготовительное, штамповочное, термическое и отделочное отделения.

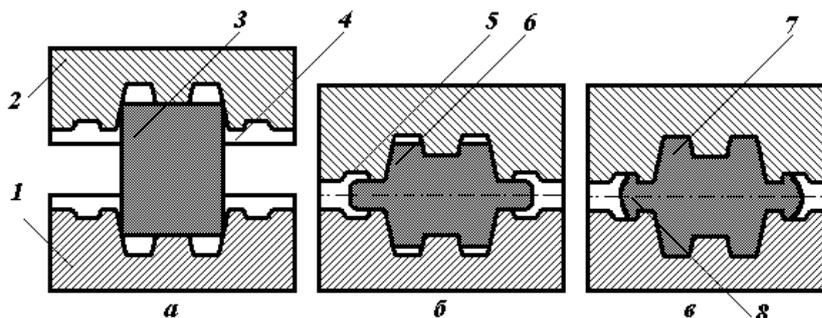


Рисунок 4.7 - Открытая штамповка: а, б, в – начальный, промежуточный и конечный моменты штамповки; 1 – нижняя часть штампа; 2 – верхняя часть штампа; 3 – заготовка; 4 – канавка для облоя; 5 – магазин; 6 – промежуточная поковка; 7 – поковка; 8 – облой

Штамповка в закрытых штампах (рисунок 4.8) не предусматривает образование облоя. Практически весь объем заготовки идет на образование поволоки. При закрытой штамповке во избежание перегрузки штампа и оборудования (что особенно опасно для машин кривошипного действия) предъявляются жесткие требования к точности равенства объема заготовки и объема полости штампа, на которую влияет множество факторов

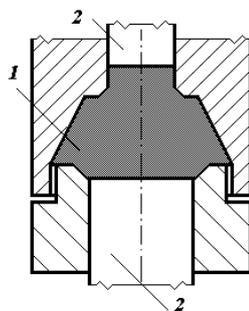


Рисунок 4.8 - Закрытая штамповка: 1 - поковка; 2 – выталкиватели

### Холодная объемная штамповка

Холодная объемная штамповка (ХОШ) - это способ получения в штампах заготовок и деталей из сортового проката и прессованных прутков, основанный на процессе холодной деформации.

Основные операции ХОШ: высадка открытая и закрытая, выдавливание и вдавливание.

Высадку (рисунок 4.9) применяют для получения ступенчатых деталей с образованием фланцев и других местных утолщений, для набора металла последующей штамповкой. На процессе высадки основано производство крепежных деталей (болтов, винтов, заклепок, гвоздей и т.п.), шаровых пальцев автомобилей и других деталей с шаровой головкой, штуцеров и т.п.

При ХОШ применяют все виды выдавливания: прямое, обратное, поперечное, комбинированное и радиальное (рисунок 4.10).

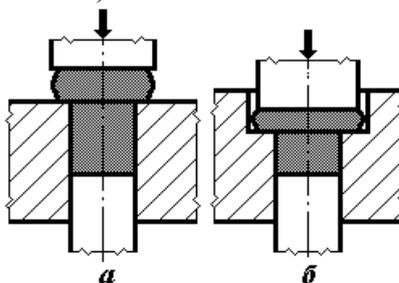


Рисунок 4.9 - Схемы высадки: а – открытой; б – закрытой.

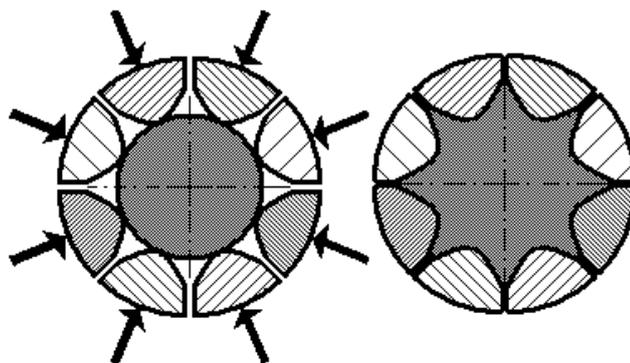


Рисунок 4.10 - Схема радиального выдавливания

Прямое выдавливание применяется для получения болтов, гаек, ступенчатых валов, деталей со шлицами и продольными канавками. Выдавленная часть может иметь переменное сечение (детали с отрезками, бобышками и др.).

При обратном выдавливании внешний и внутренний контуры поперечного сечения штампованной заготовки имеют форму круга или многоугольника или их сочетания. Его для получения гильз, колпачков, стаканов и других полых, трубчатых деталей, а также для получения полых и трубчатых заготовок для прямого и обратного выдавливания, а также для вытяжки при листовой штамповке. Радиальным выдавливанием получают звездочки, шестерни.

ХОШ - один из наиболее прогрессивных методов производства ступенчатых и полых заготовок и деталей из цветных металлов и сплавов, углеродистых и легированных сталей.

ХОШ имеет следующие преимущества: Деформационное упрочнение, отсутствие надрезов волокна, образующихся при обработке резанием, направленность волокна вдоль конфигурации

детали, улучшение микрогеометрии поверхности. Благодаря этому повышается сопротивление динамическим нагрузкам и вибропрочность. Переход на холодную объемную штамповку в ряде случаев позволяет использовать менее легированные стали и сплавы.

Основные ограничения процесса на данном уровне развития науки и техники: Низкая стойкость инструмента при штамповке заготовок из сталей и сплавов повышенной прочности. Ограниченность размеров и сложности формы детали. Необходимость применения специальных режимов разупрочняющей термической обработки и нанесения покрытий носителями смазочных материалов, что удлиняет и усложняет цикл производства.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5. ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ

### Физико-механические основы обработки материалов резанием

Обработка материалов резанием – это процесс срезания режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла в виде стружки, с целью получения заданной геометрической формы, точности размеров, взаиморасположения и шероховатости поверхности детали.

Резание металлов – это сложный процесс физико-механического взаимодействия режущего клина инструмента, заготовки и окружающей среды.

Главным движением ( $D_p$ ) называется движение, определяющее скорость деформирования и отделения стружки.

Движением подачи ( $D_s$ ) называется движение, обеспечивающее непрерывность врезания режущей кромки инструмента в материал заготовки.

При обработке заготовок резанием образуется стружка: сливная, скалывания и надлома.

### 6.1 Лезвийная обработка деталей машин

В лезвийной обработке (зависимости от вида и направления движений резания, вида обработанной поверхности) можно выделить следующие технологические методы: точение, строгание, сверление, фрезерование, протягивание.

#### Точение

Точение – лезвийная обработка резанием (ЛОР) цилиндрических и торцевых поверхностей; главное движение – вращательное, придается заготовке или режущему инструменту; движение подачи – прямолинейное или криволинейное, придается режущему инструменту вдоль, перпендикулярно или под углом к оси вращения. Точением обрабатываются шейки и торцевые поверхности круглых стержней (валов); наружные и внутренние цилиндрические поверхности и торцы дисков; внутренние цилиндрические торцевые поверхности некруглых стержней и корпусных деталей.

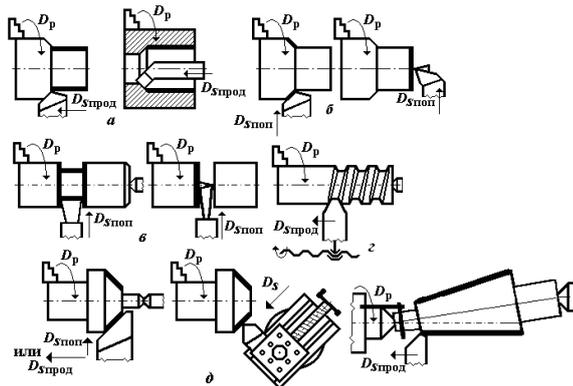


Рисунок 6.4 - Основные технологические схемы точения: а – продольное точение; б – поперечное точение; в – нарезание канавки и отрезание; г – нарезание резьбы; д – точение конических поверхностей

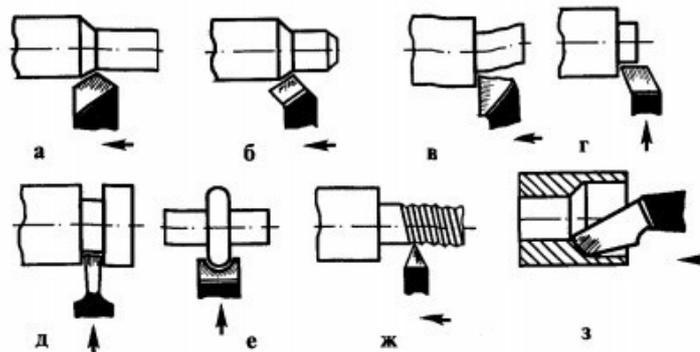


Рисунок 6.5 – Типы резцов: а - проходной прямой; б - проходной отогнутой; в - проходной упорный; г - подрезной; д - отрезной; е - фасонный; ж - резьбовой; з - проходной расточной

## Строгание и долбление

Строгание и долбление – ЛОР открытых плоских и фасонных, наружных и внутренних поверхностей; главное движение – прямолинейное, возвратно поступательное, придается режущему инструменту; движение подачи – дискретное, прямолинейное или криволинейное, придается заготовке в конце обратного хода инструмента. При строгании (рисунок 6.5, а) главное движение придается инструменту в горизонтальной плоскости. При долблении (рисунок 6.6, б) – в вертикальной.

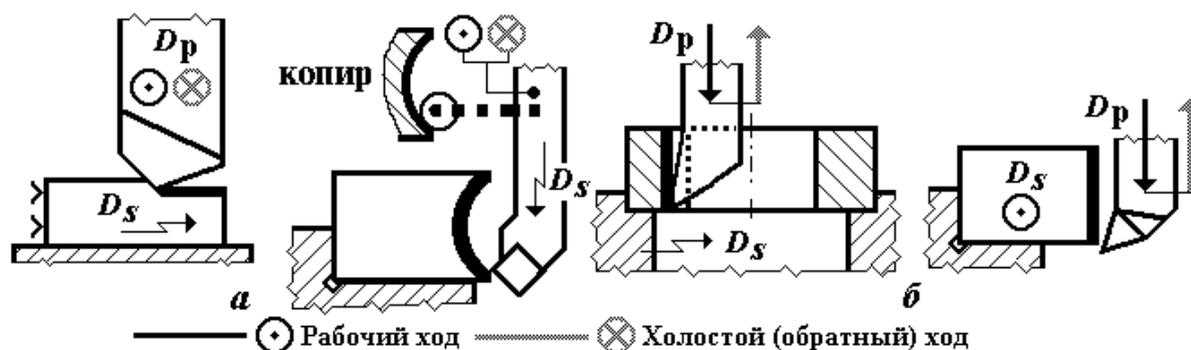


Рисунок 6.6 - Основные технологические схемы строгания наружных поверхностей: а – строгание; б – долбление.

Процесс резания при строгании или долблении – прерывистый и удаление материала происходит только при прямом (рабочем) ходе инструмента. При обратном (холостом) ходе, резец не снимает стружку.

## Протягивание

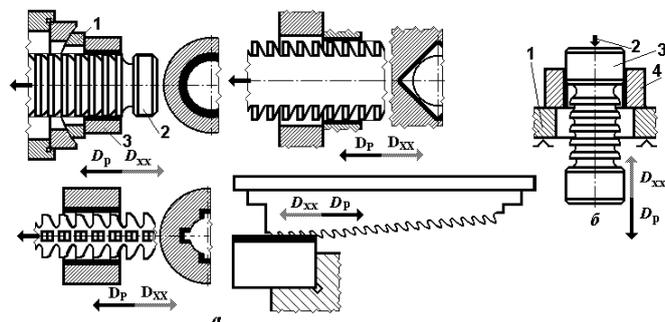


Рисунок 6.7 - Основные технологические схемы протягивания: а – протягивание: 1 – плавающая опора; 2 – протяжка; 3 – заготовка; б – прошивание: 1 – стол; 2 – шток поршня; 3 – прошивка; 4 – заготовка;  $D_p$  – движение резания;  $D_{xx}$  – обратный ход.

Протягивание – высокопроизводительный процесс обработки наружных и внутренних поверхностей, обеспечивающий высокую точность формы и размеров обработанной поверхности. При протягивании профиль обработанной поверхности копируется профилем режущих зубьев. Поэтому протяжки – узкоспециальный инструмент, применяемый для обработки поверхностей со строго заданными формой и размерами. По характеру обработанной поверхности различают внутренние и наружные протяжки.

## Сверление

Сверление – ЛОР цилиндрических отверстий с прямолинейной образующей; главное движение – вращательное, придается инструменту; движение подачи – прямолинейное, придается инструменту вдоль оси его вращения.

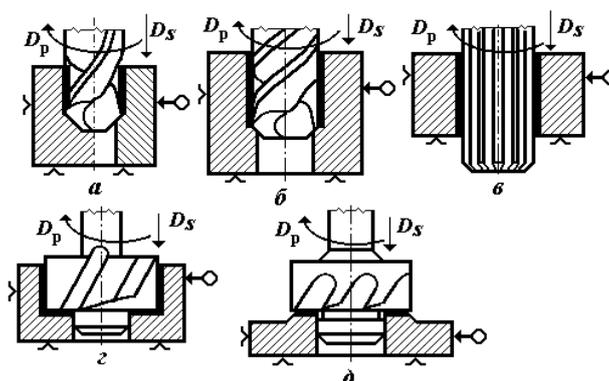


Рисунок 6.8 – Основные технологические схемы сверления: а – сверление и рассверливание; б – зенкерование; в – развертывание; г - зенкование; д – цекование

Рассверливанием увеличивают диаметр ранее просверленного отверстия. Зенкерованием также увеличивают диаметр отверстия, но, по сравнению с рассверливанием, зенкерование позволяет получить большую точность и производительность обработки. Развертывание – чистовая операция, обеспечивающая высокую точность отверстия. Развертыванием обрабатывают цилиндрические и конические отверстия после зенкерования или растачивания. Зенкованием обрабатывают цилиндрические и конические углубления под головки болтов и винтов. Цекованием обрабатывают торцевые опорные плоскости для головок болтов, винтов и гаек.

### **Фрезерование**

Фрезерование – ЛОР плоских и фасонных поверхностей с линейной образующей; главное движение – вращательное, придается инструменту; движение подачи – прямолинейное, поступательное, придается заготовке в направлении как вдоль, так и перпендикулярно оси вращения инструмента.

### **Резьбонарезание**

Нарезание резьбы одна из распространенных операций в машиностроении. Наружные и внутренние резьбы наиболее просто выполнять на токарно-винторезном станке фасонными (резьбовыми) резцами. Резьбы с большими шагами нарезают резьбофрезерованием. Часто наружные резьбы нарезают плашками, а внутренние – метчиками.

Резьбовые резцы имеют профиль, соответствующий профилю нарезаемой резьбы. Скорость движения продольной подачи должна быть равна шагу резьбы. Нарезание резьбы производится за несколько рабочих ходов. Для повышения производительности нарезания наружных резьб применяют охватывающие головки, «вихревое резание».

## **6.2 Абразивная обработка деталей машин, шлифование**

Абразивная обработка (АО) - процесс обработки заготовок резанием абразивным инструментом. Абразивные зерна расположены в режущем инструменте беспорядочно и удерживаются связующим материалом. АО определяют, как управляемый износ заготовки. В зависимости от качества обработанной поверхности различают: шлифование и отделочную обработку.

Шлифование — это чистовая операция, позволяющая получить обработанную поверхность с размерной точностью по 5...7 качеству и шероховатостью  $R_z$  0,3...2,4 мкм. Скорость резания при АО лежит в пределах 30...100 м/с, поэтому АО – высокопроизводительный процесс.

Круглым наружным шлифованием обрабатывают наружную цилиндрическую поверхность валов, колец и втулок.

Плоским шлифованием обрабатывают наружные плоские поверхности заготовок. Шлифование выполняется периферией или торцом круга.

## **6.3 Отделочная обработка деталей машин**

Прецизионная обработка (тонкое точение и растачивание, алмазное точение, тонкое фрезерование) позволяет получить: шероховатость поверхности –  $Ra$  0,02...0,63 мкм; точность по 5...9 качеству и характеризуется высокими скоростями резания (1,5...15 м/с), малыми подачами (0,01...0,15 мм/об) малой глубиной резания (0,05...0,3 мм) при высокой виброустойчивости технологической системы.

Тонкое шлифование производят мягкими мелкозернистыми шлифовальными кругами на больших скоростях резания (от 35 м/с). Процесс характеризуется снятием малых припусков (0,04...0,08 мм на сторону); малыми подачами (0,005 ...0,1 мм/об), частой правкой круга.

Хонингование – отделочный метод обработки внутренних поверхностей абразивными брусками. Хонингование применяется для повышения точности формы, размера и снижения шероховатости отверстий, а так же создания специфического микропрофиля обработанной

поверхности в условиях серийного и массового производства после операций растачивания, развертывания, протягивания и шлифования.

Суперфиниширование – отделочный метод обработки наружных поверхностей мелкозернистыми абразивными брусками, совершающими колебательные движения с амплитудой 2...5 мм и частотой до 2000 двойных ходов в минуту. Суперфиниширование применяют для отделочной обработки трущихся поверхностей, когда необходимо повысить их эксплуатационные свойства.

Доводка (притирка) – отделочная операция, при которой сьем металла с обрабатываемой поверхности производится абразивными зёрнами, свободно распределенными в пасте или суспензии, нанесенной на поверхность притира. Операция выполняется на малых скоростях и при переменном направлении рабочего движения притира.

Полирование – это заключительная операция механической обработки заготовки, выполняемая с целью уменьшения шероховатости поверхности и придания ей зеркального блеска. Различают: полирование кругами; полирование лентами; абразивно-жидкостную обработку; виброабразивную обработку и магнитно-абразивную обработку.

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6. ОСНОВЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Сварка – процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании (ГОСТ 2601-84\*).

По используемой энергии все виды сварки можно разделить на: механические; химические; электрические; электромеханические; химико-механические и т.д.

Химическая сварка характеризуется нагревом металла заготовок до появления расплава в зоне сварки посредством превращения химической энергии в тепло. Электрическая сварка основана на превращении электрической энергии в тепловую. Электромеханическая сварка основана на нагреве металла заготовок методом электросопротивления и последующим пластическим деформированием нагретого металла. При химико-механической сварке металл заготовок нагревается путем превращения химической энергии в тепловую с последующим пластическим деформированием металла.

### **5.1. Электрические виды сварки**

Электрические виды включают в себя следующие способы сварки: дуговую сварку (ручную, под флюсом, в защитных газах, подводную); плазменную; высокочастотную; диффузионную и электрошлаковую.

#### **Дуговая сварка**

Дуговая сварка – сварка плавлением, при которой нагрев осуществляется электрической дугой. Сварочная дуга – одна из форм электрического разряда в ионизированной смеси газов, паров металла, компонентов электродных покрытий, флюсов.

Дуга прямого действия – дуга, при которой объект сварки включен в цепь сварочного тока (рисунок 5.1, а).

Электрическая дуга 3 горит между электродом 2 и свариваемыми заготовками 4. Сварной шов

получается за счет плавления электрода или присадочного прутка 1. Возможные подключения: переменным током; постоянным током, прямая полярность (заготовка является катодом); постоянным током, обратная полярность (заготовка является анодом).

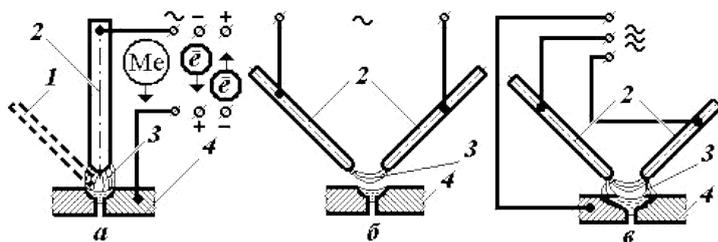
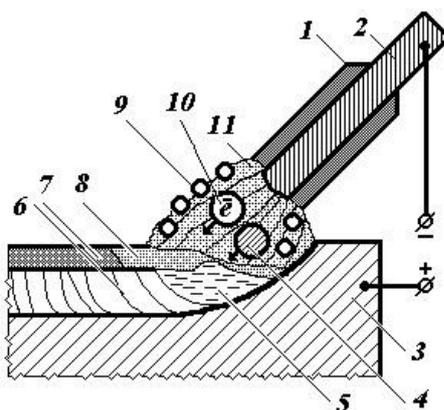


Рисунок 5.1. Схемы электродуговой сварки: а – с прямой дугой; б – с косвенной дугой; в – трехфазная: 1 – присадочный пруток; 2 – электрод; 3 – дуга; 4 – заготовки

Дуга косвенного действия – дуга, при которой объект сварки не включен в сварочную цепь (рисунок 5.1, б). Электроды 2 включены в цепь переменного тока. Дуга 3 горит между электродами (обычно неплавящимися). Металл кромок заготовок нагревается и расплавляется теплотой столба дуги. При сварке трехфазной дугой (рисунок 5.1, в) дуга 3 горит между электродами 2 и между каждым электродом заготовками 4.

### Ручная дуговая сварка (РДС)

РДС – дуговая сварка, при которой возбуждение дуги, подача электрода и его перемещение производятся вручную. РДС выполняется покрытыми электродами, и позволяет выполнять швы в различных пространственных положениях (нижнем, вертикальном, горизонтальном, потолочном). Схема процесса РДС показана на рисунке 5.2.



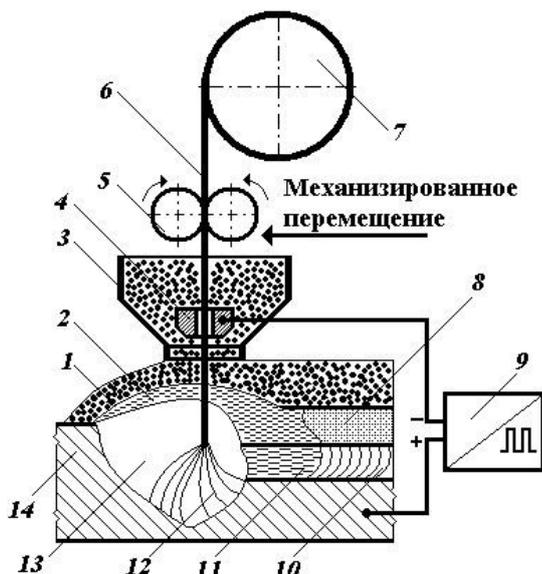
1 - покрытие (термин «обмазка» не допускается); 2 – стержень; 3 – заготовки; 4 – капли расплавленного металла электрода; 5 – ванна жидкого металла; 6 – шов; 7 – шлаковая корка; 8 – шлаковая ванна; 9 – газовая атмосфера; 10 – электроны; 11 – дуга

Рисунок 5.2. Схема процесса РДС

Стержни плавящихся электродов изготавливают из стали, чугуна, алюминиевых, титановых сплавов, меди и медных сплавов. Для сварки сталей применяют холоднотянутую, гладкую стальную проволоку диаметром от 1,6 до 6,0 мм с уменьшенным содержанием серы и фосфора. В обозначении марки стали добавляют «Св» - сварочная (например Св08ГС).

### Дуговая сварка под флюсом (ДСФ)

ДСФ – дуговая сварка, при которой дуга горит под слоем сварочного флюса. ДСФ характеризуется применением непокрытых электродов (сварочной проволоки) 6 (рисунок 5.3), а место горения дуги закрыто слоем 1 порошкообразного флюса (толщиной 30...50 мм).



1- слой флюса; 2 – расплавленный шлак; 3 – бункер; 4 – токопровод (контактный мундштук); 5 – ролик механизм подачи; 6 – сварочная проволока (электрод); 7 – кассета; 8 - шлаковая корка; 9 – источник питания; 10 – сварной шов; 11 – ванна расплавленного металла; 12 – дуга; 13 - воздушная газовая полость; 14 – заготовки

Рисунок 5.3. Схема дуговой сварки под флюсом

Основные преимущества ДСФ по сравнению РДС состоят в: повышении производительности процесса сварки в 5...20 раз; повышении качества (и стабильности качества) шва; уменьшении себестоимости производства одного погонного метра шва. Повышение производительности происходит за счет использования больших сварочных токов (до 2000 А) и непрерывности процесса сварки. К недостаткам ДСФ можно отнести: ограниченную маневренность сварочных автоматов; возможность сварки труднодоступных мест или криволинейных швов только в полуавтоматическом режиме; выполнение сварки главным образом в нижнем положении.

**Дуговая сварка в защитном газе** – дуговая сварка, при которой дуга и расплавляемый металл, а в некоторых случаях и остывающий шов, находятся в защитном газе, подаваемом в зону сварки с помощью специальных устройств. Чаще всего применяют: аргон, углекислый газ; смесь аргона или углекислого газа с кислородом. Дуговая сварка в защитном газе может выполняться в любом пространственном положении, как плавящимся, так и неплавящимся электродом.

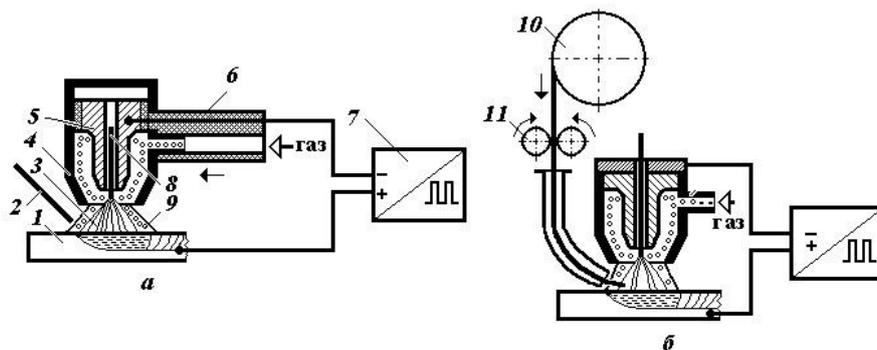


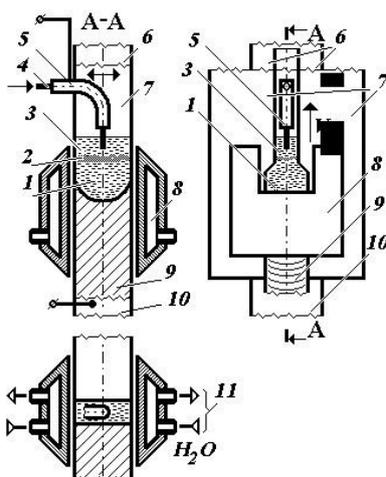
Рисунок 5.4 - Схемы горелок для сварки неплавящимся электродом:

а – ручная горелка; б – полуавтоматическая горелка; 1 – заготовки; 2 – присадочный пруток (проволока); 3 – дуга; 4 – корпус; 5 – мундштук; 6 – рукоятка; 7 – источник сварочного тока; 8 – электрод; 9 - защитный газ; 10 – кассета; 11 - роликовый механизм

Горелка для сварки плавящимся электродом отличается от горелок для сварки неплавящимся электродом наличием роликового механизма подачи омедненной сварочной проволокой, намотанной на кассету.

### Электрошлаковая сварка (ЭШС)

ЭШС - сварка плавлением, при которой для нагрева используется тепло, выделяющееся при прохождении электрического тока через расплавленный шлак (имеющий большое электросопротивление). При ЭШС основным источником тепла служит расплавленный шлак, разогретый сварочным током, проходящим от электрода к заготовкам. Дуга при сварке отсутствует. Схема установки для ЭШС приведена на рисунке 5.5.



1 - ванна расплавленного металла; 2 – флюс; 3 - ванна расплавленного флюса; 4 – сварочная проволока; 5 – мундштук; 6 - выходные планки; 7 – заготовки; 8 – ползуны; 9 - сварочный шов; 10 - вводная планка; 11 – штуцеры

Рисунок 5.5 - Схема установки для ЭШС

По сравнению с ДСФ, ЭШС позволяет:

- 1) повысить производительность сварки за счет: непрерывности процесса сварки; выполнения сварного шва за один проход при большой толщине заготовок; увеличения сварочного тока в 1,5...2 раза;
- 2) улучшить макроструктуру сварного шва за счет отсутствия многослойности и большей однородности однослойного шва;
- 3) снизить затраты на сварку вследствие: повышения производительности; упрощения процесса подготовки кромок заготовок; уменьшения сечения сварного шва; уменьшения расхода сварочной проволоки, флюса и электроэнергии.

К недостаткам ЭШС можно отнести: большие вертикальные габариты установок. Крупнозернистую структуру сварного шва и околошовной зоны, получаемые вследствие замедленного нагрева и охлаждения сварного шва.

После сварки необходимо провести отжиг и нормализацию готовой детали для измельчения зерна металла сварного соединения.

ЭШС широко применяется в машиностроении для изготовления ковано-сварных или лито-сварных конструкций (станины и детали мощных прессов и станков, коленчатые валы судовых двигателей, роторы и валы гидротурбин).

## Плазменная сварка

Плазменная сварка - сварка плавлением, при которой нагрев производится сжатой дугой. Источником теплоты при плазменной сварке является плазменная струя – направленный поток ионизированных частиц газа, с температурой до 20000 °С.

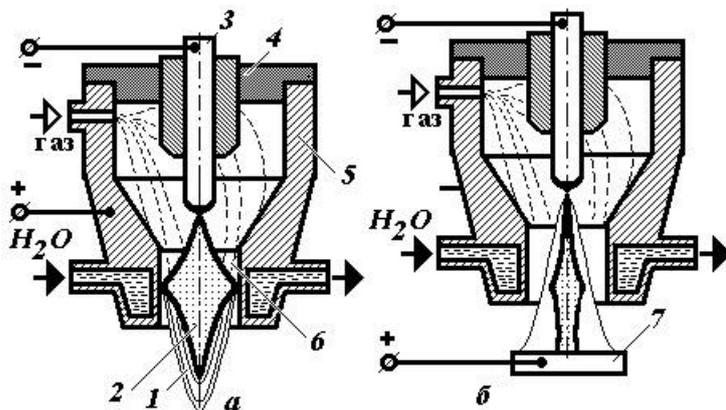


Рисунок 6.6 - Схемы плазменных горелок: а - горелка с плазменной дугой выделенного типа; б - горелка с плазменной дугой не выделенного типа: 1 - плазменная дуга; 2 – электрическая дуга; 3 – электрод; 4 - керамическая вставка; 5 – сопло; 6 – канал; 7 – заготовки

Плазменную дугу используют для сварки металлов (высоколегированной стали, сплавов титана, никеля, молибдена, вольфрама) и неметаллов; резки всех материалов; наплавки; напыления и т.д.

## 5.2 Химические виды сварки

### Газовая сварка

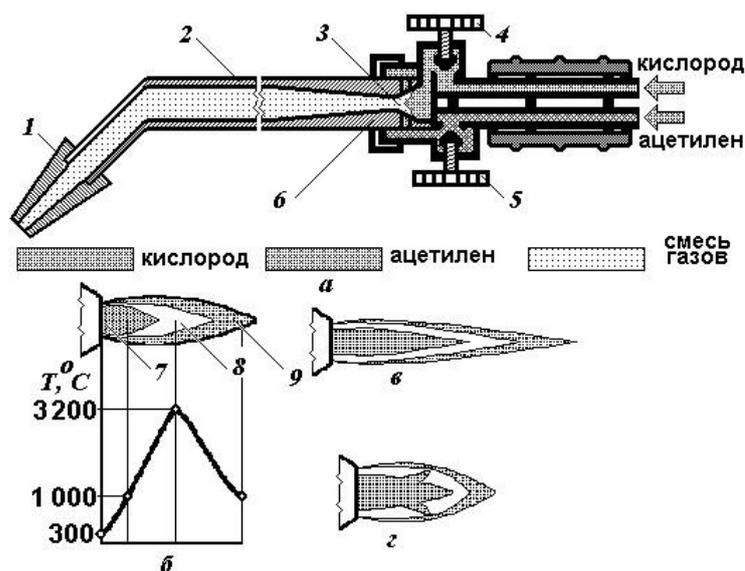
Газовая сварка - сварка плавлением, при которой для нагрева используется тепло пламени смеси горючих газов с кислородом, сжигаемых с помощью горелки.

К недостаткам газовой сварки относятся: высокая стоимость горючего газа (ацетилена) и кислорода; небольшая скорость нагрева металла; большая зона теплового воздействия на металл и взрывоопасность процесса, не поддается автоматизации.

Газовую сварку применяют при: изготовлении и ремонте изделий из тонколистовой стали (сварка сосудов и резервуаров небольшой емкости, заварка трещин, вварка заплат и т.д.); сварке трубопроводов малых и средних диаметров (до 100 мм) и фасонных частей к ним; ремонтной сварке литых изделий из чугуна, бронзы и силумина (заварка литейных дефектов); сварке изделий из алюминия и его сплавов, меди, латуни, свинца; наплавке латуни на стальные и чугунные детали; сварке кованого и высокопрочного чугуна с применением присадочных прутков из латуни и бронзы, низкотемпературной сварке чугуна.

В газовой сварке используются горючие газы: ацетилен, водород, метан, пропан и пары керосина. Основным горючим газом является ацетилен.

Горелка для газовой сварки – устройство для газовой сварки с регулируемым смешением газов и созданием направленного газового пламени. Для сварки чаще всего используются горелки инжекторного типа (рисунок 5.7, а).



а – горелка инжекторного типа; 1 – сменный наконечник; 2 – мундштук; 3 – смесительная камера; 4 - кислородный вентиль; 5 - вентиль горючего газа; 6 - кольцевой инжектор; б – нормальное пламя; в – окислительное пламя; г– восстановительное пламя; 7– ядро; 8 – восстановительная зона; 9 – факел

Рисунок 5.7 - Газосварочная горелка и ацетилен – кислородное пламя

Газокислородная резка металлов заключается в сжигании нагретого металла в струе чистого кислорода. Различают два вида резки: разделительная и поверхностная. При разделительной резке из металлического листа вырезается заготовка для дальнейшей обработки. Разделительная резка может осуществляться вручную по разметке. В серийном производстве применяется резка с

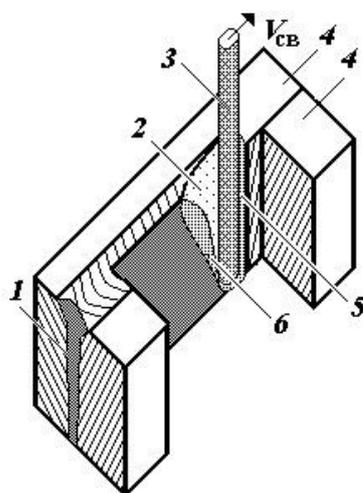
использованием стационарных машин по шаблонам. При поверхностной резке удаляется лишний металл с поверхности изделий.

Газовый резак отличается от газовой горелки наличием дополнительного кислородного вентиля. Процесс резки осуществляется в два этапа. Первый - нагрев зоны резки до температуры горения металла в кислороде (характеризуется появлением большого числа искр); второй - собственно резка (отключается ацетилен и кислород из основной магистрали). Дополнительным вентилем подключается кислород.

### 5.3 Лучевые виды сварки

#### Электронно-лучевая сварка (ЭЛС)

ЭЛС – сварка плавлением, при которой для нагрева используется энергия ускоренных электронов. Электронный луч это сжатый поток электронов, перемещающихся с большой скоростью от катода к аноду в сильном электрическом поле.

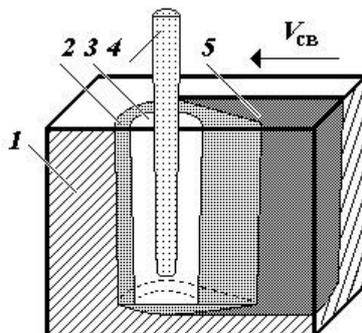


1 – сварной шов; 2 – парогазовый канал; 3 – электронный луч; 4 – заготовки; 5 – фронт расплавленного металла; 6 – основной объем расплавленного металла

Рисунок 5.8 – Схема электронно-лучевой сварки

#### Лазерная сварка

Лазерная сварка – сварка плавлением, при которой для нагрева используется энергия излучения лазера. Лазерный луч представляет собой вынужденное монохроматическое излучение.



1 – заготовки; 2 – расплавленный металл; 3 – полость; 4 – лазерный луч; 5 - сварной шов;  $V_{св}$  - скорость перемещения лазерного луча

Рисунок 5.9 – Схема лазерной сварки

Лазерная сварка позволяет:

- соединять разнородные металлы при толщине заготовок от 0,5 до 10 мм и скорости сварки до 50 м/мин;
- обеспечивать небольшое тепловое влияние на околошовную зону и малые деформации готового изделия;
- сваривать конструкции, которые невозможно было соединять обычными способами сварки;
- управление лучом с помощью системы специальных зеркал позволяет сваривать труднодоступные места и получать криволинейные сварные швы;
- сфокусированным лазерным лучом можно разрезать практически любые материалы.

#### 5.4 Механические виды сварки

К механическим видам сварки относятся: холодная, ультразвуковая, сварка трением; сварка взрывом.

##### Сварка трением

Сварка трением – сварка с применением давления, при которой нагрев осуществляется трением, вызванным относительным перемещением свариваемых частей или инструмента. Простейшая и наиболее распространенная схема сварки приведена на рисунке 5.10.

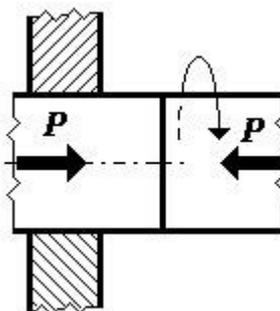


Рисунок 5.10 – Схема сварки трением: P – осевое усилие

Технологическими достоинствами сварки трением являются:

- 1) Высокая производительность. Объем тонкого слоя нагреваемого металла настолько незначителен,

что весь цикл его нагрева обычно укладывается в промежуток времени от нескольких секунд до 0,5 мин (в зависимости от свойств материала и размеров сечения свариваемых деталей).

2) Высокое качество сварного соединения. При правильно выбранном режиме сварки металл стыка и прилегающих к нему зон обладает прочностью и пластичностью, не меньшими, чем основной металл соединяемых деталей; стык свободен от пор, раковин, различного рода инородных включений и других макропороков, а металл стыка и з.т.в. в результате ударного термомеханического воздействия (быстрые нагрев и охлаждение в присутствии больших давлений), по своему характеру близкого к режимам термомеханической обработки металлов, приобретает сильно измельченную структуру.

3) Независимость качества сварных соединений от чистоты их поверхности. При сварке трением нет необходимости в зачистке перед началом процесса вводимых в контакт поверхностей; в отличие, например, от контактной сварки боковые поверхности деталей также могут оставаться неочищенными, что в значительной мере экономит время вспомогательных операций.

4) Возможность сварки металлов и сплавов в различных сочетаниях. Процесс сварки трением позволяет выполнять прочные соединения не только одноименных, но и разноименных металлов и сплавов, причем даже таких, которые другими способами сварки либо вовсе не получаются, либо их получение сопряжено с большими трудностями (например, сочетания алюминий - сталь, медь - сталь, титан - алюминий, медь – алюминий).

К недостаткам сварки трением можно отнести искривление волокон текстуры проката в зоне пластического деформирования. Лучшим средством предотвращения указанных дефектов является сохранение на детали грата.

## 5.5 Электромеханические виды сварки

### Контактная сварка

Контактная сварка – сварка с применением давления, при которой, используется тепло, выделяющееся в контакте свариваемых частей при прохождении электрического тока.

Различают контактную сварку: стыковую, точечную, шовную и рельефную.

Стыковая контактная сварка (СКС) – контактная сварка, при которой соединение свариваемых частей происходит по поверхностям стыкуемых торцов.

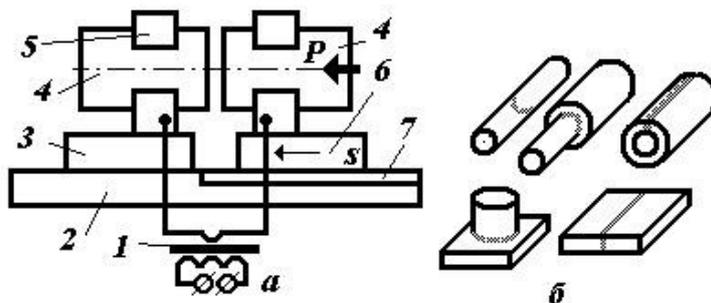


Рисунок 5.11 – Стыковая контактная сварка: а – схема установки; б – типовые заготовки; 1 - трансформатор; 2 – станина; 3 – неподвижная плита; 4 – заготовки; 5 - зажимы; 6 – подвижная

плита; 7 – направляющие; P – усилие сжатия

Точечная контактная сварка (ТКС) – контактная сварка, при которой сварное соединение получается между торцами электродов, передающих усилие сжатия.

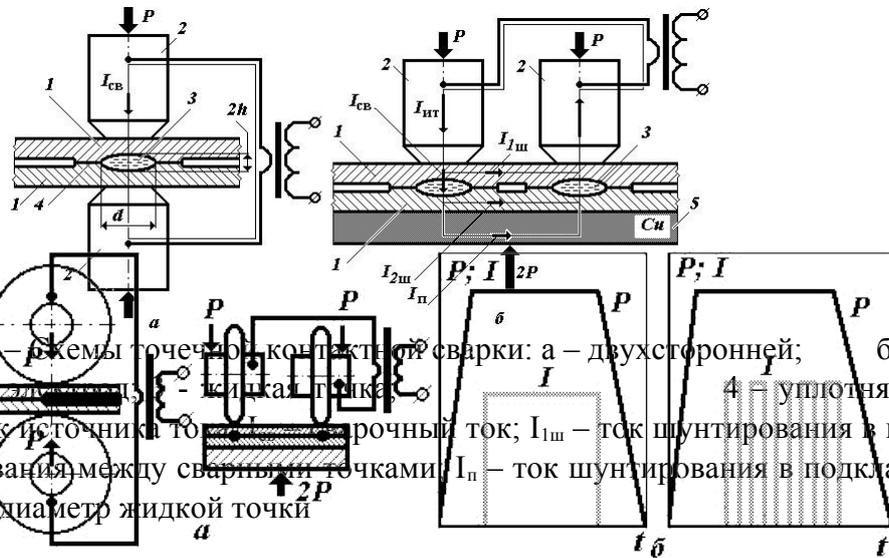


Рисунок 5.12 – Схемы точечной контактной сварки: а – двухсторонней; б – односторонней; 1 – заготовки; 2 – электроды; 3 – жидкая точка; 4 – уплотняющий пояс; 5 – подкладка;  $I_{ит}$  – ток источника тока;  $I_{ш}$  – рабочий ток;  $I_{ш1}$  – ток шунтирования в верхней заготовке,  $I_{ш2}$  – ток шунтирования между сварными точками;  $I_{п}$  – ток шунтирования в подкладке; h – величина проплавления; d – диаметр жидкой точки

Основными параметрами режима точечной сварки являются: сварочный ток, продолжительность его включения, усилие на электродах и размеры их контактной поверхности.

Шовная контактная сварка (ШКС) – контактная сварка, при которой соединение свариваемых частей происходит между вращающимися дисковыми электродами, передающими усилие сжатия.

ШКС предназначена для соединения листовых материалов непрерывным швом. Для этого, заготовки размещают между вращающимися роликами – электродами. ШКС, так же как и ТКС, можно выполнять при одностороннем расположении электродов (рисунок 5.13, а). Различают непрерывную и импульсную ШКС (рисунок 5.13, б).

Рисунок 5.13 – Шовная контактная сварка: а – схемы; б – циклограммы; I – ток; P – давление; t – время

При непрерывной сварке происходит перегрев металла шва и околошовной зоны, что отрицательно сказывается на качестве шва и работоспособности роликов. При импульсной подаче тока перегрева металла не происходит. При этом необходимо, чтобы сварные точки перекрывали друг друга на 1/3 или на 1/4 их диаметра. Из-за большого влияния шунтирования нецелесообразно сваривать листы суммарной толщины более трех мм.

