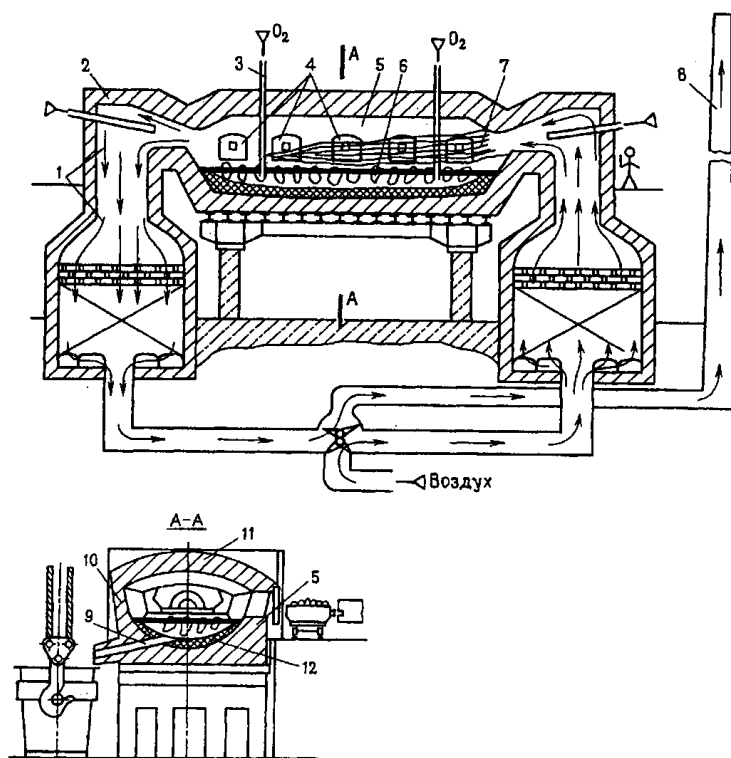


## 16.ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ В МАРТЕНОВСКИХ ПЕЧАХ



**Рис. 38. Схема устройства и общий вид мартеновской печи:**

1 — регенератор; 2 — головка печи; 3 — труба; 4 — загрузочные окна; 5,10 — передняя и задняя стенки; 6 — шихта; 7 — факел; 8 — дымовая труба; 9 — отверстие для выпуска готовой стали; 10 — воздушное охлаждение; 11 — свод; 12 — плавильное пространство

Мартеновский процесс передела чугуна в сталь осуществляется в пламенных отражательных печах, основанных на регенерации отходящих газов, для подогрева воздуха и газообразного топлива.

Различают два способа мартеновского производства:

1.С к р а п - процесс, где основная часть шихты – скрап и 25-46% - твердый чугун.

2.Р у д н ы й + с к р а п – процесс, где 60-75% шихты – жидкий чугун, твердая шихта – скрап и железная руда.

Наибольшее количество стали получается в печах с основной футеровкой, так как тогда используют различные шихтовые материалы, в том числе с большим количеством фосфора и серы (рудный скрап-процесс)

Кислым мартеновским процессом выплавляют качественные стали.

### Д о с т о и н с т в а

1.Универсальность шихты.

2.Универсальность получаемых марок сталей.

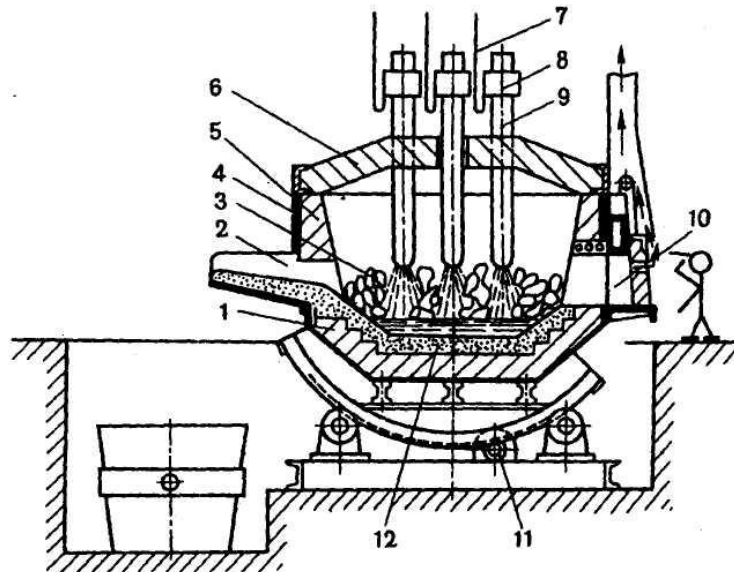
### Н е д о с т а т к и

1.Низкая производительность (6-10часов).

2.Большие капитальные затраты.

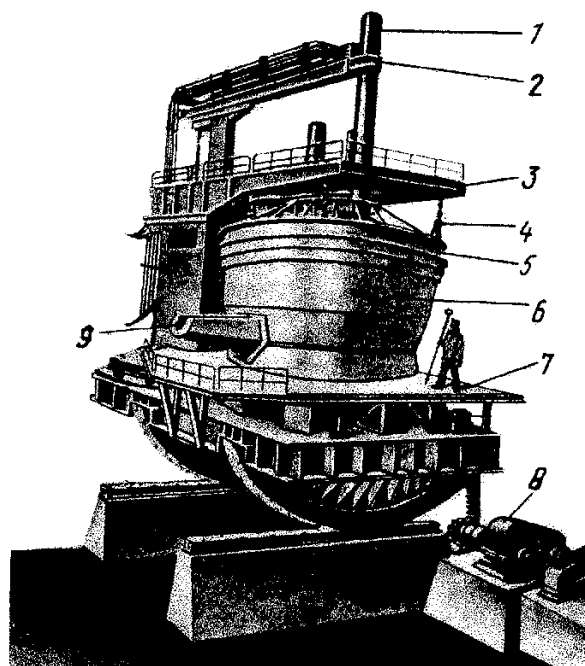
3.Большой расход топлива.

## 17.ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ В ЭЛЕКТРОПЕЧАХ



**Рис.39. Схема дуговой плавильной печи:**

1 – огнеупорный кирпич футеровки; 2 – желоб; 3 – металлическая шихта; 4 – стальной кожух; 5 – стенка; 6 – свод; 7 - кабели; 8 – электродержатели; 9 - три цилиндрических электрода; 10 – рабочее окно; 11 – привод для наклона печи; 12- подина



**Рис. 40. Дуговая сталеплавильная печь:** 1 - электрод; 2 - головка электроподдержателя; 3 - свод; 4 - подвеска свода; 5 - сводовое кольцо; 6 - цилиндрический кожух; 7 - рабочая площадка; 8 - механизм наклона печи; 9 - желоб для слива стали

Осуществляется двумя способами:

-в дуговых э\печах

-в индукционных э\печах

Дуговые печи косвенного действия используются в цветной металлургии.

Дуговые печи прямого действия при выплавке стали используют два метода:

-на углеродистой или свежей шихте (с окислением примесей). Шихта: стальной лом – 90%, чушковый передельный чугун – 10%, электродный бой или кокс для науглероживания металла, 2-3% извести.

-на шихте из отходов легированной стали (метод переплава). Шихта для такой плавки кроме пониженного содержания Р должна иметь меньше, чем в выплавляемой стали, количеств марганца, кремния, и углерода.

Продолжительность выплавки 3,5-6,5час

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

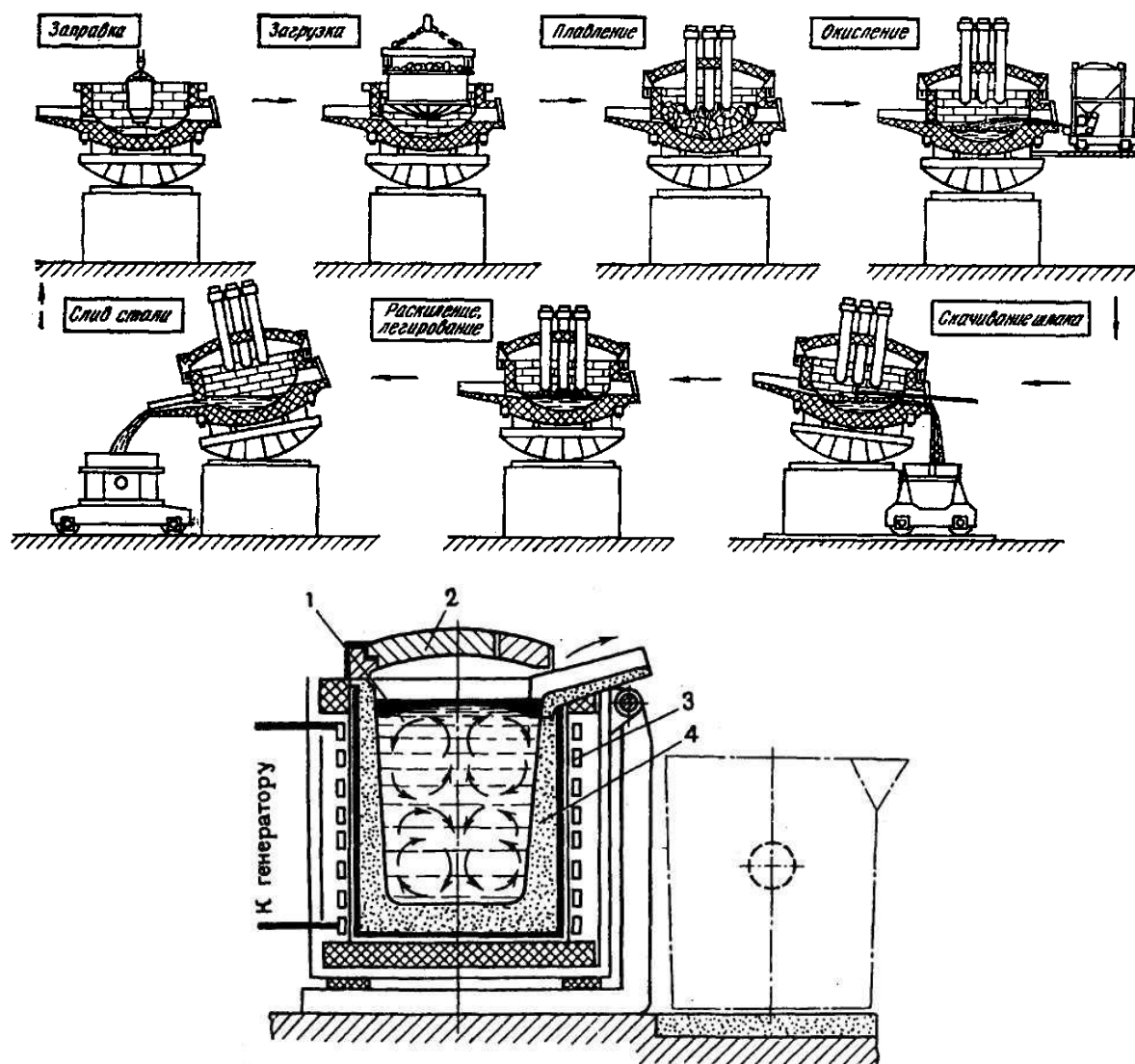


Рис. 41. Схема индукционной тигельной плавильной печи:

1 – вихревые токи Фуко; 2 – съемный свод; 3 – водоохлаждаемый индуктор; 4 – тигель с металлической шихтой

Производство стали в и н д у к ц и о н н ы х печах применяется реже, чем в дуговых. Магнитные силовые линии, создаваемые индуктором, проходя через металл вызывают в нем вихревые токи (токи Фуко), которые нагревают и плавят его. Шлак малоактивен, так как нагревается только через металл.

Достоинства индукционных печей

1.Отсутствие дуги позволяет выплавлять низкоуглеродистые стали с низким угаром.

2. Токи способствуют однородности металла.
3. Небольшие габариты позволяют управлять процессом и создавать любую атмосферу в печи.
4. Высокая производительность (1т за 45 мин.).

#### Недостатки

1. Высокая стоимость футеровки.
2. Низкая активность шлака.

#### Достоинства электропечей

1. Получение высококачественных сталей в результате того, что можно нагревать, плавить с точной установкой температуры и атмосферы плавки.
2. Минимальный угар.
3. Наилучший способ переработки металлолома.

#### Недостатки

1. Высокая энергоемкость (от 600 до 1000 квт\*час на 1 тонну).

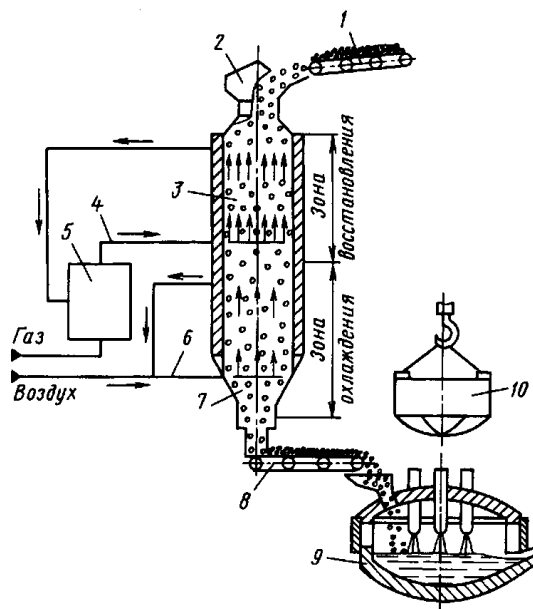
#### Перспективы

1. Применение кислородно-топливных горелок.
2. Продувка кислородом.
3. Работа в режиме вспененного шлака.

### 18. ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ ИЗ МЕТАЛЛИЗОВАННЫХ ОКАТЫШЕЙ (ПРЯМОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ЖЕЛЕЗА)

Производство стали из металлизированных окатышей, содержащих 90 ... 95 % железа, осуществляется в дуговых электрических печах вместимостью 150 т. Этот способ выплавки стали состоит из трех основных стадий: приготовления окисленных окатышей из железорудного концентрата, металлизации окатышей в специальных установках прямого восстановления железа, выплавки стали из металлизированных окатышей (рис.42) (бескоксовая металлургия)

Этим способом выплавляют высококачественные легированные стали с малым содержанием фосфора и серы.



**Рис. 42. Схема производства стали из металлизированных окатышей:**

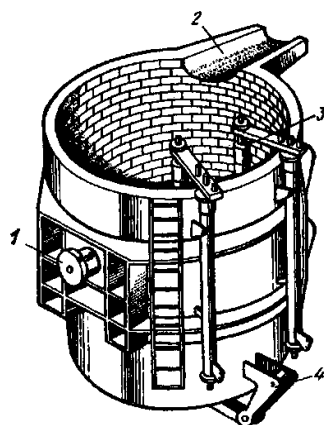
1 – конвейер; 2 – приемное устройство; 3 – шахтная башня-печь; 4 – трубопровод; 5 – установка для конверсии смеси природного и колошникового газа; 6 – трубопровод холодного воздуха для охлаждения окатышей; 7 – охлажденные окатыши; 8 – конвейер; 9 – дуговая электропечь; 10 – корзина со стальным ломом

## 19. СПОСОБЫ РАЗЛИВКИ СТАЛИ

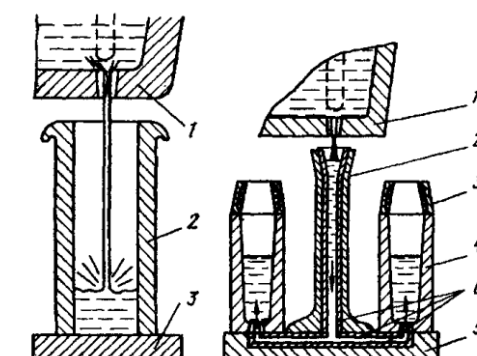
Выплавленную сталь выпускают из плавильной печи в разливочный ковш (рис.44, 43), из которого ее разливают в изложницы или кристаллизаторы машины для непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). В изложницах или кристаллизаторах сталь затвердевает, и получаются слитки, которые подвергают прокатке, ковке.

Сталь разливают в изложницы сверху (рис.44,а), снизу (сифоном) (рис.44,б) и на МНЛЗ (рис.45).

**Изложницы** - чугунные формы для изготовления слитков. Изложницы выполняют с квадратным, прямоугольным, круглым и многогранным поперечными сечениями. Слитки



**Рис. 43. Общий вид сталеразливочного ковша:**  
1 - цапфа; 2 - носок для слива шлака; 3 - стопор; 4 - скоба для кантования ковша



а

б

**Рис. 44. Схема разлива стали в изложницы:**

**а** – разливка сверху; 1 – сталеразливочный ковш; 2 – изложница; 3 – поддон;  
**б** - разливка снизу (сифоном); 1 – сталеразливочный ковш; 2 – центровая трубка; 3 – прибыльная надставка; 4 – изложница; 5 – поддон; сифонные трубки

квадратного сечения переделывают на сортовой прокат (двутавровые балки, швеллеры, уголки и т.д.). Слитки прямоугольного сечения переделывают на лист. Из слитков круглого сечения изготавливают трубы, колеса. Многогранные слитки используют для поковок.

В изложницы сверху (рис. 44,а) сталь разливают непосредственно из ковша 1.

### **Достоинства разливки сверху**

1. Нет расхода металла на литники.
2. Проста подготовка к разливке.
3. Более низкая температура разливаемой стали.

### **Недостатки**

1. Из-за падения с большой высоты на стенках изложницы образуются брызги в виде окисных пленов, которые не уничтожаются при прокатке и удаление которых дорого.

Применяется для разливки углеродистой стали обыкновенного качества

При сифонной разливке (рис.47) сталью заполняют несколько изложниц (4 ... 60).

### **Достоинства разливки сифоном**

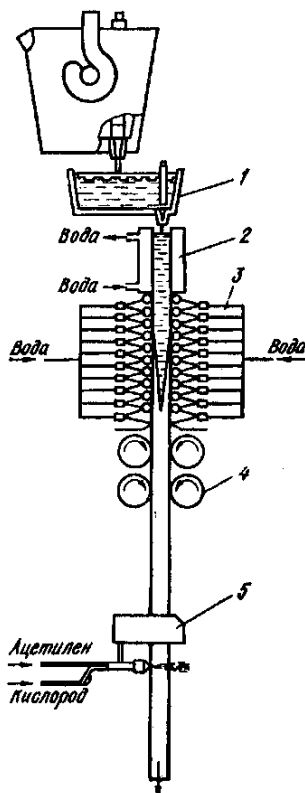
1. Плавное заполнение изложницы.
2. Возможность разлива большого количества стали.
3. Разлив занимает мало времени.
4. Чистая поверхность металла.

### Недостатки

- 1.Трудоемкость в подготовке оборудования.
2. Расход металла на литники (до 1,5%).
- 3.Нагрев стали до более высокой температуры.

Применяется для разлива легированной и качественной стали.

**Непрерывная разливка стали** состоит в том, что жидкую сталь из ковша через промежуточное разливочное устройство 1 непрерывно подают в водоохлаждаемый кристаллизатор 2, из нижней части которого вытягивается затвердевающий слиток (рис. 45). Перед заливкой металла в кристаллизатор вводят затравку, образующую его дно. Жидкий металл, попадая в кристаллизатор и на затравку, охлаждается, затвердевает, образуя корку, и соединяется с затравкой. Затравка тянущими валками вытягивается из кристаллизатора вместе с затвердевающим слитком, сердцевина которого еще жидкая. Скорость вытягивания слитка из кристаллизатора составляет от 0,3 до 10 м/мин, она зависит от его поперечного сечения, температуры разливаемого металла, условий вторичного охлаждения и теплофизических свойств разливаемой стали.



**Рис. 45. Схема разливки стали на МНЛЗ:**

1 – промежуточный ковш; 2 – водоохлаждаемый кристаллизатор; 3 – зона вторичного охлаждения; 4 – механизм вытягивания; 5 – газовый резак

**Непрерывная разливка стали** – самый эффективный способ.

### Достоинства

- 1.Выход годного металла 95-98%.
- 2.Автоматизация процесса и стабильность формирования слитков.
- 3.Быстрая переналаживаемость на новый вид продукции.
- 4.Отсутствие применения обжимных станов (блумингов и слябингов).
- 5.Отсутствие ручного труда.

### Недостатки

- 1.Высокая стоимость установок.

## 20. КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ И СТРОЕНИЕ СТАЛЬНЫХ СЛИТКОВ

Сталь затвердевает в виде кристаллов древовидной формы – дендритов. Размеры и форма кристаллов зависят от условий кристаллизации. На

строение стального слитка большое влияние оказывает степень раскисленности стали.

В зависимости от степени раскисленности выплавляют спокойные, кипящие и полуспокойные стали.

Спокойная сталь (рис. 46, а, г) затвердевает без выделения газов, в верхней части слитка образуется усадочная раковина 1, а в средней - усадочная осевая рыхлость. Для устранения усадочных дефектов слитки спокойной стали отливают с прибылью, в которой сталь долгое время остается жидкой и питает слиток, а усадочная раковина располагается в прибыли.

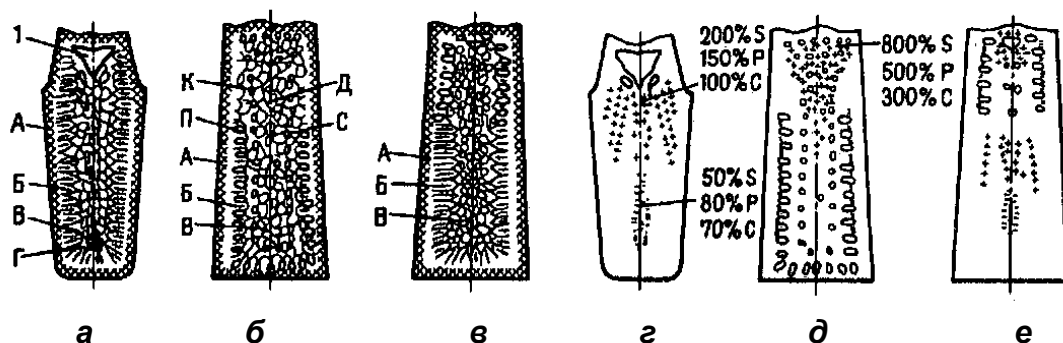


Рис. 46. Схема строения стальных слитков:

а - тонкая наружная корка из мелких равноосных кристаллов; Б - зона крупных столбчатых кристаллов (дендритов); В - зона крупных неориентированных кристаллов; Г - конус осаждения; Д - средняя зона с отдельными пузырями; мелкокристаллическая зона у донной части слитка; К - зона вторичных круглых пузырей; П - зона сотовых пузырей, вытянутых к оси слитка и располагающихся между кристаллитами Б; С - промежуточная плотная зона.

Кипящая сталь (рис. 46, б, д) раскислена в печи не полностью. Кипение металла перемешивает сталь, выравнивает ее температуру в разных местах, что уменьшает образование усадочных эффектов. Ее раскисление продолжается в изложнице при затвердевании слитка благодаря взаимодействию FeO и углерода, содержащихся в металле. Образующийся при реакции  $\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$  оксид углерода выделяется из стали, способствуя удалению из стали азота и водорода. Газы выделяются в виде пузырьков, вызывая ее "кипение".

У С А Д К А - это изменение линейных размеров и объема из-за разности плотности стали в жидком и твердом состоянии.

Стальные слитки неоднородны по химическому составу. Химическая неоднородность, или ликвация, возникает вследствие уменьшения растворимости примесей в железе при его переходе из жидкого состояния в твердое. Ликвация бывает двух видов - и зональная и дендритная. Дендритная ликвация - неоднородность стали в пределах одного кристалла (дендрита) - центральной оси и ветвей. Например, при кристаллизации стали содержание серы на границах дендрита по сравнению с содержанием в центре увеличивается в 2 раза, фосфора - в 1,2 раза, а углерода уменьшается почти наполовину. Это приводит к полосчатой структуре при прокатке, что вызывает анизотропию (неоднородность) механических свойств, то есть, например, пластические свойства в направлении поперечном прокатке ниже, чем в продольном.

Зональная ликвация - неоднородность состава стали в различных частях слитка. В верхней части слитка из-за конвекции жидкого металла содержание серы, фосфора и углерода увеличивается в несколько раз, а в нижней части - уменьшается. Зональная ликвация приводит к отбраковке металла вследствие от-

клонения его свойств от заданных. Поэтому прибыльную и подприбыльную части слитка, а также донную его часть при прокатке обрезают.

#### Свойства кипящей стали

1. Нет усадочной раковины.
2. Развитие зональной ликвации (отходы 5-8%).
3. Нет неметаллических включений продуктов раскисления.
4. Хорошая пластичность при обработке давлением.

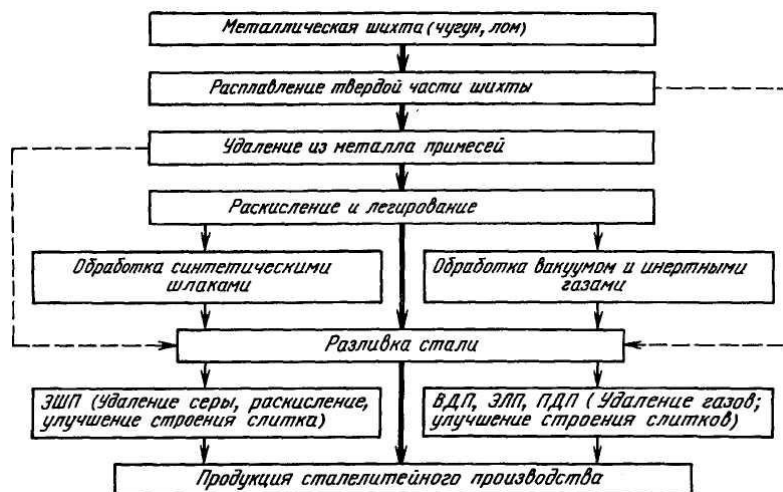
**Полуспокойная сталь** (рис. 46, в, е) имеет промежуточную раскисленность между спокойной и кипящей. Частично она раскисляется в печи и в ковше, а частично в изложнице благодаря взаимодействию оксида железа и углерода, содержащихся в стали. Слиток имеет в нижней части структуру спокойной стали, а в верхней – кипящей. Ликвация меньше, чем у кипящей, выход годного металла 90-95%.

ДЕФЕКТЫ выплавленного металла: раковины, ликвации, плены, осевая рыхлость, заворот корки, поперечные и продольные горячие трещины, подкорковые газовые пузыри, возникающие вследствие чрезмерной смазки рабочих поверхностей изложниц, мелкие трещины, волосовины.

### 21. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СТАЛИ

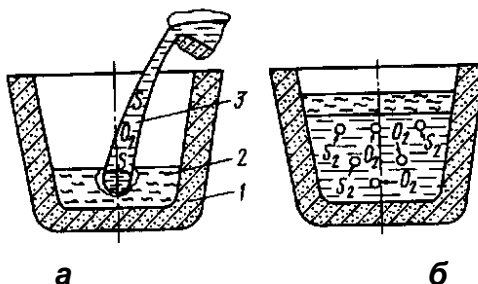
Повышение качества стали - это уменьшение неметаллических включений, газов, вредных примесей.

Период кипения, раскисления и легирования стали называют периодом рафинирования.



**Рис. 47. Схема технологических процессов производства стали**

Основные элементы технологии получения стали и возможные варианты современных технологических производств приведены на рис.47. Основной вариант технологического процесса показан толстыми стрелками, тонкими стрелками показаны варианты технологии производства высококачественных сталей и сталей специального назначения, требующие дополнительной обработки вне плавильного агрегата, или переплава в специальных условиях. Пунктирными линиями показаны редко применяемые варианты получения стали.



**Рис. 48. Схема обработки стали синтетическим шлаком**



Для повышения качества металла используют обработку металлов синтетическим шлаком, вакуумную дегазацию металла, электрошлаковый переплав (ЭШП), вакуумно-дуговой переплав (ВДП), переплав металла в электронно-лучевых и плазменных печах и другие способы.

Обработка металла синтетическим шлаком (рис.48) заключается в следующем. Синтетический шлак, состоящий из 55 %  $\text{CaO}$ , 40 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , небольшого количества  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$  и минимума  $\text{FeO}$ , выплавляют в электропечи и заливают в ковш (рис. 48, а). В этот же ковш затем заливают сталь (рис.48, б). При перемешивании стали и шлака поверхность их взаимодействия резко возрастает, и реакции между ними протекают гораздо быстрее, чем в плавильной печи. Благодаря этому, а также низкому содержанию оксида железа в шлаке сталь, обработанная таким способом, содержит меньше серы, кислорода и неметаллических включений, улучшаются ее пластичность и прочность. Такие стали применяют для изготовления ответственных деталей машин.

### **Схема способов повышения качества стали**

#### **Обработка стали в жидком состоянии перед разливкой**

- при выпуске из печи,
- в ковше,
- на станции комплексной внепечной обработки

Коррекция температуры стали

#### **Вакуумирование**

#### **Обработка синтетическим шлаком**

Продувка аргоном

Продувка порошкообразной известью, плавиковым шпатом и др. для удаления серы

#### **Дозированный ввод раскисления и легирования стали**

Коррекция содержаний Mn, Si, C

дозированным вводом ферросплавов и графита

Микролегирование кальцесодержащей проволокой с наполнителем

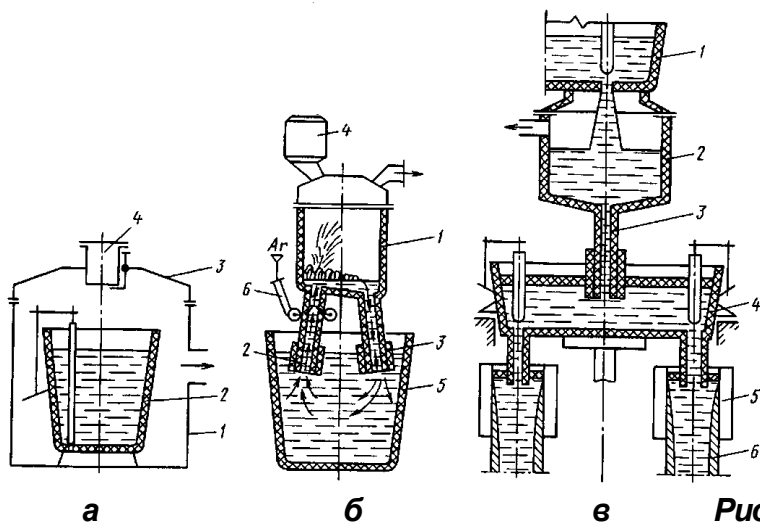
#### **Повторная переплавка стали**

Изготовление расходных элементов

- литьем
- прокаткой
- ковкой

Переплав расходных электродов в слитки:

- на установках электрошлакового переплава (ЭШП)
- на установках вакуумно-дугового переплава (ВДП)
- в плазменно-дуговой печи (ПДП)
- в электронно-лучевой печи (ЭЛП)



**Рис. 49. Ковшовое (а): 1 – камера**

**вакуумирования, 2 – ковш, 3 – крышка, 4 – бункер для ферросплавов;**

**циркуляционное (б): 1 – вакуумная камера, 2 – всасывающая труба, 3 – сливная**

**труба, 4 - бункер для ферросплавов, 5 – ковш, 6 – кольцевой коллектор; поточное**

**(в) вакуумирование стали при непрерывной разливке стали: 1 – ковш, 2 – вакуумная**

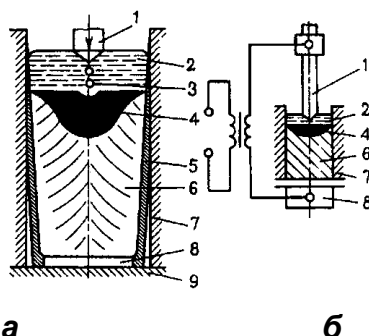
**камера, 3 – патрубок, 4 – промежуточный ковш, 5 – кристаллизатор, 6 –**

**вытягиваемый слиток**

Вакуумирование стали проводят для понижения концентрации кислорода, водорода, азота и неметаллических включений. Для вакуумирования используются различные способы, например вакуумирование в ковше,

циркуляционное и поточное вакуумирование, струйное и порционное вакуумирование и др. (рис. 49).

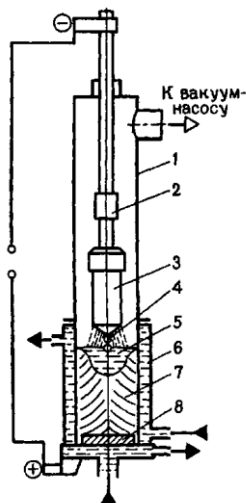
При вакуумной обработке стали происходит раскисление углеродом, так как при снижении давления в камере концентрации углерода и кислорода становятся избыточными и появляется термодинамическая возможность протекания реакции окисления углерода. Вакуумирование стали сопровождается кипением металла.



**Рис. 50. Схемы электрошлакового переплава расходуемым электродом:**  
**а - кристаллизатор; б- схема включения установки**

**Электрошлаковый переплав (ЭШП)** применяют для выплавки высококачественных сталей для шарикоподшипников, жаропрочных сталей для дисков и лопаток турбин, валов компрессоров, авиационных конструкций. Переплаву подвергают выплавленный в дуговой печи и прокатанный на круглые прутки металл. Источником теплоты при ЭШП является шлаковая ванна, нагреваемая при прохождении через нее электрического тока. Электрический ток подводится к переплавляемому электроду 1, погруженному в шлаковую ванну 2, и к поддону 9, установленному в водоохлаждаемом металлическом кристаллизаторе 7, в котором находится затравка 8 (рис.50). Выделяющаяся теплота нагревает шлаковую ванну 2 до температуры свыше 1700°C и вызывает оплавление конца электрода. Капли жидкого металла 3 проходят через шлак, образуют под шлаковым слоем металлическую ванну 4.

Перенос капель металла через основной шлак способствует их активному взаимодействию, удалению из металла серы, неметаллических включений и растворенных газов. Металлическая ванна непрерывно пополняется путем расплавления электрода, под воздействием кристаллизатора постепенно формируется в слиток 6. Последовательная и направленная кристаллизация способствует получению плотного однородного слитка.



**Рис. 52. Схема вакуумно-дугового переплава**

В результате ЭШП содержание кислорода в металле снижается в 1,5 ... 2 раза, концентрация серы снижается в 2 ... 3 раза, уменьшается содержание неметаллических включений, они становятся мельче и равномерно распределяются в объеме слитка. Слиток отличается плотностью, однородностью, хорошим качеством поверхности благодаря наличию шлаковой корочки 5, высокими механическими и эксплуатационными свойствами стали и сплавов. Слитки выплавляют круглого, квадратного, прямоугольного сечений массой до 110 т

