



Материаловедение и обработка материалов

Лекция 1

Кристаллическое строение металлов. Металлургия чугуна и стали

Lec_1_1MA_MiOM_LNA_02_02_2016

Доцент Лалазарова Н.А.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛОВ

Основными конструкционными материалами являются металлы и их сплавы. Металлы делятся на *чёрные* и *цветные*.

МЕТАЛЛЫ

```
graph TD; A[МЕТАЛЛЫ] --> B[ЧЁРНЫЕ: Fe и его сплавы]; A --> C[ЦВЕТНЫЕ: Be, Ti, Al, Mg, Cu, Pb, Sn, Sb, Au, Ag, Pt и др.]
```

ЧЁРНЫЕ: Fe и его сплавы

ЦВЕТНЫЕ: Be, Ti, Al, Mg, Cu, Pb, Sn, Sb, Au, Ag, Pt и др.

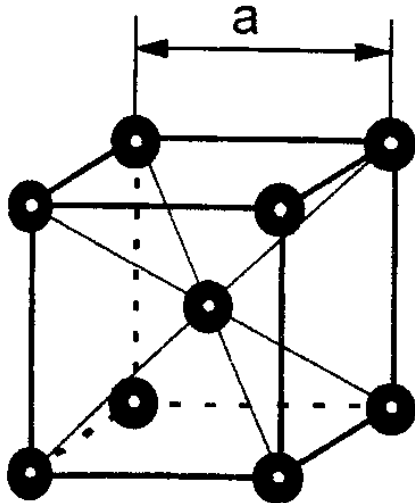
Металлами называются твердые кристаллические тела, имеющие характерный металлический блеск и обладающие высокими показателями теплопроводности, электропроводности, пластичности.

КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ

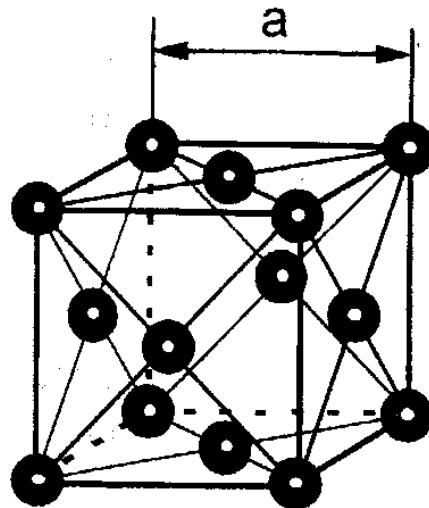
В твердом состоянии металлы имеют кристаллическое строение, для которого характерно упорядоченное расположение атомов (ионов) в пространстве с образованием кристаллических решеток. Наиболее часто встречаются кристаллические решётки:

ОЦК (А) (объемно-центрированная кубическая): Fe α , Li, Ba, Cr, Mo, V, Nb, Ta

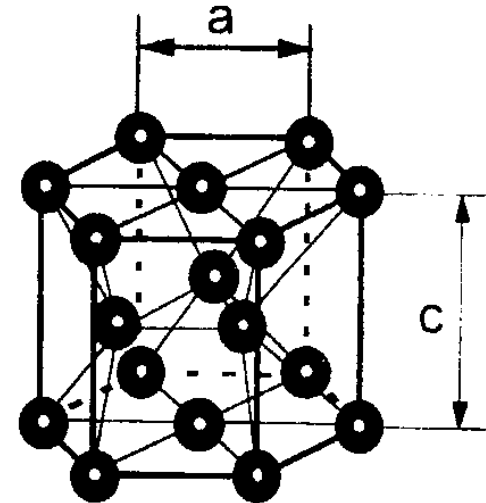
ГЦК (В) (гранецентрированная кубическая): Al, Ni, Cu, Fe γ , Pb, Ag, Au, Pt



А.



В.

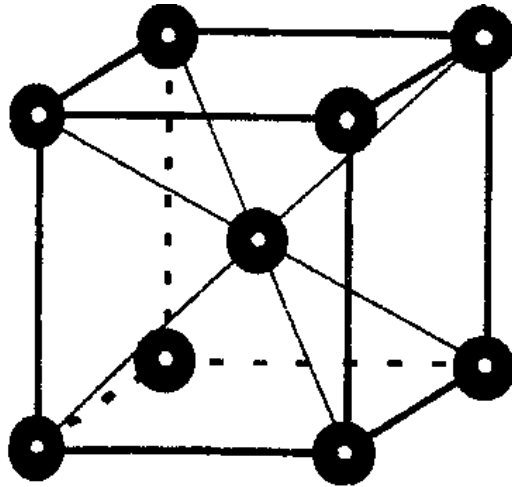


С.

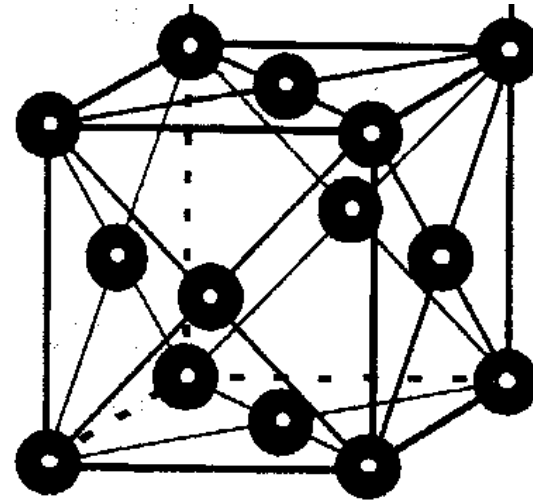
ГПУ (С) гексагональная плотноупакованная: Ti, Zn, Mn, Mg, Cd, Be, Re. **a** – параметр решётки.

АЛЛОТРОПИЯ ИЛИ ПОЛИМОРФИЗМ

Некоторые металлы изменяют свою решетку в зависимости от температуры. Это явление называется *поллиморфизмом* или *аллотропией*.



$\alpha\text{-Fe} < 911^\circ\text{C}$

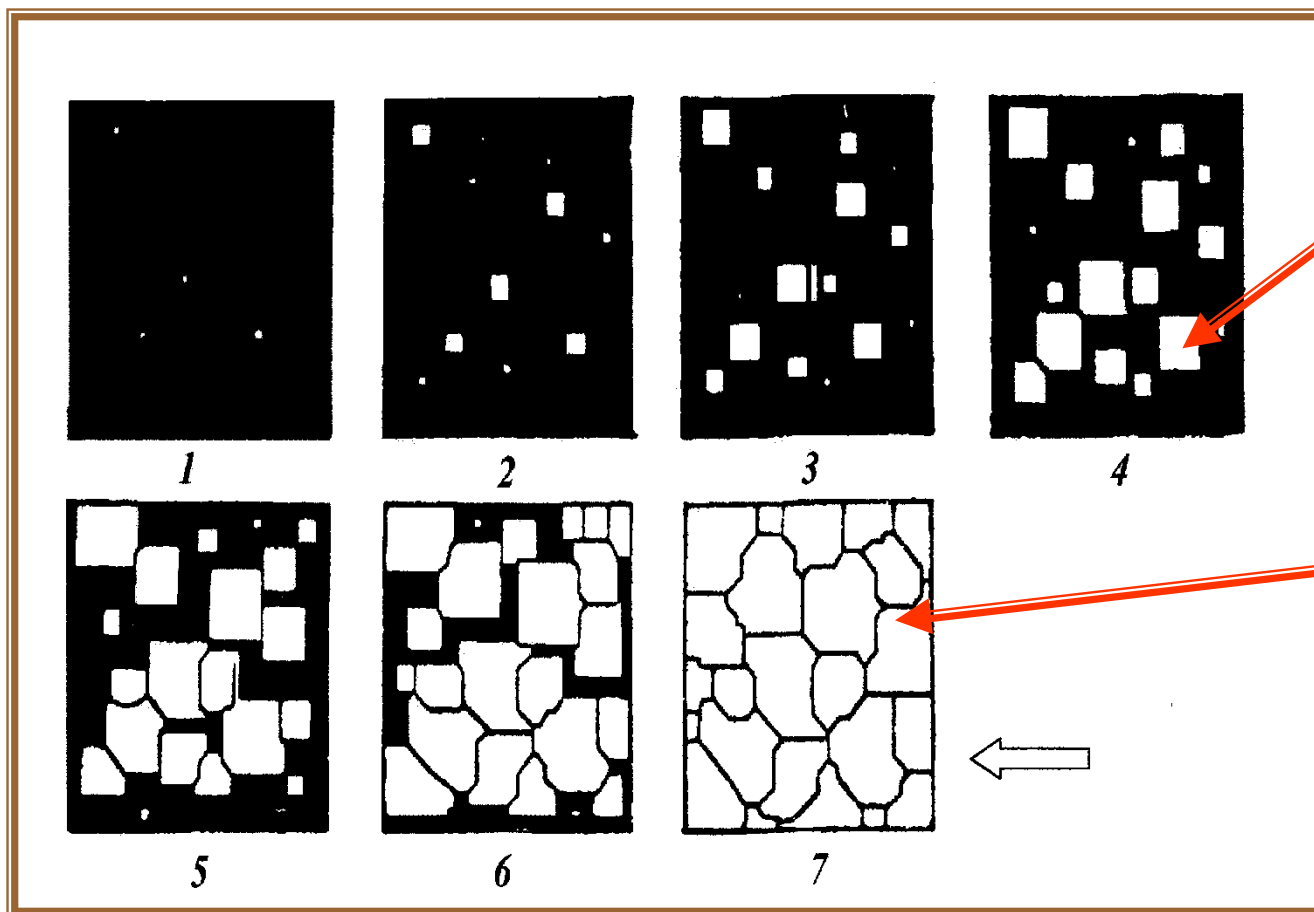


$\gamma\text{-Fe} > 911^\circ\text{C}$

Железо при температуре ниже 911°C имеет решётку оцк и называется $\alpha\text{-Fe}$ (Fe_α), а при температуре выше 911°C – решётку гцк и называется $\gamma\text{-Fe}$ (Fe_γ).

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Сплавы получают сплавлением или спеканием двух или более компонентов.



Кристаллы имеют правильную форму и правильное внутреннее строение.

Зёрна имеют неправильную форму и правильное внутреннее строение

Схема процесса кристаллизации металлов и сплавов

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Размер зерен существенно влияет на свойства металлов и сплавов на их основе.

Чем мельче размер зерна, тем выше уровень свойств.

Существуют следующие **способы измельчения зерна:**

- увеличение скорости кристаллизации;
- модифицирование – введение дополнительных центров кристаллизации.

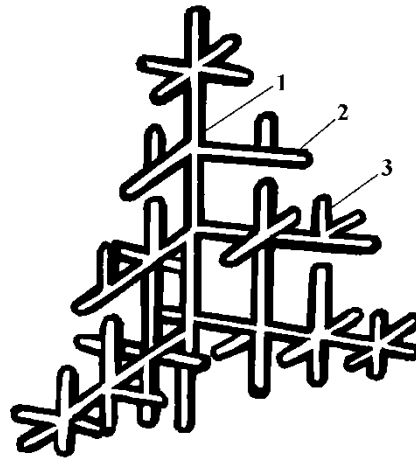


Схема дендрита: 1 – ось первого порядка; 2 – ось второго порядка; 3 – ось третьего порядка

В качестве дополнительных центров кристаллизации применяют металлические порошки Ti, Mo, V и др.

В большинстве случаев в направлении большего отвода тепла рост кристаллов происходит быстрее, чем в других направлениях. Это приводит к образованию кристаллов древовидной формы, которые называются **дендритами**.

МЕТАЛЛУРГИЯ

Наука, которая изучает процессы получения металлов из руд и различных отходов, называется **металлургией**.

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЁРНЫХ МЕТАЛЛОВ



%	C, %	Mn, %	Si, %	P и S
Чугун	> 2,14	1,0	1 - 4	≤ 0,1
Сталь	≤ 2,14	0,5-0,8	0,3-0,4	≤0,06

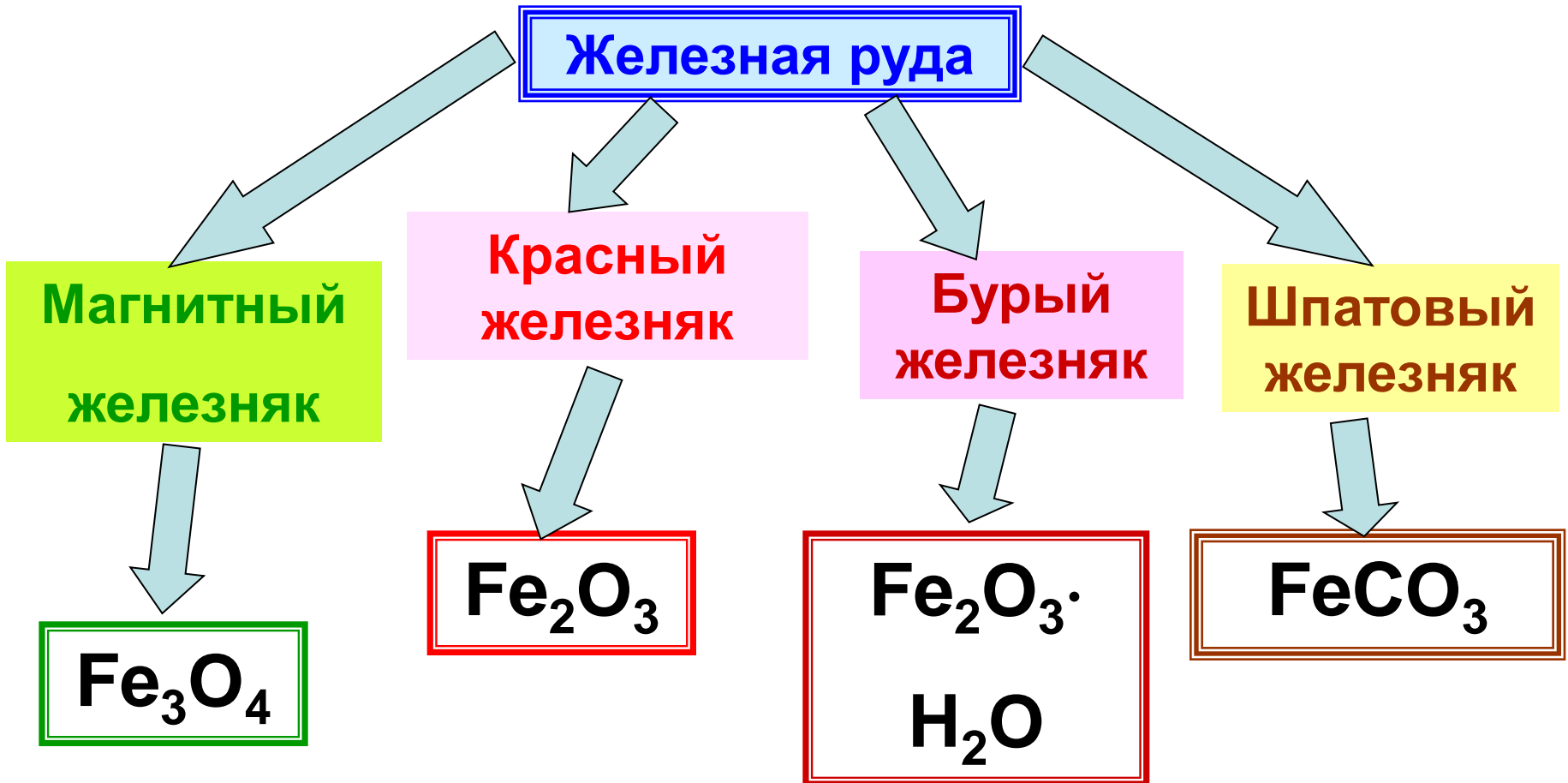
Сталь отличается от чугуна меньшим содержанием полезных (Mn и Si) и вредных (S и P) примесей, газов. Стали, которые содержат железо и углерод, называют углеродистыми. Стали, которые содержат другие элементы (легирующие), называются легированными.

Технологическая цепочка производства чёрных металлов



МЕТАЛЛУРГИЯ ЧУГУНА

Исходные материалы: руда, огнеупорные материалы, флюсы, топливо.



ЖЕЛЕЗНЫЕ РУДЫ

Современное доменное производство предъявляет к железорудным материалам очень высокие требования.

Требования к железорудным материалам

**высокое
содержание
железа**

**низкая
концентрация
вредных
примесей**

**высокая
прочность**, чтобы
при
транспортировке
и в ходе плавки
куски не
разрушались с
образованием
мелких фракций

**ПОСТОЯН-
НЫЙ
химичес-
кий состав
больших
масс
материа-
лов**

ЖЕЛЕЗНЫЕ РУДЫ

Железорудные материалы в естественном состоянии этим требованиям не удовлетворяют. Большинство руд имеют невысокую концентрацию железа или содержат большое количество пустой породы.

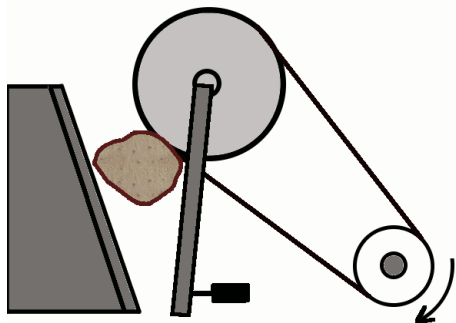
При добыче руд образуются очень крупные куски (до 1500 мм), присутствие которых в шихте снижает скорость восстановления и теплопередачи, а также много мелочи (до 10 мм),



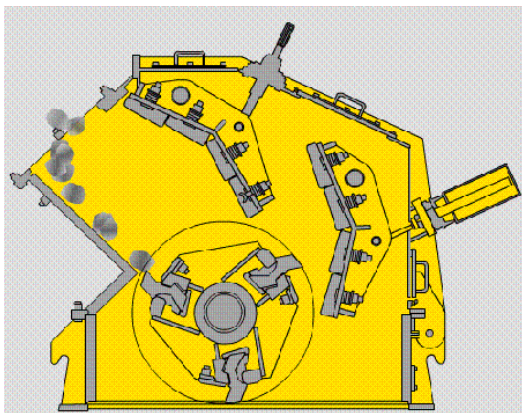
ухудшающей газопроницаемость шихты и вызывающей снижение хода процесса восстановления и, следовательно, производительности доменной печи.

Большинство месторождений железных руд имеют неодинаковый химический состав, даже в пределах одного забоя. Все это требует специальной подготовки руд перед загрузкой их в доменную печь.

ПОДГОТОВКА РУДЫ К ПЛАВКЕ

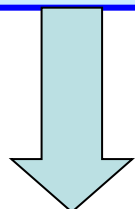


Щековая дробилка

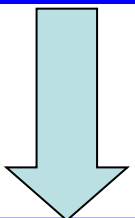


Молотковая дробилка

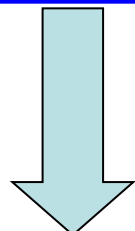
Дробление



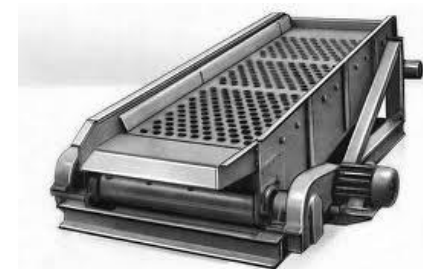
Сортировка на ситах



Обогащение



Агломерация



Грохот

Обогащение руд проводят для повышения содержания полезного компонента и снижения содержания вредных примесей путем отделения рудного минерала от пустой породы.



Офлюсованный агломерат

Агломерация – это процесс окускования мелких материалов (руд, концентратов, колошниковой пыли) спеканием в результате сжигания топлива в слое спекаемого материала.

ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

КИСЛЫЕ



**Динасовый
кирпич**

1650-1700°C

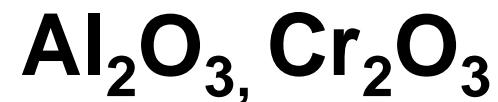
ОСНОВНЫЕ



**Магнезит,
доломит**

1800-1900°C

**НЕЙТРАЛЬ-
НЫЕ**



Шамот

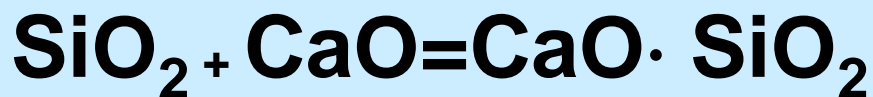
до 2000°

Эти материалы в металлургии используют при постройке плавильных и нагревательных печей, для футеровки ковшей, желобов и других приспособлений, необходимых при разливке металла, а также для всех устройств, подверженных действию высокой температуры.

ФЛЮС

Флюсы вводят в доменную печь для перевода пустой породы рудной части шихты и золы кокса в шлак, обладающий определенными физическими свойствами.

CaCO_3 – известняк.



$t_{\text{пл}} = 1700^\circ\text{C}$ 1800°C 1000°C

КОКС

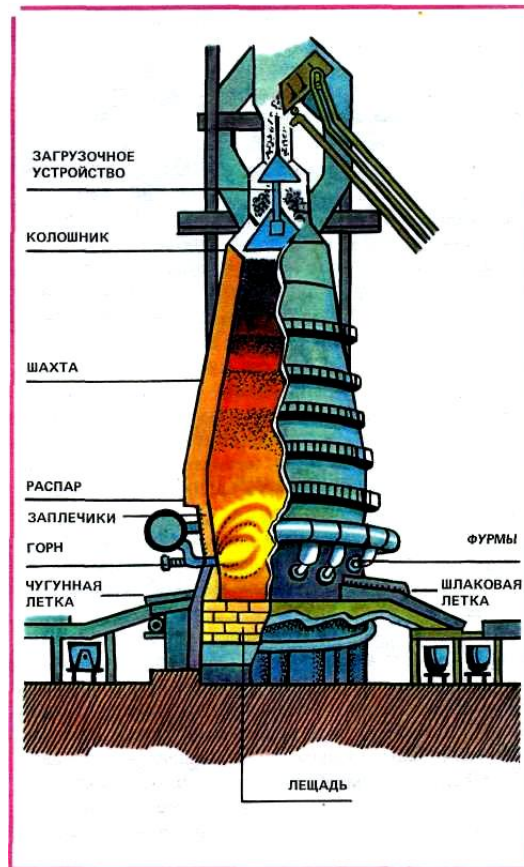
Восстановитель
Fe

Топливо
 $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + Q$
 $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO} - Q$

ДОМЕННАЯ ПЕЧЬ

Чугун получают в доменной печи из шихты. **Шихта** состоит из смеси руды, кокса и флюса, взятых в определённом соотношении.

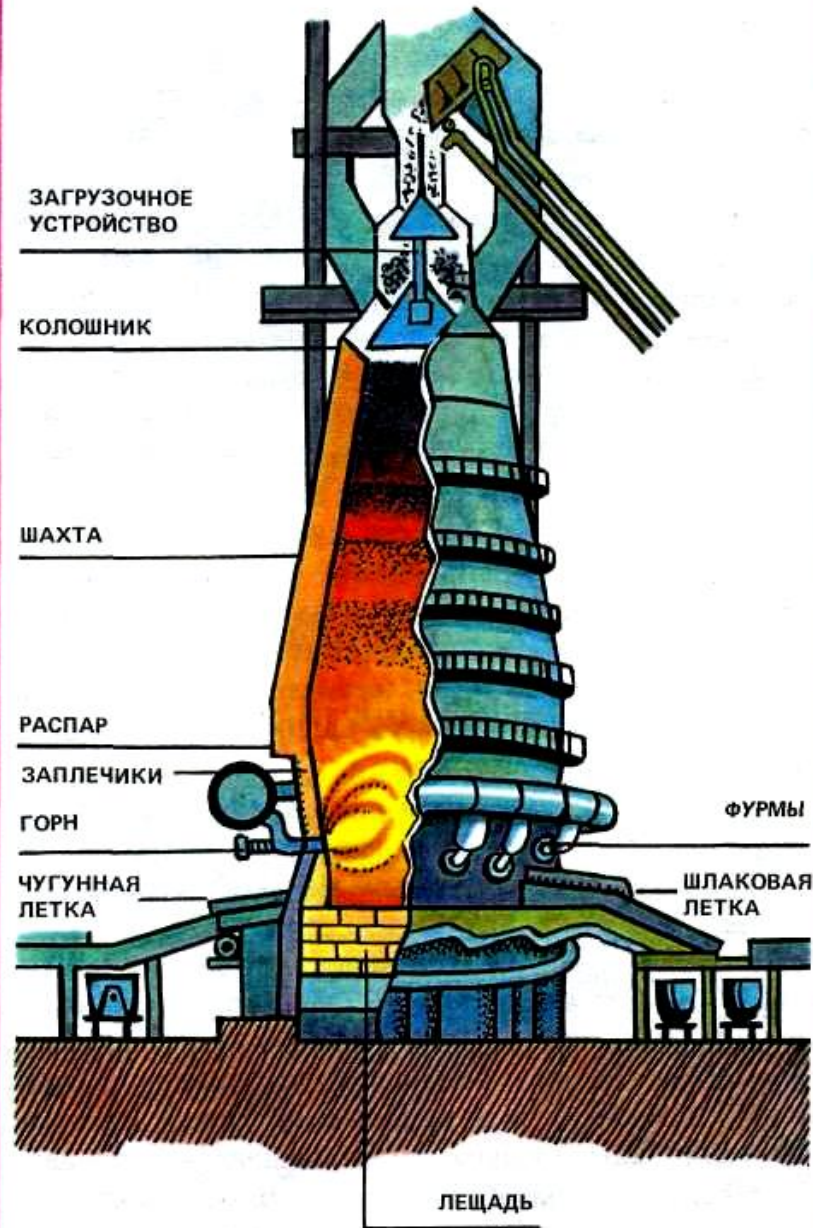
Домна работает по принципу противотока: шихтовые материалы поступают сверху, а навстречу опускающимся материалам движется поток горячих газов, образующихся при сгорании кокса, и горячий воздух.



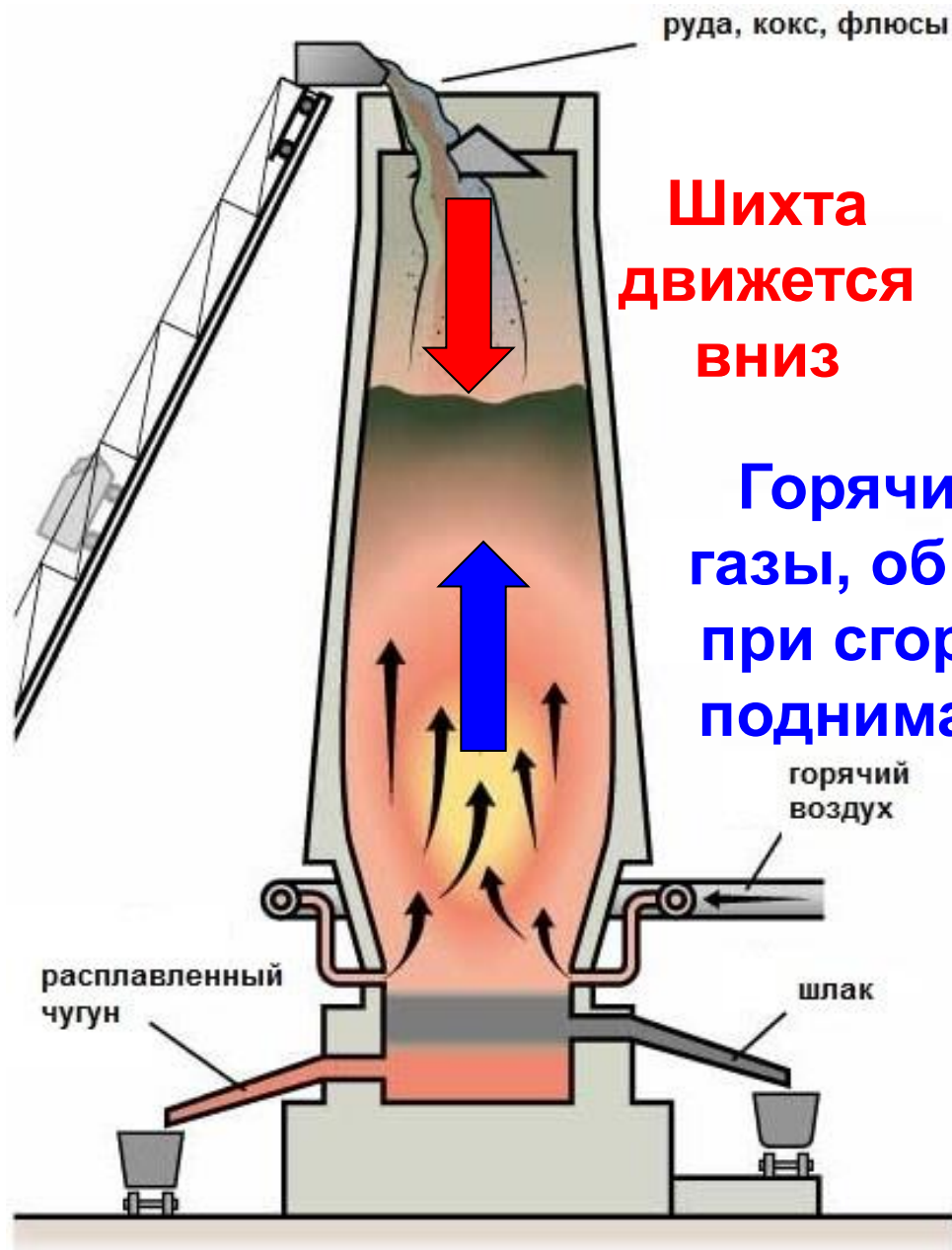
В печи происходит **восстановление железа** ($t_{пл}=1539\text{ }^{\circ}\text{C}$) и образование **губчатого железа**, которое насыщается углеродом. В результате образуется **чугун** ($t_{пл}=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$). Жидкий чугун стекает на лещадь. Примеси также восстанавливаются и частично растворяются в чугуне.

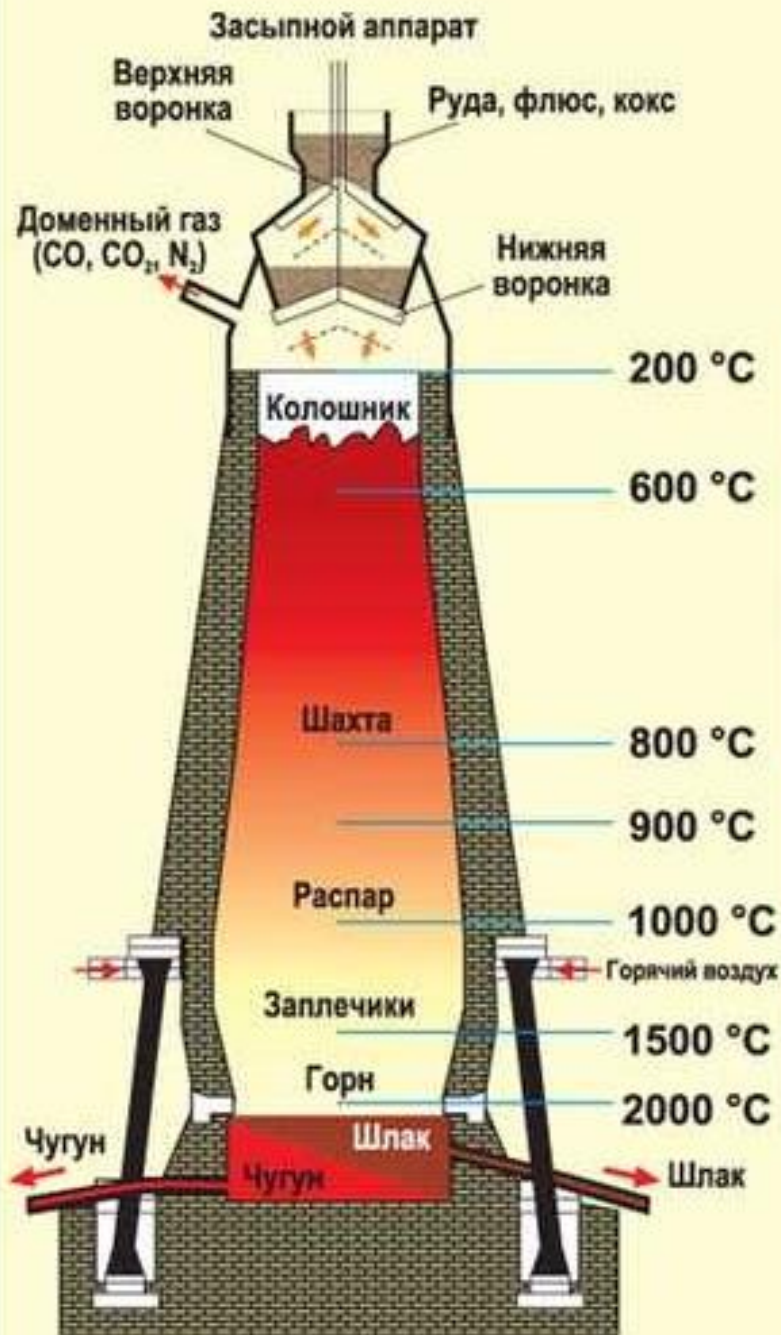
Примеси делятся на полезные (Mn и Si) и вредные (S и P). Примеси частично удаляются, а частично растворяются в чугуне. Флюс - известняк - образует легкоплавкие соединения с пустой породой, золой топлива и различными неметаллическими включениями, которые удаляются в виде шлака.

**Схема
доменной
печи**



Доменный процесс
относится к
типу
ПРОТИВОТОЧ-
НЫХ.





НАГРЕВАНИЕ ШИХТЫ.
НАЧАЛО ВОССТАНОВЛЕНИЯ
 $Fe_2O_3 \xrightarrow{CO} Fe_3O_4 \xrightarrow{CO} FeO$

200 °C
600 °C
800 °C
900 °C

$3Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2$
 $CO_2 + C \rightarrow 2CO$
 $Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3FeO + CO_2$
 $FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2$
 $FeO + C \rightarrow Fe + CO$

ШЛАКООБРАЗОВАНИЕ
 $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$
 $CaO + SiO_2 \rightarrow CaSiO_3$

1000 °C
1500 °C

$CO_2 + C \rightarrow 2CO$

2000 °C

$3Fe + 2CO \rightarrow Fe_3C + CO_2$
 $\uparrow C + O_2 \rightarrow CO_2$

Мариупольский металлургический комбинат



Название доменной печи происходит от названия ее предшественницы, небольшой печи, называемой "дъмница", "**домница**", название которой в свою очередь происходит от древнего восточнославянского слова "**дуете**", т.е. "**дут**", "дуть". Таким образом, название "доменная печь" означает "дутьевая печь", то есть такая печь, в которую подается дутье - воздух. Та же основа выступает в слове "дым".



**Криворожский
металлургический
комбинат**





Самая современная доменная печь в Енакиево

ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Горение кокса

**Восстановление Fe и
примесей**

**Образование губчатого
Fe**

**Насыщение Fe углеродом,
примесями и образование
Fe₃C**

Плавление чугуна



Доменная печь.



Разливка чугуна в изложницы.

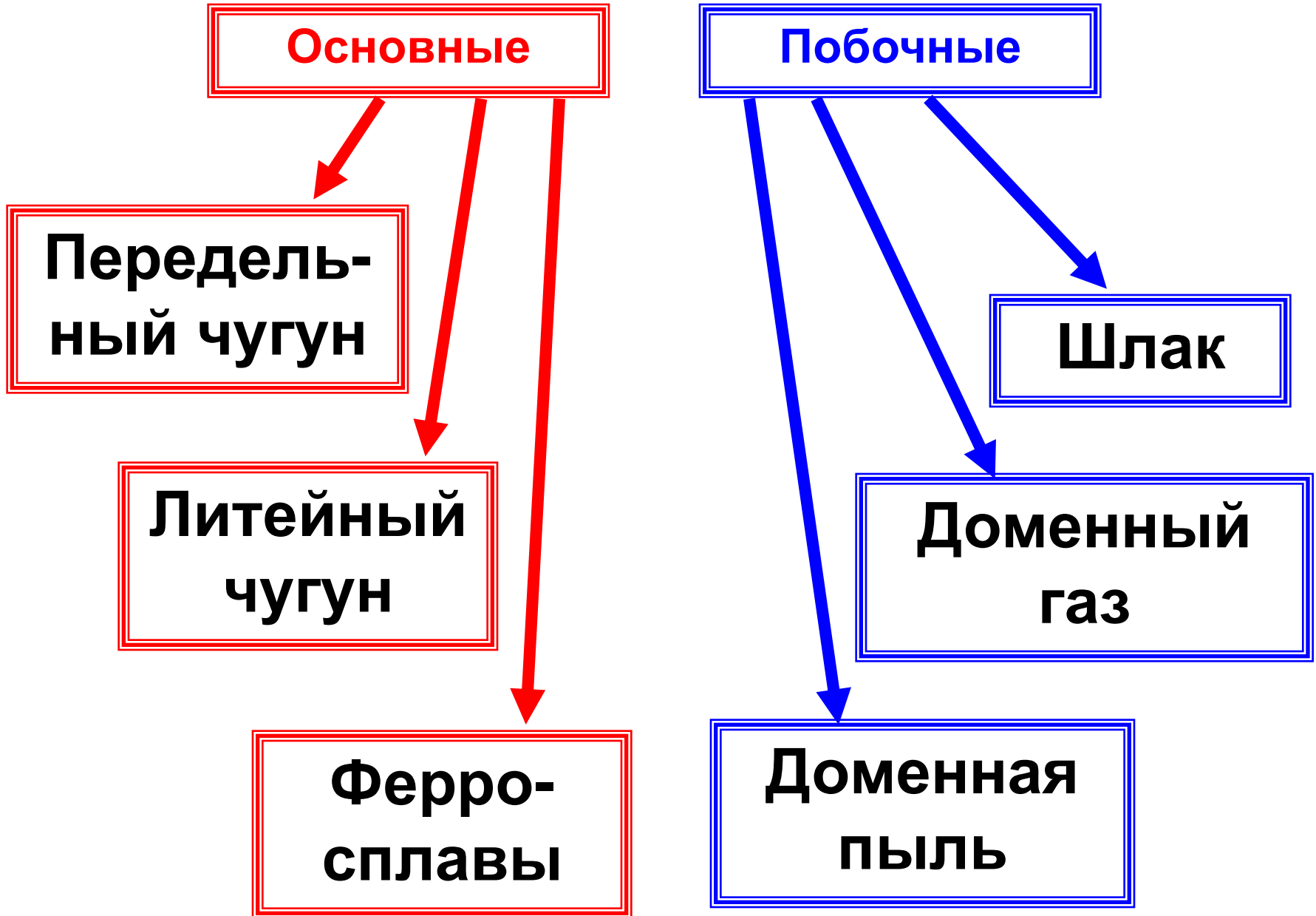


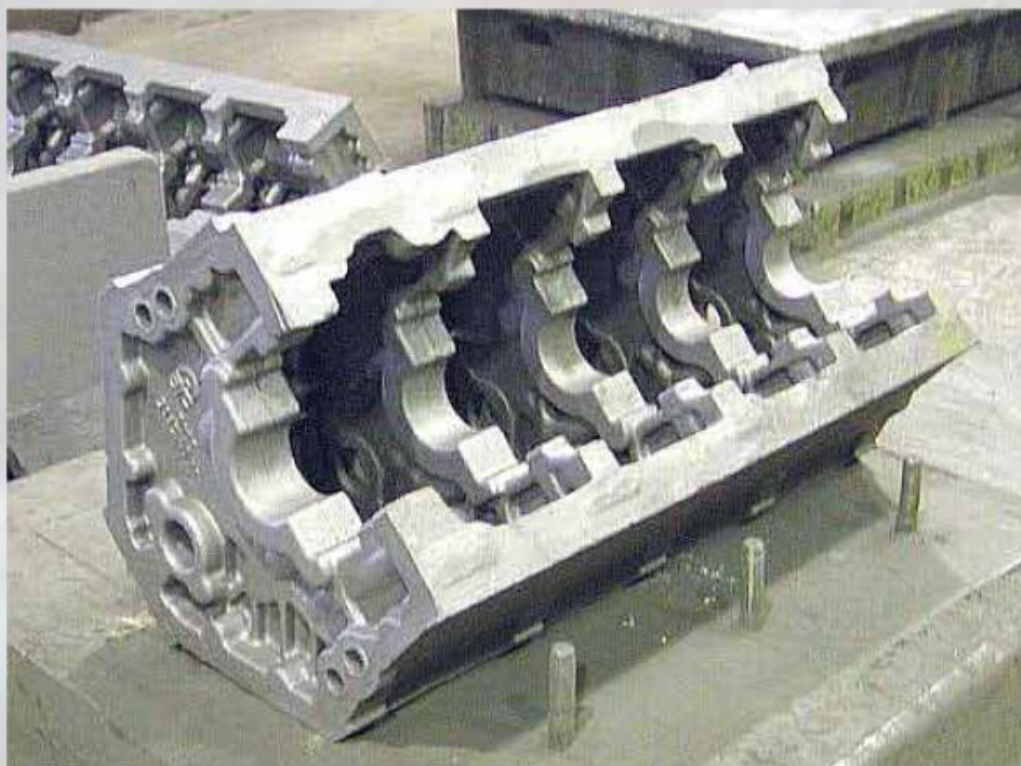
Горновые около доменной печи.



**Чушковый чугун
(слитки массой 15-20кг).**

ПРОДУКТЫ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА





Блок цилиндров из чугуна.



Колесо натяжное ТТ-4М.



Отливки для предприятий лифтостроительной отрасли.



Первый железный мост, построенный в 1779 году.
Его металлоконструкции выполнены из чугуна.



Трубопроводная
арматура и фитинги



Клапаны запорные
фланцевые



Клапан трехходовой фланцевый с
электроисполнительным прямоходным
механизмом



Утятница.



Сковорода.



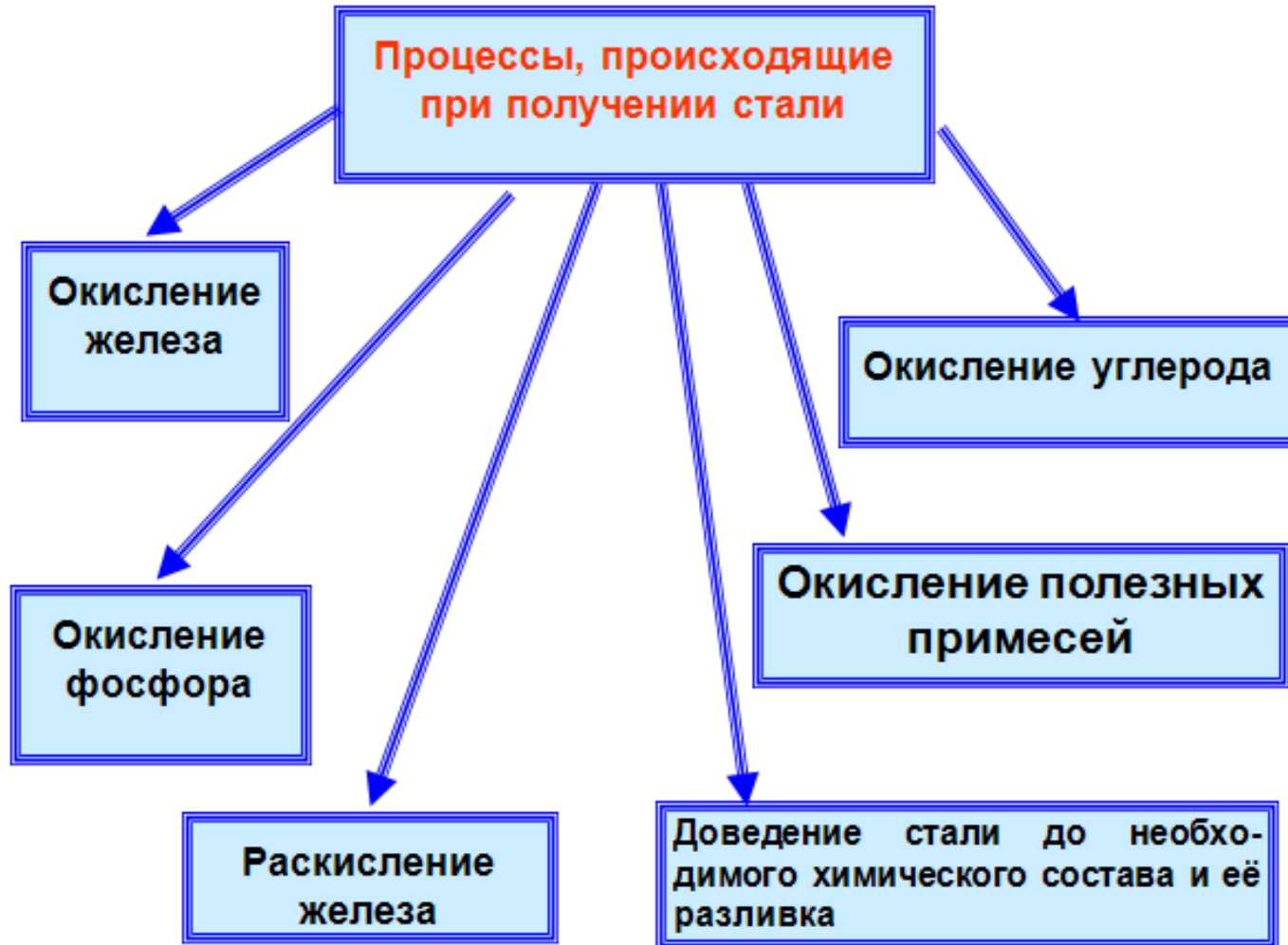
Сковорода для гриля.



Лоток для духового шкафа.

МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ

Суть процесса переработки чугуна в сталь заключается в уменьшении количества углерода и примесей путём окисления и перевода окислов в шлак или газы. Процесс получения стали является **ОКИСЛИТЕЛЬНЫМ**.



Способы получения стали



```
graph TD; A[Способы получения стали] --> B[Кислородно-конвертерный]; A --> C[Мартеновский]; A --> D[Электрометаллургия]; D --> E[Индукционные печи]; D --> F[Дуговые печи];
```

Кислородно-
конвертерный

Мартеновский

Электрометаллургия

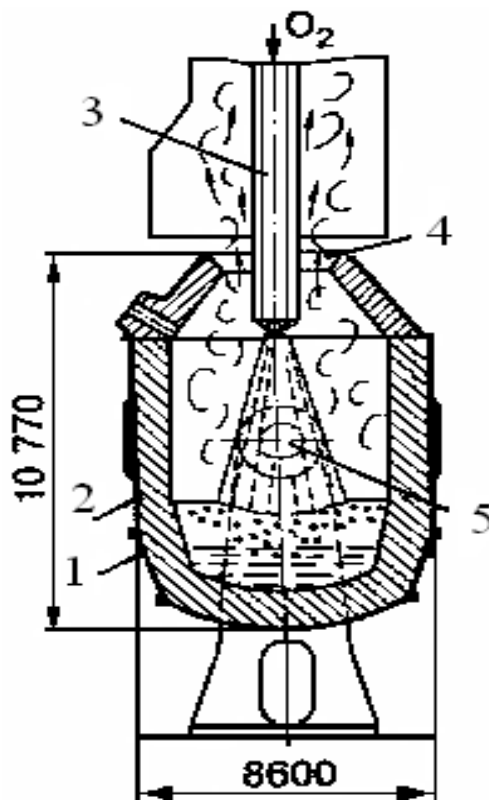
Индукционные
печи

Дуговые печи

КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНЫЙ ПРОЦЕСС

К основным способам получения стали относятся кислородно-конвертерный, мартеновский, электрометаллургический.

Перед плавкой через горловину **конвертера** заливают жидкий чугун, добавляют скрап (металлолом) и основной флюс, вводят водоохлаждаемую фурму и через нее подают кислород под давлением.



Кислородный конвертер: 1 – сосуд грушевидной формы; 2 – огнеупорный кирпич; 3 – фурма; 4 – горловина

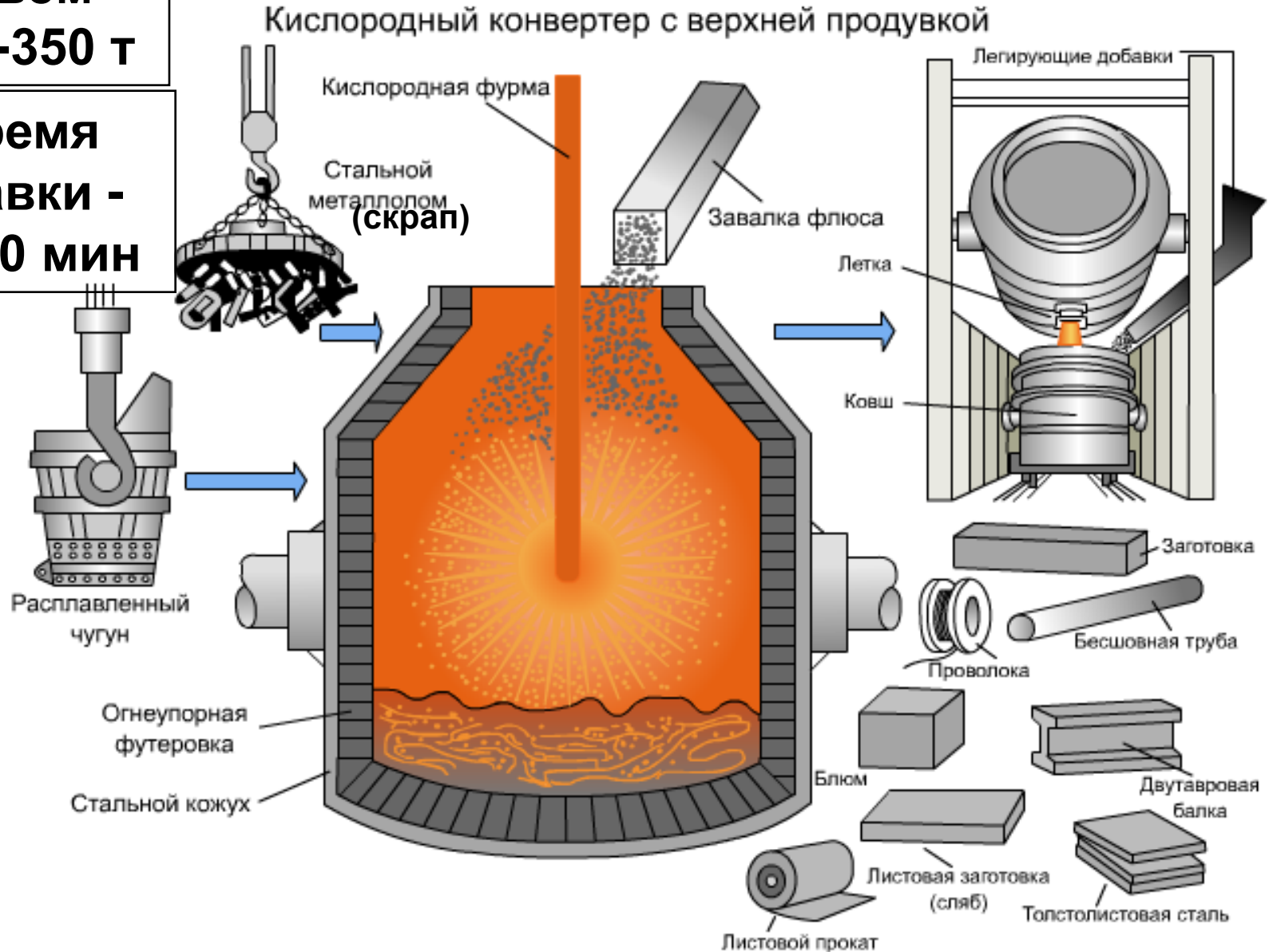
Реакции окисления идут с **выделением тепла**. Плавка в современных конвертерах заканчивается через 25–50 минут и происходит **без дополнительного подвода тепла**.

Достоинства: высокая производительность, незначительные капитальные затраты, экономичность, отсутствие топлива.
Недостатки: невозможность получения высоколегированных сталей (недостаточно высокая температура), ограниченность в применении скрапа.

Кислородный конвертер

Объём -
100-350 т

Время
плавки -
50-60 мин



Процесс получения стали идёт с выделением тепла.

МАРТЕНОВСКИЙ ПРОЦЕСС

Мартеновский процесс – это получение стали из чугуна в пламенных регенеративных печах. Нагрев и расплавление металла осуществляются за счет тепла, выделяемого при сгорании топлива.

К **достоинствам** мартеновского способа следует отнести возможность получения стали заданного химического состава,



Заливка чугуна в мартеновскую печь

В том числе высоколегированных сталей (которые не содержат тугоплавких элементов), а также возможность проводить плавку как на твердой, так и на жидкой шихте.

Ёмкость печей 20-900 т

Время плавки: 6-10 ч

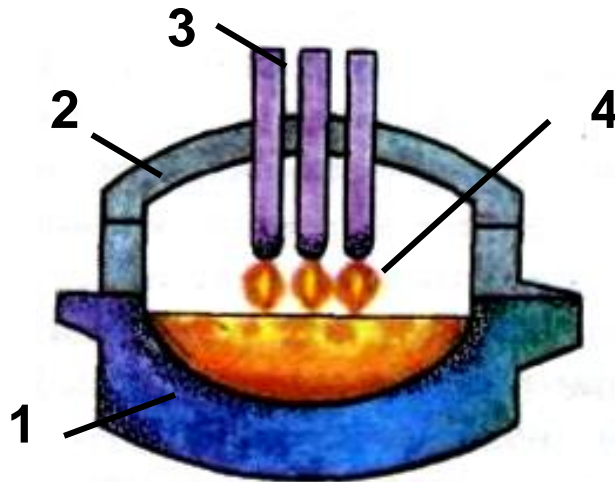
Недостатки: низкая производительность процесса (плавка длится 6–10 часов), высокая стоимость оборудования, большие капитальные затраты, невозможность получения легированной стали, содержащей тугоплавкие элементы.

ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ

Используются два типа печей: дуговые и индукционные.

Электропечи используют для выплавки высоколегированных конструкционных и инструментальных сталей и сплавов.

В дуговых печах нагревание и расплавление шихты осуществляется за счет тепла, излучаемого электрической дугой, которая образуется между вертикально подвешенными электродами и металлической шихтой.



1 – стальной цилиндр; 2 – свод; 3 – электроды; 4 - дуга

Достоинства метода:
достигается высокий уровень температур (2000-3000°C);
можно получать стали методом переплава.

Недостатки метода:
в результате возникновения электрической дуги появляются ионы азота, водорода, которые растворяются в металле и снижают его пластичность.



Дуговая плавильная печь

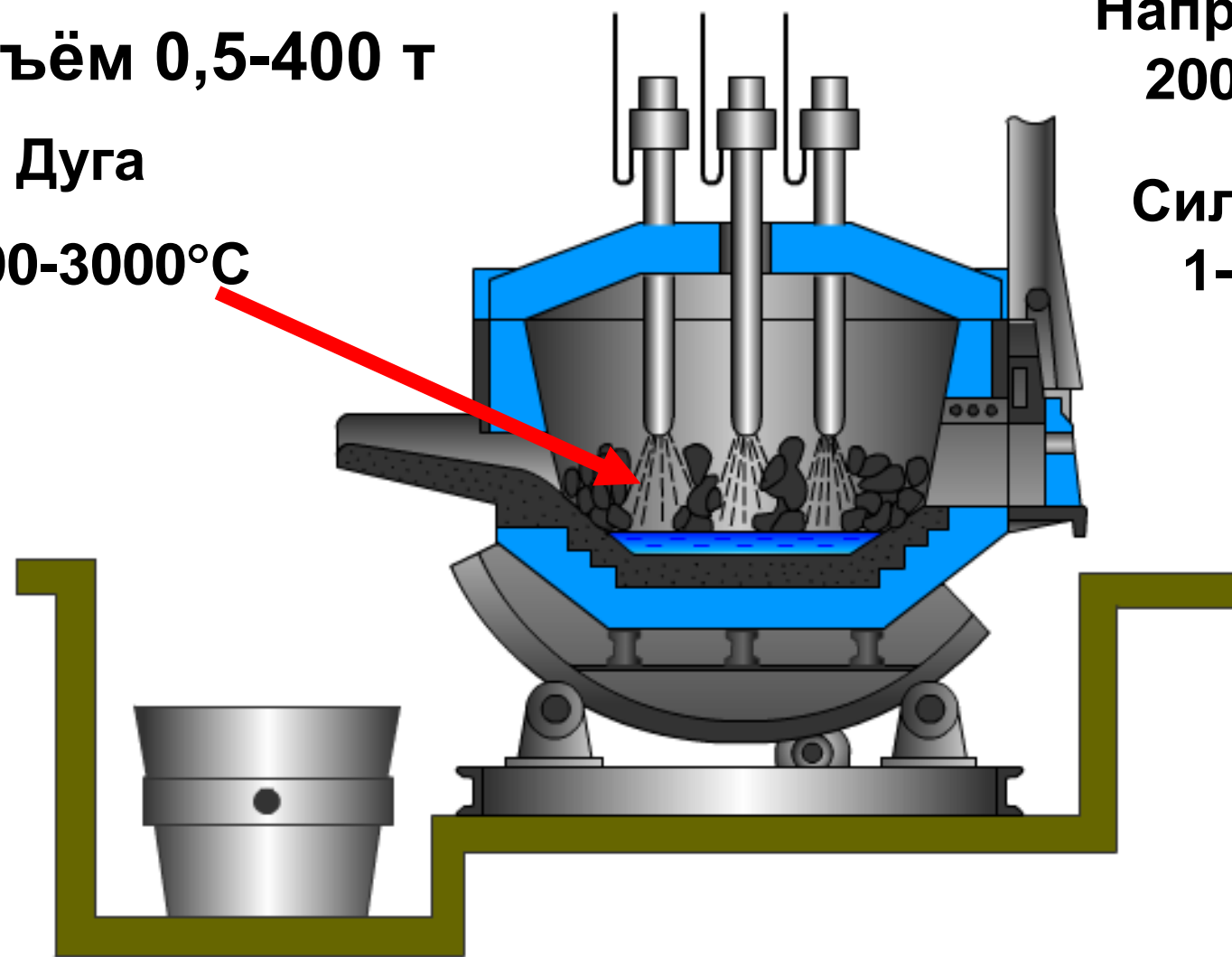
Объём 0,5-400 т

Дуга

2000-3000°C

Напряжение:
200-600 В

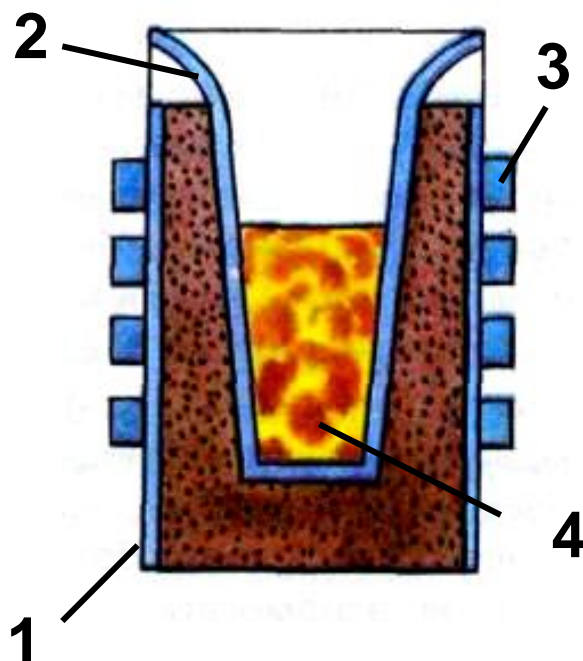
Сила тока:
1-10 кА



ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ

Индукционная тигельная печь состоит из охлаждаемого водой индуктора, внутри которого находится тигель с металлической шихтой.

При прохождении переменного электрического тока по индуктору печи образуется переменное магнитное поле. Магнитный поток наводит во вторичной цепи (металлической шихте) вихревые токи Фуко, под действием которых металл нагревается и расплавляется.



Индукционные печи имеют преимущества перед дуговыми, поскольку в них отсутствует электрическая дуга. Это позволяет выплавлять сталь с низким содержанием углерода и газов.

Схема строения электроиндукционной печи: 1 – корпус; 2 – тигель; 3 – индуктор; 4 – металлическая шихта

ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ

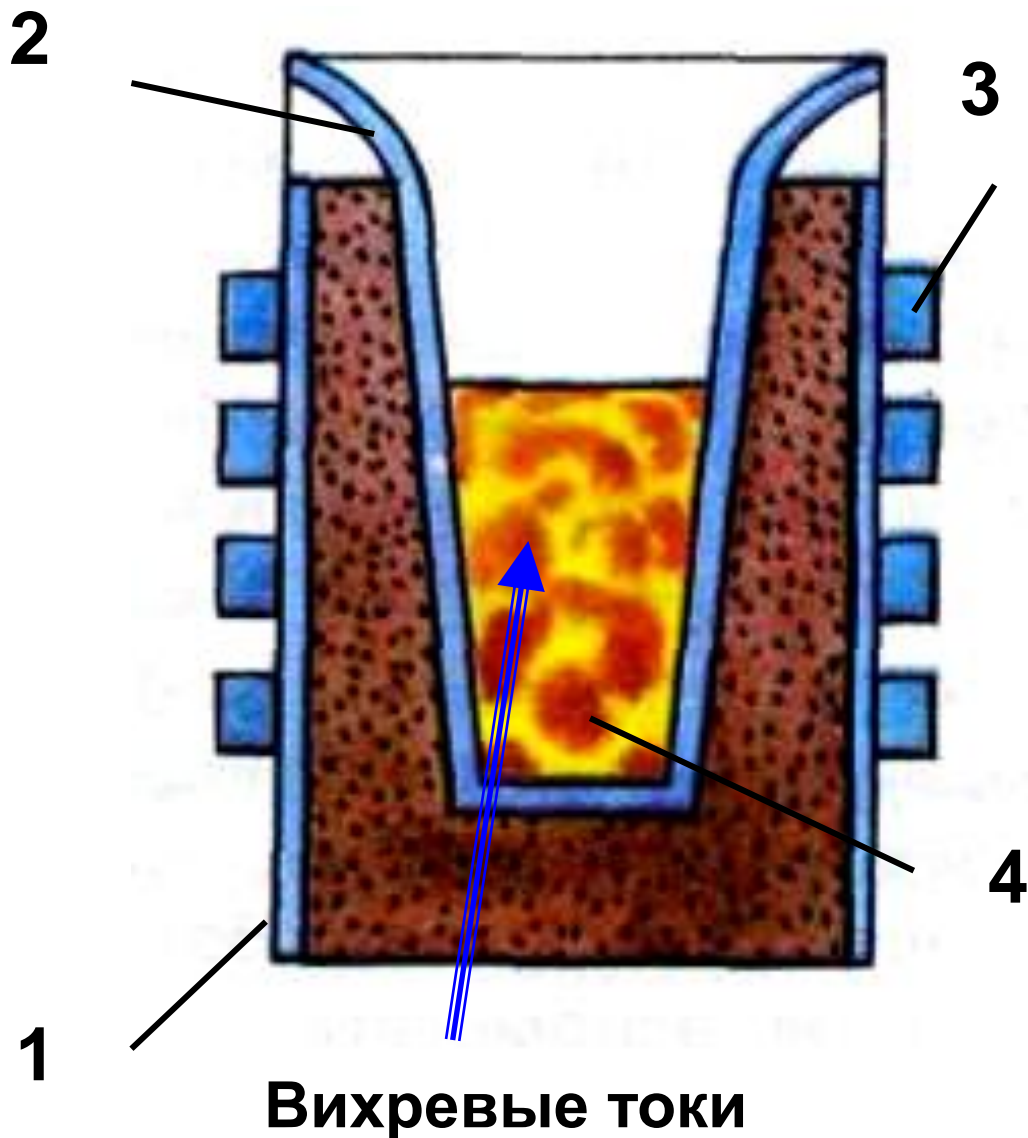


Схема устройства
индукционной печи:

1 – корпус;

2 – тигель;

3 – индуктор;

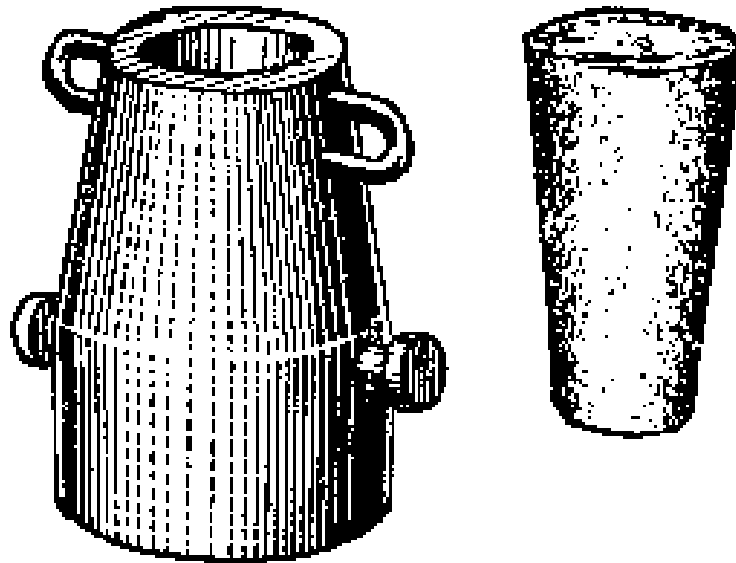
4 – металлическая
шихта

$V \leq 5-30$ т

РАЗЛИВКА СТАЛИ

Из плавильной печи сталь выливают в сталеразливочный ковш (50 - 45)т и мостовым краном переносят к месту разлива.

Сталь разливают в **изложницы** или в **кристаллизаторы** установок для непрерывной разливки стали.



А.

В.

А – изложница; в - слиток

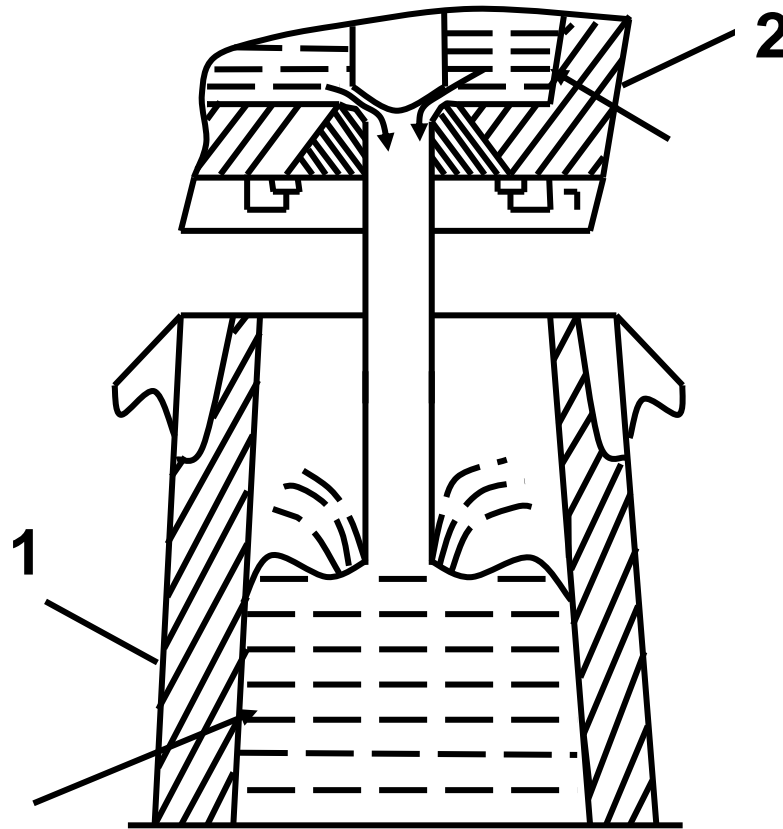
Изложницы - это чугунные формы для получения слитков массой 10 - 25 т для последующей прокатки и до 350 - 400 т- для получения поковок

Легированные стали разливают в слитки массой в несколько сот килограммов.

РАЗЛИВКА СТАЛИ

Существует два способа разливки стали в изложницы: сверху и снизу (сифоном).

Преимущества **разливки сверху** – простота оборудования, меньше стоимость. Недостатком есть ухудшение качества поверхности из-за разбрызгивания металла.

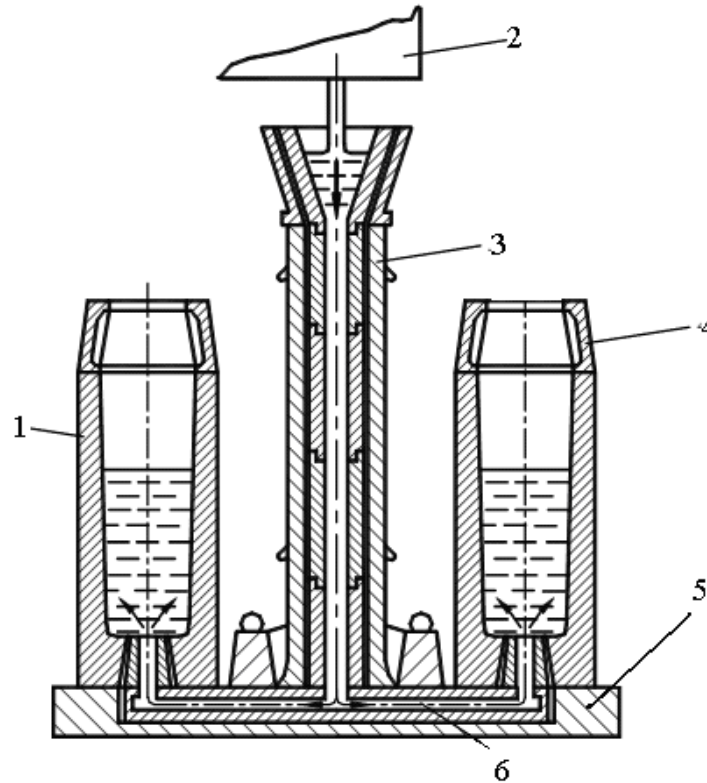


Разливка стали сверху:
1 – изложница;
2 – разливочный ковш

РАЗЛИВКА СТАЛИ

Сифонная разливка стали

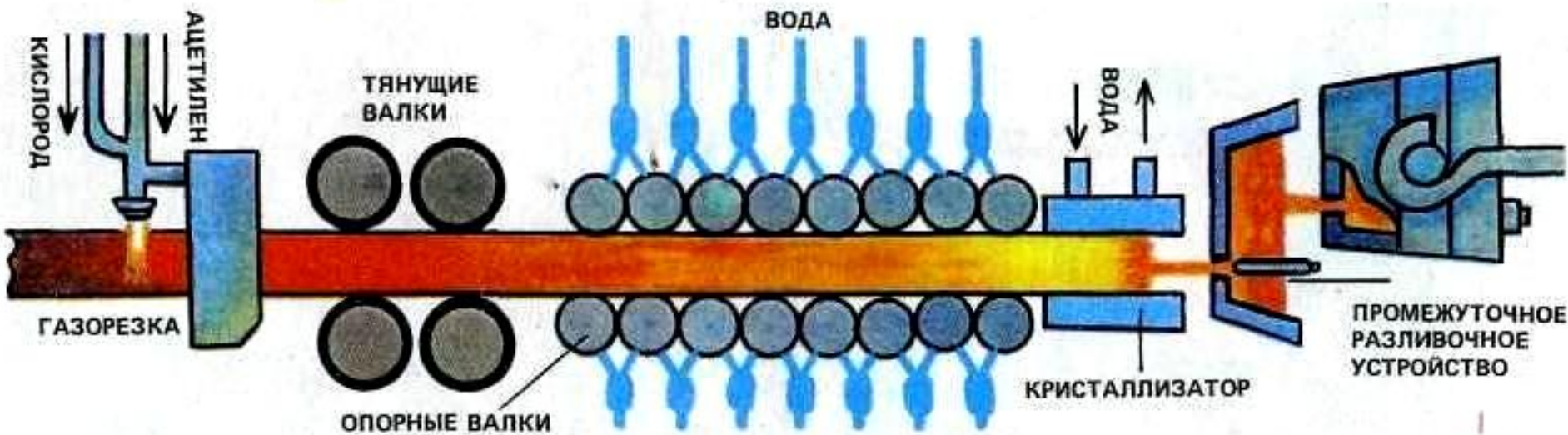
При **сифонной разливке** (снизу) одновременно за-полняется несколько изложниц (от 2 до 50), установленных на поддоне, в центре которого находится центровой литник, соединенный каналами с изложницами. Жидкая сталь из ковша поступает в центровой литник и снизу плавно без разбрызгивания заполняет изложницу.



Разливка стали снизу (сифонная): 1 – изложницы; 2 – ковши; 3 – центровой литник; 4 – прибыльная надставка; 5 – поддон; 6 – литниковые каналы

Преимущества разливки снизу: более высокая продуктивность, гладкая поверхность слитков. Недостаток – возможность загрязнения стали из футеровки литниковой системы, сложность конструкции установки для разливки.

НЕПРЕРЫВНАЯ РАЗЛИВКА СТАЛИ



Сечение слитков: прямоугольные (от 150×500 до 300 ×200 мм), квадратные (со стороной от 150 до 400 мм), толстостенные трубы.

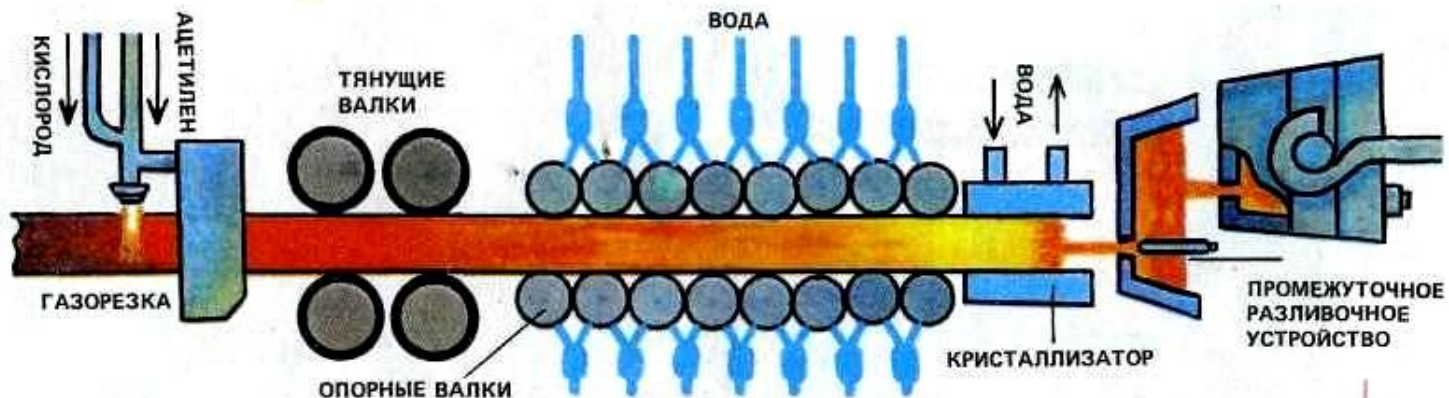
НЕПРЕРЫВНАЯ РАЗЛИВКА СТАЛИ

Непрерывная разливка – наиболее прогрессивный способ разливки и проводится на специальных машинах непрерывной разливки стали.

Жидкую сталь из ковша непосредственно подают в кристаллизатор без дна. Перед заливкой металла в кристаллизатор вводят затравку, которая образует его дно.

Жидкий металл при соприкосновении с холодной затравкой и стенками водоохлаждаемого кристаллизатора начинает затвердевать, и после этого затравка вместе с затвердевшим на ней металлом вытягивается валками из кристаллизатора и тянет за собой заготовку.

В результате направленного затвердевания и непрерывного питания в слитках отсутствует усадочная раковина. Слиток имеет плотное строение и мелкозернистую структуру.

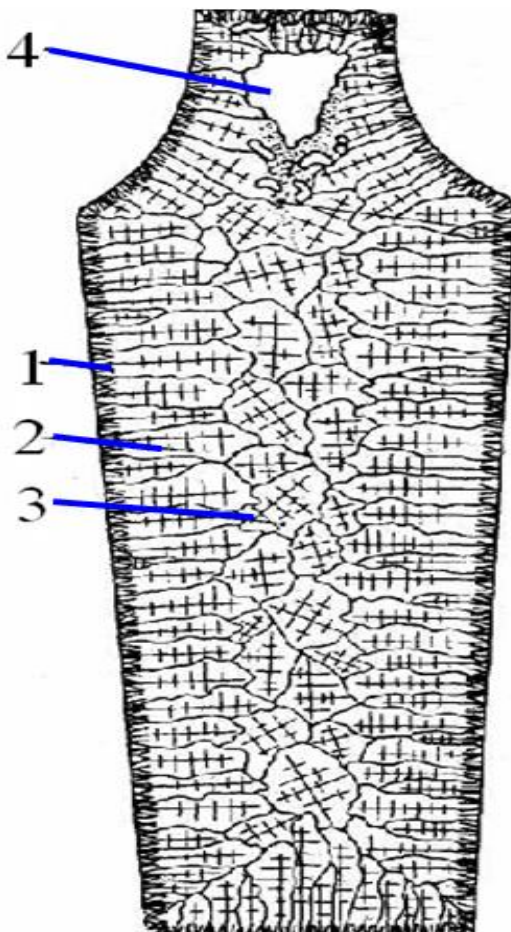


СТРОЕНИЕ СЛИТКА

После разливки начинается кристаллизация и формируется слиток. В строении слитка можно выделить несколько зон.

1 - зона мелких зёрен;

2 - зона столбчатых кристаллов;



3 - зона равноосных кристаллов;

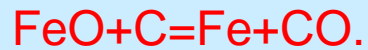
4 - усадочная раковина.

РАСКИСЛЕНИЕ СТАЛИ

Сталь раскисляют для уменьшения количества кислорода. По степени раскисления стали делятся на кипящие, спокойные и полуспокойные.

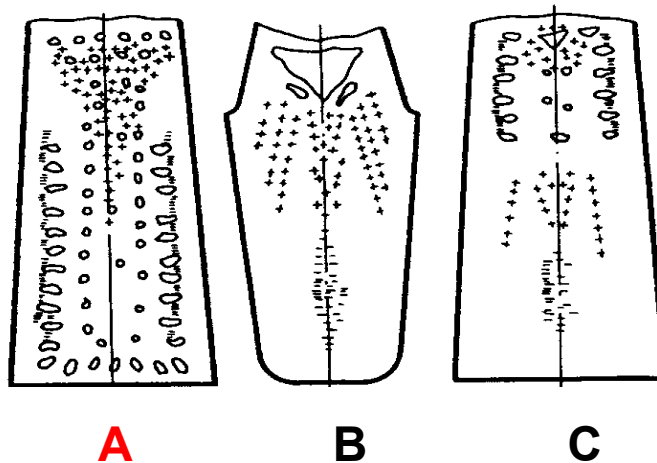
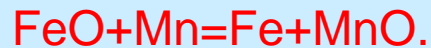
Кипящая сталь (А)

– это сталь, которая разливается в момент, когда происходит окисление углерода:



Выделяющиеся пузырьки оксида углерода создают иллюзию кипения стали. Кипящая

сталь раскисляется в ковше одним марганцем:



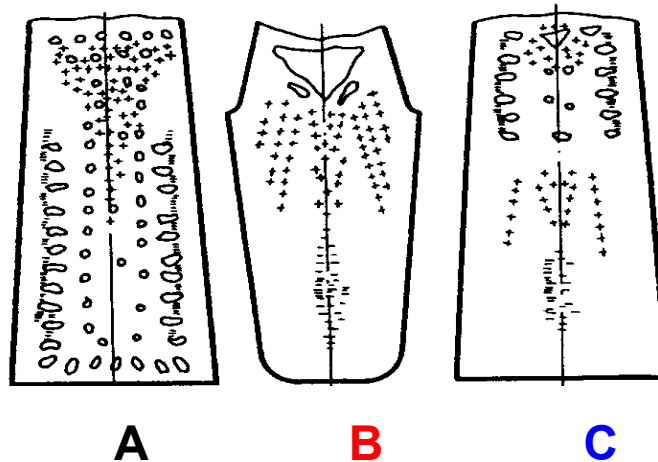
Вместе с пузырьками CO частично удаляются газы, неметаллические включения. Слитки кипящей стали получают, как правило, без концентрированной усадочной раковины.

Кипящая сталь содержит мало углерода, вредных примесей, поэтому она имеет низкую твёрдость и прочность и хорошо поддаётся обработке давлением. Кипящая сталь поступает на прокатку, где происходит заваривание пузырьков.

РАСКИСЛЕНИЕ СТАЛИ

Спокойная сталь (**В**) – это сталь, которая полностью раскислена в печи марганцем, кремнием и алюминием (В).

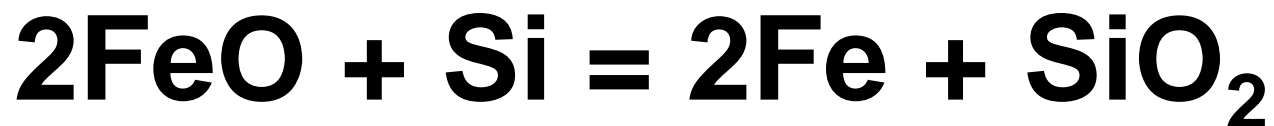
Такая сталь в отличие от кипящей стали имеет повышенное количество углерода, кремния, марганца и высокий уровень механических свойств, что позволяет использовать её для изготовления тяжело нагруженных деталей.



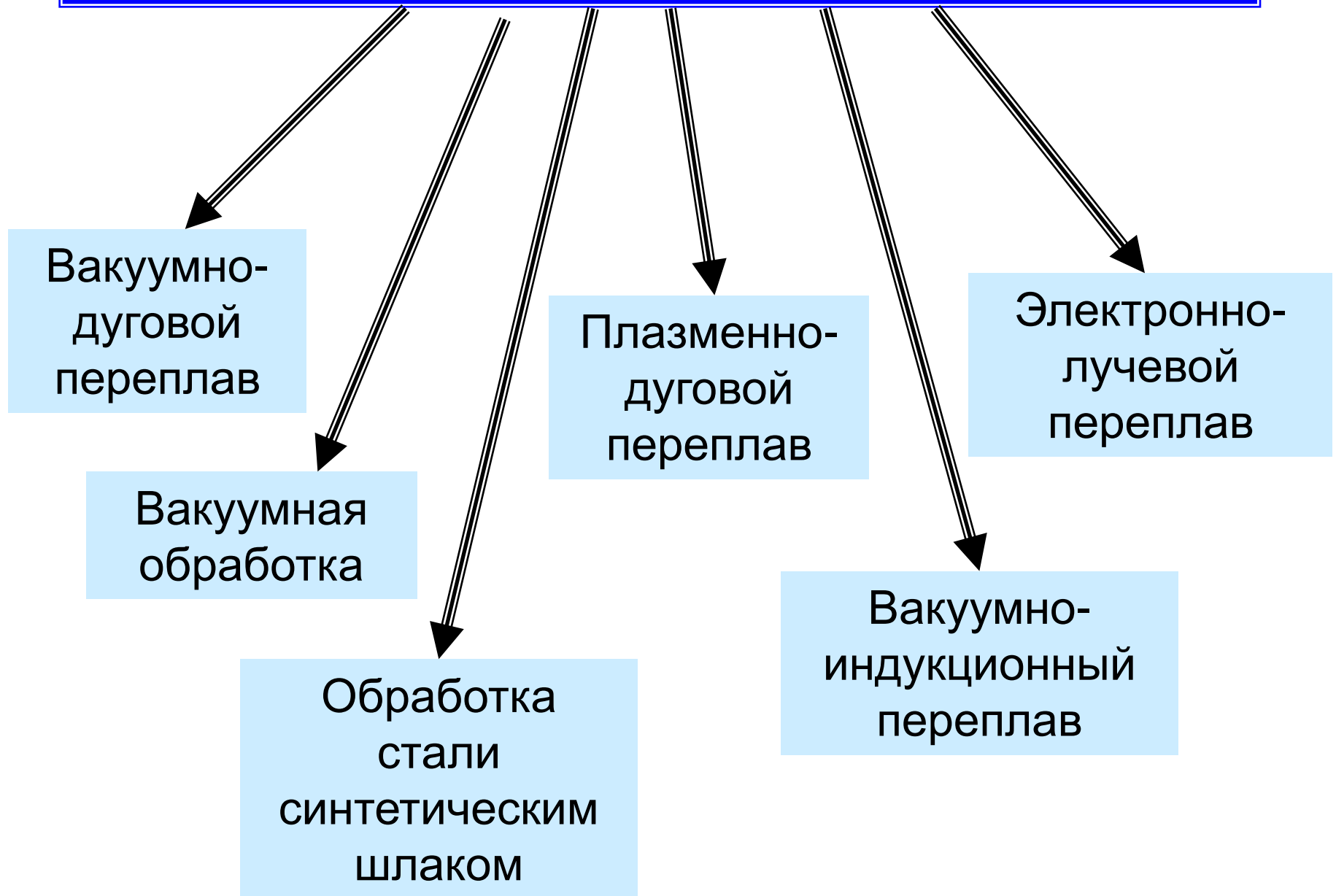
Слиток спокойной стали получается с концентрированной усадочной раковиной, которую после окончания процесса кристаллизации отрезают (В).

Полуспокойная сталь (**С**) раскисляется марганцем и частично кремнием. В этой стали происходит неполное раскисление в изложнице и слиток не имеет концентрированной усадочной раковины. В верхней части он может иметь строение спокойной, а в нижней части – кипящей стали.

РАСКИСЛЕНИЕ СТАЛИ:



СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СТАЛИ



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какую кристаллическую решётку имеет железо при температуре 800°C?

2. Что такое сталь? Чугун?

3. В чём суть подготовки руд к плавке?

4. В чём суть доменного процесса?

5. В чём суть получения стали в кислородном конвертере?

6. В чём суть раскисления стали?

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Изучить процесс обогащения руды.

2. Изучить процесс агломерации.

3. Изучить процесс бездоменного производства стали.

4. Изучить способы повышения качества стали.



Были использованы иллюстративные материалы МАДИ

Кафедра технологии металлов и материаловедения

Лалазарова Наталия Алексеевна

E-mail: lalaz1991@mail.ru

г. Харьков, ул. Петровского, 25, ХНАДУ, КАФЕДРА ТМ и М

Tel.(8-057)707-37-92

