



Общая металлургия

Курс 2 семестр 4

Количество кредитов 4

Лекции 16 ч.

Лабораторные занятия 32 ч.

Аудиторные занятия 48 ч.

Самостоятельная работа 42 ч.

Итого 90 ч.

Вид промежуточной аттестации зачёт

Преподаватель доцент кафедры ММС
Даренская Елена Анатольевна

В результате освоения дисциплины студент должен/будет:

знать

теории металлургических процессов; основы процессов производства чугуна, стали и цветных металлов; доменное производство, процесс внедоменного получения железа, производства стали в конвертерах, мартеновских печах и электропечах, процессы получения спецсталей, ферросплавов, цветных металлов и сплавов;

уметь

написать основные этапы производства чугуна, стали и наиболее распространенных цветных металлов; анализировать условия протекания основных металлургических процессов, производить необходимые технологические расчеты;

владеть

методами расчета шихты доменного процесса получения чугуна; методами выбора и расчета количества необходимых материалов сталеплавильного производства.

Содержание дисциплины:

Тема 1. Metallургия чугуна.

Тема 2. Производство стали.

Тема 3. Производство ферросплавов.

Тема 4. Metallургия цветных металлов.

4 контролирующих мероприятия
1 семинар

1 КН
7 апреля

Начало занятий
13 февраля

2 КН – зачёт
с 8 июня

Дополнительные баллы
за творческие задания

История металлургии

«Когда варвар, продвигаясь вперед, шаг за шагом, открыл самородные металлы и научился плавить их в тигле и отливать в формы; когда он ...создал бронзу; и, наконец, когда еще большим напряжением мысли он изобрел горн и добыл из руды железо – девять десятых борьбы за цивилизацию было выиграно».

Генри Льюис Морган

Металлургия – это область науки и техники, отрасль промышленности. К ней относятся:

- производство металлов из природного сырья и других металлсодержащих продуктов;
- получение сплавов;
- обработка металлов в горячем и холодном состоянии;
- сварка;
- нанесение покрытий из металлов;
- область материаловедения, изучающая физическое и химическое поведение металлов.

К металлургии примыкает разработка, производство и эксплуатация машин, аппаратов, агрегатов, используемых в металлургической промышленности.

Металлургия подразделяется на **чёрную** и **цветную**.

Самыми распространенными металлами являются: **алюминий**, **железо**, **медь**, **цинк**, **магний**.

История металлургии

Первые свидетельства металлургии – 5-6 тыс. л. до н. э. в Сербии, Болгарии, Португалия, Испании, Великобритании.

Добыча меди и олова из горной породы и получение бронзы, 3500 годы до н. э. - **Бронзовый век.**

Получение железа из руды изобретена хеттами примерно в 1200 году до н. э. - **Железный век.**

Середина 14 века - первые **доменные печи.**

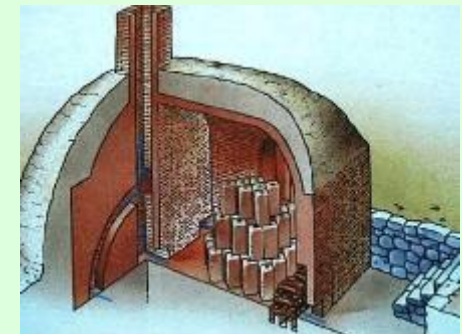
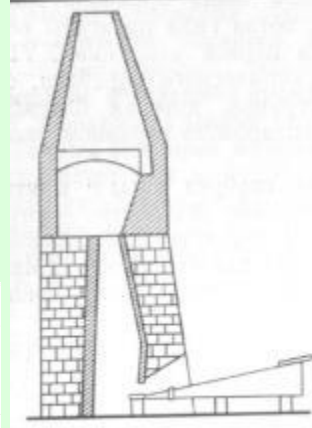
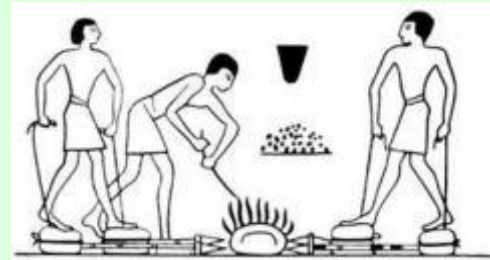
Англия 1740 г. - тигельная плавка и пудлингование.

1856 году - бессемеровский процесс.

1864 году – мартеновский процесс.

1878 - томасовский процесс.

Середина 20 века - производство стали потеснило чугун в процентном отношении.



Современное металлургическое производство и его продукция

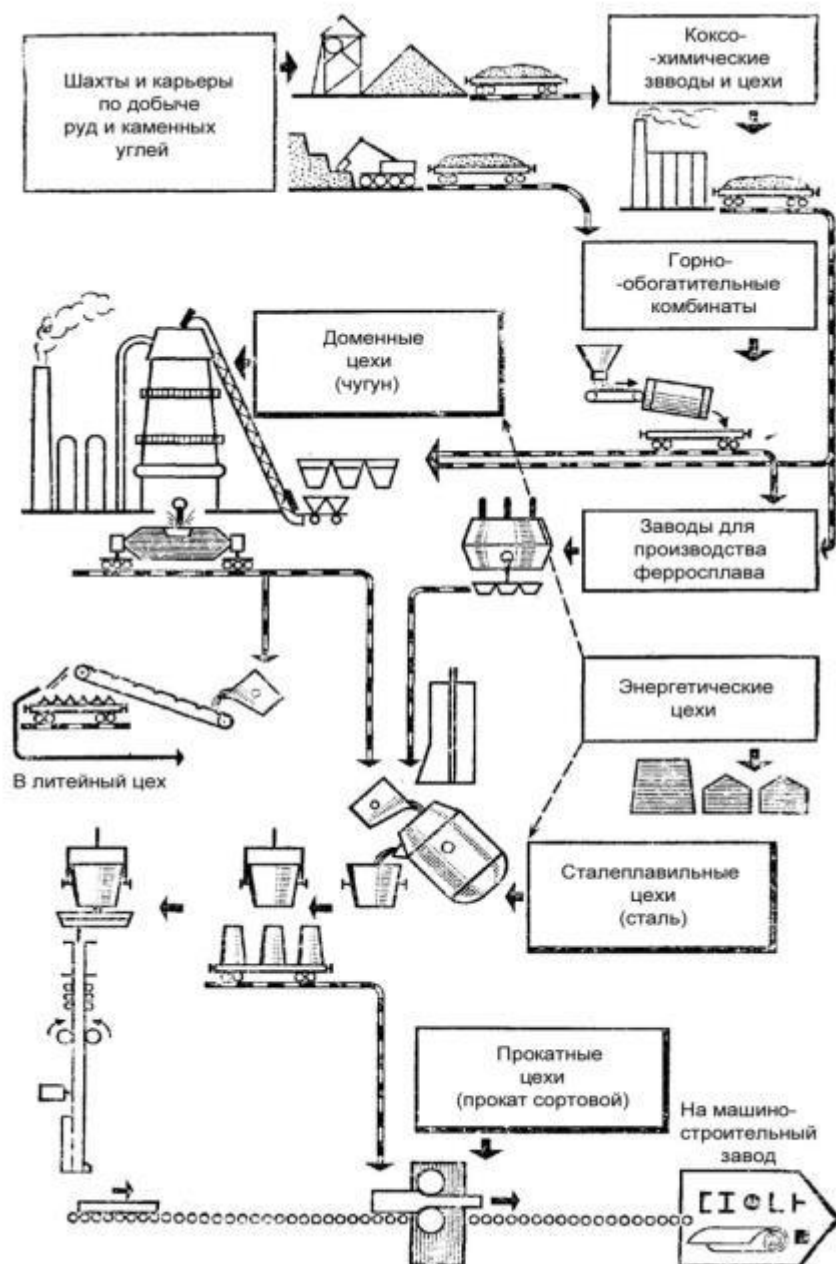


Схема современного металлургического производства

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

1.1 Сырые материалы для доменного производства и их подготовка

Сырые материалы металлургического производства:

- руды,
- топливо,
- флюсы.



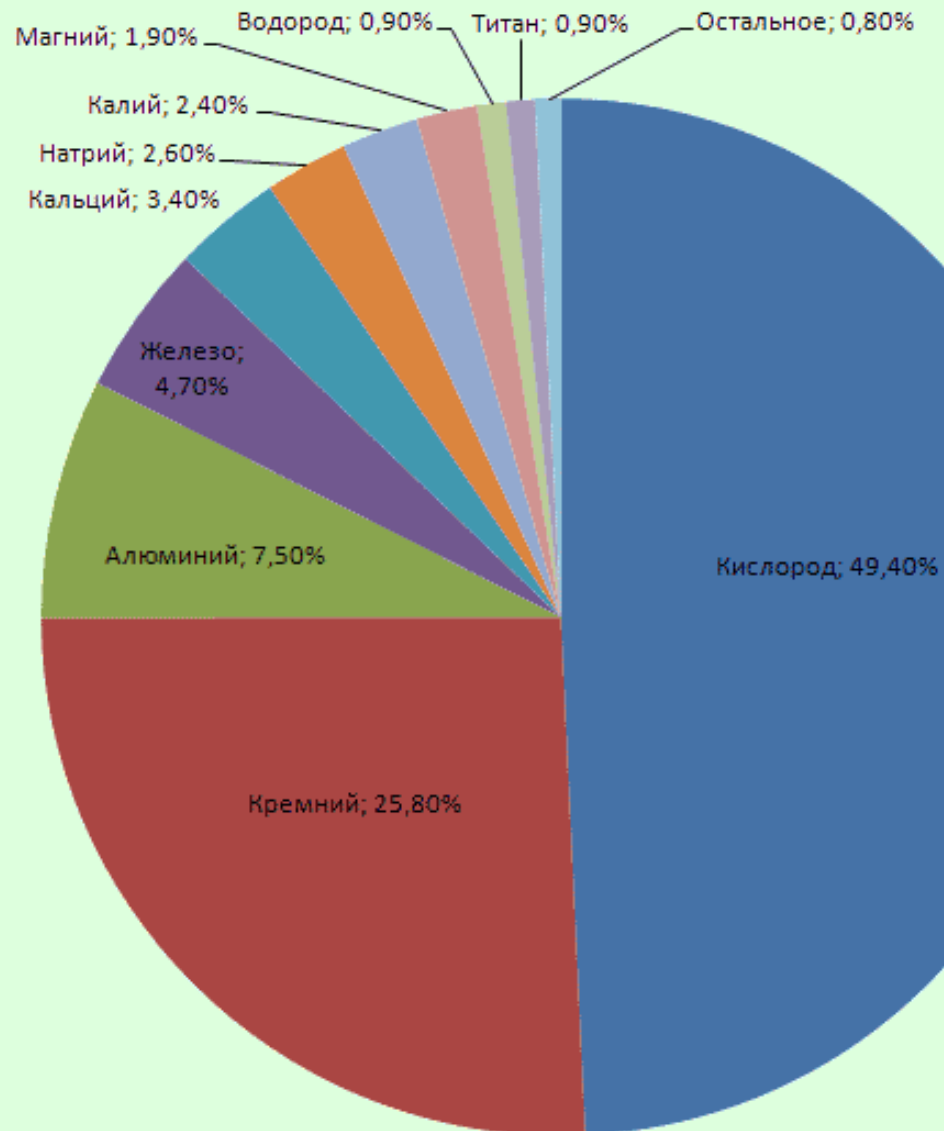
Руда – это минералы + пустая порода.

Руды могут быть:

- железные,
- медные,
- алюминиевые,
- марганцевые,
- медно-никелевые,
- медно-кобальто-
никелевые и др.

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Железные руды



Распространение
в земной коре

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Железными рудами следует называть горные породы, из которых при данном уровне развития техники экономически целесообразно: извлекать **железо**.

Железные руды в зависимости от содержания Fe **делятся** на:

- бедные (менее 30 % Fe),
- средние (30–50 % Fe),
- богатые (более 50 % Fe).

Пустая порода состоит из:

- кремнезема (SiO_2),
- глинозема (Al_2O_3),
- извести и магнезита, образующих сложные минералы.

Полезные примеси: (обычно в виде оксидов) Mg, Cr, Ni, V, W, Mo и др.

Вредные примеси: S, P, As, Zn, Pb и, в большинстве случаев, Cu.

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Промышленное значение имеют железосодержащие минералы, в которых железо в основном представлено:

- магнитным оксидом Fe_3O_4 (72,4 % Fe),
- безводным оксидом Fe_2O_3 (70 % Fe),
- водными оксидами $m\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ с различным количеством воды (52,3-62,9 % Fe),
- карбонатом железа FeCO_3 (48,3 % Fe).

По виду соединений железа железные руды разделяют на следующие основные типы:

- магнетитовая руда или магнитный железняк (магнетит),
- гематитовая руда или красный железняк (гематит),
- Бурый железняк,
- шпатовый железняк или железный шпат,
- титаномagnetит.

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Магнетитовая руда или магнитный железняк (магнетит)



Крепкие, плотные кусковые руды.

Носитель железа: $\text{Fe}_3\text{O}_4 = \text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$.

Содержит 50–60 % Fe, пустую породу SiO_2 , Al_2O_3 , часто бывают загрязнены S, P.

Плотного кристаллического сложения, блестящего черно-синего цвета.

Магнетит характеризуется высокой магнитной восприимчивостью, и поэтому магнитные железняки пригодны для электромагнитного обогащения.

Залежи магнетита разрабатываются в Соколовском, Курском и др. месторождениях.

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Гематитовая руда или красный железняк (гематит)



Носитель железа: Fe_2O_3 .

Содержит 50–70 % Fe, пустую породу SiO_2 , Al_2O_3 , богатые руды, мало S, P.

От плотного, кусковатого сложения до пылевого. Цвет от красного до светло-серого и даже черного.

Наиболее крупные залежи этой руды находятся в Кривом Роге, Курской магнитной аномалии и др.

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Бурый железняк



Носители железа:

- лимонит $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
- гетит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Содержит 25–50 % Fe, пустую породу глина и SiO_2 , бедные руды, загрязненные As, S, P.

Рыхлые, порошковатые землистого строения, легко превращаются в пыль, встречаются и плотные, кусковатые; пористые, содержат влагу.

Цвет бурый или желтый.

Крупные месторождения бурого железняка - Керченское, Лисаковское и др.

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Шпатовый железняк или железный шпат



Носитель железа - сидерит FeCO_3 .

Содержит 30–40 % Fe, глину и SiO_2 , бедные руды, мало S, P.

Плотные и крепкие горные породы или глинистые железняки.

Цвет желтовато-серый и желтовато-бурый с перламутровым или стеклянным блеском.

Основные месторождения – Криворожское, Байкальское и др.

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Титаномагнетит



Носитель железа - ильменит FeTiO_3 и магнетит.

Месторождения: Качканарское месторождение (Южн. Урал), Африканда (Кольский полуостров) и др.

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Примеси железных руд

Вредные примеси - S , Zn и As .

Полезные примеси - V и Ti .

Пустая порода руд - SiO_2 , Al_2O_3 , CaO и MgO , которые обычно находятся в виде различных соединений.

Для доменной плавки желательно, чтобы отношение $(CaO+MgO)/(SiO_2+Al_2O_3) \approx 1$. Тогда не требуются флюсы.

Такую руду называют **самоплавкой**, однако встречается очень редко.

Чаще всего указанное отношение $\ll 1$, т.е. пустая порода руд является **кислой**.

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Марганцевые руды

Применение:

- основное - для выплавки *ферросплавов*, содержащих 10-82% Mn,
- иногда добавляют в шихту доменной плавки при выплавке передельных чугунов для получения в них повышенного (до 0,6-0,8 %) содержания Mn.

Подразделяют на:

а) оксидные руды, представляющие минералы — пиролюзит (MnO_2), браунит (Mn_2O_3), псиломелан ($m\text{MnO}_2 \cdot \text{MnO} + \text{H}_2\text{O}$), гаусманит (Mn_3O_4), манганит ($\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$);

б) карбонатные руды, содержащие марганцевый шпат или родохрозит (MnCO_3);

в) силикатные руды, содержащие родонит (MnSiO_3);

г) окисленные руды, представляющие продукт окисления карбонатных и силикатных руд.

Пустая порода аналогична железным рудам: в основном кремнезем и в меньшей степени глинозем. Известковая пустая порода встречается довольно редко.

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Хромовые руды

Применение:

- производство феррохрома,
- металлического хрома,
- огнеупорных материалов - хромомагнетитов.

Содержат сложные соединения хрома:

хромит (FeO , Cr_2O_3), магнохромит $(\text{Mg}, \text{Fe}) \text{Cr}_2\text{O}_4$ и др.

Комплексные руды

Применение:

- для выплавки природно-легированных чугунов.

Виды:

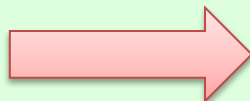
- железомарганцевые руды, содержащие, кроме железа, до 20 % Mn,
- хромоникелевые руды с 37-47 % Fe, до 2% Cr, до 1 % Ni,
- железованадиевые руды, содержащие до 0,17-0,35 % V.

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Флюсы и отходы производства

Пустая порода железных руд:

- Al_2O_3 – 2040 °C,
- CaO – 2570 °C,
- MgO – 2800 °C.



Легкоплавкие соединения - **шлаки** -

$T_{пл} \leq 1300$ °C и с хорошей текучестью при 1450-1600 °C

Флюсы используют для перевода пустой породы руды и золы кокса в шлаки требуемого химического состава с определенными физическими свойствами. # $CaCO_3$, $MgCO_3$

Требуемый состав шлака:
$$\frac{(CaO + MgO)}{(SiO_2 + Al_2O_3)} \approx 1$$

Кислый шлак - преобладают кислотные окислы (SiO_2 , P_2O_5).

Основной шлак - преобладают основные окислы (CaO , MgO , FeO и т. д.).

Поэтому в печах с кислой футеровкой применяют кислые шлаки, а в печах с основной футеровкой – основные.

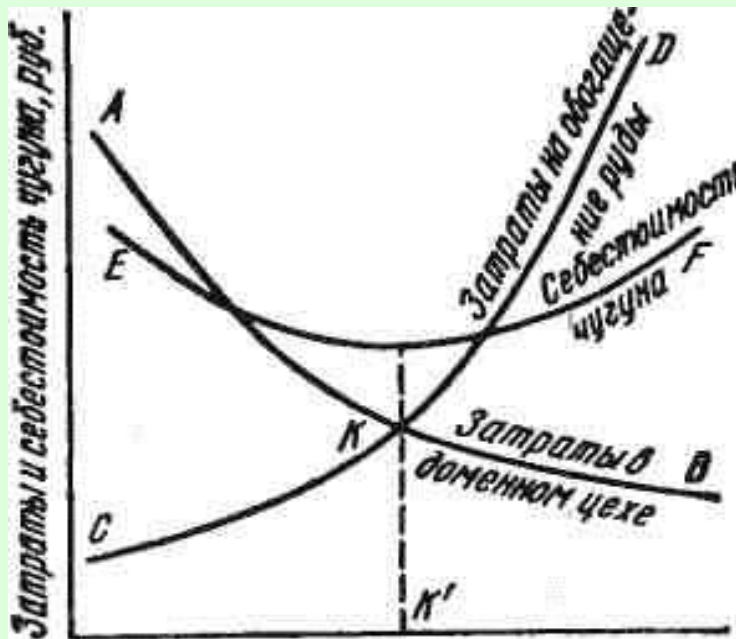
Закон распределения: Если какое-либо вещество растворяется в двух соприкасающихся, но не смешивающихся жидкостях, то распределение вещества между этими жидкостями происходит до установления определенного соотношения, постоянного для данной температуры.

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Подготовка железных руд к доменной плавке

Шихта:

- офлюсованное железорудное сырьё ($> 5-8$ мм),
- кокс определенной кусковатости ($> 20-30$ мм).



Оптимальное содержание Fe в концентратах для доменной плавки – 64-67 %.

Схема графического определения оптимального содержания железа в железосодержащей части шихты

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Дробление и измельчение

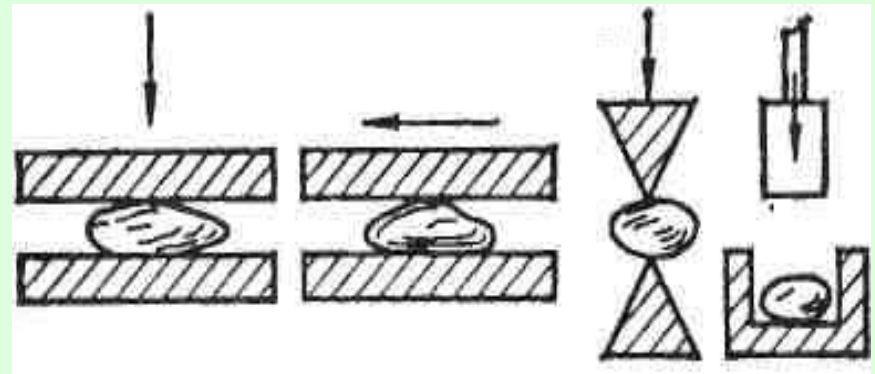
Крупность добываемых руд:

- при открытой добыче 1000-1200 мм,
- при подземной 300-800 мм.

Дробление – процесс уменьшения размера кусков твердого материала путем его разрушения под действием внешних сил с целью придания кускам материала определенной крупности.

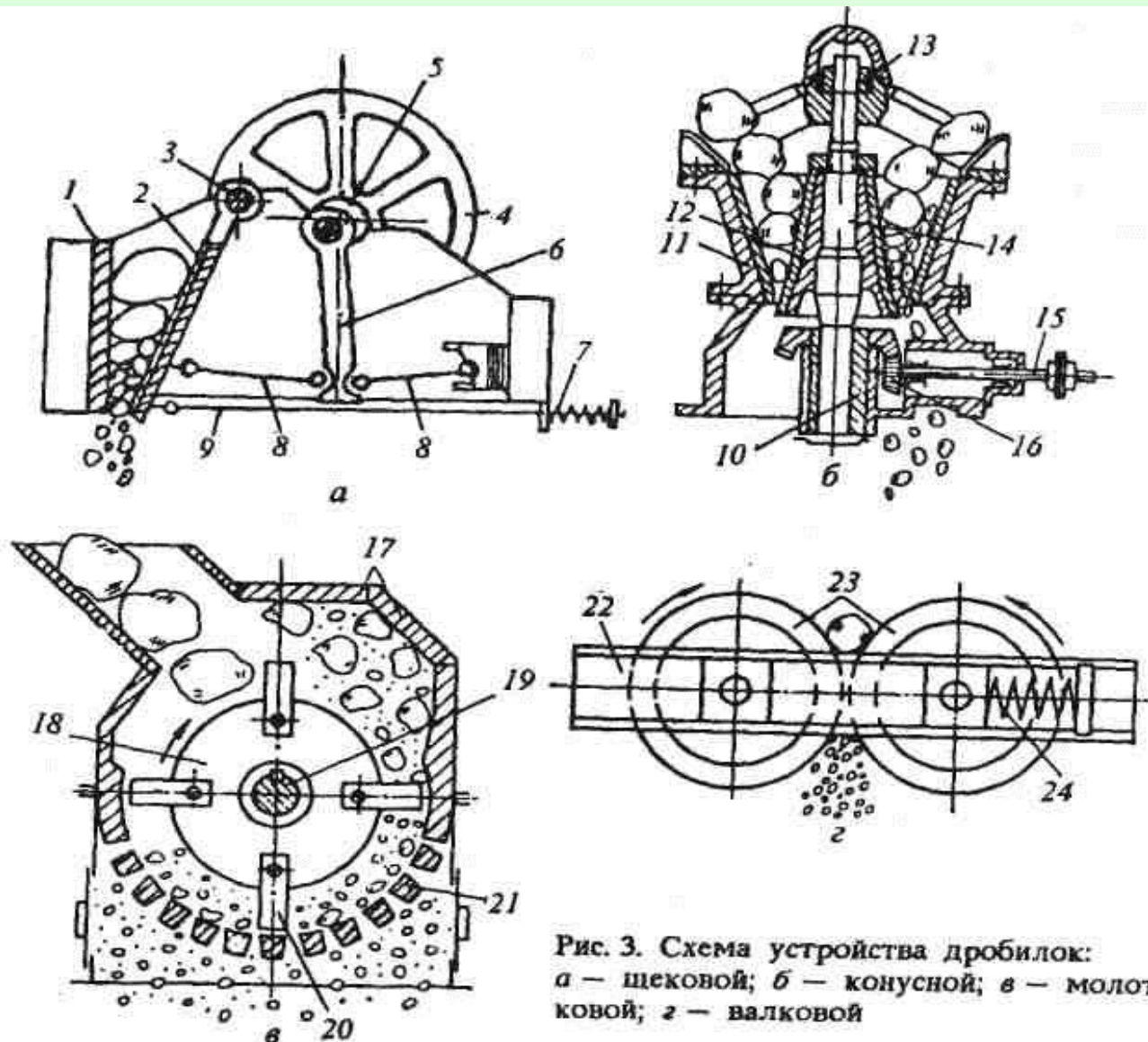
Стадии дробления:

- крупное дробление — от кусков размером 1200 мм до получения кусков размером 100-350 мм;
- среднее дробление — от 100-350 до 40-60 мм
- мелкое дробление - от 40-60 до 6-25 мм;
- измельчение — от 6-25 до 1 мм;
- тонкое измельчение — менее 1 мм.

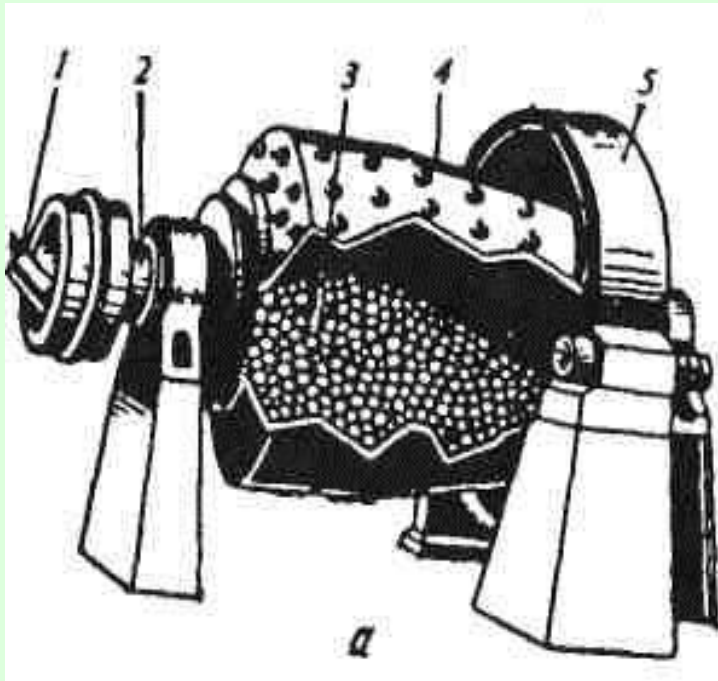


Схематическое изображение основных способов дробления:
а - раздавливание; б - истирание; в - раскалывание; г - удар

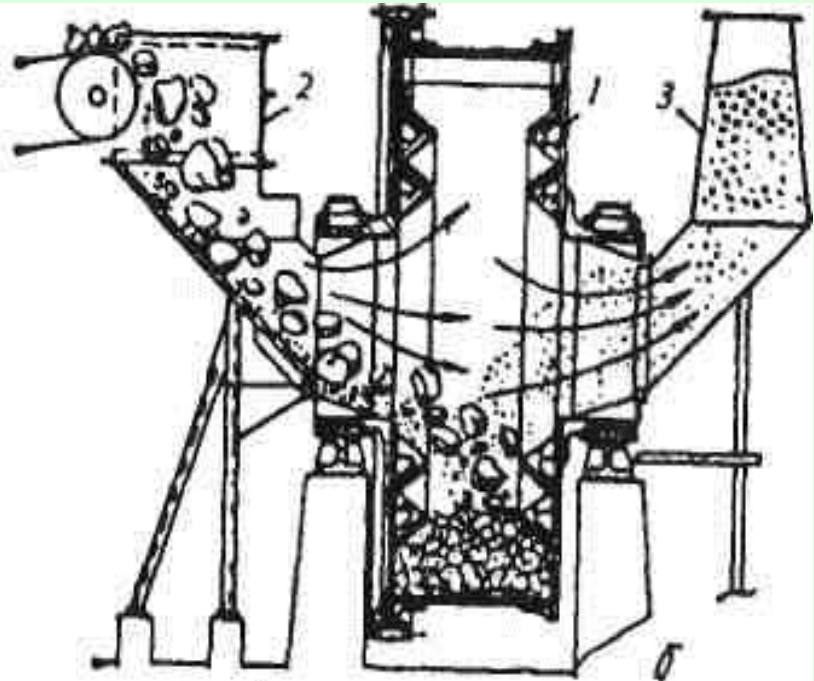
1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА



1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА



Шаровая мельница



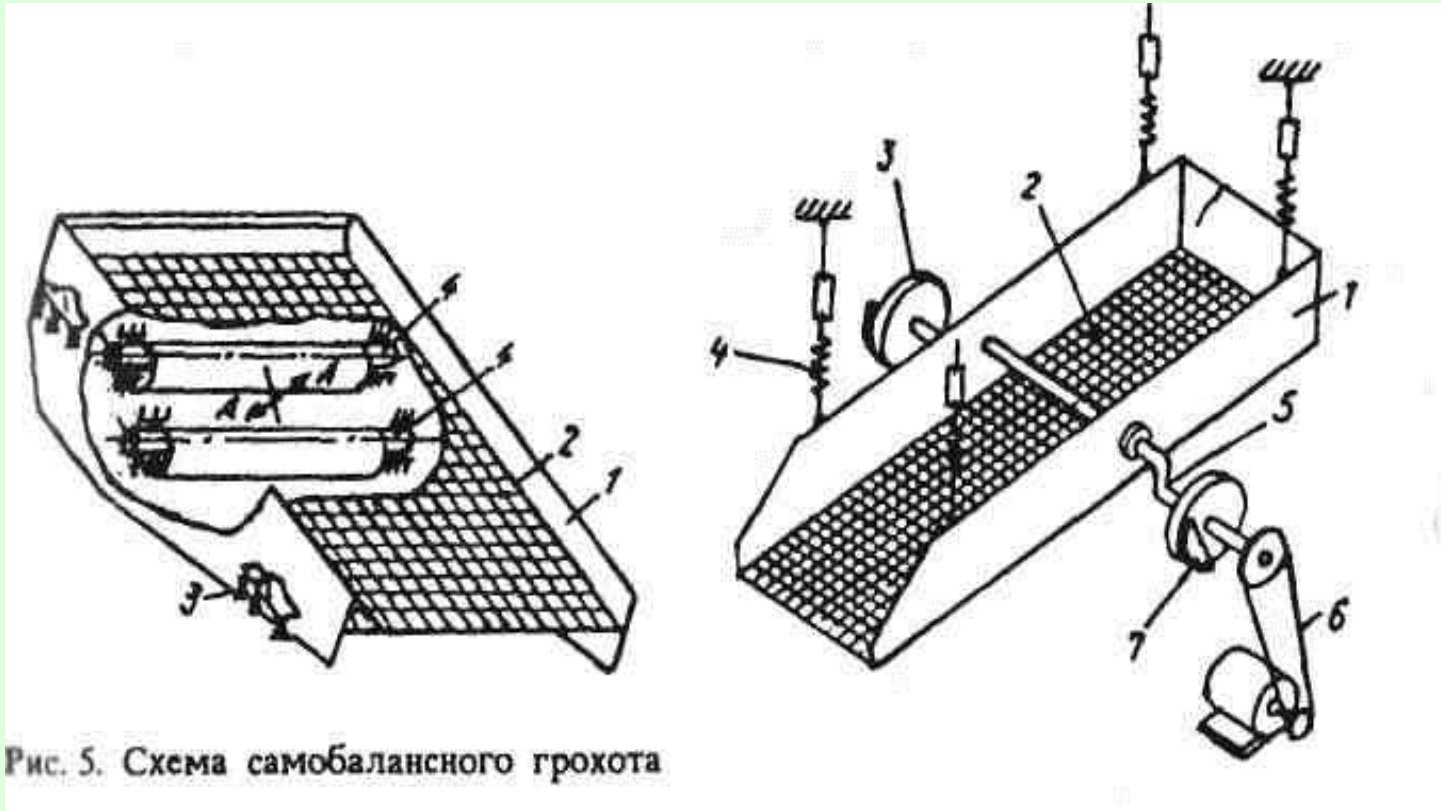
Мельница для
бесшарового помола

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Сортировка

Разделение или сортировка материалов на *классы крупности*:

- при помощи решеток или механических сит - *грохочение*,
- разделение в воде или воздухе на основе разности скоростей падения зерен различной крупности – *гравлическая* или *воздушная классификация*.



1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Обогащение

Под **обогащением** руд понимают процесс обработки полезных ископаемых, целью которого является повышение содержания полезного компонента путем отделения рудного минерала от пустой породы или отделения одного ценного минерала от другого.

Получают:

- готовый продукт – **концентрат**, более богатый по содержанию определенного металла, чем исходная руда,
- *остаточный продукт* – **хвосты**, более бедный, чем исходная руда.

Степень извлечения (ϵ , %) полезного элемента:

$$\epsilon = (\gamma \cdot \beta) / \alpha,$$

где γ - выход концентрата (% от массы исходной руды),

α и β – соответственно содержание извлекаемого элемента в исходной руде и в концентрате, %.

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Обогащение

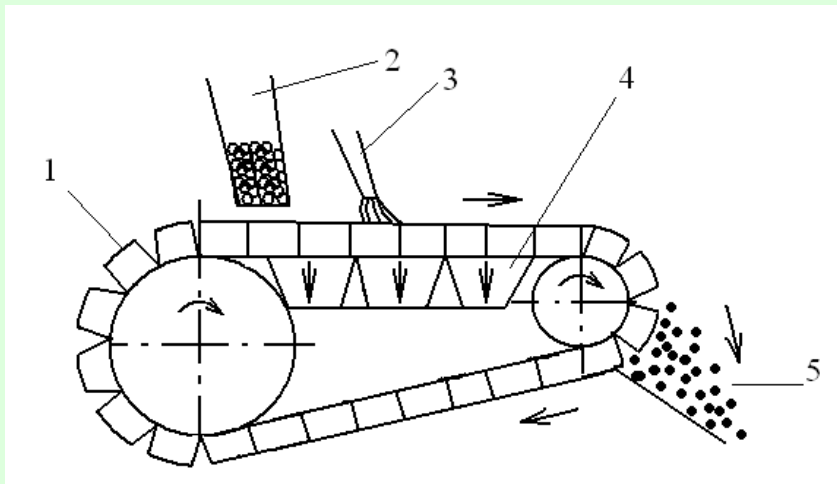
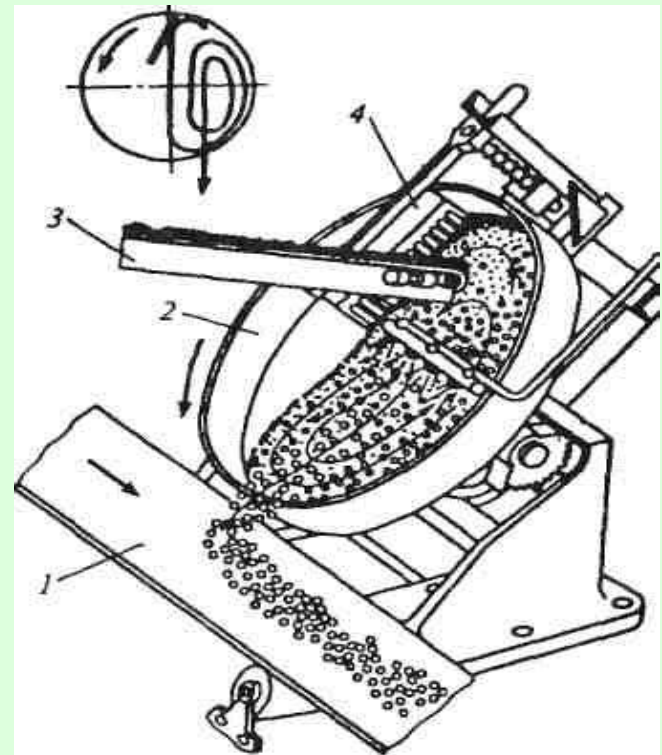


Схема агломерационной машины:

- 1 — паллеты;
- 2 — шихтовый бункер;
- 3 — горелка;
- 4 — вакуум-камеры (экспаустеры);
- 5 — агломерат



Тарельчатый окомкователь:

- 1 — конвейер уборки окатышей;
- 2 — чаша;
- 3 — конвейер подачи шихты;
- 4 — скребки

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Топливо

Основные виды топлива:

- кокс, 
- природный газ,
- мазут,
- доменный (колошниковый) газ.



Сухая перегонка каменного угля коксующихся сортов в коксовых печах при 1000...1200°C (без доступа воздуха) в течение 15-20 ч.

В коксе содержится, в %:

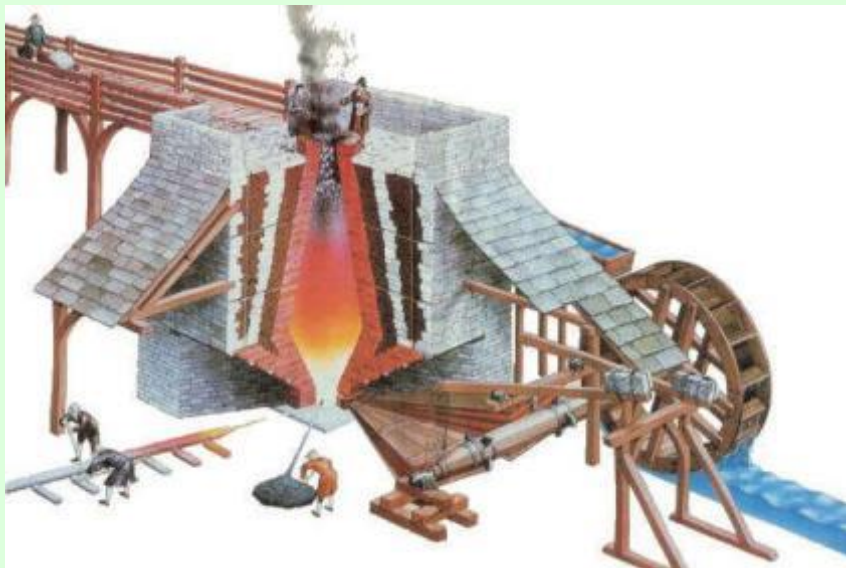
- 80-88 C;
- 8-12 золы;
- 2-5 влаги;
- 0,5-1,8 S;
- 0,02-0,2 P;
- 1,2 летучих продуктов.

Показатели качества кокса:

- зольность,
- содержание серы,
- кусковатость (25-60 мм).

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

1.2 Доменный процесс Доменная печь



XIII век

Современная доменная печь ежедневно:

- расходует:
 - 23 000 т шихты,
 - 18 000 т дутья,
 - 1700 т природного газа;
- выдает:
 - 12 000 т чугуна,
 - 4000 т шлака,
 - 27 000 т колошникового газа.



XXI век

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Доменная печь шахтного типа двухконусным засыпным аппаратом

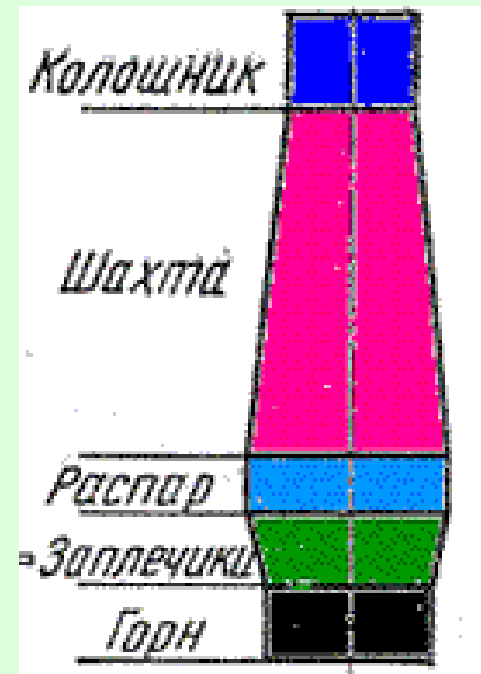
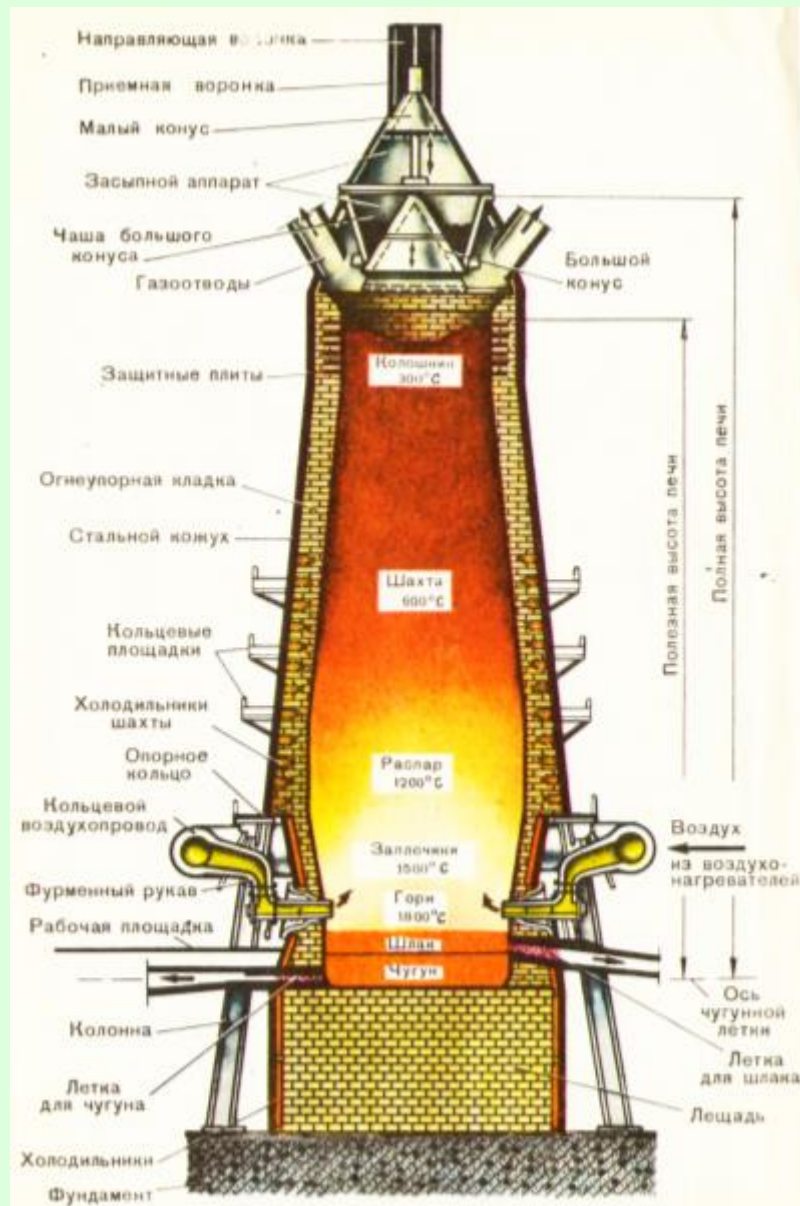


Схема доменной печи

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Загрузка шихты и распределение материалов на колошнике

Время пребывания в доменной печи:

- материалов — 4-6 ч,
- газов — 3-12 с.

При загрузке необходимо учитывать:

- дутье поступает в печь у стен,
- сопротивление газам у гладких стен меньше, чем в объеме шихты.

Поэтому целесообразно:

- у стен — толще слои менее газопроницаемого агломерата,
- в центре — толще слои кокса.

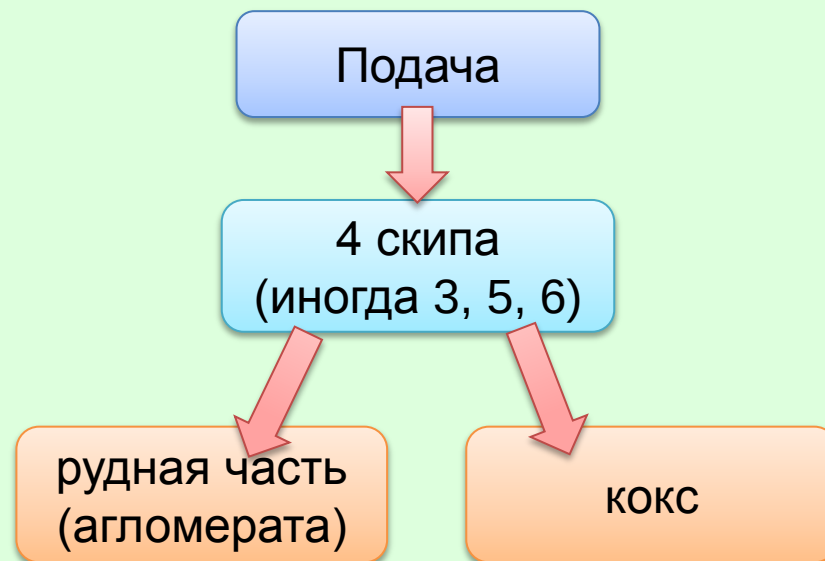
Это способствует перераспределению газового потока к центру.

Засыпной аппарат:

- двухконусный,
- бесконусный.

Газы всегда движутся по зонам с меньшим сопротивлением шихты.

Слой агломерата менее газопроницаем, чем слой кокса.

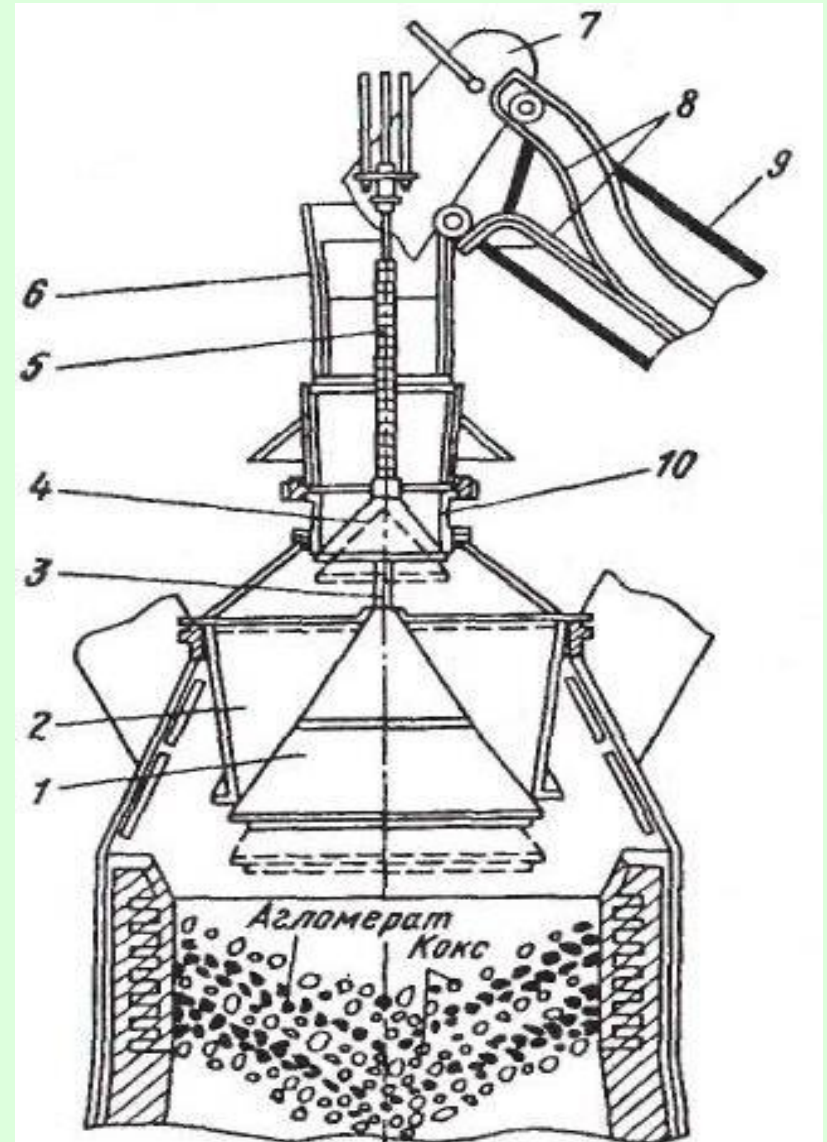


1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Засыпной аппарат двухконусный

Виды подач:

- **совместная** - все скипы агломерата и кокса накапливают на большом конусе путем опусканий малого конуса без его вращения и затем загружают в печь за одно опускание большого конуса (ААКК↓);
- **раздельная** - агломерат загружают одним опусканием большого конуса, а кокс — вторым (АА↓КК↓);
- **расщепленная** - подача загружается в 2 приема, но в каждой полуподаче есть и кокс и агломерат (ААК↓ККА↓).



1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Засыпной аппарат бесконусный

Шихту загружают в печь через два поочередно открываемых шлюзовых бункера.

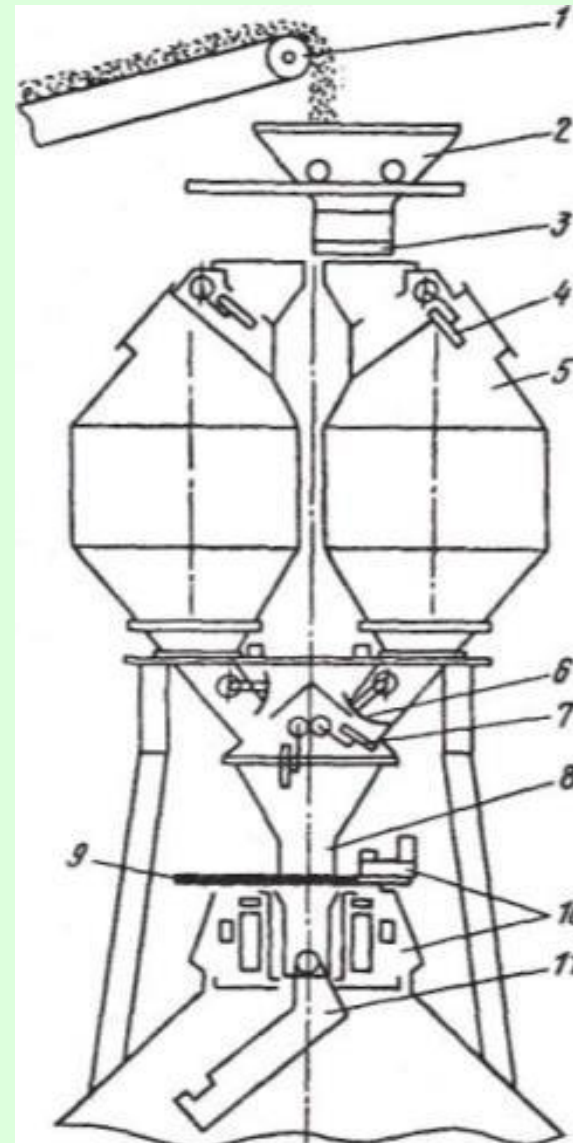
Для этого способа загрузки используют не термин "подача", а "**цикл загрузки**".

О процессах в доменной печи судят по:

- температуре,
- составу газа по сечению.

На **полноту химических и теплообменных процессов в печи** указывают:

- повышенное содержание CO_2 в газах,
- низкая температура.



1 - конвейер
шихтоподачи;

2 - приемная
воронка;

3 - затвор;

4 - верхний
газотсекающий
клапан;

5 - бункер;

6 - затвор бункера;

7 - нижний
газотсекающий
клапан;

8 - трубка;

9 - отсечная
задвижка;

10 - механизм
вращения лотка;

11 - вращающийся
лоток.

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Распределение температур в печи

Тепло расходуется на:

- нагрев шихты и газов,
- расплавление чугуна и шлака,
- обеспечение процессов восстановления,
- компенсации теплотерь.

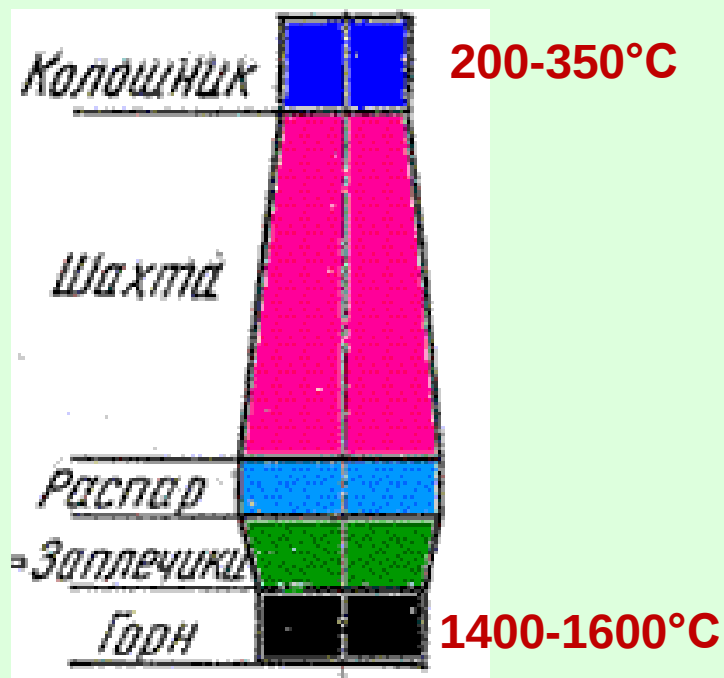
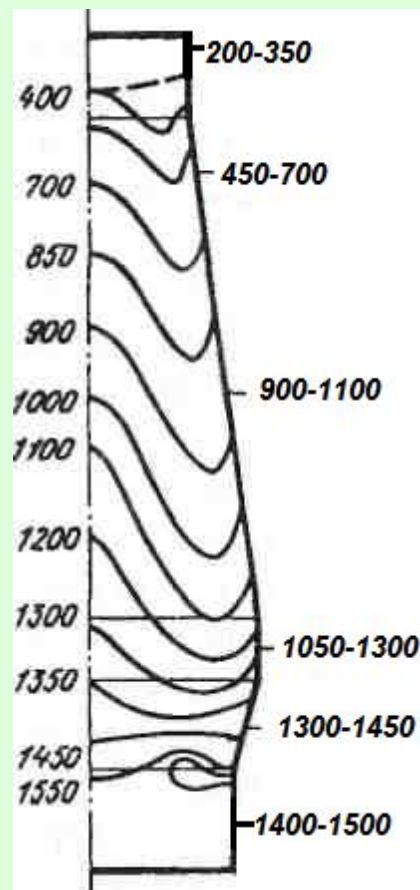


Схема доменной печи

Тепло вносится в печь:

- нагретым дутьем,
- при сгорании топлива.

В поперечном сечении печи температура не постоянна.

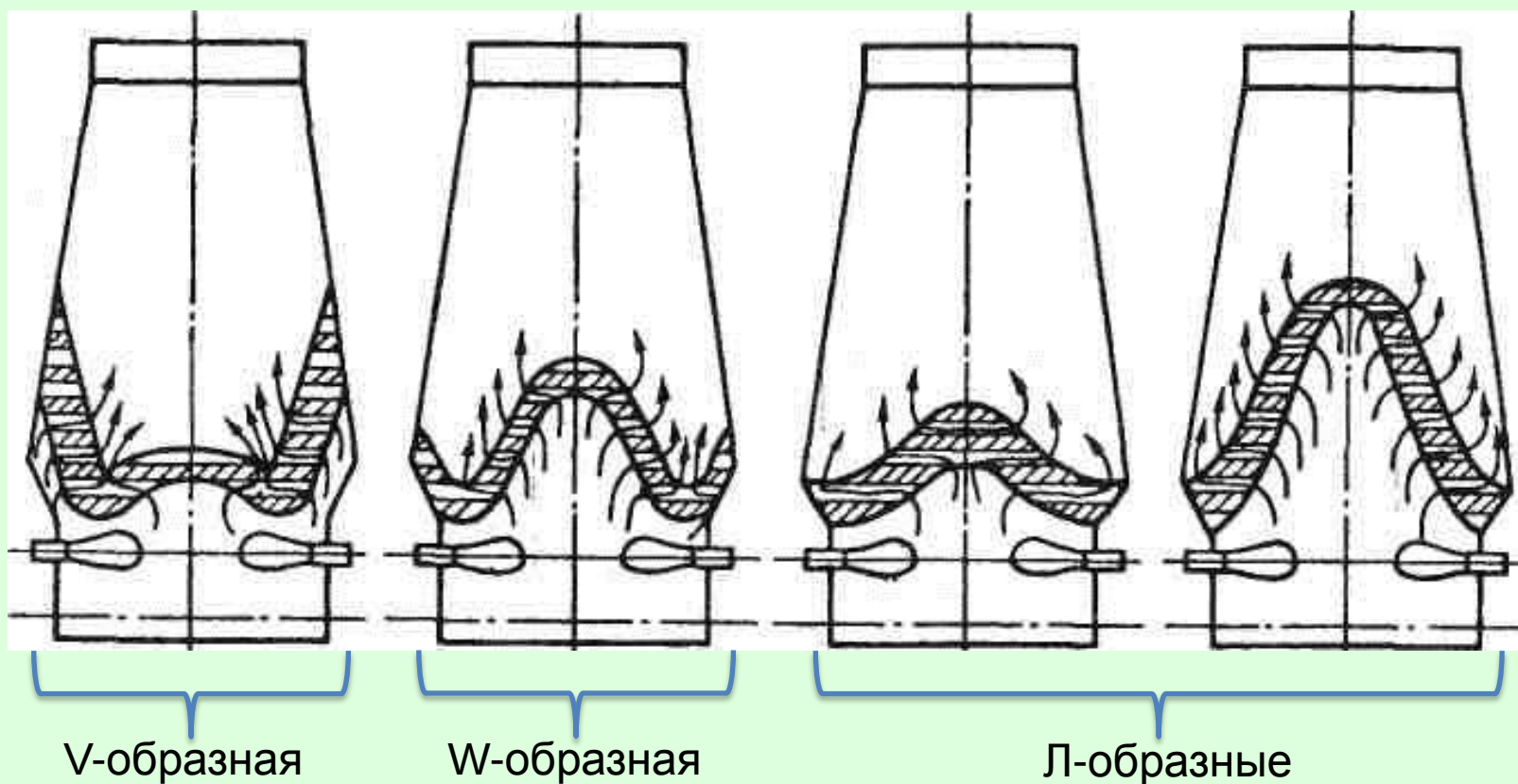


Распределение температуры газов по высоте и сечению доменной печи (один из вариантов)

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Пластичная зона – зона, где происходит размягчение и плавление железосодержащей части шихты (агломерата и окатышей), $1000-1250^{\circ}\text{C}$.

Формы пластичной зоны в доменной печи



1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Удаление влаги

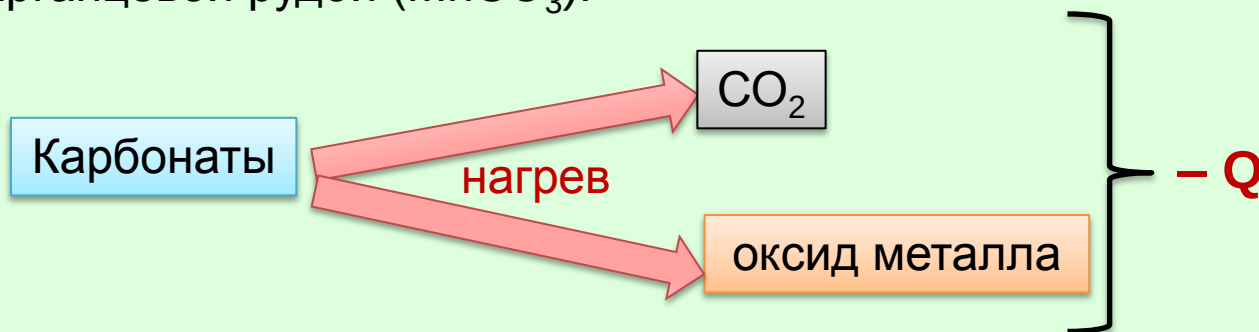
Шихта содержит:

- гигроскопическую влагу (поглощенную из воздуха, # в коксе 0,5-5%),
- гидратную влагу (связанную с минеральной массой, # $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Разложение карбонатов

Карбонаты (углекислые соединения) поступают в доменную печь:

- в виде известняка CaCO_3 (иногда содержит немного $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$),
- с карбонатной железной рудой (FeCO_3),
- с марганцевой рудой (MnCO_3).



при 1000°C $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2 - 178500 \text{ Дж}$

>1000°C $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Процессы восстановления

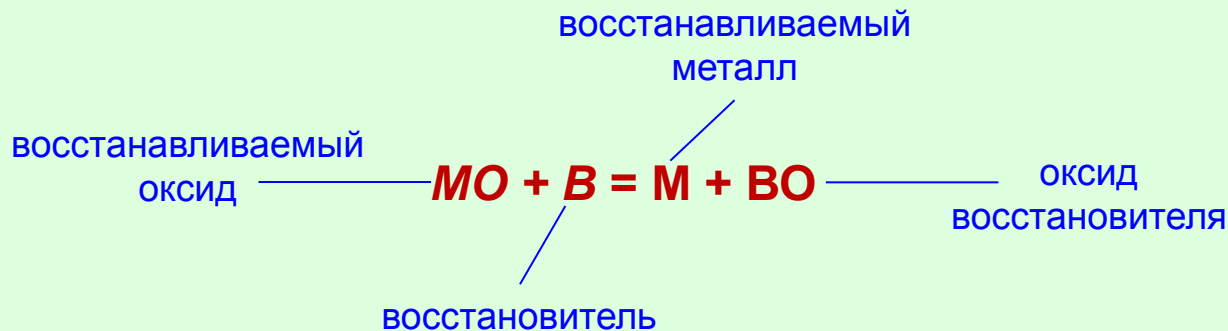
1. Восстановление железа

Железо поступает в доменную печь в виде оксидов:

- агломерат – Fe_3O_4 и немного Fe_2O_3 и FeO ,
- окатыши – Fe_2O_3 и Fe_3O_4 ,
- железная руда – Fe_2O_3 и Fe_3O_4 .

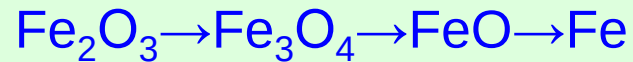
Основная задача доменного процесса – обеспечение как можно более полного извлечения железа из оксидов путем их восстановления.

Восстановление - отнятие кислорода от оксида и получение из него элемента (или оксида с меньшим содержанием кислорода).

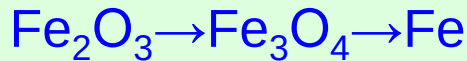


1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Восстановление оксидов железа протекает ступенчато от высших к низшим
(акад. А.А. Байков):

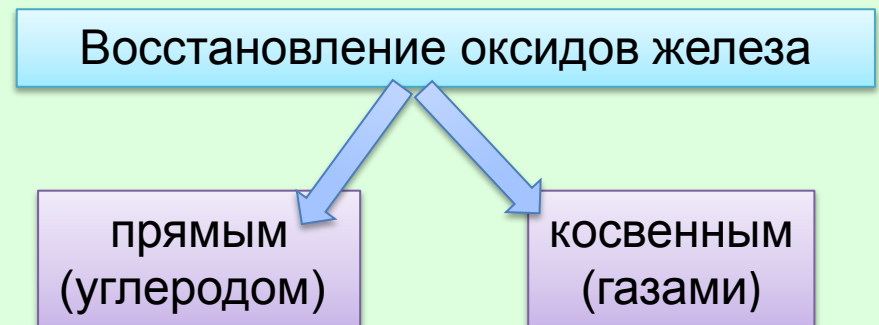


т.к. ниже 570°C оксид FeO неустойчив (Fe_3O_4 и Fe), схема восстановления:



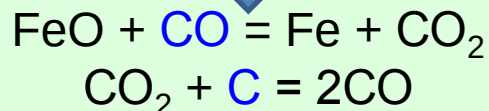
Восстановители оксидов железа в
доменной печи:

- углерод,
- оксид CO ,
- водород.



1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Реакции прямого восстановления углеродом:



Прямое восстановление отличается от косвенного расходом С.

Т.е. развитие реакций прямого восстановления сокращает количество С, достигающего фурм.

Доменную печь условно делят на зоны :

- косвенного восстановления ($< 900-1000^\circ\text{C}$),
- прямого восстановления ($> 900-1000^\circ\text{C}$).

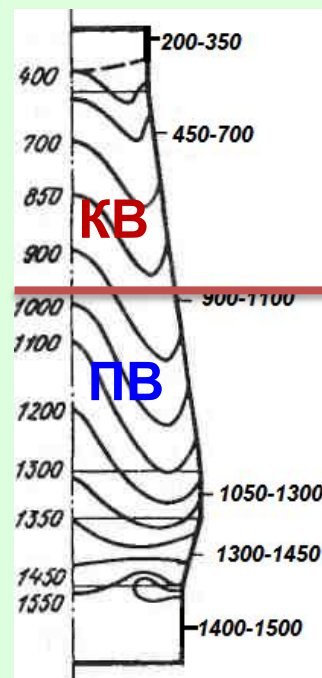
Реакции косвенного восстановления оксидом углерода:

$T > 570^\circ\text{C}$

- 1) $3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2 + 53\,740 \text{ Дж};$
- 2) $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} = 3\text{FeO} + \text{CO}_2 + 36\,680 \text{ Дж};$
- 3) $\text{FeO} + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CO}_2 + 16\,060 \text{ Дж};$

$T < 570^\circ\text{C}$

- 1) $3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2 + 53\,740 \text{ Дж};$
- 4) $1/4\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} = 3/4\text{Fe} + \text{CO}_2 + 2\,870 \text{ Дж};$



1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

При $T > 810^\circ\text{C}$ **H** является более сильным восстановителем, чем **CO**.

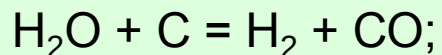
При $T < 810^\circ\text{C}$ — **CO** является более сильным восстановителем, чем **H**.

H увеличивает степень косвенного восстановления железа, т.к.:

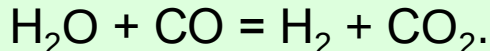
1) благодаря малым массе и размерам молекулы H_2 более подвижны, чем CO — это заметно увеличивает поверхность взаимодействия.

2) молекулы H_2 многократно участвуют в процессе восстановления.

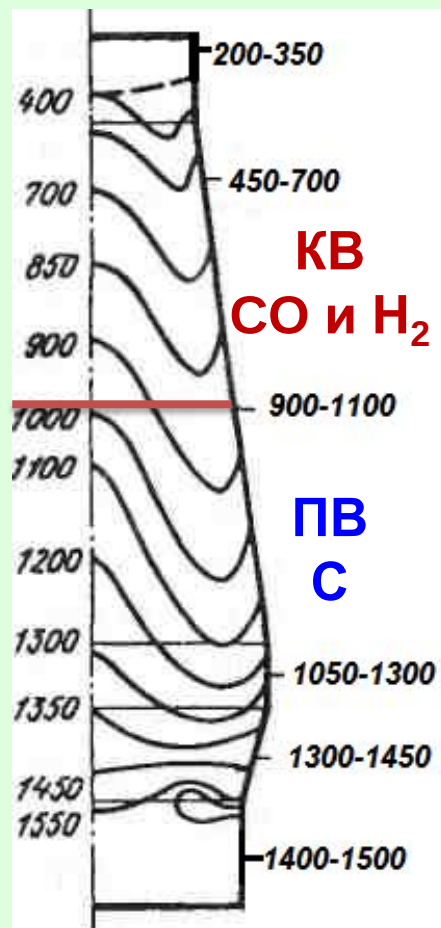
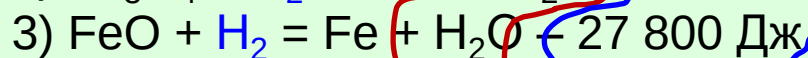
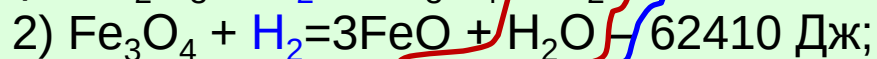
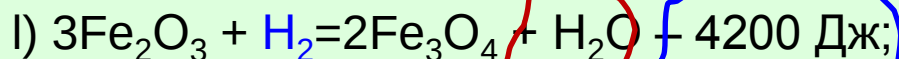
При $T \geq 850-1000^\circ\text{C}$:



при $T < 810^\circ\text{C}$:



Реакции косвенного восстановления водородом:



Степень
восстановления
железа $\eta = 0,99-0,998$

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Прямое восстановление:

- протекает с затратой тепла;
- приводит к снижению количества кокса, достигающего фурм и, следовательно, к уменьшению прихода тепла в горне.

Косвенное восстановление:

- не требуют затрат тепла.
- требует значительно большего расхода углерода, чем прямое.

Доля прямого восстановления на печах:

- без применения природного газа или мазута - 40-60%,
- с применением углеводородные добавки – 20-40%.

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Процессы восстановления

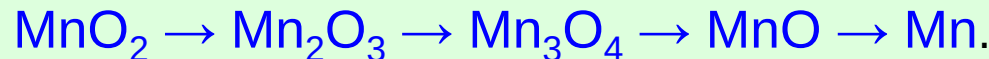
1. Восстановление марганца

При выплавке перепельных чугунов и ферромарганца

Mn попадает в доменную печь:

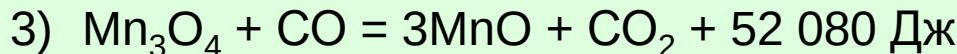
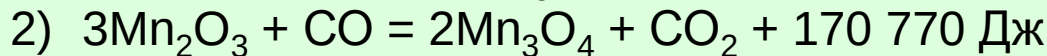
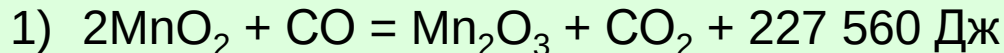
- с агломератом ($\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$, $(\text{MnO})_2 \cdot \text{SiO}_2$),
- с марганцевыми рудами (MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4).

Восстановление Mn из оксидов протекает ступенчато от высших к низшим:

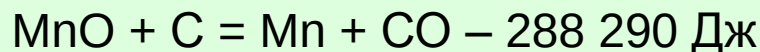


Косвенное восстановление:

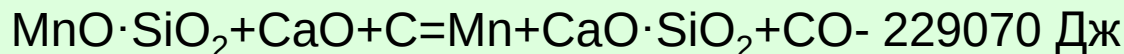
- высших оксидов (при $T=200-500^\circ\text{C}$)



- низшего оксида (при $T>1200^\circ\text{C}$)



- низшего оксида (при $T=1100-1300^\circ\text{C}$)



Для полного восстановления Mn необходимо:

- высокие температуры в горне,
- увеличение поступления тепла в горн,
- повышенная основность шлака.

Степень
восстановления Mn
 $\eta=0,55-0,65$

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Процессы восстановления

Для полного восстановления Mn необходимо:

- высокие температуры в горне,
- увеличение поступления тепла в горн,
- повышенная основность шлака.

Степень
восстановления Mn
 $\eta=0,55-0,65$

Выплавка ферромарганца

Ферромарганец – марганцовистый чугун, выплавляемый в доменных печах:

- 70-78% Mn,
- 6-7% C,
- остальное Fe.

Шихта:

- марганцевые руды (марганцевый агломерат),
- кокс.

Процесс ведут при:

- значительно увеличенном расходе кокса (в 3-4 раза),
- повышенных температурах дутья,
- обогащенном кислородом дутье,
- повышенной основности шлака (до 1,4-1,6).

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Процессы восстановления

1. Восстановление кремния

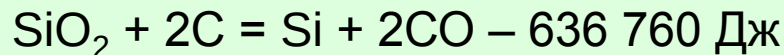
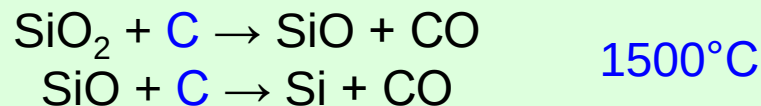
Кремний присутствует в рудах в виде:

- кремнезема,

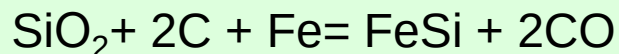
в агломерате – в виде:

- силикатов железа и кальция
- силикатов промежуточного состава – оливинов
 $\text{CaO}_x \cdot \text{FeO}_{(2-x)} \cdot \text{SiO}_2$.

Si восстанавливается в печи только прямым путем:



В присутствии Fe:



При выплавке
передельного чугуна
восстанавливается
2-8% Si шихты

Способствует восстановлению кремния:

- высокая температура в районе горна,
- кислые шлаки, т.е. содержащие мало CaO.

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

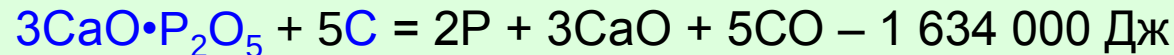
Процессы восстановления

1. Восстановление фосфора

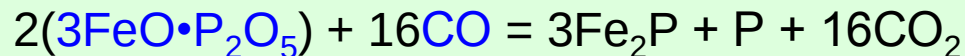
Фосфор поступает в печь в виде $3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ и $3\text{FeO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$:

- с агломератом,
- с железными рудами в виде фосфата.

Прямое восстановление **P** (1000-1200°C):



Косвенное восстановление **P** (900-1000°C):



Для получения чугуна с низким содержанием фосфора необходимо использовать чистые по фосфору рудные материалы.

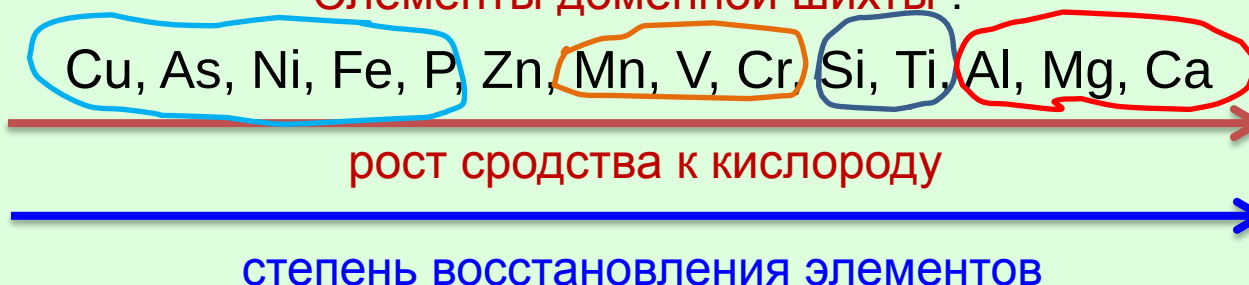
Передельные чугуны <0,15-0,30% P;
иногда 1,0-2,0%.

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Процессы восстановления

1. Восстановление других элементов

Элементы доменной шихты :



Поведение ZnO в доменной печи:

- легко восстанавливается при $T > 950^{\circ}\text{C}$: $\text{ZnO} + \text{C} = \text{Zn} + \text{CO}$, испаряется и поднимается с газами вверх;
- в зонах с умеренными температурами $\text{Zn} \rightarrow \text{ZnO}$, реагируя с CO_2 и оксидами железа;
- часть ZnO (10-30%) уносится из печи доменным газом;
- часть ZnO в смеси с сажистым углеродом осаждается на стенках печи, образуя большие *настыли*;
- часть ZnO осаждается в швах и порах футеровки, вызывая увеличение ее объема и возможность разрыва кожуха печи;
- часть ZnO осаждается на кусках шихты, опускается вниз, где вновь восстанавливается, создавая циркуляцию цинка в печи, способствуя его накоплению с увеличением вредных отложений.