



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

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 металлосодержащих 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.**

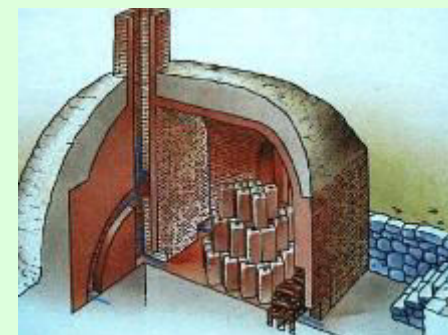
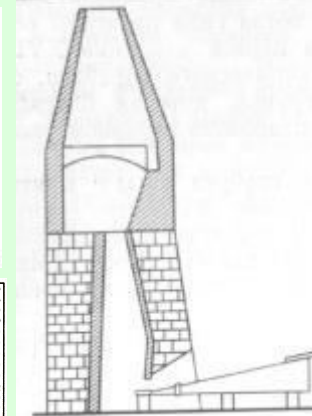
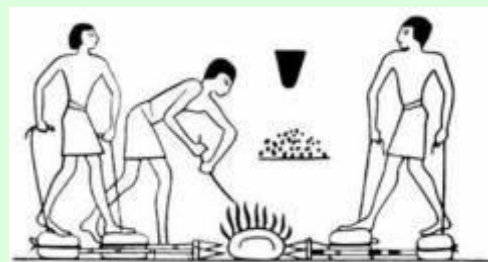
Англия 1740 г. - тигельная плавка и пудлингование.

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

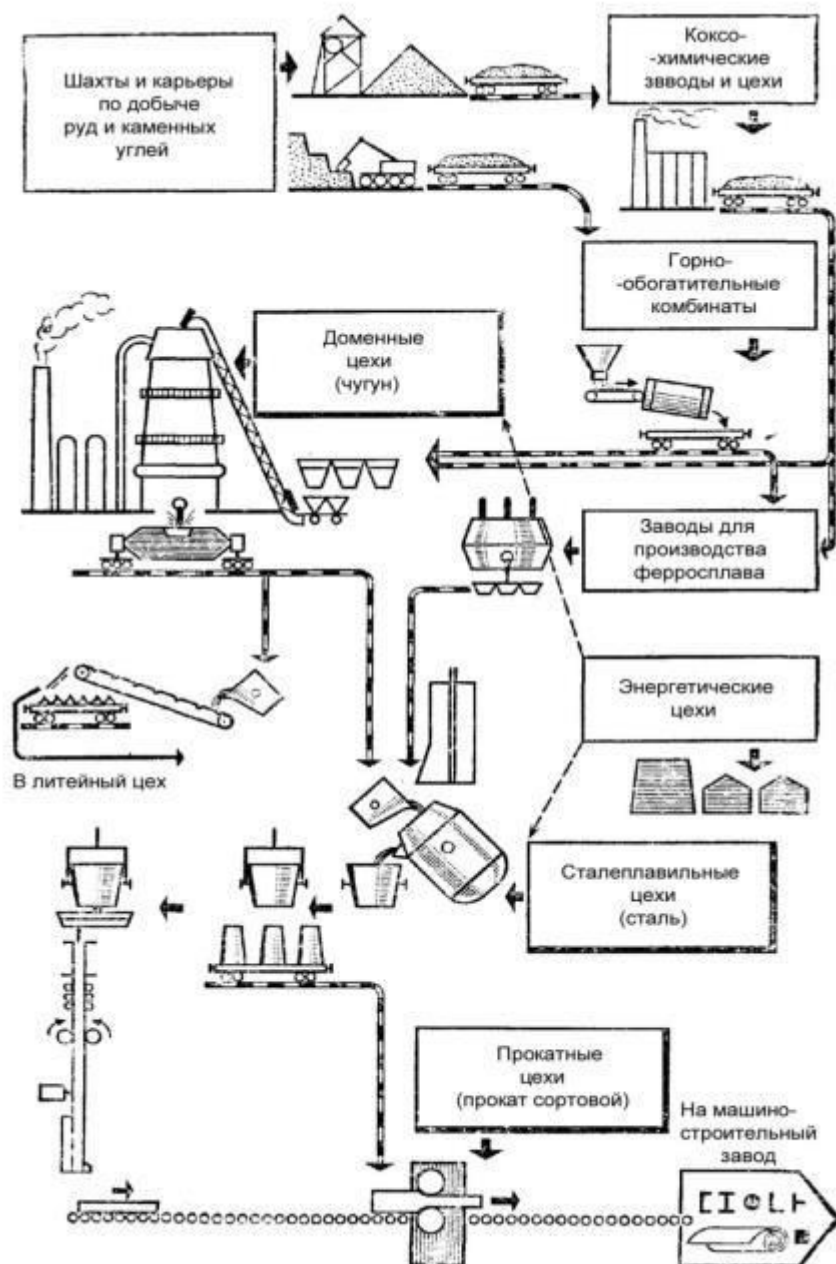


Схема современного металлургического производства

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

1.1 Сырые материалы для доменного производства и их подготовка

Сырые материалы металлургического производства:

- руды,
- топливо,
- флюсы.



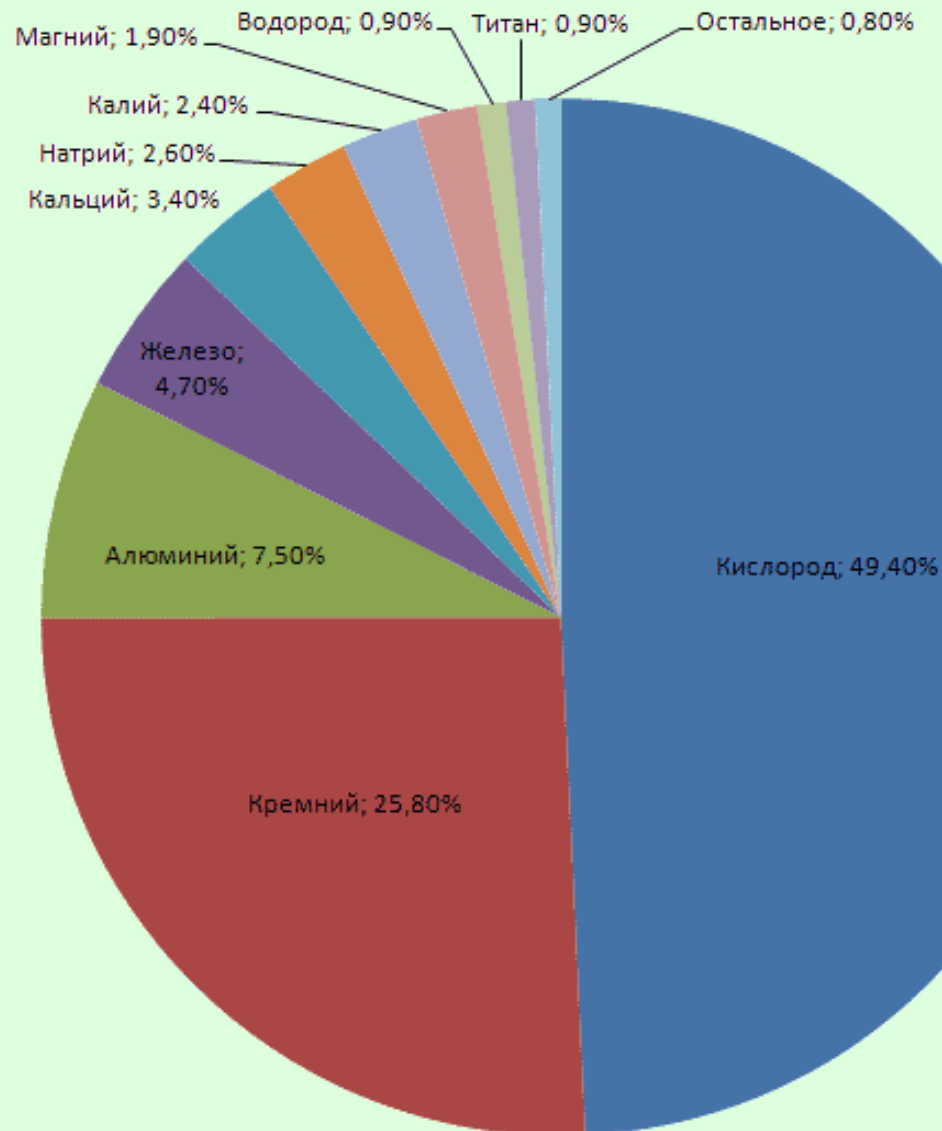
Руда – это минералы + пустая порода.

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:

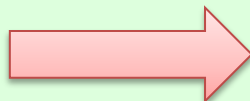
- железомарганцевые руды, содержащие, кроме железа, до 20 % Mn,
- хромоникелевые руды с 37-47 % Fe, до 2% Cr, до 1 % Ni,
- железованадиевые руды, содержащие до 0,17-0,35 % V.

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.

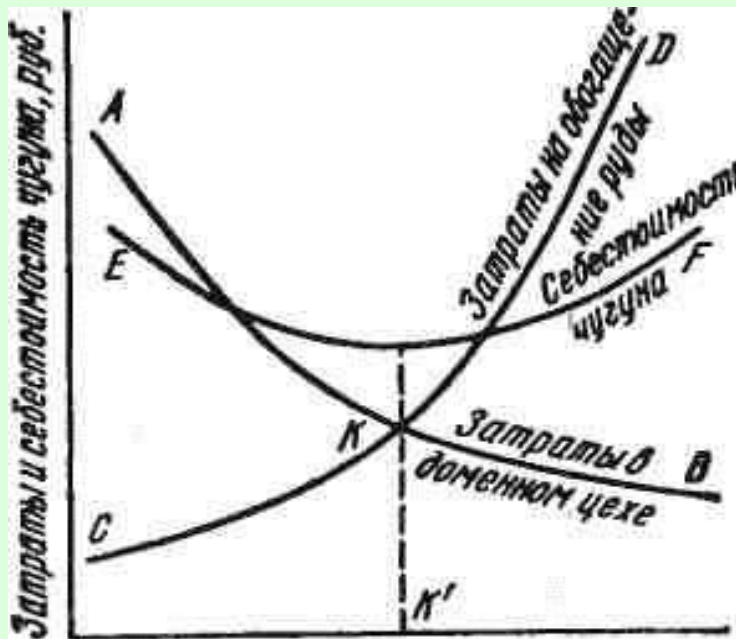
Закон распределения: Если какое-либо вещество растворяется в двух соприкасающихся, но не смешивающихся жидкостях, то распределение вещества между этими жидкостями происходит до установления определенного соотношения, постоянного для данной температуры.

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

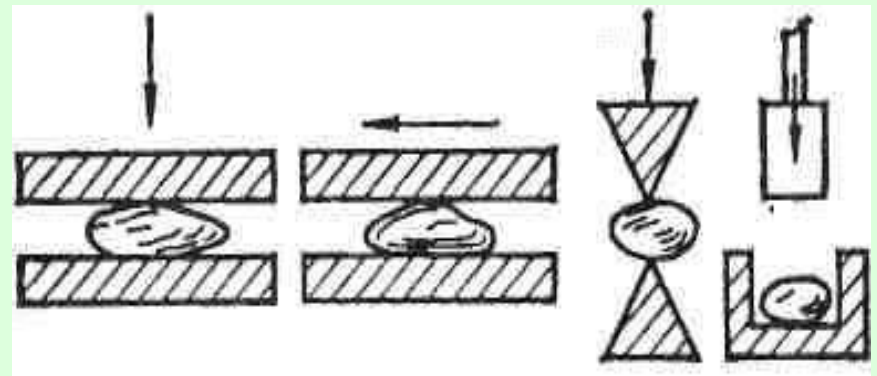
Крупность добываемых руд:

- 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

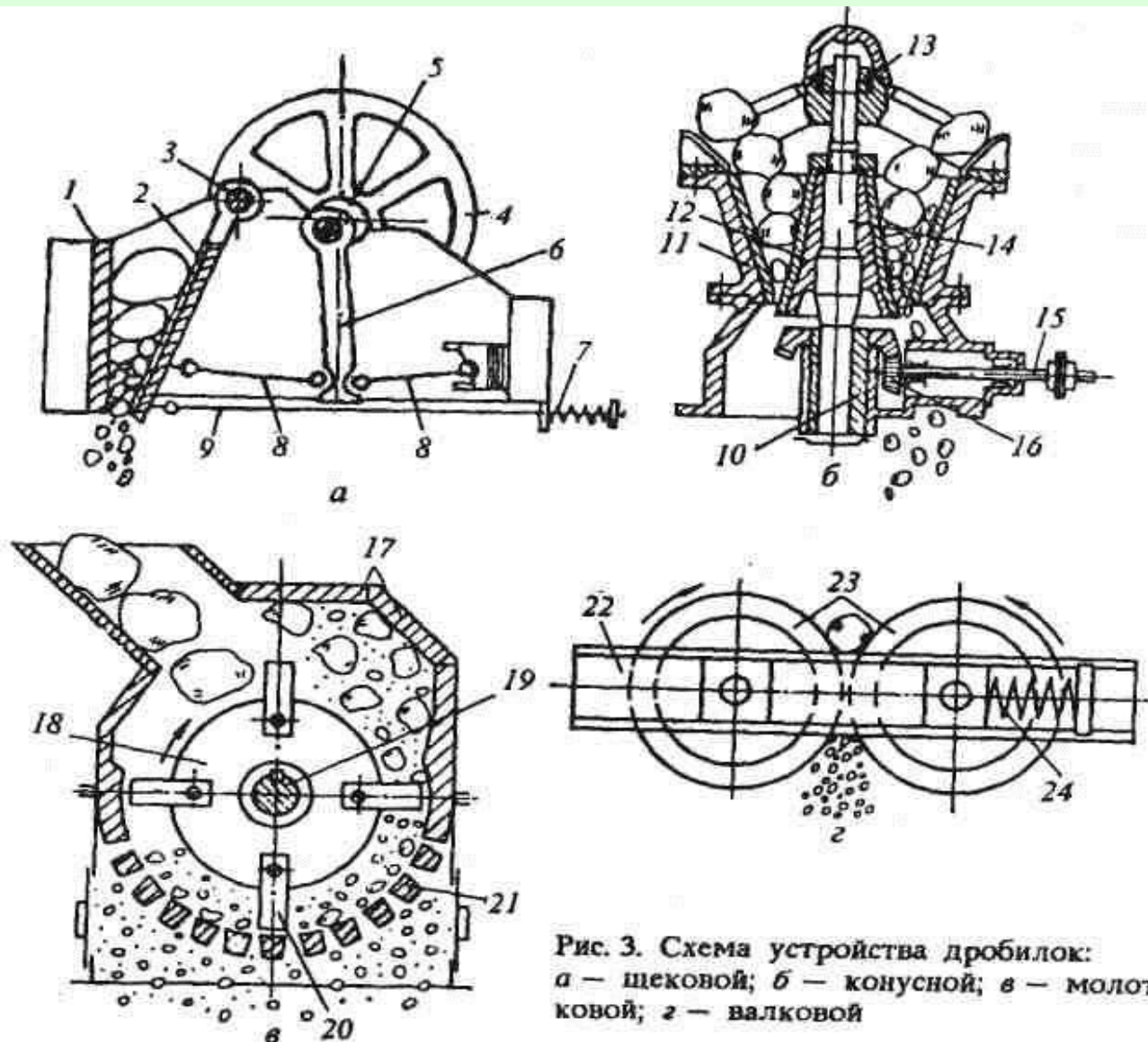
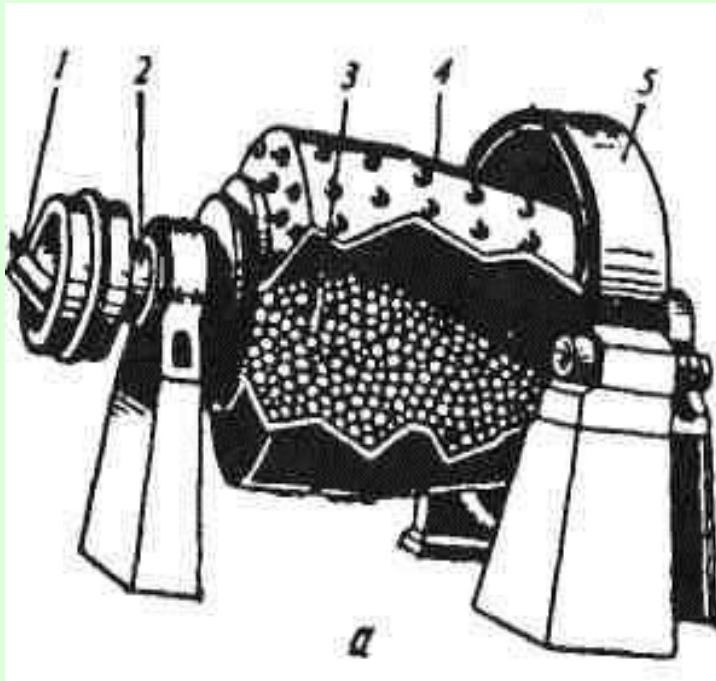
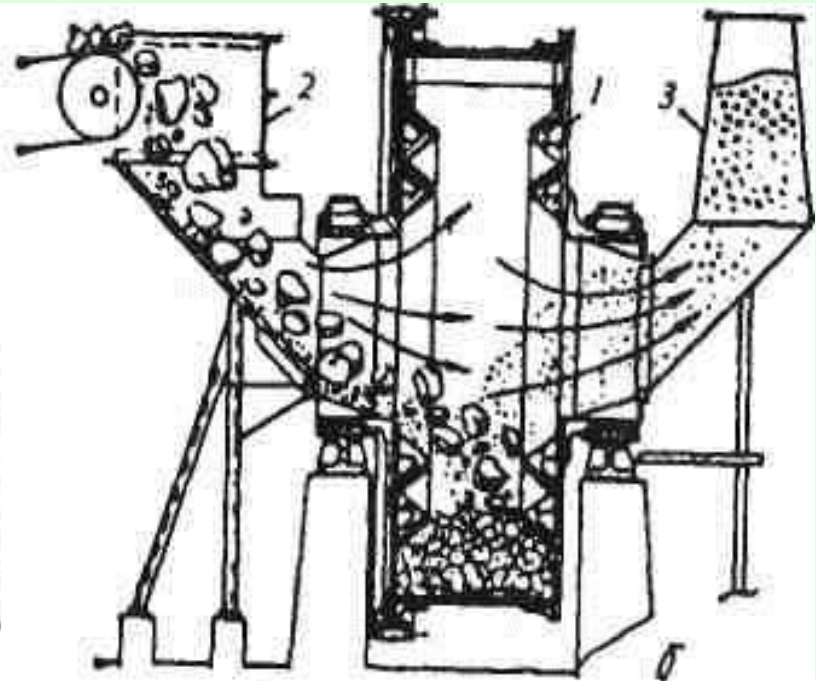


Рис. 3. Схема устройства дробилок:
а — щековой; б — конусной; в — молот-
ковой; г — валковой

1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА



Шаровая мельница



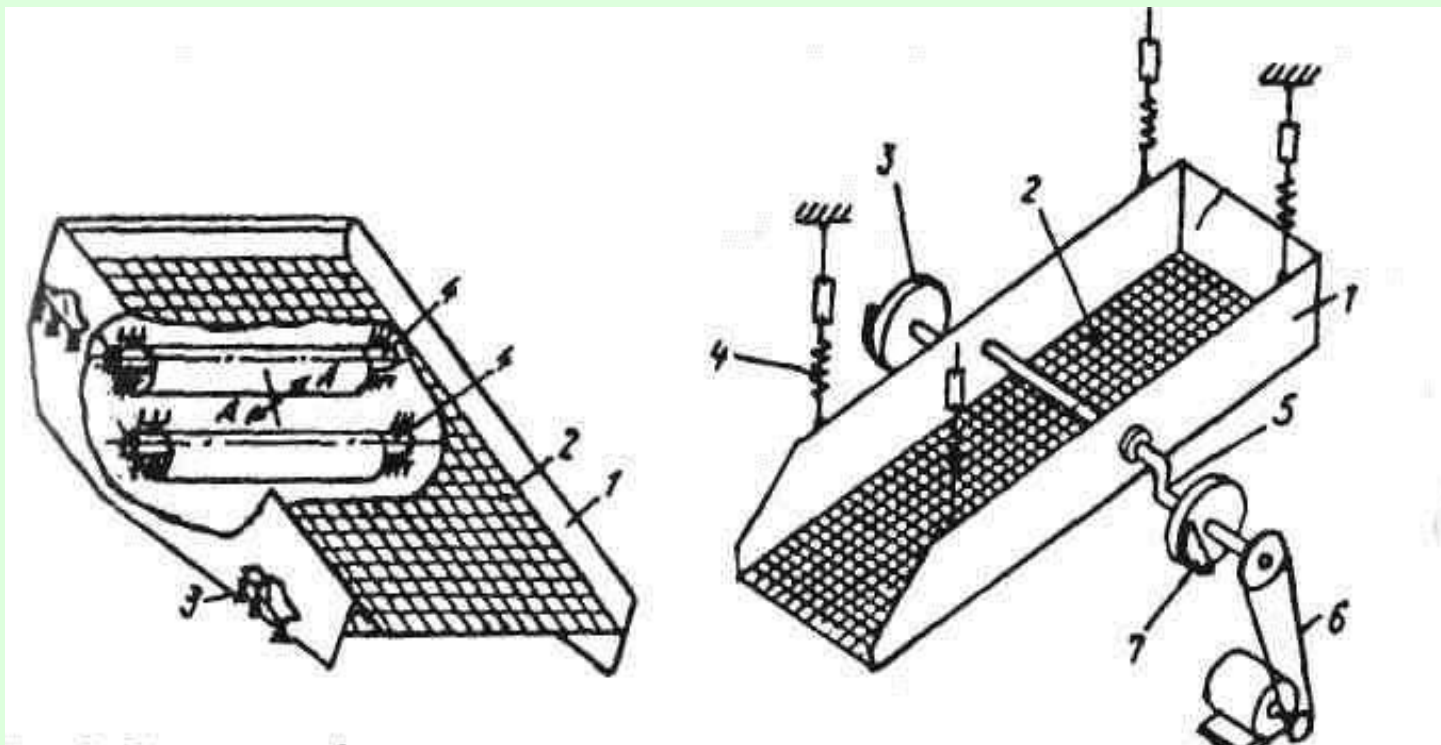
Мельница для
бесшарового помола

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 – *гидравлическая* 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

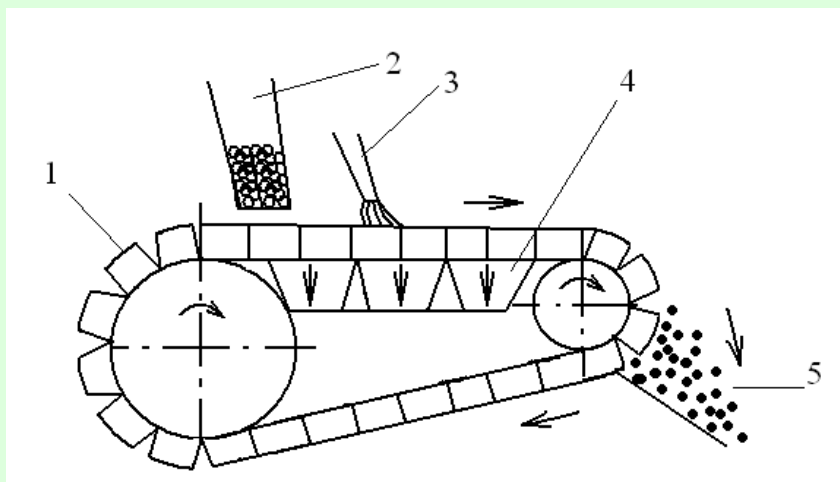
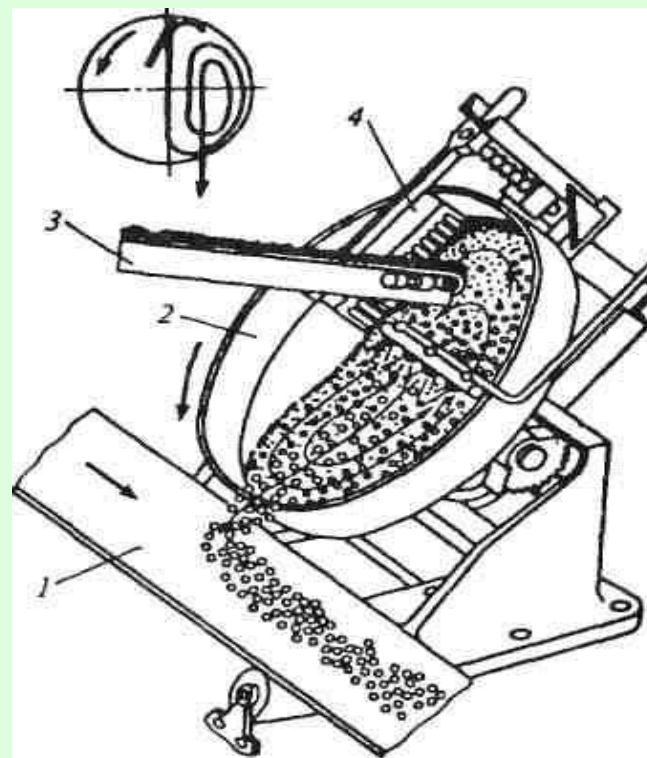


Схема агломерационной машины:

- 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.



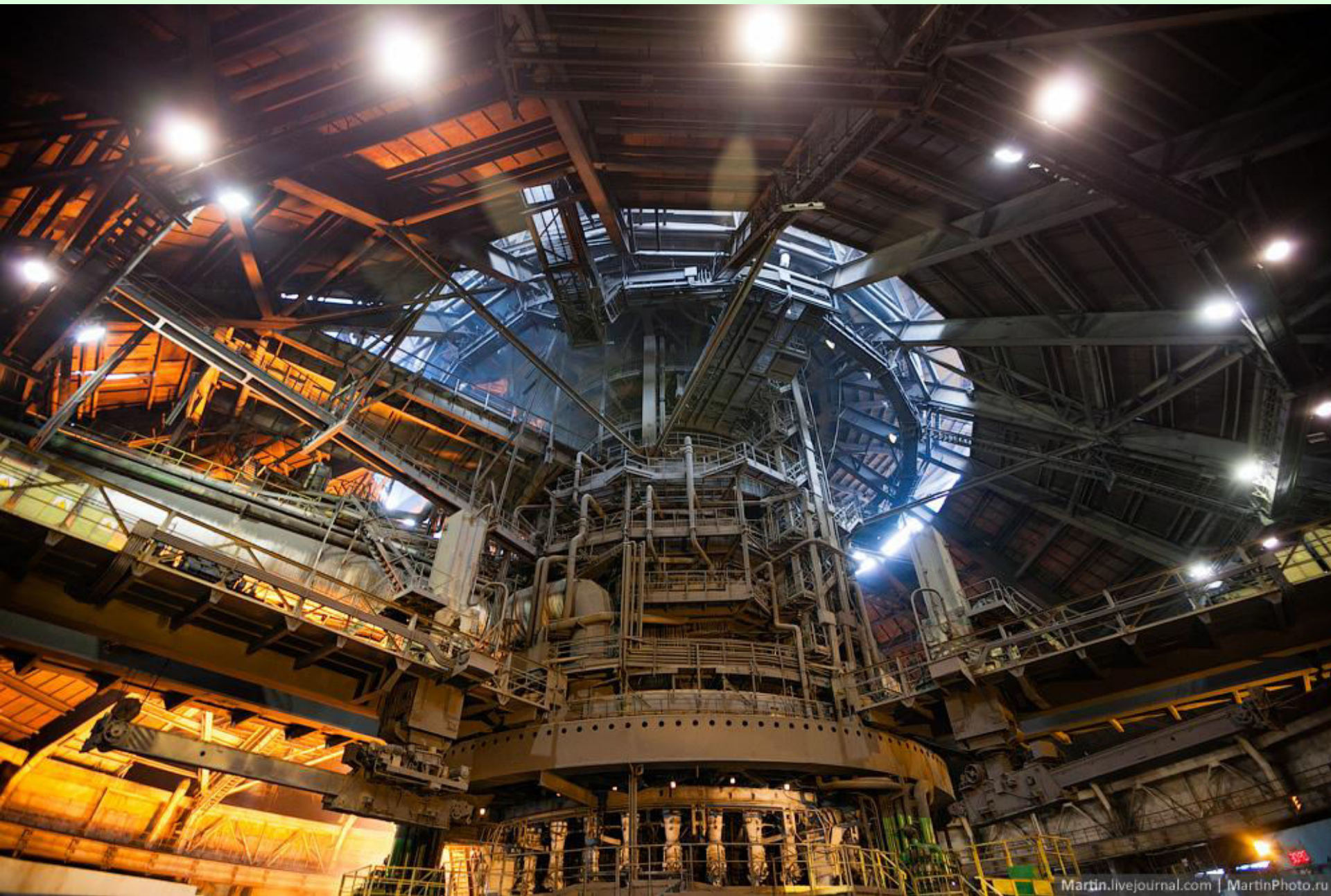
Сухая перегонка каменного угля коксующихся сортов в коксовых печах при 1000...1200°C (без доступа воздуха) в течение 15-20 ч.

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

сним засыпным аппаратом

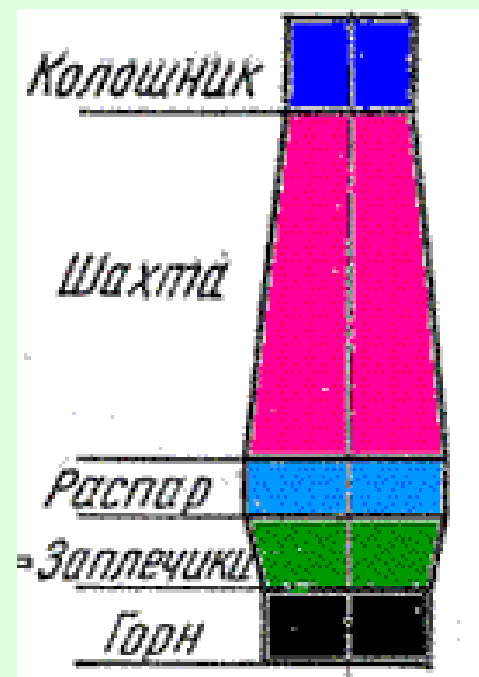
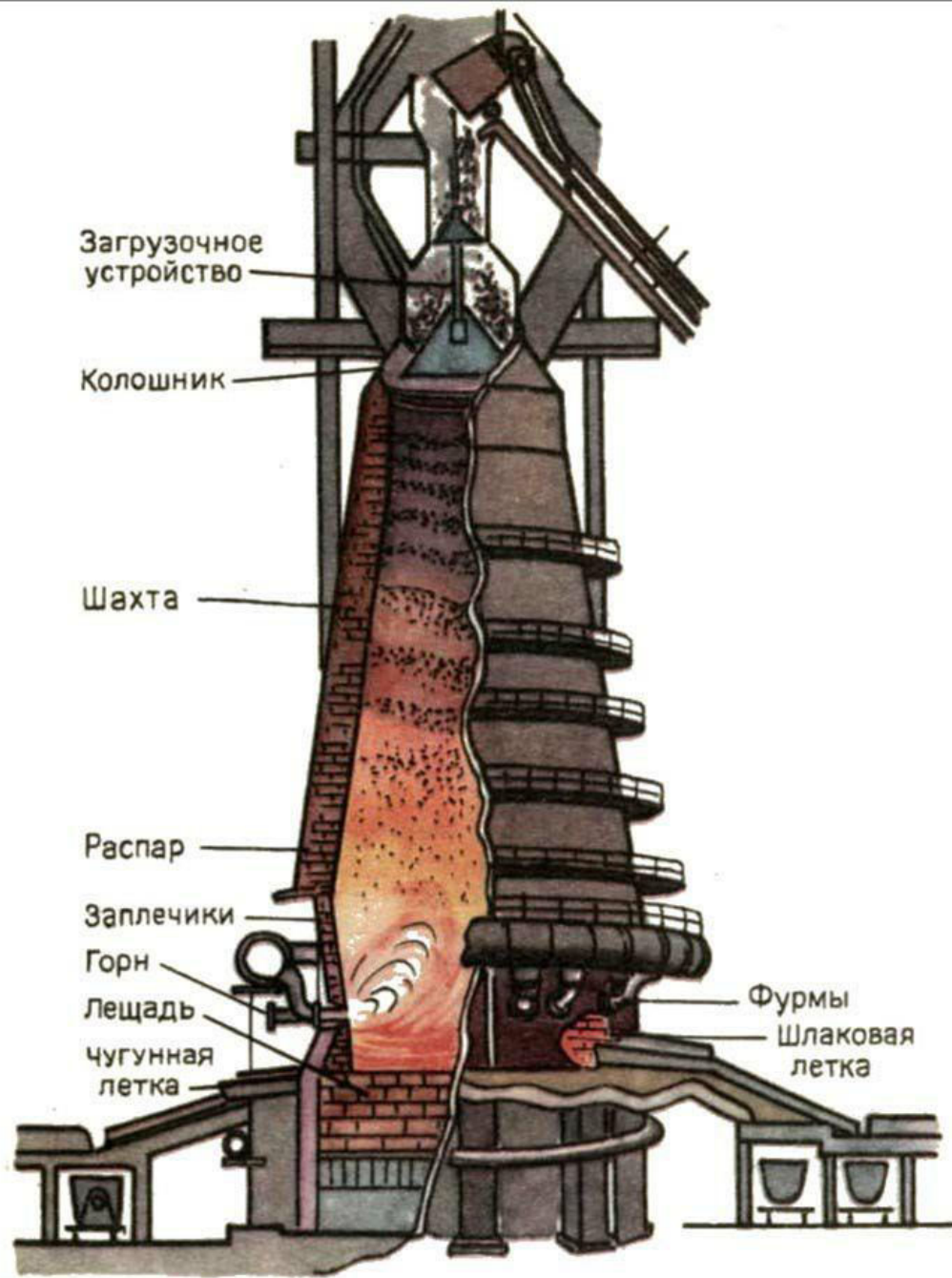


Схема доменной печи

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.

Газы всегда движутся по зонам с меньшим сопротивлением шихты.

При загрузке необходимо учитывать:

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

Слой агломерата менее газопроницаем, чем слой кокса.

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.

Подача



4 скипа
(иногда 3, 5, 6)



рудная часть
(агломерата)



КОКС

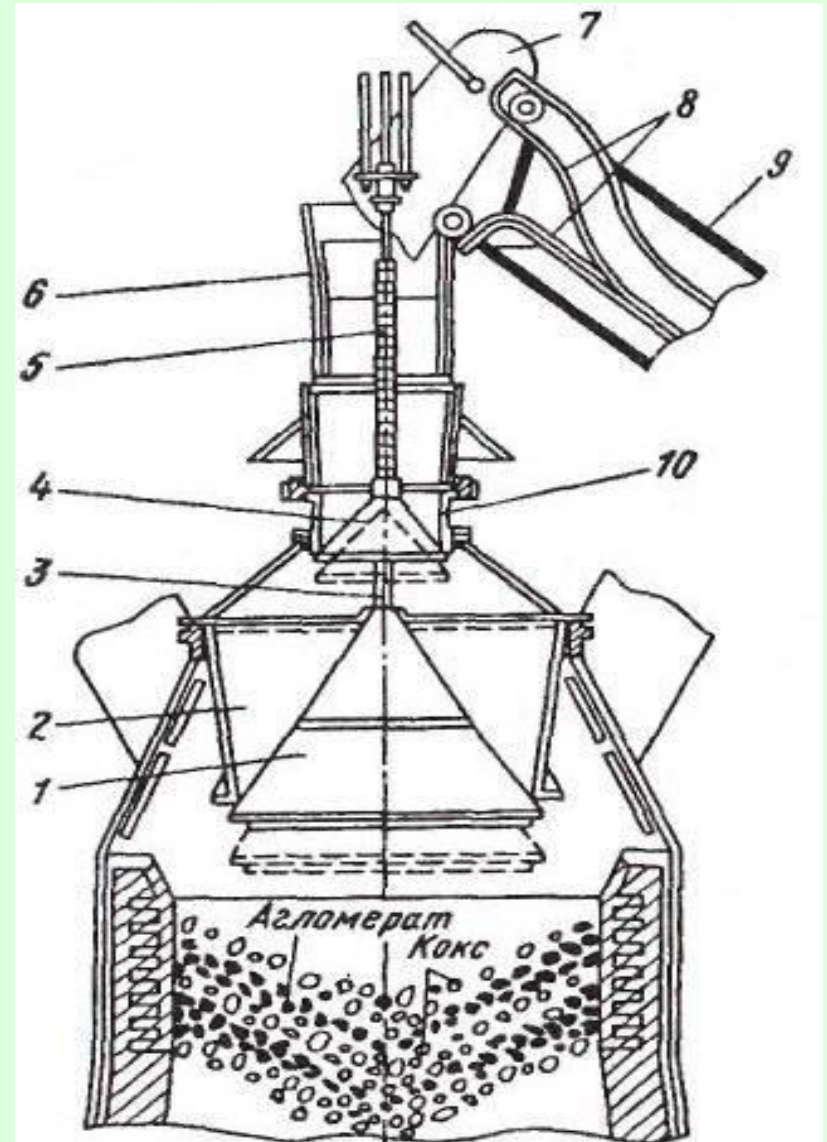


1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

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.

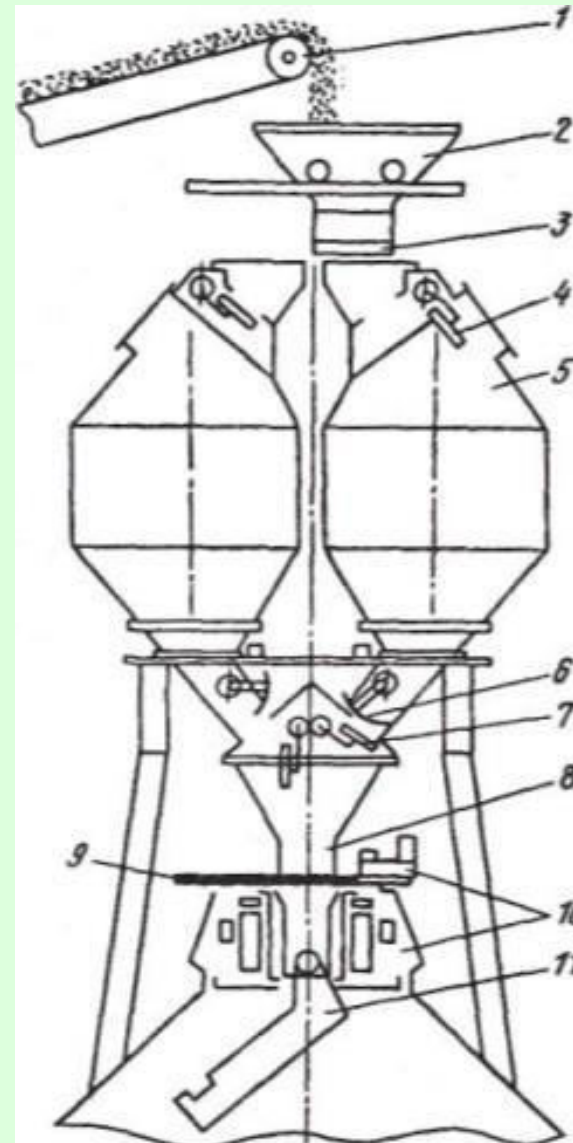
Для этого способа загрузки используют не термин "подача", а "**цикл загрузки**".

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
газоотсекающий
клапан;

5 - бункер;

6 - затвор бункера;

7 - нижний
газоотсекающий
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.

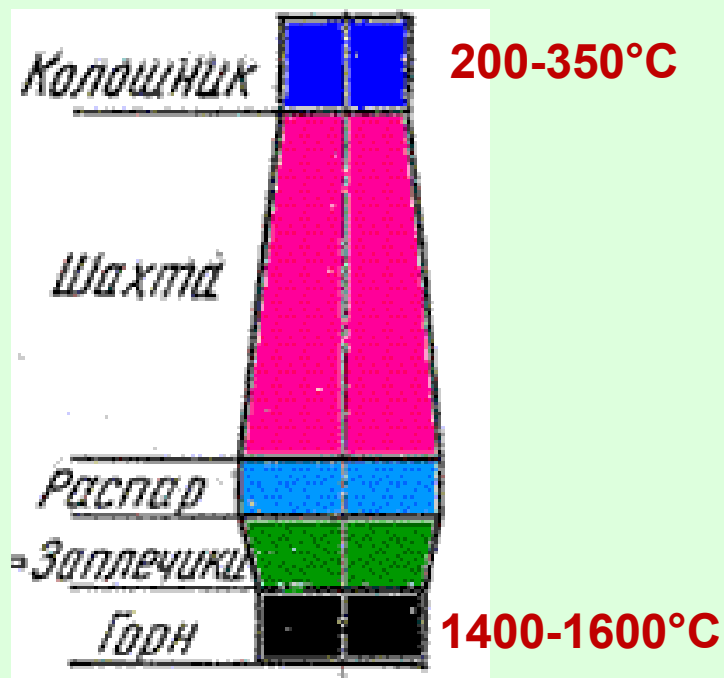
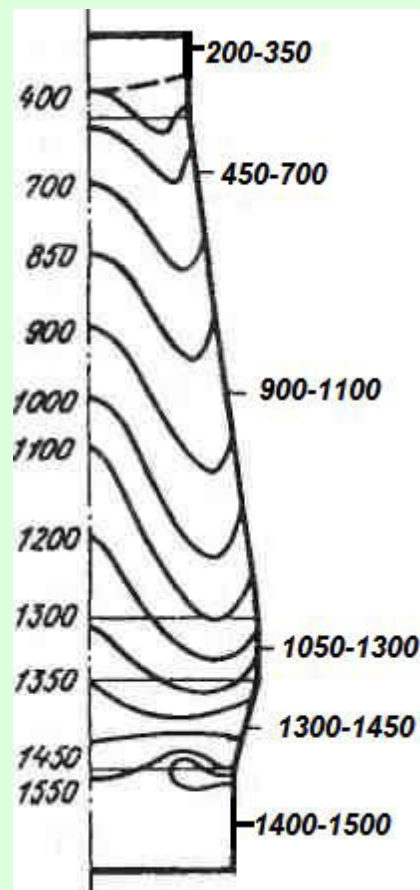


Схема доменной печи

Тепло вносится в печь:

- нагретым дутьем,
- при сгорании топлива.

В поперечном сечении печи температура не постоянна.

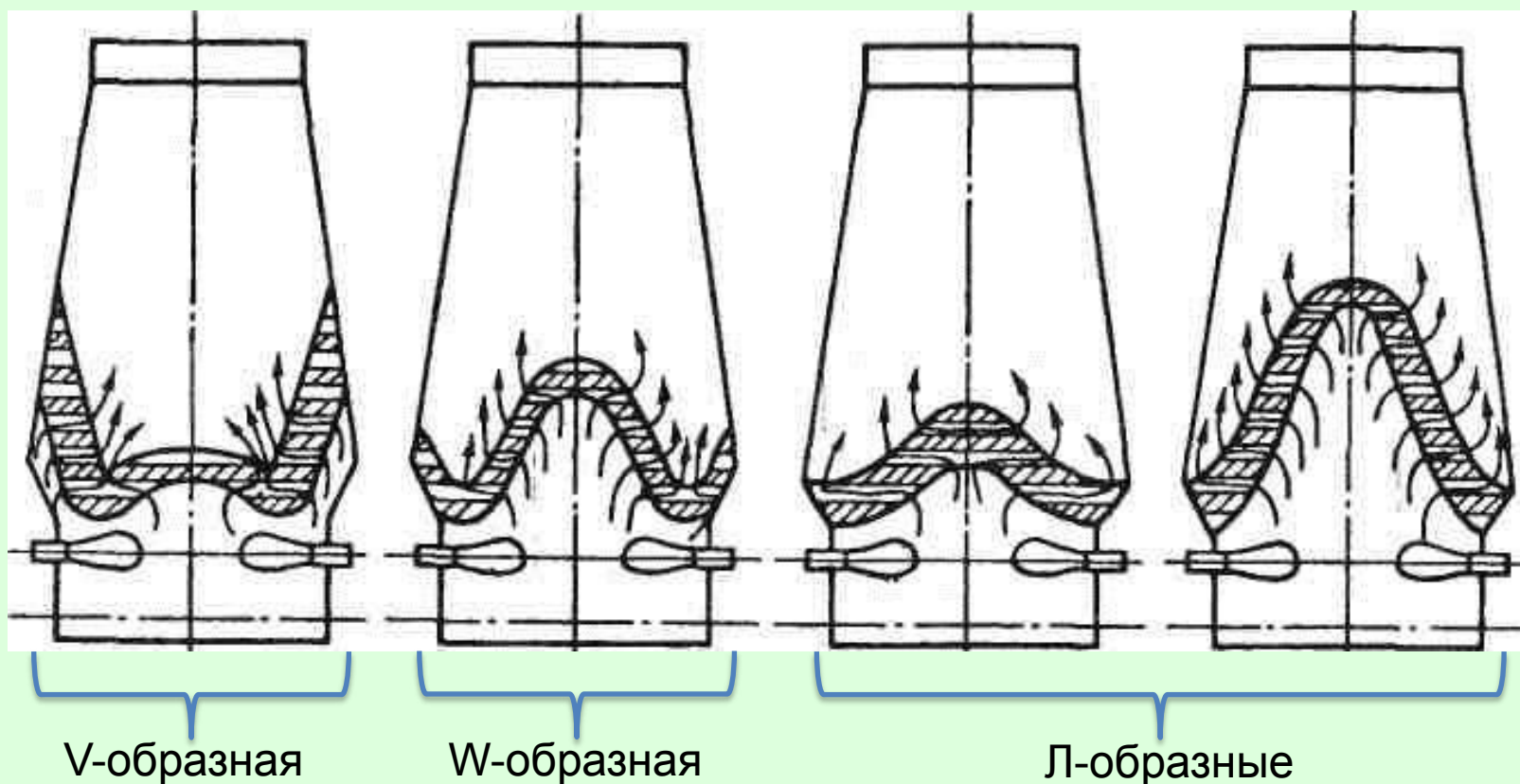


Распределение температуры газов по высоте и сечению доменной печи (один из вариантов)

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

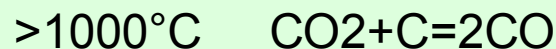
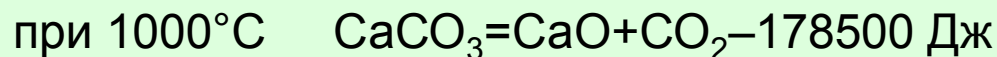
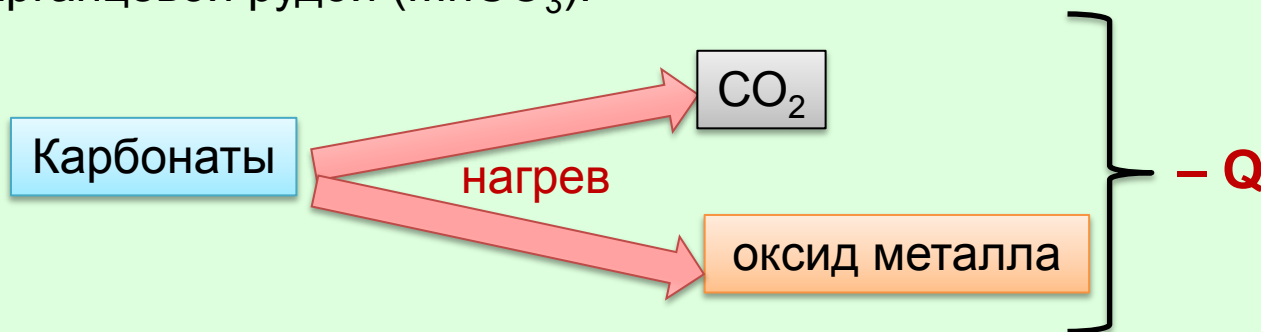
Шихта содержит:

- 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).



1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

Процессы восстановления

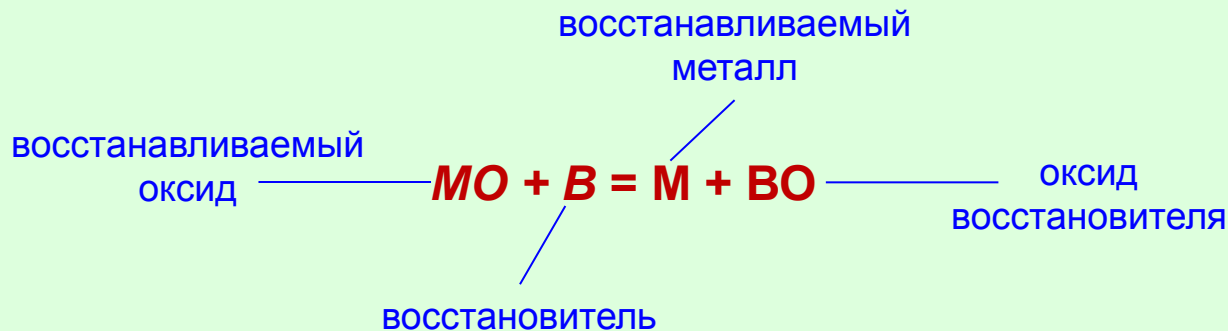
1. Восстановление железа

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 .

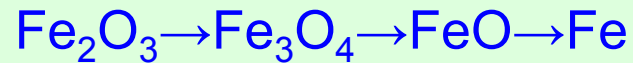
Основная задача доменного процесса – обеспечение как можно более полного извлечения железа из оксидов путем их восстановления.

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

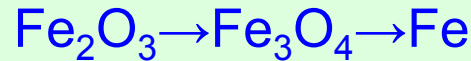


1 ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА

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

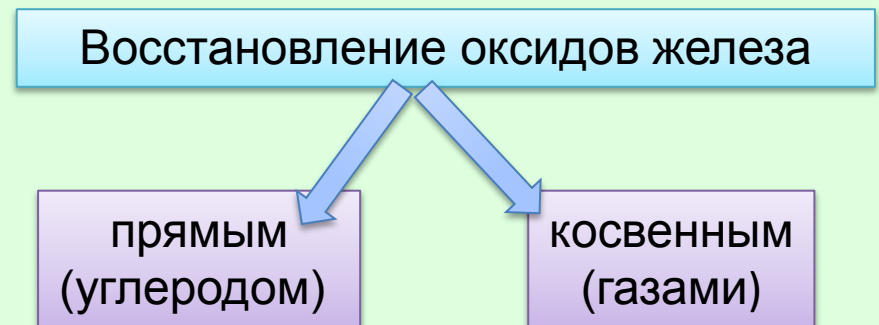


т.к. ниже 570°C оксид FeO неустойчив (Fe₃O₄ и Fe), схема восстановления:



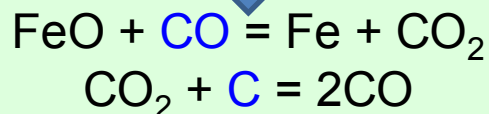
Восстановители оксидов железа в
доменной печи:

- 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 ($> 900-1000^\circ\text{C}$).

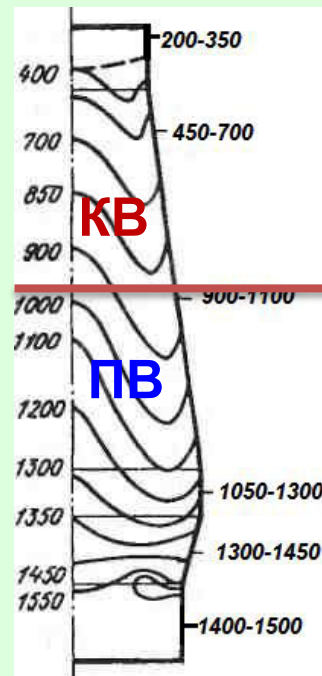
Реакции косвенного восстановления оксидом углерода:

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

- 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**.

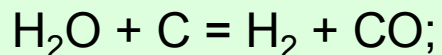
При $T < 810^\circ\text{C}$ — **CO** является более сильным восстановителем, чем **H**.

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

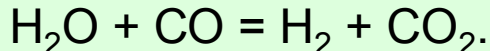
1) благодаря малым массе и размерам молекулы H_2 более подвижны, чем CO — это заметно увеличивает поверхность взаимодействия.

2) молекулы H_2 многократно участвуют в процессе восстановления.

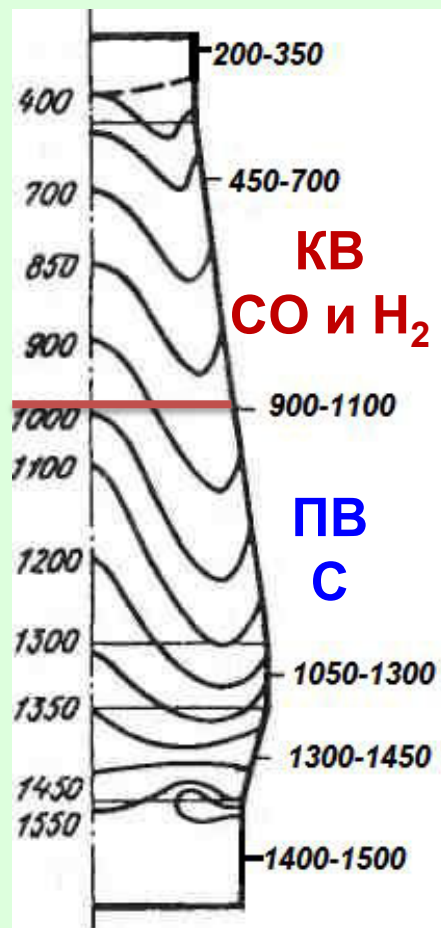
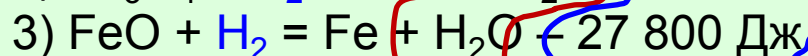
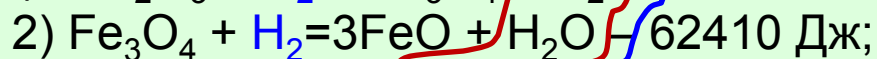
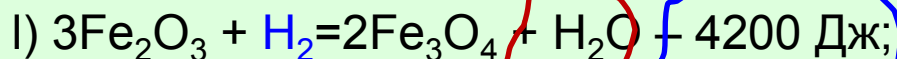
При $T \geq 850-1000^\circ\text{C}$:



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

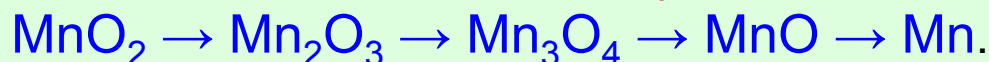
1. Восстановление марганца

При выплавке перепельных чугунов и ферромарганца

Mn попадает в доменную печь:

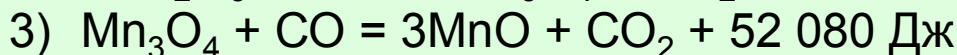
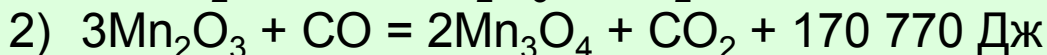
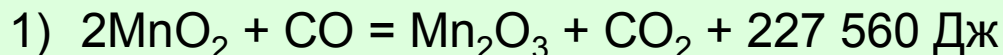
- с агломератом ($\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$, $(\text{MnO})_2 \cdot \text{SiO}_2$),
- с марганцевыми рудами (MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4).

Восстановление Mn из оксидов протекает ступенчато от высших к низшим:

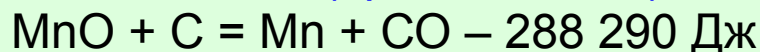


Косвенное восстановление:

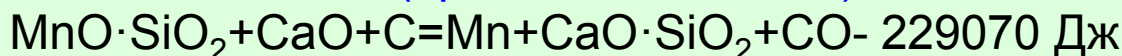
- высших оксидов (при $T=200-500^\circ\text{C}$)



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



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



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

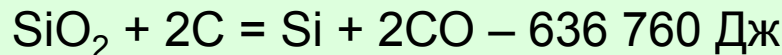
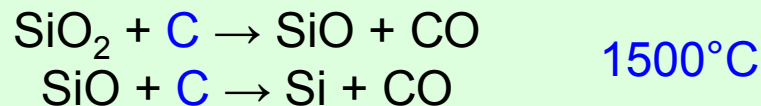
Кремний присутствует в рудах в виде:

- кремнезема,

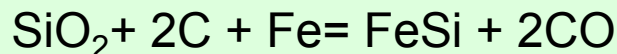
в агломерате – в виде:

- 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

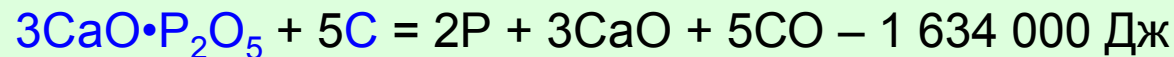
Процессы восстановления

1. Восстановление фосфора

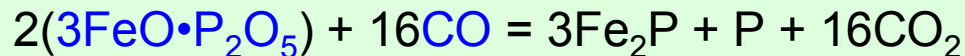
Фосфор поступает в печь в виде $3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ и $3\text{FeO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$:

- 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.

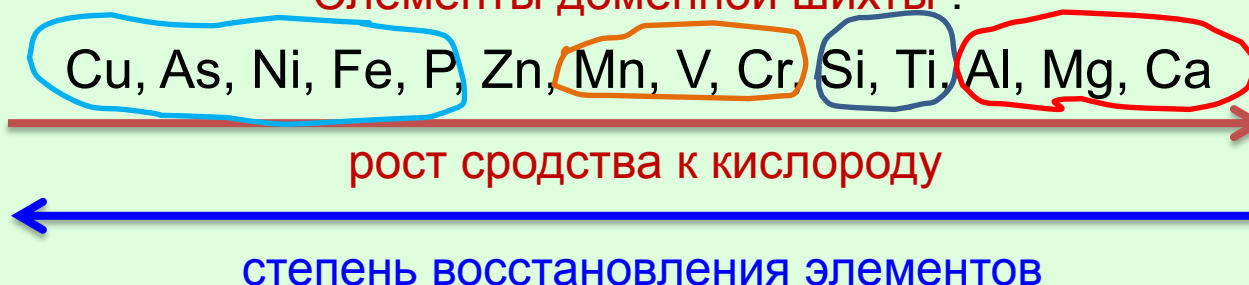
Передельные чугуны <0,15-0,30% P;
иногда 1,0-2,0%.

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.