

ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Металлургия – область науки, техники и отрасли промышленности, охватывающая процессы получения металлов из руд или других материалов, а также процессы, связанные с изменением химического состава и строения (структуры), а, следовательно, и свойств металлов и сплавов в соответствии с их назначением.

ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА

Чугуном называется сплав железа с углеродом, который содержит более 2,14% углерода, а также постоянные примеси: полезные – кремний и марганец и вредные – фосфор и серу.

10. ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Руда, флюсы, топливо (шихта) и воздух.

Р у д а состоит из смеси железосодержащих минералов и пустой породы (кремнезем SiO_2 глинозем Al_2O_3 , оксид кальция CaO , оксид магния MgO). Пригодность руды зависит от содержания железа, состава пустой породы и концентрации вредных примесей (**сера придает чугуна краснотомкость – хрупкость в горячем состоянии, фосфор – хладнотомкость – хрупкость в холодном состоянии**). Чем плотнее и менее пориста руда, тем хуже ее восстановимость.

Основные типы руд:

Магнитный железняк (магнетит) содержит **45-70% железа** в виде оксида Fe_3O_4 , обладает магнитными свойствами, высокой плотностью и трудно восстанавливается.

Красный железняк (гематит) содержит **50-60% железа** в виде безводного оксида Fe_2O_3 , мало вредных примесей, легче восстанавливается (лучшие железные руды).

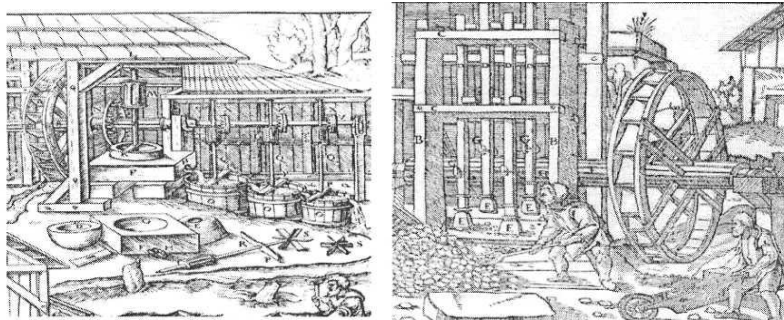
Бурый железняк содержит **30% железа** в водном оксиде железа $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, пустая порода обычно загрязнена серой и фосфором, но руда хорошо восстанавливается.

Шпатовый железняк (сидерит) содержит **30-40% железа** в виде карбоната FeCO_3 , мало серы и фосфора, хорошо восстанавливается.

Доменный процесс рационален, если железа не менее 60% в руде, поэтому основные операции подготовки руд следующие.

Дробление и сортировка. Добываемые на рудниках куски руды достигают размеров 1,2 - 1,5 м. Дробление руды проводят в несколько приемов: крупное - до размера кусков 100 - 300 мм, среднее - (40 - 60 мм), мелкое - (2 - 25 мм) и тонкое - менее 1 мм. Для крупного и среднего дробления используют метод раздавливания кусков, который осуществляют в щековых, конусных или валковых дробилках, принцип действия которых показан на рис. 24. Мелкое и тонкое дробление или измельчение осуществляют в барабанных шаровых или стержневых мельницах, в которых удар сочетается с истиранием. В будущем найдут широкое применение мельницы, в которых измельчение руды будет осуществляться вибрацией с частотой до 3000 колебаний в минуту.

Это чрезвычайно трудоемкая работа, которая была механизирована уже в средние века.



На старинных гравюрах изображено, как энергия падающей воды использовалась для дробления руды на куски и размол ее в тонкий порошок с последующей промывкой и отделением нужной составляющей гидравлическим способом.

Дробление и сортировка руд по крупности служат для получения кусков оптимальной для плавки величины на различных машинах (щековых или конусных дробилках, в шаровых мельницах и др.). Размельченную руду сортируют по крупности грохочением, подобным просеиванию, на различных по конструкции классификаторах и гидроциклонах.

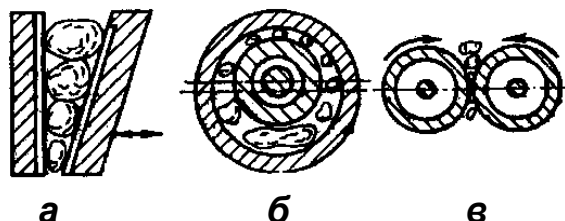


Рис. 24. Схема измельчения руды в дробилках: а - щековой; б - конусной; в - валковой

Обогащение - удаление пустой породы и повышение содержание железа - проводят путем промывки, гравитации (отсадкой) и магнитной сепарации (рис. 25). Продукты обогащения подразделяются на концентрат (более 60% железа) и хвосты с малой долей железа.

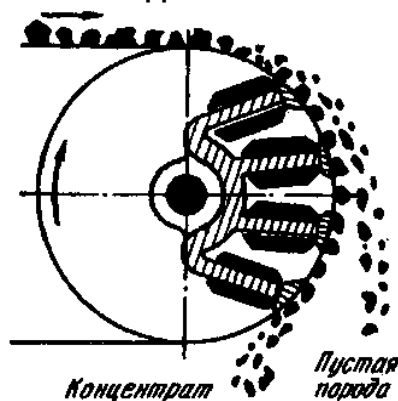


Рис. 25. Схема магнитного обогащения крупных руд

Окусование для переработки концентратов, полученных после обогащения, в кусковые материалы необходимых размеров проводится агломерацией и окатыванием.

Агломерация - спекание при температуре 1300 -1500° С шихты, состоящей из железной руды, известняка, коксовой мелочи, влаги, колошниковой пыли и окалины в кусковой пористый офлюсованный материал – агломерат для улучшения ее металлургических свойств.

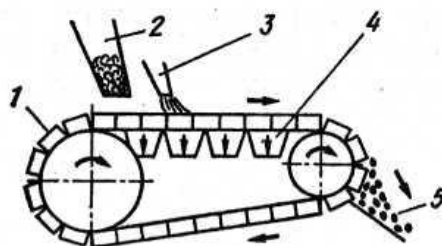


Рис. 26. Схема агломерационной машины: 1 — паллеты; 2 — шихтовый бункер; 3 — горелка; 4 — вакуум-камеры (экспаустеры) ; 5 — агломерат

Эти материалы увлажняются и подаются в агломерационную машину. Агломерационная машина ленточного типа состоит из большого числа паллетспекательных тележек с отверстиями в днище,двигающихся по направляющим рельсам (рис. 26). В загруженной паллете после зажигания газовыми горелками начинается горение топлива, причем фронт горения распространяется сверху вниз. Воздух просасывается сквозь слой шихты благодаря действию специальных вакуумных устройств, называемых эксгаустерами.

О к а т ы в а н и е - получение окатышей диаметром до 30мм - применяют для обработки измельченных концентратов.

Флюсы - это материалы, вводимые в доменную печь для понижения температуры плавления пустой породы и образования легкоплавкого шлака, который удаляется из печи в жидком состоянии, унося с собой золу, пустую породу и вредные примеси (серу).

Выбор флюсов (известняк CaCO_3 , реже доломит $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, кремнезем, кварц, песчаник SiO_2) зависит от химического состава пустой породы, требуемой жидкотекучести шлака, а также от вида получаемого чугуна.

Основным *топливом* для доменной плавки служит кокс – продукт сухой перегонки (рис.27) коксующегося угля при температуре 1000-1200° С без доступа воздуха: а также используют угольную пыль, мазут, природный газ.

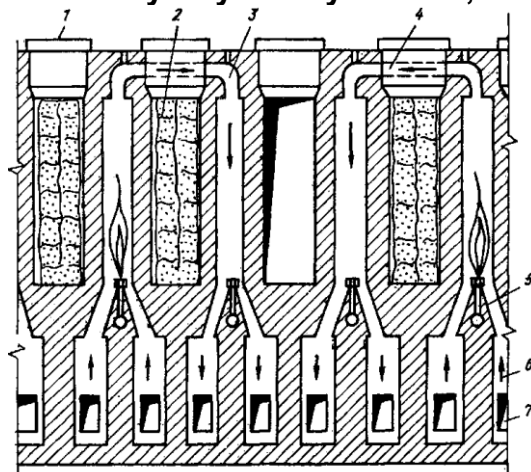


Рис. 27. Схема коксовой батареи

1 - люки для загрузки угольной шихты; **2** - коксовые камеры; **3** - обогревательные каналы простенков; **4** - переходные каналы; **5** - подача горючего газа; **6** - регенераторы для подогрева воздуха; **7** - борова для отвода продуктов сгорания

11.СУЩНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ЧУГУНА

Чугун получают путем восстановления железа из окислов руд в доменных (высоких) печах. Доменная печь является непрерывно работающим плавильным агрегатом шахтного типа. Сверху в нее загружают железорудные материалы, кокс и отводят образующиеся газы, а снизу через фурмы подают горячий воздух и через летки выпускают жидкие продукты плавки – чугун и шлак. Внутренний объем печи, ограниченный огнеупорной кирпичной кладкой (футеровкой) обычно называют полезным объемом. Наиболее крупные доменные печи имеют полезный объем более **5000 м³** и их производительность достигает **12000 т чугуна в сутки**, т.е. ежеминутно выплавляется около **9 т чугуна**. Полезная высота доменной печи достигает 35м.

Доменная печь имеет стальной кожух, выложенный внутри огнеупорным шамотным кирпичом. Рабочее пространство печи (рис.28) включает колошник 6, шахту 5, распар 4, заплечики 3, горн 1, лещады 15. В верхней части колошника находится засыпной аппарат 8, через который в печь загружают шихту (офлюсованный агломерат и окатыши). Шихту взвешивают, подают в вагонетки 9 подъемника, которые передвигаются по мосту 12 к

засыпному аппарату 8 и, опрокидываясь, высыпает шихту в приемную воронку 7 распределителя шихты. При опускании малого конуса 10 засыпного аппарата шихта попадает в чашу 11, а при опускании большого конуса 13 - в доменную печь, что предотвращает выход газов из доменной печи в атмосферу. Для равномерного распределения шихты в доменной печи малый конус и приемная воронка после очередной загрузки поворачиваются на угол, кратный 60° (подробнее рис. 29). При работе печи шихтовые материалы, проплавляясь, опускаются, а через загрузочное устройство в печь подаются новые порции шихты в таком количестве, чтобы полезный объем печи был заполнен, объем печи - это объем, занимаемый шихтой от лещади до нижней кромки большого конуса засыпного аппарата при его опускании.

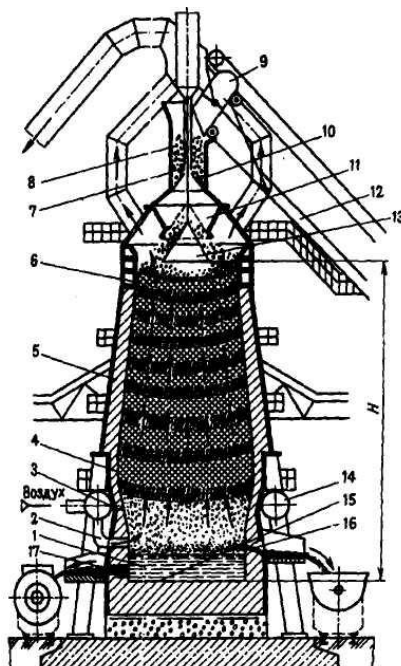


Рис. 28. Устройство доменной печи

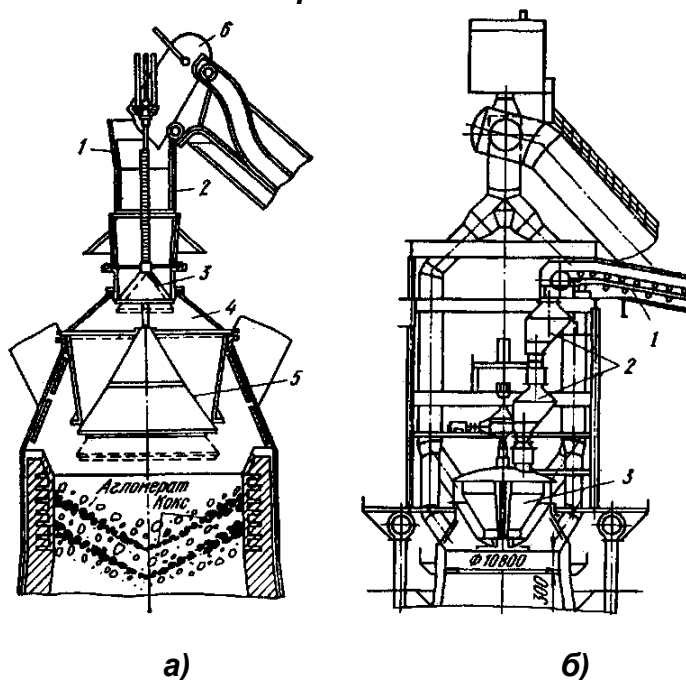


Рис. 29. Колошниковое устройство:

а) конструкция конусного засыпного аппарата доменной печи: 1 - приемная воронка; 2 - вращающаяся воронка малого конуса; 3 - малый конус; 4 - межконусное пространство; 5 - большой конус; 6 - скип;

б) конструкция засыпного аппарата доменной печи с транспортной подачей шихты: 1 - транспортер; 2 - бункеры с затворами; 3 - распределитель шихты

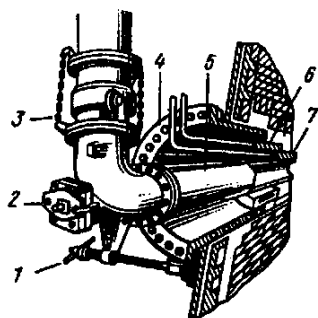


Рис.30. Фурменное устройство:

1 - механизм прижима фурменного устройства к амбразуре; 2 - гляделка; 3 - крепление колена; 4 - кадушка; 5 - сопло; 6 - амбразура; 7- фурма

В верхней части горна находятся фурменные устройства 14 (подробнее рис.30), через которые в печь поступает нагретый воздух, необходимый для горения топлива. Воздух нагревают для уменьшения потерь теплоты и снижения расхода кокса. Воздух поступает в доменную печь из воздухонагревателя, внутри которого имеются камера сгорания и насадка. Насадка выложена из огнеупорных кирпичей, так что между ними образуются вертикальные каналы. В камеру сгорания к горелке подается очищенный от пыли доменный газ, который сгорает и образует горячие газы.

Газы, проходя через насадку, нагревают ее и удаляются через дымовую трубу. Затем подача газа к горелке прекращается, и через насадку пропускается воздух, подаваемый турбовоздуходувной машиной. Воздух, проходя через насадку, нагревается до температуры 1000 ... 1200 °С и поступает к фурменному устройству 14, а оттуда через фурмы 2 - в рабочее пространство. Доменная печь имеет несколько воздухонагревателей: в то время как в одних насадках нагревается, в других насадка отдает теплоту холодному воздуху, нагревая его. После охлаждения насадки воздухом нагреватели переключаются.

Современный доменный цех, включающий до 8 - 10 печей, состоит из большого числа участков и агрегатов, предназначенных для подготовки и подачи шихты и дутья, уборки продуктов плавки и очистки отходящих газов.

Прием, хранение и усреднение железной руды, окатышей и флюсов проводят на расположенном вдоль всего цеха рудном дворе, с одной стороны которого находится разгрузочная, а между ним и доменными печами бункерная эстакада (рис. 31).

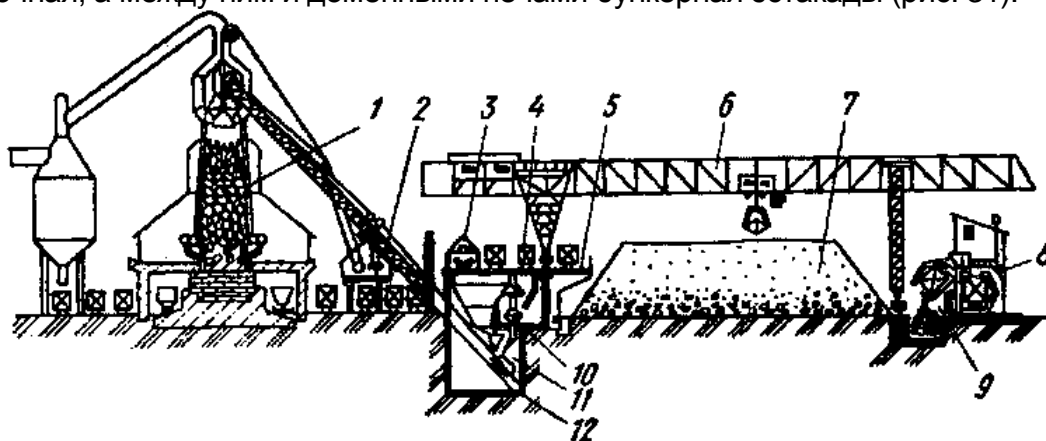
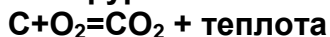


Рис. 31. Поперечный разрез доменного цеха:

1 - доменная печь; 2 - скиповый подъемник; 3 - галерея коксового трансфер-кара; 4 - перегрузочный вагон; 5 - бункерная эстакада; 6 - рудный мостовой перегружатель; 7 - штабель железорудной шихты; 8 - вагоноопрокидыватель; 9 - приемная траншея; 10 - вагон-весы; 11 - скиповая яма; 12 - скип

При доменной плавке происходит избирательное восстановление железа из руды, но одновременно из руды восстанавливаются также фосфор и в небольших количествах марганец и кремний; железо науглероживается и частично насыщается серой. В результате получается чугун – сплав железа с углеродом и с примесями (кремний, марганец, фосфор и сера). В доменной печи при движении шихты вниз, в зависимости от расположения ее по высоте, температуры в данной зоне и давления газов одновременно, переплетаясь друг с другом, но с разной интенсивностью на разных уровнях печи, происходят разные физико-химические процессы:

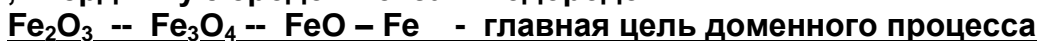
- испарение влаги;
- выделение летучих веществ;
- горение топлива вблизи фурм



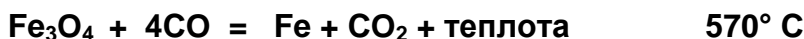
- разложение углекислых солей (компонентов шихты);



- восстановление железа и других элементов из окислов окисью углерода, твердым углеродом кокса и водородом



$3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2 + \text{теплота}$ - косвенное восстановление (60-70%)



$\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO} - \text{теплота} \quad 1000 - 1100^\circ \text{C}$ прямое восстановление (30-40%);

- науглероживание железа и образование чугуна,
 $3\text{Fe} + 2\text{CO} = \text{Fe}_3\text{C} + \text{CO}_2 + \text{теплота}$
 $3\text{Fe} + \text{C} = \text{Fe}_3\text{C} \text{ (цементит)}$

- шлакообразование.

Весь фосфор, попавший в доменную печь с сырыми материалами, восстанавливается и полностью переходит в чугун, поэтому регулирование содержания фосфора в чугуне возможно лишь *подбором* шихты.

Основным источником серы являются кокс, в меньшей степени руда и известь. Около половины серы удаляется с колошниковыми газами, но главная задача для удаления серы является необходимость перевода ее соединений в нерастворимые в металле с помощью соответствующего состава шлака (CaO - избыточное содержание извести).

12. ПРОДУКТЫ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

1. **Чугуны:** перedельный (80%) для передела в сталь и литейный (20%) для производства литейных отливок.

2. **Ферросплавы** – сплавы железа с кремнием, марганцем и др. элементами (ферромарганец и ферросилиций) для раскисления и легирования стали.

3. **Колошниковый (доменный) газ**, используемый в качестве газообразного топлива для нагрева воздуха, подаваемого в печь.

4. **Шлак** подвергают мокрой грануляции и получают шлакоцемент, шлакоблоки и др..

Стоимость кокса составляет 40-50% от стоимости чугуна. Расход кокса зависит от качества шихты, температуры нагрева дутья и его обогащения кислородом,

степени использования физического тепла и восстановительной способности газов (в среднем на 1т чугуна - 300-500кг кокса).

И н т е н с и ф и к а ц и я доменного процесса осуществляется:

- увеличением газопроницаемости шихты;**
- повышением качества кокса;**
- увеличением полезного объема доменных печей;**
- совершенствованием оборудования для подачи шихты;**
- обогащении дутья кислородом, использованием природного газа;**
- улучшением подготовки шихты, заменой железной руды агломератом и окатышами;**
- автоматизацией процесса плавки.**

ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ

Сталь – это сплав железа с углеродом, который содержит менее 2,14% С (обычно не более 1,3%), а также постоянные примеси: марганец, кремний, фосфор и сера.

Сталь является основным видом металла, применяемым для создания современной техники. Это объясняется тем, что сталь обладает высокими прочностью и износостойкостью, хорошо сохраняет приданную форму в изделиях, сравнительно легко поддается различным видам обработки. Кроме того, основной компонент стали - железо - является широко распространенным элементом в земной коре.

13.СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ

Содержание углерода и примесей в стали значительно ниже, чем в чугуне (табл. 5).

Состав передельного чугуна и низкоуглеродистой стали, % Таблица 5

Материал	C	Si	Mn	P	S
Передельный чугун	4.4,4	0,56. 1,26	До 1,75	0,10... 0,3	0,03 ...0,07
Сталь низкоуглеродиста	0,120,25	0,12.0,3	0,3... 0,9	0,05	0,050

Сущностью любого металлургического передела чугуна в сталь является снижение содержания углерода и примесей путем их избирательного окисления и перевода в шлак и газы в процессе плавки.

Основными материалами для производства стали являются передельный чугун и стальной лом (скрап).

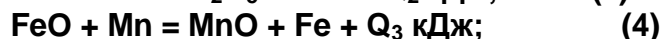
В процессе плавки стали происходит взаимодействие между металлической [], шлаковой () и газовой фазами и футеровкой плавильного агрегата (основной или кислой), различными по агрегатному состоянию и химическому составу. В результате этого взаимодействия осуществляется переход химических элементов из одной фазы в другую. Обменные процессы сопровождаются химическими превращениями, главным образом на границе металлической фазы со шлаком. Металлическая фаза состоит из расплава химических элементов, шлаковая - из расплава оксидов и их соединений. Поэтому переход элемента из одной фазы в другую возможен только при протекании химической реакции образования или восстановления оксида. Так как примеси по своим физико-химическим свойствам различны, то для их удаления в плавильном агрегате создают определенные условия, используя основные законы физической химии.

В соответствии с законом действующих масс скорость химических реакций пропорциональна концентрации реагирующих веществ. Поскольку в наибольшем количестве в чугуне содержится железо, то оно окисляется в первую очередь при взаимодействии чугуна с кислородом в сталеплавильной печи:



Одновременно с железом окисляются Si, P, C, Mn и др.

Образующийся оксид железа при высоких температурах отдает свой кислород более активным элементам - примесям в чугунах, окисляя их:



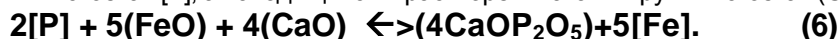
Чем больше оксида железа содержится в жидком металле, тем активнее окисляются примеси. Для ускорения окисления примесей в сталеплавильную ванну добавляют железную руду, окалину, содержащие много оксидов железа. Таким образом, основное количество примесей окисляется за счет кислорода оксида железа.

После расплавления шихты в сталеплавильной печи образуются две несмешивающиеся среды: жидкий металл и шлак.

Нерастворимые соединения в зависимости от плотности будут переходить либо в шлак, либо в металл. Изменяя состав шлака, можно менять соотношение между количеством примесей в металле и шлаке так, что нежелательные примеси будут удаляться из металла в шлак. Убирая шлак с поверхности металла и наводя новый путем подачи флюса требуемого состава, можно удалять вредные примеси (серу, фосфор) из металла. Поэтому **регулирование состава шлака с помощью флюсов является одним из основных путей управления металлургическими процессами.**

Используя изложенные законы, процессы выплавки стали осуществляют в несколько этапов.

Первый этап - расплавление шихты и нагрев ванны жидкого металла. На этом этапе температура металла невысока; интенсивно происходят **окисление железа, образование оксида железа и окисление им примесей Si, P, Mn** по реакциям (1) - (4). Фосфор удаляется благодаря присутствию шлаков с большим содержанием CaO и FeO, интенсивному перемещению металла и шлака при сравнительно невысоких температурах. Принято компонент, находящийся в растворе металла, обозначать в прямых скобках [P], а находящийся в растворе шлака - в круглых скобках (CaO).



Второй этап - "кипение" металлической ванны - начинается по мере ее прогрева до более высоких, чем на первом этапе, температур.

Образующийся в металле оксид железа реагирует с углеродом по реакции (5), а **пузырьки оксида углерода CO выделяются из жидкого металла, вызывая "кипение" ванны** (рис.32). При "кипении" уменьшается содержание углерода в металле до требуемого, выравнивается температура по объему ванны, частично удаляются неметаллические включения, прилипающие к всплывающим пузырькам CO, а также газы, проникающие в пузырьки CO. Все это способствует повышению качества металла. Поэтому этап "кипения" ванны является основным в процессе выплавки стали.

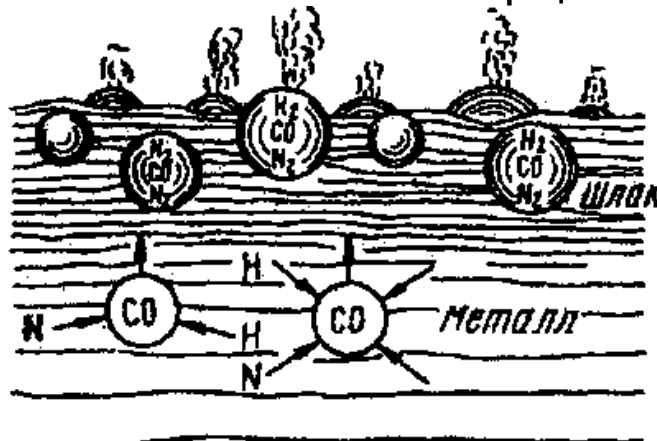
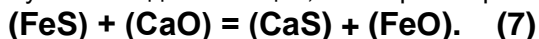


Рис. 32. Схема удаления газов из жидкого металла в процессе кипения

В этот же период создаются условия для удаления серы из металла. Сера в стали находится в виде сульфида [FeS], который растворяется также в основном шлаке (FeS). Чем выше температура, тем большее количество FeS растворяется в шлаке, т.е.

больше серы переходит из металла в шлак. **Сульфид железа**, растворенный в шлаке, взаимодействует с оксидом кальция, также растворенным в шлаке:



Эта же реакция протекает на границе металл - шлак между сульфидом железа в стали $[\text{FeS}]$ и (CaO) в шлаке:

$$[\text{FeS}] + (\text{CaO}) = (\text{CaS}) + (\text{FeO}). \quad (8)$$

Образующееся соединение **(CaS) растворимо в шлаке, но не растворяется в железе**, поэтому сера удаляется в шлак.

Третий этап (завершающий) - раскисление стали - заключается в восстановлении оксида железа, растворенного в жидком металле. При плавке повышение содержания кислорода в металле необходимо для окисления примесей, но в готовой стали кислород - вредная примесь, так как понижает механические свойства стали, особенно при высоких температурах.

Легирование стали осуществляют введением ферросплавов или чистых металлов в необходимом количестве в расплав. Легирующие элементы (Ni, Co, Mo, Si), сродство к кислороду у которых меньше, чем у железа, при плавке и разливке практически не окисляются, и поэтому их вводят в печь в любое время плавки (обычно вместе с остальной шихтой). Легирующие элементы, у которых сродство к кислороду больше, чем у железа (Si, Mn, Al, Cr, V, Ti и др.), вводят в металл после раскисления или одновременно с ним в конце плавки, а иногда непосредственно в ковш.

14. ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ

1. **Металлошихта (перелитейный чугун в твердом и жидком состоянии, стальной лом (скрап), иногда железная руда).**

2. **Металлодобавки (ферросплавы для раскисления и легирования).**

3. **Флюсы - известняк способствует возникновению шлака, боксит и плавиковый шпат для жидкотекучести.**

4. **Окислители – газообразные (кислород, печная атмосфера), твердые окислители (железная руда, агломерат, окатыши, прокатная окалина).**

Сталь производится:

- в кислородных конвертерах (до 60%);

- в мартеновских печах (7%);

- в электропечах (33%).

15. ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ В КОНВЕРТЕРЕ

В конвертерном производстве стали 70-80% металлошихты составляет жидкий чугун, остальное металлолом. Вместимость от 50 до 500 тонн. Основой конверторного производства является обработка жидкого чугуна газообразным окислителем в результате продувки кислородом сверху через водоохлаждаемую фурму в конвертере с основной футеровкой.

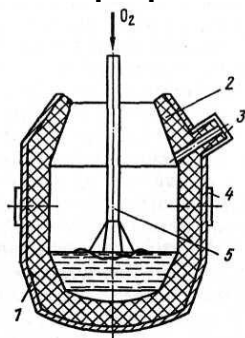


Рис.33. Схема кислородного конвертера: 1 - корпус конвертера, изготовленный из стальных, сваренных встык листов толщиной до 100 мм; 2 - сужающаяся горловина; 3 - сталевыпускное отверстие; 4 – опорный пояс; 5 – кислородная фурма

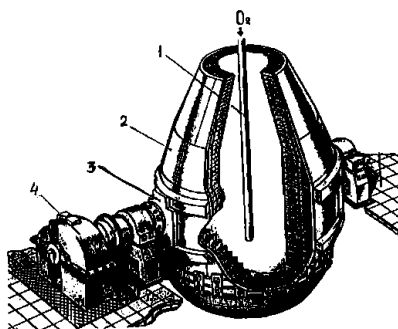


Рис. 34. Устройство кислородного конвертера

1 – водоохлаждаемая кислородная фурма; 2 – корпус; 3 – опорный пояс с цапфами; 4 – механизм провода

Фурмы могут быть односопловыми и многосопловыми.

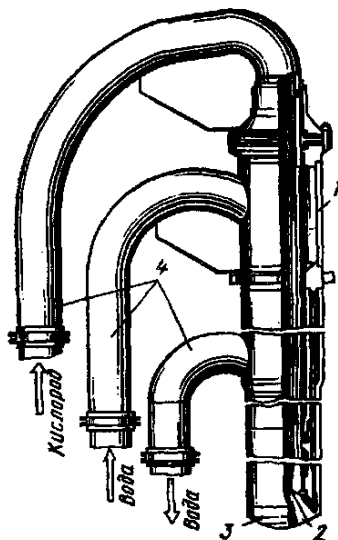


Рис.35 . Многосопловая фурма для верхней продувки:

1 - стальная труба; 2 - сопло Лавалья; 3 - сменная головка фурмы; 4 - металлорукава для подвода кислорода и воды

Продувка может осуществляться донным и комбинированным дутьем (рис.36).

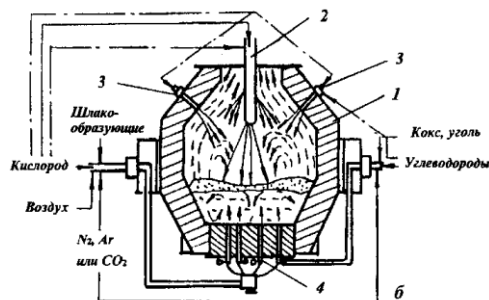
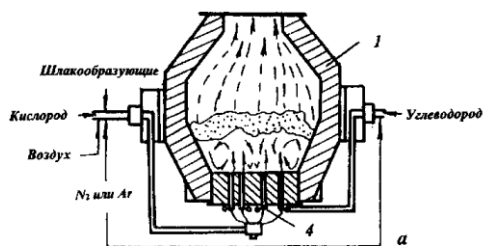


Рис. 36. Схема кислородно-конвертерного

процесса с донным (а) и комбинированным (б) дутьем: 1 - конвертер; 2 - верхняя фурма; 3 - боковые фурмы; 4 - донные фурмы

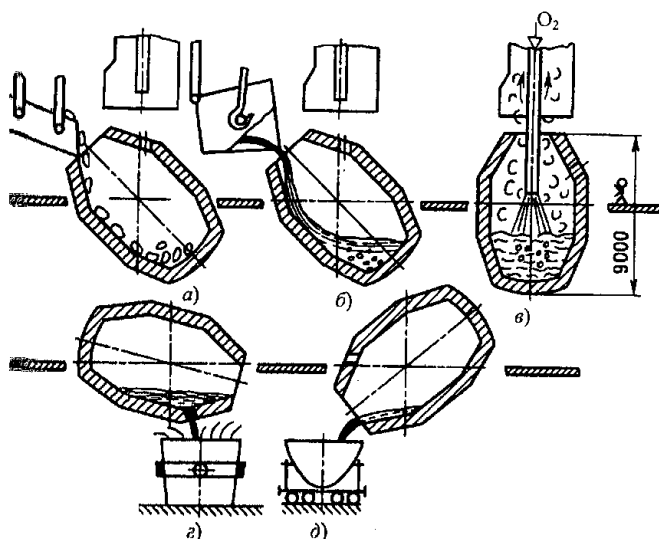


Рис.37. Последовательность технологических операций при выплавке стали в кислородных конвертерах: а) загрузка скрапа (3 мин.); б) заливка жидкого чугуна (4 мин); в) продувка кислородом (12-20 мин.); г) выпуск стали в ковш через боковое окно; д) слив шлака в шлаковую чашу

Общая продолжительность плавки около 30-45 мин.

Д о с т о и н с т в а

1. Высокая производительность выработки на одного рабочего (на 30-50% выше, чем другими способами).
2. Незначительный расход топлива.
3. Минимальные капитальные затраты.

Н е д о с т а т к и

1. Выход металла 90% (выгорает).
2. Трудно выплавлять легированные стали и стали определенных марок (необходим чугун с пониженным Р (0,15%).
3. Пониженные механические свойства стали из-за растворенного в них азота.

П е р с п е к т и в ы :

- внедрение систем динамического управления конвертерной плавкой, включаемые в общие системы автоматизации управления всем доменно-конверторным комплексом с непрерывной разливкой стали;
- внедрение технологий внепечного рафинирования чугуна.

