

Раздел 1. ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Тема 1. Современное металлургическое производство и его продукция. Производство чугуна

Современное металлургическое производство представляет собой комплекс различных производств, базирующихся на месторождениях руд и коксующихся углей, энергетических комплексах. Оно включает:

- шахты и карьеры по добыче руд и каменных углей;
- горно-обогатительные комбинаты, где обогащают руды, подготавливая их к плавке;
- коксохимические заводы (подготовка углей, их коксование и извлечение из них полезных химических продуктов);
- энергетические цехи для получения сжатого воздуха (для дутья доменных печей), кислорода, очистки металлургических газов;
- доменные цехи для выплавки чугуна и ферросплавов или цехи для производства железорудных металлизированных окатышей;
- заводы для производства ферросплавов;
- сталеплавильные цехи (конвертерные, электросталеплавильные);
- прокатные цехи (слиток в сортовой прокат).

Основная продукция *чёрной металлургии*:

- чугуны: передельный, используемый для передела на сталь, и литейный, для производства фасонных отливок;
- железорудные металлизированные окатыши для выплавки стали;
- ферросплавы (сплавы железа с повышенным содержанием марганца, кремния, ванадия, титана и т.д.) для легированных сталей;
- стальные слитки для производства проката,
- стальные слитки для изготовления крупных поковок – валов, дисков (кузнечные слитки).

Основная продукция *цветной металлургии*:

- слитки цветных металлов для производства проката;
- слитки для изготовления отливок на машиностроительных заводах;
- лигатуры – сплавы цветных металлов с легирующими элементами для производства сложных легированных сплавов;
- слитки чистых и особо чистых металлов для приборостроения и электротехники.

Материалы для производства металлов и сплавов

Для производства чугуна, стали и цветных металлов используют *руду, флюсы, топливо, огнеупорные материалы.*

Промышленная руда – горная порода, из которой целесообразно извлекать металлы и их соединения (содержание металла в руде должно быть не менее 30...60 % для железа, 3..5% для меди, 0,005...0,02 % для молибдена и т.д.).

Руда состоит из минералов, содержащих металл или его соединения, и пустой породы. Называют руду по одному или нескольким металлам, входящим в их состав, например: железные, медно-никелевые.

В зависимости от содержания добываемого элемента различают руды богатые и бедные. Бедные руды обогащают – удаляют часть пустой породы.

В черной металлургии используются железные, марганцевые, хромовые руды.

К железным рудам относятся:

- магнитный железняк (Fe_3O_4) с содержанием железа 55...60 %, месторождения – Соколовское, Курская магнитная аномалия (КМА);
- красный железняк (Fe_2O_3) с содержанием железа 55...60 %, месторождения – Кривой Рог, КМА;
- бурый железняк (гидраты оксидов железа $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) с содержанием железа 37...55 %, крупнейшее месторождение – Керчь;
- шпатовый железняк (FeCO_3 с содержанием железа до 40 %);

Марганцевые руды применяются для выплавки сплава железа с марганцем – ферромарганца (10...82% Mn), а также передельных чугунов, содержащих до 1% марганца. Марганец в рудах содержится в виде окислов и карбонатов: MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 , MnCO_3 и др.

Хромовые руды применяются для производства феррохрома, металлического хрома и огнеупорных материалов – хромомагнезитов.

Флюсы – материалы, преимущественно минерального происхождения, загружаемые в плавильную печь для образования легкоплавкого соединения с пустой породой руды, золой топлива или продуктами раскисления металла. Такое соединение называется *шлаком*.

Обычно шлак имеет меньшую плотность, чем металл, поэтому он располагается над металлом и может быть удален в процессе плавки. Шлак защищает металл от печных газов и воздуха. Шлак называют кислым, если в его составе преобладают кислотные оксиды (SiO_2 , P_2O_5), и основным, если в его составе больше основных оксидов (CaO , MgO , K_2O).

Флюсы вводят в виде агломерата и окатышей.

Топливо – в металлургических печах используется *кокс, природный газ, мазут, доменный (колошниковый) газ.*

Кокс получают сухой перегонкой при температуре 1000 °С (без доступа воздуха) каменного угля коксующихся сортов. В коксе содержится 80...88 % углерода, 8...12 % золы, 2...5 % влаги. Куски кокса должны иметь размеры 25...60 мм. Это прочное неспекающееся топливо, служит не только горючим для нагрева, но и химическим реагентом для восстановления железа из руды. Природный газ представляет собой смесь углеводородов, преимущественно метана CH_4 , с небольшими примесями других газов, добываемую из осадочных горных пород Земли.

Мазут – жидкий продукт, который представляет собой смесь углеводородов, нефтяных смол, асфальтенов, карбенов, карбоидов и органических соединений, содержащих металлы, образующуюся в виде остатка, после выделения из нефти или продуктов её вторичной переработки бензиновых, керосиновых и газойлевых фракций, выкипающих до 350...360 °С.

Совокупность исходных материалов для плавки металлов (сырьевых материалов, флюса, а в некоторых случаях и топлива), взятых в расчетном массовом соотношении в виде подготовленной смеси называют *шихтой*.

Огнеупорные материалы применяют для защитной внутренней облицовки (из кирпичей, плит, блоков) металлургических печей, тепловых агрегатов, топок, труб и ковшей для расплавленного металла. Такая облицовка называется *футеровкой*.

Огнеупоры способны выдержать нагрузки при высоких температурах, противостоять резким изменениям температуры, химическому воздействию шлака и печных газов.

По химическим свойствам огнеупорные материалы разделяют на группы: кислые, основные, нейтральные.

Кислые огнеупоры имеют высокое содержание SiO_2 (кварцевый песок, диносовый кирпич). *Основные огнеупоры* в большом количестве содержат основные оксиды MgO , CaO (доломит, магнезитовый, хромомагнезитовый кирпич). *Нейтральные огнеупоры* изготавливают из огнеупорной глины с высоким содержанием глинозема Al_2O_3 (шамотный кирпич).

Взаимодействие основных огнеупорных материалов и кислых шлаков, и наоборот, может привести к разрушению печи !

Углеродистый кирпич и блоки, содержащие до 92 % углерода в виде графита, относятся к нейтральным огнеупорам и обладают наивысшей огнеупорностью. Они применяются для кладки лещади доменных печей, электролизных ванн для получения алюминия, тиглей для плавки и разливки медных сплавов.

Производство чугуна

Чугун – сплав железа и углерода с сопутствующими элементами (содержание углерода более 2,14 %).

Чугун получают *доменным процессом* – выплавкой в доменной печи из железосодержащих материалов.

Для выплавки чугуна используют железные руды, топливо, флюсы.

Топливом для доменной плавки служит кокс, возможна частичная замена газом, мазутом.

Флюсом является известняк CaCO_3 или доломитизированный известняк, содержащий CaCO_3 и MgCO_3 , так как в шлак должны входить основные оксиды (CaO , MgO), которые необходимы для удаления серы из металла.

Подготовка руд к доменной плавке осуществляется для повышения производительности доменной печи, снижения расхода кокса и улучшения качества чугуна.

Метод подготовки зависит от качества руды.

Дробление и сортировка руд по крупности служат для получения кусков оптимальной величины, осуществляются с помощью дробилок и классификаторов.

Обогащение руды осуществляют с целью увеличения содержания в ней ценных компонентов. Оно основано на различии физических свойств минералов, входящих в ее состав:

- а) промывка – отделение плотных составляющих от пустой рыхлой породы;
- б) гравитация (отсадка) – отделение руды от пустой породы при пропускании струи воды через дно вибрирующего сита: пустая порода вытесняется в верхний слой и уносится водой, а рудные минералы опускаются;
- в) магнитная сепарация – измельчённую руду подвергают действию магнита, притягивающего железосодержащие минералы и отделяющего их от пустой породы.

Окусковывание производят для переработки концентратов в кусковые материалы необходимых размеров. Применяют два способа окусковывания: агломерацию и окатывание.

Агломерация представляет собой термический способ окускования мелких материалов, чаще всего рудной шихты.

При агломерации шихту, состоящую из железной руды (40...50 %), известняка (15...20 %), возврата мелкого агломерата (20...30 %), коксовой мелочи (4...6 %), влаги (6...9 %), спекают на агломерационных машинах при температуре 1300...1500 °С. При спекании из руды удаляются вредные примеси (сера, мышьяк), разлагаются карбонаты, и получается кусковой

пористый офлюсованный *агломерат* – спеченные в мелкие куски концентраты обогащения руд и пылевидные руды.

При *окатывании* шихту из измельчённых концентратов, флюса, топлива увлажняют и при обработке во вращающихся барабанах она приобретает форму шариков-окатышей диаметром до 30 мм. Их высушивают и обжигают при температуре 1200...1350 °С.

Использование агломерата и окатышей исключает отдельную подачу флюса – известняка в доменную печь при плавке.

Чугун выплавляют в печах шахтного типа – *доменных печах*.

Сущность процесса получения чугуна в доменных печах заключается в восстановлении оксидов железа, входящих в состав руды оксидом углерода, водородом и твердым углеродом, выделяющимися при сгорании топлива.

При выплавке чугуна решаются задачи:

1. Восстановление железа из окислов руды, науглероживание его и удаление в виде жидкого чугуна определённого химического состава.
2. Оплавление пустой породы руды, образование шлака, растворение в нём золы кокса и удаление его из печи.

Пример устройства доменной печи показан на рис. 1.1.

Доменная печь имеет стальной кожух, выложенный огнеупорным шамотным кирпичом. Рабочее пространство печи включает колошник 6, шахту 5, распар 4, заплечики 3, горн 1, лещади 15.

В верхней части колошника находится засыпной аппарат 8, через который в печь загружают шихту. Шихту подают порциями – *колошами* в вагонетки 9 подъемника, которые передвигаются по мосту 12 к засыпному аппарату и, опрокидываясь, высыпают шихту в приемную воронку 7 распределителя шихты. При опускании малого конуса 10 шихта попадает в чашу 11, а при опускании большого конуса 13 – в доменную печь, что предотвращает выход газов из доменной печи в атмосферу.

При работе печи шихтовые материалы, расплавляясь, опускаются, а через загрузочное устройство подают новые порции шихты, чтобы весь полезный объем был заполнен.

Полезный объем печи – объем, занимаемый шихтой от лещади до нижней кромки большого конуса засыпного аппарата при его опускании.

Полезная высота доменной печи (H) достигает 35 м, а полезный объем – 2000...5000 м³.

В верхней части горна находятся фурменные устройства 14, через которые в печь поступает нагретый воздух, необходимый для горения топлива. Воздух поступает из воздухонагревателя, внутри которого имеются камера сгорания и насадка из огнеупорного кирпича, в которой имеются вертикальные

каналы. В камеру сгорания к горелке подается очищенный доменный газ, который, сгорая, образует горячие газы. Проходя через насадку, газы нагревают ее и удаляются через дымовую трубу. Через насадку пропускается воздух, он нагревается до температуры 1000...1200 °С и поступает к фурменному устройству, а оттуда через фурмы 2 – в рабочее пространство печи. После охлаждения насадок нагреватели переключаются.

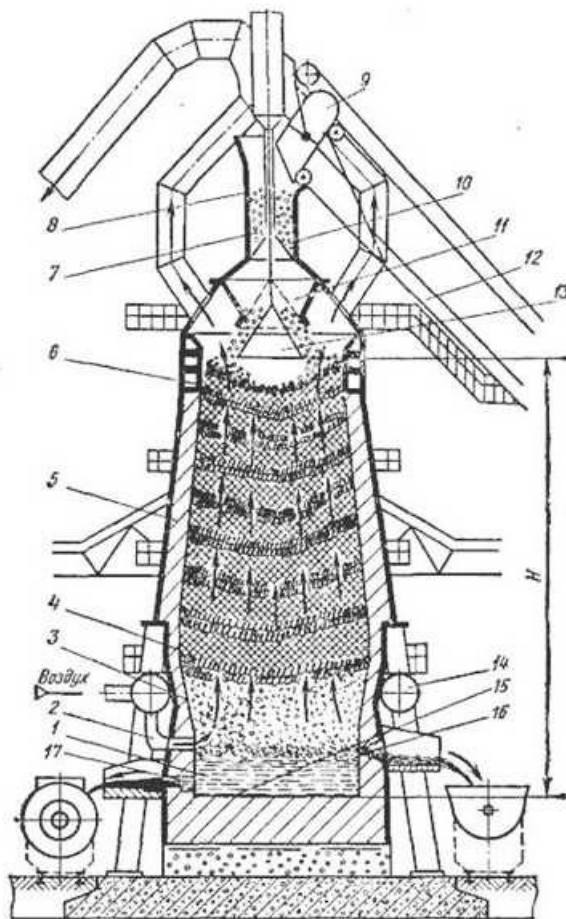


Рис. 1.1. Устройство доменной печи

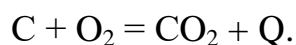
Доменная печь работает по принципу противотока: шихтовые материалы движутся сверху вниз, а навстречу им поднимается поток горячих газов – продуктов сгорания топлива.

При этом протекают следующие процессы: горение топлива, восстановление и науглероживание железа, восстановление других элементов, образование шлака.

Поступившие на колошник печи шихтовые материалы (агломерат, кокс) нагреваются отходящими газами, теряют влагу, становятся более пористыми и иногда растрескиваются.

Шихта опускается навстречу потоку газов, и при температуре свыше 500 °С начинается восстановление железа из оксидов (см. ниже).

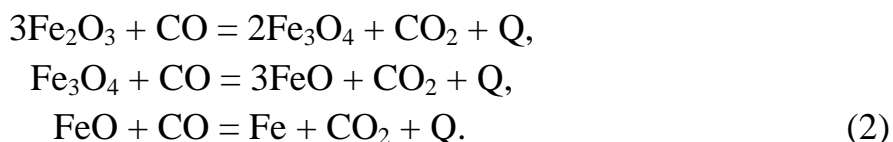
В нижней части печи, на уровне фурм, раскаленный кокс сгорает в струе вдуваемого воздуха с выделением большого количества теплоты:



Образующийся углекислый газ реагирует с твердым углеродом кокса и восстанавливается до окиси углерода (угарного газа). Эта реакция протекает с поглощением теплоты:



Образующийся угарный газ CO является главным *восстановителем* (реагентом, способным отнимать кислород из соединений металлов) железа из его оксидов. Встречая руду, он восстанавливает железо из оксида, превращаясь обратно в углекислый газ. Восстановление железа начинается в средней части шахты печи и происходит ступенчато по следующим реакциям:



Реакцию (2) называют *реакцией косвенного восстановления железа*. Она идет с выделением тепла, что способствует ее протеканию в доменной печи при умеренных температурах (500...900 °С).

При более высоких температурах (выше 1000...1100 °С) наряду с реакцией (2), в присутствии раскаленного кокса происходит реакция (1). При суммировании этих реакций получается реакция:

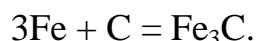
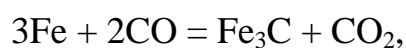


Реакция (3) характеризует процесс *прямого восстановления железа*. Она протекает за счет углерода кокса, соприкасающегося с рудой, или за счет сажистого углерода, отложившегося в порах железной руды в результате разложения окиси углерода.

В доменной печи примерно 50...60% железа образуется по реакции (2) и 40...50% по реакции (3). Прямое восстановление железа происходит в зоне распара печи и тем лучше, чем выше температура находящихся здесь материалов, так как реакция (3) идет с поглощением тепла.

Образующееся в результате реакций (2) и (3) металлическое железо находится в твердом состоянии, так как имеет высокую температуру плавления (1539 °С).

В присутствии окиси углерода CO и раскаленного кокса образуется карбид железа (цементит):



Цементит хорошо растворяется в железе и постепенно науглероживает его, в результате чего температура плавления железа понижается до 1150...1200 °С. Науглероженое железо, содержащее 1,8..2% С, переходит в жидкое состояние и стекает между кусками раскаленного кокса на лещады печи. При этом происходит дополнительное насыщение железа углеродом (до 3,5...4,0% С), марганцем, кремнием, фосфором, которые при температуре 1200 °С восстанавливаются из руды.

В средней и нижней частях шахты происходит термическое разложение флюсов. Температура начала и конца реакций разложения зависит от химической природы флюсов и размеров их кусков. Так разложение известняка происходит при 900...1000 °С по реакции:



Продукты разложения флюсов сплавляются вместе с окислами пустой породы руды и золой топлива, образуя в нижней части доменной печи шлак. Кроме CaO, в зависимости от состава применяемых шихтовых материалов и выплавляемого чугуна, шлак содержит Al₂O₃, CaO, MgO, SiO₂, MnO, FeO, CaS и пр.

Шлак образуется постепенно, его состав меняется по мере стекания в горн, где он скапливается на поверхности жидкого чугуна, благодаря меньшей плотности.

Одной из причин использования известняка в качестве шлакообразующего компонента является десульфация выплавляемого чугуна.

Сера частично удаляется с колошниковыми газами, но основное ее количество остается в виде сульфидов и распределяется между шлаком и чугуном. Наиболее нежелательным является сульфид железа FeS, который хорошо растворяется в металле. При большом насыщении шлака известью (45...50%) в горне печи происходят реакция в результате которой сера переходит в шлак в виде нерастворимого в металле сернистого кальция:



Каждые 3...4 часа через чугунную летку 16 (рис. 1.1) из печи выпускают чугун, а шлак – каждые 1...1,5 часа через шлаковую летку 17 (летка – отверстие в кладке, расположенное выше лещады).

Летку открывают бурильной машиной, затем закрывают огнеупорной массой. Сливают чугун и шлак в чугуновозные ковши и шлаковозные чаши.

Чугун поступает в сталеплавильные цехи, или разливается в изложницы разливочной машиной, где он затвердевает в виде чушек-слитков массой 45 кг.

Чугун является основным продуктом доменной плавки.

Передельный чугун предназначается для дальнейшего передела в сталь. На его долю приходится 90 % общего производства чугуна. Обычно такой чугун содержит 3,8...4,4 % углерода, 0,3...1,2 % кремния, 0,2...1 % марганца, 0,15...0,20 % фосфора, 0,03...0,07 % серы.

Литейный чугун применяется после переплава на машиностроительных заводах для получения фасонных отливок.

Кроме чугуна в доменных печах выплавляют *ферросплавы* – сплавы железа с кремнием, марганцем и другими элементами. Их применяют для раскисления, модифицирования и легирования стали.

Побочными продуктами доменной плавки являются шлак и доменный газ.

Из шлака изготовляют шлаковату, цемент, удобрения (стараятся получить гранулированный шлак, для этого его выливают на струю воды).

Доменный газ после очистки используется как топливо для нагрева воздуха, вдуваемого в печь.

Контрольные вопросы

1. Опишите структуру металлургического производства (предприятий черной металлургии).
2. Назовите основную продукцию черной металлургии.
3. Назовите основную продукцию цветной металлургии.
4. Что собой представляет промышленная руда, используемая в черной металлургии ?
5. Раскройте роль флюсов и шлаков в металлургии.
6. Назовите виды топлива для металлургических печей.
7. Что такое шихта ?
8. Назовите функции и виды огнеупорных материалов.
9. Что называют доменным процессом ?
10. Какое топливо и флюс используются для доменной плавки ?
11. Опишите виды подготовки руд к доменной плавке.
12. Сущность процесса получения чугуна в доменных печах.
13. Опишите устройство доменной печи.
14. Химические процессы доменного производства.
15. Что является основным продуктом доменного производства ?