

# Чёрная металлургия

Presentation is directed by Elina Ilina



Чёрная металлургия – отрасль тяжёлой промышленности, объединяющая технологически и организационно предприятия по добыче и обогащению рудного и нерудного сырья, по производству огнеупоров, продуктов коксохимической промышленности, чугуна, стали, проката, ферросплавов, стальных и чугунных труб, а также изделий дальнейшего передела (рельсовых скреплений, белой жести, оцинкованного железа), металлических порошков чёрных металлов. Основным исходным сырьём для получения чёрных металлов являются железная руда, коксующиеся угли и руды легирующих металлов.



# История чёрной металлургии

Добыча железа началась, по крайней мере, за два тысячелетия до нашей эры. Получение чистого железа, его сплавов стало возможным благодаря опыту, накопленному древними металлургами по выплавке меди и её сплавов с оловом, серебром, свинцом и другими легкоплавкими металлами.

Плавку железа в древности производили в ямах-горнах, обмазанных глиной или выложенных камнем. В горн загружали дрова и древесный уголь. Через отверстие в нижней части горна нагнетали с помощью кожаных мехов воздух. На смесь древесного угля и дров засыпали измельченную железную руду. Сгорание дров и угля проходило интенсивно. Внутри горна достигалась относительно высокая температура<sup>[2]</sup>. Благодаря взаимодействию угля и оксида углерода CO, образовавшегося при сгорании угля, с оксидами железа, содержащимися в руде, железо восстанавливалось и в виде тестообразных кусков накапливалось на дне горна. Куски были загрязнены золой, шлаком, выплавлявшимся из составляющих руды. Такое железо называли сыродутным. Из него необходимо было удалить примеси прежде, чем приступить к изготовлению изделий. Разогретый металл ковали и на наковальне выжимали остатки шлака, примесей и др. Отдельные куски железа сваривали в единое целое. Такой способ существовал вплоть до XII—XIII вв.

Когда стали использовать энергию падающей воды и приводить в движение меха механическим способом, удалось увеличить объём воздуха, подаваемого в горн. Горн сделали больше, стенки его выросли из земли, он стал прообразом доменной печи — домницей. Домницы имели высоту в несколько метров и сужались кверху. Сначала они были квадратными, потом стали круглыми. Подачу воздуха производили через несколько фурм. В нижней части домницы имелось отверстие, замазываемое глиной, через которое после окончания плавки вынимали готовое железо. Улучшение технологии плавки, обкладки стенок домницы природным огнеупорным камнем позволили значительно повысить температуру в горне. На дне печи образовывался жидкий сплав железа с углеродом — чугун. Вначале чугун считали отходом производства, так как он был хрупким (отсюда появилось английское название чугуна — *pig iron*, свиное железо). Позже заметили, что чугун обладает хорошими литейными свойствами и из него стали отливать пушки, ядра, архитектурные украшения.

В начале XIV в. из чугуна научились готовить ковкое железо, появился двухступенчатый способ производства металла. Куски чугуна переплавляли в небольших тиглях — горнах, в которых удавалось получать высокую температуру и создавать окислительные условия в области фурм. Благодаря окислению из чугуна выжигали большую часть углерода, марганца, кремния. На дне тигля собирался слой железной массы — крица. Масса была загрязнена остатками шлака. Её извлекали из тигля клещами или ломом и тут же в разогретом состоянии подвергали ковке для выдавливания загрязнений и сваривания в один прочный кусок. Такие горны назывались кричными. Они обладали большей производительностью, чем сыродутные, и давали металл более высокого качества. Поэтому со временем получение сыродутного железа было прекращено. Выгоднее было получать железо из чугуна, чем непосредственно из руды. По мере улучшения качества железа возрастали и потребности в нём в сельском хозяйстве, военном деле, строительстве, промышленности. Возрастало производство чугуна, домницы увеличивались в размерах, постепенно превращаясь в доменные печи. В XIV в. высота доменных печей достигала уже 8 метров.

Ускоренное развитие металлургии началось после замены древесного угля коксом. Вырубка лесов для получения древесного угля привела к тому, что уже в XV в. в Англии было запрещено использовать древесный уголь в металлургии. Применение кокса не только удачно решило проблему топлива, но и благоприятствовало росту производительности доменных печей. Благодаря повышенной прочности и хорошей теплотворной способности кокса стало возможным увеличение диаметра и высоты печей. Позднее были успешно проведены опыты по использованию доменного колошникового газа для подогрева дутья. Раньше все газы выбрасывались в атмосферу, теперь колошник стали делать закрытым и улавливали отходящие газы.

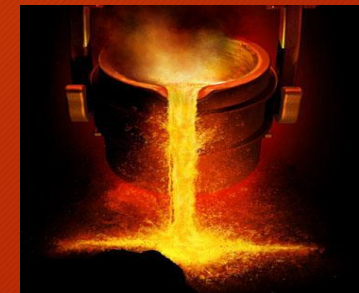
Одновременно совершенствовался и способ получения стали. Кричный способ уже не мог удовлетворить потребности в железе. Прочность сталям придавал углерод. Науглероживание кричного железа производили либо в твердом состоянии, либо сплавлением с чугуном в маленьких тиглях. Но такие методы не могли дать много стали. В конце XVIII в. на металлургических заводах появился новый процесс — пудлингование. Сущность процесса пудлингования заключалась в том, что топка была отделена от ванны, в которой расплавляют чугун. По мере окисления примесей из жидкого чугуна выпадали кристаллы твердого железа, которые накапливались на поду ванны. Ванну перемешивали ломом, намораживали на него тестообразную железную массу (до 50 кг) и вытаскивали из печи. Эту массу — крицу обжимали под молотом и получали железо.

В 1856 г. Генри Бессемер в Англии разработал наиболее производительный способ получения стали из чугуна — продувкой воздухом жидкого чугуна в конвертере, выложенном изнутри кремнеземистым кирпичом. В бессемеровских конвертерах перерабатывали чугуны с повышенным содержанием кремния. Процесс шел быстро: 15-18 т чугуна превращались в сталь в течение 15-20 мин. Для переработки чугуна с повышенным содержанием фосфора Томасом был предложен конвертер с футеровкой из оксидов кальция и магния.

В 1864 г. в Европе появились первые мартеновские печи, в которых расплавление чугуна, окисление его примесей производили в подовых (отражательных) печах. Печи работали на жидком и газообразном топливе. Газ и воздух подогревали теплом отходящих газов. Благодаря этому в печи развивались настолько высокие температуры, что стало возможным на поду ванны иметь не только жидкий чугун, но и поддерживать в жидком состоянии более тугоплавкое железо и его сплавы. В мартеновских печах начали получать из чугуна сталь любого состава и использовать для переплава стальной и чугунный лом. В начале XX в. появились электрические дуговые и индукционные печи. В этих печах выплавляли легированные высококачественные стали и ферросплавы. В 50-х годах XX в. начали использовать процесс передела чугуна в сталь в кислородном конвертере продувкой чугуна кислородом через фурму сверху. Сегодня это наиболее производительный метод получения стали. В последние годы появились значительно усовершенствованные по сравнению с прошлым процессы прямого получения железа из руды.

Развитие сталеплавильного производства повлекло за собой и развитие нового оборудования для горячей и холодной обработки стали. В конце XVIII в. появились прокатные станы для обжатия слитков и проката готовых изделий. В первой половине XIX в. начали применять крупные паровые и воздушные молоты дляковки тяжелых слитков. Последняя четверть XIX в. ознаменовалась появлением крупных прокатных станов и станов для непрерывной прокатки с электрическими приводами.

# Материалы и их экспорт



Материалами, которые применяются в черной металлургии, являются железо-, марганцево- и хромосодержащие руды.

Из года в год на нашей планете ведется добыча около 1 млрд. тонн руды. Больше чем 50 % от всей добычи приходится на Китай - 23 %, Бразилию - 17 % и Австралию - 13 %.

Причем темпы добычи в них лишь возрастают. Железную руду добывают в больших объемах также в Российской Федерации, Украине, Соединенных Штатах Америки, Республике Индия, Канаде, Боливарианской Республике Венесуэла, Французской Республике, Республике Казахстан и других.

Довольно крупными экспортерами руды являются Бразилия и Австралийский Союз, доля которых равна 60 % от всего экспорта.

Немало стран, которые сами ведут добычу железных руд, среди которых находятся США, Соединенное Королевство, Италия, Китайская Народная Республика, еще их и импортируют. Крупными импортерами являются: Япония, Германия, Корея. Еще одна немалая сырьевая составляющая черной металлургии представляет собой металлолом (амортизационный лом - будущий компонент металлической доли шихты; отработанный металл сталелитейных предприятий и другие). Повторное использование металлолома обуславливается большей выплавкой стали, чем чугуна. Значительно дешевле получить готовую сталь из лома, нежели пройти весь цикл, включая доменное производство.

Еще одна немалая сырьевая составляющая черной металлургии представляет собой металлолом (амортизационный лом - будущий компонент металлической доли шихты; отработанный металл сталелитейных предприятий и другие). Повторное использование металлолома обуславливается большей выплавкой стали, чем чугуна. Значительно дешевле получить готовую сталь из лома, нежели пройти весь цикл, включая доменное производство.

В процессе аккумуляции запасов вторичных исходных материалов растет число стран, где первичные этапы металлургии были замещены применением своего или ввозимого металлолома. В Соединенных Штатах Америки практически 50 % стали повторно перерабатывается из отходов лома. Практически такая же картина наблюдается в ряде других стран с развитой экономикой, а также в новых промышленно развитых странах, в частности азиатских, и в Российской Федерации.

Кроме укоренившихся с давнего времени регионов черной металлургии, которые были образованы в части стран, и состояли либо из железных руд с каменным углем, либо отдельно - из угля, руды и металлолома, отрасль в последнее время с большой скоростью развивалась в приморских регионах. Расположение такой отрасли в подобных местах дает возможность доставки исходных материалов и топлива, а также отгрузки готовой продукции через море.

Вместе с тем в ряде иных случаев импорт руды, лома и угля является выгоднее, нежели задействование своих хранилищ и месторождений. К примеру, подавляющее число комбинатов Японии размещено вдоль набережной, что облегчает прием сырья через море. Она импортирует руду из Австралии, Индии, Федеративной Республики Бразилия, а каменный уголь - из Австралии и Китая. Большие металлургические комбинаты возведены в портовых городах Италии, Франции, США, Китая, Германии, Соединенного Королевства, Бельгии, Нидерландов. Все они также размещены с учетом импортирования железной руды и каменного угля (Европа импортирует руду из Африки и Латинской Америки, а США из Бразилии, Боливарианской Республики Венесуэла и Канады; уголь Европа импортирует из США).



# Выплавка стали

Производство стали сегодня осуществляется в основном из отработанных стальных изделий и передельного чугуна. Сталь представляет собой сплав железа и углерода, последнего в котором содержится от 0,1 до 2,14%. Превышение содержания углерода в сплаве приведет к тому, что он станет слишком хрупким. Суть процесса производства стали, в составе которой содержится гораздо меньшее количество углерода и примесей, по сравнению с чугуном, состоит в том, чтобы в процессе плавки перевести эти примеси в шлак и газы, подвергнуть их принудительному окислению.

## Особенности процесса

Производство стали, осуществляемое в сталеплавильных печах, предполагает взаимодействие железа с кислородом, в процессе которого металл окисляется. Окислению также подвергаются углерод, фосфор, кремний и марганец, содержащиеся в передельном чугуне. Окисление данных примесей происходит за счет того, что оксид железа, образующийся в расплавленной ванне металла, отдает кислород более активным примесям, тем самым окисляя их. Производство стали предполагает прохождение трех стадий, каждая из которых имеет свое значение. Рассмотрим их подробнее.



## Расплавление породы

На данном этапе расплавляется шихта и формируется ванна из расплавленного металла, в которой железо, окисляясь, окисляет примеси, содержащиеся в чугунах (фосфор, кремний, марганец). В процессе этого этапа производства из сплава необходимо удалить фосфор, что достигается за счет содержания в шлаке расплавленного оксида кальция. При соблюдении таких условий производства фосфорный ангидрид ( $P_2O_5$ ) создает с оксидом железа ( $FeO$ ) неустойчивое соединение, которое при взаимодействии с более сильным основанием — оксидом кальция ( $CaO$ ) — распадается, и фосфорный ангидрид превращается в шлак.

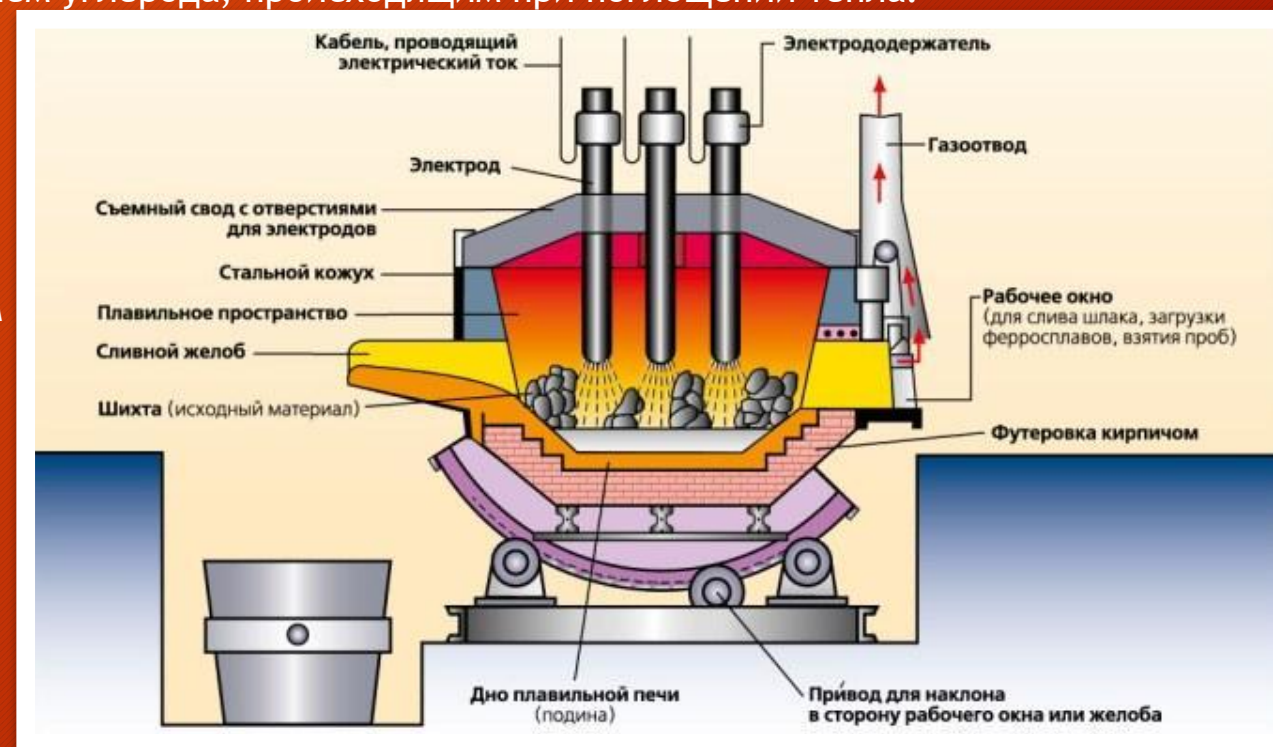
Чтобы производство стали сопровождалось удалением из ванны расплавленного металла фосфора, необходима не слишком высокая температура и содержание в шлаке оксида железа. Чтобы удовлетворить эти требования, в расплав добавляют окалину и железную руду, которые и формируют в ванне расплавленного металла железистый шлак. Содержащий высокое количество фосфора шлак, формирующийся на поверхности ванны расплавленного металла, удаляется, а вместо него в расплав добавляются новые порции оксида кальция.

## Кипение ванны расплавленного металла

Дальнейший процесс производства стали сопровождается кипением ванны расплавленного металла. Такой процесс активизируется с повышением температуры. Он сопровождается интенсивным окислением углерода, происходящим при поглощении тепла.

Производство стали невозможно без окисления излишков углерода, такой процесс запускают при помощи добавления в ванну расплавленного металла окалины или вдувания в нее чистого кислорода. Углерод, взаимодействуя с оксидом железа, выделяет пузырьки оксида углерода, что создает эффект кипения ванны, в процессе которого в ней снижается количество углерода, а температура стабилизируется. Кроме того, к всплывающим пузырькам оксида углерода прилипают неметаллические примеси, что способствует уменьшению их количества в расплавленном металле и приводит к значительному улучшению его качества.

На данной стадии производства из сплава также удаляется сера, присутствующая в нем в форме сульфида железа ( $FeS$ ). При повышении температуры шлака сульфид железа растворяется в нем и вступает в реакцию с оксидом кальция ( $CaO$ ). В результате такого взаимодействия образуется соединение  $CaS$ , которое растворяется в шлаке, но раствориться в железе не может.





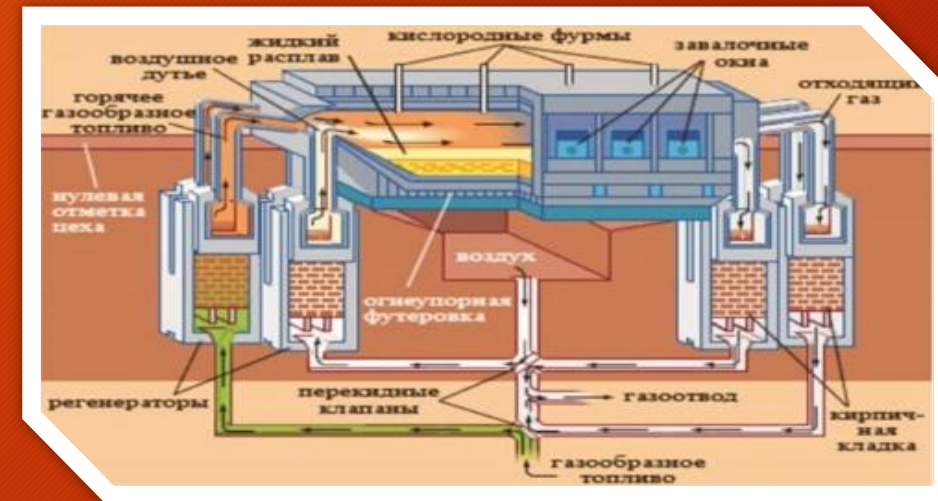
## Раскисление металла

Добавление в расплавленный металл кислорода способствует не только удалению из него вредных примесей, но и увеличению содержания данного элемента в стали, что приводит к ухудшению ее качественных характеристик.

Диффузионное раскисление предполагает введение в шлак расплавленного металла ферросилиция, ферромарганца и алюминия. Такие добавки, восстанавливая оксид железа, снижают его количество в шлаке. В результате растворенный в сплаве оксид железа переходит в шлак, распадается в нем, высвобождая железо, которое возвращается в расплав, а высвобожденные оксиды остаются в шлаке.

Производство стали с осаждающим раскислением осуществляется путем введения в расплав ферросилиция, ферромарганца и алюминия. Благодаря наличию в своем составе веществ, обладающих большим сродством к кислороду, чем железо, такие элементы образуют соединения с кислородом, который, отличаясь невысокой плотностью, выводится в шлак.

Регулируя уровень раскисления, можно получать кипящую сталь, которая не полностью раскислена в процессе плавки. Окончательное раскисление такой стали происходит при затвердевании слитка в изложнице, где в кристаллизующемся металле продолжается взаимодействие углерода и оксида железа. Оксид углерода, который образуется в результате такого взаимодействия, выводится из стали в виде пузырьков, также содержащих азот и водород. Полученная таким образом кипящая сталь, содержит незначительное количество металлических включений, что придает ей высокую пластичность.



В изготовлении сталей в мировых масштабах (около 0,7 - 0,75 млрд. тонн) на первых местах находятся: Китайская Народная Республика, Япония, США, Германия, Южная Корея, Бразилия, Королевство Англия, Франция, Италия. Изготовление стали по большей части приходится на: Австралию, Канаду, Южно-Африканскую Республику, Королевство Швеция, Австрийскую Республику, Испанию, Украину, Польшу, Бенилюкс.

Количество стран, на долю которых в мире приходится выплавки сталей в пределах 40 %, постоянно растет. Изготовление сталей в странах Содружества Независимых Государств, включая Российскую Федерацию, в последнее время сильно уменьшилось. Однако Российская Федерация все еще считается одним из крупнейших экспортеров черных металлов (в пределах 15 %). США являются самым крупным импортером черных металлов.