

Железорудные ресурсы Беларуси и перспективы их использования для устойчивого развития экономики страны

*А. Д. Пещенко, доцент кафедры радиационной химии и химической технологии,
Д. И. Мычко, доцент кафедры неорганической химии
(Белорусский государственный университет)*

Одним из приоритетных направлений развития промышленного комплекса Республики Беларусь является наращивание производства металлопродукции, производимой металлургическими и машиностроительными предприятиями.

За последние пять лет в стране отмечается устойчивый рост производства металлопроката и изделий из чёрных и цветных металлов. Например, годовое производство металлопродукции Республиканским унитарным предприятием «Белорусский металлургический завод» (БМЗ) составляет около 2130 тыс. т стали. Для наращивания темпов экономического развития страны на ближайшую перспективу запланирован дальнейший рост потребления металлопродукции на внутреннем рынке, а также увеличение производства экспортно-ориентированной продукции, производимой как БМЗ, так и другими ведущими машиностроительными предприятиями.

В то же время анализ структуры экспортно-импортных поставок чёрных металлов Республики Беларусь показывает, что импортная составляющая постоянно преобладает над экспортной. Так, внешнеторговый баланс по чёрным металлам за 2000–2004 гг. являлся постоянно отрицательным и в среднем составлял 315 млн долларов США в пользу импортных закупок. В условиях роста производства белорусские предприятия импортируют в год более 5 млн т металлопродукции (при цене, например, сортового металлопроката на уровне 700–750 долларов США за тонну), которая не производится на БМЗ, и 1,2–1,3 млн т металлолома, цена которого составляет около 300 долларов США за 1 тонну.

Всё это свидетельствует о необходимости поиска решений по оптимизации развития металлургического комплекса страны.

В представленной статье рассмотрены перспективы использования национальной сырьевой базы Республики Беларусь для развития чёрной металлургии и наращивания производства стали и изделий из неё.

Конъюнктура мирового рынка железорудного сырья

Анализ динамики мирового потребления железорудного сырья говорит об устойчивом спросе на него. Так, в 2009 г. общее потребление железорудного сырья металлургическими компаниями должно составить 1,9 млрд тонн.

Добыча железных руд в настоящее время осуществляется более чем в 40 странах. Мировое производство товарных железных руд составляет около 1 млрд тонн. 92,1 % суммарного производства железных руд приходится на 12 стран-производителей: Китай — 24,2 %, Бразилия — 17,5, Австралия — 14,3, Рос-

сия — 7, Индия — 6,5, США — 6,1, Украина — 4,6, Канада — 3,6, ЮАР — 3, Венесуэла — 2, Швеция — 2, Казахстан — 1,3 %.

Лучшая в мире железная руда добывается в Швеции (месторождение Кирунаваре).

Как видно из приведённых данных, в современных условиях ситуацию на рынке железорудного сырья определяют страны азиатского континента, и в первую очередь Китай, который можно назвать основным «двигателем прогресса» в чёрной металлургии.

Основными компаниями-экспортёрами железорудного сырья являются три мировых лидера горнодобывающей от-

расли: бразильская CVRD, британская «Rio Tinto's Hamersley Iron» и австралийская BHP. В Австралии железную руду засыпают в сухогрузы бульдозерами прямо из карьера.

Основное количество железорудного сырья добывается на месторождениях магнетит-гематитовых руд в железистых кварцитах и сланцах. Превалирующее большинство месторождений этого типа разрабатывается открытым способом. Второе место по объёмам разработки занимают месторождения осадочных гидрогётит-шамозит-сидеритовых руд.

Основными минералами этих руд являются магнетит (Fe_3O_4), ильменит (FeTiO_3), гематит (Fe_2O_3), гётит ($\alpha\text{-FeO(OH)}$), гидрогётит ($\gamma\text{-FeO(OH)} \cdot n\text{H}_2\text{O}$), сидерит (FeCO_3).

Железорудные месторождения Беларуси

Перспективным решением возникших перед металлургическими предприятиями Беларуси сырьевых проблем является использование ресурсов двух белорусских железорудных месторождений — Новосёлковского и Околовского, открытыми в 1966—1970 гг.

Околовское месторождение с запасами железной руды в количестве 166,8 млн т расположено в Столбцовском районе Минской области. На месторождении выявлены три горизонта железистых кварцитов мощностью от 20—80 до 125—259 м, имеющих пластообразную форму. Главный рудный минерал — магнетит, изредка встречаются пирит, пирротин, халькопирит, ильменит, а в слабо развитой зоне окисления — мартит, гематит и лимонит. Среднее содержание железа в продуктивных пластах составляет 24—27 %. Согласно результатам технологических испытаний руды хорошо обогащаются, доказана возможность получения из добываемых руд магнетитового концентрата с содержанием Fe_3O_4 65,4 % и извлечением последнего 95,2 %.

Новосёлковское месторождение ильменит-магнетитовых руд находится в

Кореличском районе Гродненской области на глубине 148—175 м. Согласно результатам поисково-оценочных работ подсчитанные запасы до глубины 700 м составляют: железа общего — 133,6 млн т, диоксида титана — 5,7 млн т, пентаоксида ванадия — 205,7 тыс. тонн.

Несмотря на то что залежи железной руды, имеющиеся в Беларуси, относятся к бедным месторождениям, они перспективны для создания собственной сырьевой базы. Для этого есть несколько условий.

Во-первых, железные руды Околовского месторождения относятся к легкообогащаемым и добыча околовского железорудного сырья будет осуществляться шахтным способом.

Во-вторых, эти руды пригодны для получения металлизированных окатышей. Содержание железа в них после обогащения и последующего обжига может быть доведено до 90 %.

Ресурсы железной руды в пересчёте на магнетитовое железо составляют около 500 млн тонн. Потребности народного хозяйства Беларуси даже в лучшие времена не превышали 4 млн т стали ежегодно. Поэтому можно считать, что республика обеспечена «хлебом промышленности» на ближайшее столетие. В принципе, этот срок должен быть гораздо больше, так как ежегодно при выплавлении стали в оборот вовлекается 20—25 % металлолома. Кроме этого, с помощью скважины пока проследили рудные горизонты только до глубины 700 м. Для сравнения: подобное Околовскому Суботское месторождение железной руды на границе Литвы и Латвии разведано до отметки 1,5 км. Запасы железной руды в нём оцениваются в 2 млрд т, но рудное тело начинается гораздо глубже, нежели в районе Околова, — на глубине 500 метров.

Как образовались залежи железа?

Околовское и Новосёлковское месторождения расположены в породах кристаллического фундамента. Существуют месторождения другого типа, распо-

ложенные в осадочном чехле, представленные болотными рудами и сидеритом.

Практически все известные рудопроявления Белорусского кристаллического массива локализованы в пределах долгоживущих шовных структурно-формационных зон, ограничивающих Белорусско-Прибалтийский гранулитовый пояс.

В процессе осадочно-вулканической деятельности образовались сингенетические накопления железа, цветных металлов, иногда с золотом, а также углеродистого и карбонатного вещества в Околовской и Рудьянской структурно-металлогенетической зонах.

В эпоху раннепротерозойской тектономагматической активизации (ТМА) регионального метаморфизма и гранитации они были метаморфизованы и превращены в стратиформные залежи железистых кварцитов (Околовское, Рубежовичи), магнетитовых эвлизитов (Рудьяма, Деревное), серно-колчеданных руд, иногда с полиметаллами и золотом (Мир, Раевщина, Пуховщизна и др.), графитоносных пород (Пуховщизна), мраморов (Рудьяма).

С интрузивной деятельностью этого периода связано сигнетическое вкрапленное оруденение: магнетит-ильменитовое в габброидах (Новосёлковское, Долгиновское и др.) и сульфидное медно-никелевое в гипербазитах (Столбцовское). Бедные первичные руды были существенно обогащены в последующие эпохи активизации в связи с формированием апогаббровых метасоматитов.

Возможные направления переработки железных руд Беларуси

Департаментом по геологии Республики Беларусь выполнены предварительные расчёты о возможности использования железных руд страны. При этом обоснована технологическая схема получения железорудного сырья на базе создания горно-перерабатывающего комплекса и доказана возможность

переработки железных руд в высококачественное металлизированное сырьё. Это подтвердилось изготовлением опытных образцов металлизированных окатышей из полученного магнетитового концентрата железных руд Околовского месторождения, при использовании которых осуществлены опытно-промышленные плавки стали на БМЗ.

Сырые окатыши из добытой железной руды изготавливались в лабораторных условиях. Окислительный обжиг проводился в промышленных условиях на конвейерной обжиговой машине на Лебединском горно-обогатительном комбинате. Процесс металлизации окатышей осуществлялся в промышленных условиях в шахтной установке Midrex Оскольского электрометаллургического комбината (ОЭМК). Результаты анализа энерготехнологических показателей плавки и качества полученной металлопродукции показали, что металлизированные окатыши полностью соответствуют требованиям промышленной технологии БМЗ.

Сопоставительный анализ окатышей, полученных из железной руды Околовского месторождения, с окатышами, изготовленными крупнейшим производителем окатышей в России ОЭМК, показал, что степень металлизации окатышей на базе руд Околовского месторождения на 1 % выше, чем ОЭМК, способность к науглероживанию — одинаковая. В целом окатыши Околовского месторождения по восстановимости и содержанию железа превосходят окатыши ОЭМК, по прочностным характеристикам — сопоставимы.

Прежде чем рассмотреть возможные варианты переработки белорусской железной руды, напомним нашему читателю о способах получения стали.

Способы получения сталей

В настоящее время в практике производства сталей используются два основных способа. Первый способ — традиционный — предполагает получение стали в две стадии. На первой стадии получают чугуны, который затем перера-

бывают в сталь. Второй способ — прямой — в настоящее время вытесняет первый и предполагает получение стали минуя стадию получения чугуна.

В основе обоих способов лежит один и тот же принцип — восстановление железа из железной руды.

Поскольку добываемая железная руда вместе с соединениями железа содержит и пустую породу, железную руду предварительно подвергают **обогащательной обработке**, в ходе которой из неё максимально полно извлекают соединения железа. Для этого используют различные физические и химические методы: промывку, гравитационный способ, электромагнитную сепарацию, флотацию, окислительный обжиг (чтобы уменьшить содержание серы и других примесей).

Наиболее распространённым способом обогащения является **электромагнитная сепарация**. Планируется, что этот способ будет использован для обогащения белорусской руды.

Суть электромагнитного обогащения состоит в том, что железная руда подвергается действию электромагнитного поля, создаваемого в сепараторе электромагнитом, закреплённым неподвижно внутри пустотелого барабана, в который загружают руду. Поскольку оксиды железа обладают хорошей намагниченностью, они прилипают к магниту и таким образом отделяются от немагнитных частиц пустой породы. Для слабомагнитных руд обычно применяется магнетизирующий обжиг с целью повышения их магнитной восприимчивости. Магнетизирующий обжиг пред-

ставляет собой восстановление оксида железа (Fe_2O_3) в магнитный оксид — магнетит (Fe_3O_4).

Первый способ получения стали — из чугуна

Для получения **чугуна**, или, как ещё говорят, сырого железа, используется **доменный процесс**. В современном варианте он только принципиально напоминает ту старую технологию, которая описана во многих учебниках и учебных пособиях по химии. Одна из современных технологических разновидностей доменного процесса называется **процессом Corex** (рис. 1). Он разработан фирмами «Korf Engineering» (Германия) и «Voest Alpine» (Австрия) и запатентован «Voest Alpine».

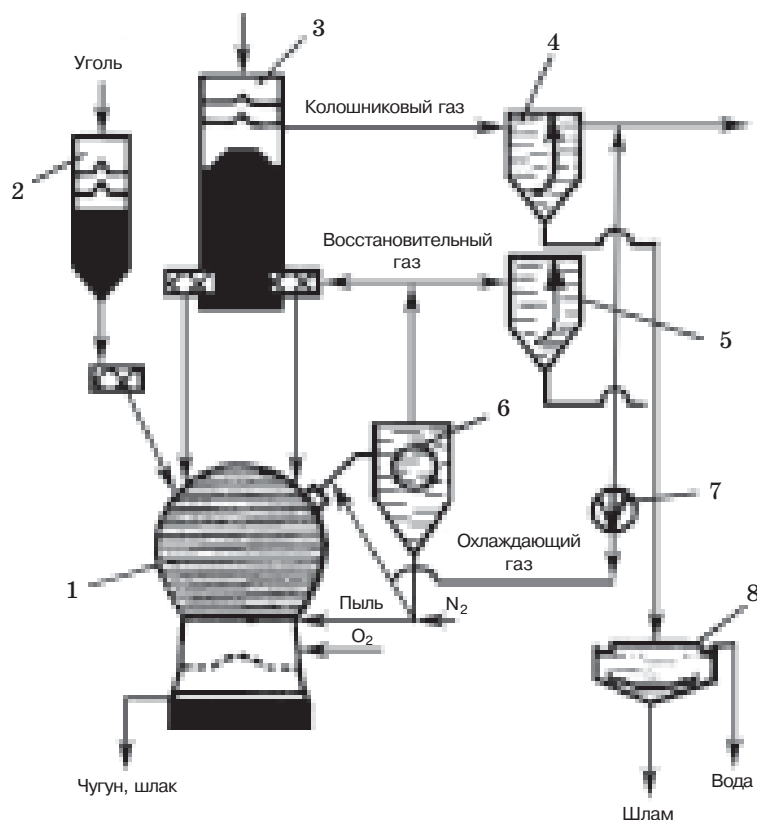


Рис. 1. Технологическая схема процесса Corex:
1 — реактор-газификатор; 2 — угольный бункер;
3 — шахтная печь; 4 — скруббер колошникового газа;
5 — водяной холодильник; 6 — циклон;
7 — нагнетатель; 8 — сгуститель

Первая установка (Corex-1000) производительностью 315 тыс. т чугуна введена в эксплуатацию в конце 1989 г. на заводе фирмы «Isacor» в Претории (ЮАР). Она представляет собой практически ту же доменную печь, разделённую на два агрегата. Предварительное твёрдофазное восстановление окискованного железосодержащего сырья осуществляется в шахтной печи (в течение 7—9 ч) отходящим газом из плавильной камеры. Степень металлизации составляет около 93 %. Затем через герметичную загрузочную систему уголь и горячий продукт подаются сверху в плавильный реактор-газификатор, в котором происходит плавление губчатого железа и окончательное восстановление оксидов железа из шлака.

Преимущества процесса Corex:

— можно использовать руду и угли практически любого качества;

— не требуется большого количества коксующихся углей, которые сейчас становятся очень дефицитными;

— в процессе образуется избыточный газ в количестве более 2 тыс. м³/т чугуна с теплотой сгорания 6,7—8,0 МДж/м³, который может быть использован в качестве свободного энергоносителя;

— расход угля составляет 1,15—1,2 тыс. т чугуна.

Недостатками процесса Corex являются необходимость загрузки в реактор кокса, расход которого может достигать 15 % от расхода угля, но главное — двухстадийность процесса: полученный чугун необходимо переработать в сталь.

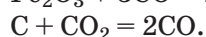
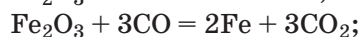
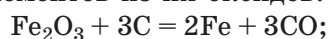
Однако анализ работы пяти функционирующих модулей Corex (одного — на заводе фирмы «Posco» (Южная Корея), двух — на заводе «Jindal» (Индия), по одному — на заводе «Saldanha Steel» и «Isacor» (ЮАР)) показал, что процесс Corex является проверенной альтернативой для традиционного доменного производства.

На заводе «Saldanha Steel» (ЮАР) используется шихта, содержащая 90 % кусковой руды и 10 % окатышей. Избыточный газ из модуля Corex применяют для получения губчатого железа в соседней шахтной печи прямого восстановления Midrex. Передельный чугун с модуля Corex и губчатое железо используют для получения высококачественной стали в дуговой сталеплавильной печи. Затем на машинах непрерывного литья получают заготовки (МНЛЗ) тонких слябов*.

На заводе «Jindal» (Индия) получаемый передельный чугун передают в сталеплавильное отделение, включающее два 120-тонных конвертера и две одноручьевые слябовые МНЛЗ. После разлива на МНЛЗ организуют горячий посад слябов в печь с шагающими балками, которая расположена перед станом горячей прокатки полосы. Часть избыточного газа используется для производства окатышей на установке окомкования, остальная — на выработку электроэнергии.

Передельный чугун на заводе фирмы «Posco» (Южная Корея) применяется в кислородно-конвертерном цехе (LD), а избыточный газ из модуля — для выработки электроэнергии.

В основе доменного процесса лежат химические реакции горения топлива и восстановления Fe, Si, Mn и других элементов из их оксидов:



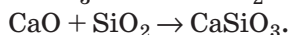
Роль оксида углерода(II) как восстановителя железа является весьма существенной. Это объясняется тем, что хотя сам углерод хорошо способен восстанавливать железо из его оксидов, однако эта реакция является твёрдофазной и протекает с низкой скоростью из-за незначительного контакта между

* Сляб (от англ. *slab* — плита, пластина) — полупродукт металлургического производства, представляющий собой стальную заготовку прямоугольного сечения с большим отношением ширины к высоте (до 15). Ширина сляба 400—2500 мм, высота (толщина) 75—600 мм. Сляб получают из слитков прокаткой на обжимных станах — слябингах (иногда на блюмингах или блюмингах-слябингах), а также непосредственно из жидкого металла на установках непрерывного литья. Предназначены слябы для прокатки листовой стали.

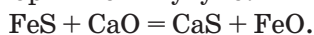
реагентами на поверхности раздела фаз. Напротив, газообразный CO легко проникает между зёрнами оксида железа, и благодаря высокой поверхности контакта окислительно-восстановительная реакция протекает достаточно быстро. Это объясняется уникальными свойствами углерода, в соответствии с которыми сродство углерода с первым присоединившимся к нему атомом кислорода возрастает с повышением температуры в реакционном пространстве, в то время как у всех оксидов металлов оно уменьшается.

Для извлечения нежелательных примесей в чугунах (диоксид кремния, силикаты, сера) в шихту добавляют флюсы. Типичный флюс содержит известняк (карбонат кальция) и доломит (карбонат магния).

Карбонат кальция под действием тепла разлагается до оксида кальция, который, соединяясь с диоксидом кремния, образует шлак:



Сера в доменном процессе вносится с основным коксом и переходит в газы в виде SO_2 , H_2S и др., но большая часть остаётся в шихте в виде FeS и CaS . При этом FeS растворяется в чугунах. При взаимодействии с флюсом сера из чугуна переходит в соединения, нерастворимые в чугунах:

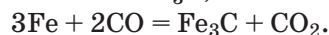
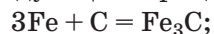


Шлак, в отличие от диоксида кремния, плавится в печи. Более лёгкий, чем железо, шлак плавают на поверхности и его сливают отдельно от металла, затем используют в строительстве и сельском хозяйстве.

Продукты плавки выпускают в чугуновозные и шлаковые ковши через лётки, расположенные в нижней части горна. Образующийся в печи колошниковый газ имеет температуру $150\text{--}300\text{ }^\circ\text{C}$ и отводится через газоотводы, расположенные в куполе печи.

Получающийся в этом процессе чугун представляет собой железо с высоким содержанием углерода, карбида железа (цементита — Fe_3C) и других включений.

Цементит образуется в результате следующих процессов:



При охлаждении чугуна цементит распадается на железо и углерод, содержание которого в чугунах может составлять до 5 % по массе.

Из руды, кокса и флюсов в чугунах переходят и другие примеси (Fe_2Si , FeSi , сульфиды, фосфиды и др.). Они делают железо неоднородным, образуют отдельные фазы, нарушая целостность его кристаллической структуры. Это сказывается на механических свойствах железа. Чугун характеризуется хрупкостью, отсутствием ковкости, поэтому требует переработки, или, как говорят металлурги, передела чугуна в сталь.

Сталь отличается от чугуна, прежде всего, более низким содержанием углерода — до $1,9\text{--}0,3\text{ } \%$ по массе. Это придаёт ей такие ценные свойства, как меньшую хрупкость, ковкость, что позволяет прокатывать её в тонкие листы, трубы, балки, рельсы, проволоку и другие изделия.

Передел чугуна в сталь осуществляется в специальных печах — кислородных конвертерах. Основная задача такого передела — выжечь избыточный углерод из чугуна, удалить со шлаком и отходящими газами другие содержащиеся в нём примеси.

Конвертор представляет собой большой грушевидный металлический сосуд ёмкостью $20\text{--}60\text{ т}$, изготовленный из стальных листов (рис. 2). Он может вращаться вокруг горизонтальной оси. Днище конвертора снабжено отверстиями, через которые вдувается воздух, а корпус изнутри выложен силикатным кирпичом.

В конвертор загружают расплавленный чугун из плавильной печи и сверху вводят медную трубу с водяным охлаждением. Через неё на поверхность расплавленного железа направляют струю кислорода с примесью порошкообразной извести. Эта окислительная продувка приводит к интенсивному окислению примесей, которые, соединяясь с изве-

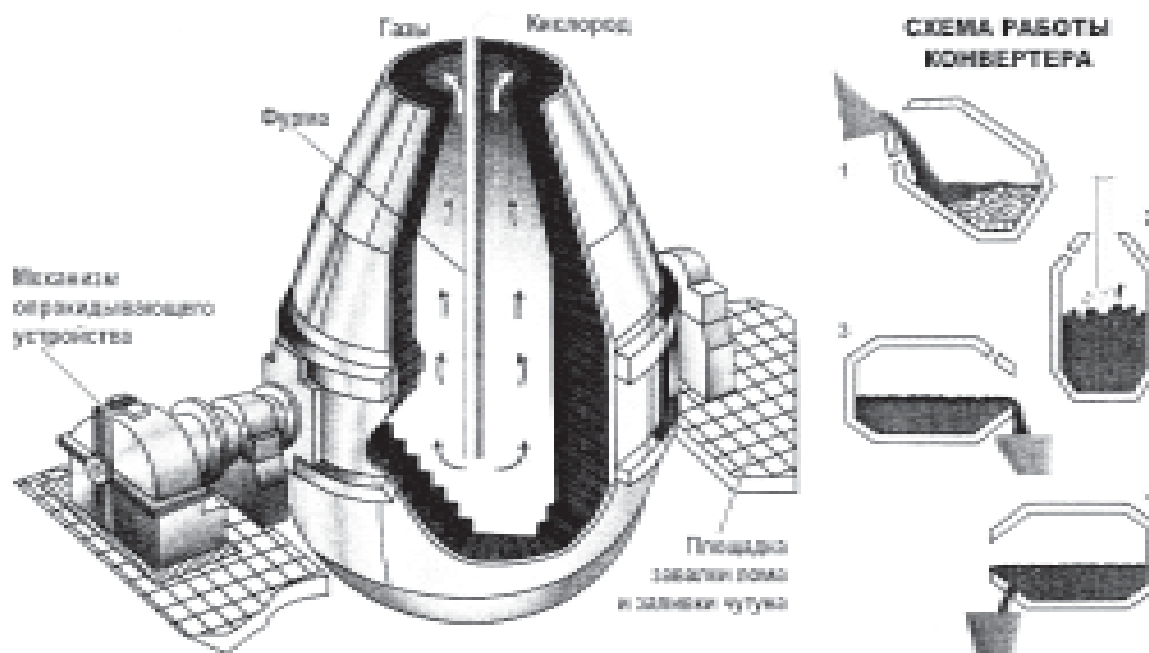


Рис. 2. Конвертер с кислородным дутьём [7]

тью, превращаются в шлак. Этот процесс длится 15—20 минут. Шлак, скопившийся над расплавленным железом, сливают, наклоняя конвертер.

Полученный металл в растворе содержит избыток кислорода, поэтому заключительная стадия плавки — раскисление металла. Для этого в конвертер добавляют кислородсодержащие соединения железа в виде железного лома с большим содержанием ржавчины («скрап»).

Для получения специальных сталей, обладающих повышенной твёрдостью и коррозионной устойчивостью, в расплав добавляют легирующие добавки — Mn, Cr, V, редкоземельные металлы и т. д.

Легирующие добавки «связывают» вредные примеси и уводят их в шлак или препятствуют кристаллизации примесных соединений на границе зёрен кристаллов металлического железа. Добавки редкоземельных металлов резко увеличивают устойчивость стали к действию низких температур, что особенно важно для устранения хладоломкости. Так, например, если обычные стальные детали различных машин и механизмов в условиях Крайнего Севера выходят из строя через несколько

месяцев, то у деталей, изготовленных из стали, легированной редкоземельными металлами, срок эксплуатации возрастает в десятки раз.

Второй, прямой способ получения стали

Второй, современный способ получения стали, хотя и называют прямым, также предполагает наличие двух стадий получения стали.

На первой стадии из обогащённой железной руды получают металлизированные **окатыши**, которые представляют собой губчатое железо. Из-за того что «чистое железо» получается на первой стадии, этот процесс и называют прямым.

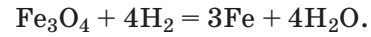
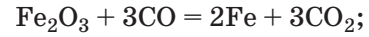
Образовавшееся на этой стадии губчатое железо не может быть непосредственно использовано для изготовления стальных изделий. Для этого и нужна ещё одна стадия процесса, на которой в электропечах производят переплавление металлизированных окатышей в железо, пригодное для дальнейшего изготовления сталей различных марок.

Суть процесса прямого восстановления заключается в следующем.

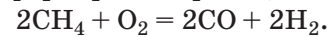
Железную руду на горно-обогатительном комбинате измельчают, подвергают магнитной сепарации, а затем обжигают с относительно небольшим количеством кокса во вращающихся печах.

Затем полученные окисленные железорудные окатыши подвергают действию газообразных восстановителей в специальных реакторах. Формы и конструкции реакторов прямого восстановления очень разнообразны. Иногда реактором служит вращающаяся трубчатая печь, например цементная, иногда — шахтная печь, иногда — закрытая реторта. Этим и объясняется разнообразие названий способов прямого восстановления: Midrex, Hoyalata у Lamina (разновидности: HYL-I, HYL-II, HYL-ZR) и т. д. Число способов уже перевалило за два десятка, но суть их обычно одна и

та же: железорудное сырьё восстанавливается смесью метана, оксида углерода(II) и водорода. При этом происходит металлизирование окатышей (т. е. образование металлического железа):



Водород и CO образуются из метана при его окислении в присутствии катализатора в специальных аппаратах — реформерах по реакции:



Наиболее распространённым технологическим вариантом прямого способа получения стали является процесс Midrex (рис. 3).

Шахтная печь (8) по высоте разделена на две зоны с двумя самостоятельными

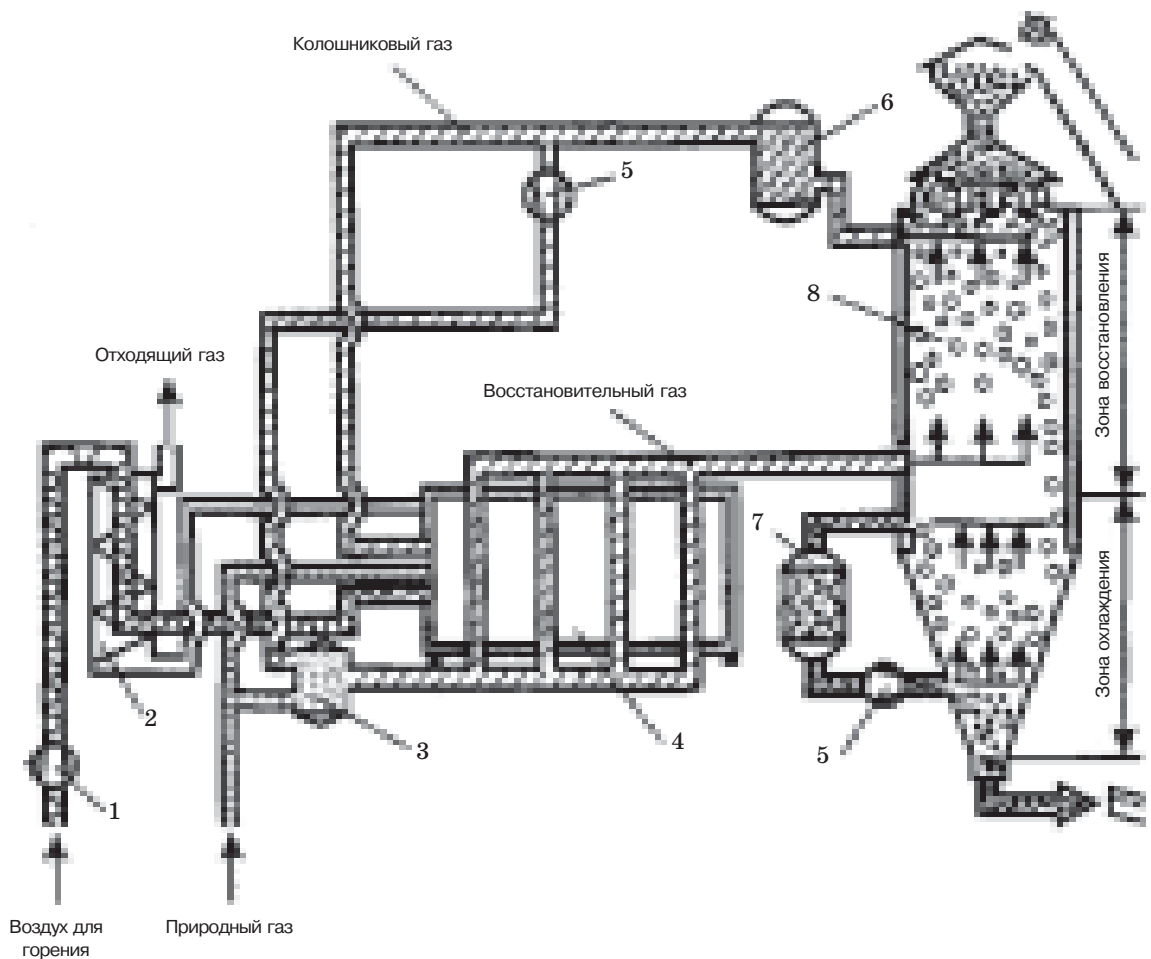


Рис. 3. Технологическая схема процесса Midrex:

1 — воздуходувка; 2 — теплообменник; 3 — смеситель газов; 4 — конвертер;
5 — компрессор; 6, 7 — скруббер для колошниковых газов; 8 — шахтная печь

ми обратными газовыми циклами. Сверху в печь загружают железорудные окисленные окатыши, из нижней части выгружают металлизированные окатыши. В верхней части печи под воздействием восстановительного газа (30 % CO, 70 % H₂) происходит восстановление железа из оксидов. Процесс восстановления и продолжительность пребывания окатышей в верхней половине печи составляют 4–6 ч, температура окатышей в зоне восстановления — 760 °С.

Опускаясь в нижнюю часть печи, металлизированные окатыши попадают в нижний газовый цикл, где осуществляется их охлаждение смесью восстановительного и изолирующего газа. При выгрузке из печи окатыши имеют температуру около 40 °С. Содержание металлического железа составляет 90–93 %, суммарное время пребывания окатышей в шахтной печи — 8–12 ч.

В настоящее время в мире действуют всего 44 установки Midrex, из них 22 единичной годовой мощностью 400–450 тыс. т, 17 — 559–800 тыс. т, 3–1 млн т, по одной установке — 1,2 и 1,36 млн тонн. По данным фирмы «Voest Alpine» (Австрия), которая является лицензиатом процесса Midrex, в

общем объеме железа прямого восстановления, произведенном в 2004 г. в мире (около 50 млн т в год), на долю цехов Midrex приходилось до 65 %, т. е. около 30 млн т/год.

Для дальнейшей интенсификации процесса разработана технология ОХУ+, заключающаяся в производстве восстановительного газа путём взаимодействия природного газа и кислорода (для повышения температуры газов). В 2005 г. такую технологию освоили и на Оскольском электрометаллургическом комбинате.

Как уже отмечалось, полученное на этой стадии губчатое железо в виде металлизированных окатышей на следующей стадии подвергается переплавлению в электродуговых печах.

Электродуговая печь представляет собой круглый глубокий резервуар, выложенный огнеупорным кирпичом (рис. 4).

В печь загружают металлизированные окатыши и закрывают крышкой, через отверстие в которой опускают в печь электроды до соприкосновения с металлом. При пропускании тока между электродами возникает электрическая дуга, в которой развивается температура выше 3000 °С. При такой температуре металл плавится и образуется сталь. В такой

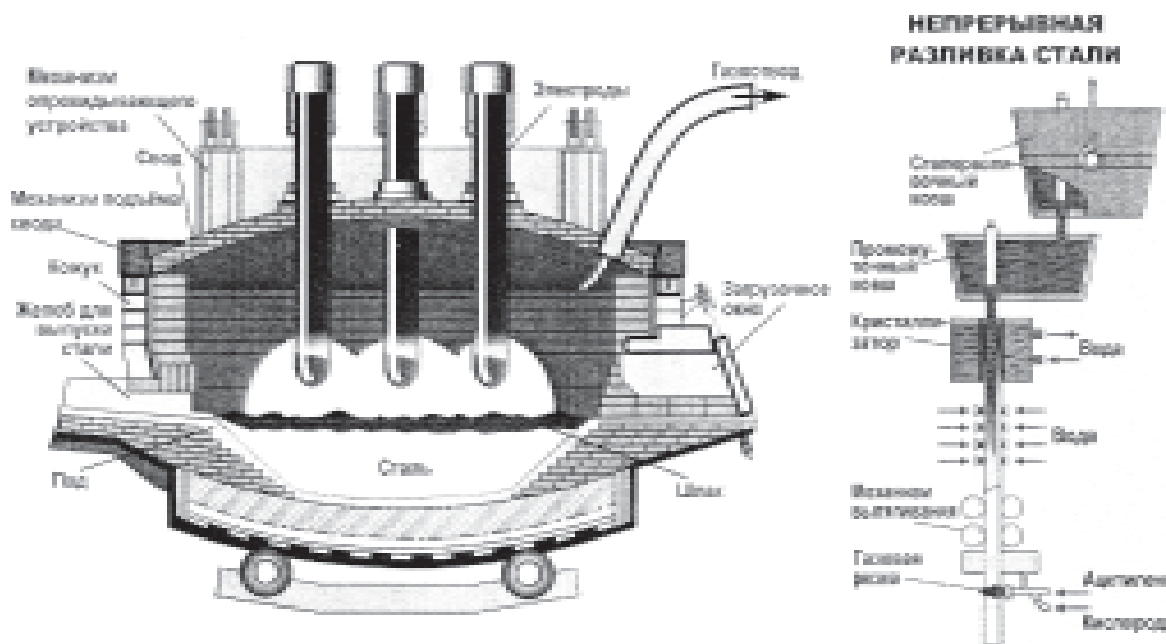


Рис. 4. Схема выплавки стали в электродуговой печи [7]

закрытой электродуговой печи можно создавать любую атмосферу — окислительную, восстановительную или совершенно нейтральную. Иными словами, можно предотвратить выгорание ценных элементов. Так была создана металлургия легированных высококачественных сталей — коррозионностойких, инструментальных (в том числе быстрорежущих), конструкционных, электротехнических, жаропрочных и т. д.

В электродуговых печах процесс плавки идёт обычно в несколько стадий. Сначала из металла выжигают ненужные примеси, окисляя их (окислительный период). Затем из печи убирают (скачивают) шлак, содержащий оксиды этих элементов, и загружают ферросплавы — сплавы железа с элементами, которые нужно ввести в металл. Печь закрывают и продолжают плавку без доступа воздуха (восстановительный период). В результате сталь насыщается требуемыми элементами в заданном количестве. Готовый металл выпускают в ковш и разливают.

Выгода схемы «прямое восстановление — электродуговая печь» состоит в её дешевизне. Установки прямого восстановления значительно дешевле и потребляют меньше энергии, чем доменные печи.

Как планируется производить сталь из белорусского сырья

Для разработки Околовского железорудного месторождения планируется строительство горно-перерабатывающего комплекса, который должен будет включать в себя подземный рудник, обогатительную фабрику (в непосредственной близости от месторождения), фабрику окомкования для получения окислённых окатышей и цех по производству металлизированных окатышей или жидкого чугуна. Последний объект должен располагаться на промплощадке металлургического завода для производства готовой продукции.

Способ разработки месторождения — шахтный, глубина отработки запасов — 500—600 м, обогащение железорудного сырья проходит по схеме: дробление до 30—40 мм, сухая магнитная сепарация

дроблёной руды, три стадии измельчения хвостов и сухой магнитной сепарации и мокрое магнитное обогащение.

Прогнозные показатели горно-обогатительного комплекса следующие:

- годовая производительность обогатительной фабрики по руде — 4000 тыс. т;
- годовой объём производства железорудного концентрата (с содержанием общего железа 70,24 %) — 789,2 тыс. т;
- годовой объём металлизированных окатышей (с содержанием общего железа 93,8 %) — 572,3 тыс. т;
- годовой объём строительного щебня — 663,5 тыс. т;
- годовой объём строительного песка — 215,0 тыс. тонн.

Использование продукции горно-обогатительного комбината для получения готовой продукции — непрерывно-литой слябовой заготовки — рассматривается в двух возможных вариантах (рис. 5).

Первый вариант предполагает производство металлизированных окатышей с использованием прямого восстановления железа на установке Midrex. Затем эти окатыши будут использоваться в производстве стали в дуговой электросталеплавильной печи.

По второму варианту вместо производства окатышей на установке Corex предполагается производить жидкий чугун с последующей его переработкой в сталь в кислородном конвертере.

Основное преимущество первого варианта состоит в том, что он предполагает использование электросталеплавильных печей, которыми располагает БМЗ и ещё около десяти металлообрабатывающих предприятий Беларуси. Таким образом, такая технология обеспечивает меньшие капитальные затраты по сравнению с выплавкой стали в кислородных конвертерах, которые надо ещё построить. При этом важно, что электродуговая печь наносит меньший экологический ущерб, а качество металлизированного сырья и стали выше.

Достоинство второго варианта состоит в том, что он не зависит от поставок природного газа, так как при производстве чугуна используется уголь, в том числе дешёвый бурый. Так, например, в электродуговых печах для производ-

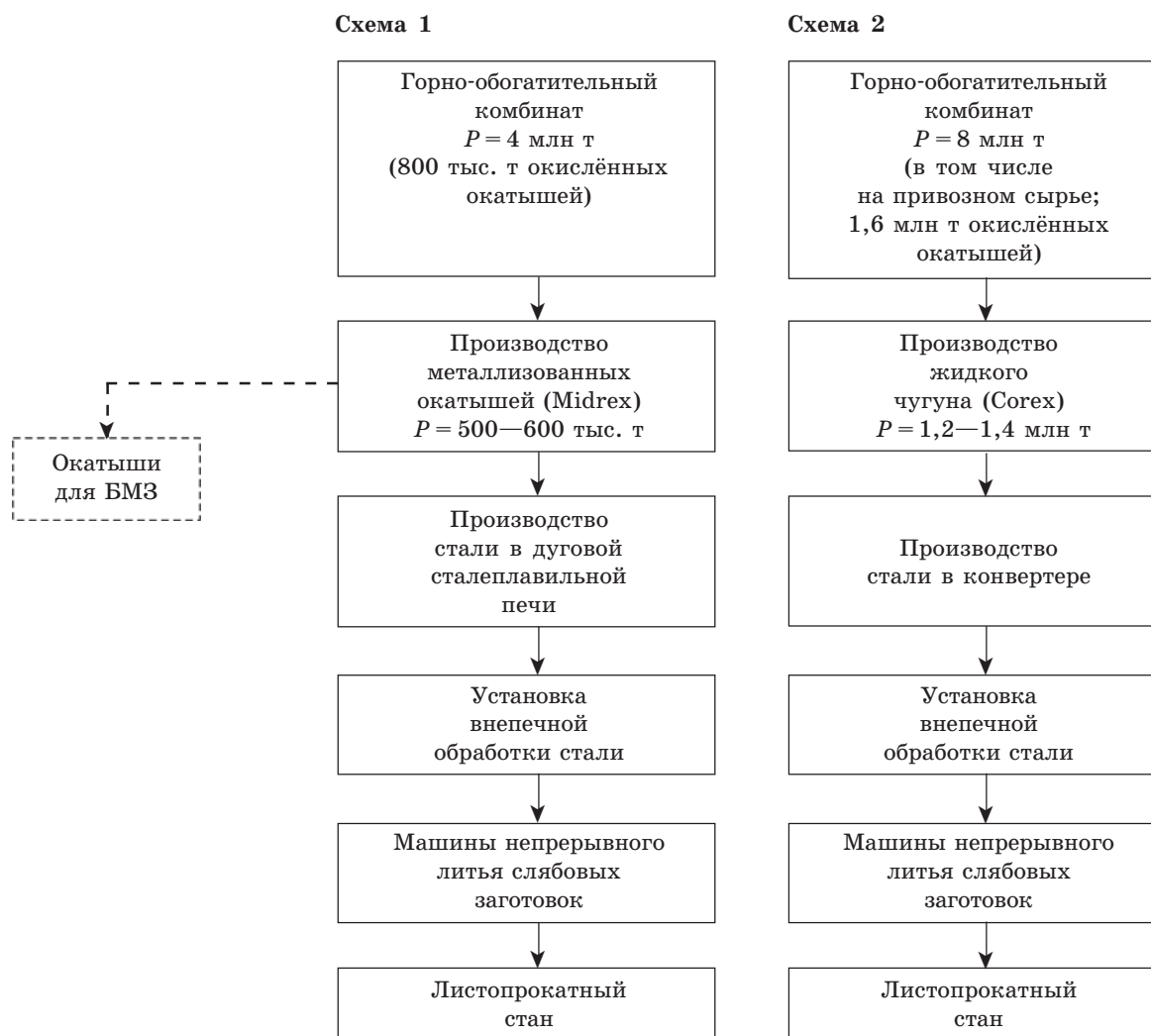


Рис. 5. Две возможные схемы переработки белорусского железорудного сырья

ства 500—600 тыс. т металлизированных окатышей в год требуется 200—300 тыс. т (по условному топливу) природного газа. При производстве жидкого чугуна образуется колошниковый газ — дополнительный источник энергии. Например, при производительности 1,2—1,4 млн т чугуна в год дополнительно образуется топливно-энергетический ресурс на уровне 500—550 тыс. т условного топлива. Также можно использовать отходы металлургического, машиностроительного и других производств (окалина, стружка, шлак, автомобильные шины и т. д.). Но этот вариант не исключает необходимости закупки обычных и коксующихся углей и дополнительного количества железной

руды (на уровне 4 млн т/год при содержании железа около 25 %).

Чтобы окончательно принять решение по выбору альтернативной технологии получения сырьевого железа (окатышей, брикетов, чугуна), необходим учёт взаимосвязанных факторов экономического характера, наличия местных сырьевых ресурсов, конъюнктуры мирового рынка чёрных металлов, специфики требований, предъявляемых к качеству железорудной шихты и т. д. Предполагается, что себестоимость тонны белорусских окатышей не превысит 50 долларов США за тонну. Цена подобного сырья при закупках в России колеблется от 100 до 120 долларов США за тонну. Разница между ценой привозных окатышей и себестоимостью

белорусских может серьёзно уменьшить убыточность металлообрабатывающих предприятий. Поэтому несомненно, что освоение Околовского месторождения

могло бы удовлетворить потребности Беларуси в стали, а в идеальном варианте позволило бы выйти на внешние рынки металлизированного сырья.

Список использованной литературы

1. *Крячко, Г. Ю.* К вопросу о развитии доменного производства / Г. Ю. Крячко // *Сталь*. — 2003. — № 5. — С. 7—11.
2. *Горбачёв, В. А.* Принципы выбора технологии прямого получения железа / В. А. Горбачёв, С. Н. Евстюгин, Н. Н. Копоть // *Сталь*. — 2006. — № 6. — С. 42—46.
3. *Щедрин, В. М.* Основы альтернативной металлургии железа: теоретические и экспериментальные предпосылки / В. М. Щедрин // *Сталь*. — 2001. — № 12. — С. 8—13.
4. *Голд, Л.* Примеры новых технологий фирмы VAJ для чёрной металлургии / Л. Голд // *Чёрные металлы*. — 2005. — № 2. — С. 76—83.
5. *Ярославский, Д.* Обзор прессы по металлургической тематике / Д. Ярославский // *Деловая столица*. — 2005. — № 12.
6. *Эберле, А.* Современное состояние технологий COREX и новые разработки / А. Эберле, Д. Зиука, К. Беем [и др.] // *Чёрные металлы*. — 2003. — № 11. — С. 59—64.
7. *Назарова, Т. С.* Таблицы по химии для общеобразовательной школы. Серия 7. Химическое производство. Металлургия / Т. С. Назарова, Н. С. Куприянова. — М. : ВАРСОН, 2006.
8. www.diclib.com .
9. www.metalurgy.ru .