

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
КОМИТЕТ СОВЕТА МИНИСТРОВ СССР

АКАДЕМИЯ НАУК
СОЮЗА СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

ВСЕСОЮЗНЫЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

КАНД. ТЕХН. НАУК Н. Н. ТИМОШЕНКО

ПРЯМОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
АКАД. И. П. БАРДИН



МОСКВА

1959



ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Введение	3
Глава I. Способы прямого восстановления железных руд при помощи твердых восстановителей	9
Требования к сырью, описание и оценка промышленной полезности процессов	9
Производство во вращающихся печах	10
Процесс Домнарвет	11
Получение губчатого железа для цементации меди в СССР	13
Кричный процесс	14
Производство губчатого железа в печах для обжига огнеупоров методом несмешивающейся шихты	17
Области применения и технология использования губчатого железа	21
Получение железного порошка из губчатого железа	23
Области применения крицы	25
Применение губчатого железа, получаемого во вращающихся печах на твердом восстановителе	26
Глава II. Способы получения губчатого железа и железного порошка при помощи газовых восстановителей	27
Перспективность применения газовых восстановителей	27
Требования к сырью и описание некоторых процессов с определением их промышленной полезности	29
Вращающаяся печь ЦНИИЧМ для восстановления водородом в полувзвешенном состоянии	30
Процесс Виберга	32
Процесс в кипящем слое	34
Области применения продуктов прямого восстановления железных руд газовыми восстановителями	40
Заключение	41
Приложение. Краткое описание способов прямого получения железа из руд, систематизированное по видам агрегатов	44
Литература	54

Технический редактор *Н. Г. Гончаров* Корректор *М. Е. Мартыанова*

Т 00296 Подписано к печати 26/1—1959 г. Формат бумаги 60×92 Бум. л. 1³/₂
Печ. л. 3¹/₂ уч.-изд. л. 33 Тираж 1000 Зак. 4269

Производственно-издательский комбинат ВИНТИ
г. Люберцы, Октябрьский проспект, д. 403.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ
СОВЕТА МИНИСТРОВ СССР

СОЮЗА
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

ВСЕСОЮЗНЫЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Канд. тех. наук Н. Н. ТИМОШЕНКО

ПРЯМОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
АКАД. И. П. БАРДИН

МОСКВА — 1959

Отдел научно-технической информации ВИНТИ

Сектор металлургической промышленности

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во многих промышленных странах мира начинают применять некоторые процессы прямого получения железа из руд. Основными причинами этого являются дефицитность коксующихся углей, наличие крупных ресурсов природного газа, особые свойства получаемых при прямом восстановлении продуктов — губчатого железа и железного порошка, возможность снижения капитальных затрат на единицу получаемого железа, наличие дешевой гидроэлектроэнергии и широкое применение выплавки стали в дуговых электропечах, а также дефицитность скрапа для выплавки стали как в электро-, так и в мартеновских печах.

В доменной печи происходит восстановление железа, науглероживание его до 3—4% углеродом, плавление и отделение его от шлака. Такие примеси доменной шихты (руды, кокса и флюсов), как кремний, марганец, фосфор и сера, частично также переходят в чугун.

В сталеплавильном переделе, характеризующемся окислительными процессами, в противоположность восстановительному доменному процессу, примеси чугуна окисляются и переходят в шлак.

Следовательно, в первой стадии современного металлургического передела происходит насыщение железа элементами, которые во второй стадии — во время сталеплавильного процесса — приходится удалять.

Возникает вопрос, как устранить это противоречие, т. е. перейти к получению железа и стали одностадийным процессом прямо из руды, но, разумеется, без возвращения к «сыродутному» и другим устаревшим способам прямого получения железа, совершенно несостоятельным по сравнению с современным двухстадийным переделом.

Проблема эта только на первый взгляд кажется простой. Она требует решения двух задач: 1) восстановления железа без значительного науглероживания его и загрязнения примесями и 2) отделения железа от пустой породы.

Экономичное решение этих задач в промышленных агрегатах встречало ряд затруднений. В настоящее время бурное раз-

витие техники позволяет вновь вернуться к проблеме прямого получения железа из руды.

Говорить о ликвидации доменного процесса, конечно, преждевременно. Правильнее не противопоставлять процессы прямого восстановления доменному, а рассмотреть их применение в случаях, когда оно может быть целесообразным.

С середины XIX в. было предложено много способов прямого получения железа, но большинство из них обладает недостатками, к числу которых относится: 1) малая производительность; 2) сложность конструкций и их ненадежность; 3) слишком высокий расход электроэнергии при электрическом обогреве; 4) частый выход из строя агрегатов для восстановления вследствие образования настывшей или зависания шихты (в шахтных печах); 5) переход серы твердого восстановителя в губчатое железо; 6) сложность предохранения губки от окисления при ее охлаждении; 7) периодичность действия установок; 8) необходимость применения громадных избытков газа-восстановителя, что приводит не только к большим удельным расходам газа, но и к большим затратам тепла на предварительный подогрев газа.

Обилие патентной литературы, а также экспериментального материала, приводимого в отдельных статьях по вопросам прямого получения железа из руд, и отсутствие в СССР литературных обзоров, освещающих этот вопрос в целом, побудили нас дать в приложении краткое описание наиболее характерных из числа предложенных способов прямого получения железа из руд.

Эти сведения, необходимые лицам, работающим над изысканием новых конструктивных решений технологических процессов прямого восстановления железа, нами систематизированы по принципу сходности конструкций предлагаемых агрегатов и изложены в хронологическом порядке.

При рассмотрении новых предложений и способов прямого восстановления железа из руд необходимо проявлять крайнюю осторожность, а при внедрении практически и экономически оправдывающих себя способов — большую настойчивость, ибо такие методы обладают большими резервами, которые могут быть выявлены только в процессе длительной промышленной эксплуатации. Примером этого является существующий много веков доменный процесс, который из десятилетия в десятилетие улучшается и совершенствуется.

Все новые предложения требуют углубленной проверки не только в лабораторных условиях. Часто важнейшие недостатки не удается вскрыть на пилотной установке и они выявляются только на полужаводских и даже на промышленных установках. Значительное количество предложений и изобретений по прямому получению железа не содержит элементов новизны; объясняется это тем, что многие изобретатели незнакомы с обшир-

ной историей проблемы прямого получения железа из руд, изобилующей тысячами неудачных экспериментов, которые нельзя не учитывать при решении поставленной задачи.

Несмотря на то, что многие известные металлурги нашей страны, как, например, Д. К. Чернов [24], Б. П. Селиванов [22] и А. А. Байков [3], долгое время работали над вопросами прямого получения железа из руд, этим вопросом до последнего времени не уделяется достаточного внимания.

Важность проблемы прямого восстановления железа из руд подчеркивалась еще на 1-й Всесоюзной конференции, происходившей в 1932 г. Однако систематических работ, направленных на решение этой задачи, до начала 1950 г. почти не велось. Украинский институт металлов на созданном после конференции 1932 г. опытном заводе «Компроставаль» в Кривом Роге пытался осуществлять прямое восстановление железной руды в многоподовых печах типа Гересгофа, но эти опыты оказались неудачными, и в 1939 г. завод был закрыт.

До создания в 1948 г. лаборатории прямого восстановления железа из руд в Институте металлургических проблем ЦНИИЧМ разрозненные работы проводились в Сибирском металлургическом институте (получение крицы во вращающихся печах), в Центральном институте металлов в Ленинграде и в Украинском институте металлов, а также на отдельных заводах.

В настоящее время Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии как головной институт должен координировать все работы по прямому получению железа из руд, проводимые в Советском Союзе.

И. Л. Лурье [17] указывает на следующие преимущества процессов прямого получения железа из руд:

- 1) губчатое железо получается при умеренных температурах, благодаря чему не затрачивается тепла на восстановление примесей руды и на расплавление чугуна и шлака;

- 2) при прямом восстановлении железа расходуется в 2 раза меньше тепла, чем в доменной печи;

- 3) для доменного процесса необходим металлургический кокс и соответственно месторождения коксующегося угля очень высоких качеств, в то время как процесс прямого восстановления может идти на любом топливе — твердом или газообразном;

- 4) качество металла, получаемого из губчатого железа, очень высокое.

Следует учитывать также возможность сокращения металлургического цикла при прямом получении стали из руды за одну операцию, использования природного газа и гидроэлектроэнергии, а также перспективу некоторой децентрализации производства черных металлов с резким сокращением издержек на дальние перевозки металла и сырых материалов.

Акад. А. А. Байков [3] указывал еще в 1933 г., что возможность обеспечить при прямом восстановлении селективное восстановление металлических окислов позволяет получать весьма чистое губчатое железо, т. е. полупродукт для изготовления высококачественных и специальных марок стали с повышенными свойствами. Бурное развитие порошковой металлургии потребовало организации производства дешевого и высококачественного железного порошка, причем наилучшие результаты дал способ получения последнего из губчатого железа. В настоящее время 75% мирового производства железного порошка производится по этому способу [28].

Губчатое железо и железный порошок явились ценными реагентами для ряда процессов химической промышленности (получение красителей, синтез пентакарбонила железа и т. д.), а также в производстве активной массы для электродов железо-никелевых аккумуляторов. Железный порошок с успехом применяется для кислородно-флюсовой резки металлов, для очистки семян трав и магнитной дефектоскопии.

В целях использования бедных железных руд, непригодных к доменной плавке, а также комплексных руд был разработан процесс Иогансена-Круппа, представляющий собой процесс пирометаллургического обогащения бедных руд путем получения крицы во вращающихся футерованных печах диаметром от 3,6 до 4,2 м и длиной 60 м и более [1].

При решении проблемы прямого восстановления одновременно решается задача смягчения острого дефицита высококачественного стального лома для электропечей и обеспечивается выплавка в последних жаропрочных и прецизионных сплавов, а также электротехнических и других специальных марок стали с повышенными свойствами. Известно, что, например, в шведской металлургической промышленности для последнего назначения применяется около 200 000 т в год губчатого железа [13].

На протяжении многих десятков лет эффективность использования губчатого железа считалась настолько сомнительной, что большинство металлургов не занималось этим вопросом. Однако за последние 10 лет эта проблема приобрела большое практическое значение в связи с дефицитом коксующихся углей и недостатком качественного скрапа для электро- и мартеновских печей.

Исследования по прямому получению железа как в СССР, так и за рубежом проводятся в двух главных направлениях: 1) восстановление твердым углеродом (тощие и некоксующиеся угли, коксик, отходы от производства термоантрацита, торфокс, древесный уголь, нефтекокс, антрацит и т. д.) и 2) восстановление газами (водород, термически разложенный или конвертированный природный газ, коксовый, генераторный газ и т. д.).

При газовом восстановлении главным направлением должно быть восстановление в полувзвешенном или во взвешенном состоянии. Это вытекает из современных представлений о кинетике процессов восстановления железа, которая наиболее благоприятна при тонком измельчении частиц руды, быстром подведении к реакционной поверхности газа-восстановителя и быстром отведении газообразных продуктов реакции восстановления [10, 14, 26, 27]. Поэтому восстановление во взвешенном состоянии следует предпочесть различным методам восстановления концентратов в слое.

Развитие черной металлургии СССР предусматривает широкое применение обогащенных железных руд. Значительная часть их должна подвергаться обогащению сложными способами с получением тонко измельченных концентратов с крупностью ниже 0,1 и даже 0,05 мм. Окускование таких материалов, необходимое для доменного процесса, связано с дополнительными расходами. Для прямого же восстановления тонкое измельчение концентратов является дополнительным преимуществом, позволяющим ускорить процесс отнятия кислорода от руды.

Как в СССР, так и за рубежом сделано много бесплодных попыток миновать стадию доменного процесса и получать сталь непосредственно из руды. Как указывалось выше, имеется масса патентов на процессы прямого восстановления во всех промышленных странах [2, 7, 20, 23, 29, 30, 33, 34, 38, 41, 43—46]. Часть их даже не опробовалась, часть не оправдала себя при опытной проверке, часть технически выполнима, но неэкономична.

Впервые промышленное производство губчатого железа было организовано в Швеции по способам Хоганеза (с 1911 г.) и Виберга (с 1920 г.). Первый способ или близкие к нему оказались наиболее приемлемыми и в настоящее время осуществлены в промышленном масштабе в ряде стран, в том числе, начиная с 1951 г., и в СССР на Сулинском металлургическом заводе. Способ Виберга нашел применение только в Швеции.

Развитию в Швеции способа прямого получения губчатого железа способствовали экономические и технические факторы, во многом сходные с условиями в СССР: 1) залежи исключительно чистых руд и возможность получения путем обогащения чистых концентратов с содержанием в шлихах до 71% железа, чем практически снимается проблема пустой породы; 2) наличие в ряде пунктов страны дешевой гидроэлектроэнергии; 3) дефицитность коксующихся углей и т. д.

Наличие в СССР, кроме того, богатейших ресурсов природного газа и попутного нефтяного газа позволяет применять в качестве восстановителя на заводах прямого получения железа водород, используя параллельно продукты конверсии или термического разложения газа в ряде смежных химических

производств (производство синтетического каучука, сажи и т. д.).

Современная доменная печь расходует огромное количество газов и в первую очередь подогретого воздуха.

Если смесь доменного и коксового газов, сжигаемых в современных воздухоподогревателях только одной доменной печи, заменить равным объемом природного газа с целью термического разложения последнего, то принципиально возможно получить при термическом разложении метана около 8 млн. нм^3 в сутки водорода, нагретого до температуры 900—1000°. Этим горячим газом можно восстановить около 5000 т железа в сутки.

В докладе Гипромеза на Всесоюзном совещании доменщиков в 1957 г. приведены данные о конструкции и показателях режима работы высокотемпературного воздухоподогревателя (нагрев воздуха до 1250°) с поверхностью нагрева 30 000 м^2 [8].

Современная доменная печь имеет три таких воздухоподогревателя, из которых два работают на газовом периоде, а один на дутьевом.

В первых двух ежечасно сжигается по 146 000 нм^3 доменного и по 22 000 нм^3 коксового газа, а в третьем подогревается до 1250° воздух в количестве 3500 $\text{нм}^3/\text{мин}$, т. е. около 5 млн. нм^3 воздуха в сутки. Если этот нагретый воздух заменить водородом, то его было бы достаточно для восстановления 5000 т холодной богатой пылеватой руды в сутки, т. е. получать прямым путем около 3000 т железа в сутки.

Указанные возможности и масштабы производства, к сожалению, еще не достигнуты, но нашей целью было показать, что технический уровень современного доменного производства так высок, что если приложить подобные же технические средства к процессам прямого получения железа, то их можно будет осуществлять в любом крупнопромышленном масштабе.

Глава I

СПОСОБЫ ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД ПРИ ПОМОЩИ ТВЕРДЫХ ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ

Все способы прямого восстановления железных руд твердым углеродом по температурному режиму могут быть разделены на три группы:

1) восстановление при низких температурах (не выше 1150°) с получением губчатого железа (в печах для обжига кирпича в керамических капсулах, во вращающихся печах);

2) восстановление во вращающихся печах с конечной температурой $1300-1350^{\circ}$ и с получением тестообразного шлака и сваренных вместе частиц металла, образующего крицу;

3) восстановление с получением конечного продукта в жидкой фазе.

Из способов первой группы по чистоте получаемого губчатого железа, пригодного для выплавки специальных сплавов и высококачественных марок стали в электропечах, а также для получения железного порошка, мировое признание получил шведский метод Хоганеза с восстановлением руды в туннельных печах в керамических капсулах.

Требования к сырью, описание и оценка промышленной полезности процессов

Острый дефицит коксующихся углей заставил металлургов искать способы восстановления железных руд, не требующих кокса. Наиболее неприятным в отношении качества угля является метод Хоганеза; другие методы также позволяют использовать неэффективные энергетические угли, но для вращающихся печей выдвигаются дополнительные требования: невысокое содержание серы, тугоплавкость золы угля и желательная малая зольность последнего.

Все методы получения губчатого железа требуют наиболее чистой и богатой железом руды или рудных концентратов с минимальной примесью пустой породы и низким содержанием фосфора и серы.

При этом метод Хоганеза допускает использование тонкодисперсных руд, типа пылеватой криворожской руды—«синьки» и концентратов, измельченных до 0,05 мм. При восстановлении же во вращающихся печах твердым углеродом требуется богатая кусковая руда или же предварительно окомкованные пылеватые руды и концентраты. Исключением является метод Каллинга (Швеция), требующий дробления руды менее 15 мм, но с отсевом мелкой фракции (— 0,1 мм). Качество губчатого железа непосредственно зависит от качества руды, и поэтому весьма выгодно производить глубокое обогащение и измельчение руд, предназначенных для прямого получения железа.

При восстановлении в капсулах руду и твердый восстановитель загружают несмешивающимися слоями, и восстановление протекает в газовой фазе при помощи окиси углерода. Чтобы избежать перехода серы восстановителя в губчатое железо, уголь смешивают с 10—15% по весу известняка. Этот прием обеспечивает на Сулинском металлургическом заводе при использовании в качестве восстановителя термоштыба с 3% серы получение губчатого железа с содержанием серы не выше 0,02%, а практически около 0,01%.

Во вращающихся трубчатых печах губчатое железо может загрязняться золой и серой восстановителя.

Производство во вращающихся печах

Вращающиеся печи для получения губчатого железа применяются давно. В США в 1927 г. Горным бюро был построен опытный завод в Лараме на 50 т губчатого железа в сутки. Установка состояла из двух вращающихся печей: низкотемпературной диаметром 1,8 м и длиной 15 м и высокотемпературной (1000°) длиной 9 м и диаметром 2,7 м. Печь имела наклон 4° и вращалась со скоростью 2 об/мин. Нагревалась печь сжиганием природного газа или пылевидного топлива. Во время работы печи возникало большое количество простоев, связанных с образованием настывлей. Губчатое железо подвергалось магнитной сепарации и, несмотря на это, содержало значительное количество серы [42].

В Швеции на заводе Авеста в 1928—1935 гг. проводились опыты на вращающейся печи. Однако промышленного применения из-за образования настывлей, вследствие «близости между температурой быстрого и полного восстановления и температурой размягчения пустой породы», этот способ не получил. На самом деле здесь играло также роль спекание частиц восстановленного железа.

На Фушунском сталелитейном заводе японские металлурги установили две вращающиеся трубчатые футерованные печи диаметром 2,6 и 3,7 м и длиной 50 м. Производительность первой печи при пребывании в ней шихты примерно в течение 4 час. составляла до 40 т в сутки, а второй при нахождении шихты в течение $4\frac{1}{2}$ — $5\frac{1}{2}$ час. — 60 т в сутки. Восстановлению при помощи некоксуемого угля подвергалась богатая железная руда фракции 5—15 мм при степени восстановления 80—85%.

Для цементации меди требуются большие количества относительно низкого по качеству губчатого железа, причем допускается сколь угодно высокое содержание серы.

Фирма Anaconda Copper Mining Co. (США) организовала для этой цели производство губчатого железа из пиритных огарков с использованием трех расположенных друг над другом трубчатых агрегатов, через которые последовательно проходит шихта. Верхняя печь типа Брюкнера диаметром 2,4 м и длиной 6,1 м используется для дополнительного обжига огарков при 540° , а нижняя является восстановительной, имеет диаметр 3 м и длину 6,1 м и работает при 1010° , вращаясь со скоростью 1 об/мин. Продукт восстановления стекает в приемный трубопровод, заполненный водяным газом для создания восстановительной атмосферы. Из трубопровода продукт попадает в охладитель Бейкера (трубчатый), где он охлаждается до 60° для предотвращения соприкосновения горячей губки с воздухом, что вызывает окисление.

В печи, работающей при 1010° , образуются настывы, удаление которых ломом, несмотря на небольшую длину печи, весьма затруднительно. Поэтому печь оборудована сверильной штангой с водяным охлаждением, на которой имеется вращающийся нож, движущийся по спирали по оси, совпадающей с осью вращающейся печи.

Приводим отчетные данные за сутки работы печи [31]. Загружено пиритных огарков ($\text{Fe}_{\text{общ}} 58\%$) 59 т, угольной мелочи 18 т, оборотного угля 4,5 т, израсходовано природного газа 300 м^3 ; получено губки 41 т состава: $\text{Fe}_{\text{общ}} 70\%$, $\text{Fe}_{\text{мет}} 50\%$, серы 0,8%, нерастворимого остатка 24%; степень восстановления железа равнялась 72%, т. е. была очень низкой. Тем не менее по этому способу уже в течение нескольких десятков лет производится губка для цементации меди.

Процесс Домнарвет

Недавно Б. Каллинг и Ф. Иогансон провели полупромышленные опыты в Домнарвете (Швеция) с целью изыскать средства для борьбы с настывами во вращающейся печи [35].

Процесс отличается способом обогрева вращающейся печи. Шихта представляет собой смесь измельченных (— 15 мм

+0,1 мм) руды и угля, вдуваемых в печь. Уголь применяется не только как восстановитель; он должен давать также тепло для проведения процесса. Поэтому его вводят с большим избытком. Характерен для процесса подвод воздуха в печь по центральной трубе, в которой по всей длине имеется большое количество отверстий. Благодаря такому способу нагрева тепло подводится не к стенке печи, а прямо в шихту. Последняя перед вдуванием в печь подогревается в теплообменнике, обогреваемом в свою очередь отходящими из печи газами. Готовый продукт попадает в холодильник с наружным водяным охлаждением. Готовый продукт делится на две фракции: +3 и —3 мм. Фракция крупнее 3 мм состоит почти из одного губчатого железа, а менее 3 мм нуждается в магнитной сепарации.

Уходящий газ выносит значительное количество угольной пыли, большая часть которой и 2—3% руды оседают в циклоне.

Печь длиной 3,7 м была футерована шамотным кирпичом и вращалась со скоростью 4 об/мин.

Оказалось, что магнетиты дают лучшие результаты, чем гематиты, так как последние менее прочны и в печи дают много мелочи. Большое значение имеет состав пустой породы и золы угля; при низкой температуре их плавления работа затрудняется. Оба эти факта подтверждены Центральным научно-исследовательским институтом металлургии, когда испытывались криворожская и магнитогорская кусковые руды и разные сорта угля. Увеличение мелких фракций угля в шихте приводит к возрастанию потерь СО с отходящими газами; кроме того велик унос пыли. Зола угля должна иметь температуру плавления не ниже 1300°, а температура отходящих газов не должна превышать 250°. При исходной обожженной руде с 60% Fe печь объемом 3 м³ давала немного более 2 т губки в сутки при длительности пребывания шихты в печи 5—6 часов.

Некоторые результаты работы шведской печи приведены в табл. 1.

Таблица 1

Состав руды и параметры процесса	Пиритные огарки		Руда Стриберг, мелкие куски		Руда Грангесберг	
	руда	губка	руда	губка	руда	губка
Fe _{общ} , %	64,4	81,5	55,4	67,4	68,2	89,7
Степень восстановления	—	91,4	—	84,5	—	90,9
Содержание пустой породы, %	7,60	13,7	21,6	28,4	3,9	6,6
P, %	0,13	0,10	0,017	0,028	0,022	0,028
S, %	0,40	0,64	0,003	0,212	0,03	0,251
Температура восстановления, °С	—	1050	—	1070	—	1095
Производительность, кг железа в час	—	114	—	110	—	90

Содержание углерода в губке составляло около 1%.

Из приводимого Б. Каллингом материального и теплового балансов (теоретических) видно, что при степени восстано-

ния 90% расход тепла на 1 т восстановленной губки должен составлять 1 379 000 кал, причем тепловые потери печи оцениваются в 377 000 кал. Автор приходит к правильному выводу, что изложенную технологию еще нельзя рекомендовать для промышленного внедрения ввиду низкого качества продукта и невысокой производительности установки.

Получение губчатого железа для цементации меди в СССР

В СССР первые опыты по получению губчатого железа, пригодного для цементации меди, производились Центральным научно-исследовательским институтом черной металлургии в 1951 г. на опытной печи Сибирского металлургического института, имевшей наружный диаметр 1,4 м, внутренний 1,08 м и длину 20 м при угле наклона 1,6°. Наилучшие результаты дала магнитогорская кусковая руда и тощие малосернистые угли Кузнецкого бассейна, или коксик. Печь отапливалась пылеугольной горелкой с торца печи. Полученная губка дала хорошие результаты в процессе цементации при аэрофлотации упорных медных руд, на что в перспективе может потребоваться до 100 000 т губки в год.

Промышленная технология была освоена лишь в 1956 г. на работающей на коксовом газе кричной вращающейся печи длиной 60 м и диаметром 3,6 м на Орско-Халиловском металлургическом комбинате. Наклон печи 7° при 1 об/мин.

Для получения губчатого железа к этой печи был пристроен водоохлаждаемый желоб, соединенный с расположенным под печью водоохлаждаемым барабаном длиной 40,8 м и диаметром 2,1 м, наклоненным на 7° и вращающимся со скоростью 0,6—1,7 об/мин; температура печи была понижена на 300°.

За печью стояло 6 пылеуловительных камер.

После кричной кампании в печи оставались настыли.

Отопление коксовым газом осложняло ведение процесса. Включение горелки с коксовым газом приводило к недопустимо быстрому повышению температуры разгрузочного конца печи, в то время как большая часть длины печи не была достаточно нагрета. Поэтому стали получать все тепло, необходимое для ведения процесса, за счет выделяющихся из шихты СО и летучих, а также углерода коксика и угля.

Разрежение в дымовой трубе составляло 11—12 мм водяного столба, что обеспечивало введение в рабочее пространство печи необходимого количества воздуха. Чтобы поддержать в печи температуру 1000°, уменьшили число оборотов до 0,5 в 1 мин. При четырех подачах шихты за 1 час (каждая подача состояла из 1500 кг железной руды, 850 кг коксика и 350 кг тощего слабоспекающегося угля) производительность печи по руде составляла 144 т в сутки, причем полупродукт, выдававшийся на воздух, имел температуру 80°, а в первой

пылеуловительной камере поддерживалась температура 320—280°.

Для отделения губчатого железа от непрореагировавших частиц угля или коксика и их золы полупродукт подвергали магнитной сепарации. Мелкая фракция (— 3 мм), не подвергаясь магнитной сепарации, снова направлялась в печь вместо коксика, а фракция крупнее 3 мм проходила через 3 магнитных сепаратора. Выход магнитной фракции составлял от 50 до 80%, и она содержала 82% Fe_{общ} и 77% Fe_{мет}, т. е. восстановление доходило до 95%. Губка содержала до 0,2% серы и около 1% углерода. Содержание фосфора составляло 0,06—0,8%. Основную массу губки представляла фракция +10—25 мм.

Ниже приводятся показатели работы печи на 1 т губчатого железа.

Расход рядовой доменной магнитогорской руды II сорта Fe 56%)	3,27 т
Расход восстановителя	1,6 т
„ коксового газа (на временные включения)	100 м ³
„ электроэнергии	160 кв·ч

Следует отметить значительный расход воды на охлаждение губки. По проектной калькуляции при работе обеих печей ОХМК на губку себестоимость последней составит около 350 руб. за 1 т. Себестоимость 1 т за период освоения при неполной загрузке цеха (1 печь) составила около 500 рублей.

Получаемая губка пригодна только для цементации меди. Но не исключена возможность получения в будущем более чистой от примесей, богатой железом губки и пригодной в какой-то степени для использования в мартеновской печи, если применять более богатую окомкованную руду, добавлять в шихту озерненный доломит в качестве поглощающего серу реагента и подвергать затем полупродукт, выдаваемый из печи, магнитной сепарации. Губчатое железо из обычной вращающейся печи, по-видимому, не пригодно для использования в электропечах. Себестоимость губки, приготовляемой для металлургических целей во вращающихся печах Орско-Халиловского металлургического комбината и возможность снижения содержания в ней серы и углерода, в настоящее время окончательно еще не выяснены.

Кричный процесс

Как уже говорилось выше, широко известный кричный процесс Иогансена-Круппа, несмотря на 27 лет существования, не получил большого распространения и рассматривается лишь как пирометаллургический способ обогащения тех бедных железных руд, которые неудобно или невозможно подвергать обогащению другими способами.

В отличие от процесса получения губчатого железа кричный процесс протекает при более высокой температуре, при кото-

рой плавится кислая порода руды, образуя с золой восстановителя тестообразные шлаки.

До второй мировой войны кричное производство во вращающихся печах было организовано в Германии и на Дальнем Востоке (Китай, Корея и Япония). В настоящее время оно существует в Чехословакии, Германии и в СССР на Орско-Халиловском металлургическом комбинате.

Мелкую руду и восстановитель смешивают вместе, иногда с флюсующими добавками (песок, известняк). В описанную выше печь Орско-Халиловского металлургического комбината длиной 60 м с наклоном 7° и внутренним диаметром 3,1 м, футерованную на $\frac{1}{3}$ разгрузочного конца высокоогнеупорным кирпичом (например высокоглиноземистым), непрерывно подается шихта

При вращении печи шихта медленно передвигается к разгрузочному концу, где сжигается газообразное (ОХМК) или пылевидное (за рубежом) топливо и поддерживается температура до 1350° .

Из печи непрерывно выпадает мелкими порциями тестообразный шлак со включениями королек металла и криц, т. е. слипшихся и окомкованных частичек железа.

Этот полупродукт заливают водой, дробят в шаровых мельницах, рассеивают на грохотах и подвергают магнитной сепарации, причем выделяется готовый продукт или крица, мелочь (полупродукт, идущий обратно в печь) и отвальный шлак. Печь перерабатывает 300—400 т руды с выпуском 60—100 т крицы в сутки.

Химический состав получаемой крицы зависит от качества шихтовых материалов и хода печи. В Чехословакии и ГДР, где используются сернистый восстановитель и бедные руды с высоким содержанием фосфора, крица предназначена исключительно для доменных печей. К недостаткам процесса относятся высокое содержание серы и фосфора, а также включений шлака в крице, малая стойкость футеровки кричной зоны печи, настылеобразование в печи и трудность отделения металла от шлака. Малая стойкость футеровки вызывает высокие простои печей. Перерабатываются кричным процессом главным образом руды с высококремнеземистой пустой породой и низким (20—30%) содержанием железа, причем работа ведется на кислых шлаках, имеющих основность всего от 0,1 до 0,3. Такие шлаки не могли бы вытекать из доменной печи вследствие их высокой вязкости.

Преимуществом процесса является избирательное восстановление комплексных руд Халиловского района. Разработанный Сибирским металлургическим институтом и Центральным научно-исследовательским институтом черной металлургии процесс позволяет восстанавливать почти полностью железо и никель и лишь в небольшой части хром, и, таким образом, по-