

Юнес Разаз, С. Г. Грищенко /д. т. н./

Hares Engineering, г. Вена, Австрия

П. И. Лобода /д. т. н./

НТУУ «Киевский политехнический институт имени И. Сикорского», г. Киев, Украина

О переработке гематитового сырья на Криворожском горно-обогатительном комбинате окисленных руд по технологии прямого восстановления ITmk3®

Younes Razaz, S. G. Grishchenko /Dr. Sci. (Tech.)/ Hares Engineering, Wien, Austria

P. I. Loboda /Dr. Sci. (Tech.)/

NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

On the processing of hematite raw materials at the Kryvorozhsk mining and processing plant of oxidized ore on technology of direct recovery ITmk3

Цель. Обосновать эффективность переработки гематитового сырья на Криворожском горно-обогатительном комбинате окисленных руд по технологии прямого восстановления ITmk3®.

Методика. Анализ результатов технологии прямого восстановления ITmk3®, разработанной компаниями «Kobe Steel Ltd.» (Япония) и «Hares Engineering GmbH» (Австрия) с целью ее применения для переработки гематитовых руд Кривбасса в гранулированный чугун (т. н. «наггетс»).

Результаты. Обосновано вовлечение в производство гематитовых руд (окисленных кварцитов) Кривбасса с высоким содержанием железа, но с низкими магнитными свойствами для переработки их в гранулированный чугун.

Научная новизна. Впервые обосновано применение технологии прямого восстановления ITmk3® компаний «Kobe Steel Ltd.» (Япония) и «Hares Engineering GmbH» (Австрия) для переработки гематитовых руд Кривбасса в гранулированный чугун.

Практическая значимость. Обоснована эффективность использования гематитовых руд (окисленных кварцитов), что позволяет существенно сократить затраты в горнорудном цикле для экономического производства металлургической продукции. Окисленные кварциты располагаются на небольшой глубине, поэтому их можно извлекать достаточно экономично при соответствующей технологии. Использование окисленных кварцитов для производства чугуна существенно расширит сырьевую базу региона. Показано, что гранулированный чугун «наггетс» востребован европейской сталелитейной промышленностью, которая основывается на электродуговых печах. Это позволяет интегрировать металлургическую промышленность Украины с европейскими предприятиями. При рассматриваемой технологии производства гранулированного чугуна произойдет снижение экологической нагрузки за счет сокращения выбросов от коксохимических и агломерационных производств. (Ил. 4. Табл. 1 Библиогр.: 3 назв.)

Ключевые слова: гематитовые руды, открытая добыча руд, гранулированный чугун, технологии прямого восстановления железных руд.

DOI: 10.33101/S005-59768574

Введение. 6 марта 2018 г. компании «Kobe Steel Ltd.» (Япония) и «Hares Engineering GmbH» (Австрия) подписали с Министерством экономического развития и торговли Украины (МЭРТУ) Меморандум о взаимопонимании в разработке Технико-экономического обоснования завершения строительства Криворожского горно-обогатительного комбината окисленных руд (КГОКОРа) по технологии прямого восстановления ITmk3® (далее – Меморандум). В данной статье дается

обоснование применения технологии прямого восстановления гематитовых руд (окисленных кварцитов) в гранулированный чугун на недостроенном комбинате КГОКОР.

1. Руды Кривбасса. До Второй мировой войны добыча железных руд с содержанием железа до 60 % и выше в Украине производилась в основном подземным способом в Кривбассе [1]. Однако для того чтобы обеспечить заданный объем выплавки стали согласно планам (120 млн т по СССР и

50 млн т по Украине) производительность подземных рудников была недостаточной. Кроме того, они требовали существенной реконструкции, перехода на новую ступень вскрытия горизонтов. В Криворожском железорудном бассейне, кроме богатых руд, сосредоточены так называемые бедные руды: магнетитовые кварциты, обладающие высокими магнитными свойствами, и гематитовые руды – окисленные кварциты, которые такими свойствами не обладают, однако располагаются на небольшой глубине (зона окисления достигает 100–200 м) (рис. 1, табл. 1).

Как следует из приведенных данных (табл. 1), окисленные кварциты имеют достаточно высокое содержание железа, и при соответствующей технологии могут быть успешно использованы в металлургии.

2. Немного истории. Строительство КГОКОРа было начато более тридцати лет назад – в 1985 г на основе многостороннего соглашения стран – членов СЭВ и двусторонних соглашений, подписанных СССР в 1986–1987 гг. со странами

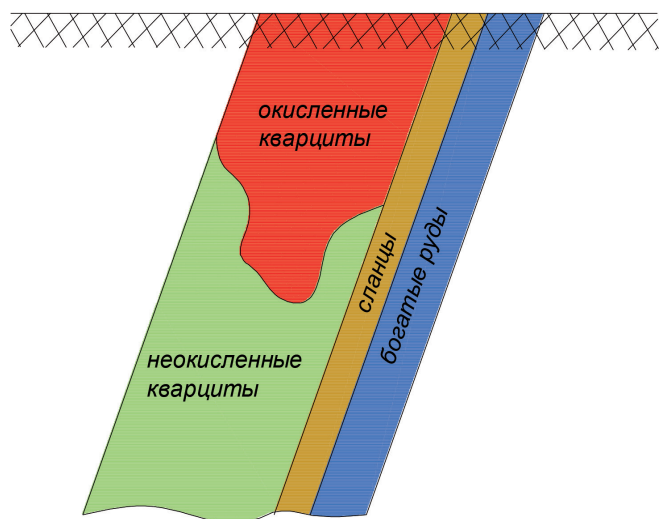


Рис. 1. Принципиальная схема залегания руд Кривбасса

Восточной Европы; после распада СССР и СЭВ строительство КГОКОРа продолжали Украина, Румыния и Словакия.

Проектирование комбината велось в начале 1980-х годов и ставило своей целью организацию переработки именно окисленных (гематитовых) железных руд Криворожского бассейна.

Общие запасы этого перспективного сырья в Кривбассе превышают 5 млрд т, из которых непосредственно на КГОКОРе должно быть переработано более 2,5 млрд т [2; 3]. Это включает как подтвержденные запасы окисленных руд Восточно-Валявкинского месторождения (основную сырьевую базу КГОКОРа), так и накопленное заскладированное гематитовое сырье, добытое при попутной добыче на Ново-Криворожском ГОКе ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» и ОАО «Южный ГОК». Производственная мощность комбината по сырой руде по проекту первой очереди составляла 22 млн т в год, а на полное развитие – 33 млн т в год. При этом гематитовые руды (возможно, засоренные) необходимо транспортировать за 60 км в Кременчугский район (Кировоградскую область).

Строительство КГОКОРа было прекращено в 1997 г. в связи с отсутствием финансирования за счет средств Госбюджета Украины.

В основе Меморандума лежит предложение компаний «Kobe Steel» и «Hares Engineering» инвестировать значительные суммы в актуализацию и завершение проекта строительства КГОКОРа. Проектом предусматривается перерабатывать окисленную железную руду в гранулированный чугун (г. н. «нагетс»). Для этого использовать технологию ITmk3®. При этом на первом этапе инвестиций планируется построить один модуль завода ITmk3® мощностью 400 тыс. т в год продукции – гранул «нагетс», используя ежегодно около 1,5 млн т гематитовой руды, и в будущем увеличить масштабы проекта при приемлемых условиях инвестиций.

Таблица 1

Типы руд Кривбасса

Типы руд	Среднее содержание Fe в природной руде		Вредные примеси	Бортовое содержание Fe, %	Содержание Fe в концентрате, %	Глубина разработки, м		Способ разработки	Конечная продукция	
	Fe общ.	Fe магн.				В настоящее время	В перспективе			
Богатые руды	46–65		S, P	46–48		1000–1200	1500–2000	Подземный	Аглоруда	
Кварциты (бедные руды)	Окисленные	28–46	2–4	S, P	28	55–65	100–150	150–200	Открытая разработка	Концентрат, окатыши
	Неокисленные	28–46	12–31	S, P	10–18	66–68	350–410	400–700	Открытая разработка, подземная	Концентрат, окатыши, агломерат

В развитие Меморандума в июне 2018 г. компании «Kobe Steel» и «Hares Engineering» совместно с МЭРТ подписали «Дорожную карту» для реализации данного проекта. Согласно этой «Дорожной карте», две компании-инвестора должны выполнить технико-экономическое обоснование развития проекта КГОКОРа к первому кварталу 2019 г. В ходе работы над ТЭО предполагается формализовать договоренности с МЭРТУ об условиях, позволяющих инвесторам успешно реализовать проект. При положительном решении всех процедурных вопросов (включая юридические, международные и другие аспекты) строительство в объеме первого этапа инвестиций может быть начато уже в четвертом квартале 2019 г. Новый завод может начать свою деятельность в 2022 г.

Следует отметить, что компании «Kobe Steel» и «Hares Engineering» уже длительное время работают над возможным инвестированием в проект КГОКОРа. Так, делегация компаний «Kobe Steel» и «Hares Engineering» совместно с представителями Японского банка международного сотрудничества «JBIC» и Посольства Японии в Украине еще в октябре 2007 г. встречались с Президентом Украины В. А. Ющенко и предложили инвестировать в реструктуризацию и завершение строительства КГОКОРа на основе технологии ITmk3®. Обе компании тогда же начали работу с бывшим Министерством промышленной политики Украины и разработали соответствующие подходы для решения этой проблемы. Но, к сожалению, объект был передан другому инвестору (с участием российской компании), который вопреки взятым обязательствам долгое время контролировал КГОКОР без инвестирования в последующее развитие и завершение строительства. Как следствие, техническое состояние объектов комбината за этот период без надлежащего обслуживания значительно ухудшилось, а сам КГОКОР, сохраняя статус госпредприятия, был подвергнут процедуре банкротства.

3. Сущность технологии ITmk3®. Предложенная для реализации в условиях КГОКОРа технология ITmk3® – это одна из новейших технологий прямого восстановления с использованием в качестве восстановителя уголь. Она разработана в ходе испытаний и экспериментов компанией «Kobe Steel». Отличием данной технологии является то, что конечным продуктом углетермического восстановления являются не частично металлизированные окатыши, а новый гранулированный железосодержащий продукт под названием «чугунные нагеттсы», с содержанием суммы компонентов ($Fe_{общ} + C$) >96 %. При получении «нагеттсов» в кольцевой печи периоды восстановления и плавления рудного материала проходят быстро и длятся от 10 до 15 минут при температуре 1300–1500 °С.

Основным преимуществами процесса ITmk3® является то, что он способен перерабатывать низкосортную железную руду с использованием некокующегося угля в качестве восстановителя. Аппаратурная схема процесса представлена на рис. 2.

Еще одним качественным отличием от других технологий прямого восстановления, ориентированных исключительно на переработку богатого рудного сырья, т. н. «суперконцентратов» с содержанием железа около 70 %, является то, что технология ITmk3® пригодна для передела железорудного концентрата с содержанием железа 48 %. Однако показано, что экономическая эффективность промышленного предприятия может быть достигнута при содержании в концентрате порядка 60 % железа. Это обеспечивает получение высококачественного гранулированного чугуна с содержанием 96 % ($Fe_{общ} + C$).

Первый коммерческий завод по технологии ITmk3® был построен и введен в эксплуатацию в Месаби (США) дочерней компанией американской компании «Steel Dynamic Inc» под названием «Mesabi Nugget LLC» (рис. 3).

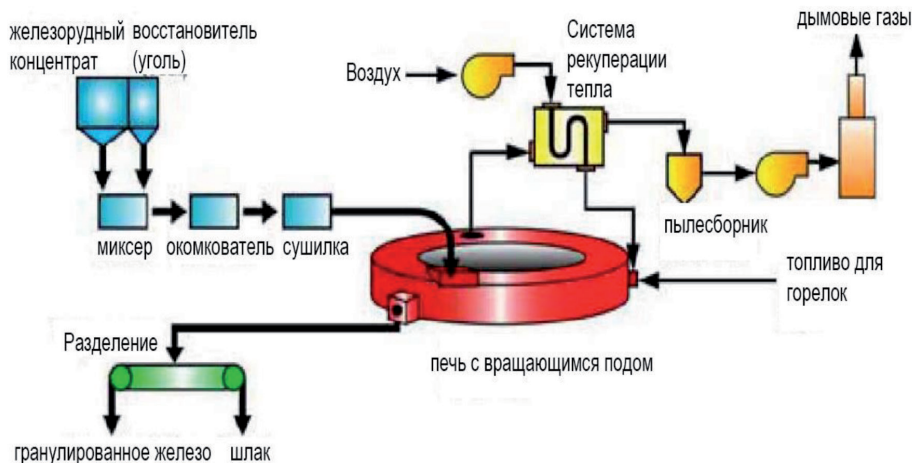


Рис. 2. Аппаратурная схема модуля для производства «нагеттсов» по технологии ITmk3®

Во время своей эксплуатации более пяти лет завод ITmk3® в Месаби перерабатывал различные низкосортные магнетитовые и гематитовые железные руды и успешно производил чугунные «нагетсы» (рис. 4).

Используя опыт работы завода в Месаби с низкосортной железной рудой, компания «Kobe Steel» запустила в Японии специальную технологическую программу по переработке отходов сталелитейной промышленности, включая пыль от выплавки чугуна в доменной печи, агломерационную пыль, пыли и шламы других металлургических переделов, прокатную окалину и другие мелкодисперсные материалы. В результате этих работ был сделан окончательный вывод о том, что модуль ITmk3®, помимо своей жизнеспособности как металлургического агрегата, работающего на типичном железорудном концентрате, **также может эффективно использоваться для утилизации отходов сталелитейных заводов с производством высококачественного гранулированного чугуна.**

Производственная мощность установки ITmk3® является гибкой в соответствии с требованиями клиента. Максимальная годовая производственная мощность одной кольцевой печи с вращающимся подом составляет 200 тыс. т чугунных «нагетсов», для чего перерабатывается около 350 тыс. т железной руды или железосодержащих отходов. Более высокая производительность может быть достигнута путем установки нескольких кольцевых печей; установки с меньшими параметрами (под объемы конкретных потребителей) также вполне жизнеспособны.

4. Основные преимущества технологии ITmk3® и производимых чугунных «нагетсов»:

- Высокая чистота производимых из «первородной руды» «нагетсов» с содержанием $(Fe_{\text{общ}} + C) > 96 \%$, без загрязнения вредными примесями.

- Производство высококачественного железа практически в один передел, без использования кокса и агломерата, как в доменных печах.

- Простота используемого оборудования и его отличная эксплуатационная надежность.

- Возможность использования в производстве металлизированного продукта низкосортной руды.



Рис. 3. Завод в г. Месаби, США, по производству «нагетсов» по технологии ITmk3®



Рис. 4. Внешний вид гранулированного чугуна - «нагетсов»

- Конечным продуктом производства являются чугунные «нагетсы», пригодные для использования во всех электросталеплавильных цехах и в литейных производствах.

5. Концепция компаний «Kobe Steel» и «Hares Engineering», предложенная для реализации в условиях КГОКОРа. Обогащение гематитовой руды для получения товарного концентрата с содержанием железа выше чем 65 % является довольно сложной технической и технологической задачей. Флотационный процесс, реализованный на отдельных зарубежных предприятиях [2], является экологически агрессивным, требует значительных инвестиционных вложений при большом периоде окупаемости. Реализация этой технологии в условиях Кривбасса оказалась невозможной также в связи со значительной потребностью в воде, баланс по которой является довольно напряженным в регионе Кривого Рога, и серьезным воздействием на окружающую среду продуктов флотации.

Гематитовые руды в Кривбассе извлекают попутно с магнетитовыми кварцитами и складировать их отдельно.

Хотя они, возможно, существенно разубожены вскрышными породами. После начала строительства КГОКОРа с 1985 г. начался учет при попутной добыче и селективное складирование гематитовой руды в определенных местах, которые были определены как сырьевая база строящегося КГОКОРа. Огромное количество накопленных отходов, при отсутствии технического и технологического решения вопроса об использовании гематитовых руд, создало дополнительную экологическую проблему для региона.

КГОКОР был спроектирован для обогащения измельченных в тонкие фракции слабомагнитных гематитовых руд с помощью магнитных сепараторов с высокой напряженностью магнитного поля. Это позволяет обогатить гематитовые руды при содержании в них железа 36–37 % до содержания железа в концентрате 60–62 %. Дисперсный состав получаемого концентрата предопределил необходимость его окускования, для чего в составе комбината спроектирована и построена окомковательная фабрика с барабанными грануляторами и обжиговыми машинами. Производимые по устаревшей проектной схеме на КГОКОРе окатыши с низким содержанием железа будут заведомо неконкурентоспособны для переплава на чугуна в доменных печах, особенно по сравнению с высокосортными импортными окатышами (не менее 67–69 % железа), а их производство будет характеризоваться высокими энергетическими затратами при низкой рентабельности.

Технические решения, разработанные для КГОКОРа компаниями «Kobe Steel» и «Hares Engineering», также включают обогащение гематитовых руд методом сухого магнитного обогащения на современных высокопроизводительных сепараторах с интенсивным магнитным полем. Полученный концентрат с содержанием железа до 60 % направляется на модуль ITmk3® для окускования совместно с твердым восстановителем (недефицитные рядовые угли) и производства в кольцевой печи гранулированного чугуна с содержанием $(Fe_{\text{общ}} + C) > 96\%$. Как показывают предварительные расчеты, проект будет коммерчески осуществимым и прибыльным.

Выводы

1. Предлагаемое инвесторами техническое решение на основе технологии ITmk3® позволит КГОКОРу эффективно перерабатывать гематитовую руду в гранулированный чугун, который является новым товаром, востребованным в промышленности в Европе.

2. Использование технологии ITmk3® для Украины характеризуется следующими положительными моментами:

– Ликвидация одной из основных проблем металлургической промышленности Украины,

связанной с дефицитом металлолома, обострившимся при вводе в эксплуатацию мини-металлургических заводов с электропечами.

– Решение одновременно проблемы недостатка кокса, также обострившейся в последнее время в связи с дефицитом коксующихся углей.

– Снижение экологической нагрузки в металлургических регионах за счет сокращения выбросов от коксохимических и агломерационных производств, которые не происходят при технологии производства гранулированного чугуна ITmk3®.

– Вовлечение в производство гематитовых руд (окисленных кварцитов), которые до настоящего времени не используются в значительных масштабах, что позволяет существенно сократить затраты в горнорудном и металлургическом циклах для производства продукции.

– Использование в технологии исключительно национальных ресурсов: украинских окисленных руд, местных некоксующихся углей, ресурсы которых имеются во многих регионах страны; все остальные технологические добавки также доступны на местном уровне.

– Интеграция металлургической промышленности Украины с европейскими партнерами. Гранулированный чугун «нагететс» востребован европейской сталелитейной промышленности, которая основывается на электродуговых печах.

3. Несомненным преимуществом является богатство Украины в железорудных ресурсах, в том числе в гематитовых рудах, возможность модулей ITmk3 производить гранулированный чугун с меньшим потреблением энергии и меньшей эмиссией CO₂. Географическое расположение Украины на Европейском континенте и усилия, предпринимаемые страной для интеграции ее экономики с европейской, подтолкнут украинскую металлургию также глубоко интегрироваться в промышленность Европы.

4. Компания «Hares Engineering» является эксклюзивным лицензиатом на строительство заводов ITmk3® в странах СНГ. Завод на площадке КГОКОРа компания планирует построить, используя местные машиностроительные и строительные компании. 70 % инженерных работ и поставок оборудования могут быть выполнены на местном уровне. Это создаст новые рабочие места и обеспечит прибыльность ряду промышленных компаний в Украине, что, в конечном счете, позитивно отразится на наполнении государственного бюджета страны и местных бюджетов.

Библиографический список / References

1. Четверик М. С. Циклично-поточная технология на глубоких карьерах. Перспективы развития / М. С. Четверик, В. В. Перегудов, А. В. Романенко и др. – Кривой Рог: Дионис, 2012. – 356 с.

Chetverik M. S., Peregudov V. V., Romanenko A. V. *Tsiklichno-potochnaya tekhnologiya na glubokikh kar'erakh. Perspektivy razvitiya*. Krivoy Rog, Dionis, 2012, 356 p.

2. Олейник Т. А. Современные тенденции развития технологий обогащения гематитовых руд в Украине / Т. А. Олейник // Збагачення корисних копалин. – 2014. – Вып. 56 (97).

Oleynik T. A. *Sovremennye tendentsii razvitiya tekhnologiy obogashcheniya gematitovykh rud v Ukraine*. Zbagachennya korisnikh kopalin, 2014, issue 56 (97).

3. Евтехов В. Д. Геологическая оценка результатов поиска оптимальной схемы обогащения гематитовых кварцитов железисто-кремнистой формации докембрия / В. Д. Евтехов, В. В. Пeregудов, Е. В. Евтехов и др. // Геолого-минералогический вестник Криворізького національного університету. – 2013. – Вып. 1–2 (29–30). – С. 87–97.

Evtekhov V. D., Peregudov V. V., Evtekhov E. V. *Geologicheskaya otsenka rezul'tatov poiska optimal'noy skhemy obogashcheniya gematitovykh kvartsitov zhelezisto-kremnistoy formatsii dokembriya*. Geologo-mineralogichniy visnik Krivoriz'kogo natsional'nogo universitetu, 2013, issue 1-2 (29-30), pp. 87-97.

Мета. Обґрунтувати ефективність переробки гематитової сировини на Криворізькому гірничо-збагачувальному комбінаті окислених руд за технологією прямого відновлення ITmk3®.

Методика. Аналіз результатів технології прямого відновлення ITmk3®, розробленої компаніями «Kobe Steel Ltd.» (Японія) і «Hares Engineering GmbH» (Австрія) з метою її застосування для переробки гематитових руд Кривбасу в гранульований чавун (т. зв. «нагетс»).

Результати. Обґрунтовано залучення у виробництво гематитових руд (окислених кварцитів) Кривбасу з високим вмістом заліза, але з низькими магнітними властивостями для переробки їх у гранульований чавун.

Наукова новизна. Вперше обґрунтовано застосування технології прямого відновлення ITmk3® компаній «Kobe Steel Ltd.» (Японія) і «Hares Engineering GmbH» (Австрія) для переробки гематитових руд Кривбасу в гранульований чавун.

Практична значущість. Обґрунтовано ефективність використання гематитових руд (окислених кварцитів), що дозволяє істотно скоротити витрати в гірничорудному циклі для економічного виробництва металургійної продукції. Окислені кварцити розташовуються на невеликій глибині, тому їх можна видобувати досить економічно при відповідній технології. Використання окислених кварцитів для виробництва чавуну істотно розширить сировинну

базу регіону. Показано, що гранульований чавун «нагетс» затребуваний європейською сталеливарною промисловістю, яка ґрунтується на електродугових печах. Це дозволяє інтегрувати металургійну промисловість України з європейськими підприємствами. За цієї технології виробництва гранульованого чавуну відбудеться зниження екологічного навантаження за рахунок скорочення викидів від коксохімічних і агломераційних виробництв.

Ключові слова: гематитові руди, відкритий видобуток руд, гранульований чавун, технології прямого відновлення залізних руд.

Purpose. To substantiate the efficiency of processing hematite raw materials at the Krivoy Rog Mining and Processing Plant of Oxidized Ores using the direct reduction technology ITmk3®.

Methodology. Analysis of the results of the itmk3® direct restoration technology developed by Kobe Steel Ltd., Japan and Hares Engineering GmbH, Austria, with a view to using it to process Krivbass hematite ores into granulated iron (so-called “nuggets”).

Findings. The involvement in the production of hematite ores (oxidized quartzite) of Krivbass with high iron content, but with low magnetic properties for their processing into granular cast iron is grounded.

Originality. The use of ITmk3® direct reduction technology from Kobe Steel Ltd., Japan and Hares Engineering GmbH, Austria for the processing of Krivbass hematite ores into granular cast iron is justified for the first time.

Practical value. The efficiency of the use of hematite ores (oxidized quartzite) has been substantiated, which can significantly reduce the costs in the mining cycle for the economical production of metallurgical products. The oxidized quartzites are located at a shallow depth, so they can be extracted quite economically with appropriate technology. The use of oxidized quartzites for the production of iron will significantly expand the raw material base of the region. It is shown that granular cast iron “nuggets” is demanded by the European steel industry, which is based on electric arc furnaces. This allows you to integrate the metallurgical industry of Ukraine with European enterprises. Under the considered technology of production of granulated iron, the environmental load will be reduced by reducing emissions from coke-chemical and sintering plants.

Key words: hematite ores, open cast mining, granulated cast iron, iron ore direct reduction technologies.

Рекомендована к публикации
д. т. н. М. С. Четвериком

Поступила 30.11.2018