

УДК 669.1

Чувашов Д.Н., Немчинова Н.В., Черных В.Е., Тютрин А.А.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ СИДЕРИТОВЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮЖНОГО УРАЛА С ПОЛУЧЕНИЕМ ГРАНУЛИРОВАННОГО ЧУГУНА

Аннотация. В виду истощения железорудных месторождений наиболее остро встает вопрос по переработке более бедных и труднообогащаемых руд. Развитие доменного производства чугуна как основного способа переработки рудного железа сдерживается возрастающим дефицитом коксующихся углей и значительными экологическими проблемами. Цель исследований – изучение влияния параметров восстановительного процесса и состава шихты на получение железа прямого восстановления (гранулированного чугуна) при переработке сидеритовой руды ООО «Бакальское рудоуправление» Южного Урала (г. Бакал Челябинской обл.) с целью получения гранулированного чугуна. Объектом исследований явились образцы сидеритовой руды с содержанием оксида железа ~49,5 мас. % (по данным рентгенофлуоресцентного анализа). Основными минералами в пробе руды являются сидерит (~90%), доломит (~10%), также зафиксированы следы кварца. В качестве восстановителя для извлечения железа из руды использовался каменный уголь Шубаркольского месторождения (г. Караганда, Казахстан) с крупностью частиц 0,25 мм. Магnezит, оксиды кальция и кремния (с крупностью частиц не более 0,1 мм) добавляли в шихту в качестве флюсов до получения шлака следующего состава, мас. %: CaO – 25, SiO₂ – 55, MgO – 20. В экспериментах по отработке технологии окускования шихты применяли карбоксиметилцеллюлозу как связующее. Плавку окомкованной шихты проводили по температурному режиму: загрузка в печь – при 1200°C, последующий постепенный (в течение 10 мин) нагрев до 1350°C, следующие 10 мин – нагрев до 1400°C и выдержка при этой температуре в течение 5 мин. В результате проведенных экспериментов подтвердилась возможность получения чугуна из исследуемой сидеритовой руды, однако извлечение железа оказалось довольно низким – 38%. В дальнейшем планируется обогатить данную руду и провести эксперименты по получению гранулированного чугуна из концентрата.

Ключевые слова: Бакальское рудоуправление, сидеритовые руды, гранулированный чугун, окатыши, шлак, чугун

Введение

Согласно современным оценкам ведущих мировых экспертов, сталь по-прежнему является одним из самых востребованных материалов в различных областях потребления [1-8]. Благодаря высоким темпам внедрения передовых технологий в металлургию железа за последние десять лет возросла доля использования сталей новых марок более высокого качества. Как известно, высококачественные сорта стали можно получать только из рудного сырья [9].

Несмотря на широкое распространение доменного производства чугуна [10], в настоящее время успешно развиваются альтернативные технологии, поскольку развитие производства чугуна доменным способом (как основным видом переработки железосодержащих руд) сдерживается возрастающим дефицитом коксующихся углей и повышением экологических требований к металлургическому производству [11, 12].

Дальнейшее развитие металлургии железа как в нашей стране, так и за рубежом направлено по пути выполнения следующих требований для внедрения в практику: снижение энергоемкости производства; отказ от использования в восстановительном процессе доменного кокса; уход от необходимости агломерации дисперсного оксидсодержащего материала; применение доступных углей в качестве восстановителя и энергетического источника; разработка эффективных технологий, позволяющих использовать низкокачественные железосодержащие руды и концентраты.

Увеличение применения технологий прямого восстановления железа говорит о том, что получение

металла из руд и железорудных концентратов бескоксовыми способами позволяет получать чистый по содержанию примесей металл, который используется, как правило, в электросталеплавильных печах мини-заводов, где требования к качеству металла возрастают в связи с развитием технологии производства новых марок сталей, тонких слэбов и непрерывной прокатки.

Объект исследований

Исходным сырьем для лабораторных исследований по получению гранулированного чугуна явилась руда ООО «Бакальское рудоуправление» (БРУ) Южного Урала (г. Бакал Саткинского района Челябинской обл.).

Запасы, стоящие на балансе БРУ, насчитывают 6 месторождений общим объемом 998 млн т. По состоянию на 2006 г. основные запасы были представлены категориями В+С1 (более 427 млн т), сидериты (более 413 млн т), кварциты (78 млн т) и бурые железняки (13 млн т). Месторождение Бакальской группы представлено преимущественно сидеритовыми рудами. Верхние части залежей подверглись окислению и превратились в бурые железняки с содержанием железа до 52%. Кроме залежей железосодержащей руды, месторождение характеризуется значительными запасами кварцита, пригодного к использованию в производстве ферросплавов и огнеупоров, а также известняка высокого качества с поверхностным залеганием.

На сегодняшний день все запасы бурых железняков практически полностью выработаны, что и ставит задачу по поиску новой технологии, позволяющей эффективно перерабатывать данные сидеритовые руды.

К преимуществам использования железорудного сырья Бакальского месторождения следует отнести большие разведанные запасы сидеритовых руд, низкое содержание в них вредных примесей (в частности, серы и фосфора), наличие необходимой инфраструктуры и трудовых ресурсов, а также благоприятное географическое расположение месторождения, что способствует низким затратам на доставку сырья потребителям [13].

Отбор пробы для исследований

Полученная для исследования руда измельчалась до крупности частиц 0,5 мм, проба отбиралась методом квартования. Следующим этапом пробоподготовки было истирание руды до крупности частиц материала 0,074 мм.

Химический анализ усредненной пробы железосодержащего сырья на содержание железа и других компонентов осуществляли рентгенофлуоресцентным методом (РФА) при помощи спектрометра с волновой дисперсией S8 TIGER (Bruker, Германия). В качестве излучателя использовались таблетки, спрессованные из анализируемого материала массой ~1 г на подложке из борной кислоты. Для проведения качественного и полуколичественного анализа химического состава образцов на содержание углерода использовался метод Best Detection с вакуумным режимом, который сопровождается программным обеспечением QUANT EXPRESS. Анали-

тические линии химических элементов для данного метода градуированы в прикладной лаборатории Bruker, а градуировочные коэффициенты сохранены непосредственно в библиотеке линий, для коррекции матричных эффектов использованы теоретические переменные α -коэффициентов. По умолчанию QUANT EXPRESS выполняет измерения в режиме сканирования, что позволяет проверить наложение аналитических линий с близкими энергиями возбуждения, получить более детальную информацию об образце. Полуколичественный анализ согласно ГОСТ 41-08-205-04 «Методики количественного химического анализа» относится к V категории точности. Результаты анализа получены при помощи метода QUANT EXPRESS. Сводные данные приведены в табл. 1.

Для определения фазового состава образцы железосодержащего сырья истирали в агатовой ступке со спиртом и исследовали методом порошковой дифракции на рентгеновском дифрактометре ДРОН 3.0 (Россия). Условия съемки: излучение – $\text{CuK}\alpha$, $V=30$ кВ, $I=20$ мА, угловой диапазон $3-55^\circ 2\theta$, шаг сканирования – $0,05^\circ$, экспозиция – 1 с/шаг. Фазовый состав проб расшифрован с помощью программы поиска фаз (Diffracplus, PDF-2, 2007 г.). Количественное соотношение компонентов рассчитано по корундовым числам методом RIR. Полученные соотношения фаз носят приближенный характер.

Таблица 1

Химический состав руды ООО «Бакальское рудоуправление»

Наименование компонентов																
Fe_2O_3	MgO	CaO	SiO_2	MnO	Al_2O_3	K_2O	SO_3	Cl	TiO_2	P_2O_5	NiO	CuO	Cr	SrO	ZnO	C
Содержание, мас. %																
49,49	17,61	7,32	1,9655	1,04	0,77	0,10	0,03	0,02	0,02	0,01	0,0086	0,0045	0,0042	0,0039	0,0033	21,6

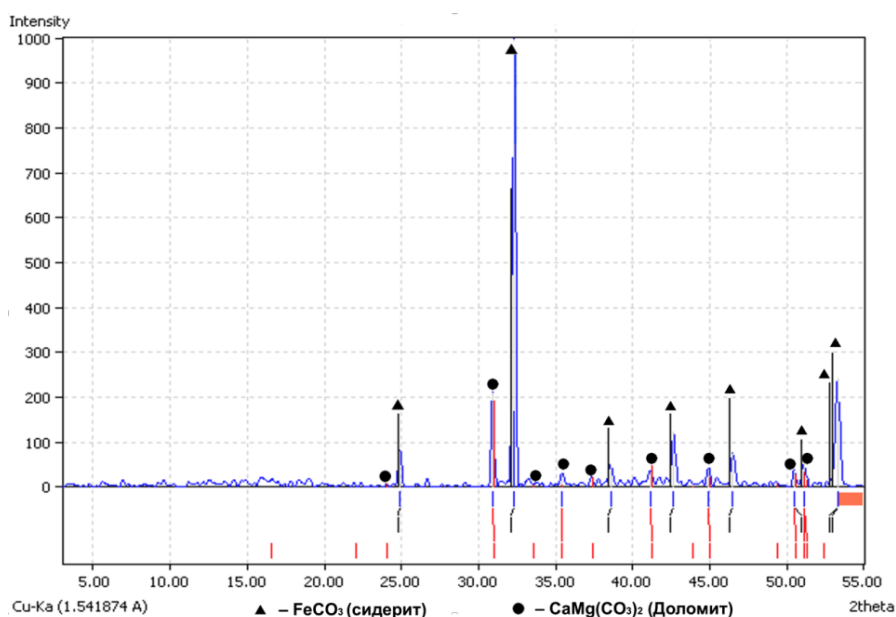


Рис. 1. Рентгенограмма образца руды БРУ

Согласно данным рентгенофазового анализа, проба руд содержит сидерит $90\pm 5\%$, доломит – $10\pm 5\%$, зафиксированы следы кварца. В пробе сидерит имеет межплоскостные расстояния меньше на $0,02 \text{ \AA}$, чем у эталонного образца (в эталоне – $2,79 \text{ \AA}$); вероятно, в данном случае зафиксирован минерал изоморфного ряда магнезит-сидерит, где содержание FeCO_3 составляет 60% .

Подготовка шихты для проведения экспериментальных работ

Цель исследований заключается в изучении влияния параметров восстановительного процесса на получение железа прямого восстановления (гранулированного чугуна) при переработке сидеритовой руды БРУ. На начальных этапах исследований ставилась задача определить возможность получения гранулированного чугуна при переработке данной руды и определить условия проведения процесса.

В качестве углеродистого восстановителя в экспериментах по восстановлению железа из руды БРУ использовался каменный уголь Шубаркольского месторождения (г. Караганда, Казахстан) [14], крупность частиц данного угля не превышала $0,25 \text{ мм}$. Основные технические характеристики данного углеродсодержащего восстановителя приведены в табл. 2.

В качестве флюсов для образования шлака в экспериментальных работах по получению гранулированного чугуна использовали магнезит и оксиды кальция и кремния (химические реагенты марки «Ч») с крупностью частиц не более $0,1 \text{ мм}$. В экспериментах по отработке методики окомкования шихты применяли карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ) как связующее.

Количество вводимых в шихту флюсов – CaO , MgO и SiO_2 – рассчитывали с учетом формирования шлака указанного состава с учетом наличия этих компонентов в железосодержащем рудном сырье и восстановителе.

Теоретические основы получения гранулированного чугуна

Предварительный металлургический расчет состава шихты для плавки базировался на следующих положениях:

- процесс осуществляется на полное восстановление оксида железа до металлического с образованием жидкого сплава железа с углеродом (при содержании последнего $3,0\text{--}4,3\%$) с температурой плавления $\sim 1140\text{--}1280^\circ\text{C}$;
- процесс ведется с образованием относительно легкоплавкого шлака с содержанием компонентов на основе диаграммы состояния системы $\text{CaO}\text{--}\text{SiO}_2\text{--}\text{MgO}$ с температурой плавления $\sim 1300\text{--}1380^\circ\text{C}$ (рис. 2) [15].

Таблица 2

Характеристика каменного угля Шубаркольского месторождения

Показатели технического анализа*, %			Наименование компонентов																
V_{dat}	W_{tr}	A^{d}	Элементный состав, мас. %					Содержание в золе, мас. %											
			C	H	O	N	S	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	TiO_2	NiO	MnO	V_2O_5	P_2O_5	CuO		
43,5	14,5	1,7	54,1	10,86	31,63	3,01	0,4	56,374	5,8	25,3	10,7	0,62	0,022	0,094	0,014	1,05	0,026		

* A^{d} – зольность, V_{dat} – летучие, W_{tr} – влажность

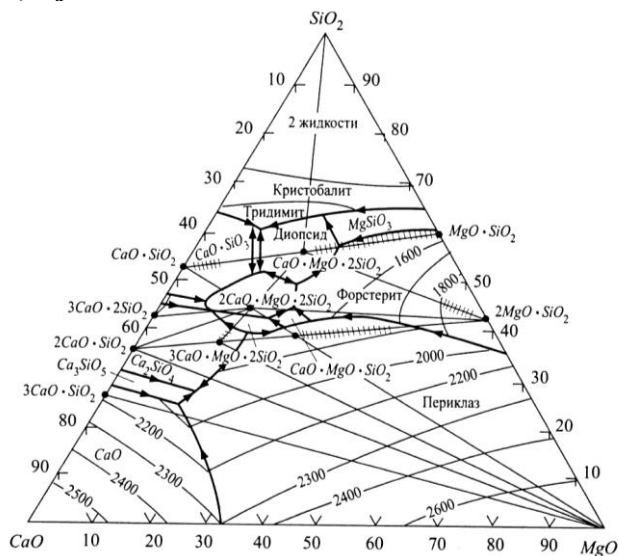


Рис. 2. Диаграмма состояния системы $\text{CaO}\text{--}\text{SiO}_2\text{--}\text{MgO}$

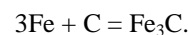
Химизм процесса металлизации железорудного сырья заключается в превращении оксидного железа, находящегося в виде Fe_2O_3 , Fe_3O_4 и FeO , в металлическое железо. Процесс восстановления железа из оксидов (по принципу А.А. Байкова о последовательности превращений) проходит путем ступенчатого перехода от высших оксидов к низшим по схеме: $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO \rightarrow Fe$ [16].

Наиболее легко восстановимым оксидом железа является Fe_2O_3 . При температуре 300–350°C он начинает восстанавливаться до Fe_3O_4 . Восстановление же Fe_3O_4 начинается при температуре более 450°C, данная реакция является эндотермической.

Реакция взаимодействия FeO с CO начинается при более высоких температурах (~ 750–800°C) и сопровождается выделением тепла.

Суммарный тепловой эффект превращения трех молекул Fe_2O_3 в металлическое железо составляет 77,23 кДж и характеризуется в целом как экзотермический. При этом восстановитель – монооксид углерода – генерируется в системе за счет взаимодействия диоксида углерода, образующегося при сжигании топлива, с углеродом угля, входящего в состав окомкованной шихты, по известной реакции Будуара.

Помимо описанных выше реакций, в системе протекает реакция науглероживания металлического железа, которая приводит к образованию карбида железа:



В отличие от чистого железа, науглероженное железо имеет более низкую температуру плавления. Так, если у чистого железа температура плавления равна 1539°C, то при содержании углерода 2 и 4% данный показатель снижается до 1380 и 1170°C соответственно. В результате расплавления науглероженное железо переходит в жидкое состояние, и вследствие когезии мелких частичек в более крупные образуются капли расплавленного железа.

Формирование чугуна в самостоятельную фазу зависит и от образующегося шлака, температура плавления которого должна находиться в интервале температур 1300–1380°C. Состав шлакообразующих компонентов рассчитывается на основе трехкомпонентной системы $CaO-SiO_2-MgO$.

В расплавленном состоянии металл и шлак представляют собой несмешивающиеся жидкости, разделяющиеся благодаря различию в плотностях и имеющие границу раздела с разной поверхностной энергией (межфазным натяжением). При охлаждении железосодержащий расплав кристаллизуется с образованием отдельных самостоятельных фаз: шлака и чугуна. В общем виде стадии процесса получения гранулированного чугуна представлены на рис. 3.

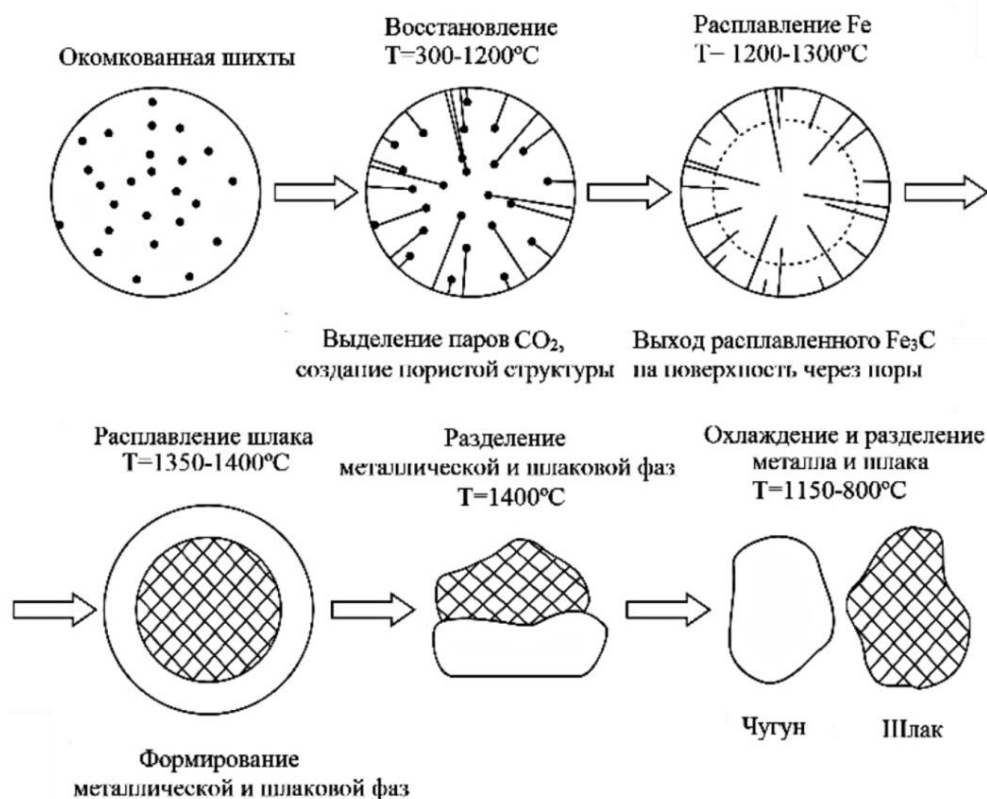


Рис. 3. Стадии процесса получения гранулированного чугуна

Методика лабораторных исследований

Методика лабораторных исследований заключается в отработке параметров углетермического восстановления железосодержащего сырья БРУ с получением гранулированного чугуна.

Взвешивание компонентов шихты и продуктов плавки проводились на лабораторных весах A&D DL-200 с точностью измерения 0,001 г. Навески компонентов шихты высыпали в фарфоровую ступку и смешивали до однородного состояния.

Для проведения экспериментов по плавке необходимо использовать окомкованную шихту. Для этого к подготовленной смеси добавляли отмеренный объем воды с получением густой пасты, из которой получали окатыши массой 10-15 г. Влажные окатыши сушили в лабораторной муфельной электропечи ЭКПС 10 (ОАО «Смоленское СКТБ СПУ», Россия) при температуре 200°C в течение 30 мин.

Высокотемпературную обработку железосодержащих окатышей осуществляли в лабораторной высокотемпературной печи LHT 08/17 (Nabertherm, Германия). С целью воспроизводства в проводимых экспериментах условий, существующих в промышленной кольцевой подовой печи (планируемой в дальнейшем в качестве основного металлургического агрегата для переработки железосодержащих руд и концентратов при использовании разрабатываемой технологии), эксперименты проводились в следующей последовательности:

– в корундовый тигель объемом ~55 мл насыпали 20-30 г углеродистого восстановителя крупностью частиц 0,5-1,0 мм;

– в тигель на поверхность угля помещали подготовленный окатыш;

– тигель с окатышем загружали в печь при температуре 1200°C;

– высокотемпературную обработку окатыша проводили с нагревом до 1400°C (рис. 4);

– тигель с продуктами плавки извлекали из печи, охлаждение продуктов плавки осуществлялось в емкости с водой, затем проводили внешний осмотр и взвешивание продуктов плавки.

На основании полученных данных по характеру разделения продуктов плавки (гранул чугуна и шлака), массе этих продуктов и их химическому составу делался вывод об оптимальности состава шихты и температуры плавки. Полученные пробы чугуна направляли на анализ их химического состава. Шлак анализировали на содержание основных компонентов методом РФА с помощью спектрометра S8 TIGER. Результаты экспериментов представлены в табл. 3.

Высокотемпературную обработку окатыша проводили по следующему температурному режиму: загрузка в печь – при 1200°C, последующий постепенный (в течение 10 мин) нагрев до 1350°C, следующие 10 мин – нагрев до 1400°C и выдержка при этой температуре в течение 5 мин (см. рис. 4).



Рис. 4. Температурный режим плавки шихты из сидеритовой руды БРУ

Таблица 3

Условия и результаты проведения опытных испытаний по получению гранулированного чугуна

Номер шихты	Содержание в шихте, %						Масса, г			Извлечение Fe в готовый продукт, %
	Руда БРУ	Уголь	CaO	SiO ₂	КМЦ	Вода	Вес окатыша после сушки	Чугун	Шлак	
1	45,61	6,52	6,63	21,02	0,68	19,54	11,382	0,898	6,68	36,80
2	45,62	6,52	6,63	21,02	0,66	19,55	12,52	0,957	6,56	38,16
3	45,62	6,52	6,63	21,02	0,66	19,55	12,54	0,971	6,53	38,70
4	45,62	6,52	6,63	21,02	0,66	19,55	12,48	0,93	6,59	37,12

Химический состав гранулированного чугуна, полученного из руды БРУ

Элементы	Fe	C	Si	S	Ni	Cu
Содержание, мас. %	96,64	3,07	0,09	0,1	0,06	0,04

Наряду с низким содержанием железа руда БРУ содержит большое количество MgO в своем составе (см. табл. 1). MgO в известных пределах понижает температуру плавления шлага. В зависимости от содержания в шлагах прочих компонентов температура плавления может понижаться иногда при возрастании содержания MgO до 10-20%. По достижении некоторого значения содержания MgO, дающего минимальную температуру плавления, дальнейшее возрастание содержания оксида магния вызывает повышение температуры плавления шлага в целом. Исходя из этого, можно сделать вывод, что высокое содержание MgO в руде затрудняет процесс получения гранулированного чугуна. Вместе с тем стоит отметить, что в результате нагрева FeCO₃ и его диссоциации будет образовываться CO₂, который по реакции Будуара ($C + CO_2 = 2CO$) будет выступать источником образования CO, то есть восстановителя для оксида железа, находящегося в руде. Исходя из этого, нами было снижено расчетное количество восстановителя (каменного угля) в составе шихты. Состав шихты формировался на основе трехкомпонентной системы CaO-SiO₂-MgO с получением относительно легкоплавкого шлага (с температурой плавления ~ 1360°C) и с примерным содержанием компонентов в нем, мас. %, соответственно: CaO – 25, SiO₂ – 55, MgO – 20 (см. рис. 2).

В ходе серии экспериментов было установлено, что получение гранулированного чугуна непосредственно из руды БРУ возможно. Пробы чугуна анализировались на содержание железа и основных примесей рентгеноспектральным микроанализом на анализаторе Camebax SX50 (Cameca, Франция) (табл. 4).

В продуктах плавки преобладающим по массе и объему являлся шлаг, чугун имел форму гранулы с размерами 3-5 мм (рис. 5). Однако извлечение железа в чугун составило всего 38%. Невысокое извлечение железа в целевой продукт обусловлено низким содержанием железа в шихте и большим количеством шлага, который не позволяет части расплавленного железа собраться в одну каплю. Соотношение (в % по массе) продуктов плавки – чугун/шлаг – составило ~12/88.

Заключение

Проведенные экспериментальные работы подтвердили возможность получения гранулированного чугуна непосредственно из сидеритовой руды Бакальского месторождения, однако в виду низкого содержания железа в исходной руде его извлечение в целевой продукт также оказалось не столь высоким – 38%.

Следовательно, необходимо совершенствовать технологию переработки данной сидеритовой руды путем предварительного обогащения, что позволит более полноценно извлечь ценный компонент.

Альтернативным вариантом можно считать использование руды в качестве добавки к более богатым (по содержанию железа) рудам и другим железосодержащим материалам.



Рис. 5. Продукты плавки шихты на основе руды ООО «Бакальское рудоуправление»

Список источников

1. Backman J., Kyllönen V., Helaakoski H. Methods and Tools of Improving Steel Manufacturing Processes: Current State and Future Methods // IFAC PapersOnLine, 2019. Vol. 52. Issue 13. P. 1174–1179. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.355>.
2. Wang P., Ryberg M., Yang Y., Feng K., Kara S., Hauschild M., et al. Efficiency stagnation in global steel production urges joint supply- and demand-side mitigation efforts // Nature Communication, 2012. No.12. Article number: 2066. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22245-6>.
3. Liu Q., Cho J.-W., Pereloma E. Editorial: Advances in Steel Manufacturing and Processing // Frontiers in Materials, 2021. No. 8. Article number: 708572. <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.708572>.
4. Sun Y., Tian S., Ciais P., Zeng Z., Meng J., Zhang Z. Decarbonising the iron and steel sector for a 2 °C target using inherent waste streams // Nature Communication, 2022. No. 13. Article number: 297. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27770-y>.
5. Sonter L., Barrett D., Moran C., Soares-Filho B. Carbon emissions due to deforestation for the production of charcoal used in Brazil's steel industry // Nature Climate Change, 2015. No. 5. P. 359–363. <https://doi.org/10.1038/nclimate2515>.
6. Fennell P., Driver J., Bataille C., Davis S. Cement and steel: nine steps to net zero // Nature. 2022. Vol. 603. P. 574–577. <https://doi.org/10.1038/d41586-022-00758-4>.
7. Sheshukov O., Mikheenkov M., Vedmid L. Features of Technogenic Iron Oxide Recovery // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020. No. 969. P. 12–52. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/969/1/012052>.
8. Nielsen H. Technology and scale changes: The steel industry of a planned economy in a comparative perspective // Economic History of Developing Regions, 2018. Vol. 33. Issue 2. P. 90–122. <https://doi.org/10.1080/20780389.2018.1432353>.
9. Дорофеев Г.А., Зинягин Г.А., Макаров А.Н. Производство стали на основе железа прямого восстановления: монография. Старый Оскол: ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2021. 324 с.
10. Товаровский И.Г., Лялюк В.П., Эволюция доменной плавки. Днепропетровск: Пороги, 2001. 424 с.
11. Улучшение эколого-экономических параметров технологий литейного производства на основе использования рентгеновской вычислительной томографии / Самочкин В.Н., Барахов В.И., Васин Л.А., Курский В.А. // Известия ТулГУ. Науки о земле. 2018. № 4. С. 33–41.
12. Леонтьев Л.И., Колпаков С.В., Селиванов Е.Н. Современные проблемы металлургии России и Урала // Недвижимость и инвестиции. Правовое регулирование, 2007. № 3–4(32–33). С. 1–6.
13. Панишев Н.В., Бигеев В.А., Дудчук И.А. Опыт проблемы и перспективы переработки шпатовых железняков Бакальского месторождения // Теория и технология металлургического производства. 2017. № 1(20). С. 7–15.
14. Анализ возможного использования углей месторождения Шубарколь при выплавке технического кремния / Сафонов А.А., Маусымбаева А.Д., Портнов В.С., Парафилов В.И., Коробко С.В. // Уголь. 2019. № 2(1115). С. 68–72.
15. Диаграммы состояния силикатных систем: справочник. Выпуск третий. Тройные силикатные системы / Торопов Н.А., Барзаковский В.П., Ланин В.В., Курцева Н.Н., Бойкова А.И.; под ред. В.П. Барзаковского. Л.: Наука, Ленингр. отд., 1972. 448 с.
16. Рощин В.Е., Рощин А.В. Физика пирометаллургических процессов. М: Инфа-Инженерия, 2021. 301 с.

Сведения об авторах

Чувашов Дмитрий Николаевич – аспирант кафедры металлургии цветных металлов, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск, Россия. E-mail: dimachuvashov@list.ru

Немчинова Нина Владимировна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой металлургии цветных металлов, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск, Россия. E-mail: ninavn@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9895-1709>

Черных Владимир Евгеньевич – главный специалист ООО «Инновационные технологии экологии и металлургии» (ООО «ИТЭМ»), г. Иркутск, Россия. E-mail: vchernih@38.mtrci.ru

Тютрин Андрей Александрович – кандидат технических работ, доцент, доцент кафедры металлургии цветных металлов, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск, Россия. E-mail: an.tu@inbox.ru. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9983-2680>

ON THE POSSIBILITY OF PROCESSING SOUTH URAL DEPOSIT'S SIDERITE ORES TO PRODUCE GRANULATED IRON

Chuvashov Dmitrii N. – post-graduate student of the Department of Non-Ferrous Metallurgy, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia. E-mail: dimachuvashov@list.ru

Nemchinova Nina V. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Non-ferrous Metallurgy, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia. E-mail: ninavn@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9895-1709>

Chernykh Vladimir E. – Main specialist of LLC “Innovative Technologies of Ecology and Metallurgy” (LLC “ITEM”), Irkutsk, Russia. E-mail: vchernih@38.mtrci.ru

Tyutrin Andrey A. – Candidate of Technical Works, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Non-ferrous Metallurgy, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia. E-mail: an.tu@inbox.ru. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9983-2680>

Abstract. Depleting iron-ore deposits put the problem of processing poorer and hard-to-dress ores point-blank. Developing blast-furnace ironmaking as the key iron ore processing technique is hindered by the growing shortage of coking coal and significant environmental issues. The research is aimed at studying the impact of the charge reduction parameters and composition on the direct-reduced (granulated) ironmaking when processing South Ural Bakal Mining Administration LLC’s siderite ore (Bakal, Chelyabinsk Region) to obtain granulated iron. The research object was siderite ore samples with an iron oxide content of ~49.5 % wt. (according to X-ray fluorescence analysis). The basic ore sample minerals are siderite (~90 %) and dolomite (~10 %); traces of quartz are also detected. As a reducing agent to extract iron from ores, the Shubarkol deposit (Karaganda, Kazakhstan) coal with 0.25 mm particles was used. Magnesite and calcium and silicon oxides (with 0.1 mm max. particles) were added to the charge as fluxes to obtain a slag of the following composition, % wt.: 25 CaO, 55 SiO₂, 20 MgO. Carboxymethyl cellulose was used as a binder in the charge sintering technology adjustment experiments. The temperature regime of the pelletized charge melting was as follows: furnace charging at 1200°C, gradual (for 10 min) heating up to 1350 °C, heating up to 1400°C for the next 10 min, and holding at this temperature for 5 min. The experiments confirmed the possibility of ironmaking from the siderite ore being studied, however, the iron extraction turned out to be quite low – 38 %. It is further planned to concentrate this ore and perform experiments to obtain granulated iron from the concentrate.

Key words: Bakal Mining Administration, siderite ores, granular pig iron, pellets, slag, pig iron.

Ссылка на статью:

О возможности переработки сидеритовых руд месторождения Южного Урала с получением гранулированного чугуна / Д.Н. Чувашов, Н.В. Немчинова, В.Е. Черных, А.А. Тютрин // Теория и технология металлургического производства. 2022. №3(42). С. 31-38.

Chuvashov D.N., Nemchinova N.V., Chernykh V.E., Tyutrin A.A. On the possibility of processing South Ural deposit’s siderite ores to produce granulated iron. *Teoria i tehnologiya metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2022, vol. 42, no. 3, pp. 31-38.