

УДК 669.168

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАЗАЛЬТОВЫХ ГОРНЫХ ПОРОД ДЛЯ ОКУСКОВАНИЯ ТУГОПЛАВКИХ ХРОМИТОВЫХ РУД КАЗАХСТАНА

© **Ким Александр Сергеевич**, д-р техн. наук (boron_213@mail.ru);**Акбердин Александр Абдуллович**, д-р техн. наук, проф. (akberdin_38@mail.ru);**Султангазиев Руслан Бауыржанович** (sulrus83@mail.ru)

Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева. Республика Казахстан, г. Караганда

Статья поступила 06.08.2019 г.

Приведены результаты исследований по использованию базальтовых горных пород для совершенствования технологии производства обжиговых окатышей из тугоплавких хромитовых руд Казахстана.

Ключевые слова: мелочь хромитовых руд; окомкование; базальтовые флюсы; технология производства обжиговых окатышей.

Вследствие вовлечения в производство бедных руд, процесс обогащения которых связан с тонким измельчением, увеличивается образование рудной мелочи, для дальнейшей переработки которой требуется окускование. Особенно остро стоит вопрос при вовлечении в производство мелочи казахстанских хромитовых руд. Сложность их окускования методами обжига вызвана высокой температурой плавления, обусловленной тугоплавкостью как рудной фазы зерен хромшпинелида ($>2000\text{ }^{\circ}\text{C}$), так и цементирующих пород ($>1500\text{ }^{\circ}\text{C}$). В черной металлургии наибольшее распространение получили такие методы окускования, как агломерация и окомкование. В работе рассмотрен вариант окускования хромитовой мелочи методом окомкования.

Для получения качественного окускованного материала необходимо обеспечение достаточной для образования определенного количества жидкой фазы температуры процесса обжига. Для решения этой задачи имеются два пути: повышение температуры обжига и снижение температуры плавления шихты путем применения различных флюсующих добавок.

Первый путь ограничен возможностями существующих металлургических агрегатов. Повышение температуры обжига окатышей приводит к серьезным осложнениям при эксплуатации обжигового оборудования. По этой причине не решен вопрос выхода на проектную мощность фабрики по производству хромитовых окатышей Донского ГОКа, работающей по технологии компании Оутокюмпу с температурой обжига $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1].

Более эффективно снижение температуры плавления шихты, а, соответственно, и температуры процесса упрочняющего обжига путем ввода различных флюсующих добавок, имеющих низкую температуру плавления, а также способствующих образованию низкотемпературных соединений при взаимодействии с компонентами рудной фазы.

В качестве флюсов наибольшее распространение получили кремний- и алюминийсодержащие материалы [2–4], которые используются в процессе выплавки феррохрома для регулирования шлакового режима. В итоге разубоживание шихты при окусковании по основному компоненту восполняется частично или полностью путем уменьшения добавки флюса при плавке.

В промышленном масштабе в качестве связующей добавки используется бентонит, который обеспечивает высокие комкующие свойства шихты и качество влажных и сухих окатышей. Для тугоплавких хромитовых руд даже ввод в шихту вместе с бентонитом до 2,5% коксика для повышения температуры в слое не обеспечивает при температуре обжига $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ стабильных прочностных характеристик окатышей.

В ходе поиска эффективных флюсов испытаны базальтовые горные породы, которые используются в основном как сырье в силикатной промышленности. Анализ минерального состава базальта показал, что практически все разновидности базальтовых горных пород в достаточной степени охватывают элементарный тетраэдр анортит ($\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$) – диопсид ($\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$) – кварц (SiO_2), где имеется об-

ширная область составов с температурой плавления 1200...1300 °С [5]. Для снижения температуры плавления в составе базальтового флюса необходимо увеличить содержание MgO. Например, при выплавке базальтового волокна для снижения температуры плавления и вязкости расплава в шихту добавляют доломит.

При анализе влияния новой флюсующей добавки на процессы высокотемпературного взаимодействия с составляющими хромовой руды использована математическая модель фазовой диаграммы системы $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{FeO}$ [6], которая создана на основе нового методического подхода, названного автором «балансовым методом» [7].

По предлагаемой технологии формирование легкоплавкой связки происходит при участии пустой породы хромовой руды, содержащей 36...38% MgO. Развитию этого процесса способ-

ствует тесный контакт тонкоизмельченного флюса и хромитовой руды в процессе грануляции. В табл. 1 и 2 представлены результаты анализа процессов фазообразования при добавке в хромовую руду базальта.

Из практики известно, что в процессе образования упрочняющей связки участвует только вмещающая порода, которая представлена, в основном, серпентином ($3\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$).

В исходной руде, которая была использована авторами в экспериментальных исследованиях, содержание пустой породы составляет 14%. Поэтому в табл. 2 расход базальта пересчитан на количество пустой породы.

Расчетно-теоретический анализ показал, что базальт в окислительных условиях представлен в основном анортитом $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ (39,68%), диопсидом $\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$ (16,73%) и свободным кремнеземом SiO_2 (24,93%). Пустая поро-

Таблица 1. Химический и фазовый составы базальта и его смеси с пустой породой хромитовой руды и доломитом

Материал	Содержание, масс. %													
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	Fe ₂ O ₃	MS	F'S	CMS ₂	CAS ₂	FF	S	F	
Базальт	54,81	14,56	12,33	5,40	4,46	8,44	5,755	1,215	16,728	39,684	12,237	24,381	–	
Базальт (в окислительной среде)	54,81	14,56	12,33	5,40	–	12,90	5,755	–	16,728	39,684	–	24,933	12,900	
Базальт + 10% пустой породы	54,32	13,67	11,15	8,55	–	12,31	14,864	–	14,062	37,258	–	21,506	12,310	
Базальт + 15% пустой породы	54,025	13,28	10,75	9,90	–	12,045	18,571	–	13,345	36,195	–	19,844	12,045	
Базальт + 20% пустой породы	53,73	12,89	10,35	11,25	–	11,78	22,278	–	12,628	35,132	–	18,182	11,780	
Базальт + 30% пустой породы	53,25	12,26	9,70	11,43	–	11,36	28,271	–	11,455	33,415	–	15,499	11,360	
Базальт + 40% пустой породы	52,78	11,62	9,06	15,61	–	10,93	34,237	–	10,341	31,671	–	12,821	10,930	
Базальт + 10% доломита	52,20	13,88	14,42	7,26	–	12,24	6,006	–	26,228	37,830	–	17,695	12,240	
Базальт + 20% доломита	49,68	13,24	16,52	8,93	–	11,63	5,804	–	35,682	36,086	–	10,798	11,630	
Базальт + 30% доломита	47,38	12,64	18,45	10,45	–	11,08	5,570	–	44,395	34,451	–	4,504	11,080	

Таблица 2. Химический и фазовый составы вмещающей породы хромитовой руды и ее смеси с базальтом

Материал	Содержание, масс. %										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	MS	CMS ₂	CAS ₂	M ₂ S	M ₂ A ₂ S ₅	MF
Пустая порода хромитовой руды	45,96	2,74	–	45,96	5,34	30,883	–	–	54,598	7,844	6,675
Пустая порода + 18% базальта	47,56	4,82	2,1	38,86	6,66	46,637	–	10,427	31,765	2,847	8,325
Пустая порода + 36% базальта	45,79	5,9	3,39	37,77	7,15	38,720	0,584	–	35,678	–	8,938

да хромовой руды при нагреве распадается на форстерит ($2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$) и энстатит ($\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$), имеющих температуру плавления 1900 и 1557 °С соответственно. Показано, что фазовый состав базальта приближается к области низкотемпературной эвтектики в системе $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ при увеличении содержания оксида магния за счет взаимодействия базальта с пустой породой руды.

При взаимодействии базальта с пустой породой хромовой руды в нем растет содержание оксида магния, а вместе с ним и магниезальной фазы – энстатита, приближая составы связки в область низкотемпературной эвтектики. При этом содержание в связке других фаз меняется незначительно. При добавке 20% пустой породы содержание энстатита увеличивается с 5,76 до 22,28%, т.е. почти в четыре раза, содержание других фаз снижается в пределах 11...27%.

При добавке доломита вместе с оксидом магния более высокими темпами растет содержание оксида кальция. И, как следствие, растет содержание диопсида, имеющего в своем составе кальций и магний. Количество энстатита при добавке 10% доломита растет с 5,76 до 6,01%, а при дальнейшем увеличении добавки доломита количество энстатита снижается. При добавке 20% доломита содержание энстатита остается на исходном уровне, а содержание диопсида возрастает с 16,73 до 35,68%. При этом составы связки находятся также в области низкотемпературных эвтектик.

Оценка влияния базальта на всю массу вмещающей породы показала, что его фазовый состав меняется незначительно, а доминирующей фазой остаются высокотемпературные фазы $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$ (31,77...35,68%) и $\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$ (46,64...38,72%) (см. табл. 2).

Однако, приход в шихту с базальтом оксида кальция и оксида алюминия способствует образованию анортита ($t_{\text{пл}} = 1550$ °С), а увеличение содержания кремнезема привело к уменьшению содержания высокотемпературного форстерита ($t_{\text{пл}} = 1900$ °С) и росту количества энстатита ($t_{\text{пл}} = 1551$ °С) в результате протекания реакции $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2 + \text{SiO}_2 = 2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$. При увеличении добавки базальта в шихту растет содержание оксида кальция и оксида алюминия, что способствует увеличению содержания анортита (до 16,08%) и незначительно форстерита. В общем случае при заданных пределах изменения количества базальта в шихте температура плавления упрочняющей силикатной связки снижается в результате обра-

зования низкотемпературных фаз и перемещения шихты по составу в область низкотемпературных эвтектик.

Вероятность взаимодействия базальта с пустой породой в твердых смесях, согласно механизму твердофазных реакций в процессе нагрева [8], обусловлена тесным контактом минеральных составляющих в процессе грануляции тонкоизмельченных материалов и развитием диффузионных процессов за счет разницы концентраций отдельных элементов. Снижение температуры плавления спекаемого материала способствует появлению жидкой фазы. Раннее появление жидкой фазы увеличивает площадь поверхности соприкосновения между реагентами, скорость диффузии элементов, растворение компонентов в расплаве и формирование силикатной связки, обеспечивающей прочность обожженных окатышей.

В целом, анализ результатов процесса фазообразования при добавке базальтовых флюсов показал, что при взаимодействии с пустой породой хромитовой руды фазовый состав базальта попадает в область элементарного тетраэдра: анортит – диопсид – энстатит – кремнезем, где имеется обширная область составов с температурой плавления 1200...1300 °С [5], переводя процесс упрочнения окатышей с участием жидкой фазы.

Петрографическими исследованиями, проведенными с использованием кристаллооптического метода [9], подтверждено, что интенсификация процесса упрочнения обожженных окатышей при температуре 1200 °С и выше обусловлена появлением жидкой фазы. С ростом температуры обжига количество жидкой фазы растет и, соответственно, увеличивается прочность обожженного материала. При температуре обжига 1250...1300 °С конечный товарный продукт представляет собой полностью спеченный материал с прожилками жидкой фазы по всему объему, обеспечивая прочность окатышей, удовлетворяющую требованиям ТУ (выше 150 кг/окатыш).

Лабораторные испытания по отработке технологических параметров производства и изучению влияния базальтового флюса на качество хромитовых окатышей проведены с использованием хромитового концентрата крупностью 0...3 мм с содержанием Cr_2O_3 51%, который дробился до крупности по выходу класса – 0,074 мм (79,5%). Химический состав компонентов шихты и их комкующие свойства представлены в табл. 3.

Технологический процесс получения обожженных хромитовых окатышей включает этап

Таблица 3. Показатели качества компонентов шихты

Материал	Содержание, масс. %					МКВ, %	ММВ, %	Комкуемость, доли ед.
	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe _{общ.}			
Хромитовая руда	0,03	18,72	7,15	7,75	9,6	21,7	7,1	0,5
Базальт	1,85	5,29	52,5	13,99	8,70	33,09	13,65	0,70
Бентонит	1,34	3,20	62,50	15,64	2,87	91,80	45,10	0,905
Известняк	53,54	0,50	0,72	0,57	1,13	36,10	15,30	0,735

МКВ – максимальная капиллярная влагоемкость; ММВ – максимальная молекулярная влагоемкость.

Таблица 4. Показатели комкуемости шихты, качества сырых и сухих окатышей

Состав шихты, %	Сырые окатыши				Класс 10–14, %	Прочность сухих окатышей, кг/окатыш
	влажность, %	прочность, кг/окатыш	число сбрасываний, раз	термостойкость, °С		
ХК* 0,69, бентонит 0,6; кокс 2,5	9,4	1,1	7	615	92,1	3,49
ХК 97,5; базальт 2,5	9,5	0,83	6	610	88,2	3,15
ХК 95,0; базальт 5,0	9,63	0,96	6	615	89,4	3,2

* ХК – хромитовый концентрат.

формирования сырых окатышей методом окомкования и их термообработку.

Экспериментальные исследования по получению и испытанию опытных хромитовых окатышей проведены по стандартам фабрики окомкования Соколовско-Сарбайского ГПО СТП 310.2.03.26–89. Окомкование шихты проводили в лабораторном барабанном грануляторе диаметром 600 мм и длиной 200 мм. Скорость вращения барабана составляла 27 мин⁻¹, что эквивалентно скорости вращения промышленного барабана диаметром 2,8 м, равной 12 мин⁻¹.

Каждый из этих этапов влияет на технико-экономические показатели производства и качество хромитовых окатышей. Анализ результатов исследования комкуемости шихт с различными флюсами (табл. 4) показал, что добавка 2,5...5,0% базальта обеспечивает прочность сырых и сухих окатышей, удовлетворяющую требованиям ТУ без бентонита. При этом, в отличие от бентонита, при добавке базальта достигнуто существенное повышение прочности обожженных окатышей при более низкой температуре процесса.

Процесс термообработки окатышей – завершающий этап технологического процесса производства окатышей. Этот этап включает сушку, нагрев, высокотемпературный обжиг и охлаждение. Нагреву и обжигу подвергали предварительно высушенные окатыши при температуре 105 °С. Обжиг окатышей производили монослоем в лабораторной трубчатой электропечи с карбидокремневыми нагревателями. Скорость нагрева

и охлаждения существенно влияет на качество обожженных окатышей. Причем во всех случаях высокое качество обеспечивается при меньших скоростях нагрева и охлаждения.

Выбран режим термообработки, принятый на производстве: скорость нагрева 70 град/мин; скорость охлаждения 100 град/мин; время выдержки при заданной температуре обжига 20 мин.

Для определения оптимального количества базальтового флюса и оценки возможности замены бентонита и коксика были проведены опыты по оценке качества обожженных окатышей при температуре 1300 °С, которая соответствует максимально возможной температуре обжига стандартных обжиговых машин. Количество базальтового флюса изменяли в пределах 0...5% (табл. 5). Верхний предел ограничивается разбавлением шихты по основному компоненту и данными расчетно-теоретического анализа фазового состава шихты с различными добавками.

В качестве базовой рассмотрена шихта с 0,6% бентонита. При температуре обжига 1300 °С прочность обожженных окатышей составила 115 кг/окатыш. Ввод в шихту дополнительно 2,5% коксика обеспечил рост прочности до 132 кг/окатыш, что также ниже требований ТУ. В производственных условиях прочностные характеристики достигают 150 кг/окатыш при температурах обжига 1400 °С.

Однако из-за высокой температуры обжига наблюдаются частые простои из-за выхода из строя обжигового оборудования.

Таблица 5. Качественные характеристики хромитовых окатышей с различными флюсующими добавками

Состав шихты, %	Показатель				
	для сырых окатышей			прочность сухих окатышей, $R_{\text{сух}}$, кг/окатыш	для обожженных окатышей
	влажность W , %	прочность R , кг/окатыш	прочность на сбрасывание n , раз		
ХК 99,4; бентонит0,6	9,74	0,87	7	3,51	115
ХК 96,9; бентонит 0,6; коксик 2,5	9,8	0,82	6	3,43	132
ХК 99,0; базальт1,0	9,74	0,75	5	3,10	130
ХК 98,0; базальт2,0	9,8	0,82	5	3,25	168
ХК 97,0; базальт3,0	9,65	0,85	6	3,40	182
ХК 95,0; базальт5,0	9,58	0,83	6	3,31	175
ХК 90,0; кварцит10,0	9,6	0,78	6	3,30	130

Для сравнительного анализа в качестве флюсов была опробована мелочь кварцита (см. табл. 5), которая с успехом применяется в настоящее время при производстве хромитового агломерата на Аксуском заводе ферросплавов по технологии, разработанной авторами.

Однако эффекта при окислительном обжиге, как при агломерации [10], не достигнуто. Прочность обожженных окатышей при 1300 °С составила 130 кг/окатыш. Это, видимо, связано с недостаточным развитием обменных реакций с образованием низкотемпературной фазы фаялита ($2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$, $t_{\text{пл}} = 1205$ °С) за счет диффузии двухвалентного железа из хромшпинелида в шлаковую фазу [11]. Процесс этот не получает развития из-за окислительной среды процесса обжига, приводящей к окислению двухвалентного железа.

И только при вводе в шихту вместо бентонита и коксика 2% базальта обеспечивается прочность товарных окатышей >150 кг/окатыш. Максимальные значения прочности обожженных окатышей (182 кг/окатыш) достигнуты при добавлении 3% базальта, что согласуется с результатами оценки влияния флюса на процессы минералообразования хромитовых окатышей, когда силикатная связка попадает в область низкотемпературной эвтектики.

На основании анализа полученных результатов для отработки технологии окускования мелочи хромитовой руды выбраны два значения расхода базальтового флюса: 2,5 и 5,0%. В последующем для определения оптимальной температуры обжига при вводе базальтовых флюсов опытные окатыши обжигали в интервале температур 1000...1300 °С. Анализ результатов исследований (табл. б) показал, что для базовых окатышей во

всем интервале исследованных температур их прочность ниже требований ТУ. До температуры 1250 °С прочность обожженных окатышей составляет всего 65 кг/окатыш, тогда как при вводе 2,5 и 5,0% базальта прочность опытных окатышей составляет 186 и 171 кг/окатыш соответственно. При этом, наряду с прочностью обожженных окатышей, требованиям ТУ соответствуют прочностные характеристики сухих и влажных окатышей. Причем прочность обожженных окатышей превышает значения требований ТУ (150 кг/окатыш) уже при температуре 1250 °С. При температуре обжига 1300 °С прочность обожженных окатышей с базальтовым флюсом превышает 200 кг/окатыш. С учетом перепада температур на конвейерных обжиговых машинах по высоте спекаемого слоя средняя прочность окатышей будет выше указанной в ТУ. Термостойкость опытных окатышей осталась на уровне базовых, т.е. применяемые на практике режимы работ обжиговых машин не требуют корректировки.

Для опытных окатышей заметный рост прочности начинается при температуре 1200 °С, что связано с появлением жидкой фазы. Это положение согласуется с данными по образованию легкоплавких эвтектик при взаимодействии базальтового флюса с пустой породой хромитовой руды (см. табл. 2). Процесс расплавообразования подтвержден петрографическими исследованиями обожженных окатышей. Холодная прочность окатышей – это их определяющее металлургическое свойство.

На стадии окомкования прочность сырых окатышей обеспечивает доставку их в обжиговые аппараты, а прочность сухих – обеспечивает их сохранность в процессе обжига. Прочность обожженных окатышей обеспечивает сохранность

Таблица 6. Влияние температуры обжига и добавок базальта на качество хромитовых окатышей

Состав шихты, %	Сырые окатыши					Обоженные окатыши			
	W, %	R, кг/окатыш	n, раз	R _{сух} , кг/окатыш	термостойкость	T _{обож} , °С	время обжига, мин	скорость нагрева/охлаждения, °С/мин	Прочность R, кг/окатыш
ХК 96,9; бентонит 0,6; коксик 2,5	9,4	1,1	7	3,49	615	1000	20	70/100	20,0
						1100	20	70/100	30,0
						1150	20	70/100	45,0
						1200	20	70/100	50,0
						1250	20	70/100	65,0
						1300	20	70/100	132,0
ХК 97,5; базальт 2,5	9,5	0,95	6	3,15	610	1000	20	70/100	40,0
						1100	20	70/100	70,0
						1150	20	70/100	110,0
						1200	20	70/100	143,0
						1250	20	70/100	186,0
						1300	20	70/100	236,0
ХК 95; базальт 5	9,63	0,96	6	3,20	615	1000	20	70/100	30,0
						1100	20	70/100	50,0
						1150	20	70/100	100,0
						1200	20	70/100	134,0
						1250	20	70/100	171,0
						1300	20	70/100	221,0

Таблица 7. Металлургические свойства хромитовых окатышей, обоженных при 1300 °С

Состав шихты, %	Прочность при сжатии, кг/окатыш	Прочность при испытании в барабане, %		Прочность в процессе восстановления		
		на удар (+5 мм)	на истирание (-0,5 мм)	на удар (+5 мм)	на разрушаемость (-5+0,5 мм)	на истирание (-0,5 мм)
ХК 96,9; бентонит 0,6; коксик 2,5	132	82,3	14,5	80,5	0,7	15,1
ХК 97,5; базальт 2,5	236	90,5	8,7	87,9	0,5	8,4
ХК 95; базальт 5	221	88,8	9,5	85,4	0,5	9,2

при транспортировке окатышей до металлургических агрегатов.

Этот показатель определяется в холодном состоянии и характеризуется прочностью при сжимающей нагрузке и при вращении в барабане. На практике в ТУ указывается только показатель прочности при сжатии, потому что ее величина коррелируется с барабанной прочностью.

Другим важным показателем, влияющим на ход плавки, является прочность окатышей в процессе восстановительно-тепловой обработки (горячая прочность). Эта прочность характеризует поведение материала в металлургическом агрегате и оказывает влияние на технико-экономические показатели плавки. Этот показатель не указан в технических условиях на конечную продукцию, однако в последнее время его начинают включать в ТУ, например, при поставке же-

лезорудных окатышей для доменной плавки. В низкошахтных печах влияние этого свойства на технико-экономические показатели плавки менее значимо, но отрицательное влияние его имеется. Поэтому оценка этого показателя, как и показателя барабанной прочности, при разработке новых технологий имеет важное значение для количественной оценки влияния выхода класса -5 мм на технико-экономические показатели плавки.

В этой связи помимо показателей прочности сырых, сухих и обоженных окатышей под действием сжимающей нагрузки определены барабанная прочность (ГОСТ 15137-77) и показатели прочности при восстановительно-тепловой обработке (ГОСТ 19575-84). Анализ результатов показал (табл. 7), что повышенным значениям прочности обоженных окатышей на раздавливание соответствуют и более высокие показатели

барабанной прочности и прочности в процессе восстановительно-тепловой обработки.

По сравнению с железорудными окатышами хромитовые обладают низкой стойкостью на истирание как в процессе испытаний в барабане, так и в восстановительных условиях при нагреве. Высокие значения прочности на удар (+10 мм) обусловлены относительно низким содержанием оксида железа, который восстанавливается с увеличением объема (до 12%) и является основной причиной разрушения окатышей.

В целом, при добавке в шихту базальта все показатели прочности по сравнению с базовой улучшаются.

Заключение. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что базальтовые горные породы являются эффективной упрочняющей добавкой. При добавке 2,5 и 5,0% базальта один из основных показателей качества обожженных окатышей, входящих в ТУ конечной продукции – прочность при сжатии, увеличивается в 1,5...2 раза и достигает уровня технических требований при температурах 1250...1300 °С, что на 100...150 °С ниже базовых. Опытные окатыши обладают более высокими показателями барабанной прочности и прочностью в процессе восстановления, с величинами которых тесно связаны технико-экономические показатели плавки.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного гранта РК № ИРН АР 05130325/ГФ.

Библиографический список

1. **Логинов Н.М., Выходцев В.М., Утемисов Б.К.** Окускование хромового сырья – решение нескольких проблем Донского ГОКа и Казхрома: Матер. 4-й Межд. науч.-практ. конф. «Проблемы и пути устойчивого развития горнодобывающих отраслей промышленности». Хромтау, 2007. С. 680–685.
2. **Заякин О.В., Гальперин А.П., Жучков В.И.** Возможности переработки мелких хромовых руд в современных условиях // Вестник ПАУ. 2003. № 5. С. 80–82.
3. **Максимов Ю.С., Федоренко Н.В., Паршина Р.Ф.** Способ окускования мелкой хромитовой руды: в сб. «Производство ферросплавов». Новокузнецк, 1986. С. 56–62.
4. **Приходько Т.И., Цалапова Н.М., Пупышев Н.В.** Окускование хромитового сырья Казахстана для ферросплавного производства // КИМС. 1991. № 2. С. 58–63.
5. **Пашенко А.А., Мясников А.А., Мясникова Е.А. и др.** Физическая химия силикатов. М.: Высшая школа, 1986. 368 с.
6. **Акбердин А.А.** Разработка теории и технологии подготовки и металлургической переработки железорудного и ферросплавного сырья с использованием химически активных компонентов. Дис. ... д-ра техн. наук. Алматы, 1994. 350 с.
7. **Акбердин А.А.** Балансовый метод расчета равновесного фазового состава многокомпонентных систем // КИМС. 1995. № 3. С. 92–93.
8. **Будников П.П., Гинстлинг А.М.** Реакции в смесях твердых веществ. М.: Стройиздат, 1965. 473 с.
9. **Мальшева Т.Я., Долицкая О.А.** Петрография и минералогия железорудного сырья. М.: МИСиС, 2004. 424 с.
10. **Ким А.С.** Особенности агломерации хромитовых руд: Тр. ун-та, КарГТУ. 2008. № 3. С. 19–23.
11. **Горох А.В., Русаков Л.Н.** Петрографический анализ процессов в металлургии. М.: Металлургия, 1973. 288 с.

USE OF BASALT ROCKS FOR AGGLOMERATION OF REFRACTORY CHROMITE ORES OF KAZAKHSTAN

© **Kim A.S., Akberdin A.A., Sultangaziyev R.B.**

The results of the study on the use of basalt rocks to improve the technology of production of roasting pellets from refractory chromite ores of Kazakhstan are presented.

Keywords: fines of chromite ores; pelletizing; basalt fluxes; technology for the production of calcined pellets.