

На правах рукописи



Ширяева Елена Владимировна

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ КРАСНОГО ШЛАМА НА ФАЗОВЫЙ
СОСТАВ АГЛОМЕРАТА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО ПРОЧНОСТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК

Специальность 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА, 2016 г.

Диссертационная работа выполнена на кафедре «Энергоэффективные и ресурсосберегающие промышленные технологии» Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»

Научный руководитель:

кандидат технических наук,
и.о. заведующего кафедрой

Подгородецкий Геннадий Станиславович

«Энергоэффективные и
ресурсосберегающие промышленные
технологии» НИТУ «МИСиС»

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
вице-президент

Лазуткин Сергей Евгеньевич

Группы компаний «МетПром»

кандидат технических наук,
директор инженерно-технической дирекции
глиноземного производства
ООО «РУСАЛ ИТЦ»

Панов Андрей Владимирович

Ведущая организация:

**Федеральное государственное унитарное
предприятие «Центральный научно-
исследовательский институт черной
металлургии им. И.П.Бардина»**

Защита состоится 26 мая 2016 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.132.02 при Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС» по адресу: 119049, г. Москва, Ленинский проспект, д.6, ауд. А-305.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» - <http://misis.ru>.

Отзывы на автореферат диссертации (в двух экземплярах, заверенных печатью учреждения) просьба направлять по адресу: 119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, Ученый Совет. Копии отзывов можно присылать на e-mail: misistlp@mail.ru.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2016 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.132.02,
доцент, кандидат технических наук



А.В. Колтыгин

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Производство железорудного агломерата освоено на большинстве отечественных металлургических предприятиях полного цикла, однако его качество не всегда удовлетворяет возросшим требованиям доменщиков. Учитывая возрастающую конкуренцию на российском и мировом рынке производителей чугуна, любая возможность интенсификации агломерационного процесса и улучшение показателей доменной плавки является крайне важной задачей.

В результате работы алюминиевых заводов образуются многотоннажные отходы, так называемые красные шламы. Отличительной особенностью этих отходов является высокое содержание гематита. Его содержание в шламах разных предприятий колеблется от 35 до 55%. Также шлам обладает основностью чуть больше 1 и представляет собой мелкодисперсный продукт. Комплекс этих особенностей делает его привлекательным с точки зрения использования в черной металлургии. Ежегодно только уральские заводы выбрасывают в хранилища 2 млн т свежих красных шламов, это вдобавок к уже имеющимся, «законсервированным» ранее сотням млн тонн.

Настоящая работа посвящена двум основным задачам: во-первых, поиску способов увеличения прочности офлюсованных агломератов за счет ввода добавки, способствующей изменению направления минералообразования и получению готовой продукции, отличающейся более высокими показателями качества; во-вторых, утилизации красных шламов текущего производства с целью уменьшения антропогенного загрязнения и предотвращения экологической угрозы, создаваемой в местах его захоронения.

Многочисленные работы по утилизации отвальных красных шламов широко освещены в технической литературе, но не один из известных способов не нашел широкого применения. Данные об утилизации красного шлама в черной металлургии зачастую имеют противоречивый характер, а в работах мало

изучен механизм влияния добавок на свойства конечного продукта, причины разногласия имеющихся результатов также не ясны.

В настоящей работе большое внимание уделено изучению реального фазового состава продуктов металлургического передела – офлюсованных агломератов, что помогло выявить влияние добавки низкощелочного красного шлама на его прочностные свойства и микроструктуру.

В работе изучены:

- генетические особенности железорудных концентратов, полученных из руд различных месторождений РФ, влияние их особенностей на процесс производства агломерата;

- химический и минералогический состав, термические свойства красного шлама текущего алюминиевого производства и низкощелочного красного шлама (полученного путем обработки красного шлама текущего производства известковым молочком в реакторе проточного типа);

- влияние добавок низкощелочного красного шлама на технологические показатели процесса агломерации;

- фазовый состав и структурные особенности агломератов с добавками низкощелочного красного шлама.

Цель работы. Определить влияние добавок низкощелочного красного шлама на фазовый состав и металлургические свойства агломератов, полученных из концентратов различного генетического типа. Оценить влияние количества вводимой добавки на фазовый состав агломерата в зависимости от основности агломерата, производимого на различных предприятиях. Выявить причины изменения прочности промышленных агломератов с вводом упрочняющей добавки, а также разработать рекомендации для конкретных условий агломерационного цеха.

Научная новизна.

1. Установлено влияние комплекса показателей, а именно: генетического типа руд, основности агломерата, количества вводимой добавки на конечные технологические свойства спеченного агломерата. Получена зависимость, отражающая влияние количества вводимого низкощелочного красного шлама в качестве одного из компонентов агломерационной шихты на показатели механической прочности агломерата.
2. Впервые выявлено, что при основности агломерата выше 1,6 добавка низкощелочного красного шлама меняет направление минералообразования и интенсифицирует образование ферритов кальция, способствующих упрочнению агломерата, что показано на примере агломерационных цехов предприятий АО «Уральская Сталь» и ОАО «Северсталь», использующих при производстве агломерата руды различного генетического типа.

Фактический материал. Объект диссертационного исследования – спеченный офлюсованный агломерат различной основности (CaO/SiO_2 1,2 ÷ 1,6), полученный в лабораторных и полупромышленных условиях. Предмет исследования – красные шламы текущего производства АО «Уральский алюминиевый завод»; низкощелочные красные шламы (полученные путем предварительной обработки текущего красного шлама); образцы офлюсованных агломератов, полученные в лабораторной агломерационной чаше и на обжиговой машине во время проведения полупромышленных испытаний.

Практическая значимость.

1. Показана принципиальная возможность утилизации низкощелочных красных шламов в аглодоменном производстве путем их введения в состав агломерационной шихты. Полученный агломерат обладает повышенными прочностными свойствами и не снижает технико-экономические показатели доменной плавки.

2. Установлено, что для повышения металлургических свойств агломерата необходимо учитывать комплекс свойств, таких как: генетический тип используемой руды, уровень основности, количество и физико-химические свойства упрочняющей добавки, контроль которых позволяет получать агломераты с прогнозируемыми прочностными характеристиками.

3. Разработаны практические рекомендации для условий работы агломерационных цехов АО «Уральская Сталь» и ОАО «Северсталь» с целью повышении качества выпускаемой продукции.

Публикации. Основные аспекты диссертации отражены в 6 публикациях, в том числе 3 работы в журналах, рекомендованных ВАК.

Достоверность полученных результатов. Достоверность полученных результатов подтверждается использованием комплекса современных средств и методик проведения исследований, проверкой полученных результатов с использованием различных методов, успешной промышленной проверкой результатов теоретических и экспериментальных исследований. Текст диссертации и автореферат проверены на отсутствие плагиата с помощью программы «Антиплагиат» (<http://antiplagiat.ru>).

Апробация работы. Основные результаты работы доложены и обсуждены на:

XII Всероссийская научно-практическая конференция (Старый Оскол 2015г.); Актуальные проблемы науки на современном этапе развития (Екатеринбург 2015г.).

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, списка использованных литературных источников из 93 наименований. Общий объем работы составляет 125 страниц, в том числе 28 рисунков и 12 таблиц.

Основное содержание работы

В первой главе рассмотрены основные факторы, влияющие на конечный состав, микроструктуру и физико-механические свойства спеченного агломерата.

Рассмотрены способы интенсификации спекания агломерационной шихты.

Проанализированы основные требования, предъявляемые к готовым агломератам.

Изучены основные особенности красного шлама, образующегося при производстве боксита. Рассмотрены основные пути утилизации красного шлама в черной металлургии, выявлены наиболее перспективные из них.

По результатам анализа литературных данных сформулированы основные задачи для достижения цели работы:

1. Исследовать фазовый состав и структурные особенности красного шлама текущего производства и низкощелочного красного шлама, прошедшего предварительную обработку;

2. Проанализировать механизм влияния добавок высокодисперсного низкощелочного красного шлама на микроструктурные особенности и состав окомкованной шихты;

3. Сформировать представление о роли добавки низкощелочного красного шлама на изменение направления минералообразования, а также определить состав минеральных связей – носителей прочности готовой продукции, образующихся в процессе спекания;

4. Оценить влияние ряда факторов, а именно: основности агломерата, генезиса исходных железных руд, количества вводимой добавки низкощелочного красного шлама на механические свойства агломерата;

5. Разработать практические рекомендации для агломерационных цехов с целью получения продукции высокого качества.

Во второй главе приведены методы исследований, используемые в работе и необходимые для достижения поставленных целей.

Лабораторные и полупромышленные спекания агломерата проводились в аглодоменной лаборатории АО «Уральская Сталь» и «Центре исследования сырья» ОАО «Северсталь». Механические показатели прочности определялись по ГОСТ 15137-77, химический анализ спеченного агломерата проводился в заводских лабораториях. Оценка металлургических характеристик агломерата выполнялась в специализированной лаборатории НИТУ «МИСиС» и «Центре исследования сырья» по внутренним методикам, ОАО «Северсталь» по ISO 13930 и ISO 7215. Для определения температур фазовых превращений в образцах агломератов, окомкованной аглошихты и ее отдельных компонентов применяли синхронный термический анализ. Для исследования микроструктурных характеристик агломерата применялись оптическая микроскопия, рентгеноспектральный микрозондовый анализ, а также мессбауэровская спектроскопия.

При выполнении экспериментальных исследований применялось физическое моделирование технологических процессов, методы математической статистики и оптимизации параметров. На отдельных этапах обработки данных использованы стандартные программные пакеты.

Третья глава посвящена исследованию свойств агломерата, спеченного в лабораторной аглочаше диаметром 210 мм, а также в полупромышленных условиях на агломашине №3 АО «Уральская Сталь». Особое внимание уделено исследованию силикатных и ферритных связей агломерата.

В лабораторных условиях офлюсованный агломерат получали из железорудных компонентов (концентрат и аглоруда Михайловского ГОКа) с добавлением в шихту известняка, коксика, окалины, колошниковой пыли, возврата и др. компонентов промышленной аглошихты. Перед каждым опытом дозировали все компоненты шихты с учетом их естественной влажности. Для поддержания заданной основности готового агломерата доля извести в шихте

рассчитывалась исходя из количества низкощелочного красного шлама (НКШ) имеющего высокую основность. Используемый в работе низкощелочной красный шлам был получен путем обработки рядового красного шлама (КШ) Уральского алюминиевого завода известковым молоком в реакторе проточного типа при температуре 80-90 °С. Продолжительность обработки составляла до 3 ч. Химический состав исходного и низкощелочного красного шлама приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав КШ и НКШ, % (масс.)

	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	ППП
КШ	40,2	10,6	13,8	10,1	0,81	0,1	3,55	3,6	0,78	3,33	10,7
НКШ	36,8	7,9	21,9	10,8	0,80	0,15	0,85	3,8	0,75	2,80	12,7

В опытных спеканиях основность шихты (CaO/SiO₂) поддерживалась равной – 1,65, что соответствовало текущей основности промышленного агломерата. Добавка в аглошихту низкощелочного красного шлама в опытах менялась от 1 до 7% с шагом 2%. В качестве сравнительного эксперимента проводилось спекание так называемого базового агломерата, компонентный состав шихты для базового агломерата полностью соответствовал промышленному.

С целью определения гранулометрического состава шихты после окомкования производился отбор проб окомкованной шихты и последующий ее рассев на фракции 8–5; 5–2,5 мм. В качестве интегрального показателя степени окомкования шихты использован среднегармонический диаметр гранул d_g , рассчитанный по данным отсева

$$d_g = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{d_i} \frac{q_i}{\sum q_i}}; \quad d_i = \frac{d_- + d_+}{2} \quad (1)$$

где q_i – содержание частиц i -ой фракции, доли ед.

d_i – диаметр i -ой фракции, мм

$d_-; d_+$ – нижний и верхний размер гранул фракции, мм

Результаты расчета эквивалентного диаметра гранул (d_3) шихты с различным количеством низкощелочного красного шлама свидетельствуют об увеличении степени окомкования исходной шихты с ростом доли добавляемого НКШ (рисунок 1).

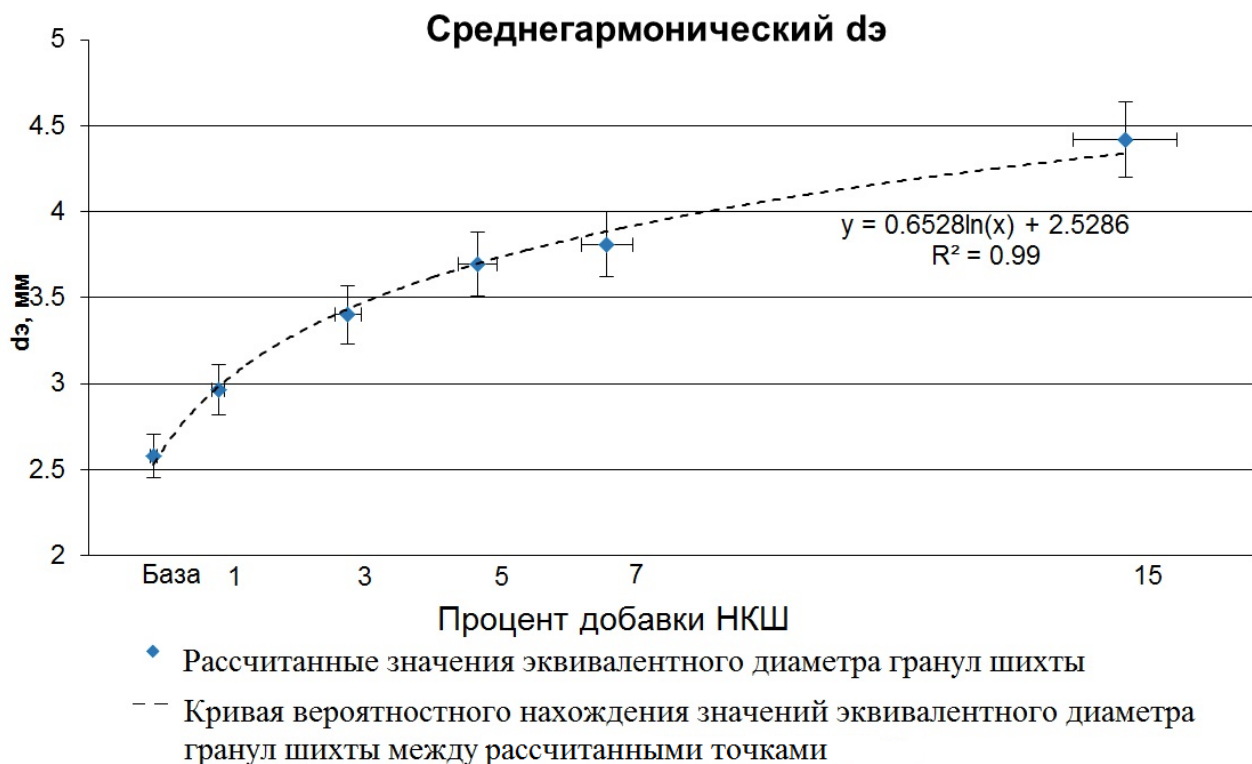


Рисунок 1 – Изменение эквивалентного диаметра гранул шихты с увеличением доли НКШ в аглошихте, %

После проведения спекания в соответствии с ГОСТ 25471-82 готовый агломерат три раза сбрасывали с высоты 1,5 м на стальную плиту, затем определяли гранулометрический состав полученного агломерата. Данные гранулометрического состава представлены на рисунке 2. Они свидетельствуют о положительной роли добавки НКШ на выход годного агломерата.

Гранулометрический рассев спеченного агломерата

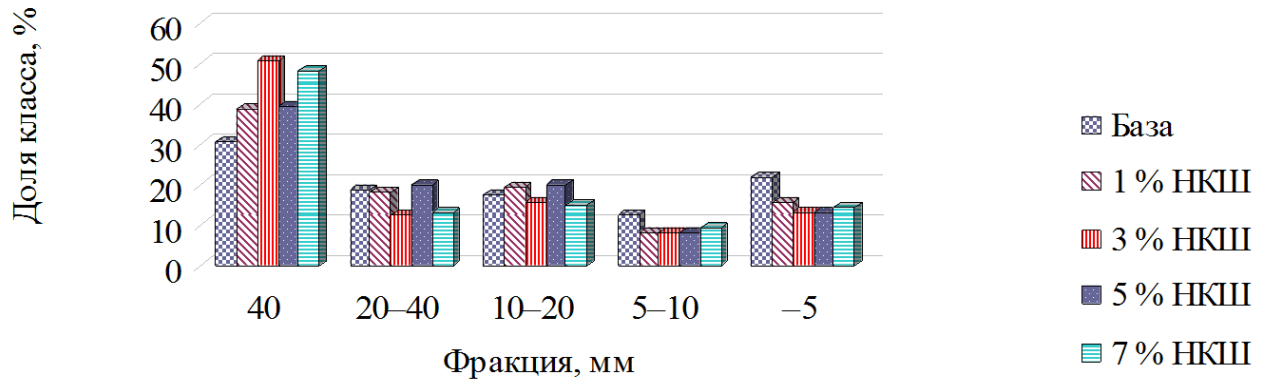
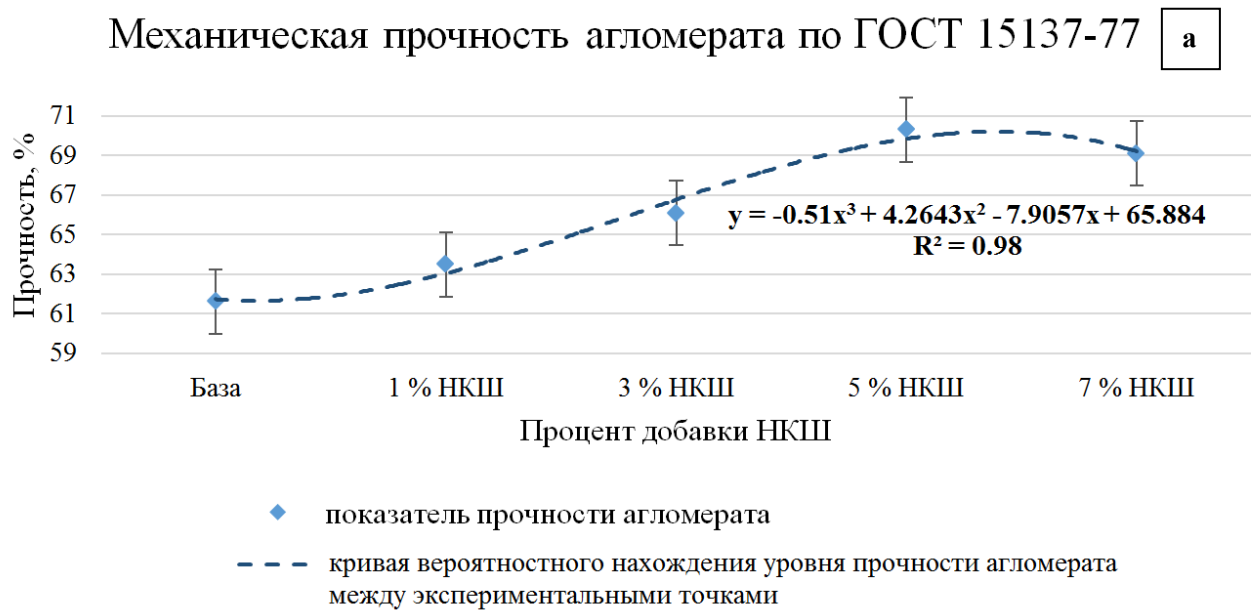


Рисунок 2 – Гранулометрический рассев спеченного агломерата с добавками НКШ

Барабанную прочность и истираемость определяли по ГОСТ 15137-77. Результаты барабанных испытаний проиллюстрированы на рисунке 3.



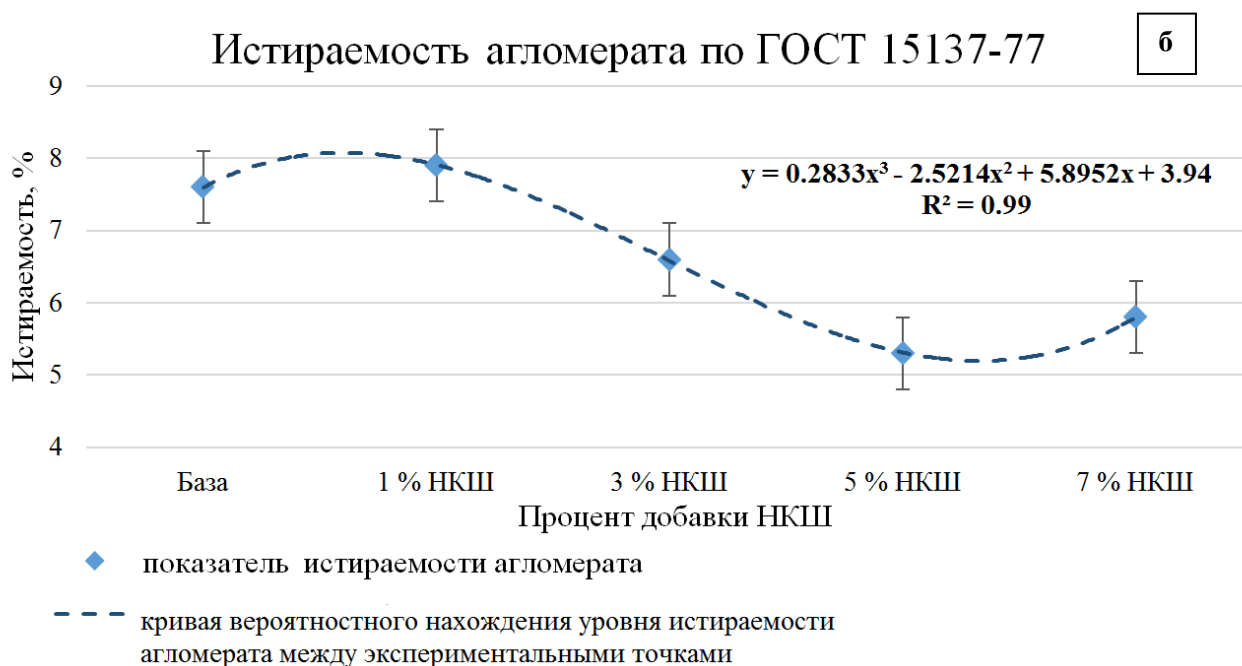


Рисунок 3 – Механические свойства агломерата после испытаний по ГОСТ 15137-77: а – прочность на удар, % б – прочность на истирание, %

Полученные результаты физико-механических свойств агломератов с добавкой низкощелочных красных шламов свидетельствуют о положительной роли влияния НКШ на процесс упрочнения агломератов.

Как было выявлено оптической микроскопией, в составе базового агломерата рудная фаза представлена магнетитом Fe_3O_4 , связкой магнетитовых кристаллов являлась стеклофаза. Практически все исследованные образцы базового агломерата представляли собой двухфазную минеральную систему: магнетит – силикатная связка (рисунок 4).

При добавлении в аглошихту 1% НКШ менялись только состав и микроструктура стеклофазы. В ее объемах появлялись мелкие кристаллы ферритной фазы, образовавшиеся при охлаждении железосиликатного расплава. В силикатной связке отсутствовали контакты феррита с магнетитом, поэтому носителем прочности агломерата оставалась стеклофаза, армированная игольчатыми кристаллами феррита (рисунок 5).

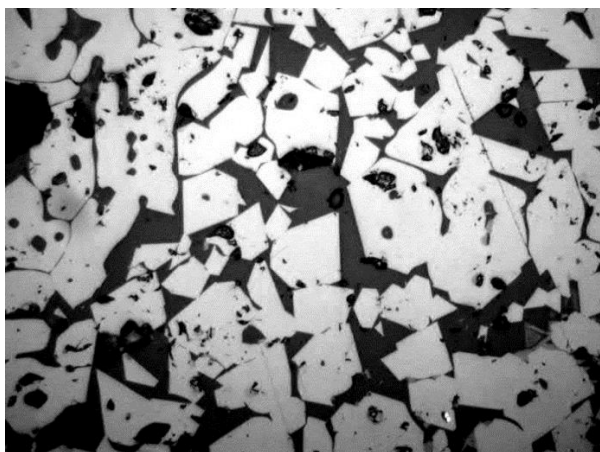


Рисунок 4 – Микроструктура базового агломерата. Магнетит – белый, стеклофаза – серая. Отраженный свет, х500



Рисунок 5 – Микроструктура агломерата с добавкой 1 % НКШ. Магнетит – белый, стеклофаза – серая, игольчатые кристаллы феррита – светло-серые. Отраженный свет, х500

Увеличение в составе аглошихты красного шлама до 3% заметно меняло направление минералообразования агломерата в целом. Агломерат превращался в трехкомпонентную минеральную композицию, состоящую из магнетита, феррита и стеклофазы. Менялась роль ферритной фазы. Ее пластинчатые кристаллы, образовавшиеся на контакте магнетита с железосиликатным расплавом, становились основной связкой рудных зерен. Количество остаточного расплава в виде стеклофазы наблюдается в петлях ферритных кристаллов (рисунок 6).

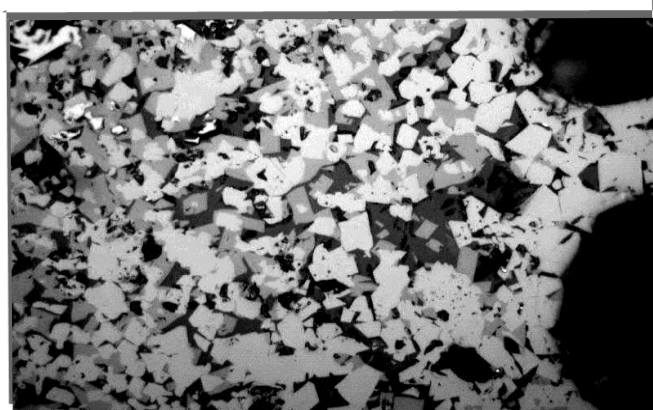


Рисунок 6 – Микроструктура агломерата с добавкой 3% НКШ. Магнетит – белый, ферриты – светло-серые пластинчатые кристаллы, стеклофаза – темно-серая. Отраженный свет, х500

Микроструктура агломератов принципиально менялась при увеличении в их составе НКШ до 5 и 7%. В этом случае нерудные компоненты красного шлама становятся определяющими в процессе расплавообразования в зонах

жидкофазного спекания агломерата. В расплаве увеличивалось количество силикатообразующих компонентов шихты. На стадии охлаждения агломерата на контакте железосиликатного расплава и окисляющихся с поверхности зерен магнетита зарождались и росли кристаллы алюмосиликоферритной фазы, выполняя в этом случае роль связки рудных зерен (рисунок 7 а, б).

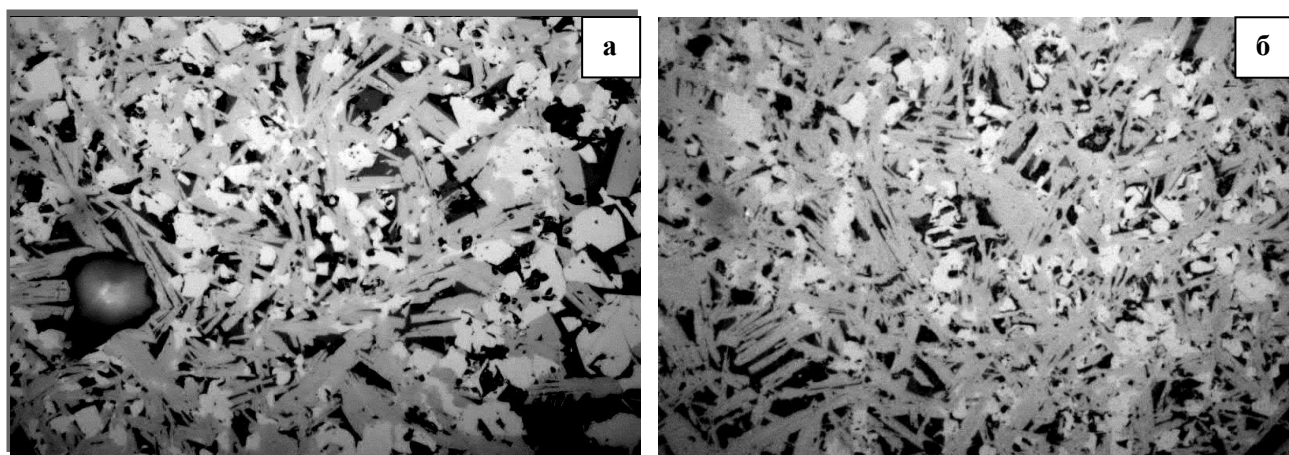


Рисунок 7 – Микроструктура агломерата с добавками НКШ а) 5%, б) 7%.

Остаточные зерна магнетита – белые, феррит – серый, стеклофаза – темно-серая.
Отраженный свет, x500

Качественное и количественное изменение микроструктуры агломератов с добавками низкощелочного красного шлама подтверждено результатами анализа минерального состава методом мессбауэровской спектроскопии (табл. 2).

Таблица 2 – Распределение железа по основным фазам агломерата

Фаза	Тип агломерата				
	База	1% НКШ	3% НКШ	5% НКШ	7% НКШ
Магнетит+гематит	92,0	92,5	82,0	80,1	84,8
Стеклофаза	8,0	4,5	3,9	3,4	0
Алюмосиликоферрит	0	3,0	14,1	16,5	15,2

Четко прослеживаются, установленные оптически, фазовые превращения рудных, ферритных и силикатных фаз с ростом в составе шихты НКШ. Процесс ферритообразования в составе связок агломератов уже при 1% НКШ сопровождался снижением количества железа магнетита, поскольку оно

расходуется на образование алюмосиликоферрита. Увеличение в связках ферритной фазы было причиной снижения в агломератах количества стеклофазы. Это связано с тем, что алюмосиликоферрита обнаружено до 10% (по массе).

В результате проведенных исследований установлен механизм упрочнения агломератов с добавкой низкощелочного красного шлама при спекании многокомпонентной шихты на основе аглоруд и концентратов железистых кварцитов. Тонкодисперсная масса низкощелочного красного шлама в высокотемпературной зоне спекания переходит в железосиликатный расплав агломератов, и при охлаждении является причиной появления в агломератах алюмосиликоферритной связки. Увеличение содержания в связке агломератов алюмосиликоферритов и снижение при этом количества стеклофазы сопровождается ростом прочностных свойств агломератов.

Исследовано влияние добавок низкощелочного красного шлама в количестве от 1 до 7% на процесс спекания промышленной шихты АО «Уральская Сталь», состоящей преимущественно из руд и концентратов железистых кварцитов. При этом установлено, что добавки тонкодисперсного НКШ изменяют механизм грануляции железорудной аглошихты. С увеличением в составе шихты НКШ увеличивается количество крупной фракции и уменьшается доля мелкой, а при спекании аглошихты с НКШ меняется направление минералообразования агломератов. С ростом в шихте количества НКШ в составе готовой продукции происходит замена аморфных силикатных связок на кристаллические ферритные. Изменение минерального состава и микроструктуры связок рудных зерен является главной причиной роста прочности готовой продукции.

Положительные результаты, полученные в лаборатории, послужили основанием для проведения опытно-промышленных испытаний. В ходе полупромышленных испытаний было проведено параллельное спекание базовой шихты, окомкованной в лаборатории, а также спекание текущей заводской

шихты, которая была загружена самотеком в подготовленную пустую трубу диаметром 435 мм, установленную на той же паллете. Результаты исследования физико-механических характеристик спеченного агломерата свидетельствовали о том, что показатели качества промышленного базового агломерата были близки по показателям качества базового агломерата, полученного в лаборатории, а также к промышленному агломерату согласно отчетам аглофабрики текущего периода. Результаты испытаний в барабане проиллюстрированы на рисунке 8.

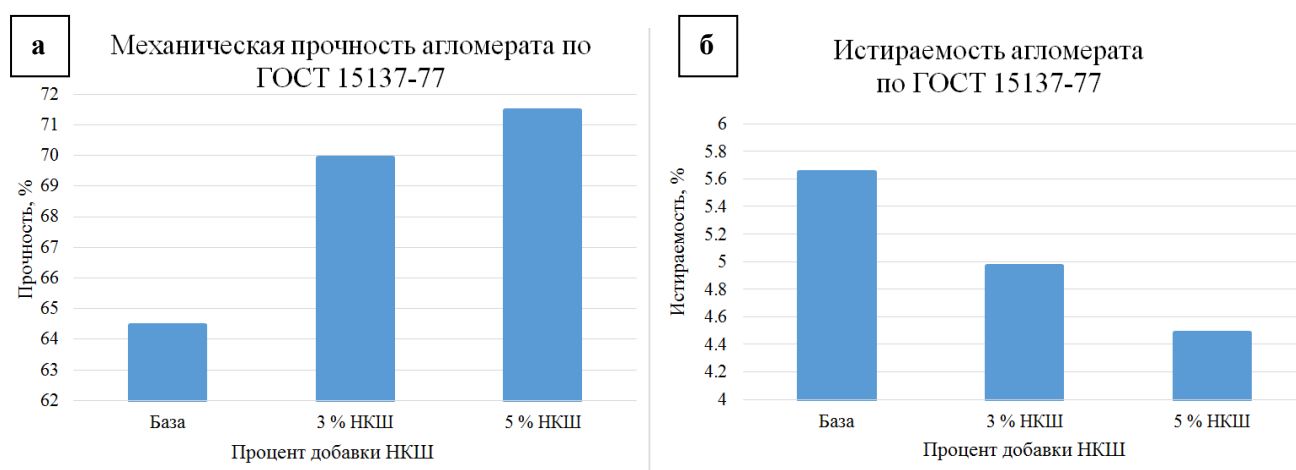


Рисунок 8 – Механические свойства агломерата после испытаний по ГОСТ 15137-77: а – прочность на удар после барабанного испытания агломерата, %
б – прочность на истирание после барабанного испытания агломерата, %

Результаты полупромышленных испытаний подтвердили, что в условиях действующих промышленных условий аглоцеха возможно получение агломерата с уровнем прочности порядка 72% (при условии добавки 5% НКШ), что на 7,3% превышает прочность по сравнению с базовым агломератом с одновременным снижением истираемости на 1,1%.

Проведенное исследование на примере руд железистых кварцитов показало, что тонкодисперсная масса НКШ, обладающая высокой удельной поверхностью и высокими реакционными свойствами, позволит получить

агломераты высоких физико-механических свойств из железных руд других генетических типов.

В четвертой главе приводится описание лабораторных испытаний по вводу добавок низкощелочного красного шлама к промышленной шихте ОАО «Северсталь».

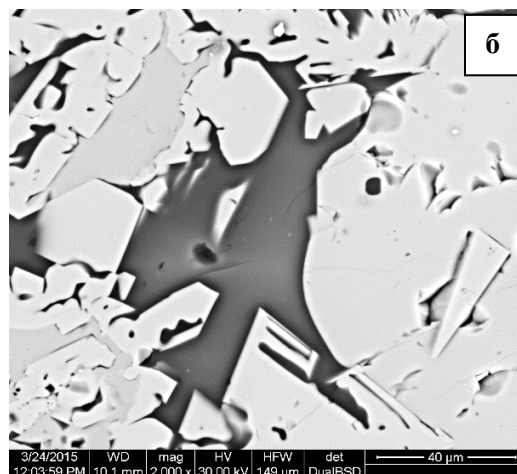
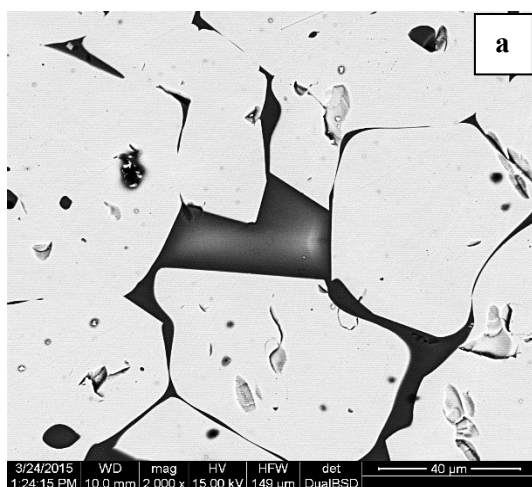
Череповецкий комбинат использует при производстве агломерата железные руды двух генетических типов: осадочно-метаморфические тугоплавкие железистые кварциты Оленегорского месторождения, а также магматические магний-магнетитовые руды Ковдорского месторождения, чрезвычайно сложные в высокотемпературном переделе. С целью интенсификации процесса упрочнения агломерата, снижение доли возврата и повышение механической прочности были проведены исследования по вводу низкощелочного красного шлама в состав промышленной аглошихты.

Первую серию лабораторных спеканий проводили в «Центре исследования сырья» ОАО «Северсталь». После планирования эксперимента и расчета шихты, проводили дозировку и окомкование шихты, а затем спекали ее в лабораторной аглочаше диаметром 375 мм.

Основность во всех спеканиях поддерживалась постоянной и равнялась 1,2. Спекания выполнялись при постоянном составе рудной части шихты, основой которой служила смесь концентратов: Оленегорского и Ковдорского 55% и 35% соответственно, а также Яковлевская аглоруда 11%, отсев агломерата 34%, известняк для поддержания заданной основности и отход производства – шлаковая смесь 30 кг/т. Результаты проведенных исследований для агломератов указанной основности показали, что достичь увеличения прочностных характеристик в виду сложного гетерогенного строения Ковдорского магнетита, препятствующего переходу железа магнетита в силикатный расплав, не удалось. Микроструктурный анализ показал, что образцы базовой серии имеют одинаковый фазовый состав и микроструктуру. Это двухфазные агломераты, состоящие из зерен магнетита упрочненных стеклофазой. По данным рентгено-

спектрального микроанализа в стеклофазе обнаружено три основных оксида: кальция, кремния и железа. По соотношению компонентов состав стеклофазы близок к составу оливиновой фазы, но реально представляет застывший железосиликатный расплав не стехиометрического состава. При увеличении добавки НКШ до пяти процентов в агломератах сохраняется прежняя структура зерен магнетита упрочненных стеклофазой. В ее составе остается тоже самое соотношение оксидов кальция и кремния, низкое содержание оксида железа. Связки агломератов базы, с трех и пятью процентами добавок НКШ являются закаленными при охлаждении железосиликатными расплавами по составу близкими к оливиновой фазе. И только в образце с добавлением 7% НКШ из стекла выкристаллизовывалась фаза, которая при расчете была близка к мелилитовой фазе. Итак, можно сказать, что во всех образцах была диагностирована хрупкая стеклянная связка и даже в агломерате с добавкой 7% НКШ мелилит не являлся носителем прочности, поскольку весь его объем погружен в массу застывшей стеклофазы (рисунок 9).

Содержащийся в агломератах магматический магнетит не переходит в расплав в процессе спекания, из-за чего процесс ферритообразования был сдержан. Это и явилось причиной незначительного роста прочности агломератов по сравнению с прочностью агломератов, спеченных на «Уральской Стали».



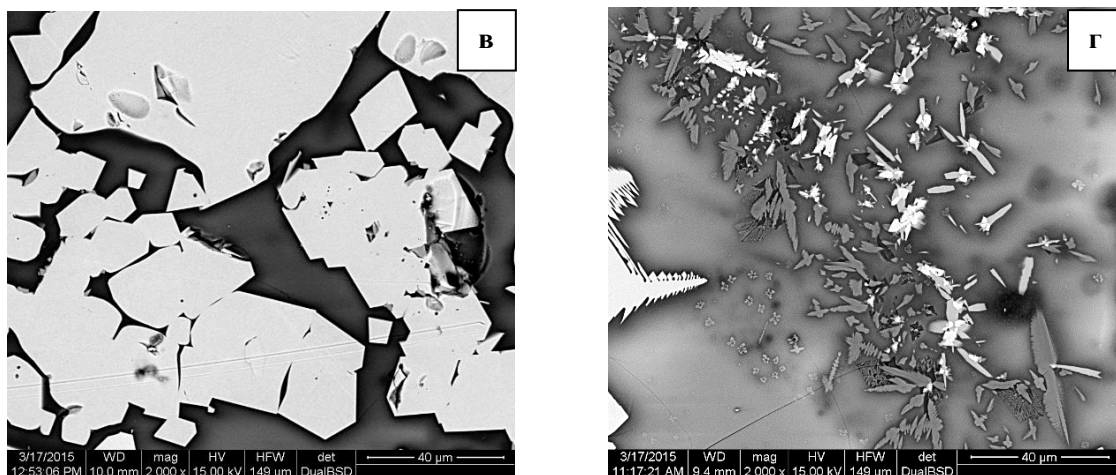


Рисунок 9 – Микроструктура агломерата с добавками НКШ.

а) базовый агломерат, б) 3% НКШ, в) 5% НКШ, г) 7 % НКШ.

Белое – зерна магнетита, темно-серое – силикатная связка, светло-серое – дендриты мелилита, x2000

Вторая серия лабораторных спеканий, также проводилась в «Центре исследования сырья» ОАО «Северсталь». Во второй серии уровень основности поддерживался равным 1,6. Другие параметры окомкования и спекания остались аналогичными, как и в предыдущей серии испытаний. Основные параметры спекания приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные технологические параметры опытных спеканий

Параметры спекания	Агломерат (В=1,2)				Агломерат (В=1,6)		
	Процент добавки НКШ				Процент добавки НКШ		
	База	3%	5%	7%	База	1%	7%
Время спекания, мин.	31:23	30:16	30:29	29:23	30:24	30:42	28:39
Выход годного, %	82,17	82,16	83,04	83,25	82,40	83,79	83,99
Удельная произв. по годному, т/м ² час	1,198	1,245	1,244	1,305	1,197	1,203	1,347
Удельная произв. по годному, отн. %	-	3,9	3,8	8,9	-	0,5	12,5

Результаты определения механических свойств агломерата по ГОСТ 15137-77 представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Прочность агломерата основностью 1,6 с добавками НКШ

Показатель	Тип агломерата		
	База	1 % НКШ	7 % НКШ
Прочность, %	68,7	68,9	70,1
Истираемость, %	4,7	4,5	4,8

Анализ микроструктуры агломератов показал, базовый агломерат представляет собой двухфазную систему, состоящую из магнетита и силикатной связки, но уже с добавлением 1% НКШ в агломератах начинает появляться третья фаза – ферритная. А в агломератах с добавкой 7% НКШ основным типом связки становится ферритная связка (рисунок 10). Замер состава основных минеральных фаз представлен в таблице 5.

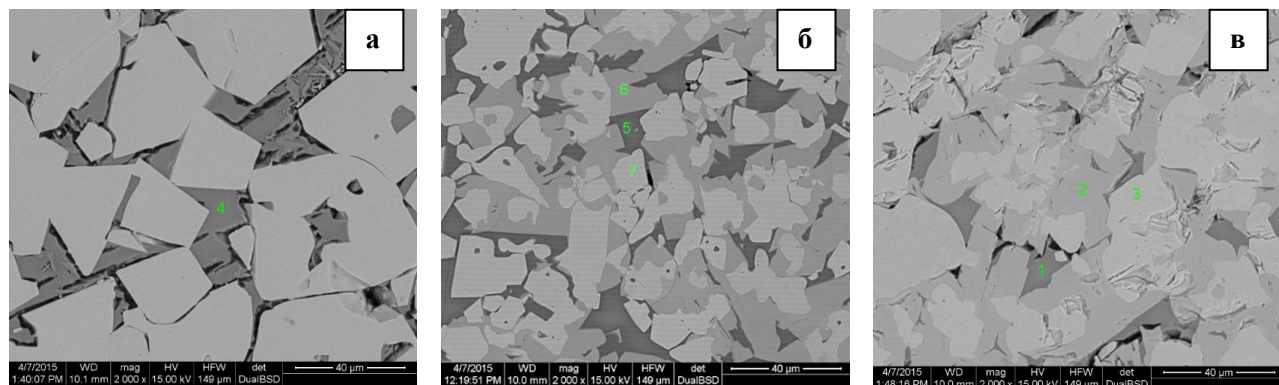


Рисунок 10 – Изображение микроструктуры агломерата
а) базовый агломерат, б) агломерат с 1% НКШ в) агломерат с 7% НКШ
Белое – зерна магнетита, темно-серое – силикатная связка, светло-серое – ферритная связка, x2000

Таблица 5 – Химический состав и расчетные кристаллохимические формулы основных минеральных фаз экспериментального агломерата основности 1,6.

Точка замера	Na ₂ O	K ₂ O	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
База точка 4*	0,29	0,31	3,23	0,82	0,75	31,33	31,96	31,32
1 % НКШ точка 5*	0,28	0,37	1,65	0,72	0,27	36,94	33,01	26,74
1 % НКШ точка 6**	0	0	2,76	0,13	0,52	14,48	8,90	73,13
7 % НКШ точка 1*	0,52	0,41	2,42	1,43	0,93	32,23	40,83	21,23
7 % НКШ точка 2**	0	0	2,48	0,64	0,63	13,71	7,68	74,86

* – силикатная связка, ** – ферритная связка.

Рост доли железа в ферритной фазе подтвердила и Мессбауэровская спектроскопия. Аналогично эксперименту с добавлением 1% НКШ ферриты имеют пластинчатую форму. Исследование состава этих фаз позволило установить, что во всех образцах связка представлена низкожелезистым стеклом

и полукальциевым ферритом, тогда как в опытных агломератах «Уральской Стали» при добавке 7% НКШ низкожелезистое стекло отсутствовало. Именно недостаток железа в железосиликатном расплаве затормаживает процесс ферритообразования, который начинается на промышленных агломератах «Северстали» при основности больше 2,0.

В результате проведенных спеканий установлено влияние низкощелочного красного шлама на минералогические особенности спеченного агломерата, состоящего из руд железистых кварцитов Оленегорского месторождения и магматических руд Ковдора. При уровне основности порядка 1,6 низкощелочной красный шлам способствовал интенсификации процесса агломерации (сократилось время спекания, увеличились показатели выхода годного и удельной производительность по годному). Увеличение уровня механической прочности объясняется изменением направлением минералообразования, а именно сменой оливиновой связки на более прочную ферритную.

Основные научные результаты, выводы и рекомендации, полученные лично автором, заключаются в следующем:

1. Установлено, что низкощелочной красный шлам представляет собой мелкодисперсный материал, с высоким содержанием железа и основностью >1 , присутствующие в данном материале оксиды алюминия, кальция и других элементов интенсифицируют процесс раннего расплавообразования. Благодаря расплавообразующему свойству данный материал способен изменить направление минералообразования в процессе агломерации.

2. Установлено, что основная доля НКШ находится в самой мелкой части шихты 2-3 мм, которая в процессе спекания первая претерпевает процессы расплавообразования, пропитывает окружающие микрообъемы окомкованной части шихты и постепенно ассимилирует их по мере увеличения температуры спека;

3. Выявлены различия влияния низкощелочного красного шлама на минералогические особенности агломерата, полученного из руд различного генезиса;

4. На примере нескольких руд различного генетического типа показано, что при основности больше 1,6 добавка низкощелочного красного шлама меняет направление минералообразования и интенсифицирует образование ферритов кальция, способствующих упрочнению агломерата по средствам замены хрупкой силикатной связки на более прочную ферритную;

5. Разработаны рекомендации для двух аглофабрик ведущих металлургических предприятий России по увеличению прочности их продукции на основе проведенных лабораторных и полупромышленных испытаний путем изменения направления минералообразования связки рудных зерен в процессе спекания агломерата.

а) опытным путем показано, что для условий работы агломерационного цеха АО «Уральская Сталь» с целью интенсификации процесса спекания агломерата и придания ему повышенной прочности целесообразно вводить подготовленный измельченный низкощелочной красный шлам в количестве 5% сверх основной массы шихты. В этом случае возможно получение агломерата с прочностью на 7,3%(абс) превосходящей базовую прочность промышленного агломерата, в тоже время истираемость снижается на 1,1% (абс). Предварительное измельчение низкощелочного красного шлама возможно в щековых дробилках, установленных в корпусе измельчения известняка. Низкощелочной красный шлам целесообразно вводить в аглошихту из бункера УОШ в смеси со шламом УОШ, что обеспечит дополнительную гомогенизацию мелкодисперсного материала. Как показали проведенные исследования увеличение прочности агломерата при вводе в шихту НКШ объясняется сменой основной рудной связки, а именно заменой силикатной связки на более прочную ферритную.

б) установлено, что для условий работы агломерационного цеха ОАО «Северсталь» возможно получение более качественного агломерата по

сравнению с базовым при условии ввода подготовленного измельченного низкощелочного красного шлама в количестве 7% при одновременном условии увеличения основности промышленного агломерата до 1,6. В этом случае возможно сократить время спекания на 6,1% (отн.), а также увеличить удельную производительность по годному на 12,5% (отн.), при увеличении прочности готового агломерата на 1,4% (абс).

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

1. Ширяева Е.В., Подгородецкий Г.С., Малышева Т.Я., Горбунов В.Б. и др. Влияние низкощелочного красного шлама на свойства и микроструктуру агломерата из шихтовых материалов ОАО «Уральская Сталь» // Известия ВУЗов ЧМ. – 2014. – №1. – с. 14-19 .
2. E. V. Shiryayeva, G. S. Podgorodetskii, T. Ya. Malysheva, V. B. Gorbunov, A. V. Zavodyanyi, A. N. Shapovalov. Effects of adding low-alkali red mud to the sintering batch at OAO Ural'skaya Stal' // Steel in Translation.– January 2014.– Volume 44.– Issue 1.– pp 6-10.
3. Ширяева Е.В., Подгородецкий Г.С., Малышева Т.Я. и др. Влияние низкощелочных красных шламов на состав и структуру агломерационной шихты из железорудных концентратов различного генезиса // Известия ВУЗов. ЧМ.– 2014.– №9.– с. 13-17.
4. E. V. Shiryayeva, G. S. Podgorodetskiy, T. Ya. Malysheva, T. V. Detkova, V. B. Gorbunov. Influence of low-alkali red mud on the composition and structure of sintering batch consisting of heterogeneous iron-ore concentrates // Steel in Translation.– September 2014.– Volume 44.– Issue 9.– pp 625-628.
5. Ширяева Е.В., Подгородецкий Г.С., Малышева Т.Я., Горбунов В.Б. Изучение состава и структуры офлюсованного агломерата при добавках низкощелочного красного шлама // Теория и технология металлургического производства.–2014.– № 1 (14).– с.4-6.

6. Ширяева Е.В. Влияние добавок низкощелочного красного шлама на технологические параметры процесса спекания агломерационной шихты и микроструктуру спеченного агломерата // Актуальные проблемы науки на современном этапе развития: сб. статей. – Екатеринбург.–2015.–том 2.– с.139
7. Ширяева Е.В., Козлова О.А. Изучение фазового состава и структурных особенностей агломератов с добавками низкощелочного красного шлама // Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции: сб. статей.– Старый Оскол, 2015.–том 1.–с.342-347.
8. Г.С. Подгородецкий, Е.В. Ширяева, В.Б. Горбунов, О.Н. Козлова. Проблема эффективной переработки красных шламов, поиск решений // Экология и промышленность России.–2015.– №12.– с.46-53.

Отзыв

Научного руководителя диссертационной работы **Ширяевой Елены Владимировны** на тему: «Исследование влияния добавки красного шлама на фазовый состав агломерата с целью повышения его прочностных характеристик» представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Ширяева Елена Владимировна окончила Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по специальности "Металлургия черных металлов" в 2011 году. Уже на 5 курсе начала заниматься научной работой и приняла участие в 66-х днях науки студентов НИТУ «МИСиС» и конкурсе «У.М.Н.И.К.», став лауреатом этих конкурсов.

В 2011 г. поступила в очную аспирантуру Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» на кафедру «Экстракции и рециклинга черных металлов». За время учебы в аспирантуре продемонстрировала способность самостоятельно ставить и решать научные и технологические задачи.

В ходе проведения исследования Ширяева Е.В. освоила и успешно применила современные методы анализа: рентгенофазовый анализ, просвечивающую и электронную микроскопию, термогравиметрический анализ, дифференциальную сканирующую калориметрию.

В ходе работы над диссертацией Ширяева Е.В. выполнила большой объем экспериментальных работ не только в лабораторных, но и опытно-промышленных масштабах, овладела заводскими методами анализа, результаты которых использовала для обоснования выбора и оптимизации технологических параметров процесса спекания железорудного агломерата с добавками низкощелочного красного шлама, и сопоставила полученные результаты с качеством промышленного агломерата, что позволило ей разработать практические рекомендации для агломерационных цехов ведущих металлургических предприятий России с целью повышения качества выпускаемой ими продукции.

Результаты научно-исследовательской работы отражены в шести научных статьях, три из которых опубликованы в изданиях, входящих в перечень рецензируемых журналов,

утвержденных ВАК Минобрнауки РФ, и прошли апробацию на международных научно-практических конференциях.

Язык и стиль диссертации и автореферата соответствует п.9 Положения о присуждении ученых степеней.

Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно, а также на высоком научно-техническом уровне. Полученные результаты можно квалифицировать как решение задачи поиска способа утилизации красного шлама текущего производства, что не только позволит снизить антропогенную нагрузку, но и получить продукцию с высокими физико-механическими характеристиками, что в конечном итоге имеет важнейшее значение при решении задач рационального природопользования. Результаты работы достоверны и обладают новизной, а выводы обоснованы и подтверждены проведенными полупромышленными испытаниями.

Считаю, что диссертационная работа Ширяевой Е.В. по теме «Исследование влияния добавки красного шлама на фазовый состав агломерата с целью повышения его прочностных характеристик» полностью соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель заслуживает присуждения ей степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02. - Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Научный руководитель,
К.Т.Н.

Г.С. Подгородецкий

24.12.2015.



ЗАВЕРЯЮ

И.М. ИСАЕВ

Объявление о защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

Диссертационный совет Д 212.132.02 при Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС», 119049, Москва, Ленинский проспект, 6, объявляет, что **Ширяева Елена Владимировна** представила диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Исследование влияния добавки красного шлама на фазовый состав агломерата с целью повышения его прочностных характеристик» по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Защита диссертации состоится 26 мая 2016 г.

Текст объявления о защите диссертации и полный текст диссертации размещены на сайте НИТУ «МИСиС» 29 декабря 2015 г. по адресу: <http://misis.ru/about-university/news/shirjaeva-elena-vladimirovna>