



Новицкий Никита Александрович

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПРОИЗВОДСТВА
БРИКЕТИРОВАННОГО ШИХТОВОГО МАТЕРИАЛА ИЗ ТЕХНОГЕННОГО
СЫРЬЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ОКАЛИНОУГЛЕРОДНЫХ БРИКЕТОВ

Специальность 05.16.07 – «Металлургия техногенных и вторичных ресурсов»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Диссертационная работа выполнена на кафедре «Технология материалов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ).

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент кафедры
«Технология материалов»
ФБГОУ ВО «ВолгГТУ»

Гоник Игорь Леонидович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук

Паршин Валерий Михайлович

кандидат технических наук,
председатель совета директоров
Группа компаний «Ферро-Технолоджи»

Дорофеев Генрих Алексеевич

Ведущая организация:

ФГУП «ЦНИИчермет им. И. П. Бардина»

Защита состоится **27 апреля 2017 г.** в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д212.132.02 на базе Национального исследовательского технологического университета «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 «____» _____ 2017 года.

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

А.В. Колтыгин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. К настоящему моменту в отвалах и шламохранилищах металлургических предприятий накоплено более 1 млрд. т отходов, из которых свыше 506 млн. т относятся к отходам от предприятий черной металлургии. В среднем на металлургических предприятиях образуется более 10,3 млн. т отходов в год, что составляет 15-20 % от количества общих загрязнений.

По экспертным оценкам при производстве 1 т стали в целом по черной металлургии образуется следующее количество твердых отходов: шлаки (500-1000 кг), шламы (80-120 кг), пыль (80-120 кг), окалина (30-40 кг), сточные воды (250-300 м³). Суммарно отходы предприятий черной металлургии превышают объем выпуска готовой продукции в 2-4 раза.

Накопление металлургических отходов создает ряд экологических проблем: территория, отведенная под хранение отходов, загрязняется тяжелыми металлами (преимущественно цинком, свинцом, кадмием и др.), а также отрицательно влияет на состояние водного бассейна, имеющегося на данной территории – происходит загрязнение водоемов и грунтовых вод.

Под хранение отходов отводится большое количество площадей – полигонов, которые по оценкам специалистов занимают около 0,5 млн. га, находясь при этом в индустриально развитых регионах с высокой плотностью населения. В Волгоградской области металлургия занимает третье место после топливно-энергетической и нефтехимической промышленности. На территории области находятся два крупных металлургических предприятия: АО ВМК «Красный Октябрь» (г. Волгоград) и АО «Волжский трубный завод» (г. Волжский). Отвалы и шламохранилища данных предприятий занимают территорию общей площадью 637,75 га: шламонакопитель АО ВМК «Красный октябрь» имеет площадь 128,9 га (в районе с. Орловка, Городищенский район), шламонакопители и полигоны промышленных отходов предприятия АО «Волжский трубный завод», расположенные вблизи г. Волжский, занимают 508,85 га (по данным результатов государственной кадастровой оценки земель Волгоградской области). Такие места

продолжают оставаться источником загрязнения до тех пор, пока не будет решена проблема переработки отходов на их территории.

Не менее актуальны экономические аспекты проблемы накопления отходов. Например, по данным ООО «Группа «Магнезит» по состоянию на 2012 год, расходы на разработку одного проекта по созданию полигона для захоронения пылевых отходов составляют 100-150 млн. руб., транспортные расходы 200-1500 руб./т, расходы на их содержание – около 1 млн руб./год. Ежемесячные выплаты за размещение отходов составляют 170 руб./т.

Стоит отметить ценность железосодержащих отходов, пригодных для вторичной переработки. В таблице 1 приведены данные по содержанию железа, а также объемы ежегодно образующихся отходов, исходя из удельного выхода на тонну стали.

Таблица 1 – Объемы образующихся железосодержащих отходов

Тип отхода	Fe _{общ} , %	На территории РФ		По Волгоградской области	
		2000 г.	2014 г.	2000 г.	2014 г.
Окалина (в том числе замасленная), т/год	65-70	304500	801500	18900	50050
Пыль ЭСПЦ, т/год	30-55	147900	389300	9180	24310

Как видно из приведенных данных на территории Волгоградской области ежегодно накапливается значительное количество отходов, использование которых возможно в достаточном объеме при наличии эффективной технологии рециклинга. Отходы располагаются в непосредственной близости от металлургических предприятий. Их использование в качестве сырьевой базы позволит уменьшить транспортные расходы и решить экологическую проблему накопления отходов в регионе.

Цель работы. Разработка технологии металлизации окалиноуглеродного брикета с полиоксидным связующим компонентом, а также исследование процессов восстановления железа, протекающих в нем при нагреве.

Основные задачи:

- 1 Исследовать влияние полиоксидного связующего компонента на механизм восстановления железа в брикетированном шихтовом материале.
- 2 Определить температурно-временные параметры металлизации брикетированного шихтового материала.
- 3 Исследовать физико-механические свойства окалиноуглеродных брикетов.
- 4 Разработать технологические рекомендации для производства металлизированного ОУБ.

Научная новизна. В диссертационной работе предметом научной новизны являются следующее:

1 Установлено, что применение полиоксидного связующего компонента (отходов эмалевого производства) в составе брикетируемых смесей повышает степень восстановления последних с 40 % до 43 % – в смесях, содержащих 10 % восстановителя, и с 62 % до 71 % – в смесях, содержащих 20 % восстановителя.

2 Выявлено и научно обосновано увеличение степени восстановления образцов брикетов с 83 % до 91 % за счет использования в составе брикетированных материалов отходов эмалевого производства вместо портландцементного связующего компонента.

3 Разработана методика и определены оптимальные способы применения полиоксидного связующего компонента в брикетируемых смесях, заключающиеся в предварительном обжиге при 800 °С окалиноуглеродных брикетов. Данный температурный режим обжига приводит к повышению прочности готовых брикетов, увеличению скорости нагрева и расплавления металлошихты, существенному снижению продолжительности плавки и, как следствие, уменьшению угара выплавляемого металла.

Фактический материал. Объект диссертационного исследования – брикетированный материал, изготавливаемый из техногенного сырья, который может быть использован в качестве шихтового материала для выплавки металла. Предмет исследования – лабораторные и промышленные образцы окалиноуглеродных брикетов (ОУБ) различных размеров, содержащих отходы

металлургического и эмалевого производства, после обжига 800 °С. ОУБ используются в качестве шихтового материала для выплавки стали в металлургических печах различного типа.

Работа выполнена на кафедре «Технология материалов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (ВолГТУ).

Практическая значимость.

1 Предложен окалиноуглеродный брикет (ОУБ), в составе которого используются железосодержащие отходы металлургического производства, отходы эмалевого шликера – полиоксидный связующий компонент $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-CaO-K}_2\text{O}$ брикетированного шихтового материала и электродный бой в качестве восстановителя. Это позволяет использовать брикет для замены части металлической шихты при выплавке стали и чугуна.

2 Полученный, на основании результатов исследований брикетированный шихтовой материал, содержащий отходы металлургического производства и отходы производства эмалированных изделий, защищен патентом РФ.

Публикации. Основные положения диссертационной работы представлены в 32 научных публикациях, в том числе в 16 статьях в изданиях, входящих в перечень Высшей аттестационной комиссии. Получен патент РФ на изобретение.

Достоверность полученных результатов. Достоверность результатов обеспечивается применением современного научно-исследовательского оборудования для исследования структуры и свойств материалов. В работе использовано оборудование для проведения электронно-ионной микроскопии (системы Versa 3D Dual Beam), химического анализа (портативный оптико-эмиссионный анализатор металлов PMI Master Pro), металлографического анализа (портативный шлифовально-полировальный станок Struers, металлографический микроскоп МЕТАМ ЛВ-41) и дериватографического анализа (дериватограф Q-1500D), компьютерный измеритель теплопроводности КИТ-02Ц. Также использовалось специализированное программное обеспечение и средства компьютерной обработки экспериментальных данных.

Научные данные, полученные лично соискателем, подтверждают результаты исследований, проводимых ранее сотрудниками кафедры «Технология материалов» ВолгГТУ и согласованы с современными научными представлениями.

Текст диссертации проверен на отсутствие некорректных заимствований посредством интернет-сервиса «Антиплагиат» (<https://www.antiplagiat.ru/>).

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы апробированы на 16 конференциях и конгрессах, в том числе на научно-практической конференции молодых специалистов ОМК (г. Выкса, 2009 г.); XIX Менделеевском съезде по общей и прикладной химии (г. Волгоград, 2011 г.); международных конгрессах ТЕХНОГЕН (г. Екатеринбург, 2012, 2014 гг.); научно-практической конференции «Перспективы развития металлургии и машиностроения с использованием завершенных фундаментальных исследований и НИОКР» (г. Екатеринбург, 2013 г.); XX международной научно-технической конференции «Современная металлургия начала нового тысячелетия» (г. Липецк, 2013 г.) и др.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и пяти приложений, изложенных на 154 стр. машинописного текста, содержит 35 рисунков, 57 таблиц и библиографический список из 137 наименований.

Личный вклад автора. Проведены исследования структуры ОУБ различного состава, дериватографические исследования взаимодействия компонентов брикетируемых смесей при использовании отходов эмалевого шликера, в результате чего, автором определены оптимальные температурные режимы технологического обжига.

Определены технологические свойства окалиноуглеродных брикетов, изготовленных с применением отходов эмалевого шликера – полиоксидного связующего компонента $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-CaO-K}_2\text{O}$.

Проведены лабораторные и опытно-промышленные плавки брикетированного шихтового материала в печах различного типа.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность работы, научная новизна и практическая ценность, сформулированы основная цель и задачи исследования физико-химических процессов восстановления железа в брикетированном шихтовом материале.

В первой главе представлен литературный обзор по материалам периодических изданий и монографий, посвященных теме рециклинга железосодержащих металлургических отходов. Проведен анализ опубликованных данных по количеству вновь образующихся и используемых отходов. Обоснована необходимость применения отходов для вторичного использования в черной металлургии. Приведена характеристика отходов, образующихся на основных этапах металлургического производства и основные направления их использования: посредством новых технологических процессов с применением отдельного оборудования (Вельц-процесс, FASTMET, PRIMUS и др.), а также по традиционным технологиям в доменном, сталеплавильном и конвертерном производстве.

Рассмотрены современные способы брикетирования железосодержащих отходов с применением различных типов связующих веществ, их достоинства и недостатки, а также сравнение подобных способов с технологией, представленной в настоящей работе.

По причине того, что отходы эмалевого шликера не применялись ранее в качестве связующего компонента брикетированного шихтового материала, применение полученного шихтового материала требует исследования его характеристик, а также изучения влияния нового типа связующего компонента на процессы восстановления, протекающие внутри брикета.

Во второй главе приведена характеристика объекта исследования – окалиноуглеродного брикета (ОУБ), описываются оборудование и методики проведенных исследований. Окалиноуглеродный брикет состоит из прокатной окалины в качестве железосодержащего компонента, отходов эмалевого шликера – полиоксидного связующего компонента $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-CaO-K}_2\text{O}$ и электродного боя в качестве восстановителя. Компонентный состав ОУБ представлены в таблице .

Изготовление полиоксидного связующего компонента $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-CaO-K}_2\text{O}$ возможно также в лабораторных условиях. При этом технология его получения аналогична получению эмалевой фритты. Исходными веществами для приготовления полиоксидного связующего компонента в лабораторных условиях являются: борный ангидрид, кварцевый песок, известняк, кальцинированная сода и полевой шпат либо глинозем, взятые в определенном соотношении.

Таблица 2 – Компонентный состав окалиноуглеродных брикетов (ОУБ)

Компоненты	Содержание, % (по массе)	Размер фракций, мм
Прокатная окалина	65-85	3,0
Электродный бой (графит)	5-32	5,0
Отходы эмалевого шликета (полиоксидный связующий компонент ($\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-CaO-K}_2\text{O}$))	3-10	0,05-0,1
Водный раствор жидкого стекла	10 (свыше 100 %)	–

Для придания брикету прочности после сушки в составе брикетируемой смеси вводят натриевое жидкое стекло. Физико-механические свойства ОУБ представлены в таблице .

Таблица 3 – Физико-механические свойства ОУБ

Прочность на сжатие:	
– после сушки (200 °С), МПа	3,5-10,3
– после обжига (800 °С), МПа	11,3-38,8
Степень водопоглощения, %	1,7

Для проведения исследований макроструктуры, и определения физико-механических свойств изготавливали образцы ОУБ цилиндрической формы (рисунок) различной массы (30 ± 5 г, 240 ± 10 г), а также призматические образцы для определения теплопроводности ОУБ с помощью прибора КИТ-02Ц массой 5 ± 1 г.



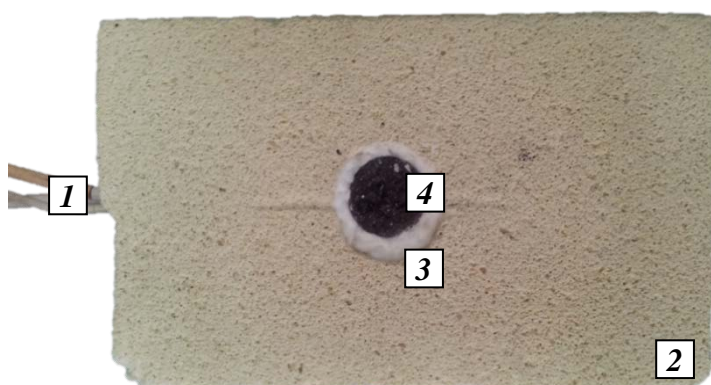
Рисунок 1 – Образец ОУБ после обжига 800 °С, выдержка 2 ч

Для определения влияния полиоксидного связующего компонента на процесс восстановления были проведены дериватографические исследования брикетируемых смесей различного состава, и определение количества восстановленного железа в ОУБ после обжига.

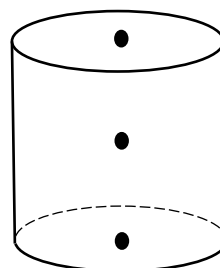
Приведена оригинальная методика определения коэффициентов теплопроводности ОУБ после обжига и после сушки. Коэффициенты теплопроводности определяли по скорости нагрева образцов, найденной экспериментально, а также с помощью измерителя теплопроводности КИТ-02Ц.

С целью упрощения расчета коэффициента теплопроводности по полученным экспериментальным данным в исследованиях был обеспечен односторонний нагрев образцов. На рисунке 2.

а)



б)



а) образец ОУБ перед загрузкой в печь: 1 –термопары ТХАв-0188-012 (3 шт.); 2 – шамотный легковесный кирпич; 3 – каолиновая вата; 4 – образец.

б) схема размещения термопар в образце.

Рисунок 2 – Образец ОУБ перед загрузкой в печь и схема расположения термопар

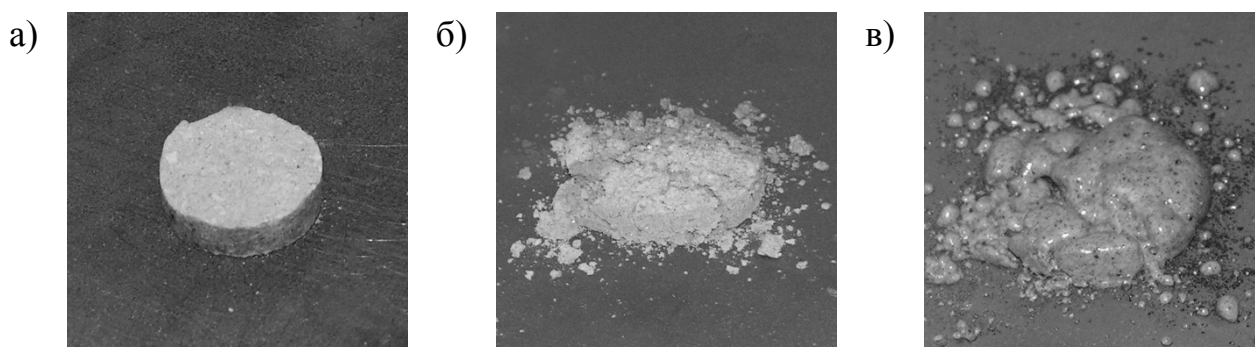
Определение коэффициента теплопроводности с помощью измерителя теплопроводности КИТ-02Ц проводили посредством управляющей программы с учетом вводимых значений линейных размеров и геометрической формы.

В работе представлены исследования по определению влияния компонентного состава и технологии изготовления ОУБ на его физико-механические свойства: прочность при сжатии, прочность на сбрасывание по ГОСТ, водопоглощение.

Приведены методики проведения опытных плавков ОУБ в печах различного типа с последующим проведением анализа химического состава металла.

В третьей главе представлены результаты проведенных исследований.

Исследования влияния температуры нагрева на агрегатное состояние полиоксидного связующего компонента показали, что его полное расплавление происходит при температуре 840 °С и сопровождается растеканием расплава по стальной подложке (см. рисунок).



а – исходное состояние; б – 600 °С; в – 840 °С.

Рисунок 3 – Внешний вид образцов связующего компонента до и после нагрева в исследуемом интервале температур

Исследования отходов эмалевого шликера, используемых в качестве полиоксидного связующего компонента позволили установить температуру начала их расплавления, которая составила 600 °С.

С целью более детального изучения влияния полиоксидного связующего компонента на структуру ОУБ изготовили шлифы брикетов после металлизирующего обжига (обжиг, при котором происходит восстановление железа из оксидов) при температуре 800 °С, в которых количество полиоксидного

связующего компонента составляло 15 %. Макроструктура представлена на рисунке 4.

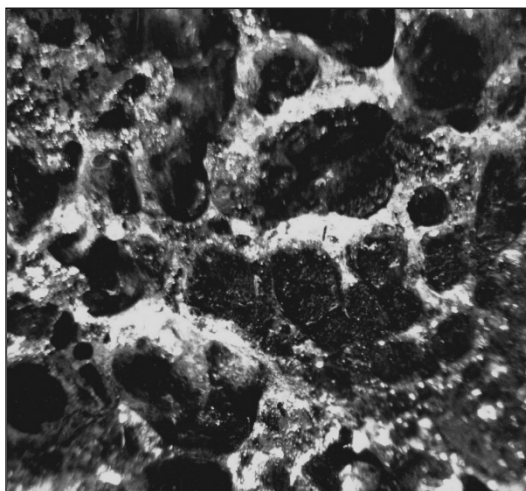


Рисунок 4 – Макроструктура ОУБ после металлизирующего обжига 800 °С (×10)

При исследовании макроструктуры шлифов выявили, что после нагрева свыше 800 °С расплавленный полиоксидный связующий компонент формирует стекловидный каркас, обеспечивающий образование замкнутых микрообъемов, площадь которых достигает около 4-25 мм² на плоскости шлифов. Микрообъемы включают частицы окалины и графита.

Расчет стандартного изменения энергии Гиббса, проведенный энтропийным методом, позволил получить для ключевых реакций температурные интервалы нагрева, обеспечивающие максимальный выход продуктов реакции, что необходимо для установления оптимального температурного интервала нагрева ОУБ. Исходя из результатов расчета, нагрев ОУБ следует проводить при температуре свыше 700 °С.

Определение коэффициента теплопроводности образцов ОУБ после сушки (200 °С) и после обжига (800 °С) показали, что с увеличением температуры нагрева коэффициент теплопроводности ОУБ возрастает, при этом коэффициент теплопроводности образцов после обжига выше, что свидетельствует об образовании в их составе металлической фазы.

Различия между значениями теплопроводности ОУБ после сушки и после обжига, по нашему мнению, связаны со следующими факторами:

- наличие пор внутри брикета после прессования и сушки 200 °С создает дополнительное термическое сопротивление, что приводит к уменьшению теплопроводности;
- появление в структуре восстановленного железа, а также увеличение его содержания при нагреве до 800 °С приводит к значительному увеличению коэффициента теплопроводности ОУБ при металлизующем обжиге.

С помощью анализатора PMI-MASTER PRO были проведены исследования химического состава центральных и периферийных частей ОУБ. Результаты проведенного химического анализа представлены в таблице .

Таблица 4 – Определение химического состава металлизированных образцов ОУБ после обжига 1200 °С, выдержка 2 ч.

№ серии	Окалина, %	Электродный бой, %	Связующий компонент, %	Место отбора пробы	Содержание, % масс.	
					Fe	C
1	95	2	3	периферия	39,36	1,70
				центр	25,29	1,90
2	92	5		периферия	60,60	1,30
				центр	38,80	1,60
3	87	10		периферия	79,40	1,36
				центр	44,30	1,80

С помощью оборудования для проведения электронно-ионной микроскопии Versa 3D Dual Beam были проведены исследования изменения химического состава окалиноуглеродного брикета в зависимости от температуры обжига. Исследования проводились с целью уточнения механизма восстановления оксидов железа в ОУБ.

В результате исследования было определено содержание Fe и O в структурных составляющих ОУБ. Обобщенные данные представлены в таблице .

Различное содержание элементов в одном образце обращает на себя внимание. Это обусловлено высокой разрешающей способностью прибора (0,8-5,0 нм), позволяющей определять их содержание при большом увеличении, в разных частях микроструктуры.

Таблица 5 – Соотношение Fe/O в ОУБ поле обжига

№ пробы	Температура обжига, °С	% масс.		Атомная концентрация, %	
		Fe	O	Fe	O
1	600	71,16	28,85	41,41	58,59
		80,04	19,96	53,46	46,54
2	600	72,08	27,56	41,67	57,40
		78,17	22,39	51,84	48,51
3	800	71,03	28,97	41,26	58,74
		72,92	27,16	43,50	56,48
4	800	91,60	7,99	76,67	23,33
		71,16	28,85	41,41	58,59
5	1000	80,04	19,96	53,46	46,54
		71,03	28,97	41,26	58,74
6	1000	72,92	27,16	43,50	56,48
		91,60	7,99	76,67	23,33

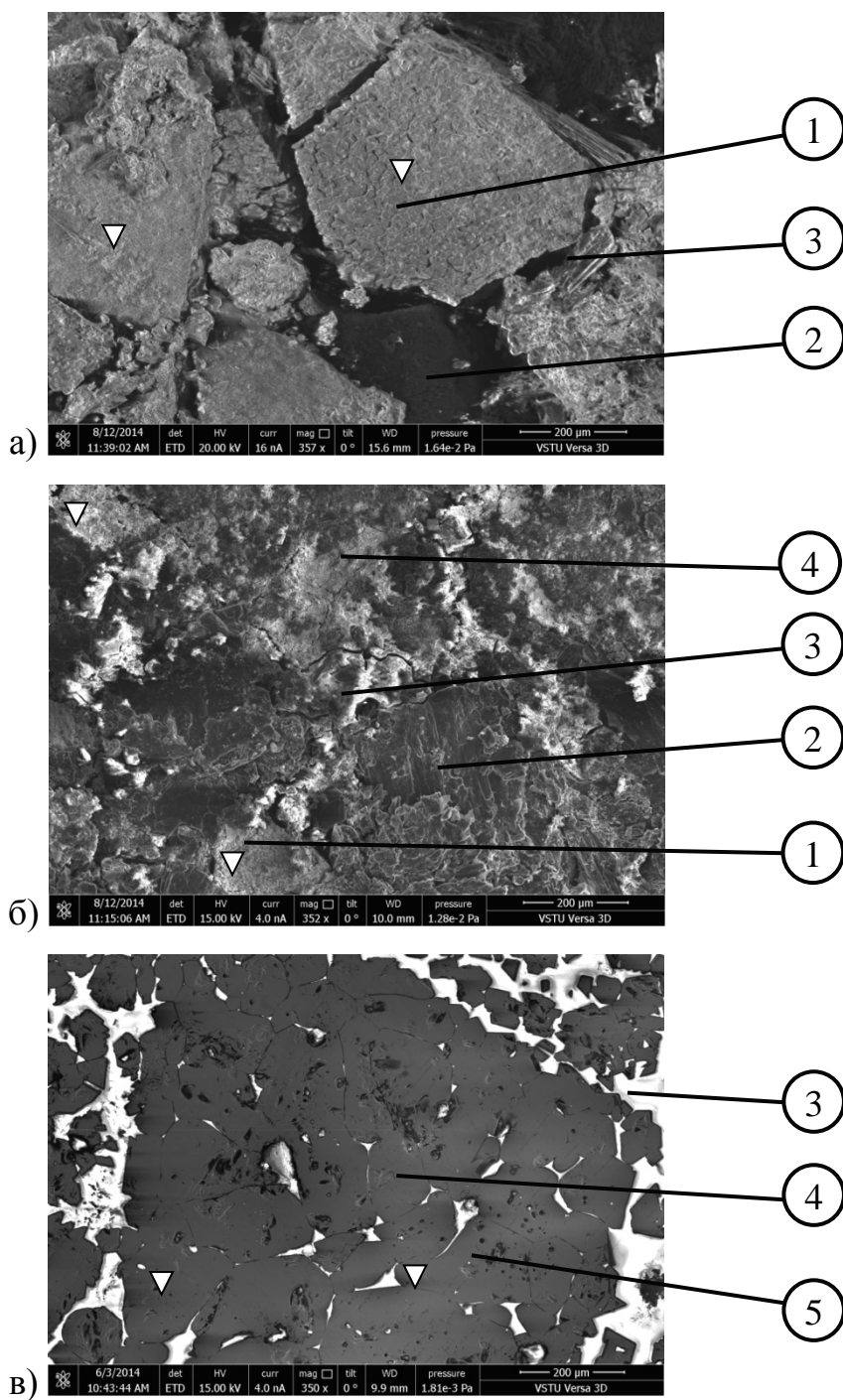
Определение содержания Fe и O проводили по двум точкам на различных участках микроструктуры. Микроструктуры образцов представлены на рисунке 5. Места обора проб отмечены на рисунке знаком «∇».

Для определения степени влияния отходов эмалевого шликера на восстановление оксидов железа брикетируемые смеси исследовали на дериватографе Q-1500D. Нагрев проводили в платиновых тиглях при 1000 °С в инертном газе, скорость нагрева 10 °С/мин. В качестве образцов использовали навески массой до 400 мг, фракцией 0,01-0,1 мм.

Анализ дериватограмм позволил определить «наблюдаемую температуру» реакций восстановления – температуру, при которой начинается отклонение ДТА кривой, соответствующее началу протекания реакции. Помимо этого, определены: температура начала потери массы, величина потери массы, которые позволили провести сравнительную оценку степени восстановления оксидов железа при наличии полиоксидного связующего компонента в составе брикетируемых смесей.

Дериватографические исследования показали, что с увеличением в брикетируемых смесях электродного боя от 10 % до 20 % степень восстановления увеличивается от 40,3 % до 62,3 %. Наличие в смесях полиоксидного связующего компонента приводит к увеличению степени восстановления от 40,3 % до 43,0 %

при 10 % электродного боя. От 62,3 % до 71,1 % – в смесях с содержанием 20 % восстановителя.



1 – окалина, 2 – углерод,

3 – связующий компонент, 4 – восстановленный металл, 5 – поры

Рисунок 5 – Микроструктура образцов ОУБ после обжига:

а – 600 °C; б – 800 °C; в – 1000 °C (×350)

Для изучения взаимосвязи между компонентным составом и прочностными характеристиками ОУБ проводили исследования по определению прочности на сжатие брикетов различного состава.

Результаты испытаний прочности на сжатие представлены в таблице 6. Для определения прочности было испытано в общей сложности 45 образцов общей массой 4,5 кг.

Таблица 6 – Результаты определения прочности образцов ОУБ при испытаниях на сжатие

№ серии	Окалина, %	Электродный бой, %	Связующий компонент, %	Прочность на сжатие, МПа	
				Сушка 200 °С, выдержка 1,5 ч	Обжиг 800 °С, выдержка 2 ч
1	97	–	3	11,3	38,8
2	95	2		9,2	34,2
3	92	5		6,2	27
4	90	7		4,7	22,5
5	87	10		3,5	16,2
6	80	15	5	–	13,2
7	77	13	10		28,6
8	73	12	15		32,1
9	70	10	20		38,3

Проведенные испытания на сжатие показали, что увеличение содержания электродного боя в составе ОУБ до 10 % приводит к снижению прочности образцов после сушки в 3,2 раза, и образцов после обжига в 2,4 раза. Прочность на сжатие брикетов после обжига превышала прочность брикетов после сушки в 4-5 раз, что говорит о положительном влиянии метализирующего обжига на прочностные характеристики ОУБ.

Результаты определения прочности на сжатие образцов 6-9 серий, содержащих различное количество полиоксидного связующего компонента, показали увеличение прочности ОУБ в 2,9 раза при увеличении содержания полиоксидного связующего компонента до 20 %, но введение его в состав ОУБ ≥ 10 % нецелесообразно ввиду

разубоживания брикетированного шихтового материала, так как это приводит к уменьшению содержания железа в брикете.

На основании полученных данных о механической прочности брикетов, проведен сравнительный анализ используемого в настоящее время брикетируемого шихтового материала, изготовленного с применением различных типов связующих компонентов. При оценке учитывали показатели прочности брикетируемого шихтового материала. Результаты приведены в таблице . Для исследования науглероживающей способности и возможности использования ОУБ в качестве науглероживающего материала, в печи Таммана проведены плавки брикетов с содержанием электродного боя 10-30 %. Для оценки процесса получения углеродистого сплава, при замене металлической части шихты окалиноуглеродными брикетами проведены плавки в индукционной печи ИСТ-0,06/0,12-И1.

Для проведения опытных плавок в печи Таммана использовали ОУБ с содержанием углерода от 30 до 10 %: 30 % – для плавки №1, 20 % – для плавки №2 и 10 % – для плавки №3. Использование в составе ОУБ электродного боя вызвано необходимостью исключения влияния нежелательных примесей при проведении опытных плавок. В результате проведенных плавок были получены 3 слитка массой 70-80 г. Данные по химическому анализу металла представлены в таблице .

Таблица 7 – Химический анализ металла, выплавленного в печи Таммана

№ плавки	Содержание элементов (% по массе)				
	C	Si	Mn	S	P
1	4,82	0,19	0,29	0,021	0,022
2	3,29	0,004	0,017	0,008	0,023
3	0,19	0,009	0,01	0,009	0,008

В результате проведенного анализа выявлена возможность использования ОУБ в качестве науглероживающего материала. Отмечено, что полученные сплавы имеют низкое содержание вредных примесей: содержание серы и фосфора – не более 0,03 %.

Таблица 8 – Прочность брикетов, изготовленных на различных предприятиях

№ п/п	Разработчик брикетированного материала	Тип связующего компонента	Термообработка	Прочность на сжатие, МПа	
				min	max
1	ФГБОУВО «ВолгГТУ» (г. Волгоград)	Отходы эмалевого шликера (полиоксидный связующий компонент ($\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-CaO-K}_2\text{O}$)) + ($\text{mNa}_2\text{O}\times\text{nSiO}_2$)	Сушка 200 °С, выдержка 1,5 ч	3,5	11,3
			Обжиг 800 °С, выдержка 2 ч	16,2	38,8
2	ООО «ЭкоМашГео» (г. Тула)	Цемент	Тепловлажностная обработка (60 °С, влажн. 98 %)	–	6,9
			Естественная сушка (3-5 сут.)	5,8	11,1
3	J. C. Steele & Sons, Inc. (США)	Цемент	Без термообработки	11,9	
			Восстановительн. атмосфера (50 % H_2 + 50 % N_2 , 1150 °С)	10,9	
4	ОАО «ММК» (г. Магнитогорск)	Кварцевый песок + глина + ЛСТ	Без термообработки	0,6	2,1
			Сушка 150-170 °С	3,1	19,2
5	ГП «УКРГИПРОМЕЗ» (Украина)	Цемент	Естественная сушка (6-7 сут.)	33-39	
6	«Suraj Products Ltd» (Индия)	Цемент	Естественная сушка	$\geq 15,5$	

При проведении опытных плавов в индукционной печи ИСТ-0,06/0,12-И1 использовали стальную обрезь марки сталь 40 ГОСТ 1050-88 в качестве металлической части шихты и ОУБ в количестве 4,84 кг. Химический состав металлической части шихты представлен в таблице .

Таблица 9 – Химический состав металлической части шихты, %

C	Mn	Si	S	P	Cu	Al
0,36	0,66	0,30	0,026	0,017	0,11	0,025

Общая масса шихты составила 53,8 кг. Средняя длительность плавов 1 час 30 мин, температура металла на выпуске 1600 °С.

В результате опытных плавов были получены образцы стали следующего химического состава (см. таблицу 10).

Таблица 10 – Химический состав полученных слитков, %

C	Mn	Si	S	P	Cu	Al
0,94	0,20	0,14	0,023	0,017	0,09	0,08

Выход годного при плавке в индукционной печи составил 95,5 %. Оценивая содержание постоянных примесей в полученных образцах, можно сделать следующие выводы:

- низкое содержание серы и фосфора обусловлено применением в составе ОУБ электродного боя и прокатной окалины, содержащих минимальное количество вредных примесей;
- применение ОУБ в составе шихты приводит к увеличению содержания углерода, превышающему расчетное количество. Это означает более высокую степень усвоения углерода при использовании ОУБ по сравнению с использованием углеродсодержащих материалов, добавляемых при плавке для науглероживания.

Результаты опытных плавов, проведенных в печи Таммана, показали, что применение ОУБ с содержанием восстановителя 30 % позволяет получить железоуглеродистый сплав, содержащий 4,82 % углерода. Лабораторные плавки в

индукционной печи, свидетельствуют о возможности получения низкоуглеродистых марок стали при использовании ~10 % ОУБ в составе металлошихты. Содержание вредных примесей серы и фосфора при проведении лабораторных плавов составило не более 0,03 %.

В четвертой главе приведены результаты практической реализации объекта исследования.

Балансовые и сравнительные плавки, проведенные на АО «ВМЗ «Красный Октябрь» с применением окалиноуглеродных брикетов в электродуговой печи ДСП-25 Н2 вместимостью 25 т показали, что механические свойства металла, выплавленного с применением ОУБ удовлетворяют требованиям нормативной документации. Использование окалиноуглеродных брикетов приводит к снижению расхода стального лома с 1109,47 кг/т слитка до 1049,23 кг/т слитка (на 5,74 %). Также применение ОУБ в составе металлошихты позволяет исключить использование карбюризатора для науглероживания металла.

Проведенные плавки на предприятиях АО «ВМЗ «Красный Октябрь», ОАО «ПО «Баррикады», ОАО «Тракторная компания «ВГТЗ» показали эффективность применения ОУБ в качестве составляющей части металлошихты при плавке в различных металлургических агрегатах.

На основании проведенных исследований и результатов промышленных плавов предложены рекомендации по изготовлению ОУБ. Проведенные балансовые плавки показали эффективность применения коксовой мелочи вместо электродного боя в качестве восстановителя. По результатам проведенных исследований структуры и состава окалиноуглеродных брикетов, а также по результатам определения физико-механических свойств установлено, что содержание восстановителя в количестве 10 % обеспечивает: до 79,4 % восстановленного железа после обжига 1200 °С; степень восстановления 90,95 % в токе водорода при температуре 1000 °С.

Проведенные исследования физико-механических свойств показали, что введение полиоксидного связующего компонента в количестве менее 3 % не обеспечивает достаточной прочности. Проведенные промышленные плавки показали, что его содержание в количестве 7-8 % обеспечивает достаточную горячую прочность ОУБ. Содержание связующего компонента в количестве свыше

8 % приводит к разубоживанию шихтового материала, снижает содержание в нем оксидов железа и нецелесообразно. Известно, что на состояние и работу доменной печи оказывает негативное влияние наличие щелочей. В окалиноуглеродном брикете с 8 % полиоксидного связующего компонента (включающего K_2O) и 5 % жидкого стекла (включающего Na_2O) содержится ~1,34 % щелочей. Это приводит к тому, что в доменную печь вносится 2,68 кг/т чугуна, при расходе брикетов до 200 кг/т чугуна. Примерное содержание щелочей в шихте доменных печей в разных странах различно и составляет 2,5-7,5 кг/т чугуна.

Представлена технологическая схема изготовления ОУБ в промышленных масштабах. Объем производства брикетов при этом составит 10-12 т/час, что позволяет перерабатывать 44,3 тыс. т/год железосодержащих отходов и 4,32 тыс. т/год отходов эмалевого шликера.

Проведен расчет экономической эффективности ОУБ, который показал, что при объемах производства 54 тыс. т/год стоимость затрат на производство ОУБ в пересчете на ежемесячные затраты составляет 4,3 млн руб./месяц. За счет использования отходов при производстве окалиноуглеродных брикетов имеет место быть существенное снижение себестоимости брикетов, при этом их себестоимость в 3,6 раза ниже себестоимости окатышей и в 7,2 раза ниже себестоимости чугуна лома.

РЕКОМЕНДАЦИИ

На основании проведенных исследований и результатов промышленных плавов предлагаются следующие рекомендации по изготовлению ОУБ, применяемых в качестве шихтового материала:

Наиболее целесообразно использование в качестве восстановителя коксовой мелочи вместо электродного боя. Проведенные балансовые плавки показали эффективность применения коксовой мелочи в качестве восстановителя. Опыт ее применения в составе брикетированной шихты доменного производства также известен и удовлетворяет требованиям доменного производства.

По результатам проведенных исследований структуры и состава окалиноуглеродных брикетов, а также, по результатам определения физико-механических свойств, установлено, что содержание восстановителя в количестве 10 % обеспечивает: до 79,4 % восстановленного железа после обжига 1200 °С; степень восстановления 90,95 % в токе водорода при температуре 1000 °С.

Проведение плавки в лабораторной печи Таммана показало, что содержание восстановителя 20-30 % обеспечивает получение железоуглеродистого сплава с содержанием углерода, достаточным для использования ОУБ в качестве заменителя передельного чугуна.

Проведенные исследования физико-механических свойств показали, что введение полиоксидного связующего компонента в количестве менее 3 % не обеспечивает достаточной прочности. Проведенные промышленные плавки показали, что его содержание в количестве 7-8 % обеспечивает удовлетворительную горячую прочность ОУБ. Содержание полиоксидного связующего компонента в количестве свыше 8 % приводит к разубоживанию шихтового материала, снижает содержание в нем оксидов железа и нецелесообразно.

При использовании ОУБ в промышленных масштабах наиболее целесообразно использовать в качестве железосодержащих компонентов малопригодные к переработке железосодержащие отходы. Ранее проведенные исследования и разработка, защищенные патентом на изобретение №2493271 подтверждают возможность использования шламов ЭДСП и замасленной прокатной окалины после ее предварительной обработки в составе ОУБ.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1 В лабораторных условиях исследовали ОУБ оригинального состава, включающего металлургические отходы, прокатную окалину – в качестве железосодержащего материала, электродный бой – в качестве восстановителя, отходы эмалевого шликера – полиоксидный связующий компонент $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-CaO-K}_2\text{O}$.

2 Ввиду того, что отходы эмалевого шликера впервые использованы для производства брикетируемого шихтового материала проведены исследования агрегатного состояния полиоксидного связующего компонента. Полученные результаты показывают, что при нагреве образцов их расплавление происходит в температурном интервале 600-840 °С.

3 Исследования структуры ОУБ обожженных при температуре 800 °С показали, что в брикете формируется стекловидный каркас, обеспечивающий образование замкнутых микрообъемов площадью 4-25 мм (в пределах плоскости шлифов), включающий оксиды железа и восстановитель, что обеспечивает более интенсивное протекание процессов восстановления в брикете при его нагреве.

4 Эксперименты по определению восстановимости брикетов в токе водорода при 1000 °С показали, что степень восстановления образцов изготовленных с применением полиоксидного связующего компонента составляет 90,95 %, что превышает степень восстановления брикетов изготовленных с применением портландцемента, составляющую 83,8 %. Дериватографические исследования подтвердили увеличение степени восстановления брикетируемых смесей от 40,43 % до 43,0 % при содержании 10 % электродного боя, и от 62,3% до 71,1% при содержании 20 % электродного боя.

5 Физико-механические свойства ОУБ после обжига 800 °С, как показали исследования, существенно улучшаются, а именно: прочность на сжатие ОУБ после обжига возрастает в 4-5 раз по сравнению с их прочностью после сушки – от 11,3 МПа до 38,8 МПа; также при испытаниях на сбрасывание брикетов после обжига уменьшается количество мелкой фракции ≤ 5 мм в 2,5-3,0 раза.

6 Проведенные лабораторные и опытно-промышленные плавки в металлургических печах различного типа подтвердили возможность замены металлошихты окалиноуглеродными брикетами в количестве до 15 % по массе. Брикетты использовали при проведении балансовых плавов для выплавки качественных и легированных марок стали 35, 40, 65Г. Результаты испытаний полученной стали удовлетворительны по механическим свойствам, химическому составу и соответствуют ГОСТ.

7 На основании проведенных лабораторных исследования, а также опытно-промышленных плавов предложена оригинальная технологическая схема изготовления окалиноуглеродных брикетов производительностью 10-12 т/час, что позволит перерабатывать 44,3 тыс. т/год различных железосодержащих отходов (окалина, шламы ЭДСП) и 4,32 тыс. т/год отходов эмалевого шликера. Проведены теоретические расчеты экономической эффективности применения ОУБ, которые показали, что использование отходов при производстве ОУБ дает существенное снижение себестоимости, которая составляет 960 руб./т, что в 3,6 раза ниже себестоимости окатышей и в 7,2 раза ниже себестоимости чугунного лома.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ПРЕДСТАВЛЕНЫ В ПУБЛИКАЦИЯХ:

Журналы из перечня ВАК

1. Гоник И.Л., Новицкий Н.А., Бондарева О.П. Применение окалиноуглеродных брикетов при выплавке стали 65Г в электродуговой печи // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2016. № 9 (188). С. 99-101.
2. Гоник И.Л., Палаткина Л.В., Бондарева О.П., Новицкий Н.А. Окалинноуглеродный брикет – шихтовый материал для производства чугуна // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2015. № 8 (168). С. 150-151.
3. Zyuban N.A., Gonik I.L., Novitskii N.A. Effect of Multicomponent Binder on Iron Reduction from Oxides in an Oxide-Carbon Briquette // Metallurgist. 2014. Vol. 58, No. 7-8 (November). С. 574-578.
4. Зюбан Н.А., Гоник И.Л., Бондарева О.П., Новицкий Н.А., Бабин Г.В. Исследование химического состава окалиноуглеродного брикета после металлизующего обжига // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. № 23 (150). С. 55-56.
5. Зюбан Н.А., Гоник И.Л., Новицкий Н.А. Технологические свойства брикетированного шихтового материала из железосодержащих отходов //

- Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. № 9 (136). С. 138-140.
6. Гоник И.Л., Зюбан Н.А., Новицкий Н.А. Исследование теплопроводности окалиноуглеродного брикета в условиях одностороннего нагрева // Чёрные металлы. 2014. № 7. С. 22-24.
 7. Гоник И.Л., Новицкий Н.А., Соловьев В.А. Использование замасленной окалины для производства брикетированного шихтового материала // Чёрные металлы. 2013. № 7. С. 20-23.
 8. Гоник И.Л., Бондарева О.П., Новицкий Н.А., Соловьев В.А. Исследование влияния многокомпонентного связующего на основе SiO_2 на процессы восстановления железа в оксидоуглеродном брикете // Известия Волгоградского государственного технического университета 2013. № 6 (109). С. 49-51.
 9. Зюбан Н.А., Гоник И.Л., Новицкий Н.А., Соловьев В.А., Аздоева О.В. Исследование полиоксидного связующего для окалиноуглеродных брикетов в условиях технологического нагрева // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. № 15 (118). С. 46-49.
 10. Gonik I.L., Bondareva O.P., Novitskiy N.A. Processing properties of oxide-carbon briquettes with a complex binder // Metallurgist. 2012. Vol. 56, No. 7–8 (November). С. 570-574.
 11. Гоник И.Л., Новицкий Н.А., Тюпина А.Г. Исследование термодинамики металлизации оксидоуглеродного брикета в условиях технологического обжига // Изв. вузов. Чёрная металлургия. 2012. № 12. С. 16-18.
 12. Гоник И.Л., Бондарева О.П., Новицкий Н.А., Тюпина А.Г. Исследование макро- и микроструктуры оксидоуглеродных брикетов после восстановительного обжига // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2012. № 9 (96). С. 76-78.
 13. Гоник И.Л., Бондарева О.П., Новицкий Н.А., Тюпина А.Г. Технологические свойства оксидоуглеродных брикетов с комплексным связующим // Металлург. 2012. № 8. С. 35-38.

14. Gonik I.L., Lemyakin V.P., Novitsky N.A. Features of the use of briquetted iron-bearing wastes // Metallurgist. 2011. Vol. 55, № 5-6. С. 397-400.
15. Гоник И.Л., Лемякин В.П., Новицкий Н.А. Особенности применения брикетируемых железосодержащих отходов // Metallurg. 2011. № 6. С. 36-38.

Прочие публикации

1. Зюбан Н.А., Гоник И.Л., Новицкий Н.А. Исследование процесса металлизации оксиглеродного брикетированного шихтового материала // Труды конгресса с международным участием и элементами школы молодых ученых "Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований" (Техноген – 2014). Екатеринбург, 2014. С. 322-325.
2. Новицкий Н.А., Соловьев В.А., Гоник И.Л. Использование замасленной окалины для производства оксидоугольных брикетов // XVII региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области: тез. докл. Волгоград, 2013. С. 96-97.
3. Гоник И.Л., Новицкий Н.А., Аздоева О.В. Переработка металлургических железосодержащих отходов методом брикетирования // Кадры для региона – современная металлургия нового тысячелетия: сб. докл. 10-й науч.-практ. конф. Липецк, 2013. Ч. II. С. 116-121.
4. Зюбан Н.А., Гоник И.Л., Новицкий Н.А., Аздоева О.В. Исследование свойств полиоксидного связующего для брикетирования окалины // Перспективы развития металлургии и машиностроения с использованием завершённых фундаментальных исследований и НИОКР: тр. науч.-практ. конф. с междунар. участием и элементами школы для молодых учёных. Екатеринбург, 2013. С. 315-319.
5. Гоник И.Л., Новицкий Н.А., Соловьев В.А. Метод холодного брикетирования – современный способ рециклинга металлургических отходов // Чёрная металлургия: бюллетень науч.-техн. и экон. информации. 2012. № 12.

6. Гоник И.Л., Зюбан Н.А., Новицкий Н.А. Оксидоуглеродный брикет – современный способ переработки железосодержащих металлургических отходов // Труды международного конгресса "Фундаментальные основы технологий переработки и утилизации техногенных отходов" (ТЕХНОГЕН – 2012). Екатеринбург, 2012. С. 259-261.
7. Тюпина А.Г., Новицкий Н.А., Гоник И.Л. Исследование механических свойств брикетируемого шихтового материала // XVI региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области: тез. докл. Волгоград, 2012. С. 137-139.
8. Соловьев В.А., Новицкий Н.А. Технологические свойства брикетированного шихтового материала // Тезисы докладов смотра-конкурса научных, конструкторских и технологических работ студентов Волгоградского гос. техн. ун-та. Волгоград, 2012. С. 91.
9. Гоник И.Л., Новицкий Н.А., Тюпина А.Г. Исследование термодинамики восстановления оксидов железа в оксидоугольном брикете // XIX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Волгоград, 2011. С. 239.
10. Гоник, И.Л., Новицкий Н.А., Тюпина А.Г. Ресурсосберегающие технологии в металлургическом производстве // Инновационные технологии в обучении и производстве: матер. VII всерос. науч.-практ. конф. Волгоград, 2011. С. 155-158.
11. Новицкий Н.А., Гоник И.Л. Исследование термодинамики процесса восстановления железа в брикетируемом шихтовом материале // XV региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области: тез. докл. Волгоград, 2011. С. 150-152.
12. Гоник И.Л., Лемякин В.П., Бондарева О.П., Новицкий Н.А., Тюпина А.Г. Оксидоуглеродные брикеты из отходов металлургического производства // Проблемы экологии и рационального природопользования стран АТЭС и пути их решения: сб. науч. тр. междунар. конф. с элементами науч. школы для молодёжи. М., 2010. С. 96-100.
13. Новицкий Н.А., Мосина Н.В., Гоник И.Л., Бондарева О.П. Ресурсосберегающие технологии в производстве шихтовых материалов для чёрной металлургии //

Инновационные технологии в обучении и производстве: матер. VI всерос. науч.-практ. конф. Волгоград, 2010. С. 83-87.

14. Мосина Н.В., Новицкий Н.А., Гоник И.Л. Шихтовой материал из отходов металлургического производства // XIV региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области. Волгоград, 2010. С. 170-171.
15. Новицкий Н.А., Мосина Н.В., Гоник И.Л. Рециклинг железосодержащих отходов чёрной металлургии // Городу Камышину - творческую молодёжь: матер. III регион. н.-практ. студ. конф. Камышин, 2009. Т. 1. С. 208-210.
16. Мосина Н.В., Новицкий Н.А. Шихтовой материал из отходов металлургического производства // Научно-практическая конференция молодых специалистов ОМК: тез. докл. Выкса, 2009. С. 8.
17. Пат. 2493271 РФ, МПК C22B1/24. Брикет для производства чугуна и стали / И.Л. Гоник, Н.А. Зюбан, Н.А. Новицкий; ВолгГТУ. - 2013.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, соглашение № 14.278.21.0065 от 20.10.2014 г., уникальный идентификатор соглашения RFMEFI57814X0065

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ
на диссертационную работу Новицкого Никиты Александровича
«Разработка технологических рекомендаций производства
брикетированного шихтового материала из техногенного сырья и
исследование физико-механических свойств
окалиноуглеродных брикетов»

Проблема накопления железосодержащих металлургических отходов по-прежнему остается актуальной для предприятий металлургического комплекса. Неуклонный рост количества отходов создает ряд экологических проблем: для их хранения отводятся все большие территории, находящиеся в индустриально развитых регионах, также происходит загрязнение почвы, водоемов и грунтовых вод на данной территории.

Одним из наиболее эффективных способов рециклинга железосодержащих отходов является их брикетирование с последующей переработкой в металлургических агрегатах в качестве заменителя части металлической шихты. Применение в составе таких брикетов различных типов отходов позволяет в определенной степени решить проблему их накопления.

После окончания магистратуры и поступления в аспирантуру Новицкий Н. А. продолжил исследования в области разработки новых шихтовых материалов, целью которых являлось совершенствование технологии металлизации и исследование процессов восстановления, протекающих в брикетированном шихтовом материале из техногенного сырья, в котором используются различные типы металлургических отходов. В ходе выполнения диссертационной работы соискателем впервые предложено в качестве связующего компонента использование отходов эмалевого производства – полиоксидного связующего вещества $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-CaO-K}_2\text{O}$. Выявлено и научно обосновано повышение степени восстановления железа в окалиноуглеродном брикете, при использовании в их составе полиоксидного связующего компонента. Оптимизирован способ применения полиоксидного связующего компонента, заключающийся в предварительном обжиге брикетированного шихтового материала при 800°C , который приводит к повышению его прочности, увеличению скорости нагрева и расплавления в металлургическом агрегате, уменьшению угара выплавляемого металла.

По результатам проведенных исследований предложена технологическая схема производства брикетов, производительность которой составляет 4,5 тыс. т/мес. Данное производство позволяет перерабатывать до 45 тыс. т/год твердых железосодержащих отходов – окалины различных типов, а также 4,3 тыс. т/год отходов эмалевого производства.

По результатам диссертационной работы опубликованы: 33 печатных работы, из них 16 в периодических рецензируемых научно-технических журналах из списка ВАК РФ, получен патент РФ на изобретение, материалы

исследований докладывались на международных и всероссийских конференциях.

Новицкий Н. А. зарекомендовал себя квалифицированным, ответственным и зрелым в научном плане исследователем, способным творчески решать поставленные перед ним задачи, продемонстрировал глубокие теоретические знания и практические навыки в области вторичной переработки металлургических отходов. По успешным результатам научно-исследовательской работы диссертантом был получен грант для молодых научно-педагогических работников Волгоградского государственного технического университета, в рамках реализации Программы стратегического развития на 2012-2014 гг. Диссертационная работа Новицкого Н. А. является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей решение задачи, имеющей значение в области рециклинга металлургических отходов.

На основе вышеизложенного считаю, что по своей актуальности, обоснованности полученных научных результатов и практической значимости диссертация полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», представляемым ВАК при Министерстве образования и науки Российской Федерации к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а автор работы, Новицкий Никита Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.07 – Металлургия техногенных и вторичных ресурсов.

Научный руководитель диссертационной работы,

кандидат технических наук, доцент,

проректор Волгоградского государственного
технического университета

 Гоник Игорь Леонидович

400005, г. Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, д. 28.

Федеральное государственное бюджетное

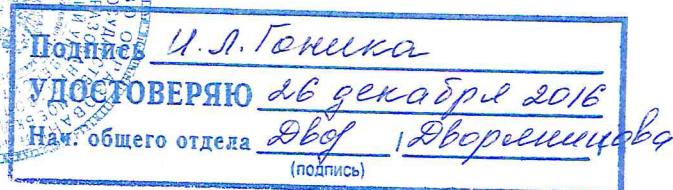
образовательное учреждение высшего образования

«Волгоградский государственный технический университет»

(ФГБОУ ВО "ВолГТУ")

Тел. (8442) 24-80-02,

E-mail: gonik@vstu.ru



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 Новицкий Никита Александрович представил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Разработка технологических рекомендаций производства брикетированного шихтового материала из техногенного сырья и исследование физико-механических свойств окалиноуглеродных брикетов» по специальности 05.16.07 – «Металлургия техногенных и вторичных ресурсов».

Защита диссертации состоится 27 апреля 2017 г.

Текст объявления о защите диссертации и полный текст диссертации размещены на сайте НИТУ «МИСиС» 11 января 2017 г. по адресу: <http://misis.ru/science/dissertations/2017/3342/>