

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УДК 669.715.8

ТРИБУШЕВСКИЙ
Леонид Владимирович

**БЕЗОТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОКИСЛЕННЫХ
ОТХОДОВ АЛЮМИНИЯ В КОРОТКОПЛАМЕННОЙ
РОТОРНОЙ ПЕЧИ БЕСФЛЮСОВОЙ ПЛАВКОЙ**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности
05.16.02 – металлургия черных, цветных и редких металлов

Минск, 2021

Научная работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете.

Научный руководитель **НЕМЕНЁНОК Болеслав Мечеславович**,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Металлургия
чёрных и цветных сплавов» Белорусского
национального технического университета

Официальные оппоненты: **ВОЛОЧКО Александр Тихонович**,
доктор технических наук, профессор,
начальник отдела материаловедения и
литейно-деформационных технологий ГНУ
«Физико-технический институт
Национальной академии наук Беларуси»;

ПИВОВАРЧИК Александр Антонович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Материаловедение и
ресурсосберегающие технологии» УО
«Гродненский государственный
университет им. Я. Купалы»

Оппонирующая организация Учреждение образования «Белорусский
государственный технологический
университет»

Защита состоится 18 июня 2021 г. в 14⁰⁰ на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.14 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, корп. 1, ауд. 202, тел. ученого секретаря (+37517) 292-81-85, e-mail: mvm@bntu.by, materialovedenie@tut.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «14» мая 2021 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций,
д-р техн. наук, профессор

В.М. Константинов

©Трибушевский Л.В., 2021
©Белорусский национальный
технический университет, 2021

ВВЕДЕНИЕ

Широкое использование алюминиевых сплавов в различных отраслях промышленности Республики Беларусь приводит к образованию их окисленных отходов в виде стружки и шлаков. По данным ОАО «Белцветмет» в общем объеме накопления вторичного алюминиевого сырья доля стружки составляет более 26 %, а шлака – более 13 %. Существующие технологии переплава алюминиевой стружки и шлаков, как правило, предусматривают использование значительного количества покровных флюсов при плавке, что приводит к повышению металлургического выхода металлического расплава и образованию вторичных шлаков, требующих дальнейшей переработки или захоронения.

Практика показывает, что при остаточном содержании алюминия в шлаке менее 10 %, его дальнейшая переработка является нерентабельной и в большинстве случаев такой шлак подлежит захоронению как отходы 4 класса опасности с уплатой соответствующего экологического налога, размер которого за последние 10 лет увеличился в 5,3 раза и в 2019 году составил 64,91 руб./т. Вместе с тем, такие шлаки содержат в своем составе более 50 % оксида алюминия, который может быть использован в металлургии для внепечной обработки стали.

Проблема утилизации отходов, сбережения материальных ресурсов и экологической безопасности превращается в одну из основных для цивилизации XXI века и, прежде всего, для металлургической науки.

В связи с этим актуальным является создание безотходной технологии переработки окисленных отходов алюминия с получением металлического расплава для производства алюминиевой чушки, гранул, «пирамидок» и специальных смесей на основе отходов переработки вторичного алюминия (ОПВА) для внепечной обработки стали.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами

Настоящая работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете в соответствии с основными направлениями научно-технического развития Республики Беларусь.

Тема диссертации соответствует приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 годы, утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 г. № 585:

8.3 теории прочности, пластичности, формообразования и разрушения материалов, металлургические процессы черных и цветных металлов, сплавов на их основе, технологии производства литейных сплавов с использованием вторичных ресурсов на основе черных и цветных металлов;

10.2 физико-химические и биологические экологобезопасные технологии переработки твердых горючих ископаемых, органических и неорганических отходов;

и на 2016–2020 годы, утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 12.03.2015 г. № 190:

8. многофункциональные материалы и технологии.

Полученные результаты были использованы при выполнении задания 2.1.03 (№ г.р. 20160633) государственной программы научных исследований «Механика, техническая диагностика, металлургия» (подпрограмма «Металлургия») на 2016–2018 гг.

Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка безотходной технологии переработки окисленных отходов алюминия в короткопламенной роторной печи.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

– провести анализ алюминиевых шлаков, образующихся на предприятиях Республики Беларусь, в зависимости от типа плавильного агрегата, технологии плавки и рафинирующей обработки;

– исследовать влияние содержания в шихте алюминиевой стружки и шлаков на металлургический выход, длительность плавки и себестоимость получаемого сплава при плавке в короткопламенной роторной печи (КПП);

– изучить возможность получения сухих алюминиевых гранул и «пирамидок» при плавке окисленных отходов алюминия в виде стружки и шлаков в КПП;

– исследовать влияние технологии плавки окисленных отходов алюминия в КПП на состав и объемы образующейся пыли;

– разработать составы раскислительных смесей и разжижителей шлака для внепечной обработки стали на основе ОПВА и провести их испытания в производственных условиях;

– разработать технологию безотходной переработки окисленных и низкосортных отходов алюминия в КПП и внедрить ее в производство.

Научная новизна заключается:

1. В установлении влияния содержания алюминиевой стружки, шлака и просева шлака в составе шихты на металлургический выход, длительность плавки и себестоимость получаемого сплава. Показано, что увеличение доли шлака в составе шихты, состоящей из шлака и алюминиевой стружки с 22 до 30 %, приводит к повышению металлургического выхода с 71 до 83 %, а продолжительность плавки изменяется незначительно и находится в пределах 76–78 мин. Себестоимость получаемого сплава, являющаяся интегральной характеристикой, зависит от качества и стоимости сырья, длительности плавки, металлургического выхода и достигает минимума 2,00–2,02 руб. за 1 кг сплава при отношении в шихте шлака к стружке на уровне 35–45 %.

2. В разработке безотходной технологии бесфлюсовой плавки окисленных отходов алюминия в короткопламенной роторной печи (КПП), когда масса используемых продуктов плавки (металлический расплав + шлак + пыль из циклона) составляет более 95 % от массы загружаемой шихты, а содержание хлоридов и фторидов в пыли в 2,5 и 30 раз меньше, чем при плавке с 8 % покровного флюса и 40 % жидкого флюса соответственно, что позволяет применять ее в качестве компонента шихты при получении алюминиевых раскислительных смесей для внепечной обработки стали в отличие от существующих технологий переработки окисленных отходов алюминия, сопровождающихся обязательным захоронением плавильной пыли и солевых шлаков с уплатой соответствующего экологического налога.

3. В подтверждении термодинамическими расчетами вероятности образования в рафинировочных шлаках алюминатов и алюмосиликатов кальция с температурами плавления 1527–1765 °С. Поэтому эффект повышения жидкотекучести рафинировочных шлаков при добавке Al_2O_3 следует связывать не с образованием алюминатов и алюмосиликатов кальция, а с появлением легкоплавких эвтектик, содержащих алюминаты и алюмосиликаты кальция, в системе $CaO-Al_2O_3-SiO_2$ с температурами плавления 1170, 1265, 1310, 1335, 1345 °С и 1160, 1222, 1295 °С в системе $MgO-CaO-Al_2O_3-SiO_2$.

4. В установлении оптимального состава брикетов разжижителя рафинировочных шлаков и параметров технологии его получения из отходов переработки вторичного алюминия (ОПВА) с добавкой CaO , отличающегося минимальной осыпаемостью, присадка которого в количестве 250 кг в 100 т сталеразливочный ковш обеспечивает перевод шлака из категории «нормальный» в категорию «жидкоподвижный» без использования плавикового шпата, что подтверждается увеличением массы шлака в вискозиметре погружения на 70 % по сравнению с рафинировочным шлаком исходного состояния.

Положения диссертации, выносимые на защиту

1. Результаты экспериментальных исследований в короткопламенной роторной печи по влиянию в составе шихты содержания алюминиевой стружки, шлака и просева шлака на металлургический выход и длительность плавки, отличающиеся от известных учетом соотношения компонентов шихты и себестоимости получаемого сплава, зависящей от качества и стоимости сырья, длительности плавки и достигающей минимума в 2,00–2,02 руб. за 1 кг сплава при содержании 25–30 % шлака в шихте или отношении массы шлака к стружке на уровне 35–45 %.

2. Разработанная безотходная технология бесфлюсовой плавки окисленных отходов алюминия в короткопламенной роторной печи, когда масса используемых продуктов плавки (металлический расплав + шлак + пыль из циклона) составляет более 95 % от массы загружаемой шихты, а содержание хлоридов и фторидов в пыли в 2,5 и 30 раз меньше, чем при плавке с 8 %

покровного флюса и 40 % жидкого флюса соответственно, что позволяет применять ее в качестве компонента шихты при получении алюминиевых раскислительных смесей для внепечной обработки стали в отличие от существующих технологий переработки окисленных отходов алюминия, сопровождающихся обязательным захоронением плавильной пыли и солевых шлаков с уплатой соответствующего экологического налога.

3. Результаты термодинамических расчетов, подтверждающих вероятность образования в рафинировочных шлаках при добавке в них алюминиевых раскисляющих смесей алюминатов и алюмосиликатов кальция с температурами плавления 1527–1765 °С, которые в системах $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ и $\text{MgO-CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ образуют ряд легкоплавких эвтектик с температурами плавления 1170, 1265, 1310, 1335, 1345 °С и 1160, 1222, 1295 °С соответственно, являющихся причиной разжижения рафинировочных шлаков.

4. Установленный оптимальный состав брикетов разжижителя рафинировочных шлаков и параметров технологии его получения из отходов переработки вторичного алюминия с добавкой CaO , отличающийся минимальной осыпаемостью, присадка которого в количестве 250 кг в 100 т сталеразливочный ковш обеспечивает перевод шлака из категории «нормальный» в категорию «жидкоподвижный» без использования плавикового шпата, что подтверждается увеличением массы шлака в вискозиметре погружения на 70 % по сравнению с рафинировочным шлаком исходного состояния.

Личный вклад соискателя ученой степени

Личный вклад автора в диссертационную работу заключается в анализе алюминиевых шлаков; подготовке материалов и выполнении опытных плавов в КППП; обработке и интерпретации полученных результатов; проведении термодинамических расчетов для реакций образования алюминатов и алюмосиликатов кальция; получении опытных партий АРС, разжижителей и алюминиевых гранул по «сухой» технологии; проведении их производственных испытаний; написании статей, отчетов и тезисов докладов; формулировке промежуточных и заключительных выводов.

Работа выполнена соискателем в соавторстве с доктором технических наук, профессором Немененком Б.М., которому принадлежит постановка цели и задач исследований, а также общее руководство исследованиями. В совместных работах с кандидатом технических наук, доцентом Румянцевой Г. А. соискатель принимал непосредственное участие на всех этапах планирования и проведения исследований, обработки результатов и подготовки публикаций.

Студенты Горбель И.А., Красовский А.Л., Кулик М.А., Позняк О.А. привлекались к выполнению опытных плавов в рамках научно-исследовательской работы, где соискатель являлся научным руководителем.

Все представленные в диссертации экспериментальные и теоретические результаты получены соискателем самостоятельно. Инструментальные замеры пылегазовых выбросов проводились при участии канд. хим. наук Панасюгина А.С. и

канд. техн. наук Румянцевой Г.А. Анализ образцов пыли на электронном микроскопе и рентгеновском дифрактометре ДРОН-3 выполнялся инженером Григорьевым С. В.

На все совместно опубликованные с соавторами работы в тексте диссертации и автореферате приведены ссылки.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Результаты работы доложены и обсуждены на следующих международных научно-технических семинарах и конференциях: международная конференция TMS № 138 «The Minerals, Metals, Materials Society» (США, Новый Орлеан, 2008); МНТК «Наука – образованию, производству, экономике» (Минск, БНТУ, 2012, 2018); 26-я МНТК «Литейное производство и металлургия 2018. Беларусь» (Минск, 2018); МНПК «Литье. Металлургия 2019» (Запорожье, ЗТПП, 2019); 27-я МНТК «Литейное производство и металлургия 2019. Беларусь» (Жлобин, 2019); IV МНТК «Научно-технический прогресс в черной металлургии – 2019» (Череповец, 2019).

Разработанные в ходе выполнения диссертации технологические процессы получения алюминиевых гранул по «сухой» технологии, алюминиевых раскислительных смесей (АРС) и безотходной переработки окисленных отходов алюминия зарегистрированы и внедрены на ООО «НПФ «Металлон» (г. Осиповичи).

Использование разработанной безотходной технологии дало возможность ООО «НПФ «Металлон» в 2018 году переработать более 1000 т окисленных отходов алюминия и произвести 10 т сплава АК9, 352 т чушкового раскислителя, 213 т «пирамидок», 86 т алюминиевых гранул, 320 т АРС и получить экономический эффект более 97,8 тыс. руб. при долевом участии автора 60 %.

Опубликование результатов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 16 научных работах, в том числе: в 9 статьях в рецензируемых журналах и сборниках работ, рекомендованных ВАК Республики Беларусь; в 7 материалах конференций, тезисах докладов и научных сборниках, из них 3 – в зарубежных изданиях, технических условиях и патенте. Подана заявка на Евразийский патент. Общий объем публикаций, соответствующих требованиям Положения о присуждении ученых степеней, составляет 6,4 авторских листа.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 4 глав, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации составляет 158 страниц, включая 43 рисунка, 24 таблицы, библиографический список из 124 наименований на 10 страницах, список публикаций автора из 18 наименований на 3 страницах, 11 приложений на 36 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе представлен аналитический обзор технологий переплава алюминиевой стружки и шлаков, а также вариантов использования образующихся отходов переработки. На основе анализа существующих технологий плавки алюминиевых сплавов на различных предприятиях Республики Беларусь, Российской Федерации, Украины и стран дальнего зарубежья показано, что при использовании любых плавильных агрегатов в обязательном порядке образуются отходы в виде алюминиевого шлака, настывшей на футеровке и съемов, которые необходимо перерабатывать или утилизировать. Существующие технологии переработки таких окисленных отходов предусматривают широкое использование рафинирующих флюсов, что приводит к образованию в конце плавки солевых шлаков, содержащих менее 10 % алюминия и дальнейшая переработка которых нерентабельна. Вместе с тем, такие шлаки содержат в своем составе значительное количество оксидов алюминия, востребованного металлургическими предприятиями. Однако наличие в их составе хлористых солей ограничивает использование таких отходов для внепечной обработки стали. Поэтому нужны новые технологии переработки окисленных отходов алюминия (стружки, шлаков, выпребов, мелкого и низкосортного лома), позволяющие максимально использовать все продукты, образующиеся в ходе плавки.

На основании проведенного анализа сформулированы цель и основные задачи диссертационной работы.

Во второй главе изложены методики исследования отходов алюминиевых сплавов и технологии их плавки в КППП.

В качестве отходов алюминиевых сплавов, подлежащих переработке, использовали стружку, образующуюся в процессе механической обработки отливок и заготовок из деформируемых алюминиевых сплавов, шлаки и съемы от плавки алюминиевых сплавов в пламенных и индукционных печах, солевые шлаки и мелкий алюминиевый лом.

Для исследования фазового состава образующегося алюминиевого шлака и плавильной пыли использовали рентгеновский дифрактометр ДРОН-3. Развернутый анализ алюминиевых шлаков выполняли в аккредитованной лаборатории ГНУ «Институт порошковой металлургии имени академика О.В. Романа» ГНПО порошковой металлургии НАН Беларуси.

Все исследования по отработке технологии плавки окисленных отходов алюминия проводили на ООО «НПФ «Металлон» (г. Осиповичи) в КППП с емкостью ванны 800 кг по загрузке.

Для определения пылегазовых выбросов от КППП использовали пробоотборник с комплектом фильтров, аспиратор ОП221ТЦ, пневмометрическую трубку с микроанометром и электронный газоанализатор MSI 150 «EURO» с зондом. Состав отдельных частиц пыли исследовали на сканирующем электронном микроскопе VEGA-II LMU с микроанализатором Inca Energy 350 с изучением энергетических спектров рентгенофлуоресцентного излучения элементов.

Изменение химического состава рафинировочных шлаков при внепечной обработке стали оценивали по данным текущего рентгенофлуоресцентного анализа заводских лабораторий, с пересчетом результатов на основные оксиды – CaO , SiO_2 , MgO , Al_2O_3 , MnO , FeO и серу.

Контроль жидкоподвижности рафинировочного шлака проводили при помощи вискозиметра погружения.

В третьей главе изложены результаты исследования технологии плавки окисленных отходов алюминия в КППП.

Для выбора оптимального варианта переплава окислительных отходов алюминиевых сплавов в КППП оценивали зависимость металлургического выхода от степени окисленности шихты при добавке флюса, содержащего 50 % NaCl ; 42 % KCl и 8 % Na_3AlF_6 в количестве 8 % от массы металлозавалки. Степень окисленности шихты варьировали добавками алюминиевого лома, крупной и мелкой стружки, шлаков и сливов.

В результате опытных плавок установлено, что с увеличением окисленности шихты с 2 до 50 % металлургический выход в среднем снижается с 93 % до 47 %, при этом количество образующегося шлака увеличивается со 107 до 390 кг.

Анализ химического состава образующегося шлака показал, что содержание в нем корольков алюминия находится в пределах 7,5–9,2 %, что делает его дальнейший переплав нерентабельным.

Последующие исследования, с использованием покровного и жидких флюсов, привели к получению результатов, близких к первой серии опытных плавок. Поэтому было принято решение об исключении флюса из состава шихты при плавке окисленных отходов алюминия. Предполагалось, что разрушение оксидной пленки на частицах алюминиевых сплавов в процессе плавки будет происходить механическим путем при вращении печи. Для выбора наиболее рациональных параметров технологии плавки в КППП анализировали результаты 180 плавок. При проведении исследований в качестве компонентов шихты использовали алюминиевую стружку с засоренностью 6 и 25 %; алюминиевые шлаки с содержанием 50–68 % алюминия; просев алюминиевого шлака с фракцией более 10 мм. Данный компонент шихты содержал 22–25 % Al ; 33–37 % Al_2O_3 ; 6–8 % SiO_2 ; 4–6 % MgO ; 1–3 % Fe_2O_3 ; 25–30 % ($\text{NaCl} + \text{KCl}$). Отсев алюминиевого шлака с фракцией менее 10 мм содержал 6–7 % Al и около 65 % Al_2O_3 , поэтому его в состав шихты не вводили. Массу стружки в ходе плавок варьировали в пределах 140–440 кг, добавку шлака изменяли в пределах 0–360 кг, просев шлака добавляли в количестве 0–160 кг на плавку. Установлено (рисунок 1), что увеличение доли шлака с 22 до 30 % в металлозавалке, состоящей из шлака и алюминиевой стружки, приводит к повышению металлургического выхода с 71 до 83 %.

Основной причиной увеличения металлургического выхода является более полное извлечение алюминия из частиц стружки за счет разрушения на ней оксидной пленки флюсом, содержащимся в составе шлака.

Длительность плавки при этом изменялась незначительно и находилась в пределах 76–78 мин, что можно объяснить условиями хорошей теплопроводности шихты из-за заполнения шлаком промежутков между частицами стружки.

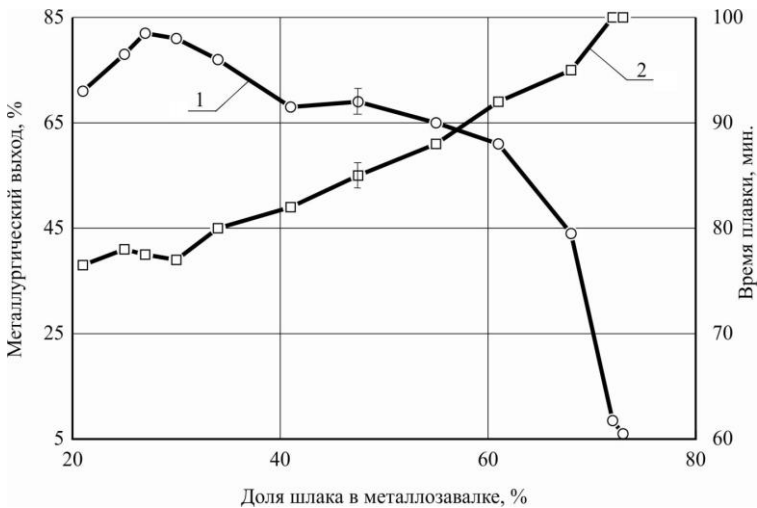


Рисунок 1. – Влияние доли шлака в металлозавалке на металлургический выход (1) и длительность плавки (2)

С ростом добавки шлака шихта насыщалась оксидом алюминия с низкой теплопроводностью, что задерживало процесс нагрева шихты и ее плавления и приводило в результате к увеличению продолжительности плавки. При таком варианте плавки роль флюса выполняли только соли, которые содержались в шлаке. По мере увеличения доли шлака в шихте происходило накопление тугоплавких оксидов алюминия, вносимых шлаком, что приводило к росту вязкости флюсов, снижению их способности к растворению Al_2O_3 и коагуляции капель алюминия. Это привело в итоге к снижению металлургического выхода. Анализ плавок с различным отношением шлака, просева шлака и стружки в составе шихты не позволил установить четкой зависимости между металлургическим выходом, продолжительностью плавки и составом шихты. Поэтому для выбора рационального состава шихты из окисленных отходов алюминиевых сплавов рассчитывали себестоимость

получаемого сплава, где учитывали затраты на топливо, электроэнергию, шихтовые материалы и заработную плату с налогами для бригады плавильщиков.

Установлено, что минимальная себестоимость 1 кг сплава в размере 2,00–2,02 руб. обеспечивалась при отношении шлака к стружке на уровне 35–45 %. Для данного соотношения компонентов шихты наблюдалась также малая длительность плавки и максимальный металлургический выход.

Максимальный диапазон изменения себестоимости получаемого сплава в зависимости от исследованных вариантов состава шихты составил от 0,3 до 0,5 руб. за 1 кг без учета затрат на экологический налог и захоронение ОПВА.

Дальнейший резерв повышения рентабельности переработки отходов алюминия следует искать в создании новых видов металлопродукции и более рациональном использовании образующихся отходов.

В зависимости от состава отходов алюминиевых сплавов, подлежащих переработке в КППП, возможно получение сплавов АК5М2, АВ87, АВ97 в виде чушки массой около 15 кг или «пирамидок» массой 0,08–0,12 кг.

На ряде предприятий для раскисления стали используют гранулированный алюминий, получаемый при сливе расплава через сито-дозатор в воду. Однако такая технология требует обязательной сушки гранул и существует опасность насыщения стали водородом.

Для реализации «сухой» технологии производства алюминиевых гранул использовали расплав из отходов деформируемых алюминиевых сплавов и стружки, который из ковша подавали в печь-дозатор «KROWNATIC» и далее в металлоприемник установки «CENTAUR», в нижней части которого размещались специальные отверстия для вытекания жидкого металла. Обрыв струи и образование капель происходили за счет ударного механизма, а гранулы размером 5–10 мм формировались на поверхности вращающегося водоохлаждаемого стола. Опытные партии алюминиевых гранул АВ87 и АВ97 опробованы для раскисления стали на Белорусском и Молдавском металлургических заводах.

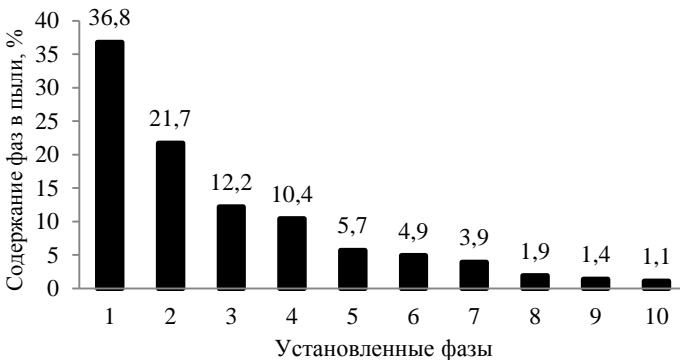
Для оценки распределения материалов по ходу плавки в КППП проводили 16 балансовых плавков, по результатам которых средние значения составили: исходная шихта – 587,5 кг; продукты плавки – 586,87 кг, в том числе: металл – 350,8 кг, шлак – 205 кг, пыль – 31 кг.

Большие объемы пыли связаны с особенностями конструкции КППП, характеризующейся прямоточным движением горячих газов с высокой скоростью в рабочем пространстве печи. Это и обуславливало существенные потери шихты с развитой поверхностью во время плавки.

Химический анализ состава образовавшегося шлака показал, что остаточное содержание корольков алюминия в нем составляло 9–11 %, а основным компонентом являлся Al_2O_3 , доля которого колебалась в пределах 69–74 %. Учитывая, что масса образующихся отходов составляла примерно 40 % от массы шихты, то захоронение такого объема отходов вместе с пылью из циклона (около

5 % от массы металлозавалки) негативно сказывалось на экономике предприятия-переработчика. Для поиска путей более рационального использования ОПВА исследовали влияние технологии плавки в КППП на состав образующейся пыли и шлаков.

Переплавление окисленных отходов алюминия совместно с 8 % покровного флюса сопровождалось образованием пыли, содержащей широкую гамму элементов из составляющих шихты и флюсов, а также хлориды и фториды в сумме около 3,5 %. При плавке алюминиевой стружки с 40 % флюса содержание хлоридов и фторидов в пыли возросло до 41,8 %, что практически исключало возможность ее дальнейшего использования. Поэтому основной упор был сделан на бесфлюсовую плавку, в результате которой в составе пыли преобладали оксиды алюминия различных форм с общей концентрацией около 75 %, шпинели, содержащие в своем составе примерно 12 % оксидов алюминия и 12 % чистого алюминия (рисунок 2). На долю хлорсодержащих соединений приходилось только 1,4 %, что в 2,5 и 30 раз ниже, по сравнению с плавкой с 8 % покровного флюса и 40 % жидкого флюса соответственно.



1 – $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$; 2 – Al_2O_3 ; 3 – Al ; 4 – $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$; 5 – $\text{Al}_{2,144}\text{O}_{3,32}$; 6 – $\text{Mg}_{0,388}\text{Al}_{2,408}\text{O}_4$;
7 – $\text{Al}_5\text{SiO}_{9,5}$; 8 – KAlSi_3O_8 ; 9 – $\text{Na}_{0,3835}\text{K}_{0,6165}\text{Cl}$; 10 – CaAl_2O_7

Рисунок 2. – Результаты фазового анализа пыли из циклона при бесфлюсовой плавке окисленных отходов алюминия

Таким образом, вторичный шлак и пыль, образующиеся при бесфлюсовой плавке отходов алюминия в КППП, являются подходящими компонентами для производства раскислительной смеси. При этом масса используемых продуктов плавки (расплав + шлак + пыль) составила более 95 % от массы загружаемой шихты, что позволило отнести данную технологию переработки окисленных отходов алюминия к безотходной.

Результаты проведенных балансовых плавков окисленных отходов алюминия в КИРП, данные по составу вторичного алюминиевого шлака и составу пыли при бесфлюсовой плавке явились основанием для разработки технических условий ТУ ВУ 700028768.003-2008 «Смеси алюминиевые раскисляющие», безотходной технологии переработки окисленных отходов алюминия и внедрения ее на ООО «НПФ «Металлон».

Четвертая глава посвящена исследованию эффективности раскислительной смеси и разработке новых продуктов на основе ОПВА для выпечной обработки стали.

Испытание опытной партии АРС массой 17,3 т на Белорусском металлургическом заводе в электросталеплавильных цехах (ЭСЦ) 1 и 2 при выпечной обработке всего выплавляемого сортамента стали для раскисления рафинировочного шлака обеспечило степень десульфурации стали в ЭСЦ-1 от 40,0 до 53,9 % при средних значениях 44,75 %, против 39,6 % для штатных раскислителей. После обработки рафинировочного шлака АРС в количестве 100 кг и более было отмечено повышение его жидкотекучести, как при совместной обработке шлака CaF_2 и штатными раскислительными смесями. Полученные положительные результаты производственных испытаний АРС явились основанием для его производства в условиях ООО «НПФ «Металлон». На протяжении 10 лет ООО «НПФ «Металлон» обеспечивал раскислительной смесью БМЗ и другие предприятия. В настоящее время производство АРС налажено и на ОАО «Белцветмет». Анализ 238 составов рафинировочных шлаков с установки «печковш» БМЗ при обработке стали 80 К показал, что только около 50 % составов шлаков обеспечивали их максимально допустимую окисленность, когда содержание оксидов железа и марганца не превышало 0,65 %. Все остальные составы характеризовались окисленностью от 1,0 до 3,5 %. При этом концентрация Al_2O_3 в рафинировочных шлаках в преобладающем количестве случаев приходилась на интервал 2,5–3,5 %, хотя по данным Д.А. Дюдкина с соавторами оптимальный состав шлака должен содержать 20,0–25,0 % Al_2O_3 . Существенные колебания рафинировочного шлака по основности, окисленности и содержанию Al_2O_3 сказывались на стабильности процессов раскисления и десульфурации стали, ее загрязненности неметаллическими включениями и стойкости футеровки сталеразливочного ковша в зоне шлакового пояса. В значительной степени рафинирующая способность шлаков зависит и от их жидкоподвижности, поскольку процессы десульфурации и раскисления получают свое развитие на границе шлак-расплав. Для объяснения положительного влияния АРС на жидкоподвижность рафинировочных шлаков оценивали вероятность образования алюминатов и алумосиликатов кальция в интервале температур 400–1873 К при взаимодействии Al_2O_3 с компонентами рафинировочного шлака. Расчеты показали, что в результате протекания химических реакций возможно образование достаточно тугоплавких соединений с температурами плавления 1527–1765 °С. Поэтому эффект повышения жидкотекучести рафинировочных шлаков при добавке Al_2O_3 следует связывать с образованием легкоплавких эвтектик, содержащих алюминаты и алумосиликаты

кальция в системе $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ с температурами плавления 1170, 1265, 1310, 1335, 1345 °С и 1160, 1222, 1295 °С в системе $\text{MgO-CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$.

Корректировку состава рафинировочных шлаков по содержанию Al_2O_3 с целью их разжижения можно проводить с использованием ОПВА. Для выбора оптимального состава разжижителя рафинировочного шлака был реализован линейный план полного факторного эксперимента 2^3 , где в качестве независимых переменных были приняты содержание CaO (X_1), время сушки брикетов (X_2) и температура сушки (X_3). Зависимыми переменными являлись разрушающая нагрузка брикетов (Y_1) и их осыпаемость (Y_2). Основу брикетов для разжижения рафинировочных шлаков составляли ОПВА, образующиеся при переплаве окисленных отходов алюминия в КППП.

После реализации полного факторного эксперимента 2^3 были получены следующие уравнения регрессии:

$$Y_1 = 6770,8 - 629,2 \cdot x_2 + 425 \cdot x_1 \cdot x_3; \quad |\Delta A_1| = 400,9$$

$$Y_2 = 4,697 - 2,194 \cdot x_1 + 0,96 \cdot x_2 + 1,014 \cdot x_3; \quad |\Delta A_1| = 0,572$$

Анализ полученных зависимостей показал, что минимальная осыпаемость на уровне 0,529 % при разрушающей нагрузке 6975 Н обеспечивается у брикетов, содержащих, 40 % CaO после их сушки 15 мин при температуре 200 °С, что обеспечивало их транспортировку к месту использования без разрушения.

Для производственных испытаний с использованием валкового пресса была изготовлена опытная партия разжижителя в виде брикетов на основе ОПВА с добавлением 40 % CaO и связующего. Присадка брикетов на поверхность рафинировочного шлака 100-тонного сталеразливочного ковша в количестве около 250 кг обеспечила заметное разжижение шлака без использования CaF_2 и повышение коэффициента распределения серы с 123,4 до 146,2. Контроль жидкоподвижности рафинировочного шлака с использованием вискозиметра погружения показал увеличение массы шлака в стакане с 156 г до 265 г, что соответствовало переводу шлака из категории «нормальный» в категорию «жидкоподвижный».

Разнообразие отходов алюминиевых сплавов, подлежащих переработке, требует их тщательной предварительной подготовки и сортировки с целью получения продукции с высокой добавленной стоимостью. С введением обязательной сортировки бытовых отходов возросла доля лома и отходов алюминия 4 сорта класса Г, содержащего бутылочные пробки, водочные дозаторы, металлические банки из-под напитков, для производства которых используются пищевые алюминиевые сплавы высокой степени чистоты. Разработана схема переработки таких отходов с получением вторичного пластика, боя стекла, реализуемого стеклозаводам, и металлической составляющей в виде «пирамидок» и «сухих» алюминиевых гранул (рисунок 3).

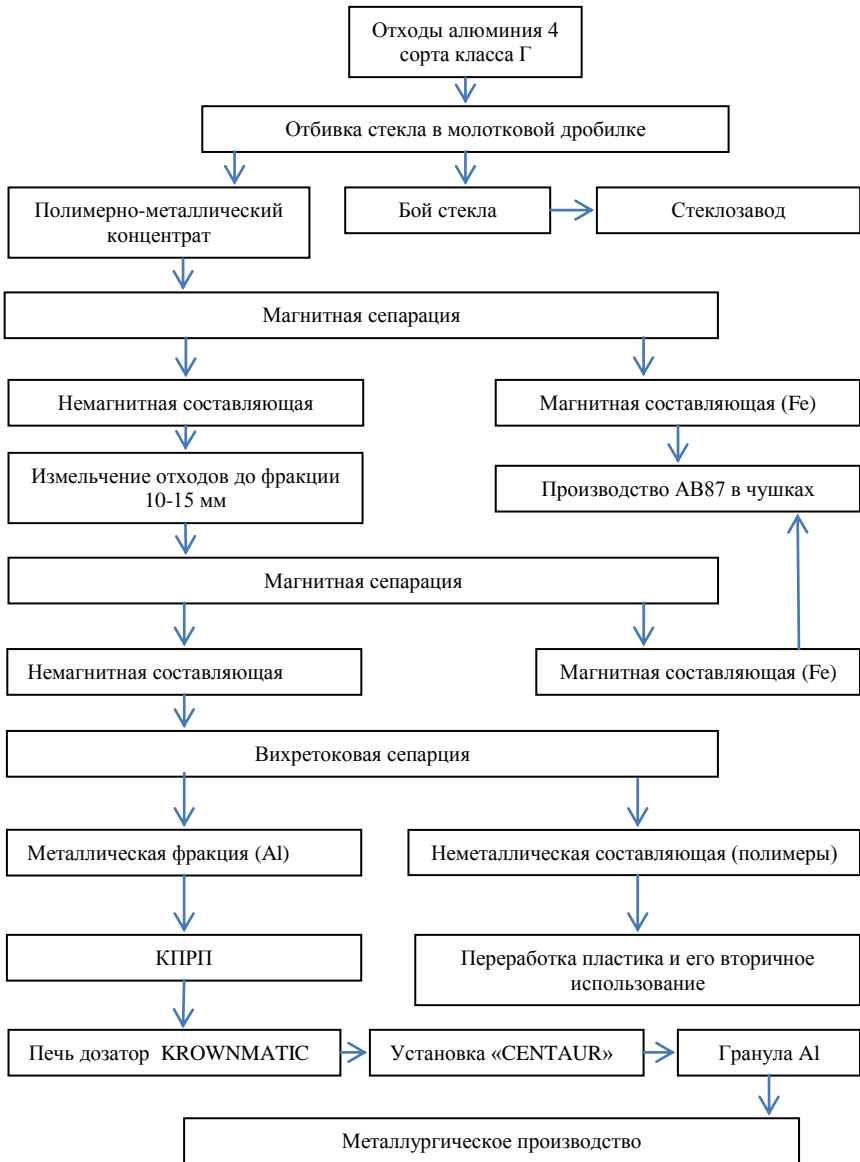


Рисунок 3. – Схема безотходной технологии переработки отходов алюминия 4 сорта класса Г

Для расширения перечня продуктов, получаемых в результате использования безотходной технологии переработки ОПВА, предложен способ приготовления флюса на основе вторичного алюмосодержащего шлака (заявка ВУ а/а 20180466 от 24.07.2018). Реализация данного способа позволит сократить объемы отходов производства вторичного алюминия, повысить десульфуризирующую способность рафинировочных шлаков и оказать модифицирующее действие на неметаллические включения в стали.

В случае получения металлического расплава с повышенным содержанием магния (3,0–5,0 %) он может быть использован для производства силумина с 10–13 % Si или для получения композиционного материала, содержащего тугоплавкие частицы (патент РБ № 20184).

Результаты исследований по бесфлюсовой плавке окисленных отходов алюминия внедрены в учебный процесс при подготовке магистров по специальности 1-42 81 01 «Металлургические технологии повышения конкурентоспособности продукции». Внедрение разработанных технологий в производство ООО «НПФ «Металлон» позволило в 2018 г. получить экономический эффект более 97,8 тыс. руб. при долевом участии автора 60 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Исследовано влияние степени окисленности отходов алюминиевых сплавов на металлургический выход при плавке их в КППП, с использованием 8 % флюса. Показано, что с увеличением окисленности шихты с 2,0 до 50,0 % металлургический выход в среднем снижается с 93 до 47 %, при этом, количество образующего шлака, содержащего 7,5–9,2 % алюминия, увеличивается с 107 до 390 кг на плавку. Установлено влияние содержания в шихте алюминиевой стружки, шлака и просева шлака при бесфлюсовой плавке в КППП на металлургический выход и длительность плавки. Показано, что минимальная себестоимость получаемого сплава 2,00–2,02 руб. за 1 кг сплава достигается при содержании в шихте 25–30 % шлака или отношении массы шлака к стружке на уровне 35–45 % [4–6; 10, 11].

2. Изучено влияние технологии плавки окисленных отходов алюминия в КППП на состав и количество образующейся пыли. Установлено, что при бесфлюсовой плавке таких отходов образуется в среднем 5,3 % пыли от массы плавки с содержанием 12 % чистого алюминия, 75 % оксидов алюминия различных форм и 1,4 % хлорсодержащих соединений, что в 2,5 и 30 раз ниже содержания хлоридов и фторидов в пыли при плавке, с использованием 8 % покровного флюса и 40 % жидкого флюса соответственно [8, 11]. Это позволяет использовать ее в качестве компонента шихты при получении APC и реализовать безотходную технологию переработки окисленных отходов алюминия при бесфлюсовой плавке, когда масса получаемых продуктов в виде металлической составляющей (чушки, «пирамидок», «сухих» гранул), шлака и пыли из циклона, составляет более 95 % от массы загружаемой шихты и полностью используется для раскисления стали или ее внепечной обработки, в отличие от технологий переплава, сопровождающихся обязательным захоронением плавильной пыли и солевых шлаков с уплатой соответствующего экологического налога [1–3, 6, 8, 12, 14–16].

3. Термодинамическими расчетами реакций взаимодействия оксида алюминия с компонентами рафинировочного шлака установки «печь-ковш» подтверждена вероятность образования алюминатов и алюмосиликатов кальция с температурами плавления 1527–1765 °С, которые в системах CaO-Al₂O₃-SiO₂ и MgO-CaO-Al₂O₃-SiO₂ образуют ряд легкоплавких эвтектик с температурами плавления 1170, 1265, 1310, 1335, 1345 °С и 1160, 1222, 1295 °С соответственно, являющихся причиной разжижения рафинировочных шлаков при вводе в них APC [6, 7, 16]. Методом математического планирования экспериментов получены уравнения регрессии по зависимости разрушающей нагрузки и осыпаемости брикетов, приготовленных на основе ОПВА, от содержания CaO, времени и температуры сушки. Минимальная осыпаемость на уровне 0,529 % при разрушающей нагрузке 6975 Н характерна для брикетов, содержащих 40 % CaO после их сушки 15 мин. при температуре

200 °С, что обеспечивает их транспортировку к месту использования без разрушения [7, 12]. Наиболее подходящим сырьем для получения брикетов разжижителей являются отвальные алюминиевые шлаки с фракцией менее 8 мм, содержащие 78–80 % Al_2O_3 [7, 9, 12, 13].

5. Испытаниями в производственных условиях установлена возможность перевода рафинировочного шлака 100 т сталеразливочного ковша добавками 250 кг разжижителя на основе ОПВА из категории «нормальный» в категорию «жидкоподвижный» без использования плавикового шпата CaF_2 , что подтверждается увеличением массы шлака в вискозиметре погружения на 70 % по сравнению с рафинировочным шлаком исходного состояния. Одновременно отмечено увеличение коэффициента распределения серы на 18–20 % [7, 9, 12, 13].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. На основании результатов проведенных исследований разработаны и внедрены в производство в условиях ООО «НПФ «Металлон» безотходные технологии переработки окисленных отходов алюминия (в виде стружки, шлаков, мелкого алюминиевого лома) с получением готовой продукции в виде алюминиевой чушки, «пирамидок», гранул и специальных смесей на основе ОПВА для внепечной обработки стали. Данные технологии могут быть реализованы на ОАО «Белцветмет» и других предприятиях, специализирующихся на переработке отходов алюминия.

2. Разработаны технические условия (ТУ ВУ700028468.003-2008) «Смеси алюминиевые раскисляющие», согласно которым осуществляется поставка АРС на металлургические предприятия Республики Беларусь, Российской Федерации, Молдовы, Польши.

3. Результаты исследований по бесфлюсовой плавке окисленных отходов алюминия внедрены в учебный процесс при подготовке магистров по специальности 1–42 81 01 «Металлургические технологии повышения конкурентоспособности продукции».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых журналах и сборниках, включенных в перечень ВАК

1. Анализ состава окисленных отходов алюминия и существующих технологий их переработки / Л.В. Трибушевский, В.Л. Трибушевский, С.П. Задрецкий, Б.М. Неменёнок, И.И. Бешко // *Металлургия: Респ.межвед.сб.науч.тр. / БНТУ*; редкол.: В.И. Тимошпольский (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2011. – Вып. 33. – ч.2. – С. 108–117.

2. К вопросу выбора оборудования для плавки алюминиевой стружки / Л.В. Трибушевский, В.Л. Трибушевский, Б.М. Неменёнок, Г.А. Румянцева // *Металлургия: Респ.межвед.сб.науч.тр. / БНТУ*; редкол.: В.И. Тимошпольский (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2013. – Вып. 34. – ч.1 – С. 131–136.

3. Особенности раскисления стали алюминием / В.Л. Трибушевский, Л.В. Трибушевский, Б.М. Неменёнок, Г.А. Румянцева // *Металлургия: Респ. межвед.сб.науч.тр. / БНТУ*; редкол.: В.И. Тимошпольский (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2014. – Вып. 35. – С. 3–8.

4. Анализ процесса плавки алюминиевой стружки и шлака в короткопламенной роторной печи / Л.В. Трибушевский, Б.М. Неменёнок, Г.А. Румянцева, В.С. Римошевский // *Литье и металлургия*. – 2015. – № 2. – С. 42–48.

5. Влияние состава шихты на себестоимость получаемого сплава при плавке в короткопламенной роторной печи / Л.В. Трибушевский, Б.М. Неменёнок, Г.А. Румянцева, И.А. Горбель // *Металлургия: Респ. межвед. сб. науч. тр. / БНТУ*; редкол.: В.И. Тимошпольский (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2015. – Вып. 36. – С. 151–158.

6. Безотходная технология переработки алюминиевой стружки и шлаков в короткопламенной роторной печи / Л.В. Трибушевский, Б.М. Неменёнок, Г.А. Румянцева, И.А. Горбель // *Литье и металлургия*. – 2017. – № 4. – С.109–118.

7. Внепечная обработка стали отходами от переработки вторичного алюминия / Л.В. Трибушевский, Б.М. Немененко, Г.А. Румянцева, М.А. Кулик // *Литье и металлургия*. – 2018. – № 1. – С. 100–105.

8. Трибушевский, Л.В. Влияние технологии плавки отходов алюминия на состав и возможность использования образующейся пыли / Л.В. Трибушевский, Б.М. Немененко, Г.А. Румянцева // *Литье и металлургия*. – 2018. – № 3. – С. 118–124.

9. Глубокая переработка алюминиевых шлаков - источник материалов для металлургии стали / Л.В. Трибушевский, Б.М. Немененко, Г.А. Румянцева, О.А. Позняк, М.А. Кулик // *Металлургия: Респ. межвед. сб. науч. тр. / БНТУ*; редкол.: И.А. Иванов (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2018. – Вып. 39. – С. 20–28.

Статьи в научных сборниках и материалах конференций

10. Выбор печи для плавки алюминиевой стружки / Л.В. Трибушевский, В.Л. Трибушевский, Б.М. Неменёнок, И.И. Баешко // Наука – образованию, производству, экономике: материалы X междунар. науч.-техн.конф.: в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталеv, Ф.А. Романюк, А.С. Калиниченко – Минск, 2012. – Т.1. – С. 306.

11. Комплексная переработка отходов алюминия – способ решения экологических и экономических вопросов / Л.В. Трибушевский, Б.М. Неменёнок, Г.А. Румянцева, И.А. Горбель // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2016. – Вып. 15. – С. 146–151.

12. Трибушевский, Л.В. Алюминиевые шлаки – источник материалов для внепечной обработки стали / Л.В. Трибушевский, Б.М. Немененюк, Г.А. Румянцева // Литейное производство и металлургия 2018. Беларусь: труды 26 междунар. науч. - техн. конф.; Минск, 17 – 18 окт. 2018 г. / МЦ ОАО «БМЗ УКХ «БМК»; под ред. Е.И. Маруковича. – Минск, 2018. – С. 115–117.

13. Трибушевский, Л.В. Разжижение шлаков при внепечной обработке стали отходами переработки вторичного алюминия / Л.В. Трибушевский, Б.М. Немененюк, А.И. Самусева // Наука – образованию, производству, экономике: материалы XVI междунар. науч.-техн. конф.: в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: С.В. Харитончик, М.А. Маляревич, А.С. Калиниченко. – Минск, 2018. – Т. 1. – С. 286.

14. Трибушевский, Л.В. Гранулирование алюминия по «сухой» технологии / Л.В. Трибушевский // Литье. Металлургия 2019: материалы XV междунар. науч.-практ. конф., Запорожье, 21 – 23 мая 2019 г. / Запорож. торг.-пром. палата; под ред. О.И. Пономаренко. – Запорожье: А.А. Тандем, 2019. – С. 206–208.

15. Трибушевский, Л.В. Бесфлюсовая плавка алюминия – путь к безотходной технологии / Л.В. Трибушевский, Б.М. Немененюк, Г.А. Румянцева // Литейное производство и металлургия 2019. Беларусь: труды 27 междунар. науч. - техн. конф.; Жлобин 16 – 17 окт. 2019 г. / МЦ ОАО «БМЗ УКХ «БМК»; под ред. Е.И. Маруковича. – Жлобин, 2019. – С. 137–141.

16. Tribushevskiy, L.V. Effective Materials from Recycled Aluminium Waste for Steel Ladle Treatment / L.V. Tribushevskiy, G.A. Rummyantseva, B.M. Nemenenok // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – Cherepovets, 2020. – P. 1–6.

Стандарты, патенты

17. ТУ ВУ 700028768.003-2008. Смеси алюминиевые раскисляющие; введ. 05.01.2009 – Минск, 2008. – 8 с.

18. Способ получения композиционного материала на основе алюминия: пат. 20184 Респ. Беларусь: МПК С22С1/02/А.В. Арабей, И.В. Рафальский, П.Е. Лушук, Б.М. Немененюк, В.Л. Трибушевский, Л.В. Трибушевский; дата публ.: 30.06.2016.

РЭЗІЮМЭ

Трыбушэўскі Леанід Уладзіміравіч

Безадходная тэхналогія пераапрацоўкі акісленых адходаў алюмінія ў кароткапалымянай ротарнай печы бесфлюсавай плаўкай

Ключавыя словы: стружка, акісленыя адходы, плаўка, безадходная тэхналогія, раскісляльныя сумесі, разжыжальнік шлаку.

Мэта работы – распрацоўка безадходнай тэхналогіі пераапрацоўкі акісленых адходаў алюмінія ў кароткапалымянай ротарнай печы.

Метады даследвання і апаратура: вызначэнне металургічнага выхаду, выкідаў пылу (аспіратар ОП 221 ТЦ; шалі ВЛ-210), газаў (газааналізатар MSI 150 «EURO»); электронная мікраскапія (VEGA-II); рэнтгенаструктурны аналіз (ДРОН-3); рэнтгенафлуарэсцэнтны аналіз; плазменная спектраскапія.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: усталяваны склад пылу, якая ўтвараецца пры бесфлюсавым плаўленні адходаў алюмінія ў кароткапалымянай ротарнай печы (КППП); даказана магчымасць рэалізацыі безадходнай тэхналогіі пераапрацоўкі акісленых адходаў алюмінія ў КППП; дадзена тлумачэнне развадкаванню рафінавальных шлакаў ад дабавак алюмініевых раскісляльных сумесяў; устаноўлена залежнасць разбуральнай нагрукі і асыпальнасці брыкетаў разжыжальніку ад утрымання СаО, часу і тэмпературы сушкі; усталявана магчымасць перавода рафінавальнага шлаку з катэгорыі «нармальны» ў катэгорыю «вадкарухомы» дабаўкамі разжыжальніка без выкарыстання плавікавага шпату. Распрацавана схема безадходнай тэхналогіі пераапрацоўкі адходаў алюмінія 4 гатунку класа Г з атрыманнем другаснага пластыка, бою шкла, які рэалізуецца шкляным заводам, і металічнай часткі ў выглядзе «пірамідак» і «сухіх» алюмініевых гранул.

Ступень выкарыстання: рэалізацыя распрацаванай безадходнай тэхналогіі ў 2018 годзе на ТАА «НВФ «Металлон» дала магчымасць перапрацаваць больш 1000 т акісленых адходаў алюмінія і вырабіць 10 т сплаву АК9, 352 т чушкавага раскісляльніку, 213 т «пірамідак», 86 т алюмініевых гранул, 320 т АРС і атрымаць эканамічны эфект больш за 97,8 тыс.руб. пры долевым удзеле аўтара 60 %. Атрыманая прадукцыя пастаўляецца на металургічныя прадпрыемствы Рэспублікі Беларусь, Расіі, Малдовы, Польшчы.

РЕЗЮМЕ

Трибушевский Леонид Владимирович

Безотходная технология переработки окисленных отходов алюминия в короткопламенной роторной печи бесфлюсовой плавкой

Ключевые слова: стружка, окисленные отходы, плавка, безотходная технология, раскислительные смеси, разжижитель шлака.

Цель работы – разработка безотходной технологии переработки окисленных отходов алюминия в короткопламенной роторной печи.

Методы исследований и аппаратура: определение металлургического выхода, выбросов пыли (аспиратор ОП 221 ТЦ; весы ВЛ-210), газов (газоанализатор MSI 150 «EURO»); электронная микроскопия (VEGA-II); рентгеноструктурный анализ (ДРОН-3); рентгенофлуоресцентный анализ, плазменная спектроскопия.

Полученные результаты и их новизна: установлен состав пыли, образующейся при бесфлюсовой плавке отходов алюминия в короткопламенной роторной печи (КППП); доказана возможность реализации безотходной технологии переработки окисленных отходов алюминия в КППП; дано объяснение разжижению рафинировочных шлаков от добавок алюминиевых раскислительных смесей; установлена зависимость разрушающей нагрузки и осыпаемости брикетов разжижителя от содержания СаО, времени и температуры сушки; установлена возможность перевода рафинировочного шлака из категории «нормальный» в категорию «жидкоподвижный» добавками разжижителя без использования плавикового шпата. Разработана схема безотходной технологии переработки отходов алюминия 4 сорта класса Г с получением вторичного пластика, боя стекла, реализуемого стеклозаводам, и металлической составляющей в виде «пирамидок» и «сухих» алюминиевых гранул.

Степень использования: реализация разработанной безотходной технологии в 2018 году на ООО «НПФ «Металлон» позволила переработать более 1000 т окисленных отходов алюминия и произвести 10 т сплава АК9, 352 т чушкового раскислителя, 213 т «пирамидок», 86 т алюминиевых гранул, 320 т АРС и получить экономический эффект более 97,8 тыс. руб. при долевом участии автора 60 %. Полученная продукция поставляется на металлургические предприятия Республики Беларусь, России, Молдовы, Польши.

SUMMARY

Leanid V. Trybusheuski

Waste-free technology for processing oxidized aluminium waste in a short-flame rotary furnace with flux-free melting

Key words: chip, oxidized wastes, melting, non-waste technology, dioxidating mixture, refining slag.

The goal of the Thesis - a development of non-waste technology for aluminium oxidized waste recycling in a short-flame rotary furnace.

Research Methods and Equipment: measuring metallurgical yield, dust emission, aspirator OP 221, scale VL-210), gas (gas analyzer MSI 150 “EURO”); electron microscopy (VEGA II); X-ray crystallography (DRON-3), X-ray fluorescence analysis, plasma spectroscopy.

The Achieved Results and Novelty: the dust composition is determined from flux-free melting of aluminium wastes in a short-flame rotary furnace (SFRF), the feasibility of implementation of a non-waste technology for aluminium oxidized waste recycling is proven in SFRF; the explanation for liquefaction of refining slag from adding aluminium deoxidating mixture is given, the dependency of destroying load and crumbling of briquets of thinner from CaO content, duration and temperature of desiccation is established, the feasibility of removing the refining slag from category “normal” to category “liquid-moving” by virtue of thinning additives without using fluorspar is established. A scheme of non-waste technology for processing aluminium waste of grade 4 of class G with the production of secondary plastic, glass scrap, sold to glass factories, and a metal component in the form of “pyramids” and “dry” aluminium granules has been developed.

The Practical Degree: the implementation of the developed non-waste technology in 2018 in NPF “Metallon” Ltd allowed to recycle more than 100 tons of oxidized waste and produce 10 tons of AK9 aluminium alloy, 352 tons of dioxidating ingots, 213 tons of “pyramids”, 86 tons of aluminium granules, 320 tons of APC and achieve economic effect in the amount exceeding 97.8 thousand rubles with the author's share of 60 %. The resulting products are delivered to metallurgical enterprises of the Republic of Belarus, Russia, Moldova, and Poland.