

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

УДК 621.74.021

РУМЯНЦЕВА
Галина Анатольевна

**НИЗКОТОКСИЧНЫЕ ФЛЮСЫ И ПРЕПАРАТЫ,
ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ
ПРОЦЕССОВ ПЛАВКИ И РАФИНИРОВАНИЯ СИЛУМИНОВ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.16.04 – Литейное производство

Минск, 2012

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный
руководитель:

Немененок Болеслав Мечеславович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Металлургия
литейных сплавов» Белорусского
национального технического университета

Официальные
оппоненты:

Волочко Александр Тихонович,
доктор технических наук, заведующий
лабораторией ГНУ «Физико-технический
институт НАН Беларуси», г. Минск

Садоха Мечислав Антонович,
кандидат технических наук, доцент,
заместитель директора по научной работе
ОАО «БЕЛНИИЛИТ», г. Минск

Оппонирующая
организация:

ГНУ «Институт технологии металлов
НАН Беларуси», г. Могилев

Защита состоится «_24_» февраля_2012 г. в _14.00_ на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.14 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, проспект Независимости, 65, корп. 12, ауд. 310, тел. (факс) ученого секретаря (017) 292-54-06

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «_20_» января_2012 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций,
доктор технических наук, профессор

И.А.Трусова

©Румянцева Г.А., 2012
©БНТУ, 2012

ВВЕДЕНИЕ

Важное место в развитии современного промышленного комплекса принадлежит производству отливок из силуминов, которые обладают высокими механическими свойствами, малой плотностью и высокой коррозионной стойкостью. Вместе с тем, при производстве 1 т отливок из силуминов при плавке в пламенных печах выделяется около 7,0 кг пыли, 7,0–7,5 кг оксида углерода, 7,5–8,0 кг оксидов азота и более 5,0 кг прочих выбросов, содержащих хлориды, фториды и оксиды серы. При последующей рафинирующей обработке расплава дополнительно выделяются около 2,5 кг/т гексахлорбензола и 0,3–0,5 кг/т солей фтора и хлора.

В настоящее время почти во всех странах сохраняется тенденция к пересмотру норм предельно допустимых выбросов в атмосферный воздух в сторону ужесточения.

Решение проблемы оздоровления экологической ситуации в цехах алюминиевого литья может быть реализовано по нескольким направлениям за счет: 1) использования низкотоксичных или экологически чистых препаратов при плавке и рафинировании силуминов; 2) оптимизации существующих технологий рафинирующей обработки, повышения степени усвоения рафинирующих препаратов и сокращения их расхода, что обеспечит снижение вредных выбросов; 3) применения эффективных систем пыле- и газоулавливания.

В связи с этим актуальным является разработка новых низкотоксичных флюсов и препаратов для плавки и рафинирования силуминов, а также определение количества и состава пылегазовых выбросов, образующихся при их использовании.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Диссертационная работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете в рамках проводимых научно-исследовательских работ.

Исследования и результаты, положенные в основу диссертационной работы, соответствуют перечню приоритетных направлений фундаментальных и прикладных исследований Республики Беларусь на 2006–2010 гг., утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 17 мая 2005 г. № 512.

Научные исследования проводились в рамках Государственной программы прикладных научных исследований (ГППНИ) «Металлургия» на 2005–2010 гг. «Создание высокоэффективных технологических процессов и оборудования для развития металлургического комплекса Республики Беларусь», задание 2.16 «Повышение экологической безопасности процессов рафинирования и модифицирования алюминиевых сплавов» (2009–2010 гг. № ГР 20091216).

Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка составов низкотоксичных флюсов и препаратов, обеспечивающих повышение экологической безопасности при плавке и рафинировании силуминов.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить закономерности пылегазообразования при плавке алюминиевых литейных сплавов в пламенных и электрических отражательных печах различной производительности, а также в индукционных тигельных печах промышленной и повышенной частоты;
- исследовать влияние рафинирующей обработки на количество и состав пылегазовых выбросов, провести электронномикроскопический, рентгеноструктурный и дисперсный анализ образцов пыли, выделяющейся в процессе плавки и рафинирования силуминов;
- разработать и внедрить низкотоксичные флюсы и препараты для плавки и рафинирующей обработки силуминов, обеспечивающие повышение экологической безопасности цветнолитейного производства;
- исследовать влияние разработанных низкотоксичных флюсов и препаратов на механические и технологические свойства силуминов.

Объектом исследования являются технологии плавки и рафинирующей обработки силуминов.

Предметом исследований являются флюсы, рафинирующие препараты и пылегазовые выбросы, образующиеся в процессе плавки и рафинирования силуминов.

Положения диссертации, выносимые на защиту

1. Установленные закономерности по интенсивности пылегазовых выбросов, образующихся по ходу плавки и рафинирования силуминов в различных плавильных агрегатах, которые отличаются от известных учетом технологии плавки и используемых рафинирующих препаратов (C_2Cl_6 , $ZnCl_2$, $AlCl_3$), разложение которых сопровождается выделением токсичных хлоридов и описывается параболической зависимостью от времени нахождения их в расплаве.

2. Установленный характер снижения удельных выбросов хлоридов, образующихся при рафинировании силуминов 0,05 % гексахлорэтана от глубины ванны расплава, который описывается экспоненциальной зависимостью $q_x = 0,087 \exp(-1,88h)$, что позволило обосновать выбор способа рафинирующей обработки.

3. Полученные уравнения регрессии по зависимости предела прочности при растяжении, относительного удлинения, балла пористости по шкале ВИАМ и объема выделяющейся пыли при флюсовой обработке сплава АК9 от содержания в рафинирующем флюсе Na_3AlF_6 , Na_2CO_3 и $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, что позволило оптимизировать состав флюса, обеспечивающего получение заданного уровня механических свойств ($\sigma_b \geq 200$ МПа, $\delta \geq 7,0$ %) и балла пористости по шкале ВИАМ ($\Pi \leq 2$) при минимальных выбросах пыли.

4. Разработанный состав рафинирующего флюса (55 % NaCl, 13 % KCl, 17 % Na_3AlF_6 , 10 % Na_2CO_3 , 5 % $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), отличающийся от известных наличием карбоната натрия и доломита и обеспечивающий в процессе рафинирующей обработки сплава АК5М2 снижение объема выделяющейся пыли в 3,3 раза и приведенного показателя удельных выбросов в 2,5 раза по сравнению с обработкой стандартным флюсом (30 % NaCl, 47 % KCl, 23 % Na_3AlF_6).

Личный вклад соискателя

Личный вклад автора в диссертационную работу заключается в проведении экспериментальных исследований, анализе и интерпретации полученных результатов, написании статей и тезисов докладов, апробации разработанных низкотоксичных препаратов в производственных условиях, формулировке промежуточных и заключительных выводов.

Работа выполнена соискателем в соавторстве с д-м техн. наук, профессором Б.М. Немененком, которому принадлежит постановка цели и задач исследований, а также общее руководство исследованиями.

В совместных работах с кандидатами технических наук, доцентами С.П. Задруцким и А.П. Бежком соискатель принимала непосредственное участие на всех этапах планирования и проведения исследований, обработки результатов и подготовки публикаций.

Все представленные в диссертации экспериментальные и теоретические результаты получены соискателем самостоятельно, инструментальные замеры пылегазовых выбросов проводились при участии канд. хим. наук А.С. Панасюгина и мл. науч. сотр. Д.П. Михалapa.

Апробация результатов диссертации

Результаты работы доложены и обсуждены на следующих научных семинарах и конференциях: МНТК «Наука – образованию, производству,

экономике» (Минск, БНТУ, 2009, 2010, 2011); МНТК «Неметаллические включения и газы в литейных сплавах» (Запорожье, ЗНТУ, 2009); МНТК «Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейном производстве» (Краматорск, ДГМА, 2009, 2011); МНПК «Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производств» (Барнаул, АлтГТУ, 2009, 2010); МНПК «Энергоэффективные технологии. Образование. Наука. Практика» (Минск, БНТУ, 2010); МНТК «Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии» (Гродно, НИЦПР НАН Беларуси, 2011).

Опубликованность результатов диссертации

По материалам диссертации опубликованы 22 научные работы, в том числе: 10 статей в научно-технических журналах, из них 8 статей в изданиях, включенных в перечень ВАК для опубликования результатов диссертационных исследований (за рубежом – 4), 9 статей в сборниках и материалах конференций, 2 тезиса докладов. Получено 1 решение на выдачу патента Республики Беларусь на изобретение, подана 1 заявка на патент Республики Беларусь. Общий объем материалов, опубликованных по теме диссертации, составляет 8,87 авторского листа.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 142 наименований и 8 приложений.

Общий объем диссертации составляет 212 страниц, включая 50 рисунков в тексте, 38 таблиц в тексте, 8 приложений на 41 странице.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе дан анализ оборудования для плавки литейных алюминиевых сплавов и современных технологий их рафинирования, проведен обзор конструкций пылегазоочистных устройств цветнолитейного производства. Сокращение вредных выбросов в процессе плавки достигается созданием нового поколения пламенных плавильных печей, оснащенных высокоэффективными горелками, подогревом шихты отходящими газами, автоматизацией процесса плавки и подогрева расплава, системой очистки газов от вредных веществ. Из индукционных печей для плавки алюминиевых сплавов в литейном производстве используются только тигельные печи промышленной, средней и высокой частоты. Несмотря на ряд достоинств современных плавильных агрегатов, готовый расплав содержит значительное количество неметаллических включений и газов (преимущественно водорода),

удаление которых связано с необходимостью рафинирования расплава. Большинство предприятий используют обработку флюсами и хлорсодержащими соединениями (C_2Cl_6 , $MnCl_2$, $ZnCl_2$, $AlCl_3$ и др.), которые и являются источниками экологически опасных хлоридов и фторидов. Это, в свою очередь, обуславливает необходимость использования дорогостоящих очистных сооружений. Нейтрализация почти каждого из токсичных компонентов отходящих газов представляет собой самостоятельную задачу. Поэтому наиболее часто в качестве очистных сооружений используются многоступенчатые системы, требующие квалифицированного обслуживания, значительных энергетических и материальных затрат. На передовых зарубежных предприятиях на охрану окружающей среды в настоящее время приходится от 10 до 20 % стоимости производства, что для большинства отечественных предприятий является неприемлемым. Проведенный анализ позволил сформулировать цель и задачи исследований.

Во второй главе изложены методики оценки летучести флюсов и препаратов, оценки эффективности рафинирующей обработки силуминов, определения объемов выбросов, дисперсности и состава пыли, образующейся при плавке и рафинировании силуминов.

Летучесть компонентов флюсов определяли по потере массы (%) после изотермической выдержки в муфельной печи при температурах 600, 700, 800 и 900 °С в течение 0,5 и 2 ч. Летучесть рафинирующих флюсов и препаратов исследовали при температуре 750 °С в течение 30–120 мин.

При оценке эффективности процессов рафинирования анализировали балл пористости по шкале ВИАМ, изменение механических свойств, плотности и формозаполняемости, а также исследовали микроструктуру сплавов, определяли металлургический выход, объем и состав пылегазовых выбросов. Пробы для исследований отливали до и после рафинирующей обработки. Оценку механических свойств, плотности, балла пористости по шкале ВИАМ и формозаполняемости проводили по стандартным методикам с последующей математической обработкой экспериментальных результатов.

Исследование пылегазовых выбросов, образующихся при плавке и рафинировании сплавов, в лабораторных условиях проводили на опытной установке, состоящей из силитовой печи, тигля емкостью 30 кг и колпака, установленного над тиглем. Ввод колокольчика с дегазирующим препаратом, засыпку флюса и перемешивание расплава выполняли через имеющееся в колпаке отверстие. В процессе экспериментов осуществляли непрерывный отбор газа с помощью газоотборной трубки через грушу с фильтром АФА и аспиратора Мигунова. Запыленность определяли по разнице в весе фильтра до

и после опыта. Фильтры взвешивали на весах марки ВЛ-210 с точностью $\pm 0,0005$ г.

В производственных условиях для контроля в отходящих газах оксидов углерода, азота и серы применяли электронный газоанализатор MSI 150 «EURO» фирмы «Dräger». Для отбора проб газа и пыли выбирали ровный участок вентиляционной трубы постоянного сечения, который по длине превышал четыре ее диаметра. После измерения температуры газового потока и его влажности определяли динамическое, статическое и общее давление с помощью микроманометра и трубки Пито, а затем пересчитывали скорость газов и их расход. После проведения замеров по запыленности, фильтры с пылью извлекали из пробоотборного устройства и помещали в эксикатор для поглощения влаги селикогелем. Расчет запыленности (C) производили по формуле

$$C = \frac{(m_1 - m_0) \cdot 1000}{V_{уд}^r \cdot \tau}, \text{ г/м}^3, \quad (1)$$

где m_1 – масса фильтра с пылью, г; m_0 – масса исходного фильтра, г; $V_{уд}^r$ – удельный расход газа, л/мин; τ – время отбора пробы, мин.

Удельные выбросы (q) рассчитывали исходя из количества отходящих газов, запыленности газового потока, времени плавки и емкости печи:

$$q = \frac{C \cdot v_r \cdot F_{тр} \cdot \tau_{п}}{M}, \text{ г/кг}, \quad (2)$$

где C – запыленность, г/м³; v_r – скорость газов в газоходе, м/мин; $F_{тр}$ – площадь сечения трубы, м²; $\tau_{п}$ – время плавки, мин; M – масса расплава, кг.

Содержание хлоридов в атмосфере печи и в газоходах оценивали по стандартным методикам. Валовой выброс загрязняющих веществ (Q_v), образующихся при плавке, определяли по формуле

$$Q_v = 10^{-3} \cdot q \cdot P \cdot T \cdot (1 - n), \text{ т}, \quad (3)$$

где q – удельное выделение вещества на единицу продукции, кг/т; P – расчетная производительность печи, т/ч; T – годовой фонд времени, ч; n – степень очистки загрязняющих веществ, в долях от единицы.

Образцы пыли, отобранной на различных этапах технологических процессов, подвергали дисперсному, микрорентгеноспектральному, рентгеноструктурному, химическому и электронномикроскопическому анализам. Дисперсный анализ образцов пыли, образующейся в процессе

плавки и рафинирования алюминиевых сплавов, проводили с использованием кондуктометрического счетчика частиц «Культер Каунтер» модели ТА-2 фирмы «Культроникс Франс С.А.». Рентгеноструктурный анализ пыли выполняли на установке «ДРОН-1,5». Для определения состава отдельных частиц пыли применяли сканирующий электронный микроскоп VEGA-II LMU с микроанализатором Inca Energy 350 с изучением энергетических спектров рентгенофлуоресцентного излучения элементов. Электронномикроскопический анализ проб пыли проводили на электронном микроскопе IEM-100.

В третьей главе изложены результаты исследований по оценке выделения газов и пыли от различных плавильных агрегатов. Замеры и расчеты запыленности от пламенных отражательных печей AR 60000 и AR 40000 показали, что удельные выбросы пыли на 1 т жидкого металла составили 0,08–0,1 кг, а при рафинировании на стенде в ковше емкостью 900 кг гексахлорэтаном из расчета 0,03 % возросли до 0,3 кг с одновременным выбросом 0,01 кг хлоридов. При плавке в печи ДСТ-3300 удельные выбросы пыли составили 0,44 кг на 1 т жидкого металла, а при совместной обработке расплава на стенде 0,05 % C_2Cl_6 и 0,04 % Na достигли 1,2 кг с дополнительным выделением до 0,02 кг хлоридов.

При обследовании электрической отражательной печи САН-2,5 замеры запыленности и содержания хлоридов проводили в объеме печи в периоды загрузки, расплавления шихты и рафинирования хлористым цинком в количестве 0,05 % от массы расплава. Поскольку расплавление шихты происходило с помощью нихромовых нагревателей, то запыленность газов в объеме печи в период загрузки шихты и ее расплавления не превышала $0,5 \text{ г/м}^3$, а в процессе рафинирования $ZnCl_2$ достигала 60 г/м^3 . Аппроксимация данных по запыленности (q) и содержанию хлоридов (V_x) в рабочем пространстве электрической печи САН-2,5 в зависимости от времени после ввода 0,05 % $ZnCl_2$ показала, что анализируемые показатели описываются параболическими зависимостями

$$q = -0,698\tau^2 + 12,270\tau - 4,873 \text{ и } V_x = -0,244\tau^2 + 9,312\tau + 22,980, \quad (4)$$

которые хорошо согласуются с расчетными данными.

Удельные выбросы пыли на тонну жидкого металла при загрузке и плавлении составили 0,9 кг, при рафинировании – 1,82 кг с дополнительным выделением хлоридов в количестве 0,01 кг.

Анализ пылегазовых выбросов от электрической отражательной печи САК-2 с периодическим рафинированием расплава хлористым алюминием в количестве 0,05 % показал, что процесс рафинирования сопровождается

увеличением выбросов пыли примерно в 5 раз (рисунок 1) по сравнению с периодами загрузки шихты и ее расплавления. Содержание хлоридов во время обработки расплава достигает $9,8 \text{ мг/м}^3$ и изменяется от времени после ввода в расплав AlCl_3 по параболической зависимости, как и запыленность:

$$V_x = -0,0065\tau^2 + 0,4908\tau - 0,0634 \text{ и } q = -0,0017\tau^2 + 0,140\tau - 2,020. \quad (5)$$

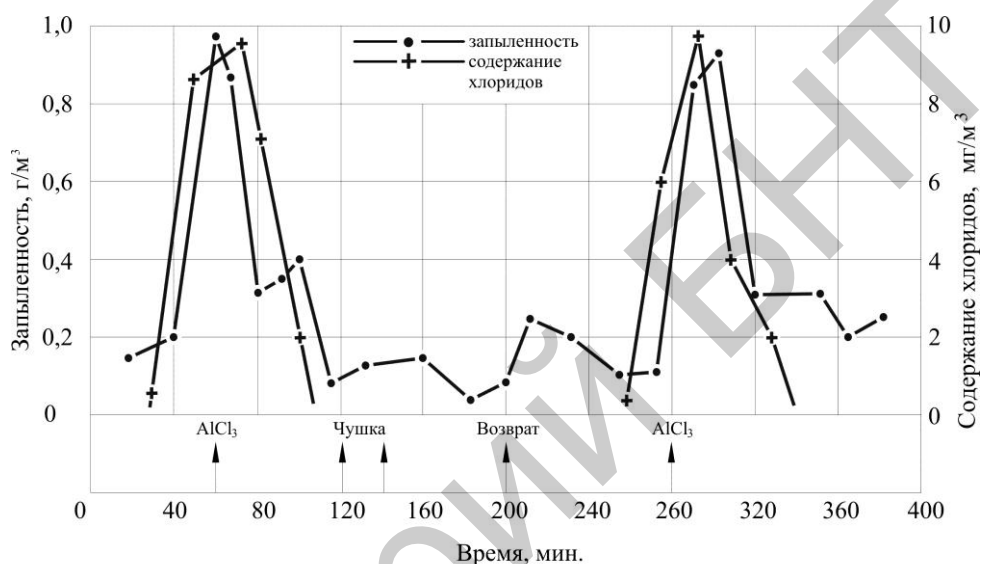


Рисунок 1 – Запыленность газов и содержание хлоридов в электрической отражательной печи САК-2

Проведенные замеры на индукционных тигельных печах ИАТ-6 и ИАТ-2,5 показали существенный разброс контролируемых параметров как в пределах одной плавки, в зависимости от реализуемых операций, так и применительно к отдельным периодам различных плавок сплава АК9.

Аппроксимация расчетных данных по запыленности и содержанию хлоридов в печи ИАТ-2,5 после обработки расплава $0,05\% \text{ C}_2\text{Cl}_6$ показала, что анализируемые характеристики описываются параболическими зависимостями:

$$q = -0,2071\tau^2 + 5,7643\tau - 35,9286 \text{ и } V_x = -0,9883\tau^2 + 18,3933\tau - 1,8656, \quad (6)$$

которые хорошо коррелируют с расчетными данными.

Удельные выбросы пыли на тонну жидкого металла при плавке сплава АК9 в печах ИАТ-2,5 составили при загрузке $1,45 \text{ кг}$ и $0,15 \text{ кг}$ при рафинировании с одновременным выделением $0,005 \text{ кг}$ хлоридов.

Анализ процесса плавки в печах ИАТ-6 с использованием жидкого остатка («болота») и наличием в составе шихты большого количества

замасленного возврата, образующегося при литье под высоким давлением, показал, что пиковые выбросы пыли отмечаются при загрузке возврата, чушки и рафинировании 0,05 % C_2Cl_6 . При этом выброс пыли от рафинирования достигает $35,5 \text{ г/м}^3$ и более чем в 30–40 раз превышает запыленность, наблюдаемую при загрузке чушки и возврата. В период загрузки в отходящих газах возрастает также содержание углеводородов нефти до 1200 мг/м^3 и CO до 150 мг/м^3 , а во время рафинирования содержание хлоридов достигает 90 мг/м^3 (рисунок 2). При этом количество газовых выбросов существенно зависит от состава смазки, применяемой при литье под высоким давлением. Удельные выбросы вредных веществ на тонну расплава для сплава АК9, выплавляемого в ИАТ-6 с учетом рафинирования 0,05 % C_2Cl_6 , составили: пыль – 1,51 кг; углеводороды нефти – 0,51 кг; CO – 0,077 кг; хлориды – 0,002 кг.

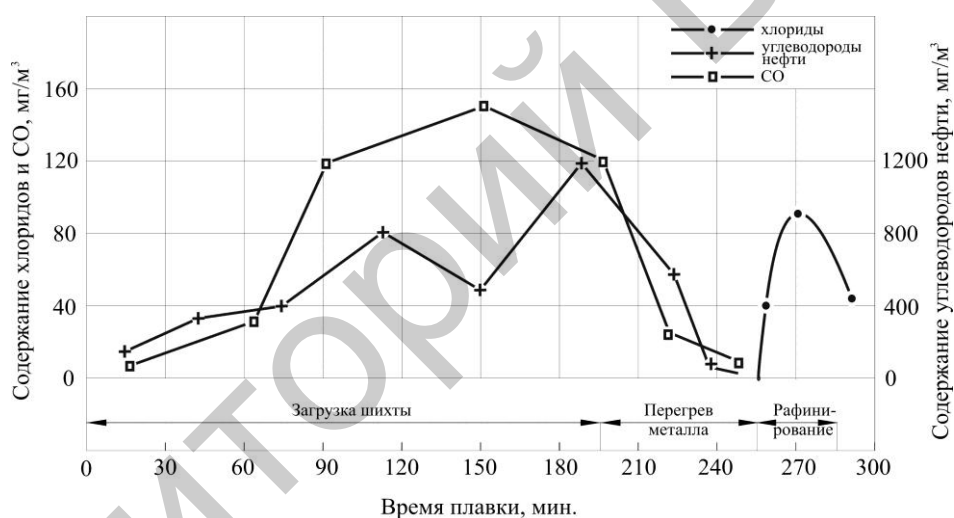


Рисунок 2 – Состав газов от индукционной тигельной печи ИАТ-6 по ходу плавки с «болотом»

Анализ полученных данных по удельным выбросам хлоридов (q_x) при рафинировании расплава 0,05 % C_2Cl_6 в печах различной емкости показал, что они зависят от глубины ванны (h) расплавленного металла и описываются экспоненциальной зависимостью:

$$q_x = 0,087 \exp(-1,88h). \quad (7)$$

Это связано с увеличением продолжительности всплывания пузырьков $AlCl_3$ и их химическим взаимодействием с компонентами сплава, что сопровождается образованием соединений типа $MgCl_2$, $NaCl$, $CaCl_2$, которые образуют слой шлака на поверхности расплава и не участвуют в процессе пылеобразования.

Существенное влияние на характеристики вредных выбросов при флюсовой обработке расплавов оказывает летучесть флюсов и их компонентов. Установлено, что высокой летучестью обладает Na_3AlF_6 при температурах 600–900 °С, а также NaCl и KCl при температурах выше 800 °С.

В связи с широким внедрением в процесс рециклинга алюминия роторных печей исследовали технологии плавки с использованием 8,0 и 40,0 % флюса в короткопламенной роторной печи емкостью 800 кг, работающей на жидком топливе. Результаты анализов показали резкие перепады концентраций CO , NO и NO_x по ходу плавки, что связано с частой разгерметизацией печи при дозагрузке в нее переплавляемых шлаков. Во время плавки с малым количеством флюса запыленность по ходу плавки не превышала $0,16 \text{ г/м}^3$, а при очистке печи от шлака в конце плавки запыленность в виде пиковых выбросов достигала $0,95 \text{ г/м}^3$ и продолжалась в течение 3–5 мин. Химический состав частиц пыли, отобранной из циклона, представлен широкой гаммой элементов, как входящих в состав флюсов, так и содержащихся в переплавляемых отходах. Содержание алюминия в отдельных частицах изменяется от 7,0 до 70,6 %.

При проведении плавки с использованием 40 % флюса общая запыленность в газоходе была значительно ниже первой серии плавок и составляла не более $0,09 \text{ г/м}^3$, но отмечалась повышенная концентрация хлоридов в газоходе от боровов, что связано не только с выделением хлоридов натрия и калия, но и с образованием монохлорида алюминия (AlCl). Монохлорид алюминия неустойчив и распадается в дальнейшем на AlCl_3 и высокодисперсный алюминий, который и уносится отходящими газами. Микрорентгеноспектральный анализ образцов пыли из газоочистных сооружений показал, что при таком варианте плавки в составе пыли содержится меньшее количество компонентов, ее частицы имеют более стабильный состав и пыль на 70 % состоит из NaCl и KCl , что объясняется их повышенной летучестью.

Обследование плавильных агрегатов показало, что одним из вариантов повышения экологической безопасности процессов плавки и рафинирования является разработка и применение более низкотоксичных препаратов и рафинирующих флюсов.

В четвертой главе изложены результаты исследований по разработке составов низкотоксичных флюсов и рафинирующих препаратов, оценено их влияние на механические и технологические свойства силуминов, состав и объем пылегазовых выбросов.

Одним из вариантов оздоровления экологической ситуации при флюсовой обработке силуминов является использование в их составе карбонатов взамен части хлористых и фтористых соединений.

Для выбора оптимального содержания карбонатов в рафинирующем флюсе использовали метод математического планирования экспериментов. В качестве независимых переменных были выбраны: содержание Na_3AlF_6 (X_1), Na_2CO_3 (X_2) и доломита (X_3). Зависимыми переменными являлись: предел прочности при растяжении в литом состоянии (Y_1), относительное удлинение (Y_2), балл пористости по шкале ВИАМ (Y_3) и объем выделяющейся пыли при флюсовой обработке (Y_4). Основу рафинирующего флюса составляли хлориды натрия и калия. Для снижения стоимости флюса в качестве хлорида натрия использовали галит. Содержание Na_3AlF_6 варьировали в интервале 10,0–20,0 %, а Na_2CO_3 и доломита – от 5,0 до 15,0 %. Для построения математических моделей был реализован линейный план полного факторного эксперимента 2^3 . Исследования проводили на сплаве АК9. Плавку вели в печи сопротивления с емкостью тигля 80 кг. Пробы выбросов пыли отбирали в течение 2 мин после нанесения на зеркало металла флюса в количестве 1,0 % от массы расплава. После обработки результатов исследований, проверки статистической значимости коэффициентов регрессии и адекватности математических моделей были получены следующие зависимости:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= 204,625 + 18,375 \cdot x_2 + 4,625 \cdot x_3; & |\Delta A_i| &= 3,277; \\
 Y_2 &= 7,8 + 0,65 \cdot x_2; & |\Delta A_i| &= 0,114; \\
 Y_3 &= 2,175 - 0,475 \cdot x_1 - 0,125 \cdot x_2; & |\Delta A_i| &= 0,05; \quad (8) \\
 Y_4 &= 4,592 + 0,209 \cdot x_1 + 0,304 \cdot x_2 + 0,196 \cdot x_3 - 0,046 \cdot x_1 \cdot x_2 + \\
 &+ 0,148 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,048 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,099 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3; & |\Delta A_i| &= 0,011.
 \end{aligned}$$

Используя полученные математические модели, проводили минимизацию уравнения по выбросам пыли при заданных ограничениях балла пористости по шкале ВИАМ ($Y_3 \leq 2$), предела прочности при растяжении ($Y_1 \geq 200$ МПа), относительного удлинения ($Y_2 \geq 7,0\%$). Данные ограничения при минимальных выбросах пыли 4,4 г реализуются для флюса, содержащего 17 % Na_3AlF_6 , 10,0 % Na_2CO_3 , 5 % $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, 13 % KCl , 55 % NaCl .

Для усиления рафинирующей способности флюса системы $\text{NaCl-KCl-Na}_3\text{AlF}_6$ в его состав вводили NaNO_3 . В результате получили рафинирующий препарат, содержащий 15 % NaCl , 40 % KCl , 15 % Na_3AlF_6 и 30 % NaNO_3 .

Для сравнения использовали флюс на основе SiO_2 (80 % SiO_2 , 9,4 % KCl , 6 % NaCl , 4,6 % Na_3AlF_6) и традиционный рафинирующий флюс (30 % NaCl , 47 % KCl , 23 % Na_3AlF_6), а также рафинирующие препараты (30 % S , 70 % Na_2CO_3), (50 % S , 50 % Na_3AlF_6) и состав с NaNO_3 .

Оценку рафинирующего действия выбранных препаратов и определение их оптимальной добавки проводили на сплаве АК9. Рафинирующие препараты вводили в расплав в виде флюса или при помощи колокольчика. Анализировали изменение механических свойств, балла пористости по шкале ВИАМ и формозаполняемости, а также визуально оценивали интенсивность бурления, цвет и запах выделяющихся газов.

Установлено, что лучший комплекс свойств обеспечивается при обработке расплава 1,0 % флюса с карбонатами и 0,05 % рафинирующих препаратов с NaNO_3 и (30 % S , 70 % Na_2CO_3). При обработке препаратом с NaNO_3 предел прочности при растяжении ($\sigma_{\text{в}}$) увеличивается на 7–9 %, а относительное удлинение (δ) – на 40–44 % по сравнению с исходным сплавом. Определение содержания Al_2O_3 бромметаноловым методом в разрывных образцах сплава АК9 после рафинирующей обработки показало, что минимальное содержание оксида алюминия характерно для сплава, обработанного флюсом с карбонатами, препаратами с NaNO_3 и серой с Na_2CO_3 . Эффективность очистки расплава от оксида алюминия данными составами превосходит обработку стандартным флюсом системы $\text{NaCl-KCl-Na}_3\text{AlF}_6$ на 32 %, 12 % и 6 % соответственно.

Для оценки объемов пылегазовых выбросов, образующихся при рафинирующей обработке расплава, были проведены исследования в условиях литейного участка на печах сопротивления емкостью 100 кг при плавке сплава АК5М2. Пробы выбросов отбирали в течение 2 мин на горизонтальном участке вытяжной вентиляции. Все исследуемые флюсы и препараты в количестве 0,5 кг высыпали на зеркало металла массой 80 кг и замешивали в расплав, что соответствовало добавке 0,6 % от массы расплава. Установлено, что минимальные выбросы пыли наблюдаются при использовании флюсов с карбонатами и на основе SiO_2 . При пересчете на оптимальную концентрацию рафинирующих препаратов минимальные выбросы пыли в процессе обработки характерны для флюсов с SiO_2 и карбонатами, которые обеспечивают снижение выделяющейся при обработке пыли по сравнению со стандартным флюсом в 4,6 и 3,3 раза соответственно.

Для проверки эффективности разработанного флюса и оценки объемов пылегазовых выбросов, образующихся при его использовании, проводили исследования в условиях литейного цеха Научно-производственного общества с ограниченной ответственностью «Время-V» при производстве чушкового

поршневого сплава АК12М2МгН из лома алюминиевых сплавов в пламенной печи емкостью 2,0 т. Отличие опытных плавков заключалось только в составе применяемого флюса. По существующей технологии для защиты расплава от окисления в процессе плавки использовали флюс (30 % NaCl, 47 % KCl, 23 % Na₃AlF₆) в количестве 0,5 % от массы расплава. При проведении опытных плавков анализировали балл пористости по шкале ВИАМ, химический состав сплава АК12М2МгН на соответствие ГОСТ 1583-93, количество и состав образующегося шлака, металлургический выход, количество и состав пылегазовых выбросов, выделяющихся в процессе плавки. Установлено, что использование предлагаемого состава флюса обеспечивает увеличение металлургического выхода на 2,2 %, снижение количества образующегося шлака на 0,73 % при уменьшении алюминия в нем на 3,08 % и практически постоянном извлечении закладных элементов из черных сплавов. При этом пористость по шкале ВИАМ соответствовала 2 баллу для всех плавков. Наличие в составе разработанного флюса оксида натрия, образующегося в результате диссоциации Na₂CO₃, приводит к повышению его химической активности и более эффективному растворению оксида алюминия, что и облегчает процесс отделения капель алюминия и слияния их с расплавом. В результате содержание алюминия в шлаке по сравнению с серийной технологией снижается на 33 %, а металлургический выход увеличивается на 2,2 %.

Анализ пылегазовых выбросов показывает, что при проведении опытных плавков значительно снизились выбросы хлоридов и фторидов, а концентрация СО изменилась незначительно (с 3,77 до 3,82 кг/т) в связи с догоранием его в рабочем пространстве печи. Удельные выбросы пыли снизились почти на 20 %. Реализация новой технологии рафинирования в условиях литейного цеха НПООО «Время-V» позволит получить суммарный годовой экономический эффект около 165 млн. руб. в ценах февраля 2011 года за счет снижения расхода шихтовых материалов, затрат на захоронение отвального шлака, стоимости флюса и размера экологического налога.

Для оценки эффективности рафинирующих флюсов применительно к электрическим тигельным печам САТ-0,15Б проводили исследования в условиях литейного цеха предприятия «Антонар» при плавке сплава АК5М2. Анализировали три состава рафинирующего флюса: разработанного, стандартного и на основе SiO₂, которые в количестве 1,0 % наносили на зеркало расплава при температуре 720 °С. Установлено, что разработанный состав флюса обеспечил повышение герметичности отливок для всех наименований по сравнению с заводской технологией (рафинирование стандартным флюсом), что свидетельствует о его высокой рафинирующей

способности. Флюс на основе SiO_2 показал худшие результаты при испытаниях на герметичность. Все варианты рафинирующей обработки обеспечили получение требуемых ГОСТ 1583-93 значений предела прочности при растяжении, относительного удлинения и твердости, а пористость соответствовала 3 баллу по шкале ВИАМ. Пылегазовые выбросы, образующиеся в результате флюсовой обработки сплава, существенно отличались по составу и объему, что затрудняло оценку их степени вредности. Для определения степени вредности флюсовой обработки предлагаемого и стандартного флюса определяли приведенный показатель удельных выбросов. Установлено, что для предложенного состава флюса данный показатель в 2,5 раза ниже, что подтвердило его более высокую экологическую безопасность.

Рафинирование сплава АК9М2 в печах САТ-0,15Б 0,05 % C_2Cl_6 и препаратом с NaNO_3 показало, что оба варианта обработки обеспечивают требуемый уровень механических свойств и балла пористости по шкале ВИАМ, но приведенный удельный выброс пыли для препарата с NaNO_3 в 1,55 раза ниже, что подтверждает его более высокую экологическую безопасность.

Разработаны технические условия на опытную партию карбонатного флюса (ТУ ВУ 100354447.083-2011) и рафинирующего препарата с NaNO_3 (ТУ ВУ 100354447.084-2011). На производственных площадях ООО «ПромФильтр» (г. Сморгонь) налажено их изготовление и опытные партии флюса (57,5 т) и рафинирующего препарата (2,5 т) поставлены на предприятия Республики Беларусь, Украины, Российской Федерации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Исследован процесс пылегазовыделения при плавке и рафинировании алюминиевых литейных сплавов в отражательных пламенных и электрических печах емкостью от 2,0 до 27,0 т. Установлено, что максимальное пылегазовыделение наблюдается в процессе рафинирования расплава хлорсодержащими соединениями (C_2Cl_6 , ZnCl_2 , AlCl_3), при этом объемы выделяющихся пыли и хлоридов описываются параболическими зависимостями от времени нахождения рафинирующих препаратов в расплаве независимо от типа плавильного агрегата и используемых рафинирующих присадок. Средний размер частиц пыли колеблется от 12 до 18 мкм при их размерном диапазоне 3–70 мкм [1, 3, 4, 12–14, 16].

2. Установлено, что процесс плавки алюминиевых литейных сплавов в индукционной тигельной печи повышенной частоты ИАТ-2,5 сопровождается

выделением пыли при завалке чушковых шихтовых материалов и возврата собственного производства, а максимальное пылегазовыделение отмечается при рафинировании расплава гексахлорэтаном, когда запыленность достигает $4,8 \text{ г/м}^3$ при содержании хлоридов до 85 мг/м^3 . При плавке силуминов в ИАТ-6 промышленной частоты с использованием остатка жидкого металла («болота») запыленность во время завалки возврата существенно зависит от состава применяемых смазок для пресс-форм машин литья под высоким давлением и достигает $1,2 \text{ г/м}^3$, в основном, за счет выбросов сажистых веществ, образующихся при сгорании масляного тумана. Во время загрузки возврата содержание углеводородов нефти достигает 1200 мг/м^3 , а при рафинировании C_2Cl_6 концентрация хлоридов находится на уровне 90 мг/м^3 и описывается параболической зависимостью от времени нахождения гексахлорэтана в расплаве [2, 5, 11, 15].

3. Установлено, что при одинаковой добавке C_2Cl_6 для рафинирования расплава образующиеся удельные выбросы хлоридов снижаются по экспоненциальной зависимости $q_x = 0,087 \exp(-1,88h)$ от глубины ванны расплава, что связано с увеличением продолжительности всплывания пузырьков AlCl_3 и их химическим взаимодействием с компонентами сплава, сопровождающегося образованием соединений типа MgCl_2 , NaCl , CaCl_2 , которые образуют слой шлака на поверхности расплава и не участвуют в процессе пылеобразования [15].

4. Установлено, что количество и состав пылегазовых выбросов при плавке в короткопламенной роторной печи зависят от вида применяемых шихтовых материалов и технологии плавки. При плавке с использованием 8 % покровного флюса содержание CO и NO_x по ходу плавки изменяется с 28 до 2520 ppm и с 13 до 35 ppm соответственно при запыленности, не превышающей $0,16 \text{ г/м}^3$, что связано с частой разгерметизацией печи для дозагрузки шихты. Химический состав пыли представлен широкой гаммой элементов, как входящих в состав флюсов, так и содержащихся в переплавляемых отходах. Содержание алюминия в частицах пыли колеблется от 7,0 до 68,0 %. При плавке алюминиевой стружки с 40 % покровного флюса состав пыли отличается стабильностью с содержанием алюминия не более 3 % и основную массу пыли (более 70 %) составляют NaCl и KCl . Низкое содержание алюминия в выбросах пыли связано с образованием летучего субхлорида алюминия, который покидает рабочее пространство печи и вместе с образованием Al_2O_3 вызывает безвозвратные потери металла [6, 7, 17].

5. Методом математического планирования экспериментов получены уравнения регрессии по зависимости предела прочности при растяжении, относительного удлинения, балла пористости по шкале ВИАМ и объема

выделяющейся пыли при флюсовой обработке сплава АК9 от содержания в рафинирующем флюсе Na_3AlF_6 , Na_2CO_3 и $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, что позволило оптимизировать состав рафинирующего флюса (17 % Na_3AlF_6 , 10 % Na_2CO_3 , 5 % $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, 13 % KCl , 55 % NaCl), обеспечивающего для сплава АК9 получение заданного уровня механических свойств ($\sigma_b \geq 200$ МПа; $\delta \geq 7,0$ %) и балла пористости по шкале ВИАМ ($\Pi \leq 2$) при минимальных выбросах пыли 4,4 г [8–10, 18–22].

6. Установлено, что взаимодействие рафинирующего препарата с NaNO_3 со сплавом АК9 обеспечивает балл пористости ниже 2, частичное модифицирование включений эвтектического кремния восстановленным натрием из его оксида, что приводит к повышению прочности на 7–9 % и относительного удлинения на 40–44 % по сравнению с исходным сплавом [8].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Использование разработанного флюса (ТУ ВУ 100354447.083-2011) для рафинирования сплава АК5М2 в печи сопротивления емкостью 100 кг обеспечивает снижение объема выделяющейся пыли по сравнению с обработкой стандартным флюсом в 3,3 раза, а приведенный показатель выбросов – в 2,5 раза. Использование данного флюса при выплавке сплава АК12М2МгН из лома алюминиевых сплавов в пламенной печи обеспечивает по сравнению с применением стандартного флюса увеличение металлургического выхода на 2,2 %, снижение остаточного содержания алюминия в шлаке на 33 % и удельного выброса пыли на 20 %. Реализация новой технологии рафинирования в условиях литейного цеха НПООО «Время-V» позволит получить суммарный годовой экономический эффект около 165 млн руб. в ценах февраля 2011 г. за счет снижения расхода шихтовых материалов, затрат на захоронение отвального шлака, стоимости флюса и размера экологического налога.

Предложенный рафинирующий препарат с NaNO_3 (ТУ ВУ 100354447.084-2011) обеспечивает снижение приведенных удельных выбросов по сравнению с обработкой гексахлорэтаном в 1,55 раза и может найти применение для рафинирования силуминов в электрических тигельных печах.

Опытные партии флюса (57,5 т) и рафинирующего препарата (2,5 т) изготовлены по разработанным техническим условиям на ООО «ПромФильтр» (г. Сморгонь) и поставлены на промышленные предприятия Республики Беларусь, Украины и Российской Федерации.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в научных журналах

1. Исследование пылегазовых выбросов, образующихся при плавке и рафинировании алюминиевых сплавов в отражательных печах / С.П. Задруцкий, Б.М. Немененок, Г.А. Румянцева, А.П. Бежок // Литье и металлургия. – 2009. – № 1. – С. 78–85.
2. О вредных выбросах при плавке и рафинировании сплава АК9 в индукционных тигельных печах ИАТ-2,5 и ИАТ-6 / Б.М. Немененок, Г.А. Румянцева, С.П. Задруцкий, А.П. Бежок // Металлургия машиностроения. – 2009. – № 4. – С. 43–46.
3. Пылегазообразование при плавке и рафинировании силуминов в печи САН-2,5 / Г.А. Румянцева, Б.М. Немененок, С.П. Задруцкий, А.П. Бежок // Литейное производство. – 2009. – № 11. – С. 28–31.
4. Особенности пылегазовых выбросов при рафинировании алюминиевых сплавов хлорсодержащими соединениями / С.П. Задруцкий, Г.А. Румянцева, Б.М. Немененок, А.П. Бежок // Литье и металлургия. – 2009. – № 4. – С. 60–63.
5. Румянцева, Г.А. Пылегазовые выбросы, образующиеся при плавке алюминиевых литейных сплавов в индукционной тигельной печи ИАТ-6 / Г.А. Румянцева, Б.М. Немененок, С.П. Задруцкий // Литье и металлургия. – 2009. – № 4. – С. 55–59.
6. Пылегазовые выбросы при плавке алюминиевых отходов в короткопламенной роторной печи / Б.М. Немененок, Г.А. Румянцева, Л.В. Трибушевский, С.П. Задруцкий // Металлургия машиностроения. – 2010. – № 1. – С. 15–19.
7. Влияние технологии плавки в короткопламенной роторной печи на состав пылегазовых выбросов / Б.М. Немененок, Г.А. Румянцева, Л.В. Трибушевский, С.П. Задруцкий // Литье и металлургия. – 2010. – № 1–2. – С. 149–153.
8. Повышение экологической безопасности процессов рафинирования силуминов за счет использования низкотоксичных флюсов и препаратов / Г.А. Румянцева, Б.М. Немененок, С.П. Задруцкий, А.М. Муравицкий // Литье и металлургия. – 2010. – № 4. – С. 77–82.
9. Немененок, Б.М. Сокращение выбросов загрязняющих веществ при рафинировании силуминов флюсами / Б.М. Немененок, Г.А. Румянцева, С.П. Задруцкий // Ползуновский альманах. – 2010. – № 1. – С. 25–26.
10. Экологические и экономические аспекты рафинирующей обработки силуминов / Г.А. Румянцева, Б.М. Немененок, С.П. Задруцкий, А.П. Бежок, О.Е. Козлова // Литье и металлургия. – 2011. – № 3. – С. 32–34.

Статьи в научных сборниках

11. Определение объемов и состава вредных выбросов, образующихся при плавке сплава АК9 в индукционных тигельных печах ИАТ-2,5 / Б.М. Немененок, С.П. Задруцкий, Г.А. Румянцева, А.П. Бежок // *Металлургия : Респ. межвед. сб. науч. тр.* – Минск : БНТУ, 2009. – Вып. 32. – С. 98–104.

12. Анализ состава и объемов вредных выбросов, образующихся при работе флюсоплавильных установок и в процессе рафинирующей модифицирующей обработки силуминов / Б.М. Немененок, Г.А. Румянцева, С.П. Задруцкий, А.П. Бежок // *Металлургия : Респ. межвед. сб. науч. тр.* – Минск : БНТУ, 2009. – Вып. 32. – С. 113–120.

Материалы конференций

13. Немененок, Б.М. Проблемы экологии при производстве отливок из алюминиевых сплавов / Б.М. Немененок, Г.А. Румянцева, С.П. Задруцкий // *Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейном производстве : материалы II междунар. науч.-техн. конф., Краматорск, 07–11 сен. 2009 г. / Донбас. гос. машиностр. акад. ; под ред. А.Н. Фесенко.* – Краматорск, 2009. – С. 154–156.

14. Немененок, Б.М. Проблемы экологической безопасности при рафинировании силуминов / Б.М. Немененок, С.П. Задруцкий, Г.А. Румянцева // *Неметаллические включения и газы в литейных сплавах : материалы XII междунар. науч.-техн. конф., Запорожье, 22–25 сен. 2009 г. / Запорож. нац. тех. ун-т. ; под ред. В.В. Лунева.* – Запорожье, 2009. – С. 129–130.

15. Вопросы экологической безопасности при плавке и рафинировании силуминов в индукционных тигельных печах / Г.А. Румянцева, Б.М. Немененок, С.П. Задруцкий, А.П. Бежок // *Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производств : сб. науч. тр. X междунар. науч.-практ. конф., Барнаул, 19–20 нояб. 2009 г. / Алтайский гос. тех. ун-т ; под ред. А.М. Гурьева и В.А. Маркова.* – Барнаул, 2009. – С. 71–74.

16. Экологически чистые технологии модифицирующей обработки алюминиевых расплавов / С.П. Задруцкий, Б.М. Немененок, Л.В. Трибушевский, Г.А. Румянцева // *Наука – образованию, производству, экономике : материалы VII междунар. науч.-техн. конф. : в 3 т. / Белорус. нац. тех. ун-т ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.].* – Минск, 2009. – Т. 1. – С. 189–190.

17. Румянцева, Г.А. Состав пылегазовых выбросов при плавке отходов алюминиевых сплавов в короткопламенной роторной печи / Г.А. Румянцева, Б.М. Немененок, Л.В. Трибушевский // *Наука – образованию, производству, экономике : материалы VIII междунар. науч.-техн. конф. : в 3 т. / Белорус. нац. тех. ун-т : редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.].* – Минск, 2010. – Т. 1. – С. 286.

18. Румянцева, Г.А. Оценка рафинирующей способности низкотоксичных препаратов для обработки алюминиевых литейных сплавов / Г.А. Румянцева, С.П. Задруцкий, Б.М. Немененок // Наука – образованию, производству, экономике : материалы VIII междунар. науч.-техн. конф. : в 3 т. / Белорус. нац. тех. ун-т ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2010. – Т. 1. – С. 287.

19. Румянцева, Г.А. Возможности энерго- и ресурсосбережения при производстве отливок из алюминиевых сплавов / Г.А. Румянцева // Энергоэффективные технологии. Образование. Наука. Практика : материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 20–21 мая 2010 г. : в 3 т. Белорус. нац. тех. ун-т ; под ред. В.Л. Соломахо. – Минск, 2010. – Т. 2. – С. 167–169.

Тезисы докладов

20. Румянцева, Г.А. Использование карбонатных флюсов для повышения эффективности переработки алюминиевого лома / Г.А. Румянцева, С.П. Задруцкий, Б.М. Немененок // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии : материалы междунар. науч.-техн. конф., Гродно, 20–21 окт. 2011 г. / ГНУ «Науч.-исслед. центр проблем ресурсосбер. НАН Беларуси» ; редкол.: А.И. Свириденко [и др.]. – Гродно, 2011. – С. 72–73.

21. Бежок, А.П. Флюсовая обработка расплава и экология / А.П. Бежок, Г.А. Румянцева, Б.М. Немененок // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии : материалы междунар. науч.-техн. конф., Гродно, 20–21 окт. 2011 г. / ГНУ «Науч.-исслед. центр проблем ресурсосбер. НАН Беларуси» ; редкол.: А.И. Свириденко [и др.]. – Гродно, 2011. – С. 72.

Патенты

22. Рафинирующий флюс для алюминия и его сплавов : решение о выдаче патента на изобретение : Респ. Беларусь, МПК С22В9/10, 21/06 / Б.М. Немененок, Г.А. Румянцева, И.Л. Зыкович, С.П. Задруцкий, А.П. Бежок, Г.В. Довнар, А.М. Михальцов, В.А. Розум ; заявитель БНТУ. – № а20100619 ; заявл. 2010.04.23.

РЭЗІЮМЭ

РУМЯНЦАВА Галіна Анатольеўна

Нізкатаксічныя флюсы і прэпараты, якія забяспечваюць экалагічную бяспеку працэсаў плаўкі і рафінавання сілумінаў

Ключавыя словы: флюсы, прэпараты, плаўка, сілумыны, рафінаванне, хларыды, выкіды, экалогія, карбанаты, эфектыўнасць.

Мэта работы – распрацоўка саставаў нізкатаксічных флюсаў і прэпаратаў, якія забяспечваюць павышэнне экалагічнай бяспекі пры плаўцы і рафінаванні сілумінаў.

Метады даследавання і апаратура: вымярэнне мяжы трываласці (машына Р-5), выкідаў пылу (аспіратар ОП 221 ТЦ, шалі ВЛ-210), газаў (газааналізатар MSI 150 «EURO», індыкатарныя трубка «Dräger»), порыстасці (камп'ютарная сістэма з лічбавай відэакамерай); электронная мікраскапія (ІЕМ-100, VEGA-II); рэнтгенаструктурны аналіз (ДРОН-1,5); металаграфія (металаграфічны комплекс МГК-1).

Атрыманя вынікі і іх навізна: устаноўлены перыяды максімальных выкідаў пылу і газу ў залежнасці ад тыпу плавільнага аграгата, тэхналогіі плаўкі і спосабаў рафінавання сілумінаў. Вызначаны асноўныя прычыны выдзялення высокатаксічных хларыдаў і фтарыдаў. Устаноўлена залежнасць механічных уласцівасцяў, бала порыстасці і колькасці пылу, што ўтвараецца пры флюсавай апрацоўцы сплаву АК9, ад утрымання ў рафінуючым флюсе Na_2CO_3 , Na_3AlF_6 і $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$. Прапанаваны аптымізаваны састаў флюсу з мінімальнымі выкідамі пылу і рафінуючы прэпарат з NaNO_3 . Пры апрацоўцы сплаву АК5М2 у печы супраціўлення прапанаваным флюсам выкіды пылу паніжаюцца ў 3,3 разы, а прыведзены паказчык удзельных выкідаў у 2,5 разы ніжэй, чым пры рафінаванні стандартным флюсам.

Ступень выкарыстання: распрацаваны тэхнічныя ўмовы на вопытную партыю флюсу і рафінуючага прэпарату. Выраблены вопытныя партыі флюсу (57,5 т) і рафінуючага прэпарату (2,5 т), якія пастаўлены на прадпрыемствы Рэспублікі Беларусь, Украіны і Расійскай Федэрацыі. Выкарыстанне распрацаванага флюсу пры выплаўцы 960 т чушкавага сплаву АК12М2МгН з лому алюмініявых сплаваў у палымянай печы з аплавачным подам дазволіць атрымаць эканамічны эфект каля 165 млн руб. у цэнах лютага 2011 г.

РЕЗЮМЕ

РУМЯНЦЕВА Галина Анатольевна

Низкотоксичные флюсы и препараты, обеспечивающие экологическую безопасность процессов плавки и рафинирования силуминов

Ключевые слова: флюсы, препараты, плавка, силумины, рафинирование, хлориды, выбросы, экология, карбонаты, эффективность.

Цель работы – разработка составов низкотоксичных флюсов и препаратов, обеспечивающих повышение экологической безопасности при плавке и рафинировании силуминов.

Методы исследования и аппаратура: измерение предела прочности (машина Р-5), выбросов пыли (аспиратор ОП 221 ТЦ, весы ВЛ-210), газов (газоанализатор MSI 150 «EURO», индикаторные трубки «Dräger»), пористости (компьютерная система с цифровой видеокамерой); электронная микроскопия (IEM-100, VEGA-II); рентгеноструктурный анализ (ДРОН-1,5); металлография (металлографический комплекс МГК-1).

Полученные результаты и их новизна: установлены периоды максимальных выбросов пыли и газа в зависимости от типа плавильного агрегата, технологии плавки и способов рафинирования силуминов. Определены основные причины выделения высокотоксичных хлоридов и фторидов. Установлена зависимость механических свойств, балла пористости и количества образующейся пыли при флюсовой обработке сплава АК9 от содержания в рафинирующем флюсе Na_2CO_3 , Na_3AlF_6 и $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$. Предложен оптимизированный состав флюса с минимальными выбросами пыли и рафинирующий препарат с NaNO_3 . При обработке сплава АК5М2 в печи сопротивления предложенным флюсом выбросы пыли снижаются в 3,3 раза, а приведенный показатель удельных выбросов в 2,5 раза ниже, чем при рафинировании стандартным флюсом.

Степень использования: разработаны технические условия на опытную партию флюса и рафинирующего препарата. Изготовлены опытные партии флюса (57,5 т) и рафинирующего препарата (2,5 т), которые поставлены на предприятия Республики Беларусь, Украины и Российской Федерации. Использование разработанного флюса при выплавке 960 т чушкового сплава АК12М2МгН из лома алюминиевых сплавов в пламенной печи с оплавочным подом позволит получить экономический эффект около 165 млн руб. в ценах февраля 2011 г.

Репозиторий БНТУ

RESUME

Rumyantseva Galina Anatolyevna

Low-toxic fluxes and preparations providing ecological safety of silumins' melting and refining processes

Key words: fluxes, preparations, melting, silumins, refining, chlorides, emissions, ecology, carbonates, effectiveness.

Aim of work: development of compositions of low toxic fluxes and preparations providing the increase of ecological safety during melting and refining of silumins.

Methods of investigations and apparatuses: measurements of tensile strength (unit P-5), dust emissions (aspirator OP221TC, balances VL-210), gases compositions (gas analyzer MSI 150 «EURO», indicative pipes «Dräger»), porosity (computer system with digital video camera); electronic microscopy (IEM-100 VEGA-II); X-ray analysis (DRON-1,5); metallographic study (complex MGK-1).

Obtained results and their novelty: Periods of maximum emissions of dust and gases depending on type of melting furnace, melting technology and refining method of silumins have been established. Main reasons of emission of high-toxic chlorides and fluorides are determined. Dependence of mechanical properties, porosity mark and amount of formed dust during flux treatment of alloy AK9 on the content in refining flux of Na_2CO_3 , Na_3AlF_6 and $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ are established. Optimized composition of flux with minimum emission of dust is proposed as well as refining preparation with NaNO_3 . Dust emissions decrease in 3,3 times during the treatment of alloy AK5M2 with developed flux in electric furnace. Moreover, reduced value of specific emissions in 2,5 times is lower compared to refining with standard flux.

Degree of usage: Technical requirements on pilot set of flux and refining preparation are developed. Pilot sets of flux (57,5 tons) and refining preparation (2,5 tons) have been manufactured and supplied to enterprises of Republic of Belarus, Ukraine and Russian Federation. Application of flux developed during the melting in flame furnace with melted bottom of 960 tons of pig alloy AK12M2MgN made of aluminum alloys' scrap allows obtaining an economical effect about 165 millions rubles (prices in February 2011).