

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 669.715

АРАБЕЙ
Анастасия Витальевна

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ СПОСОБЫ СИНТЕЗА СИЛУМИНОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КВАРЦОСодЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ,
ЛОМА И ОТХОДОВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

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

Минск, 2014

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный руководитель

Рафальский Игорь Владимирович,
кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры «Металлургия литейных сплавов»
Белорусского национального технического
университета

Официальные оппоненты:

Волочко Александр Тихонович,
доктор технических наук, заведующий
лабораторией микрокристаллических и
аморфных материалов Государственного
научного учреждения «Физико-технический
институт» НАН Беларуси;

Волосатиков Виктор Игоревич,
кандидат технических наук, доцент,
заместитель начальника управления науки и
инновационной деятельности Министер-
ства образования Республики Беларусь

Оппонирующая организация

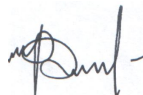
Государственное научное учреждение
«Институт технологии металлов НАН
Беларуси»

Защита состоится « 14 » марта 2014 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. 1, ауд. 202, тел. ученого секретаря 292-81-85.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан « 11 » февраля 2014 г.

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



В.М.Константинов

© Арабей А.В., 2014

© Белорусский национальный
технический университет, 2014

Введение

В настоящее время в промышленности широко применяются изделия различного назначения из сплавов на основе алюминия. Из общей номенклатуры алюминиевых сплавов, используемых в промышленном производстве, сплавы системы Al–Si занимают основное место. В связи с высокой стоимостью и дефицитностью первичных алюминиевых сплавов, производители изыскивают возможность экономии путем выплавки силуминов из вторичного металло сырья и отходов собственного производства с использованием необходимых легирующих добавок, прежде всего, кристаллического кремния. Существенная часть перерабатываемого вторичного металло сырья состоит из лома и отходов сплавов на основе алюминия с повышенным содержанием магния, использование которых для выплавки заданных марок сплавов ограничено требованиями действующих стандартов по химическому составу. Расширение ресурсной базы шихтовых материалов и снижение себестоимости изготовления алюминиевых сплавов требует разработки эффективных ресурсосберегающих методов металлургической переработки лома и отходов сплавов на основе алюминия, в том числе с повышенным содержанием магния, и использования недорогих и доступных кремнийсодержащих материалов взамен кристаллического кремния.

Одними из наиболее доступных и недорогих кремнийсодержащих материалов являются кварцевые пески с содержанием оксида кремния до 99 %, который может быть использован для восстановления кремния расплавом алюминия. Однако имеющиеся в литературе данные свидетельствуют о том, что до настоящего времени эффективных ресурсосберегающих способов синтеза сплавов системы алюминий-кремний требуемого качества с использованием материалов на основе оксида кремния с высокими показателями металлургического выхода не разработано. Это объясняется высокой химической устойчивостью оксидов кремния в расплавах алюминия вследствие практически полного отсутствия их смачиваемости жидким алюминием. Опубликованные результаты научных исследований показывают возможность протекания восстановительной реакции в системе Al–SiO₂ с образованием свободного кремния. Тем не менее, условия проведения описанных экспериментов по восстановлению кремния из его оксида в расплавах алюминия связаны с применением специального оборудования или особых технологических операций, что не обеспечивает возможность практической реализации эффективной технологии производства синтетических сплавов на основе кварцевых песков. В связи с этим научное обоснование ресурсосберегающего синтеза силуминов, полученных на основе вторичного металло сырья и кварцсодержащих материалов, является актуальной задачей, решение которой представляет научный и практический интерес.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Диссертационная работа выполнена на кафедре «Металлургия литейных сплавов» Белорусского национального технического университета в рамках НИР БНТУ и соответствует перечню приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 годы «Новые материалы для промышленности, медицины и строительства, наукоемкие технологии их производства. Metallургические и литейные процессы: новые композиционные материалы на основе металлов, керамики и углерода, нано- и микроструктурированные материалы и способы их синтеза, нанотехнологии, моделирование и создание адаптивных материалов».

Научные исследования проводились в рамках задания 4.4.04/3 ГПНИ «Функциональные и композиционные материалы, наноматериалы» (№ г.р. 20113926, 2011–2013 гг.); комплексного проекта Министерства образования Республики Беларусь «Разработка теоретических основ, экспериментальные исследования и создание макетов (и экспериментальных образцов) приборов», задание «Разработка и создание опытного образца универсальной микропроцессорной системы для термического анализа металлов и сплавов» (№ госрегистрации 20064218, 2006–2008 гг.); гранта студентов и аспирантов Министерства образования Республики Беларусь «Компьютерный анализ фазовых превращений в алюминиевых сплавах с учетом металлургической наследственности» (№ госрегистрации 20090484, 2009 г.).

Цель и задачи исследования

Цель работы – разработка ресурсосберегающих способов синтеза сплавов на основе системы Al–Si с использованием кварцсодержащих материалов, лома и отходов алюминиевых сплавов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Исследовать влияние количества, состава кварцсодержащего материала, способов обработки компонентов и температурно-временных режимов приготовления композиций на основе системы Al–SiO₂ на процессы межфазного взаимодействия оксида кремния с алюминием.

2. Исследовать влияние основных легирующих элементов и примесей, содержащихся в компонентах алюмоматричных кварцсодержащих композиций, на процесс восстановления кремния из его оксидов в сплавах на основе алюминия.

3. Разработать составы, способы получения и обработки компонентов алюмоматричных кварцсодержащих композиций, обеспечивающие возможность ресурсосберегающего синтеза Al–Si сплавов доэвтектического, эвтектического и заэвтектического составов методом прямого восстановления кремния из его

оксида в расплавах алюминия в плавильных печах без применения в составе шихты кристаллического кремния.

4. Разработать и провести опытно-промышленное апробирование технологических режимов ресурсосберегающего синтеза высококремнистых синтетических алюминий-кремниевых сплавов из композиций на основе системы Al-SiO₂, полученных с использованием лома и отходов магнийсодержащих сплавов на основе алюминия, кварцевого песка и дисперсных отходов кристаллического кремния.

Объект исследования: металлургические процессы получения сплавов на основе системы Al-Si.

Предмет исследования: ресурсосберегающие способы синтеза сплавов на основе системы Al-Si, полученных в процессе металлургической переработки лома и отходов алюминиевых сплавов с использованием кварцсодержащих материалов.

Положения, выносимые на защиту

1. Установленные зависимости влияния повторного переplava алюмоматричных кварцсодержащих композиций на процесс восстановления кремния в расплаве алюминия, которые позволили разработать новый способ получения Al-Si сплавов (патент РФ № 14528), заключающийся в циклической температурной обработке расплава путем нагрева его выше температуры плавления алюминия и охлаждения ниже температуры солидус системы Al-Si.

2. Установленные закономерности взаимодействия алюминия с оксидом кремния в алюмоматричных кварцсодержащих композициях при повторном расплавлении, обеспечивающие прямое восстановление кремния в расплавах алюминия из оксида кремния, позволившие предложить новый способ получения алюминий-кремниевых сплавов с использованием алюмоматричных композиций на основе системы Al-SiO₂ (патент РФ № 16558), заключающийся в механическом замешивании SiO₂ в матричный алюминиевый расплав при температуре в интервале его кристаллизации с последующим затвердеванием и расплавлением полученной композиции.

3. Установленные зависимости влияния размера фракции, способов обработки и содержания кварцевого песка в алюмоматричных композициях на основе системы Al-SiO₂, температурно-временных режимов получения алюмоматричных композиций на процессы взаимодействия SiO₂ с алюминием, обеспечивающие возможность восстановления кремния из его оксида до 95 % и получения синтетического силумина с металлургическим выходом до 87–90 %.

4. Теоретически обоснованные и экспериментально подтвержденные результаты влияния основных легирующих элементов и примесей, содержащихся в компонентах алюмоматричных композиций (Mg до 5 %; Cu 3 %; Ti 0,3 %; Mn 1 %; Fe 2 %), на процесс восстановления кремния из его

оксидов в сплавах на основе алюминия, что обеспечивает возможность использования при синтезе марочных алюминиевых сплавов лом и отходы сплавов на основе алюминия с содержанием магния до 5 %.

5. Полученные уравнения регрессии для расчета содержания кремния в сплаве, синтезированном из алюмоматричной композиции, в зависимости от содержания в ней SiO_2 и дисперсных отходов кремния, что позволило оптимизировать составы и технологические режимы ресурсосберегающего синтеза заэвтектических алюминиево-кремниевых сплавов, обеспечивающих максимальное содержание кремния в синтезированном сплаве на уровне 25–26 % при использовании до 35 % кварцевого песка и до 15 % отходов кристаллического кремния при 800–850 °С.

Личный вклад соискателя

Основные научные и практические результаты диссертации, положения, выносимые на защиту, разработаны и получены лично соискателем или при его непосредственном участии. Автор принимал участие в проведении экспериментальных исследований, анализе и интерпретации полученных результатов, апробации разработанных способов синтеза сплавов системы Al–Si в лабораторных и производственных условиях, формулировке выводов работы, подготовке и написании публикаций по теме диссертации.

Определение целей и задач исследования, обсуждение и обобщение основных научных результатов исследований проводились совместно с научным руководителем, к.т.н., доцентом И.В. Рафальским.

Вклад соавторов совместных публикаций по теме диссертации состоял в обсуждении полученных результатов, помощи в оценке возможностей их практического использования. Соавторы совместных работ д.т.н., профессор Немененок Б.М., к.т.н, доцент Довнар Г.В. принимали участие в обсуждении и выработке рекомендаций для практического использования результатов работы. Обсуждение результатов металлографического и химического анализов проводили при участии д.т.н., профессора Чауса А.С. и старшего преподавателя Григорьева С.В. Старшему научному сотруднику Киселеву С.В. принадлежит разработка аппаратно-элементной базы устройства для проведения компьютерного термического анализа исследованных сплавов. Остальные соавторы занимались изучением вопросов, не затрагивающих положений, выносимых на защиту диссертационной работы.

Апробация результатов диссертации

Основные результаты работы доложены и обсуждены на Международных семинарах «International Doctoral Seminar» (Трнава, STU, 2009–2011), Международных научно-технических конференциях «Наука – образованию, производству, экономике» (Минск, БНТУ, 2011, 2012), Международных научно-технических конференциях «Проблемы и перспективы развития литейного,

сварочного и кузнечно-штамповочного производств», (Барнаул, АлтГТУ, 2009, 2011, 2012), Международном форуме-конкурсе молодых ученых «Проблемы недропользования» (Санкт-Петербург, 2011), III Международной научно-технической конференции «Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейном производстве» (Краматорск, ДГМА, 2011), Республиканской научной конференции студентов и аспирантов вузов Республики Беларусь «НИРС–2011» (Минск, 2011), IX Международной научно-технической конференции «Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии» (Гродно, ГрГУ, 2011), IX Международной научно-практической конференции «Литье. Металлургия. 2013» (Запорожье, 2013).

Опубликованность результатов диссертации

Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 30 научных работах, в том числе в 10 статьях в научно-технических журналах, включенных в перечень изданий ВАК Беларуси, 4 статьях в прочих изданиях, 10 материалах и 2 тезисах докладов республиканских и международных научно-технических конференций. Получены два патента Республики Беларусь на изобретение и два положительных решения на выдачу патентов. Общий объем материалов, опубликованных по теме диссертации, составляет 12,9 авторского листа.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Работа изложена на 165 страницах машинописного текста и содержит 87 иллюстраций, 53 таблицы, 152 использованных источника, 14 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **первой главе** проводится анализ современного состояния исследований в области процессов получения сплавов на основе системы Al–Si методами сплавления шихтовых материалов, восстановления легирующего компонента из его соединений, с использованием композиционных материалов на основе алюминиевых сплавов. Рассмотрены результаты научных работ, посвященных вопросам взаимодействия компонентов системы «расплав алюминия – оксид кремния» и особенностей протекания восстановительной реакции в этой системе с образованием свободного кремния.

Использование кварцсодержащих материалов, в том числе доступных и недорогих формовочных кварцевых песков, взамен кристаллического кремния обеспечивает возможность разработки ресурсосберегающих способов получения силуминов при условии решения проблемных задач, обусловленных особенностями физико-химического взаимодействия компонентов системы Al–SiO₂. Применение вторичного металлосырья, значительная часть которого состоит из лома и отходов деформируемых сплавов на основе алюминия с

повышенным содержанием магния, обеспечивает возможность существенного расширения ресурсной базы шихтовых материалов и снижение себестоимости изготовления отливок. В связи с этим научное обоснование ресурсосберегающего синтеза сплавов системы Al-Si, полученных на основе вторичного металлосырья и кварцевого песка, является актуальной задачей, решение которой представляет научный и практический интерес.

Во **второй главе** описываются используемые в работе материалы, методика проведения экспериментальных плавов, методы исследования микроструктуры и свойств сплавов. При проведении экспериментальных плавов использовалась электромиксерная установка для получения алюмоматричных композиций (АМК) методом совмещения компонентов системы Al-SiO₂ в гетерофазном (жидко-твёрдофазном) состоянии расплава в печи сопротивления типа САТ. В качестве исходных шихтовых материалов для получения АМК использовались алюминий первичный марки А7, лом и отходы алюминия и его сплавов (I, II, IV, VI групп), алюминиевый литейный сплав марки АК7, песок формовочный кварцевый (2K₂O₂02, 2K₂O₂03), стекло кварцевое, дисперсные отходы кремния кристаллического. В качестве легирующих элементов использовались металлы I, II, IV, VII, VIII групп: Mg, Mn, Cu, Fe, Ti. Приведено описание методов металлографического анализа с использованием оборудования фирмы Buehler, оптических микроскопов «Neophot-32» и МИ-1. Анализ химического состава сплавов проводили на рентгенофлуоресцентном спектрометре «Спектроскан МАКС-GV» и рентгено-флуоресцентном спектрометре NITON XLt R898. Для идентификации фаз использовали микрорентгеноспектральный и рентгеноструктурный анализы, которые проводили на сканирующих электронных микроскопов JSM 7600F фирмы JEOL и VEGA II LMU с микроанализатором INCA Energy 350. Исследования осуществляли методом линейного сканирования вдоль выбранного линейного маршрута с записью распределения элементов, а также методом сканирования по площади в поглощенных электронах и характеристическом рентгеновском излучении элементов. Рентгеноструктурный анализ осуществляли на дифрактометре ДРОН-3. Оценка химической устойчивости кварцосодержащих материалов проводилась путем определения в сплаве содержания кремния, выделившегося в результате протекания восстановительной реакции с алюминием. Механические (предел прочности при растяжении и относительное удлинение) и технологические свойства (жидкотекучесть, пористость) определяли по стандартным методикам. Обработка экспериментальных данных проводилась с использованием методов статистического анализа.

Третья глава содержит результаты термодинамического анализа процессов межфазного взаимодействия в системе Al-SiO₂ с учетом полиморфных модификаций кремнезема, исследования влияния состава и технологических

параметров приготовления АМК на процесс восстановления кремния в расплавах алюминия.

Анализ термодинамических закономерностей межфазного взаимодействия в системе Al-SiO₂ проводился с учетом возможных полиморфных превращений компонентов системы и нелинейных зависимостей теплоемкости от температуры (по данным работ Рябина В.А., Остроумова М.А., Самсонова Г.В., Глушко В.П., Зефирова. А.П., Мищенко К.П. и др.), результаты которого подтвердили возможность прямого восстановления кремния расплавом алюминия из его оксидов в интервале температур плавки литейных алюминиевых сплавов.

Исследованы особенности влияния способов ввода материалов на основе оксида кремния в расплав алюминия и повторного переплава алюмоматричной кварцсодержащей композиции на процесс восстановления кремния.

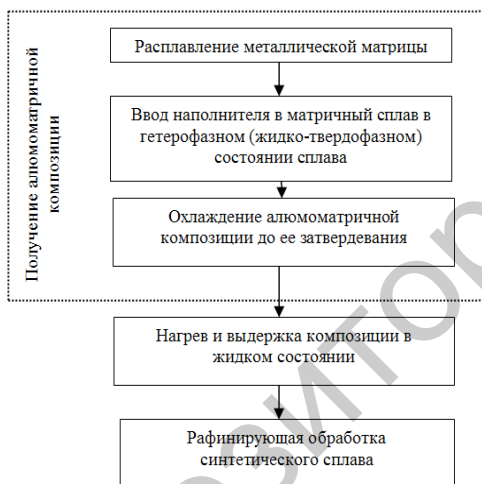


Рисунок 1 – Технологическая схема получения металломатричной композиции и синтетического сплава на ее основе

на основе результатов исследований разработан способ получения алюминиево-кремниевых сплавов, включающий введение кремнезема в расплавленный алюминий, после чего расплав алюминия с кремнеземом подвергают циклической температурной обработке путем нагрева расплава выше температуры ликвидус и его охлаждения ниже температуры солидус (патент Республики Беларусь № 14528).

Технологическая схема получения алюмоматричных композиций представлена на рисунке 1.

Установлено, что переplав АМК системы Al-SiO₂ способствует интенсивному восстановлению кремния и обеспечивает возможность получения сплавов с содержанием кремния, близким к теоретически возможному: в композициях с содержанием кварцсодержащего материала до 20 % с размером фракции частиц свыше 1 мм после 1–2 переplавов и с размером фракции частиц до 1 мм после 3–4 переplавов (рисунок 2). На

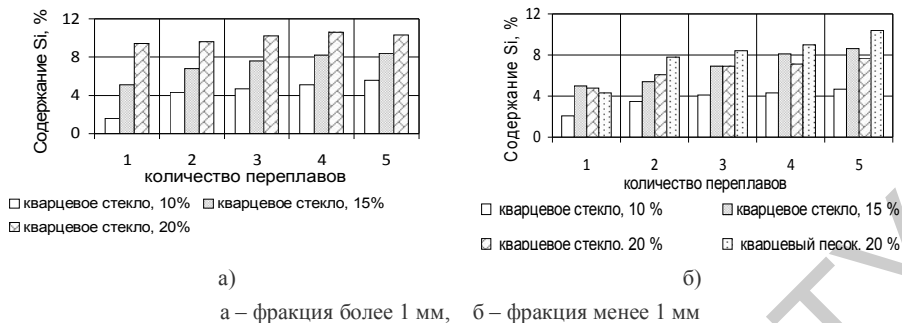


Рисунок 2 – Влияние циклической температурной обработки на содержание кремния в сплавах, полученных из АМК, содержащей 10–20 % кварцевого стекла и 20 % (от массы алюминия) кварцевого песка

Установлено влияние размера фракции кварцевого песка на содержание кремния в синтетическом сплаве и металлургический выход сплава, полученного из АМК: для частиц кварцевого песка с размером фракции от 0,1 до 1–1,6 мм наблюдаются наиболее высокие значения содержания кремния в синтезируемом сплаве и металлургического выхода (рисунок 3).

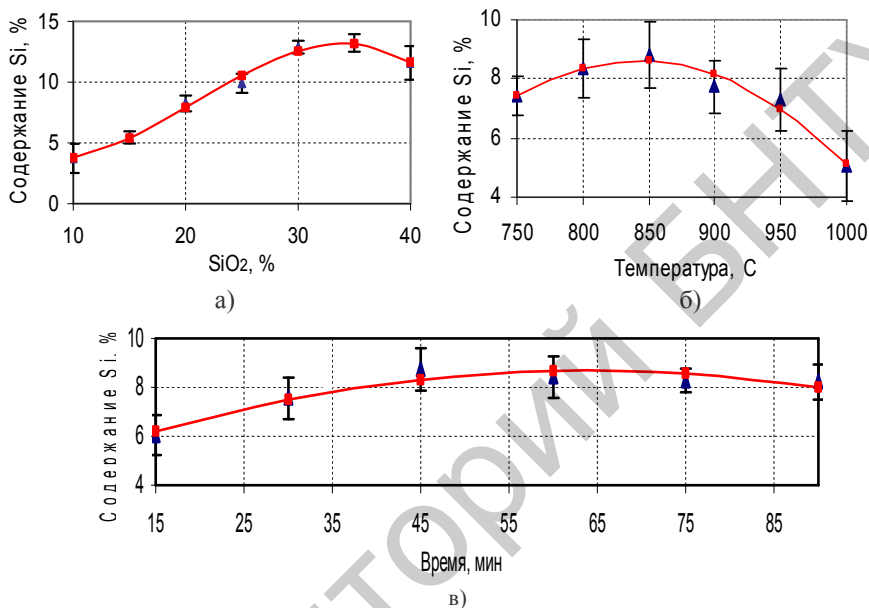


Рисунок 3 – Влияние размера фракции кварцевого песка на содержание кремния и металлургический выход синтетического Al–Si сплава

Получены математические модели и нелинейные зависимости, описывающие влияние температуры, времени и содержания кремнезема в АМК на выход кремния в синтетическом сплаве (рисунок 4).

Установлено, что оптимальное содержание кварцосодержащего наполнителя (формовочного кварцевого песка марки $2K_2O_2O_3$) в алюмоматричной композиции для получения синтетического сплава системы Al–Si с содержанием кремния 13–13,7 % составляет 30–35 % от массы алюминия. Содержание наполнителя в АМК свыше 35 % является избыточным, выход кремния при этом уменьшается. Оптимальными температурными режимами плавки алюмоматричной

композиции для получения синтетического сплава являются температуры 800–850 °С. При температуре свыше 950 °С наблюдается спекание частиц кварцевого песка, что препятствует протеканию восстановительной реакции кремнезема с алюминием. Оптимальное время выдержки АМК, содержащей 20 % кварцевого песка, в процессе получения синтетического сплава из АМК при температуре 800 °С составляет 40–60 мин.



▲ – экспериментальные данные —●— – расчетные зависимости

а – влияние содержания кварцевого песка в АМК на содержание кремния в сплаве (температура 800 °С, время выдержки 40 мин.); б – влияние температуры нагрева АМК на содержание кремния в сплаве (содержание песка 20 % от массы алюминия, время выдержки 40 мин.); в – влияние времени выдержки АМК на содержание кремния в сплаве (содержание песка 20 % от массы алюминия, температура 800 °С)

Рисунок 4 – Экспериментальные данные и расчетные зависимости влияния содержания кварцевого песка и параметров температурно-временной обработки алюмоматричных композиций на процесс восстановления кремния при синтезе сплавов системы Al–Si

Анализ полученных результатов позволил предложить механизм взаимодействия компонентов АМК, сопровождающийся восстановлением кремния из его оксида алюминием. Образование межатомных связей между компонентами композиции представляет собой многостадийную

топoхимическую реакцию, в которой возникновение физического контакта между компонентами реализуется в гетерофазном состоянии АМК. Развитие контактной поверхности обеспечивается требуемой выдержкой компонентов АМК в жидко-твердофазном и в твердом состоянии, что обуславливает возникновение прочных адгезионных связей между компонентами АМК. При затвердевании алюмоматричной композиции жидкая фаза претерпевает фазовый переход, сопровождаемый объемными изменениями, в результате которых частицы кварца оказываются стесненными металлической фазой матричного сплава, что обеспечивает развитие контактной поверхности между компонентами композиции. Начало интенсивного химического взаимодействия между компонентами АМК обеспечивается достижением требуемой температуры композиции 800–850 °С.

Четвертая глава посвящена изучению особенностей влияния основных легирующих элементов и примесей, содержащихся в компонентах АМК, на процесс восстановления кремния при синтезе алюминий-кремниевых сплавов.

Установлено, что при использовании АМК на основе алюминия и 20 % кварцевого песка, использованного после его гидравлической обработки и последующей сушки, содержание кремния в расплаве алюминия увеличивается в среднем в 1,6 раза, что объясняется снижением количества оксидных соединений щелочных металлов (натрия, калия), уменьшением количества аутигенных пленок на поверхности частиц песка и уменьшением доли мелкоразмерной фракции.

Установлено, что основные легирующие элементы и примеси марочных сплавов на основе алюминия (Mg, Cu, Ti, Mn, Fe) отрицательного влияния на восстановление кремния из его оксида и металлургический выход синтетического силумина не оказывают. При этом в процессе жидко-твердофазного совмещения компонентов АМК магний оказывает положительное влияние на процесс замешивания кварцевого песка в матричный расплав на основе алюминия. Наличие магния в расплаве алюминия интенсифицирует процессы химического восстановления кремния алюминием в АМК по границам силикатных фаз. Максимальное содержание кварцевого песка со средним размером частиц 0,2–0,3 мм, при котором компоненты алюмоматричной композиции находятся в связанно-структурированном состоянии, составляет 35–40 % (масс.) для нелегированной магнием алюминиевой матрицы, 45–50 % (масс.) – для алюминиевой матрицы, дополнительно легированной 1 % магния, и 55–60 % (масс.) – для алюминиевой матрицы, дополнительно легированной 3 % магния. Обнаружено, что магний при первоначальном содержании 1–5 % (масс.) в алюмоматричной композиции на основе системы Al-35%SiO₂ в процессе синтеза Al–Si сплава практически полностью взаимодействует с кварцевым песком с образованием оксида магния,

переходящего в шлак. Это обеспечивает возможность использования низкосортных лома и отходов алюминиевых сплавов с повышенным и высоким содержанием магния для получения синтетических сплавов системы Al–Si из АМК.

Установлено, что процесс восстановления кремния алюминием в АМК протекает преимущественно в жидком состоянии композиции (рисунок 5).

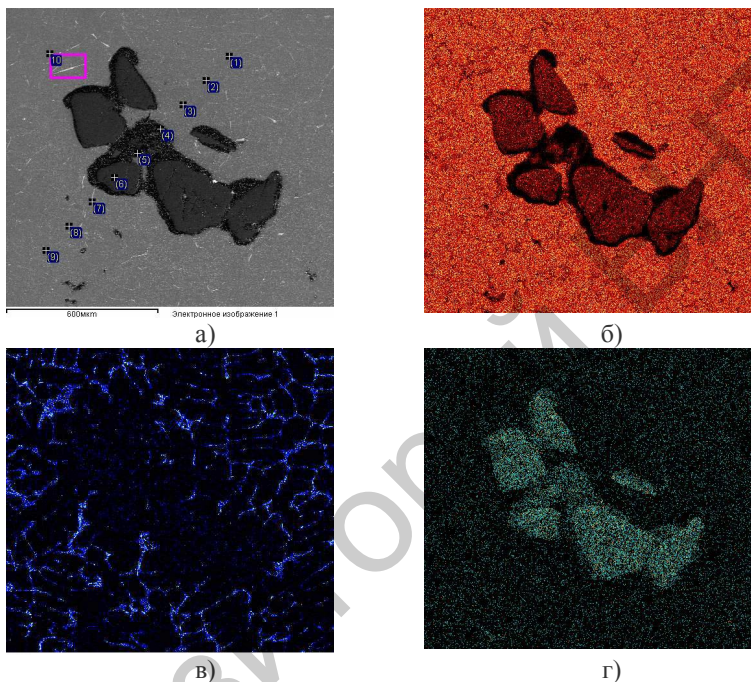


Рисунок 5 – Электронное изображение (а) и распределение элементов в характеристическом рентгеновском излучении АМК системы Al-10%SiO₂ после ее расплавления и выдержки в течение 45 мин при температуре 850 °С: б) Al; в) Si; г) O

Термическая обработка АМК на основе системы Al–SiO₂ (550 °С с выдержкой в течение 6 часов), ее повторный переплав при небольшом перегреве над линией ликвидус (до 50 °С) и кратковременной выдержке (до 10 мин) не оказывает существенного влияния на процесс восстановления кремния алюминием из его оксида.

Пятая глава диссертации посвящена получению синтетических сплавов и лигатур на основе системы Al–Si из лома, отходов алюминиевых сплавов, кристаллического кремния и кварцевого песка.

Решена задача ресурсосберегающего синтеза высококремнистых сплавов системы Al–Si с использованием АМК на основе лома, отходов алюминиевых сплавов (основа композиции), дисперсных отходов кристаллического кремния и кварцевого песка (наполнители композиции), для получения алюминиево-кремниевой лигатуры с содержанием кремния свыше 20 %. Ввод компонентов наполнителя осуществлялся как совместно, так и раздельно в две стадии. Установлено, что совместный ввод компонентов наполнителя в алюминиевую матрицу является нецелесообразным, т.к. приводит к расслоению алюмоматричной композиции при превышении допустимых содержаний дисперсных частиц наполнителя в алюминиевой матрице. Более целесообразным способом синтеза высококремнистых сплавов с содержанием Si свыше 20 % является ввод наполнителя при приготовлении АМК последовательно в две стадии. Построены математические модели для оценки оптимальной концентрации наполнителя в АМК, обеспечивающих возможность синтеза высококремнистых сплавов системы Al–Si с содержанием Si до 25–26 %, с использованием в качестве наполнителя АМК кварцевого песка и отходов кристаллического кремния:

$$y = 3,4625 + 0,1775 \cdot x_1 + 1,115 \cdot x_2 ;$$

$$y = -42,1995 + 2,2631 \cdot x_1'' + 1,7979 \cdot x_2'' - 0,06052 \cdot x_1'' \cdot x_2'' ,$$

где y – содержание Si в синтетическом сплаве, %; x_1, x_1'' – количество первой порции наполнителя (кварцевого песка), введенного в АМК (x_1 варьируется в пределах 20–30 %; x_1'' варьируется в пределах 15–25 %), %; x_2, x_2'' – количество второй порции наполнителя (отходов кристаллического кремния (варьируется в пределах 10–15 %) и кварцевого песка (варьируется в пределах 25–35 %), соответственно), введенного в АМК, %.

Применение разработанных ресурсосберегающих способов синтеза силуминов обеспечивают возможность использования в составе шихты кварцевых песков взамен кристаллического кремния, низкосортowego лома и отходов алюминиевых сплавов, в том числе с повышенным содержанием магния, дисперсных отходов кристаллического кремния. Предлагаемые технологические режимы синтеза силуминов позволяют снизить энергозатраты на восстановление кристаллического кремния из его оксида расплавом алюминия за счет снижения температурных режимов плавки до 800–900 °С в плавильных агрегатах небольшой мощности.

На основе разработанной технологической схемы ресурсосберегающего синтеза высококремнистых алюминиево-кремниевых сплавов системы Al–Si из АМК были проведены опытно-промышленные испытания, в результате которых получены лигатуры (рисунок 6) с содержанием кремния до 25–29 % (масс.), литейные сплавы

марок АК9 и АК9М2 (НИИЛ «Металлургия сплавов» БНТУ), АК7 (ОАО «Белцветмет») с использованием в составе шихты лома алюминия и его сплавов, формовочного кварцевого песка, медьсодержащих шлаков и магнийсодержащих отходов алюминиевых сплавов.

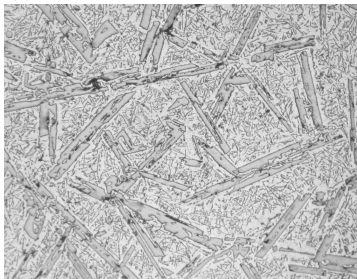


Рисунок 6 – Микроструктура литатуры Al-28,6%Si, полученной с использованием формовочного кварцевого песка, $\times 50$

Результаты проведенных исследований показали, что синтетические сплавы АК9, АК9М2 не уступают по технологическим и механическим свойствам сплавам, полученным по традиционной технологии сплавления алюминия с кристаллическим кремнием (предел прочности и относительное удлинение синтетических сплавов АК9 и АК9М2, полученных из АМК, выше на 6,5–20 % и 47–68 %, соответственно).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Установлено, что алюминий интенсивно взаимодействует с оксидом кремния в металлооксидных композициях на основе алюминия при повторном расплавлении и затвердевании: восстановление кремния до содержания, близкого к теоретически возможному, достигается в композициях с содержанием кварцсодержащего материала до 20 % с размером фракции частиц свыше 1 мм после 1–2 переплавов и с размером фракции частиц до 1 мм после 3–4 переплавов. На основании полученных данных предложен новый способ получения алюминиево-кремниевых сплавов, включающий введение кремнезема в расплавленный алюминий, отличающийся тем, что расплав алюминия с кремнеземом подвергают циклической температурной обработке путем нагрева расплава выше температуры ликвидус и его охлаждения ниже температуры солидус [1–4, 9, 15–19, 27].

2. Установлено, что расплавление и нагрев алюмоматричных композиций на основе системы Al-SiO₂, полученных путем совмещения кварцсодержащих наполнителей (до 35 % масс.) с алюминием, находящимся в гетерофазном (жидко-твердофазном) состоянии, с последующим затвердеванием композиции, сопровождается интенсивным процессом прямого восстановления кремния из его оксида при температуре 800–850 °С, что обеспечивает возможность ресурсосберегающего синтеза силуминов доэвтектического, эвтектического и заэвтектического составов в плавильных печах без применения

кристаллического кремния. На основании полученных результатов предложен новый способ получения алюминиево-кремниевого сплава, включающий введение кремнезема в алюминиевый расплав, отличающийся тем, что кремнезем вводят механическим замешиванием в матричный алюминиевый расплав в интервале кристаллизации, кристаллизуют, расплавляют, выдерживают при температуре выше линии ликвидус, рафинируют флюсом и сливают готовый расплав [4, 5, 7, 8, 11, 20–22, 24–26, 28, 29].

3. Предложен механизм взаимодействия компонентов алюмоматричной кварцсодержащей композиции, сопровождающийся восстановлением кремния из его оксида алюминием. Образование межатомных связей между компонентами алюмоматричной кварцсодержащей композиции представляет собой многостадийную топохимическую реакцию, в которой возникновение физического контакта между компонентами реализуется в гетерофазном состоянии АМК. Развитие контактной поверхности обеспечивается требуемой выдержкой компонентов АМК в жидко-твердофазном и в твердом состоянии, что обуславливает возникновение прочных адгезионных связей между компонентами АМК. При затвердевании алюмоматричной композиции жидкая фаза претерпевает фазовый переход, сопровождаемый объемными изменениями, в результате которых частицы кварца оказываются стесненными металлической фазой матричного сплава, что обеспечивает развитие контактной поверхности между компонентами композиции. Начало интенсивного химического взаимодействия между компонентами АМК обеспечивается достижением требуемой температуры композиции 800–850 °С [7, 8].

4. Получены зависимости по влиянию температуры, времени и количества формовочного кварцевого песка марки 2К₂О₂03 на содержание кремния, восстановленного алюминием из его оксида в алюмоматричной кварцсодержащей композиции. Установлено, что оптимальное содержание формовочного кварцевого песка в алюмоматричной композиции, обеспечивающее получение синтетического силумина с содержанием кремния 13–13,7 %, составляет 30–35 % от массы алюминия; оптимальными режимами плавки алюмоматричной композиции для получения синтетического силумина являются температура 800–850 °С и время выдержки 40–60 мин; оптимальный размер фракции кварцевого песка для получения синтетического сплава с содержанием кремния, близким к теоретически возможному, и металлургическим выходом до 87–90 % составляет от 0,1 до 1–1,6 мм. Установлено, что при использовании АМК на основе алюминия и 20 % кварцевого песка, использованного после его гидравлической обработки и последующей сушки, содержание кремния в расплаве алюминия увеличивается в среднем в 1,6 раза, что объясняется снижением количества оксидных соединений щелочных металлов (натрия, калия), уменьшением количества

аутигенных пленок на поверхности частиц песка и уменьшением доли мелкоразмерной фракции [5, 11, 20, 22, 24, 26].

5. На основе результатов термодинамических расчетов и экспериментальных исследований установлены особенности влияния основных легирующих элементов и примесей, содержащихся в компонентах алюмоматричных кварцсодержащих композиций, на процесс восстановления кремния из его оксидов в сплавах на основе алюминия, обеспечивающую возможность получения синтетических силуминов с использованием лома магнийсодержащих сплавов на основе алюминия. Установлено, что основные легирующие элементы и примеси сплавов на основе алюминия (в количестве: магний до 3 %, медь – 3 %, титан – 0,3 %, марганец – 1 %, железо – 2 %) отрицательного влияния на восстановление кремния из его оксида и металлургический выход синтетического силумина не оказывают. Алюминиево-кремниевые сплавы, синтезированные с использованием магнийсодержащих алюмоматричных композиций (до 5 % магния), практически не содержат в своем составе магний, что позволяет использовать лом и отходы алюминиевых сплавов с повышенным или высоким содержанием магния для производства марочных алюминиевых сплавов. Максимальное содержание кварцевого песка со средним размером частиц 0,2–0,3 мм, при котором компоненты алюмоматричной композиции находятся в связанно-структурированном состоянии, составляет 35–40 % (масс.) для нелегированной магнием алюминиевой матрицы, 45–50 % (масс.) – для алюминиевой матрицы, дополнительно легированной 1 % магния, и 55–60 % (масс.) – для алюминиевой матрицы, дополнительно легированной 3 % магния [6, 7, 8, 10, 13, 14, 20, 24].

6. Получены уравнения регрессии для расчета содержания кремния в сплаве, синтезированном из АМК, от содержания в ней SiO_2 и дисперсных отходов кремния, которые были использованы для оптимизации составов и технологических режимов ресурсосберегающего синтеза алюминиево-кремниевых лигатур, обеспечивающих максимальный выход кремния в синтезированном сплаве на уровне 25–26 % при использовании до 35 % кварцевого песка и до 15 % отходов кристаллического кремния при 800–850 °С [4, 8, 12, 14, 23, 25, 30].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработаны новые ресурсосберегающие способы получения алюминий-кремниевых сплавов с использованием алюмоматричных кварцсодержащих композиций на основе системы Al-SiO_2 , позволяющие получать сплавы системы Al-Si доэвтектического, эвтектического и заэвтектического составов в плавильных печах при температурах до 800–850 °С, с частичным использованием или без применения кристаллического кремния в составе

шихты на основе лома и отходов алюминиевых сплавов с содержанием магния до 5%.

Разработаны технологические режимы ресурсосберегающего синтеза высококремнистых синтетических сплавов системы Al-Si с содержанием кремния 13,8–25,9 % из алюмоматричных композиций, полученных с использованием формовочного кварцевого песка марки $2K_2O_2O_3$, порошковых отходов кристаллического кремния и лома сплавов на основе алюминия. Произведена в условиях лаборатории НИИЛ «Металлургия сплавов» БНТУ опытная партия алюминий-кремниевой лигатуры с содержанием кремния около 25 % (масс.), которая опробована для производства чушкового сплава АК7 на предприятии ОАО «Белцветмет». В НИИЛ «Металлургия сплавов» изготовлены опытные партии отливок из синтетических сплавов АК9 и АК9М2, полученных из алюминиевого лома I, VI групп и кварцевого песка.

Разработаны технические условия (ТУ ВУ 100354447.087-2012) на сплавы алюминиевые литейные синтетические. Разработаны и внедрены в НИИЛ «Металлургия сплавов» БНТУ технологические инструкции ТИ 02210.00009 «Приготовление алюминиевых сплавов АК9 и АК9М2 с использованием формовочного кварцевого песка» и ТИ 02210.00010 «Приготовление алюминиево-кремниевый сплав САЛС-25 с использованием формовочного кварцевого песка». Разработана и внедрена в учебный процесс БНТУ для проведения лабораторных занятий по курсу «Металлургическая переработка отходов производства и потребления» методика экспрессной оценки химического взаимодействия кварцсодержащих материалов с расплавом алюминия и способ получения синтетических Al-Si сплавов путем легирования алюминия отходами кристаллического кремния и кварцсодержащими материалами.

Результаты работы целесообразно использовать на предприятиях, обеспечивающих металлургическую переработку лома и отходов алюминиевых сплавов для получения марочных сплавов на основе системы Al-Si, что подтверждено проведением опытно-промышленных испытаний в условиях ОАО «Белцветмет» и НИИЛ «Металлургия сплавов». Расчет экономического эффекта, выполненный по данным предприятия ОАО «Белцветмет», показал, что при объеме производства марочных сплавов 500 т с использованием синтетических лигатур годовой экономический эффект может составить 215 млн. руб. при импортозамещении 412 млн. руб. (в ценах 2012 г.).



Список публикаций соискателя

Статьи в рецензируемых журналах и сборниках, включенных в перечень ВАК

1. Компьютерный анализ фазовых переходов и интервала кристаллизации заэвтектических силуминов с учетом влияния температурной обработки расплава / И.В. Рафальский, А.В. Арабей, С.В. Киселев, Г.В. Довнар // *Металлургия*. – 2008. – № 31. – С.169–179.

2. Идентификация и определение значений температурно-временных параметров фазовых переходов литейных сплавов в системах термического экспресс-анализа / И.В. Рафальский, А.В. Арабей, С.В. Киселев, П.С. Гурченко // *Металлургия*. – 2009. – № 32. – С. 231–240.

3. Рафальский, И. В. Фазовые превращения в металлооксидных композициях на основе алюминия и оксида кремния / И. В. Рафальский, А.В. Арабей // *Литье и металлургия*. – 2010. – № 4. – С.100–104.

4. Арабей, А.В. Синтез алюминиево-кремниевых сплавов методом прямого восстановления кремния с использованием алюмоматричных композиционных лигатур / А.В. Арабей, И.В. Рафальский // *Литье и металлургия*. – 2011. – № 3. – С.19–25.

5. Рафальский, И.В. Математическое моделирование процесса получения синтетических силуминов с использованием метода регрессионного анализа / И.В. Рафальский, А.В. Арабей // *Литье и металлургия*. 2012 – № 1. – С. 88–94.

6. Арабей, А.В. Межфазное взаимодействие в литейных алюмоматричных композиционных сплавах на основе системы Al–SiO₂ / А.В. Арабей, И.В. Рафальский // *Литье и металлургия*. 2012 – № 3. – С. 276–280.

7. Арабей, А.В. Влияние легирующих элементов и примесей, содержащихся в алюмоматричных кварцсодержащих композициях, на процесс восстановления кремния при синтезе силуминов / А.В. Арабей, И.В. Рафальский // *Литье и металлургия*. 2012 – № 3. – С. 270–275.

8. Арабей, А.В. Технологические аспекты синтеза литейных сплавов и лигатур системы Al–Si из алюмоматричных композиций, полученных с использованием кварцевых материалов, отходов алюминия и кремния / А.В. Арабей, И.В. Рафальский // *Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фіз.-тэхн. навук*. – 2012.– № 4. – С. 33–39.

9. Рафальский, И.В. Экспрессный контроль содержания кремния в сплавах системы Al–Si с использованием методов метрической классификации / И.В. Рафальский, Д.С. Морозов, А.В. Арабей // *Металлургия: Республ. межведом. сб. науч. трудов: в 2 Ч.* – Минск: 2013. – Вып. 34. Ч. 1. – С. 120–130.

10. Межфазное взаимодействие компонентов литейных алюмоматричных композиционных сплавов на основе систем Al–SiO₂ и Al–SiC, полученных с использованием гетерофазных технологий / Рафальский И.В., Немененок Б.М., Арабей А.В., Лушчик П.Е., Панасюгин А.С. // *Металлургия: Республ. межведом. сб. науч. трудов: в 2 Ч. – Минск: 2013. – Вып. 34. Ч. 1. – С. 108–120.*

Статьи в других изданиях

11. Арабей, А.В. Исследование процессов получения силуминов способом прямого восстановления кремния из алюмоматричных композиций / А.В. Арабей, И. В. Рафальский // *Ползуновский альманах. – 2011. – № 4. – С. 129–131.*

12. Арабей, А.В. Синтез высококремнистых силуминов из алюмоматричных композиций, полученных с использованием вторичного металлосырья, кварцевого песка и отходов кристаллического кремния / А.В. Арабей, И. В. Рафальский // *Ползуновский альманах. – 2012. – № 1. – С. 45–46.*

13. Рафальский, И.В. Термодинамический анализ реакций взаимодействия фаз компонентов литейных сплавов, полученных из алюмоматричных композиций на основе системы Al–SiO₂ / И. В. Рафальский, А.В. Арабей // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2012. – Том 9, № 3. – С. 375–378.*

14. Арабей, А.В. Синтез сплавов системы Al–Si из алюмоматричных композиций, полученных с использованием отходов алюминия и кварцевого песка / А.В. Арабей, И.В. Рафальский, Б.М. Немененок // *Металл и литье Украины. – № 4 (239), 2013 – С. 3–7.*

Материалы научных конференций

15. Computer modeling of cast alloys solidification by Computer-Aided Cooling Curve Analysis (CA-CCA) / I. Rafalski, A. Arabei, P. Lushchik, A. Chaus // *International Doctoral Seminar. : Proceedings of International Doctoral Seminar, Trnava, Slovak Republik, 17–19 may 2009. / Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials science and technology in Trnava. – Trnava, 2009. – P. 291–301.*

16. Arabej, A. Computer aided thermal analysis of aluminium-based melts with additions of SiO₂-containing compositions / A. Arabej, I. Rafalski, A. Chaus // *International Doctoral Seminar. : Proceedings of International Doctoral Seminar, Trnava, Slovak Republik, 16–19 may 2010 / Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials science and technology in Trnava. – Trnava, 2010. – P. 1–12.*

17. Theoretical and experimental study of the solidification process of melts in computer aided thermal analysis (CA-CCA) / I. Rafalski, I. Shestyuk, P. Lushchik, A.

Arabei, A. Chaus // International Doctoral Seminar. : Proceedings of International Doctoral Seminar, Trnava, Slovak Republik, 16–19 may 2010 / Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials science and technology in Trnava. – Trnava, 2010. – P.435–446.

18. The reactive synthesis of casting Al–Si alloys by in-situ method / A. Arabej, I. Rafalski, B. Nemianionak, Chaus A. // International Doctoral Seminar. : Proceedings of International Doctoral Seminar, Trnava, Slovak Republik, 15–17 may 2011 / Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials science and technology in Trnava. – Trnava, 2011. – P. 1–10.

19. Арабей, А.В. Ресурсосберегающий синтез литейных алюминиевых сплавов методом прямого восстановления кремния из металлооксидных композиций / А.В. Арабей // Проблемы недропользования: сборник научных трудов Междунар. форума-конкурса молодых ученых: в 3 ч., Санкт-Петербург, 20–22 апр. 2011 г. / Горный институт им. Г.В. Плеханова: редкол. Л.С. Синьков [и др.]. – Санкт-Петербург, 2011. – Ч. 2. – С. 27–29.

20. Рафальский, И.В. Влияние технологических параметров плавки на процесс восстановления кремния из металлооксидных композиций / И.В. Рафальский, А.В. Арабей // Наука – образованию, производству, экономике: материалы Девятой Междунар. науч.-техн. конф.: в 3 т. / Белорус. нац. тех. ун-т: редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск: БНТУ, 2011. – Т. 1. – С. 267.

21. Арабей, А.В. Низкотемпературный синтез литейных сплавов методом прямого восстановления кремния из металлооксидных композиций / И.В. Рафальский, А.В. Арабей // Наука – образованию, производству, экономике: материалы Девятой Междунар. науч.-техн. конф.: в 3 т. / Белорус. нац. тех. ун-т: редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск: БНТУ, 2011. – Т. 1. – С. 266.

22. Рафальский, И.В. Синтез литейных алюминиевых сплавов методом прямого восстановления кремния из алюмоматричных композиций / И.В. Рафальский, А.В. Арабей, Б.М. Немененок // Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейном производстве: материалы III Междунар. науч.-техн. конф., Краматорск, 12–16 сен. 2011 г. / Донбасс. гос. машиностр. акад.; под ред. А.Н. Фесенко. – Краматорск, 2011. – С. 14–15.

23. Арабей, А.В. Синтез литейных сплавов и лигатур Al–Si из алюмоматричных композиций на основе кремнезема, отходов алюминия и кремния / А.В. Арабей, И.В. Рафальский // Наука – образованию, производству, экономике: материалы Десятой Междунар. науч.-техн. конф.: в 4 т. / Белорус. нац. тех. ун-т: редкол.: Б.М. Хрусталеv, Ф.А.Романюк, А.С.Калиниченко. – Минск: БНТУ, 2012. – Т. 1. – С.310.

24. Арабей, А.В. Металлургическая переработка лома и отходов алюминиевых сплавов при получении силуминов с использованием кварцсодержащих материалов / А.В. Арабей, И.В. Рафальский, Б.М. Немененок

// Литье. Metallургия. 2013 : Материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. (21-24 мая, г. Запорожье) – под общ. ред. д.т.н., проф. Пономаренко О.И. – Запорожье, ЗГПП – С. 12–14.

Тезисы докладов

25. Арабей, А.В. Получение синтетических сплавов системы Al–Si с использованием литейных алюмоматричных кремнийсодержащих композиций / А.В. Арабей, И. В. Рафальский // Республиканская научная конференция студентов и аспирантов вузов Республики Беларусь «НИРС–2011» : сборник тезисов докладов, Минск, 18 окт. 2011 г. / Белорусский государственный университет ; редкол. С.В. Абламейко [и др.] – Минск, 2011 – С. 185.

26. Арабей, А.В. Синтез алюминиево-кремниевых сплавов методом прямого восстановления кремния с использованием алюмоматричных композиционных лигатур / А.В. Арабей, И.В. Рафальский // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: тез. докл. IX Междунар. науч.-техн. конф. , Гродно, 20–21 окт. 2011 г. / Гродненский государственный университет ; редкол.: А.И. Свириденко [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2011. – С. 45–46.

Патенты

27. Способ получения алюминиево-кремниевых сплавов : патент 14528 Респ. Беларусь, МПК С 22 С 1/02 / И.В. Рафальский, А.В. Арабей, П.Е. Лущик ; заявитель Бел. нац. техн. ун-т. – № а20091027 ; заявл. 08.07.09 ; опубл. 28.02.11. – 3 с.

28. Способ получения алюминиево-кремниевого сплава : патент 16558 Респ. Беларусь, МПК С 22 С 1/02 , С 22 С 21/02 / И.В. Рафальский, А.В. Арабей ; заявитель Бел. нац. техн. ун-т. – № а20101849 ; заявл. 20.12.10.

29. Способ получения алюминиево-кремниевого сплава : решение о выдаче патента на изобретение: Респ. Беларусь, МПК С 22 С 1/03, С 22 В 21/06 / И.В. Рафальский, А.В. Арабей ; заявитель Бел. нац. техн. ун-т. – № а20101851 ; заявл. 20.12.10.

30. Способ получения алюминиево-кремниевого сплава или лигатуры : решение о выдаче патента на изобретение: Респ. Беларусь, МПК С 22 С 1/03, С 22 В 21/02 / А.В. Арабей, И.В. Рафальский; заявитель Бел. нац. техн. ун-т. – № а20111015; заявл. 19.07.11.

РЭЗІЮМЭ

АРАБЕЙ Анастасія Вітальеўна

Рэсурсазберагальныя спосабы сінтэзу сілумінаў з выкарыстаннем кварц-змяшчальных матэрыялаў, лому і адходаў алюмініевых сплаваў

Ключавыя словы: рэсурсазберажэнне, сілумін, сінтэз сплаваў, кварцзмяшчальны матэрыял, лом, алюмініевыя сплавы, кварцавы пясок.

Мэта працы – распрацоўка рэсурсазберагальных спосабаў сінтэзу сплаваў на аснове сістэмы Al–Si з выкарыстаннем кварцзмяшчальных матэрыялаў, лому і адходаў алюмініевых сплаваў.

Метады даследавання і апаратура: металаграфічны аналіз (мікраскопы «Neophot-32», MI-1), электронная мікраскапія (JSM 7600F і VEGA II LMU з мікрааналізатарам INCA Energy 350), рэнтгенаструктурны аналіз (дыфрактометр ДРОН-3), вызначэнне тэмператур фазавых ператварэнняў пры зацвярдзенні сплаву і экспрэсная адзнака хімічнага ўзаемадзеяння кварцзмяшчальных матэрыялаў з расплавам алюмінія (кампотэрны тэрмічны аналіз), вымярэнне мяжы трываласці (машына Р-5).

Атрыманя вынікі і іх навізна: новыя рэсурсазберагальныя спосабы атрымання сілуміну з выкарыстаннем кварцзмяшчальных матэрыялаў, лому і адходаў алюмініевых сплаваў, у тым ліку з утрыманнем магнію да 5%; залежнасці ўплыву памеру фракцыі, спосабаў апрацоўкі, зместу кварцавага пяску, тэмпературна-часовых рэжымаў на працэсы ўзаемадзеяння SiO₂ з алюмініем ў алюаматрычных кампазіцыях, якія выкарыстоўваюцца для атрымання сінтэтычнага сілуміну з металургічным выхадам да 87–90%; асаблівасці ўплыву асноўных легіруючых элементаў і прымешак алюаматрычных кампазіцый (Mg да 5%, Cu 3%, Ti 0, 3%, Mn 1%, Fe 2%) на працэс аднаўлення крэмнію з яго аксідаў ў расплаве на аснове алюмінія; матэматычныя мадэлі для ацэнкі ўтрымання крэмнію ў сплаве, сінтэзаванага з алюаматрычнай кампазіцыі, і аптымізацыі тэхналагічных рэжымаў сінтэзу заэўтэтычных сілумінаў (ўтрыманне крэмнію да 25–26%).

Ступень выкарыстання: распрацаваны тэхнічныя ўмовы на вопытную партыю алюмініевага ліцейнага сінтэтычнага сплаву. Выплаўлена вопытная партыя алюміній-крамянёвай лігатуры з утрыманнем крэмнію каля 25 % (мас.), якая апрабаваная для вытворчасці чушкавага сплаву АК7 на прадпрыемстве ААТ «Белцветмет». Выраблены вопытныя партыі адлівак з сінтэтычных сплаваў АК9 і АК9М2, атрыманых з выкарыстаннем алюмініевага лому і кварцавага пяску. Разлік эканамічнага эфекту, па дадзеным прадпрыемства ААТ «Белцветмет», паказвае, што пры аб'ёме вытворчасці сплаваў 500 т з выкарыстаннем сінтэтычных лігатур гадавы эканамічны эфект складзе 215 млн. руб., пры імпартазамышчэнні 412 млн. руб. (у цэнах 2012 г.).

РЕЗЮМЕ

АРАБЕЙ Анастасия Витальевна

Ресурсосберегающие способы синтеза силуминов с использованием кварцосодержащих материалов, лома и отходов алюминиевых сплавов

Ключевые слова: ресурсосбережение, силумин, синтез сплавов, кварцосодержащий материал, лом, алюминиевые сплавы, кварцевый песок.

Цель работы – разработка ресурсосберегающих способов синтеза сплавов на основе системы Al–Si с использованием кварцосодержащих материалов, лома и отходов алюминиевых сплавов.

Методы исследования и аппаратура: металлографический анализ (микроскопы «Neophot-32», МИ-1), электронная микроскопия (JSM 7600F и VEGA II LMU с микроанализатором INCA Energy 350), рентгеноструктурный анализ (дифрактометр ДРОН-3), определение температур фазовых превращений при затвердевании сплава и экспрессная оценка химического взаимодействия кварцосодержащих материалов с расплавом алюминия (компьютерный термический анализ), измерение предела прочности (P-5).

Полученные результаты и их новизна: новые ресурсосберегающие способы получения силуминов с использованием кварцосодержащих материалов, лома и отходов алюминиевых сплавов, в том числе с содержанием магния до 5 %; зависимости влияния размера фракции, способов обработки, содержания кварцевого песка, температурно-временных режимов на процессы взаимодействия SiO₂ с алюминием в алюмоматричных композициях, используемых для получения силумина с металлургическим выходом до 87–90 %; особенности влияния основных легирующих элементов и примесей алюмоматричных композиций (Mg до 5%, Cu 3%, Ti 0,3%, Mn 1 %, Fe 2%) на процесс восстановления кремния из его оксидов в расплавах на основе алюминия; математические модели для оценки содержания кремния в синтетическом сплаве и оптимизации технологических режимов синтеза заэвтектических силуминов (содержание кремния до 25–26 %).

Степень использования: разработаны технические условия на опытную партию алюминиевого литейного синтетического сплава. Выплавлена опытная партия Al–Si лигатуры с содержанием кремния около 25 % (масс.), которая опробована для производства чушкового сплава АК7 на предприятии ОАО «Белцветмет». Изготовлены опытные партии отливок из синтетических сплавов АК9 и АК9М2, полученных с использованием алюминиевого лома и кварцевого песка. Расчет экономического эффекта, по данным предприятия ОАО «Белцветмет», показал, что при объеме производства сплавов 500 т с использованием синтетических лигатур годовой экономический эффект составит 215 млн. руб., при импортозамещении 412 млн. руб. (в ценах 2012 г.).

SUMMARY

Arabei Anastasiya Vitalievna

Resources saving methods of Al–Si alloys synthesis using quartz-containing materials, aluminum waste and scrap

Key words: resources saving, Al–Si alloys, synthesis, quartz-containing materials, aluminum scrap, quartz sand.

Aim of the work is development of resources saving methods of Al–Si alloys synthesis using quartz-containing materials, waste and scrap of aluminum alloys.

Methods of investigations and apparatuses: metallographic analysis (microscopes «Neophot-32 " MI-1), electronic microscopy (JSM 7600F and VEGA II LMU with microanalysis INCA Energy 350), X-ray analysis (DRON-3), the determination of the temperature of phase transformations in alloys during its solidification and express evaluation of the chemical interaction of quartz-containing materials with aluminum melt by the computer thermal analysis, measurement of tensile strength (P-5).

Obtained results and their novelty: new resources saving methods to produce Al–Si alloys using quartz-containing materials, waste and scrap of aluminum alloys including high-content magnesium ones (up to 5 %); depending on the process of interaction aluminum with SiO₂ in aluminium-matrix compositions of fraction size, processing methods, the content of silica sand, the temperature-time modes to produce synthetic Al–Si alloys to metallurgical yield 87–90 %; the main features of the effect of alloying elements and impurities aluminium-matrix compositions (Mg up to 5 %, Cu 3 %, Ti 0,3%, Mn 1 %, Fe 2%) by silicon recovery process of its oxides in aluminum-based molts; mathematical models to estimate the silicon content in the alloy synthesized from aluminium-matrix compositions and optimization of technological modes for synthesis hypereutectic Al–Si alloys production (silicon content up to 25–26 %).

Efficiency: developed specifications for a experimental part of synthetic aluminum cast alloys. A experimental part of aluminum-silicon and alloys with a silicon content of 25 % (by weight) was melted and tested for the production of alloy AK7 at enterprise "Beltsvetmet". A pilot batch of castings of synthetic alloys AK9 and AK9M2 was produced using aluminium-matrix compositions based on aluminum scrap and quartz sand. Calculation of economic effect according to the enterprise of " Beltsvetmet " data showed that 500 tons alloys production will be 215 million rubles of annual economic effect if synthetic master alloys to be used, import substitution will be about 412 million rubles expected (in 2012 prices).