

Синтез сплавов системы Al-Si из алюмоматричных композиций, полученных с использованием отходов алюминия и кварцевого песка

Рассмотрены вопросы синтеза сплавов системы Al-Si из алюмоматричных композиций, полученных с использованием отходов алюминия и кварцевых материалов. Представлены результаты исследования межфазного взаимодействия компонентов алюмоматричных композиций на основе системы Al-SiO₂, полученных с использованием гетерофазных технологий совмещения кварцевого песка, лома и отходов алюминиевых сплавов.

Ключевые слова: синтез, сплавы, лигатуры, система Al-Si, алюмоматричные композиции

Развитие металлургического производства зависит от рентабельности выпускаемой продукции и возможностей эффективного использования материально-сырьевых и энергетических ресурсов. Условия рынка вынуждают производителей решать задачи разработки и внедрения высокоэффективных ресурсосберегающих технологий производства сплавов требуемого качества из недорогих материалов при минимальных финансовых вложениях.

В промышленности в настоящее время широко применяют 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 дефицитом первичных алюминиевых сплавов производители ищут возможность экономии путем выплавки алюминий-кремниевых сплавов из вторичного металлосырья и отходов собственного производства с использованием необходимых легирующих добавок, прежде всего кристаллического кремния. Существенная часть перерабатываемого вторичного металлосырья 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 требуют разработки эффективных 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.

Одним из наиболее доступных кремнийсодержащих материалов является кварцевый песок с содержанием оксида кремния до 98-99 %, который можно использовать для восстановления кремния расплавом алюминия. Существенной экономии затрат на материалы можно достичь путем применения в составе шихты лома и отходов алюминиевых сплавов и формовочного кварцевого песка. При этом показатели ресурсосбережения, как показывают расчеты, существенно повышаются при получении высококремнистых силуминов (рис. 1).

Однако имеющиеся в литературе данные свидетельствуют о том, что до настоящего времени не разработано эффективных металлургических способов синтеза марочных сплавов системы алюминий-кремний требуемого качества при использовании материалов на основе оксида кремния с высокими показателями металлургического выхода. Это объясняется высокой химической устойчивостью оксидов кремния в расплавах алюминия вследствие практически полного отсутствия их смачиваемости жидким алюминием. Опубликованные результаты научных исследований, посвященных изучению взаимодействия компонентов системы Al-SiO₂, показывают

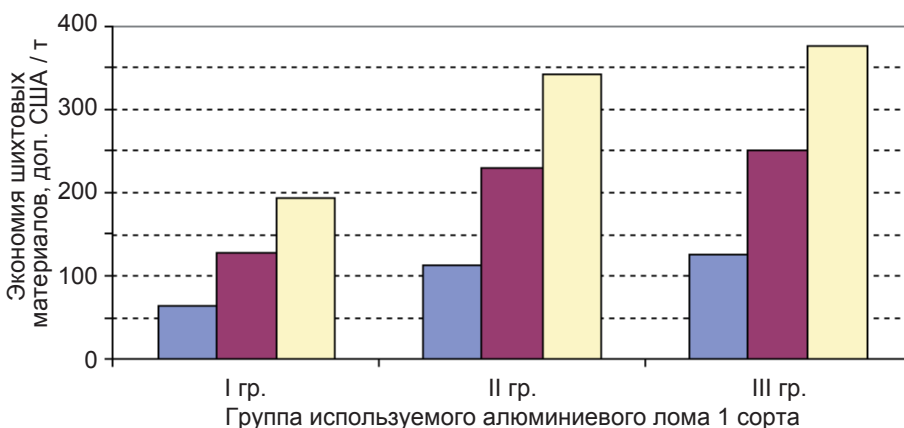


Рис. 1. Экономия шихтовых материалов при получении сплавов системы Al-Si из лома и отходов алюминиевых сплавов I-III групп с использованием формовочного кварцевого песка марки 2K₂O₂03 взамен кристаллического кремния в ценах на 01.09.2012, (% Si): ■ – 10; ■ – 20; □ – 30

возможность протекания восстановительной реакции в этой системе 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 возможности практической реализации эффективной металлургической технологии производства синтетических сплавов системы Al-Si на основе кварцевого песка.

Следует отметить, что значительную часть вторичного металло сырья не возможно использовать для производства марочных сплавов из-за превышения установленных стандартами требований по содержанию отдельных элементов, прежде всего железа и магния. При переработке магниесодержащих отходов алюминиевых сплавов проводят многократную металлургическую обработку расплава специальными флюсами и реагентами для удаления магния из расплава в шлак до необходимого уровня. В качестве компонентов, обеспечивающих удаление магния из расплава, преимущественно применяют хлор-, фтор-, серо- и кислородсодержащие реагенты. Использование хлоридов, фторидов и серосодержащих реагентов приводит к существенным экологическим проблемам. При рафинировании алюминиевых сплавов от магния в процессе производства алюминиевых сплавов из вторичного сырья можно исполь-

зовать оксиды элементов, входящих в состав алюминиевого сплава (например, меди, цинка, кремния), в количестве, необходимом для окисления магния. При взаимодействии с оксидами магний окисляется и переходит в шлак, а элемент оксида растворяется в сплаве, легируя его. Использование для этих целей материалов с высоким содержанием оксидов кремния, в том числе наиболее доступного и недорогого кварцевого песка, представляет наибольший практический интерес.

Разработка жидкофазных способов синтеза сплавов системы Al-Si с использованием кварцосодержащих материалов, прежде всего, связана с решением научных задач установления особенностей межфазного взаимодействия оксида кремния с расплавом алюминия. Многочисленные исследования межфазных взаимодействий в системе Al-SiO₂ свидетельствуют о высокой химической устойчивости оксидов кремния в жидком алюминии. Это объясняется тем, что процессы межфазного взаимодействия лимитируются особенностями смачивания и адгезии компонентов указанной системы. Проблема несмачивания расплавом алюминия оксидов кремния при решении прикладных задач, например в процессе производства композиционных материалов на основе системы Al-SiO₂, частично решается путем использования специальных технологий, в том числе принудительной пропитки под высоким давлением, высокоскоростного замешивания, а также нанесения специальных покрытий на частицы наполнителей. Однако эти методы высокзатратны и не обеспечивают возможности масштабного производства материалов.

Алюмоматричные композиции (АМК) в настоящей работе получали введением кварцевых материалов в расплав алюминия, находящийся в гетерофазном (жидкотвердофазном) состоянии [1, 2].

Схема получения шихтовых материалов на основе АМК для синтеза силуминов включала следующие основные технологические этапы: расплавление металлической основы; ввод кварцевого песка в матричный расплав в гетерофазном состоянии сплава; охлаждение алюмоматричной композиции до затвердевания и последующее ее переплавление.

В ходе работы изучили влияние количества вводимого кварцевого песка в АМК с содержанием магния в алюминиевой матрице 1 %мас. на содержание кремния в синтетическом сплаве (рис. 2). Средний размер частиц используемого кварцевого песка составил 0,2-0,3 мм.

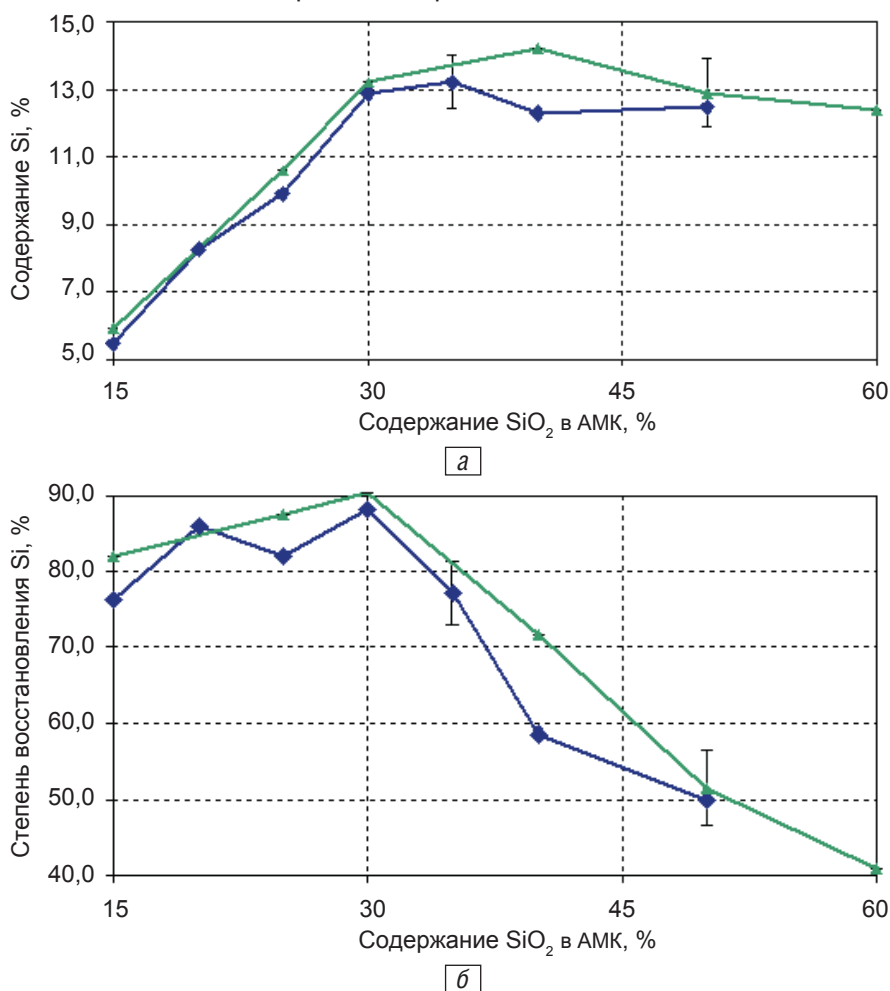


Рис. 2. Влияние количества вводимого кварцевого песка в АМК с различным содержанием магния в алюминиевой матрице на содержание (а) и степень восстановления (б) кремния в синтетическом сплаве системы Al-Si: ■ АМК Al-SiO₂ ▲ АМК Al-1%Mg-SiO₂

Результаты микрорентгеновского анализа структурных составляющих синтетических сплавов, полученных из АМК, с различным содержанием магния

Сплав	Состав химических элементов, %							
	O ₂	Na	Al	Si	Mg	Mn	Cu	Fe
Полученный из АМК Al – 1%Mg-35%SiO ₂	3,46	0,03	79,22	16,62	0,02	0,09	0,24	0,32
Полученный из АМК Al – 5%Mg-35%SiO ₂	3,49	0,07	80,51	15,21	0,40	0,01	0,09	0,22

Установлено, что максимальное содержание кварцевого песка со средним размером частиц 0,2-0,3 мм, при котором компоненты АМК находятся в связанно-структурированном состоянии, для нелегированной алюминиевой матрицы составляет 35-40 и 45-50 %мас. – для алюминиевой матрицы, дополнительно легированной 1 % Mg. Таким образом, с увеличением содержания магния в алюминиевой матрице максимальное количество вводимого в АМК кварцевого песка можно увеличить на 5-10 %. Однако необходимо отметить, что максимальные значения степени восстановления кремния из исследованных составов АМК соответствуют содержанию кварцевого песка в АМК в количестве 30 %.

Результаты рентгенофлуоресцентной спектроскопии (таблица) образцов полученных синтетических сплавов показали, что магний, содержащийся в алюминиевой матрице, практически полностью взаимодействует с кварцевым песком с образованием оксида магния. Это обеспечивает возможность широкого использования низкосортного лома и отходов алюминиевых сплавов с повышенным содержанием магния для получения синтетических сплавов системы Al-Si из АМК.

Благодаря разработанной технологической схеме синтеза из АМК сплавов системы Al-Si получили синтетические сплавы, соответствующие по химическому составу сплавам АК9 и АК9М2 (ГОСТ 1583-93). Для получения сплавов использовали плавильно-нагревательные печи сопротивления типа САТ, а в качестве шихтовых материалов – лом алюминия нелегированного I группы 1 сорта и лом алюминиевых деформируемых сплавов с высоким содержанием магния VI группы 1 сорта.

Из сплавов, синтезированных из АМК, изготавливали образцы для проведения механических испытаний (предел прочности σ_B , МПа; относительное удлинение δ , %; твердость НВ) и определения технологических свойств (жидкотекучесть, газовая пористость).

Анализ полученных результатов механических и технологических свойств синтетических Al-Si сплавов проводили методом срав-

нительной оценки со свойствами сплава, полученного по традиционной технологии сплавления алюминия марки А7 с кристаллическим кремнием марки Кр1 и легирующими добавками (из расчета Mg – 0,3; Mn – 0,3 %мас.), а также сплава марки АК9М2, полученного на ОАО «Белцветмет» (Республика Беларусь).

Данный анализ показал, что сплавы, синтезированные из АМК на основе системы Al-SiO₂, не уступают по механическим и технологическим свойствам сплавам, полученным по традиционной технологии сплавления алюминия с кристаллическим кремнием. При этом предел прочности и относительное удлинение синтетических сплавов, полученных из АМК, выше на 6,5-20,0 и 47-68 % соответственно по сравнению со сплавами, полученными по традиционной технологии сплавления алюминия с кристаллическим кремнием, структура изломов которых, а также синтезированных из АМК, представлена на рис. 3. Фрактограммы образцов сплавов, полученных по традиционной технологии, характеризуются хрупким изломом с элементами скола по включениям кремния. В образцах синтетического сплава проявляются отдельные следы пластической деформации, что указывает на вязко-хрупкий характер разрушения.

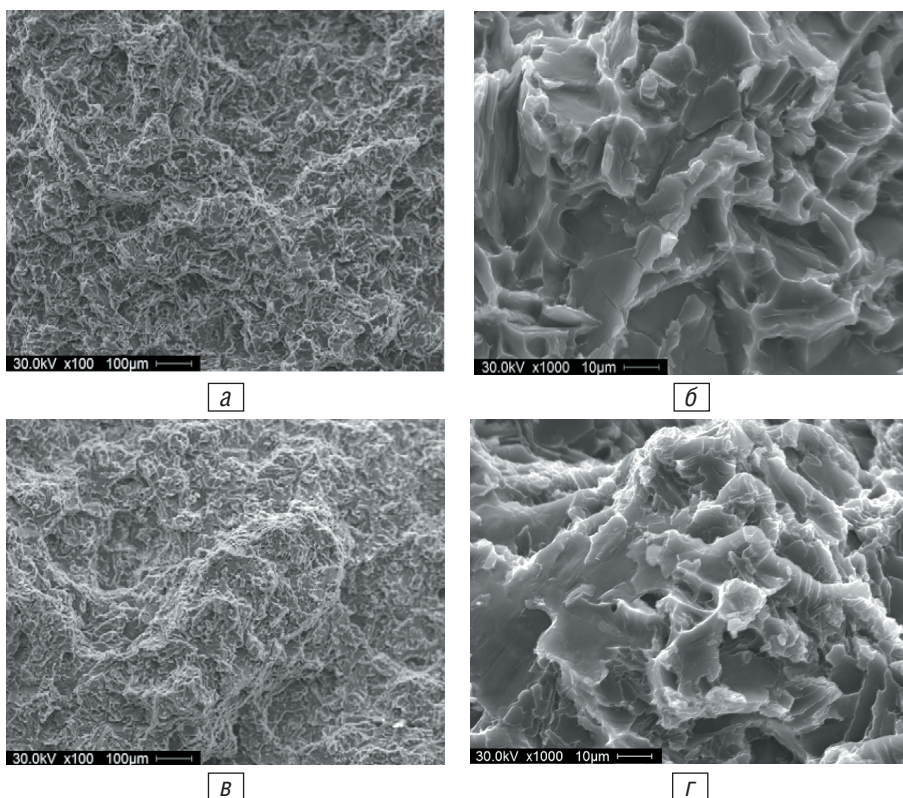
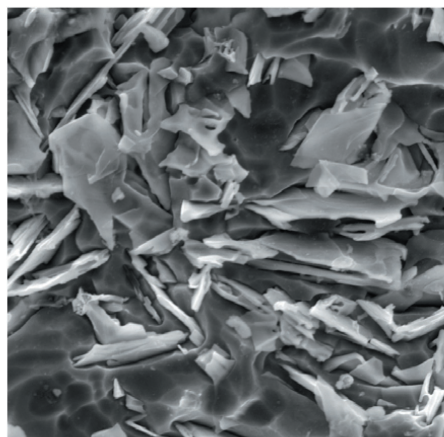
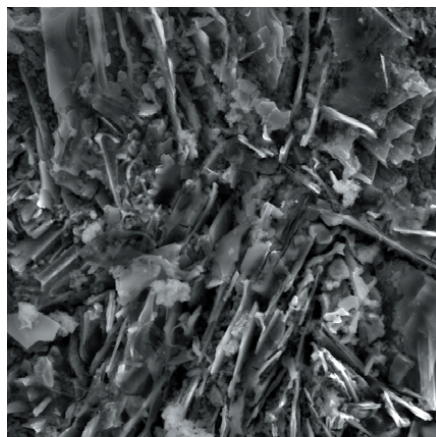


Рис. 3. Фрактограммы изломов сплавов АК9, полученных сплавлением алюминия и кристаллического кремния (а, б) и синтезированного из АМК (в, г); $\times 100$ (а, в), $\times 1000$ (б, г)



SEM HV: 20.00 kV WD: 16.0720 mm
View field: 98.10 μm Det: SE Detector
SEM MAG: 2.02 kx Date(m/d/y): 10/29/12

а



SEM HV: 20.00 kV WD: 14.9740 mm
View field: 98.33 μm Det: SE Detector
SEM MAG: 2.02 kx Date(m/d/y): 10/29/12

б

Рис. 4. Микроструктуры кристаллов эвтектического кремния в образцах сплавов АК9, полученных сплавлением алюминия с кристаллическим кремнием (а) и синтезированных из АМК на основе системы Al-SiO₂ (б)

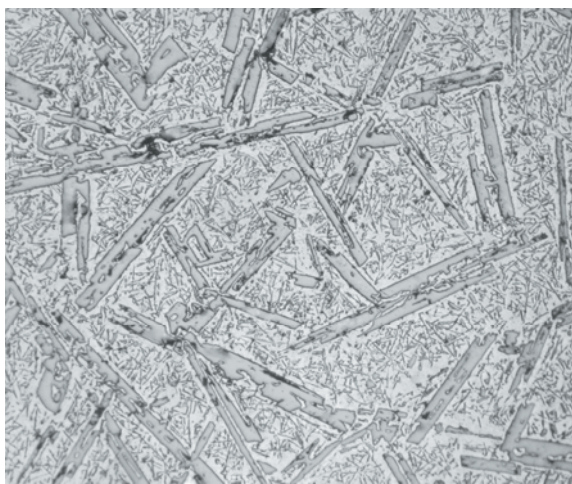


Рис. 5. Микроструктура Al-Si лигатуры, синтезированной из алюмоматричной композиции на основе системы Al-SiO₂, с содержанием Si 28,6 %, $\times 50$

Микроструктуры кристаллов эвтектического кремния в образцах сплавов АК9, полученных сплавлением алюминия с кристаллическим кремнием и синтезом из АМК на основе системы Al-SiO₂, после поверхностного вытравливания алюминиевой фазы 5%-ным водным раствором NaOH, представлены

на рис. 4. Пластины кристаллов эвтектического кремния в синтетическом сплаве характеризуются меньшей толщиной и более компактным пространственным расположением по сравнению с образцами сплавов, полученными по традиционной технологии сплавления алюминия с кристаллическим кремнием.

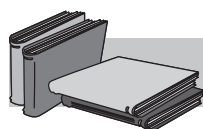
На основе разработанной технологии синтеза получили высококремнистые лигатуры из АМК с использованием лома сплавов на основе алюминия и формовочного кварцевого песка. Ввод кварцевого песка в расплав алюминия осуществляли в несколько стадий. В результате проведенных опытных плавков получили синтетические сплавы системы Al-Si с содержанием Si около 25-29 %мас. (рис. 5).

Выводы

Разработаны технологическая схема и режимы синтеза высококремнистых сплавов системы Al-Si из алюмоматричных композиций на основе системы Al-SiO₂ с использованием лома алюминиевых сплавов и кварцевого песка, что позволило получить заэвтектические силумины с содержанием Si около 25-29 %мас.

Установлено, что магний при первоначальном содержании в алюмоматричной композиции на основе системы Al – 35 % SiO₂ в количестве 1 %мас. в процессе восстановительной реакции при синтезе сплавов системы Al-Si практически полностью взаимодействует с кварцевым песком с образованием оксида магния, переходящего в шлак. Это обеспечивает возможность использования низкосортного лома и отходов алюминиевых сплавов с повышенным содержанием магния для получения синтетических сплавов системы Al-Si из АМК.

Сплавы АК9 и АК9М2, синтезированные из АМК системы Al-SiO₂, не уступают по технологическим и механическим свойствам сплавам, полученным по традиционной технологии сплавления алюминия с кристаллическим кремнием.



ЛИТЕРАТУРА

1. Арабей А. В., Рафальский И. В. Синтез алюминиево-кремниевых сплавов методом прямого восстановления кремния с использованием алюмоматричных композиционных лигатур // *Литье и металлургия*. – 2011. – № 3. – С. 19-25.
2. Рафальский И. В. Получение литейных композиционных материалов из алюминиевых сплавов в гетерофазном состоянии с дисперсными наполнителями // *Там же*. – 2011. – № 3. – С. 26-31.

Ключові слова

синтез, сплави, лігатури, система Al-Si, алюмоматрична композиція

Анотація

Арабей А. В., Рафальський І. В., Немененок Б. М.

Синтез сплавів системи Al-Si з алюмоматричних композицій, отриманих з використанням відходів алюмінію та кварцового піску

Розглянуто питання синтезу сплавів системи Al-Si з алюмоматричних композицій, отриманих з використанням відходів алюмінію та кварцових матеріалів. Представлено результати дослідження міжфазної взаємодії компонентів алюмоматричних композицій на основі системи Al-SiO₂, отриманих з використанням гетерофазних технологій суміщення кварцового піску, брухту та відходів алюмінієвих сплавів.

Summary

Arabei A. V., Rafalski I. V., Nemenenok B. M.

The synthesis of alloys of system Al-Si of aluminium-matrix composites on the basis from waste aluminum and quartz materials

The work deals to aspects of the synthesis of cast alloys of Al-Si system on the basis of aluminium-matrix composites obtained from waste aluminum and quartz materials. The results of components interaction researching of aluminium-matrix composites on the basis of Al-SiO₂ system, obtained with the use of semi-solid mixing technology of fillers and metal matrix alloys are presented.

Keywords

synthesis, alloys, master-alloys, system Al-Si, aluminium-matrix composites

Поступила 09.03.13

УДК 669.131.7

П. Е. Луцик, И. В. Рафальский

Белорусский национальный технический университет, Минск

Исследование влияния модифицирующих и армирующих добавок на процесс затвердевания и формирование зоны усадочных дефектов в эвтектических силуминах

Проведен сравнительный анализ образования усадочных дефектов в эвтектических силуминах, модифицированных различными добавками с использованием моделирования процесса затвердевания пробы расплава.

Ключевые слова: затвердевание, модифицирование, силумины, усадочные дефекты, термический анализ, моделирование

При проведении имитационного моделирования и анализа литейных процессов технологи сталкиваются с проблемой недостатка и низкого качества информации, необходимой для формирования исходных данных, в первую очередь теплофизических характеристик литейных сплавов [1]. В связи с наследственностью шихтовых компонентов, использованием многокомпонентных составов сплавов, модифицирующих добавок, а также рафи-

нирующей обработки характер затвердевания, а соответственно и образования усадочных дефектов сплава, непостоянен. Поэтому, используя систему автоматизированного проектирования (САПР) литейных процессов, необходимо проводить предварительную корректировку используемых в расчетах входных данных и, прежде всего теплофизических характеристик материалов системы «расплав-форма», применительно к реальным условиям производства.