

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»**

**НАУКА И МОЛОДЕЖЬ:
ПРОБЛЕМЫ, ПОИСКИ, РЕШЕНИЯ**

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ВЫПУСК 26

*Труды Всероссийской научной конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
17 – 18 мая 2022 г.*

ЧАСТЬ I

Под общей редакцией профессора С.В. Коновалова

**Новокузнецк
2022**

ББК 74.48.288
Н 340

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, профессор Коновалов С.В.,
д-р физ.-мат. наук, профессор Громов В.Е.,
д-р техн. наук, профессор Фрянов В.Н.,
канд. техн. наук, доцент Чаплыгин В.В.,
д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.,
д-р техн. наук, доцент Фастыковский А.Р.,
канд. техн. наук, доцент Риб С.В.

Н 340

Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 17–18 мая 2022 г. Выпуск 26. Часть I. Естественные и технические науки / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет; под общ. ред. С.В. Коновалова – Новокузнецк; Издательский центр СибГИУ, 2022. – 419 с. : ил.

ISSN 2500-3364

Представлены труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по результатам научно-исследовательских работ. Первая часть сборника посвящена актуальным вопросам в области естественных наук, перспективных технологий разработки месторождений полезных ископаемых; металлургических процессов, технологий, материалов и оборудования.

Материалы сборника представляют интерес для научных и научно-технических работников, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

ISSN 2500-3364

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

I ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ	2
ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ СТРУКТУРНЫХ КЛАССОВ <i>Аксёнова К.В., Ващук Е.С.</i>	3
МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОЦК-КРИСТАЛЛОВ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ <i>Гостевская А.Н.</i>	6
МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОСТНОЙ ТКАНИ, РАСПОЛОЖЕННОЙ ВОЗЛЕ ИМПЛАНТАТА С ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫМ БИОИНЕРТНЫМ ПОКРЫТИЕМ СИСТЕМЫ Ti-Zr ИЛИ Ti-Nb <i>Филяков А.Д., Романов Д.А., Невский С.А.</i>	10
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТРОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ АНАЛИЗА МАТЕРИАЛОВ <i>Дробышев В.К., Гостевская А.Н.</i>	14
УСТАЛОСТНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО АЛЮМИНИЯ МАРКИ А5М В МАГНИТНОМ ПОЛЕ 0,2 ТЛ <i>Шляров В.В., Серебрякова А.А., Аксенова К.В.</i>	18
ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДО 0,5Тл НА ПАРАМЕТР ПЛАСТИЧНОСТИ СВИНЦА МАРКИ С2 <i>Серебрякова А.А., Шляров В.В.</i>	22
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ <i>Кузнецова В.А., Панова В.С.</i>	24
ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И МИКРОТВЕРДОСТИ ПОКРЫТИЯ ИЗ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ Al-Co-Cr-Fe-Ni, НАНЕСЕННОГО НА СПЛАВ АМг5 С ПОМОЩЬЮ ПРОВОЛОЧНО-ДУГОВОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>Авчинник А.В., Осинцев К.А., Панченко И.А.</i>	29
ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СПЛАВА СИСТЕМЫ Al-Co-Cr-Fe-Ni, ПОЛУЧЕННОГО С ПОМОЩЬЮ ПРОВОЛОЧНО-ДУГОВОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>Осинцев К.А., Данилушкин В.С., Епифанцев М.А., Воронин С.В.,</i>	31
ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРУ АЛЮМИНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ПРОВОЛОЧНО-ДУГОВОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>Лей Х., Чэнь С.</i>	33

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОДИСПЕРСНОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ – УПРОЧНЯЮЩЕЙ ФАЗЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ И ХРОМА <i>Безрукова Е.С.</i>	307
РАСШИРЕНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ 3 А СЧЕТ ОСВОЕНИЯ НОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ <i>Федулова А.В.</i>	311
АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОИЗВОДСТВА ПРОКАТА НА НЕПРЕРЫВНОМ СРЕДНЕСОРТНОМ СТАНЕ 450 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Пак В.Е., Маркалин Ю.А., Зохидов Х.Н.</i>	314
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ УЗЛОВ ПРОКАТНОЙ КЛЕТИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ГОТОВОГО ПРОКАТА НА МЕЛКОСОРТНОМ СТАНЕ 250-1 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Маркалин Ю.А., Зохидов Х.Н., Пак В.Е.</i>	319
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СОРТОВОГО ПРОКАТА <i>Вахроломеев В.А., Глухов М.И., Захидов Х.М., Маркалин Ю.А.</i>	325
АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ НА СРЕДНЕСОРТНОМ СТАНЕ 450 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Зохидов Х.Н., Маркалин Ю.А., Пак В.Е.</i>	327
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СЛИТКОВ ИЗ ПОРШНЕВЫХ СИЛУМИНОВ НА ОСНОВЕ Al-15 % Si <i>Прудников В.А., Рексиус В.С.</i>	332
ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ШИХТЫ И РАСПЛАВА НА МИКРОСТРУКТУРУ СИЛУМИНОВ С 3-15% Si <i>Ломиворотов Н.П., Полунин А.М., Юркина М.С.</i>	335
РЕЛЬСОВАЯ СТАЛЬ: МАРКА И ХАРАКТЕРИСТИКИ <i>Михеева Д.В.</i>	341
ВОЗДЕЙСТВИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ <i>Полунин А.М., Ломиворотов Н.П., Юркина М.С.</i>	346
ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ СПЛАВА Al-11%Si <i>Юркина М.С., Полунин А.М., Ломиворотов Н.П.</i>	350
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ СВАРКИ ПОД НОВЫМ МАРГАНЕЦСОДЕРЖАЩИМ ФЛЮСОМ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ИЗ СТАЛИ 09Г2С <i>Гусева Д.А.</i>	355
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦИКЛИЧЕСКОЙ КОВКИ НА СВОЙСТВА СТАЛИ 10 <i>Закирова Ш.К.</i>	359
ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ ПОРШНЯ ИЗ СПЛАВА АК21 <i>Зокирова Г.К.</i>	362

поршней отличаются незначительно.

Библиографический список

1. Строганов Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием / Г.Б. Строганов, В.А. Ротенберг, Г.Б. Гершман. – Москва: Металлургия, 1977. – 271 с.
2. Прудников А.Н. Структурно-технологические основы разработки прецизионных силуминов с регламентированным содержанием водорода / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.16.09 / НГТУ, Новосибирск, 2013. – 40 с.
3. Prudnikov A.N. Deformable heatproof transeutectic silumin for pistons // A.N. Prudnikov // Steel in Translation. – 2009.– Т. 39. – № 6. – С. 456-459.
4. Прудников А.Н. Поршневые деформируемые заэвтектические силумины / А.Н. Прудников // Технология металлов.– 2014.– № 2.– С. 8 - 11.
5. Прудников А.Н. Структура и свойства жаропрочного силуминового поршня/ А.Н. Прудников // Изв. ВУЗов. Черная металлургия.– 2009.– № 8.– С. 28-30.
6. Афанасьев В.К. Разработка поршневого заэвтектического силумина и технологии изготовления поршней обработкой давлением / В.К. Афанасьев, А.Н. Прудников // Изв. ВУЗов. Цветная металлургия.– 1999.– № 6.– С. 53-56.
7. Прудников А.Н. Линейное расширение легированных и наводороженных силуминов, закристаллизованных под давлением / А.Н. Прудников // Литейное производство.– 2009.– № 2.– С. 2-4.
8. Афанасьев В.К. Модифицирование бинарного заэвтектического силумина / В.К. Афанасьев, А.Н. Прудников // Изв. ВУЗов. Черная металлургия.– 1999.– № 10.– С. 33-35.
9. Прудников А.Н. Формирование структуры заэвтектического силумина при литье слитков полунепрерывным способом / А.Н. Прудников, В.А. Прудников // Актуальные проблемы в машиностроении.– 2017.– Т. 4 – № 3.– С. 78-83.

УДК 669.715.046.516.4

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ШИХТЫ И РАСПЛАВА НА МИКРОСТРУКТУРУ СИЛУМИНОВ С 3-15% SI

Ломиворотов Н.П., Полунин А.М., Юркина М.С.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Попова М.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: pddcull20@mail.ru*

Изучено влияние различных способов обработки шихты и расплава на микроструктуру силуминов с 3-15%Si. В работе были использованы следующие способы обработки расплава: наводороживание влажным асбестом, продувка воздухом, продувка водородом, кипячение в щелочном растворе.

Дополнительно проведена продувка шихтового кремния воздухом. Установлено, что обработка шихты и расплава по изученным режимам способствует модифицированию структуры, увеличению объемной доли эвтектики и снижению ТКЛР силуминов. Наиболее эффективное влияние обработки расплава на снижение ТКЛР и уменьшение аномалии теплового расширения наблюдается для силуминов с 3 и 5%Si.

Ключевые слова: силумины, алюминий, кремний, обработка расплава, микроструктура, ТКЛР.

Сплавы на основе системы Al-Si в промышленности применяются в качестве конструкционных материалов и сплавов специального назначения, что во многом определяется параметрами их микроструктуры. Кремний, введенный в расплав, уже в количестве 6-7% склонен к ликвации и образованию первичных выделений кремнистой фазы, как правило, в виде крупных частиц. Поэтому свойства сплавов Al-Si зависят не только от их химического состава, но и от размеров, формы и характера распределения частиц кремнистой фазы.

Для сплавов Al-Si обязательной технологической операцией является модифицирование как метод улучшения структуры и физико-механических свойств. В настоящее время разработано большое количество способов модифицирования силуминов. Одни модификаторы лучше измельчают эвтектический кремний, другие – первичные кристаллы кремнистой фазы. Эффективными модификаторами доэвтектических силуминов являются поверхностно-активные вещества, прежде всего, натрий, а также литий, калий и кальций, хотя их действие значительно слабее, чем натрия [1]. Однако в более поздних исследованиях показано, что стронций по сравнению с натрием не только обеспечивает повышение прочностных и пластических свойств доэвтектических силуминов, но и улучшает их жидкотекучесть при большей длительности сохранения эффекта модифицирования [2].

Многие исследователи уделяют особое внимание влиянию газов на процесс модифицирования сплавов Al-Si. В работах [3–5] показано, что эффективным модификатором силуминов является водород. Установлено [6–8], что обработка расплава силуминов водородом не только модифицирует их структуру, улучшая механические свойства, но и влияет на их тепловое расширение. Таким образом, величина температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР, α) силуминов так же, как и механические свойства, во многом определяется параметрами их микроструктуры. Необходимо учитывать, что положительный эффект обработки зависит от правильного выбора способа введения водорода в расплав, а также от длительности и температуры наводороживания.

В настоящей работе исследовано влияние различных способов и режимов обработки расплава, предусматривающей наводороживание, на параметры микроструктуры и ТКЛР силуминов с содержанием кремния 3 – 15%. В качестве объекта исследования были выбраны двойные сплавы Al-(3÷15)%Si. В расплав алюминия вводили кристаллический кремний в коли-

честве 3, 5, 7, 11 и 15 %. Затем расплав подвергали следующим видам обработки: наводороживание влажным асбестом, продувка расплава Al-5% Si горячим воздухом при температуре 900 °С в течение 30 минут или кипячение его в щелочном растворе (KOH). Для сплава Al-11%Si проводили продувку шихтового кремния воздухом при температуре 1100 °С в течение 30 минут. Для сплава Al-15% Si продувку расплава водородом, получаемым при взаимодействии алюминия и щелочи NaOH, проводили по четырем режимам: при температуре 860 °С в течение 1 и 5 минут и при температуре 900°С в течение 10 и 20 минут. Сплавы заливали в холодный металлический кокиль. Из полученных слитков вырезали образцы для металлографического и дилатометрического анализа.

Металлографические исследования проводили с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX51 с программным обеспечением компании СИАМС в диапазоне увеличений 100 – 1000 и микроскопа Carl Zeiss EVO50 XVP с микроанализатором EDS X-Act при ускоряющем напряжении 20 кВ. ТКЛР определяли с помощью фоторегистрирующего оптического дилатометра системы Шевенара. Содержание атомарного водорода определяли на лабораторной установке В-1 методом нагрева образца в токе инертного газа-носителя (аргона).

На первом этапе изучено влияние обработки расплава влажного асбеста на содержание водорода и параметры микроструктуры силуминов с содержанием кремния от 3 до 15%. В результате обработки расплава указанным способом наблюдается увеличение содержания водорода, находящегося в твердом растворе (таблица 1), что оказывает модифицирующее влияние на микроструктуру силуминов. Влияние наводороживания на морфологию и размеры структурных составляющих оценивали по результатам металлографического анализа исследованных сплавов.

Количественный металлографический анализ наводороженных малокремнистых силуминов Al-3%Si и Al-5%Si показал, что обработка расплава приводит к диспергированию дендритов α -твердого раствора и увеличению размеров эвтектического кремния. Обработка расплава Al-7% Si, напротив, способствует увеличению размеров дендритов α -твердого раствора (рисунок 1 б, г, е, таблица 1). Возможно, это связано с тем, что, в отличие от сплавов Al-3%Si и Al-5%Si, наводороживание сплава Al-7%Si по изученному режиму резко увеличило содержание водорода в нем по сравнению с исходным уровнем (таблица 1), что привело к так называемому эффекту перемодифицирования [1].

Установлено, что наводороживание усиливает неравномерность структуры, которая обусловлена кристаллизацией в металлический кокиль. Наиболее ярко это проявляется для сплавов Al-7%Si и Al-11% Si. После обработки расплава у силумина с 7 % кремния наблюдается отклонение от нормальной структуры, проявляющееся в увеличении объемной доли эвтектики, присутствии внутри дендритов α -твердого раствора игл кремния и скелетообразных кристаллов железосодержащей фазы (рисунок 1, е).

Таблица 1– Влияние обработки расплава влажного асбеста на содержание водорода и размер структурных составляющих силуминов с 3-15 % кремния

Сплав	Способ приготовления	Размер структурных составляющих, мкм				Содержание водорода [H], см ³ /100 г Me
		первичные кристаллы кремнистой фазы	дендриты твердого раствора	эвтектический кремний		
				округлой формы	игольчатой формы	
Al-3%Si	обычный	–	62-415	0,5-2,4	–	1,2
	обработка расплава	–	91-257	0,4-3,8	–	1,7
Al-5%Si	обычный	–	120-1433	0,5-2,8	–	1,3
	обработка расплава	–	115-304	1,8-18,4	–	1,9
Al-7%Si	обычный	–	77-549	0,5-4,0	–	1,3
	обработка расплава	–	186-1240	0,3-3,1	–	2,6
Al-11%Si	обычный	–	183-1592	1,6-4,2	12,3-75,0	1,4
	обработка расплава	8,7-22,3	216-1957	1,7-4,3	18-61	2,1
Al-15%Si	обычный	12-170	133-441	0,2-1,9	34-87	1,6
	обработка расплава	79-190	214-315	0,4-2,3	12,3-57,9	2,4

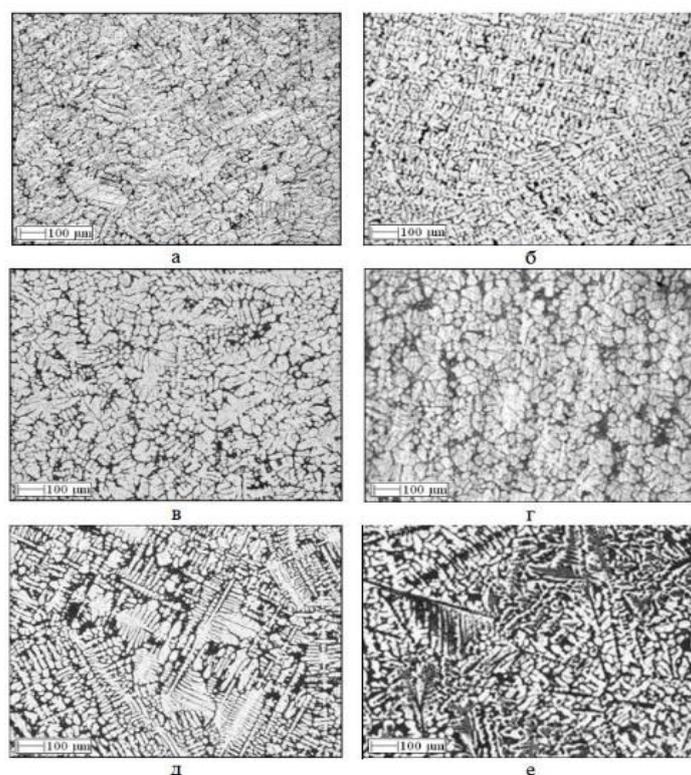
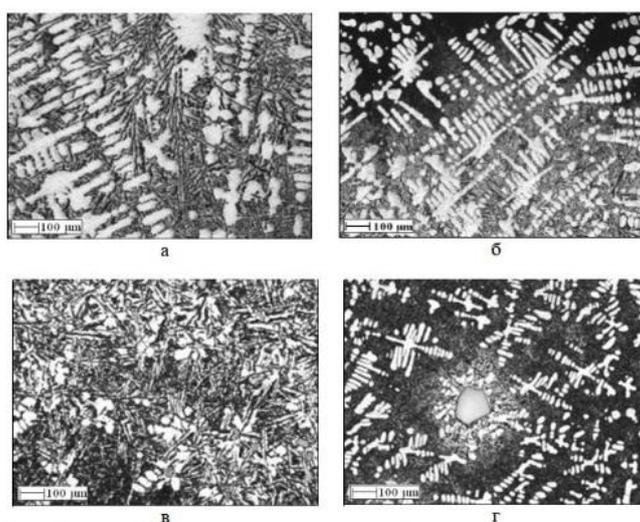


Рисунок 1 – Влияние обработки расплава влажного асбеста на микроструктуру силуминов с 5–7% кремния: а, б – 3%Si, в, г – 5%Si, д, е – 7%Si; а, в, д – исходный, б, г, е – после обработки расплава

Наводороживание сплава Al-11% Si способствует росту дендритов α -твердого раствора и диспергированию эвтектического кремния игольчатой формы (табл. 1). Кроме того, в структуре в небольшом количестве появляются мелкие первичные кристаллы кремнистой фазы, а также расширяется область с мелкодисперсным строением эвтектики в центре образца (рис. 2, б).

Обработка расплава влажным асбестом способствует росту кристаллов кремнистой фазы в структуре заэвтектического сплава Al-15%Si, наблюдающихся в местах скопления дендритов α -твердого раствора, диспергированию дендритов α -твердого раствора и эвтектического кремния игольчатой формы (рисунок 2, г, таблица 1).



а, б – 11%Si, в, г – 15%Si; а, в – исходный, б, г – после обработки расплава

Рисунок 2 – Влияние обработки расплава влажного асбеста на микроструктуру силуминов с содержанием 11 и 15%Si:

Как видно из приведенных данных, модифицирующее действие водорода проявляется по-разному в зависимости от содержания кремния: в структуре доэвтектических силуминов происходит диспергирование дендритов α -твердого раствора, в эвтектических и заэвтектических силуминах диспергируется в первую очередь кремний, входящий в состав эвтектики, а также увеличивается объемная доля эвтектики.

Ранее было установлено, что такие технологические факторы, как обработка шихты и расплава, могут способствовать снижению ТКЛР силуминов [8]. В связи с этим было исследовано влияние обработки шихты и расплава, предусматривающей увеличение содержания атомарного водорода, на ТКЛР с 3–15% кремния.

Установлено, что наводороживание расплава Al-3%Si влажным асбестом и продувка расплава Al-5%Si подогретым или горячим воздухом в течение 30 минут при температуре 900°C или кипячение его в щелочном растворе (KOH) способствуют уменьшению аномалии теплового расширения, наблюдающейся в интервале температур испытания 250–350°C, и снижению значений ТКЛР. Обработка расплава Al-7%Si влажным асбестом увеличивает

ет значения ТКЛР при 100–400 °С. Аномальное повышение ТКЛР (на 34%) наблюдается при 250–300 °С. Возникновение аномалии теплового расширения коррелирует со структурными изменениями, которые наблюдаются после обработки расплава.

Продувка шихтового кремния воздухом и обработка расплава влажного асбеста практически не оказывают влияния на ТКЛР силуминов эвтектического и заэвтектического состава.

Проведенные исследования позволили установить, что обработка расплава силуминов с содержанием кремния 3–15%, предусматривающая увеличение содержания в них атомарного водорода, оказывает сильное модифицирующее действие на их микроструктуру.

Модифицирующее действие водорода зависит от содержания кремния в сплаве. В случае оптимально выбранного режима наводороживания происходит не только измельчение структурных составляющих и улучшение их морфологии, но и уменьшение ТКЛР силуминов. Для сплавов Al–3÷5%Si увеличение содержания водорода в сплаве приводит к уменьшению аномалии теплового расширения в интервале 250–300°С, характерной для малокремнистых силуминов. Продувка расплава водородом позволяет снизить ТКЛР заэвтектического сплава Al–15%Si в интервале температур испытания 50–150°С в среднем с $18 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ до $16,5 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹.

Библиографический список

1. Строганов Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием / Г.Б. Строганов, В.А. Ротенберг, Г.Б. Гершман. – М.: Металлургия, 1977. – 271 с.
2. Абрамов А.А. О модифицировании силуминов / А.А. Абрамов // Литейное производство. – 2012. – № 7. – С. 17–19.
3. Стеценко В.Ю. О модифицировании доэвтектических и эвтектических силуминов / В.Ю. Стеценко // Литье и металлургия. – 2008. – №1. – С. 149–150.
4. Борисов Г.П. О роли водорода в формировании структуры и свойств алюминиевых сплавов / Г.П. Борисов // Металлургия машиностроения. – 2005. – № 5. – С. 11–20.
5. Стеценко В.Ю. О механизме модифицирования силуминов / В.Ю. Стеценко // Металлургия машиностроения. – 2008. – № 1. – С. 20–23.
6. Афанасьев В.К. Легкие сплавы с малым тепловым расширением / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, А.А. Ружило [и др.]. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2000. – 376 с.
7. Попова М.В. Наследственное влияние обработки шихты и расплава на терморасширение заэвтектических силуминов / М.В. Попова, А.А. Ружило // Литейное производство. – 2000. – № 10. – С. 4–6.
8. Афанасьев В.К. Влияние обработки расплава водяным паром и термической обработки на линейное расширение алюминия с добавками 3 – 9% кремния / В.К. Афанасьев [и др.] // Вестник Российской академии наук. Западно-Сибирское отделение. – 2009. – Вып. 11. – С. 105–110.