

**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

Выплавляется в конвертерных и дуговых печах, с раскислением ферросилицием и алюминием, с последующей дефосфорацией и обновлением шлака, с вакуумной и термической обработкой. При таком подходе готовый прокат отличается высокой степенью чистоты и низкой склонностью к появлению изъянов.

Библиографический список

1. Гольдштейн М.И. Специальные стали: учебник для вузов [Текст] / М.И. Гольдштейн, Грачев С.В., Векслер Ю.Г.- М.: Metallurgy, 1985.- 408 с.
2. Падерин С.Н. Теория и расчеты металлургических систем и процессов [Текст]./ С.Н. Падерин, В.В. Филиппов.- М.: МИСиС, 2002.- 334 с.
3. Кудрин, В.А. Теория и технология производства стали: учебник для вузов [Текст] / Ю.В. Кряковский, А.Г. Шалимов. - М.: «Мир», ООО «Издательство АСТ», 2003. - 528 с.
4. Дефекты и качество рельсовой стали: Справ. изд./ В.В. Павлов, М.В. Темлянецв, Л.В. Корнева и др. – М.: Теплотехник, 2006 – 218 с.: ил.

УДК 669.715.017.16

ВОЗДЕЙСТВИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ

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

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: alekandr2025@mail.ru*

Приведены результаты исследований влияния модифицирования сульфатом меди на микроструктуру, плотность и тепловое расширение заэвтектических силуминов с 20÷40 % кремния. Для изученных сплавов была проведена продувка расплава парами 3-7 %-ного водного раствора CuSO_4 в течение 5–15 минут при температуре 800–1100 °С с последующей кристаллизацией в алюминиевый кокиль и с имитацией жидкой штамповки.

Ключевые слова: алюминий, кремний, модифицирование, кристаллизация, структура, температурный коэффициент линейного расширения, плотность.

Тепловое расширение и плотность являются важными свойствами для изделий таких отраслей промышленности, как специальное приборостроение и двигателестроение. Основой легких сплавов с низким температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР, α) традиционно является система алюминий–кремний, причем кремния необходимо вводить не менее 20 % [1-4].

Обязательной технологической операцией при выплавке силуминов

является модифицирование, основной целью которого является повышение механических свойств сплавов за счет изменения параметров структуры: диспергирования и изменения морфологии структурных составляющих, а также более равномерного распределения их по объему слитка [5–8]. С целью измельчения кристаллов первичного кремния (КПК) и эвтектики, а также обеспечения необходимого комплекса физико-механических свойств разработаны многочисленные способы модифицирования высококремнистых алюминиевых сплавов. Например, известны способы модифицирования сплавов системы Al-Si, в которых с целью улучшения структуры их расплавы подвергают обработке газообразными веществами, солями, легкоразлагающимися твердыми веществами и нанопорошками [9, 10].

Целью настоящей работы являлось изучение модифицирующего действия продувки расплава парами водного раствора сульфата меди на микроструктуру и физические свойства сплавов алюминия с 20, 30 и 40% Si. Учитывали также влияние скорости охлаждения сплавов в процессе кристаллизации.

Сплавы выплавляли в печи шахтного типа с нагревателями из карбида кремния в алундовом тигле. В качестве шихты использовали алюминий марки А7, кремний Кр0 и технически чистый сульфат меди CuSO_4 (медный купорос). Шихтовый алюминий расплавляли, вводили в него кремний, после его полного расплавления проводили продувку расплава парами водного раствора CuSO_4 в течение 5–15 минут при температуре 800 – 1100 °С. По окончании обработки проводили заливку металла с разными скоростями кристаллизации: в алюминиевый кокиль (~ 20 °С/с) и между двумя массивными медными плитами – имитация жидкой штамповки (~ 100 °С/с), при этом температура заливки равнялась температуре обработки.

Из полученных слитков изготавливали образцы для металлографического и дилатометрического исследования. Изучение микроструктуры сплавов осуществляли с помощью оптического микроскопа *OLYMPUS GX-51* при увеличениях $\times 100$ и 200 . Микротвердость и плотность образцов определяли по стандартным методикам. ТКЛР определяли с помощью дифференциального оптического фоторегистрирующего дилатометра системы Шевенара в интервале температур испытания 50–450 °С, погрешность определения составляла $\pm 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Исследовано тепловое расширение сплавов Al–(20÷40) % Si до и после обработки расплава парами водного раствора сульфата меди. Установлено, что в низкотемпературном интервале испытания происходит снижение ТКЛР для всех изученных сплавов в среднем на 3–16 %. Наиболее существенное снижение ТКЛР наблюдается для сплава Al–40% Si: ТКЛР сплава обычного приготовления имеет среднее значение $\bar{\alpha}_{50-250} = 13,4 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$, тогда как после обработки расплава $\bar{\alpha}_{50-250} = 11,5 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$.

Снижение ТКЛР в этом случае может быть обусловлено увеличением содержания меди в составе сплавов и развитием процессов старения в интервале 200–300 °С при охлаждении с температур кристаллизации. Повышение

значений ТКЛР в высокотемпературной области испытаний за счет обработки расплава не является определяющим, поскольку приборы при таких температурах не эксплуатируют.

Для достижения такого эффекта оптимальной является обработка 3÷7 %-ным водным раствором сульфата меди. Применение водного раствора с большей концентрацией приводит к большому количеству вредных паров.

Проведение обработки расплава меньше 5 минут и при температурах ниже 800 °С не обеспечивает нужного понижения ТКЛР по причине слабого усвоения CuSO_4 расплавом. Проведение обработки расплава больше 15 минут и при температурах выше 1100 °С приводит к развитию усиленного шлакообразования и, следовательно, к уменьшению выхода годного металла.

Обработка расплава 3%-ным водным раствором CuSO_4 способствует существенному измельчению структурных составляющих, особенно после высокоскоростной кристаллизации. На рис. 1 приведена микроструктура сплавов Al – 20% Si обычного приготовления (а) и после обработки парами водного раствора CuSO_4 (б), залитых в кокиль. Для сравнения представлена микроструктура тех же сплавов (б, г), залитых с высокой скоростью кристаллизации. Видно, что высокоскоростная кристаллизация способствует дополнительному измельчению кристаллов первичного кремния и формированию более равномерной структуры.

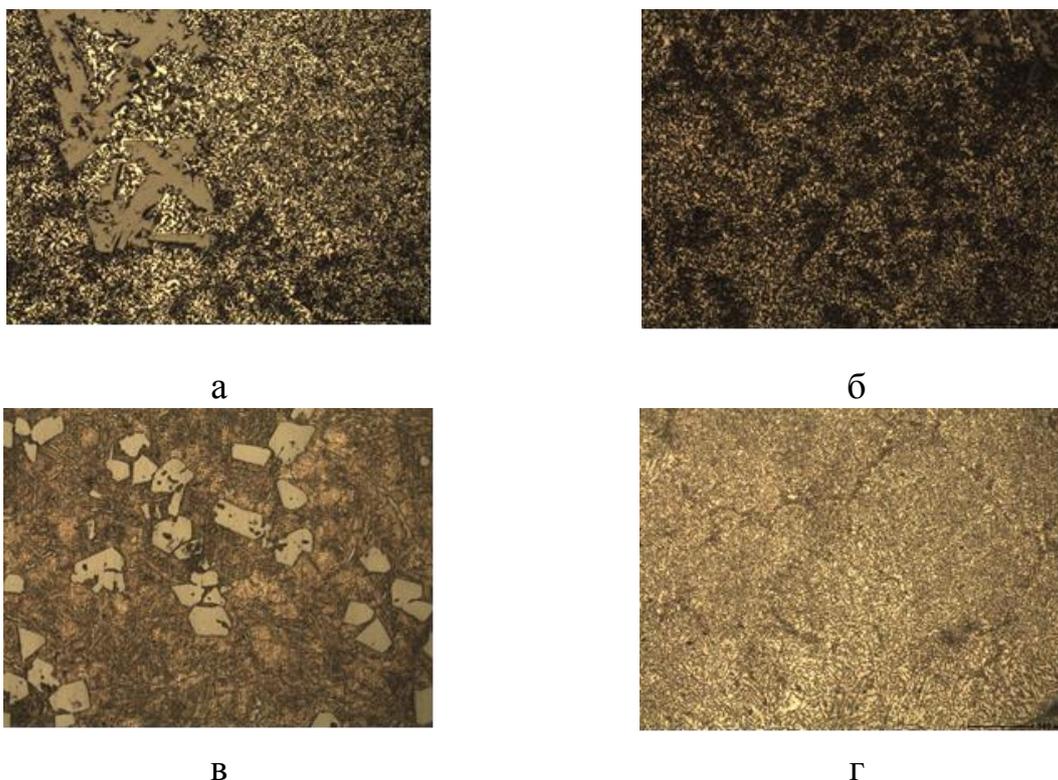


Рисунок 1 – Микроструктура сплава Al – 20% Si: а – без обработки, заливка в кокиль; б – без обработки, имитация жидкой штамповки, обработка парами водного раствора CuSO_4 , в – заливка в кокиль, обработка парами водного раствора CuSO_4 , г – имитация жидкой штамповки

Результаты определения микротвердости и плотности сплавов Al–(20÷40) % Si до и после обработки расплава и приведены на рис. 2. Как следует из приведенных данных, обработка расплава 3%-ным водным раствором CuSO₄ незначительно повышает микротвердость, но заметно снижает плотность по сравнению со сплавами обычного приготовления. Наиболее существенное уменьшение плотности наблюдается для сплава Al–40 % Si: у сплава обычного приготовления $\rho = 2,51 \cdot 10^3$ кг/м³, тогда как после обработки расплава $\rho = 2,44 \cdot 10^3$ кг/м³.

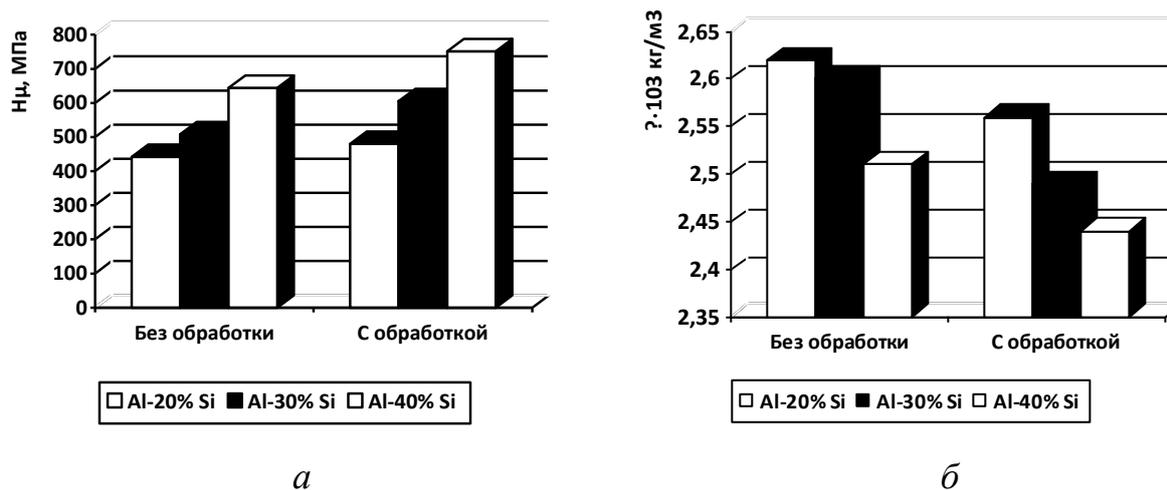


Рисунок 2 – Влияние обработки расплава парами водного раствора сульфата меди: а – микротвердость; б – плотность сплавов Al–Si

Уменьшение плотности сплавов на 3–6 % связано с тем, что в процессе продувки парами водного раствора сульфата меди водяной пар разлагается по реакции $H_2O \rightarrow 2H + O$, что приводит к насыщению расплава водородом и кислородом. В итоге после кристаллизации сплавов Al–Si образуется пересыщенный твердый раствор с повышенным содержанием элементов внедрения. Вторая составляющая модификатора – медь также входит в состав α -твердого раствора.

В результате проведенных исследований было установлено, что модифицирование сплавов Al–(20÷40) % Si путем обработки расплава парами водного раствора сульфата меди обеспечивает диспергирование всех структурных составляющих. Высокоскоростная кристаллизация модифицированных сплавов приводит к дополнительному измельчению кристаллов первичного кремния и образованию более равномерной структуры.

Таким образом, проведенные исследования позволили установить, что обработка расплава парами водного раствора сульфата меди оказывает положительное влияние не только на микроструктуру, но также на величину ТКЛР, микротвердость и плотность сплавов Al–(20÷40) % Si. ТКЛР в интервале испытаний 50–250°C снижается на 3–16%, тогда как в интервале 300–450 °C наблюдается его увеличение. Кроме того, модифицирование CuSO₄ незначительно повышает микротвердость, но снижает плотность по сравне-

нию со сплавами обычного приготовления. С увеличением содержания кремния указанные изменения свойств проявляются наиболее заметно.

Библиографический список

1. Добаткин В.И. Гранулируемые алюминиевые сплавы / В.И. Добаткин, В.И. Елагин. – Москва : Металлургия, 1981. – 176 с.
2. Спеченные материалы из алюминиевых порошков / В.Г. Гопиенко, М.Е. Смагоринский, А.А. Григорьев, А.Д. Беллавин; под ред. Смагоринского М.Е. – Москва: Металлургия, 1993. – 320 с.
3. Polmear I. J. Light alloys: from traditional alloys to nanocrystals. – Amsterdam: Elsevier Ltd, 2005. – 421 p.
4. Афанасьев В.К. О влиянии кремния на тепловое расширение алюминия А7 / В.К. Афанасьев, А.В. Горшенин, М.В. Попова, А.Н. Прудников, М.А. Старостина // Металлургия машиностроения. – 2010. – № 6. – С. 23-26.
5. Строганов Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием / Г.Б. Строганов, В.А. Ротенберг, Г.Б. Гершман. – Москва: Металлургия, 1977. – 272 с.
6. Напалков В.И. Легирование и модифицирование алюминия и магния / В.И. Напалков, С.В. Махов. – Москва : МИСИС, 2002. – 376 с.
7. Афанасьев В.К. Новые способы обработки жидких сплавов алюминия с 30-50% кремния / В.К. Афанасьев, М.В. Попова // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2001. – № 2. – С. 29-31.
8. Кузнецов А.О. Модифицирование силуминов – разные подходы для одной системы легирования / А.О. Кузнецов, Д.А. Шадаев, В.Ю. Конкевич, С.Т. Бочвар, Т.М. Кунявская // Технология легких сплавов. – 2014. – №4. – С. 75–81.
9. Ушакова В.В. О влиянии обработки расплава на линейное расширение сплавов Al -20÷40% Si / В.В. Ушакова, М.В. Попова, З.А. Лузянина // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1995. – № 4. – С. 69.
10. 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.

УДК 669.716: 669.018.28

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ СПЛАВА AL-11%SI

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

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: yurkina_99@list.ru*

Изучено влияние модифицирования сульфатом меди и термической обработки на изменение параметров микроструктуры и микротвердость