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 28

Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых 15 – 16 мая 2024 г.

ЧАСТЬ I

Под общей редакцией профессора С.В. Коновалова

Новокузнецк
2024

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 Кулаков С.М.,
канд. техн. наук Шевченко Р.А.,
канд. техн. наук, доцент Чаплыгин В.В.,
канд. техн. наук, доцент Риб С.В.,
канд. техн. наук, доцент Темлянцева Е.Н.

Н 340 Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 15–16 мая 2024 г. Выпуск 28. 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, 2024. – 450 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; металлургических процессов, технологий, материалов и оборудования; перспективных технологий разработки месторождений полезных ископаемых; экологии, безопасности, рационального использования природных ресурсов; информационных технологий и систем автоматизации управления.

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

ISSN 2500-3364

© Сибирский государственный индустриальный университет, 2024

ПЕРСПЕКТИВЫ УТИЛИЗАЦИИ ЦИНКСОДЕРЖАЩИХ
ОТХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
Коряковцева О.В., Хамов М.А., Ильина Ю.В., Марьенко И.К., Григорьев А.Ю., Ноздрин И.В. ***99***

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ СЫРЬЕМ
ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ С-2, С-3 ШЕСТОЙ СЕРИИ
АО «РУСАЛ НОВОКУЗНЕЦК»
Митягин В.О., Говриленко Д.А., Марьенко И.К., Григорьев А.Ю., Хамов М.А., Ноздрин И.В. ***104***

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОКОРУНДА МАРКИ ЭХН
Сюльдина С.А., Безрукова Е.С., Комарова А.В., Полях О.А. ***109***

МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ СУХОГО ТУШЕНИЯ КОКСА
С УВЕЛИЧЕНИЯМ ОБЪЕМА ФОРКАМЕРЫ
Ядыкина М.А., Хорощенко А.А., Комарова А.В., Полях О.А. ***112***

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ
ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ МЕДИСТЫХ СИЛУМИНОВ
Полунин А.М., Ломиворотов Н.П., Попова М.В. ***114***

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ СИЛУМИНА
С 15% SI ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
Ломиворотов Н.П., Полунин А.М., Попова М.В. ***119***

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАФНИЯ И ЭРБИЯ В ВЫСОКОМАГНИЕВЫХ
СПЛАВАХ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫХ СКАНДИЕМ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА ПОСЛЕ ЛИТЬЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
Тептерев М.С., Арышенский Е.В., Рагазин А.А., Бахтегареев И.Д., Арышенский В.Ю. ***123***

ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОГО СТАРЕНИЯ НА СТРУКТУРУ
И СВОЙСТВА СПЛАВОВ СИСТЕМЫ AL-MG-SI С ИЗБЫТКОМ SI
И НЕБОЛЬШИМИ ДОБАВКАМИ SC И ZR
Лапшов М.А., Тептерев М.С., Арышенский Е.В. ***128***

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА НАГРЕВА ЗАГОТОВКИ В МЕТОДИЧЕСКОЙ
ПЕЧИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБУЧЕНИЯ
Кирчева А.С., Мамедов И.В., Буинцев В.Н. ***132***

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ЦЕМЕНТАЦИИ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБУЧЕНИЯ
Кирчева А.С., Мамедов И.В., Буинцев В.Н. ***136***

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ УГЛЕЙ В УГЛЕРОДОТЕРМИЧЕСКОМ
ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОСПЛАВОВ
Куделя В.С., Романенко Ю.Е. ***140***

УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИЕ МАТЕРИАЛЫ В ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ
ПРОЦЕССАХ ПОЛУЧЕНИЯ МАРГАНЦЕВЫХ И ХРОМИСТЫХ СПЛАВОВ
Куделя В.С., Романенко Ю.Е. ***144***

ПОВЕРХНОСТНОЕ ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЕ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ
Пимахин А.В., Бессонова О.В., Осколкова Т.Н. ***148***

лургия: технологии, инновации, качество: труды XXII Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. Часть 1 / под общ. ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. Центр СибГИУ, 2021. – С. 154-158.

12. Афанасьев В.К. Особенности структурообразования и свойства высоколегированных сплавов специального назначения системы Al-Si-Cu / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, М.А. Малюх // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2022. – № 11 (809). – С. 48-53.

13. Афанасьев В.К. Влияние меди на структуру и тепловое расширение сплавов Al – 40% Si / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, М.А. Малюх // Металлургия: технологии, инновации, качество: труды XXIII Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. Часть 1 / под общ. ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. Центр СибГИУ, 2022. – С. 379-385.

14. Полунин А.М. Особенности металлографии и тепловое расширение медистых силуминов / А.М. Полунин, М.В. Попова // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Технические науки. Часть I. – Новокузнецк. – 2023. – С. 240–244.

УДК 669.715'788.017

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ СИЛУМИНА С 15% SI ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Ломиворотов Н.П., Полунин А.М., Попова М.В.

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, e-mail: pddcull100@mail.ru

Исследовано влияние различных способов введения водорода в расплав, а также влияние последующего нагрева в интервале 80–450 ^{0}С. Установлено, что из всех изученных режимов термообработки наибольшее влияние на снижение ТКЛР сплава Al-15%Si оказывает нагрев при температуре 300-350 ^{0}С с последующим охлаждением на воздухе.

Ключевые слова: силумин, расплав, наводороживание, нагрев, тепловое расширение.

В настоящее время для силуминов Al-15% Si существуют различные модифицирующие виды обработки, которые предусматривают обработку расплава газообразными веществами [1–7]. Это способствует не только диспергированию структурных составляющих и, следовательно, улучшению механических характеристик сплавов, но и оказывает наследственное влияние на их физические свойства, в частности, на тепловое расширение [8–10]. Величина теплового расширения является одной из важнейших характери-

стик алюминиевых сплавов, применяемых в двигателестроении [11, 12].

В связи с этим целью данной работы было изучение влияния обработки расплава и последующей термической обработки на температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) силумина Al–15% Si. Обработка расплава предусматривала различные методы наводороживания расплава: обработка влажным асбестом, выстаивание в атмосфере водяного пара (АВП) и продувка водородом. После всех величину видов обработки и отстаивания расплава в течение 5 минут, проводили заливку в холодный алюминиевый кокиль (скорость охлаждения ~ 60–80 ^{0}С/с).

Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) определяли с помощью дифференциального оптического дилатометра Шевенара в интервале температур 50–450 ^{0}С.

Металлографические исследования позволили установить, что наилучший эффект модифицирования структуры обеспечивает продувка водородом. Положительный эффект наводороживания расплава зависит как от правильного выбора способа введения водорода в расплав и длительности обработки расплава, так и от температуры наводороживания. Поэтому исследовали влияние температуры наводороживания 900 ^{0}С и 800 ^{0}С (время наводороживания 10 минут) на значения ТКЛР.

Установлено, что наводороживание по обоим изученным режимам приводит к снижению ТКЛР в интервале температур испытания 50–200 ^{0}С, но при более высоких температурах испытания (400–450 ^{0}С) существенно повышает ТКЛР до значений $\alpha = 21{,}1 - 21{,}6 \cdot 10^{-6}$ К$^{-1}$ (таблица 1). Однако наводороживание расплава при температуре 900 ^{0}С по сравнению с 800 ^{0}С, более существенно снижает ТКЛР сплава Al–15% Si при низких температурах испытания 50–100 ^{0}С, вплоть до значений $(15{,}7–17{,}2) \cdot 10^{-6}$ К$^{-1}$, тогда как у сплава обычного приготовления $\alpha = 18{,}0–18{,}4 \cdot 10^{-6}$ К$^{-1}$. Таким образом, для сплава Al-15%Si лучшими параметрами модифицирующей обработки, снижающей значения ТКЛР, являются: температура продувки расплава 900 ^{0}С, время продувки 10 минут.

Таблица 1 – Влияние температуры продувки жидкого сплава Al-15%Si на величину его ТКЛР

$T_{продувки}$, °С	Температурный коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ К$^{-1}$ при температуре испытания, °С								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
–	18,0	18,4	18,5	18,8	19,0	19,3	19,7	18,5	18,0
800	17,0	18,2	18,3	18,6	18,8	20,9	21,2	21,6	20,0
900	15,7	17,2	18,2	18,8	19,4	20,9	21,2	20,7	21,1

Для изучения влияния предварительного нагрева был выплавлен сплав с обработкой по следующему режиму: наводороживание асбестовыми тампонами с последующим выстаиванием в АВП при 750 ^{0}С в течение 15 минут.

После выстаивания проводили заливку в холодный медный кокиль. Для предотвращения дегазации после кристаллизации горячий слиток охлаждали в холодной воде. Для образцов из наводороженного силумина проводили термическую обработку по следующим режимам: нагрев при температуре 80, 100, 150 и далее через 50 ^{0}С до 450 ^{0}С (τ=1 час, воздух).

Дилатометрические исследования позволили установить, что после низкотемпературного нагрева до 80 и 100 ^{0}С с охлаждением на воздухе аномалия теплового расширения, характерная для нетермообработанного двойного сплава Al – 15% Si, наблюдающаяся в интервале температур испытания 200 – 300 ^{0}С, становится более ярко выраженной (таблица 2). Термическая обработка при температурах 150 и 200 ^{0}С также повышает аномалию теплового расширения, однако смещает ее в область более высоких температур испытания 250–300 ^{0}С.

Таблица 2 – Влияние низкотемпературного нагрева на ТКЛР наводороженного сплава Al – 15% Si

Температура нагрева, °С	Температурный коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ К$^{-1}$ при температуре испытания, °С								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
-	18,1	19,2	20,0	20,8	23,1	19,8	18,6	18,0	17,8
80	17,1	18,8	19,1	19,8	25,2	22,5	20,5	19,7	18,6
100	18,0	19,4	20,0	21,3	27,3	22,9	20,7	19,1	17,2
150	17,1	18,8	19,7	20,5	24,7	25,6	20,7	18,8	18,0
200	18,1	19,2	19,7	20,8	21,8	24,7	21,5	17,3	16,5

Нагрев при более высоких температурах 250–400 ^{0}С более заметно влияет на ТКЛР наводороженного силумина, способствуя уменьшению аномалии теплового расширения, и смещает ее в более высокотемпературную область (таблица 3).

Кроме того, высокотемпературный нагрев в большей степени снижает ТКЛР при низких температурах испытания. Анализируя полученные данные, можно заключить, что наиболее эффективное влияние на снижение ТКЛР наводороженного сплава Al-15%Si практически при всех температурах испытания, в том числе и в интервале аномалии теплового расширения, оказывает нагрев при температуре 300-350 ^{0}С с последующим охлаждением на воздухе.

Установлено, что термическую обработку при температурах выше 350 ^{0}С проводить нецелесообразно, поскольку не происходит снижения значений ТКЛР ни при низких, ни при высоких температурах испытания (таблица 3).

Таблица 3 – Влияние средне- и высокотемпературного нагрева на ТКЛР наводороженного сплава Al – 15% Si

Температура нагрева, °С	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ К$^{-1}$ при температуре испытания, °С								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Исходный	18,1	19,2	20,0	20,8	23,1	19,8	18,6	18,0	17,8
250°С	16,7	17,5	18,7	19,2	20,1	20,0	18,9	17,7	17,7
300°С	16,8	18,4	19,3	20,3	21,3	21,4	20,7	18,8	17,1
350°С	16,8	18,4	19,3	20,0	21,0	21,7	19,9	18,3	16,3
400°С	17,8	18,6	20,0	20,8	22,1	23,2	20,7	20,5	16,2
450°С	17,4	19,0	20,0	20,8	21,3	22,0	21,2	16,9	16,3

Заключение. Установлено, что после обработки расплава влажным асбестом с последующим выстаиванием в атмосфере водяного пара при 750 ^{0}С в течение 15 минут, сплав Al–15% Si имеет ТКЛР при низких температурах испытания 50–150 ^{0}С $\bar{\alpha}_{50\text{-}150} = 19{,}1 \cdot 10^{-6}$ К$^{-1}$. Из всех изученных режимов термообработки наибольшее влияние на снижение ТКЛР предварительно наводороженного сплава Al-15%Si оказывает нагрев при температуре 300-350 ^{0}С с последующим охлаждением на воздухе. Происходит уменьшение ТКЛР до значений $\bar{\alpha}_{50\text{-}150} = 18{,}1 \cdot 10^{-6}$ К$^{-1}$.

Библиографический список

1. Борисов Г.П. О роли водорода в формировании структуры и свойств алюминиевых сплавов // Металлургия машиностроения. – 2005. – № 5. – С. 11–20.

2. Гольцова М.В. Водородные технологии в литье и металлургии: настоящее и будущее / М.В. Гольцова // Литье и металлургия. – 2018. – №4 (93). – С. 145–154.

3. Афанасьев В.К. О влиянии водяного пара на формирование свойств высококремнистых Al-сплавов / В.К. Афанасьев, В.В. Герцен, С.В. Долгова, Ю.М. Мусохранов, М.В. Попова // Металлургия машиностроения. – 2015. – № 5. – С. 17–21.

4. Афанасьев В.К. Об участии водорода в формировании свойств заэвтектических сплавов Al-Si / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, М.А. Малюх, С.В. Долгова // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2018. – Т. 20. – № 2. – С. 63-74.

5. Афанасьев В.К. Водород и деформируемые сплавы Al – 1÷50 % Si / В.К. Афанасьев, М.Н. Чурик, М.В. Попова [и др.]. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 354 с.

6. Афанасьев В.К. Воздействие водорода на структуру и свойства заэвтектического силумина с 15% кремния / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, А.Н. Прудников // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2022. – № 6 (804). – С. 10–16.

7. Афанасьев В.К. Водород – легирующий элемент алюминиевых сплавов / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, А.Н. Прудников, М.В. Зезиков, А.В. Горшенин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2005. – № 6. – С. 36–39.

8. 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.

9. 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.

10. Афанасьев В.К. Влияние обработки расплава водяным паром на тепловое расширение сплавов Al – 20...40% Si / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, С.В. Долгова, А.В. Горшенин, М.А. Малюх // Металлург. – 2019. – № 1. – С. 71–76.

11. Гопиенко В.Г. Спеченные материалы из алюминиевых порошков / В.Г. Гопиенко, М.Е. Смагоринский, А.А. Григорьев, А.Д. Беллавин. – Москва : Металлургия, 1993. – 320 с.

12. Макаров А.Р. Конструкционные материалы для поршней ДВС / А.Р. Макаров, С.В. Смирнов, С.В. Осокин [и др.] // Известия МГТУ «МАМИ». – №1 (15). – 2013. – т.1. – С. 118–125.

УДК 669.017.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАФНИЯ И ЭРБИЯ В ВЫСОКОМАГНИЕВЫХ СПЛАВАХ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫХ СКАНДИЕМ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОСЛЕ ЛИТЬЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Тептерев М.С., Арышенский Е.В., Рагазин А.А., Бахтегареев И.Д., Арышенский В.Ю.

Самарский университет,
г. Самара, e-mail: maksim.tepterev@samara-metallurg.ru

Данное исследование посвящено изучению влияния гафния и эрбия в высокомагниевых алюминиевых сплавах экономно легированных скандием на механические свойства после литья и термической обработки. В работе производилась термическая обработка сплавов при температурах 370 ^{0}С и 440 ^{0}С с выдержкой в течение 4 часов. Установлено, что добавки гафния и эрбия повышают механические свойства сплавов, однако излишнее легирование этими элементами приводит к их снижению, за счет образования первичных интерметаллидов.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, легирование, скандий, гафний, термическая обработка, механические свойства.