

**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 27

*Труды Всероссийской научной конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
16 – 17 мая 2023 г.*

ЧАСТЬ I

Под общей редакцией профессора С.В. Коновалова

**Новокузнецк
2023**

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.,
канд. техн. наук Шевченко Р.А.,
канд. техн. наук, доцент Темлянцева Е.Н.

Н 340

Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 16–17 мая 2023 г. Выпуск 27. 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, 2023. – 385 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, экологии, безопасности, рациональному использованию природных ресурсов.

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

ISSN 2500-3364

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2023

ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЕ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ <i>Пимахин А.В., Осколкова Т.Н.</i>	218
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ГОМОГЕНИЗАЦИИ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТРАНСФОРМАЦИИ ФАЗЫ Al_5FeSi В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СЛИТКАХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ $Al-Mg-Si$ <i>Коробейников Д.В., Попова М.В.</i>	223
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СПЛАВА $Al-15\% Si$ ПОСЛЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ВОДОРОДОМ <i>Ломиворотов Н.П., Попова М.В.</i>	228
АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СИЛУМИНОВ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СОСТАВА <i>Ломиворотов Н.П., Полунин А.М., Попова М.В.</i>	234
ОСОБЕННОСТИ МЕТАЛЛОГРАФИИ И ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ МЕДИСТЫХ СИЛУМИНОВ <i>Полунин А.М., Попова М.В.</i>	240
ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СПЛАВОВ $Al-Mg-Si$ <i>Попова М.В., Михеева М.В., Караваева К.А.</i>	245
ВЛИЯНИЕ ВИДА ДЕФОРМАЦИИ НА СВОЙСТВА ЗАГОТОВОК ИЗ ЛЕГИРОВАННОГО ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА <i>Прудников В.А., Рексиус В.С., Прудников А.Н.</i>	250
СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СЛИТКОВ И ПРЕССОВОК ИЗ ЛЕГИРОВАННОГО ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА <i>Прудников В.А., Шелтреков М.О., Прудников А.Н.</i>	253
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ <i>Алексеева Е.А., Кибко Н.В.</i>	257
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК <i>Михно А.Р., Махнев И.А., Крюков Р.Е., Панченко И.А.</i>	260
5D-ПЕЧАТЬ. АДДИТИВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО <i>Коток М.М., Коновалов С.В., Панченко И.А.</i>	264
III ЭКОЛОГИЯ. БЕЗОПАСНОСТЬ. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ	266
ВСКРЫШНЫЕ ПОРОДЫ УГЛЕДОБЫЧИ – ПЕРСПЕКТИВНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Царева Е.Е., Коротков С.Г.</i>	266
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАЩЕНИЯ СО ВСКРЫШНЫМИ ПОРОДАМИ <i>Царева Е.Е., Коротков С.Г.</i>	270
МАЛАКОФАУНИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ – КАК ОДИН ИЗ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ И КОРРЕЛЯЦИИ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ <i>Лысенко Н.Е., Тетерина И.И.</i>	273

Горшенин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2005. – № 6. – С. 36–39.

22. Прудников А. Н. Совершенствование термической обработки поршневых деформируемых силуминов с добавками фосфора и водорода // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2009. №1 (42). – С 8-11.

УДК 669.715.017.16

ОСОБЕННОСТИ МЕТАЛЛОГРАФИИ И ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ МЕДИСТЫХ СИЛУМИНОВ

Полунин А.М., Попова М.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк. e-mail: alekcandr2025@mail.ru*

В статье приведены результаты металлографических и дилатометрических исследований заэвтектических силуминов с 20 и 30 % кремния, легированных медью в количестве 2, 4, 15, 20, 30, 40, 50 %. Установлено, что введение в сплавы более 20 % меди значительно изменяет морфологию структурных составляющих и их соотношение, что сказывается на величине температурного коэффициента линейного расширения.

Ключевые слова: легированные силумины, микроструктура, температурный коэффициент линейного расширения, кристаллы первичного кремния.

Одним из важнейших легирующих элементов алюминиево-кремниевых сплавов является медь. Медь необходима для повышения прочности силуминов за счет увеличения их восприимчивости к упрочняющей термической обработке [1–3]. Помимо этого, фосфористая медь является важным компонентом многих модификаторов, которые диспергируют кристаллы первичного кремния (КПК) в структуре заэвтектических сплавов Al-Si [4–9].

Промышленные алюминиевые сплавы содержат от 4,5 до 10 % Cu [10], их структура и свойства хорошо изучены, в отличие от особенностей структуры высокомедистых силуминов [11–14]. Поэтому металлографические исследования тройных сплавов с содержанием меди, многократно превышающим предел ее растворимости в алюминии, являются значимыми для расширения представлений о структурообразовании легированных силуминов. В связи в данной работе было проведено исследование металлографических особенностей и определение величины температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) медистых силуминов.

Материалами исследования являлись силумины с содержанием кремния 20 и 30% Si. Для выплавки сплавов использовали алюминий марки А7, кремний марки Кр0 и медь марки М1. Сплавы выплавляли в муфельной электропечи типа SNOL. Алюминий марки А7 расплавляли, затем добавляли

кремний. Медь вводили в количестве 2, 4, 15, 20, 30, 40 и 50 %. После того, как все легирующие элементы растворятся, проводили заливку сплава в кокиль при температуре 1100 °С. Из полученных слитков вырезали образцы для дилатометрического и металлографического исследований. При проведении эксперимента использовали оптический микроскоп и дилатометр Шевенара.

Металлографические исследования показали, что введение в двойной сплав Al–20 % Si меди в количестве 20 % позволяет получить более дисперсные кристаллы первичного кремния (рисунок 1).

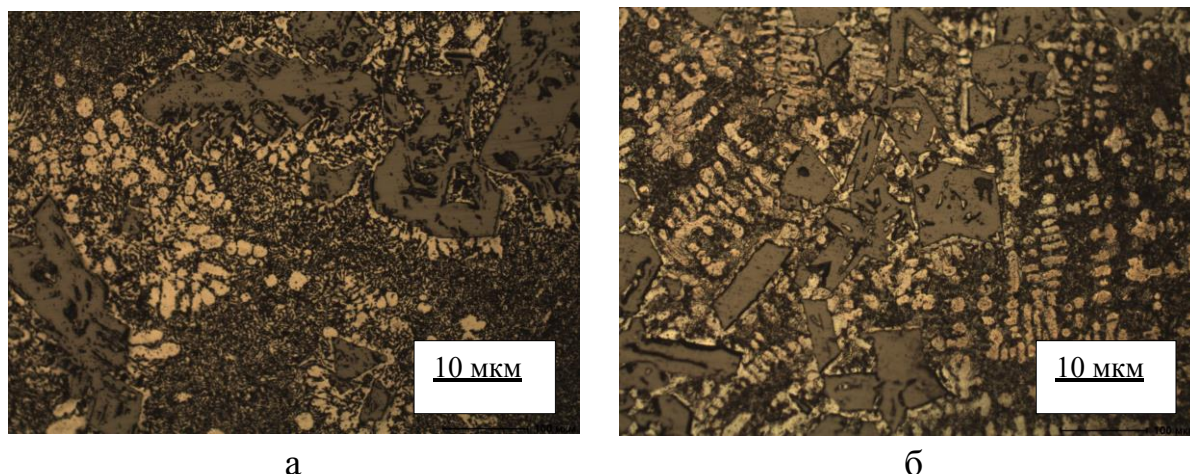


Рисунок 1 – Микроструктура сплава Al–20 % Si: а – без меди, б - сплав легированный 20 % Cu

Установлено, что легирование медью в количестве 20 и 30 % приводит к частичному размодифицированию тройной эвтектики ($\alpha + \text{Si} + \text{CuAl}_2$) (рисунок 2). При увеличении концентрации меди в КПК увеличивается число мест повышенной травимости. В сплаве без меди КПК обрамлены неравновесными дендритами α -твердого раствора, а при добавлении меди в эти сплавы дендритов α -твердого раствора не наблюдается.

В тройном сплаве Al – 20 % Si – 20 % Cu первичные кристаллы кремнистой фазы имеют наименьшие размеры и более компактную форму. Кремнистая фаза двойного сплава имеет более правильную форму, тогда как при введении меди КПК приобретают пластинчатое строение.

Установлено, что легирование медью высококремнистых силуминов с 20 и 30 % Si способствует формированию эвтектики неоднородного строения, в которой присутствуют участки различной травимости.

Таким образом, металлографический анализ позволил установить, что легирование высококремнистых силуминов медью в количестве 20–30 % увеличивает объемную долю кремнистой фазы, КПК приобретают пластинчатую форму и в них увеличивается число мест повышенной травимости. Тройная эвтектика ($\alpha + \text{Si} + \text{CuAl}_2$) имеет более неоднородное строение, чем двойная ($\alpha + \text{Si}$).

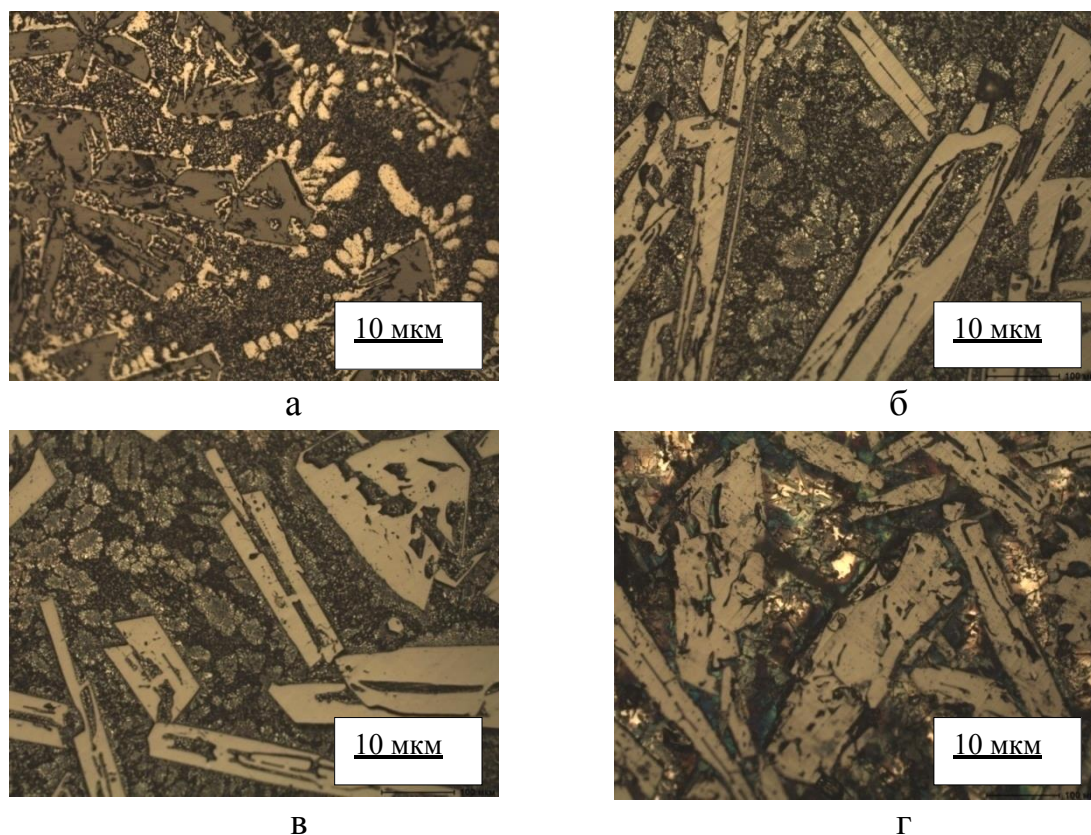


Рисунок 2 – Микроструктура сплавов на основе Al – 30% Si – Cu:
а – без Cu, б – 20% Cu, в – 30% Cu, г – 40% Cu

В результате дилатометрического исследования установлено, что медь в количестве 2, 4, 15 % снижает ТКЛР в интервале температур 50-250 °С (таблица 1). В интервале температур испытания 50–250 °С наблюдается плавное изменение ТКЛР. Однако легирование медью в количестве 2-15 % приводит к формированию аномалии линейного расширения в интервале температур 250-350 °С. При более высоких температурах 350-450 °С вновь наблюдается снижение ТКЛР, что согласуется с данными о влиянии меди на жаропрочность алюминиевых сплавов [1].

Легирование сплава Al – 20 % Si медью в количестве 2 % дает средние значения ТКЛР в низкотемпературном интервале испытаний $\bar{\alpha}_{50-250} = 18,1 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. Добавка меди в количестве 4 % приводит к дальнейшему снижению ТКЛР до значения $\bar{\alpha}_{50-250} = 16,9 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. Однако увеличение содержания меди в сплаве до 15 % не обеспечивает дальнейшего снижения среднего ТКЛР, $\bar{\alpha}_{50-250} = 18,0 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. Из сравнения средних значений, можно сделать вывод о том, что легирование малыми добавками меди более целесообразно в количестве до 4 %.

Увеличение меди до 20 % приводит к стабилизации значений ТКЛР в температурном интервале 50 - 250 °С. Кроме того, легирование медью в больших количествах устраняет аномалию линейного расширения. Были вычислены средние значения в интервале температур 50-250 °С при легировании большими добавками меди. Введение меди в количестве 20 и 30 % сни-

жает значения среднего ТКЛР соответственно до $\bar{\alpha}_{50-250} = 14,4$ и $14,2 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹. Анализ полученных средних значений позволяет утверждать, что наиболее низкие значения ТКЛР в рабочем интервале температур приборной техники имеет сплав Al – 20 % Si, легированный 50 % меди, средний ТКЛР которого равен $\bar{\alpha}_{50-250} = 6,3 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹.

Таблица 1 – Влияние меди на тепловое расширение сплава Al – 20 % Si

Содержание меди в сплаве, %	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ град ⁻¹ при температуре испытания, °C								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
-	17,4	18,2	18,7	19,2	20,1	19,2	17,2	17,4	11,3
2	16,5	17,4	17,8	18,8	20,1	21,7	20,7	20,1	19,5
4	16,7	17,7	18,0	18,1	19,4	24,4	21,6	17,6	15,4
15	16,4	16,8	16,9	17,2	17,4	17,7	20,1	17,2	15,5
20	13,6	14,6	14,6	14,6	14,4	15,1	15,7	15,9	16,3
30	10	13,5	14,4	14,6	16,3	16,6	16,8	17,2	17,5
40	8,5	9,3	9,9	10,5	10,9	11,1	12,0	13,3	14,2
50	5,3	5,7	6,2	7,0	7,1	7,3	7,4	8,6	8,8

Таким образом, по результатам металлографического анализа установлено, что легирование медью в количестве 20 % влияет на микроструктуру сплава Al – 20 % Si следующим образом: формируются более мелкие и округлые первичные кристаллы кремнистой фазы, между которыми располагаются дисперсная эвтектика и дендриты α -твердого раствора. Металлографический анализ позволил установить, что легирование сплава Al – 30 % Si медью в количестве 20-40 % увеличивает объемную долю кремнистой фазы, КПК приобретают пластинчатую форму, и в них увеличивается число мест повышенной травимости. Тройная эвтектика (α +Si+CuAl₂) имеет более неоднородное строение, чем двойная (α +Si). В ходе дилатометрического исследования были получены значения ТКЛР, на основании которых можно сделать вывод об оптимальном количестве вводимой меди в сплав Al – 20 % Si. Введение в силумин меди в количестве 50 % дает самые низкие значения ТКЛР во всем температурном интервале испытаний.

Библиографический список

1. Строганов Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием / Г.Б. Строганов, В.А. Ротенберг, Г.Б. Гершман. – Москва : Металлургия, 1977. – 272 с.
2. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов / Л.Ф. Мондольфо. – Москва : Металлургия, 1979. – 640 с.
3. Колачев Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б.А. Колачев, В.И. Елагин, В.А. Ливанов. – 4-е изд. – Москва : МИСИС, 2005. – 432 с.

4. Напалков В.И. Модифицирование алюминиевых сплавов / В.И. Напалков, С. В. Махов., А. В. Поздняков. – Москва: МИСИС, 2017. – 347 с.
5. Afanas'ev V.K. New treatment methods for liquid aluminum alloys with 30-50% silicon / V.K. Afanas'ev, M.V. Popova // Steel in Translation. – 2001. – Т. 31. – № 2. – С. 50-53.
6. 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.
7. Куцова В.З. Влияние легирования на структуру, фазовый состав и свойства промышленных заэвтектических поршневых силуминов / В.З. Куцова, О.А. Носко, А.С. Шерстобитова // Стародубовские чтения. – 2008. – №3. – С. 10-19.
8. Махов С.В. Комплексное модифицирование заэвтектических силуминов / С. В.Махов, Д.А. Попов // Metallurgy машиностроения. – 2012. – № 4. – С. 21-23.
9. Афанасьев В.К. Новый модификатор для алюминиевых сплавов с высоким содержанием кремния / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, А.Н. Прудников, М.М. Сагалакова // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2021. – Т. 8. – № 1-2. – С. 84-91.
10. Алиева С.Г. Промышленные алюминиевые сплавы / С.Г. Алиева. – Москва : Metallurgy, 1984. – 526 с.
11. Афанасьев В.К. Тепловое расширение сплавов Al-Cu после обработки расплава и термообработки / В.К. Афанасьев, М.А. Малюх, М.В. Попова, В.А. Лейс, С.В. Долгова // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2016. – № 2 (71). – С. 87-94.
12. Афанасьев В.К. О возможности получения легких инваров на основе системы Al-Si-Cu / Афанасьев В.К., Попова М.В., / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, М.А. Малюх // Metallurgy: 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.
13. Афанасьев В.К. Особенности структурообразования и свойства высоколегированных сплавов специального назначения системы Al-Si-Cu / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, М.А. Малюх // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov. – 2022. – № 11 (809). – С. 48-53.
14. Афанасьев В.К. Влияние меди на структуру и тепловое расширение сплавов Al – 40 % Si / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, М.А. Малюх // Metallurgy: 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.