

**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

нагреве / М.В. Темлянцев // Сталь. 2007. – 3. – С. 58 – 60.

16. Управление нагревом металла / А.Г. Бутковский, С.А. Малый, Ю.Н. Андреев. – М.: Metallurgy, 1981. – 272 с.

17. Ванадий в черной металлургии / Н.П. Слотвинский-Сидак, Ю.Л. Плинер, С.И. Лаппо. – М.: Metallurgy, 1983. – 192 с.

18. Ванадий в стали / И.Н. Голиков, М.И. Гольдштейн, И.И. Мурзин. – М.: Metallurgy, 1968. – 291 с.

19. О выборе температурных режимов нагрева под прокатку непрерывно-литых заготовок рельсовой электростали / М.В. Темлянцев, В.В. Гаврилов, Л.В. Корнева, Л.Т. Кожеурова // Известия вузов. Черная металлургия. 2005. – № 12. – С. 47 – 49.

20. Нагрев под прокатку непрерывно литых заготовок рельсовой электростали / Темлянцев М.В., Гаврилов В.В., Корнева Л.В., Сюсюкин А.Ю., Темлянцев Н.В. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2005. – № 6. – С. 51 – 53.

21. Металлографическое исследование поверхностного обезуглероженного слоя рельсов / М.В. Темлянцев, А.Ю. Сюсюкин, Н.В. Темлянцев // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2005. – № 8. – С. 37 – 40.

22. Выработка поверхностных дефектов при прокатке / Е.Р. Браунштейн, В.Н. Перетятыко // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1997. – № 8. – С. 32 – 35.

23. Определение угара и обезуглероживания непрерывно-литых заготовок рельсовой стали при нагреве в методических печах с шагающими балками / М.В. Темлянцев, Е.А. Колотов, А.Ю. Сюсюкин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2006. – № 12. – С. 62 – 63.

УДК 669.715: 621.78

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ГОМОГЕНИЗАЦИИ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТРАНСФОРМАЦИИ ФАЗЫ Al_5FeSi В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СЛИТКАХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ $Al-Mg-Si$

Коробейников Д.В., Попова М.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: den.087@mail.ru*

Приведены результаты исследования влияния температуры и длительности гомогенизации слитков сплавов серии бxxx на изменение морфологии железосодержащих интерметаллидов. Установлено, что после нагрева при 575-580°C и выдержки в течение 1,5–2,0 часов коэффициент трансформации игольчатой β -фазы (Al_5FeSi) в глобулярную и компактную α -фазу (Al_8Fe_2Si) равен 95 % и выше.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, микроструктура, железосо-

держателе фазы, слиток цилиндрический, гомогенизация, коэффициент трансформации.

Деформируемые термически упрочняемые алюминиевые сплавы серии 6XXX (система Al-Mg-Si) широко применяются во многих отраслях современной промышленности, таких как строительство, машиностроение, транспорт и др. Эти сплавы имеют суммарное содержание легирующих элементов от 1 до 2 %. Они менее прочны, чем дуралюмины, но имеют более высокие пластичность и коррозионную стойкость [1, 2].

В структуре литых цилиндрических слитков из сплавов 6063 и 6060 основные легирующие элементы – магний и кремний находятся в основном в твердом растворе и частично – в виде фазы Mg_2Si (рисунок 1).

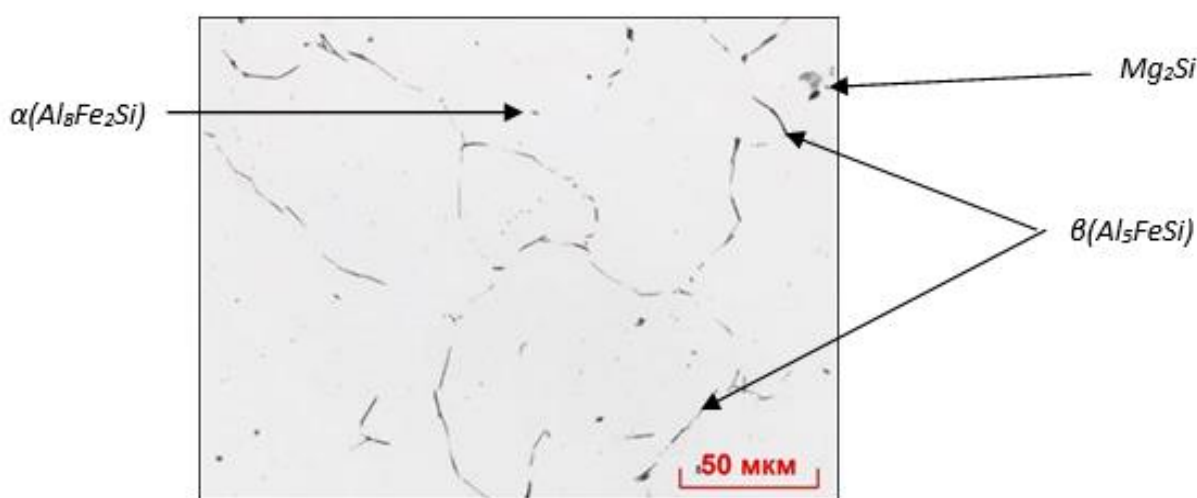


Рисунок 1 – Микроструктура сплава Al-Si-Mg в литом состоянии

Основная примесь – железо, ввиду незначительной растворимости в алюминии в твердом состоянии, образует железосодержащие фазы: α -фазу (Al_8Fe_2Si) скелетной формы серого цвета и β -фазу (Al_5FeSi) иглообразной (пластинчатой) морфологии, которые расположены по границам зерен твердого раствора и дендритных ячеек (рисунок 1) [3].

Как правило, сплавы 6063 и 6060 легируют марганцем, который растворяется в алюминиевом твердом растворе, а также может входить в состав железосодержащих фаз. В случае высокой концентрации марганца – (сотые, десятые доли масс, %) в сплавах происходит формирование железосодержащей фазы $\alpha(Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2)$ шрифтообразной формы (рисунок 2).

В литом состоянии границы зерен и дендритных ячеек окаймлены выделениями вышеописанных фаз кристаллизационного происхождения, что делает сплав более хрупким. Прессование слитков в таком состоянии будет сопровождаться высоким сопротивлением деформации и недостаточной пластичностью металла при экструзии, а также приводить к возникновению на поверхности прессованного профиля различных дефектов.

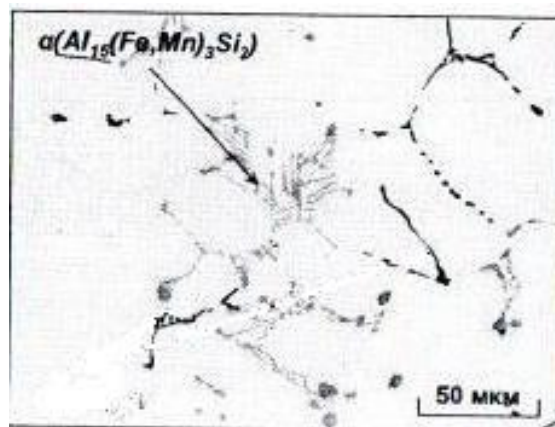


Рисунок 2 – Микроструктура сплава Al-Si-Mg-Mn в литом состоянии

Для подготовки структуры к прессованию, снижения сопротивления деформации и повышения технологичности сплава слитки подвергают процессу гомогенизации с регламентированным охлаждением [4]. Основными факторами, лимитирующими длительность процесса гомогенизации слитков, являются:

- фрагментация (дробление) фаз $\alpha(\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si})$ и $\alpha(\text{Al}_{15}(\text{Fe},\text{Mn})_3\text{Si}_2)$ скелетной/шрифтообразной формы;
- трансформация (фазовое преобразование) $\beta(\text{Al}_5\text{FeSi})$ -фазы пластинчатой (иглообразной) формы в фазу $\alpha(\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si})$ благоприятной компактной морфологии (рисунок 3).

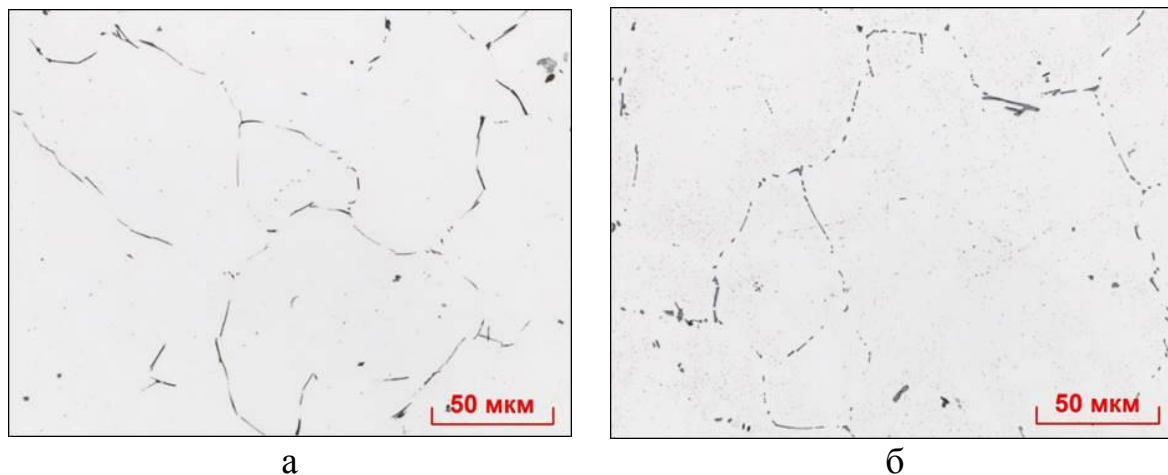


Рисунок 3 – Структура слитка: а – в литом состоянии;
б – после гомогенизации

Потребители цилиндрических слитков одним из требований к качеству гомогенизированных слитков выдвигают степень трансформации. Трансформация фазы $\beta(\text{Al}_5\text{FeSi})$ в фазу $\alpha(\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si})$ оценивается по специальной методике и характеризуется коэффициентом трансформации, который определяется при анализе микроструктуры цилиндрического слитка, прошедшего процесс гомогенизации и охлаждения.

Коэффициент трансформации (% α) вычисляют по формуле:

$$\% \alpha = \alpha / (\alpha + \beta) \times 100 \%,$$

где α – количество частиц α -фазы, в шт.;

β – количество частиц β -фазы, в шт.

Подсчет количества частиц $\alpha(\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si})$ и $\beta(\text{Al}_5\text{FeSi})$ фаз производится вручную или с использованием программы анализа изображений.

Для Европейского рынка коэффициент трансформации должен быть от 80 до 85 %, для Азиатского – не меньше 85 %, для Американского – не меньше 85 %. Для Японии и Юго-Восточной Азии коэффициент трансформации должен быть не ниже 90 %.

Существующий технологический процесс гомогенизации цилиндрических слитков различных диаметров ($\varnothing$ 127 мм, $\varnothing$ 145 мм, $\varnothing$ 152 мм, $\varnothing$ 178 мм, $\varnothing$ 203 мм) имеет следующие параметры: температура гомогенизации 575 °С, время выдержки – 2 ч 30 мин. При этих параметрах коэффициент трансформации гомогенизированных слитков составляет от 85 до 93 % и полностью соответствует требованиям потребителей.

Целью настоящей работы являлось получение стабильного коэффициента трансформации гомогенизированных слитков из сплава 6023 не менее 95% при сокращении времени выдержки в процессе гомогенизации до 2 часов 00 минут.

Основное оборудование для проведения исследований: лабораторная муфельная печь «Термо Лаун», ручная термopара марки «Fluk».

На литейной машине была отлита плавка СЦ $\varnothing$ 127 мм из сплава 6063 согласно спецификации – ТС 451-04-017. В таблице 1 представлен требуемый потребителем химический состав сплава и фактический состав плавки.

Химический состав определяли методом спектрального анализа на оптическом эмиссионном спектрометре ARL 4460. Пробы для определения химического состава имеют «грибовидную форму», диаметр «шляпки» - $\varnothing$ 45 мм. Пробы отбирали во время литья СЦ из лотка литейной машины дважды, на длине литья $\approx$ 2000 мм и $\approx$ 4000 мм.

Таблица 1 – Химический состав сплава 6063 согласно спецификации

Требование по ТС 6063	Химические элементы, %							
	Si	Mg	Mn	Fe	Ti	Cu	Zn	Cr
min	0,42	0,48	0,03	0,15	-	-	-	-
max	0,48	0,53	0,05	0,20	0,03	0,02	0,02	0,02
Фактическое содержание элементов, %								
Плавка 10 4978	0,44	0,50	0,033	0,17	0,019	0,001	0,008	0,001

Для оценки правильности подбора температуры нагрева в муфельной лабораторной печи «Термо Лаун», размещения темплета в рабочем пространстве печи и режимов охлаждения (имитация промышленного процесса

гомогенизации и охлаждения цилиндрических слитков) провели исследование микроструктуры цилиндрических слитков плавки 10 4978.

В таблице 2 представлены параметры микроструктуры не гомогенизированного слитка, от которого были отобраны темплеты для проведения лабораторных испытаний, а также параметры микроструктуры слитков после гомогенизации по режимам, предусматривающим выдержку при гомогенизации в течение 1,5 и 2,5 часов.

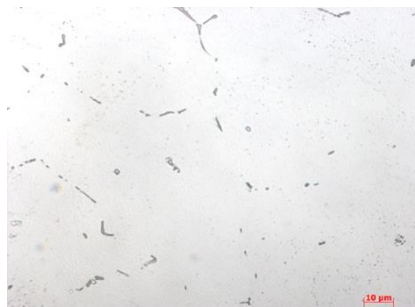
Таблица 2 – Параметры микроструктуры слитков сплава 6063

Параметр	Требования потребителя	Режим гомогенизации		
		не гомогенизированный	575 °С, выдержка 2 часа 30 мин	575 °С, выдержка 1 час 30 мин
Класс пористости (по методу определения «Hydro»)	≤ 4	1,5	3	1,5
Степень трансформации, %	≥ 85	15	96	90–95
Количество частиц Mg_2Si размером $> 1 \mu m$; шт./ $0,51 mm^2$	< 150	91	55	123

Микроструктура слитков до и после гомогенизации представлена на рисунке 4.



а



б

Рисунок 4 – Микроструктура слитков из сплава 6063 (x1000):
а – до гомогенизации; б – после гомогенизации
(выдержка 2 ч 30 мин при 575 °С)

Полученные характеристики микроструктуры темплетов подтвердили, что предложенный режим гомогенизации (характеристики нагрева, выдержки и охлаждения образцов в лабораторных условиях) соответствует по параметрам микроструктуры слиткам, прошедшим гомогенизацию в промышленных условиях.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, гомогенизированная структура, полученная при выдержке опытных образцов при температуре 575 °С в течение 1 ч 30 мин соответствует требованиям

потребителей. Коэффициент трансформации, получаемый при таких параметрах, имеет стабильный характер и составляет от 90 % и выше.

Библиографический список

1. Алюминий. Свойства и физическое металловедение: справ. изд. / Под ред. Хэтча Дж. Е. – Москва: Металлургия, 1989. – 422 с.
2. 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.
3. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов / Л.Ф. Мондольфо. – Москва : Металлургия, 1979. – 640 с.
4. Колобнев И.Ф. Термическая обработка алюминиевых сплавов / И.Ф. Колобнев. – Москва : Металлургиздат, 1961. – 413 с.

УДК 669.715'788.017

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СПЛАВА AL-15% SI ПОСЛЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ВОДОРОДОМ

Ломиворотов Н.П., Попова М.В.

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

В данной работе приведены результаты исследования обработки расплава водородом на структуру, плотность и твердость сплава Al-15% Si. Исследовано влияние различных способов введения водорода в расплав. Установлено, что продувка расплава водородом при 900 °С в течение 10 мин обеспечивает наилучший эффект модифицирования структуры и повышение физико-механических свойств.

Ключевые слова: силумин, обработка расплава, водород, микроструктура, ТКЛР, плотность, твердость.

В настоящее время для силуминов Al-15% Si существуют различные модифицирующие виды обработки. Наиболее распространенные из применяемых модификаторов – натрий, стронций, фосфор и его соединения. Все они, помимо положительного воздействия на сплав, имеют также и свои недостатки, отчего у исследователей нет единого мнения о том, какой из модификаторов использовать более целесообразно [1–10]. Разработаны также способы модифицирования силуминов, которые предусматривают обработку расплава газообразными веществами [11–16]. В связи с этим целью данной работы было изучение влияния обработки расплава на структуру и свойства силумина Al–15% Si с помощью различных методов наводороживания: обработка влажным асбестом, выстаивание в атмосфере водяного пара и продувка водородом. После всех видов обработки и отстаивания расплава в течение 5 минут, проводили заливку в холодный алюминиевый кокиль (ско-