

**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**

СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СЛИТКОВ И ПРЕССОВОК ИЗ ЛЕГИРОВАННОГО ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА

Прудников В.А., Шелтреков М.О., Прудников А.Н.

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

Исследовано влияние изотермического прессования на структуру и свойства слитка из легированного заэвтектического силумина с 15 % Si, модифицированного фосфидом меди и гидридом лития. Показано, что деформация заэвтектического силумина приводит к уменьшению среднего размера КПК до 20÷40 мкм и измельчению эвтектических частиц кремния и, соответственно, позволяет значительно повысить механические характеристики полуфабрикатов из заэвтектического силумина.

Ключевые слова: заэвтектический силумин, состав, структура, слиток, прессовка, эвтектика, кристаллы первичного кремния, свойства

В последнее десятилетие все большее внимание стало уделяться заэвтектическим силуминам, особенно в области машиностроения, приборостроения и других важных отраслей промышленности. Причем подавляющая часть исследовательских работ затрагивает либо методы улучшения структуры силуминов, такие как рафинирование, модифицирование, условий кристаллизации и др. [1-6], либо процессы деформации (ковку, штамповку, прокатку, прессование) или совмещенного воздействия деформации и термической обработки эвтектических или заэвтектических сплавов [7-10]. Поэтому целью данной работы является исследование структуры и свойств прессованных полуфабрикатов из легированного заэвтектического силумина с 15 % кремния.

В качестве материала исследования использовали слитки из легированного заэвтектического силумина с 15 % Si (таблица 1).

Таблица 1 – Химический состав исследуемого силумина

Сплав	Компоненты сплава, вес. %							
	Si	Cu	Mg	Mn	Ti	Ni	Fe	Al
Al-Si-Cu-Mg	15,21	1,42	0,71	0,83	0,09	0,02	0,16	ост.

Выплавку силумина проводили в индукционной высокочастотной печи ИАТ-0,06 в графито-шамотном тигле емкостью 40 кг. в промышленных условиях цеха ЦЦР АО «Русал-Новокузнецк». Сплав готовили на алюминии марки А6 (ГОСТ 11069–74), кремнии марки Кр0 (ГОСТ 2169–69), технически чистых металлов меди М1 и магнии Мг0, а также лигатурах Al-Mn и Al-Ti. Для модифицирования структуры силумина в расплав вводили комплекс-

ный состав, состоящий из фосфида меди (Cu_3P) в количестве 0,1 % и гидрида лития (LiH) – 0,2 % от веса расплава. После выдержки в течение 30 минут для растворения фосфида меди и снятия шлака с поверхности расплава проводили заливку в стальной кокиль цилиндрической формы при температуре 750°C . Габариты слитка составляли: диаметр 150 мм, высота 600 мм, вес $35 \pm 0,5$ кг.

Процесс прессования проводили в условиях ПО "Полет" – филиал АО "ГКНПЦ им. М.В. Хруничева" (г. Омск). Прутки из исследуемого силумина прессовали, используя горизонтальный гидравлический пресс, с усилием прессования 20 МН. Метод изотермического прессования, реализуемый прямым способом, позволяет получать пруток с гарантированно одинаковой структурой на всех участках. Перед ковкой заготовки подвергали отжигу для получения в них равновесной структуры при температуре $450 \pm 10^\circ\text{C}$ в течение 2 ч. Температура нагрева под прессование равнялась $420\text{--}450^\circ\text{C}$. Коэффициент вытяжки составлял 7, а диаметр прессованного прутка силумина 57 мм. Общий вид прутка показан на рисунке 1.

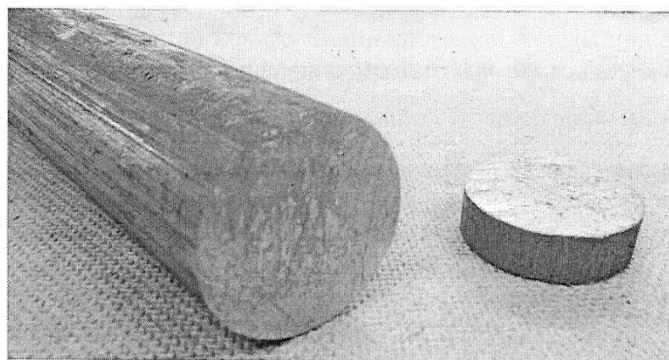


Рисунок 1 – Общий вид прессованного прутка диаметром 57 мм и заготовка для металлографического образца из легированного силумина

Металлографический анализ слитков и прессовок проводили на поперечных темплатах, приготовленных по стандартной методике для алюминиевых сплавов с использованием оптического микроскопа ЛабоМет-И1. Механические свойства силумина определяли при статических испытаниях на растяжение на разрывной машине Р-20 с использованием стандартных цилиндрических образцов. Диаметр рабочей части образцов составлял 6 мм. Для расчета среднего коэффициента линейного расширения использовали дилатограммы, снятые с помощью дифференциального оптического дилатометра Шевенара.

Микроструктура слитка в поперечном сечении и прессованного прутка из легированного заэвтектического силумина с 15 % Si приведены на рисунке 2.

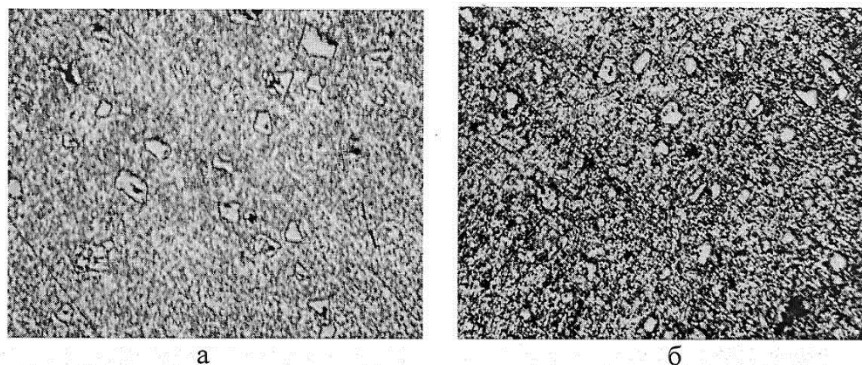


Рисунок 2 – Микроструктура слитка в поперечном сечении (а) и прессованного прутка (б) из легированного заэвтектического силумина, $\times 120$

Известно, что при модифицировании заэвтектических силуминов составами, содержащими фосфор или его соединения, происходит не только уменьшение размеров первичных кристаллов кремния (КПК), но огрубление эвтектики (Al+Si) [11]. Те же процессы наблюдаются и в исследуемом слитке из легированного силумина (рисунок 2). Средний размер КПК в структуре слитка составляет $30\div 60$ мкм, что ниже величины КПК в структуре необработанного сплава. Деформация заэвтектического силумина приводит к уменьшению среднего размера КПК до $20\div 40$ мкм и измельчению эвтектических частиц кремния в полуфабрикате. Изотермическое прессование слитка позволило получить прутки диаметром 57 мм с одинаковой структурой на всех участках, характеризующейся высокой однородностью и равномерностью.

Механические характеристики слитка и прессованного прутка из легированного заэвтектического силумина, а также средний температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние изотермического прессования на свойства заэвтектического легированного силумина

Состояние	Механические свойства			Средний ТКЛР, α , $\cdot 10^6$, град $^{-1}$ в интервале, $^{\circ}\text{C}$	
	σ_b , МПа	δ , %	Ψ , %	50-200	200-450
слиток	161	1,1	0	18,9	19,7
пруток	232	6,2	12,9	20,1	20,9

Из данных таблицы видно, что изотермическое прессование слитков из легированного заэвтектического силумина с 15 % Si улучшает как прочностные характеристики (временное сопротивление σ_b на 44 %), так и характеристики пластичности (δ , Ψ) в несколько раз. При этом значения среднего ТКЛР в различных интервалах возрастают более чем на 6 %.

Таким образом, пластическая деформация легированного заэвтектиче-

ского силумина позволяет значительно повысить механические характеристики полуфабрикатов.

Библиографический список

1. Prudnikov A.N. Production, structure and properties of engine pistons made from transeutectic deformable silumin // A.N. Prudnikov // Steel in Translation. – 2009. – Т. 39. – № 5. – С.391-393.
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. 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.
5. Прудников А.Н. Поршневые деформируемые заэвтектические силумины / А.Н. Прудников // Технология металлов. – 2014. – № 2. – С. 8 - 11.
6. Афанасьев В.К. Модифицирование бинарного заэвтектического силумина / В.К. Афанасьев, А.Н. Прудников // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 1999. – № 10. – С. 33-35.
7. Панов Е.И. Влияние поперечно-винтовой прокатки на структуру и свойства заэвтектических силуминов / Е.И. Панов, Г.И. Эскин // МиТОМ. – 2004. – № 9. – С. 7-13.
8. Прудников А.Н. Получение прессованных заготовок из заэвтектического силумина и их свойства / А.Н. Прудников, В.А. Прудников // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2018. – Т. 5. – № 1-2. – С. 126-131.
9. Прудников А.Н. Комплексное воздействие отжига и термоциклическойковки на структуру и свойства заэвтектических силуминов // Деформация и разрушение материалов. – 2014. – № 2. – С.14 - 20.
10. Афанасьев В.К. Технология получения слитков, деформированных заготовок и поршней из заэвтектического жаропрочного силумина и их свойства / В.К. Афанасьев, А.Н. Прудников, А.В. Горшенин // Обработка металлов. – 2010. – № 3. – С. 28-31.
11. Афанасьев В.К. Применение гидрида лития и фосфида меди для обработки расплава поршневых алюминиево-кремниевых сплавов / В.К. Афанасьев, А.Н. Прудников, А.А. Ружило и [др.]. / Водородное материаловедение и химия углеродных наноматериалов: сб. материалов VIII Межд. конф. ICHMS. – Киев: ADEF-Ukraine, 2003. – С. 380-381.

ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЕ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ <i>Пимахин А.В., Осколкова Т.Н.</i>	218
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ГОМОГЕНИЗАЦИИ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТРАНСФОРМАЦИИ ФАЗЫ Al_3FeSi 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
3D-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 вскрывными 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