

**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**

3. Tsai, K.Y., Tsai M. H., Yeh J.W. Sluggish diffusion in CoCrFeMnNi high entropy alloys // *Acta Materialia*. 2013. V. 61. Pp. 4887 – 4897.

4. Osintsev K., Gromov V., Vorob'ev S., Ivanov Yu., Panchenko, I. Influence of Electron Beam Treatment on the Defect Substructure of a High-Entropy Co–Cr–Fe–Mn–Ni Alloy. // *Steel in Translation*. 2022. V. 52. Pp. 375-379. 10.3103/S0967091222040106.

5. Zhang Y., Zuo T.T., Tang Z., Gao M.C., Dahmen K.A., Liaw P.K., Lu Z.P. Microstructures and properties of high-entropy alloys // *Progress in Materials Science*. 2014. V. 61. Pp. 1–93.

6. G.A. Salishchev, M.A. Tikhonovsky, D.G. Shaysultanov, N.D. Stepanov, A.V. Kuznetsov, I.V. Kolodiy, A.S. Tortika, O.N. Senkov. J. Effect of Mn and V on structure and mechanical properties of highentropy alloys based on CoCrFeNi system // *Accepted manuscript*. 2014. V. 11. Pp. 591.

7. George E.P., Raabe D., Ritchie R.O. Highentropy alloys. // *Nature Reviews Materials*. 2019. V. 4. Pp.515 – 534.

УДК 669.715.621.78

ВЛИЯНИЕ НАВОДОРОЖИВАНИЯ НА СТРУКТУРУ КРУПНОГАБАРИТНЫХ СЛИТКОВ ИЗ ЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА

Прудников А.Н., Прудников В.А., Рекснус В.С.

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

Исследована структура крупногабаритных слитков из эвтектического силумина с 12 % Si, изготовленных без обработки и с наводороживанием расплава. Показано, что для слитков из эвтектического силумина диаметром 190 мм характерно наличие неоднородной структуры по их сечению. Установлено, что наводороживание расплава приводит не только к изменению размеров структурных составляющих, но и к появлению в центральной зоне слитка кристаллов первичного кремния.

Ключевые слова: эвтектический силумин, состав, структура, слиток, эвтектика, кристаллы первичного кремния

В настоящее время увеличилось количество работ, посвященных пластической деформации эвтектических и заэвтектических силуминов. Этот интерес связан с широким использованием данных сплавов в промышленности и их комплексом физико-механических и технологических свойств [1-4]. Одним из основных способов повышения механических характеристик силуминов является обработка металла давлением [5-9]. Причем регламентирующим фактором возможности реализации пластической деформации слитков из заэвтектических и эвтектических силуминов является их микроструктура. Зачастую, важную роль в формировании структуры силуминов

игрывают размеры исследуемых слитков, так как габариты слитка связаны со скоростью охлаждения расплава и, следовательно, с размерами и распределением эвтектического и первичного кремния, а также других промежуточных фаз в структуре сплавов. В связи с этим, целью данной работы является исследование влияния наводороживания расплава на структуры крупногабаритных слитков (диаметр 190 мм) из эвтектического сплава Al-12 % Si.

В качестве материала исследования использовали слитки из двойного эвтектического силумина Al-12 % Si.

Таблица 1 – Химический состав исследуемого сплава

Сплав	Компоненты сплава, вес. %						
	Si	Fe	Cu	Mg	Ni	Ti	Al
Al-12 % Si	11,87	0,11	0,02	0,012	0,004	0,002	ост.

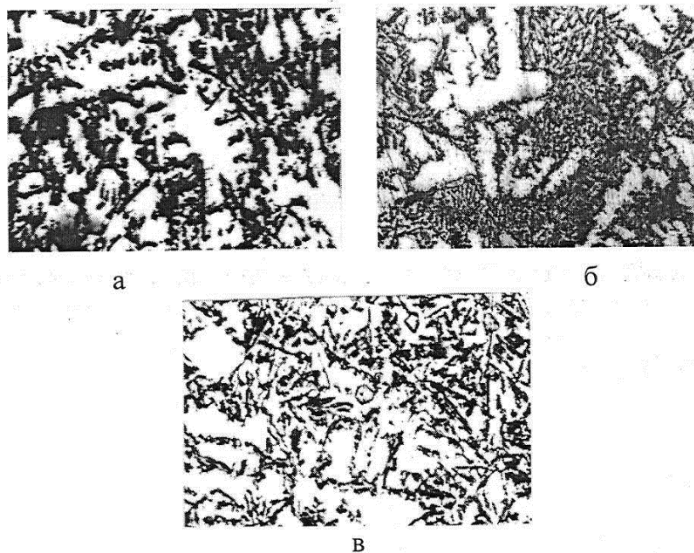
Выплавку силуминов проводили в индукционной высокочастотной печи для алюминиевых сплавов ИАТ-0,06 в промышленных условиях цеха централизованного ремонта АО «Русал-Новокузнецк». Приготовление расплава осуществляли в графито-шамотном тигле емкостью 40 кг. Силумины готовили на алюминии марки А7 (ГОСТ 11069–74), кремнии марки Кр0 (ГОСТ 2169–69). Наводороживание расплава проводили с помощью влажных асбестовых тампонов после загрузки сначала одной, а потом и второй навески партии кремния до их полного растворения. В процессе наводороживания температура расплава изменялась в интервале 700–760 °С. После снятия шлака с поверхности расплава и отстаивания в течение 5 минут проводили заливку в стальной кокиль цилиндрической формы при температуре 700–730 °С. Габариты слитков составляли: диаметр 190 мм, высота 520±10 мм, вес 36±0,5 кг.

Металлографический анализ слитков проводили на поперечных темплетях, приготовленных по стандартной методике для алюминиевых сплавов с использованием оптического микроскопа ЛабоМет-И1.

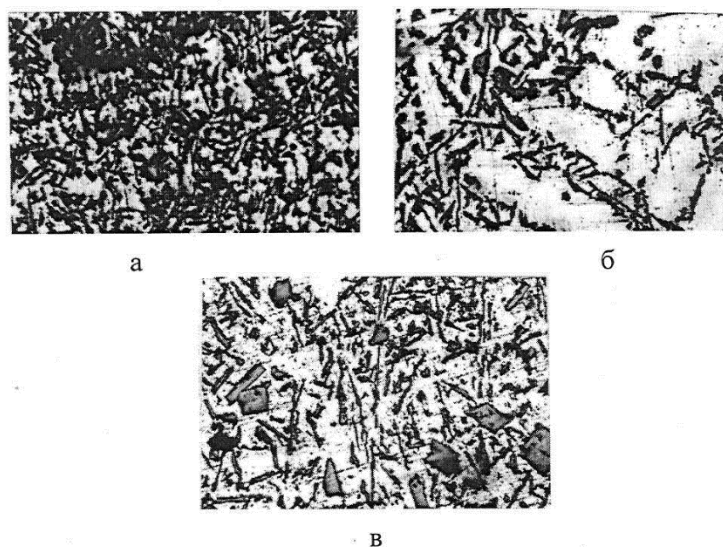
Микроструктура слитков в поперечном сечении по зонам приведена на рисунках 1 (без обработки) и 2 (с наводороживанием расплава).

В слитке из эвтектического сплава Al-12 % Si, приготовленного без обработки расплава, в поверхностной области наблюдается частично модифицированная эвтектика (Al+Si) с дендритами или участками α -твердого раствора алюминия (рисунок 1, а). Ближе к центральной части слитка наблюдается переходная зона от модифицированной к размодифицированной эвтектики совместно с участками α -твердого раствора – промежуточная (рисунок 1, б). В большем объеме слитка в его центральной части формируется структура, состоящая из размодифицированной эвтектики игольчатого типа и крупных дендритов и участков α -твердого раствора алюминия (рисунок 1, в). Огрубление структуры центральной части слитка из эвтектического силумина можно связать с замедленной скоростью охлаждения внутренних слоев металла по сравнению с поверхностными слоями. Причем, чем больше диаметр слитка,

тем меньше скорость охлаждения жидкого металла в его центральной части и тем больше степень огрубления структурных составляющих.



а – поверхностная; б – промежуточная; в – центральная зоны
Рисунок 1 – Микроструктура слитка из сплава Al-12 % Si по зонам, $\times 120$



а – поверхностная; б – промежуточная; в – центральная зоны
Рисунок 2 – Микроструктура слитка из сплава Al-12 % Si, приготовленного с наводороживанием расплава, по зонам, $\times 120$

Наводороживание расплава приводит к изменению структуры слитка. В поверхностной зоне слитка также наблюдается частично модифицированная эвтектика, однако объемная доля α -твердого раствора алюминия значительно меньше. В промежуточной и центральной зонах слитка наряду с размодифицированной эвтектикой игольчатого типа в структуре присутствуют кристаллы первичного кремния (КПК). Степень размодифицированности эвтектики (Al+Si), количество и размеры КПК увеличиваются к центру слитка. Средний размер первичных кристаллов кремния составляет 20÷60 мкм (рисунок 2, б, в).

Таким образом, изучена микроструктура крупногабаритных слитков (диаметр 190 мм, вес 36 кг), изготовленных из эвтектического силумина с 12 % Si. Показано, что структура при таких габаритах слитка отличается неоднородностью, в частности наличием нескольких зон с различными размерами и объемными долями структурных составляющих. Установлено, что наводороживание расплава приводит к формированию в центральной зоне слитка структуры с меньшими по размеру КПК.

Библиографический список

1. 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.
2. 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.
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. Комплексное воздействие отжигов и термоциклическойковки на структуру и свойства заэвтектических силуминов // *Деформация и разрушение материалов*. – 2014. – № 2. – С. 14 - 20.
6. 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.
7. 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.
8. Прудников А.Н. Поршневые деформируемые заэвтектические силумины / А.Н. Прудников // *Технология металлов*. – 2014. – № 2. – С. 8 - 11.
9. 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.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА $\text{CoCrFe}_x\text{Mn}(40-x)\text{Ni}$ С ПОМОЩЬЮ РАСЧЕТА ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ <i>Панова В.С., Кузнецова В.А., Осинцев К.А., Коновалов С.В., Панченко И.А.</i>	172
СТРУКТУРА ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ CoCrFeMnNi <i>Панченко И.А., Коновалов С.В., Гостевская А.Н., Дробышев В.К.</i>	174
ВЛИЯНИЕ НАВОДОРОЖИВАНИЯ НА СТРУКТУРУ КРУПНОГАБАРИТНЫХ СЛИТКОВ ИЗ ЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА <i>Прудников А.Н., Прудников В.А., Рексис В.С.</i>	177
ВОЗДЕЙСТВИЕ СТАРЕНИЯ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ ТРАКТОРНОГО ПОРШНЯ ИЗ СПЛАВА AK21M2,5N2,5 <i>Прудников А.Н., Закирова Г.К.</i>	181
МИКРОСТРУКТУРА СТАЛИ 10 ПОСЛЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ОТЖИГА <i>Прудников А.Н., Закирова Ш.К.</i>	184
ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ВСТРОЕННОГО ТЕПЛООБМЕННИКА РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ <i>Баяндина М.М., Кустов А.В.</i>	187
ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УСЛОВИЯХ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Князев С.В., Куценко А.А., Нечепорук А.И., Сорокин А.А.</i>	192
СИСТЕМА ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И КОМФОРТА В ОБЖИМНОМ ЦЕХЕ <i>Куценко А.А., Назаров М.А.</i>	195
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ПУТЕМ ЗАМЕНЫ ТЯГОДУТЬЕВЫХ АГРЕГАТОВ ГО МОЗ НА АСПИРАЦИОННЫЕ ГАЗО-ЖИДКОСТНЫЕ УСТАНОВКИ <i>Куценко А.А., Назаров М.А.</i>	198
ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Al-Zn-Mg-Cu <i>Дробышев В.К., Лабунский Д.Н., Коновалов С.В., Панченко И.А.</i>	201
ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТАЛЛОТЕРМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ МАРГАНЦА <i>Сафонов С.О., Лопатина А.О., Дида Н.И., Савичева Д.Н., Тархнишвили Г.Э.</i>	204
ПРОИЗВОДСТВО СОРТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ-РАЗДЕЛЕНИЯ <i>Вахроломеев В.А., Фастыковский А.Р.</i>	210
ЦИФРОВОЙ ПОДХОД В ОЦЕНКЕ ПРОЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ПРОКАТНОЙ КЛЕТИ <i>Раковский В.С., Чернова А.А., Наумченко Д.М., Щербак А.Н., Фастыковский А.Р.</i>	213