
УДК 669.715.018:621.745

Д-р техн. наук В. З. Куцова, канд. техн. наук О. А. Носко,
канд. техн. наук Т. А. Аюпова, А. О. Купчинская

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОРШНЕВОГО СИЛУМИНА АК18 ПОСЛЕ ВОДОРОДНОЙ ОБРАБОТКИ

В работе изучена структура, фазовый состав, микротвердость, количественное соотношение и линейные размеры структурных составляющих, плотность сплава АК18(B-Sn) в исходном состоянии и после водородной обработки. Установлено, что водородная обработка сплава АК18 обеспечивает более благоприятные параметры структуры, за счет чего существенно повышается комплекс механических свойств.

Ключевые слова: силумин, модифицирование, водородная обработка, β -Si твердый раствор, эвтектика α -Al + β -Si.

Введение

Заэвтектические силумины являются материалом, обладающим хорошими литейными свойствами, высоким модулем упругости, низким температурным коэффициентом линейного расширения, хорошей свариваемостью и обрабатываемостью резанием, также сравнительно невысокой стоимостью. Их применяют в качестве литейных сплавов для изготовления деталей, которые требуют низкого линейного расширения и повышенных характеристик жаропрочности. Заэвтектические силумины широко используются для производства поршней двигателей внутреннего сгорания и ряда других деталей, изготовленных методами фасонного литья или жидкой штамповки [1].

Преследуя цель улучшить структуру и свойства поршневых силуминов, их подвергают модифицированию, физико-химическому воздействию, а также применяют термическую обработку. В данной работе использовали модифицирование сплава АК18 комплексом В-Sn и водородную обработку расплава по разным режимам для улучшения структуры и свойств.

Материал и методика исследований

Объектом исследований в данной работе служили образцы заэвтектического силумина АК18, легированного комплексом В-Sn в количестве 0,05 %.

Химический состав исследуемого сплава приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав сплава АК18

Исследуемый сплав	Химические элементы, %					
	Si	Fe	Mn	Mg	B-Sn	Al
АК18	18,0	0,3	0,2	0,3	0,05	основа

Таблица 2 – Параметры режимов водородной обработки сплава АК18

Обработка	T печи, °C	T заливки разрывных образцов, °C	T заливки металлографических образцов, °C/№ образца	
			$h^*=2$ мм $T_{\phi}^{**}=250$ °C	$h^*=10$ мм $T_{\phi}^{**}=25$ °C
Исходный сплав	799	–	760	760
			1	2
Водородная обработка, 10 мин	804	780	780	780
			3	4
Водородная обработка, 20 мин	803	798	790	790
			9	11
Водородная обработка, 40 мин	800	680	680	680
			13	15
Водородная обработка, 40 мин	800	–	$T_{зак} = 680$ °C 16	
Водородная обработка, 90 мин	800	756	$T_{зак} = 755$ °C 19	

Примечание: h^* – толщина стенки формы, T_{ϕ}^{**} – температура формы на момент заливки

Микроструктуру образцов выявляли в 0,5 % и 1 % водном растворе плавиковой кислоты. Исследование микроструктуры осуществляли с помощью оптического микроскопа «Neophot-21». Количественные параметры структуры сплава определяли методами стереометрической металлографии. Микротвердость фаз и структурных составляющих измеряли прибором ПМТ-3. Твердость измеряли по методу Бринеля.

Водородную обработку расплава проводили по методике ФТИМС НАНУ [2].

Параметры водородной обработки расплава АК18 приведены в таблице 1.

Теория и анализ полученных результатов

Основные фазы и структурные составляющие сплава АК18 – кремниевый твердый раствор (β -Si), эвтектика – α -Al- β -Si и алюминиевый твердый раствор (α -Al). Легирующие элементы и примеси образуют интерметаллидные фазы.

Анализ микроструктур исходных образцов (рис. 1) свидетельствует, что с увеличением скорости охлаждения наблюдается уменьшение размеров первичных кристаллов β -Si твердого раствора и их существенное разветвление. Наблюдается также уменьшение межпластинчатого расстояния в эвтектике α -Al + β -Si, морфология эвтектики сохраняется пластинчатой.

В структуре силумина АК18 с помощью металлографического анализа и травления выявлены интерметаллидные фазы, которые идентифицированы [1, 5] как интерметаллиды типа $(FeMn)_3Si_2Al_{15}$ (рис. 2). Интерметаллиды, содержащие В, Sn, не обнаружены.

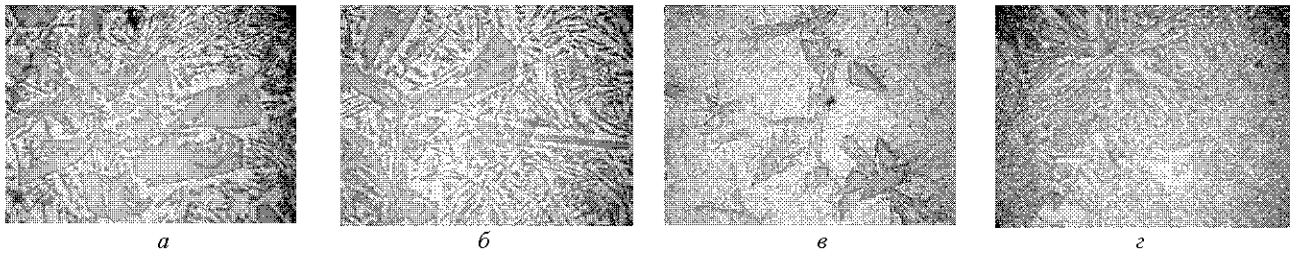


Рис. 1. Структура исходного силумина АК18:

a, б – медленное охлаждение; *в, з* – ускоренное охлаждение; $\times 100$

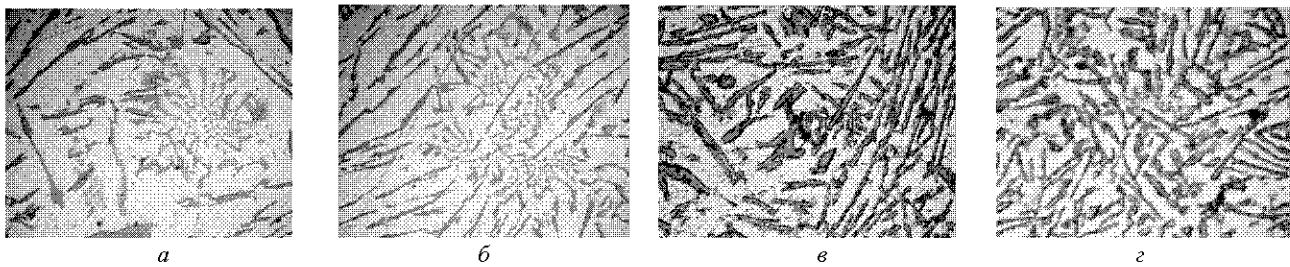


Рис. 2. Интерметаллиды в структуре исходного силумина АК18:

a, б – медленное охлаждение; *в, з* – ускоренное охлаждение; *a, б* – $\times 400$, *в, з* – $\times 800$

Водородная обработка приводит к изменению форм роста первичных кристаллов β -Si твердого раствора (рис. 3, *a, б*). Наряду с пятилучевыми кристаллами наблюдаются H-образные кристаллы [4]. Морфология эвтектики сохраняется пластинчатой, межпластинчатое расстояние уменьшается (рис. 3, *a, б*). Увеличение времени водородной обработки от 20 до 40 минут независимо от условий охлаждения приводит к измельчению первичных кристаллов β -Si твердого раствора, формированию компактных кристаллов правильной формы и появлению псевдопервичных дендритов α -Al твердого раствора, формированию ободка α -Al твердого раствора вокруг кристаллов β -Si твердого раствора (рис. 3 *в-д*). Увеличение времени водородной

обработки от 40 до 90 мин наряду с вышеописанным изменением структуры приводит к формированию более тонкодифференцированной эвтектики не только пластинчатой, но и стержневой морфологии (рис. 3, *е-ж*).

Интерметаллид $(\text{FeMn})_3\text{Si}_2\text{Al}_{15}$ в сплаве АК18 до и после водородной обработки имеет скелетную форму (рис. 4), которая является наиболее благоприятной для этой фазы [5]. В результате водородной обработки сплава АК18 интерметаллидная фаза $(\text{FeMn})_3\text{Si}_2\text{Al}_{15}$ измельчается и становится менее разветвленной. Наиболее наглядно это наблюдается в образцах после водородной обработки с последующим медленным охлаждением (рис. 4, *a*, рис. 2, *a*)

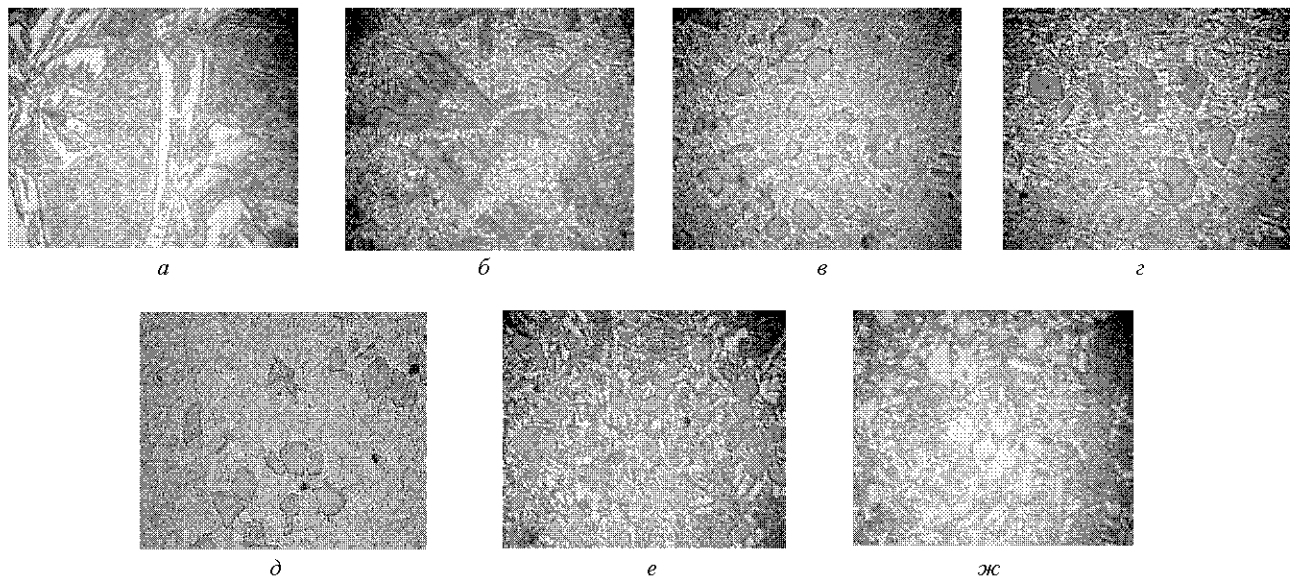


Рис. 3. Микроструктура сплава АК18 после водородной обработки:

a – образец № 3, *б* – образец № 4, *в* – образец № 9, *з* – образец № 11, *д* – образец № 15, *е* – образец № 16, *ж* – образец № 19, $\times 100$

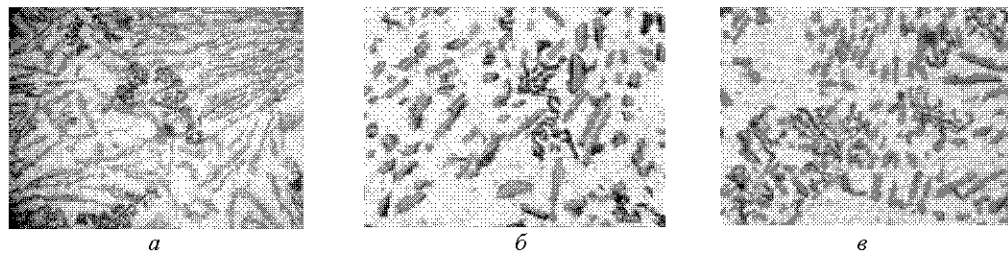


Рис. 4. Микроструктура сплава АК18 после водородной обработки:
а – образец №3; б – образец № 4; в – образец 15; а – $\times 400$; б-в – $\times 1000$

Анализ результатов стереометрических исследований структуры сплава АК18 (табл. 3) свидетельствует, что водородная обработка обеспечивает уменьшение количества первичных кристаллов β -Si твердого раствора в 1,25–2 раза и увеличение количества эвтектической составляющей. Размер первичных и эвтектических кристаллов β -Si твердого раствора уменьшается более, чем в два раза, а межпластинчатое расстояние эвтектики α -Al- β -Si – от 0,8 до 3 раз.

Наименьшие линейные размеры структурных составляющих наблюдаются после водородной обработки сплава в течение 40 мин и закаленном в воде с тем-

пературы 680 °С, также после 40 мин водородной обработки с последующим быстрым охлаждением. Такие изменения структуры должны обеспечивать улучшение механических свойств заэвтектического силумина.

Заэвтектические силумины являются литейным материалом, поэтому одной из важных характеристик является плотность сплава. Плотность сплава АК18 оценивали путем взвешивания образцов на воздухе и в растворе четыреххлористого углерода (CCl_4). Полученные данные приведены на рисунке 5.

Таблица 3 – Количественные параметры структуры сплава АК18 после водородной обработки

№ образца	Ср. % структурных составляющих		линейные размеры		
	% первичных кристаллов β -Si	% эвтектики α -Al- β -Si	первичных кристаллов β -Si	эвтектики α -Al- β -Si	
				эвтектич. Si	межпл. расстояние
Скорость охлаждения сплава $V_{охл} = 0,04$ °С/мин					
1	10	90	245,5	88,5	17,28
3	8	92	213,5	79,1	13
9	6,33	93,67	158,1	67,2	11,95
Скорость охлаждения сплава $V_{охл} = 0,4$ °С/мин					
2	5,75	89,25	221,9	33,7	5,8
4	3	97	193,4	39,9	4,8
11	4,92	95,08	131,4	33,3	5,33
15	6,48	93,52	103,9	27,1	5
Образцы после закалки					
16	8,98	91,02	89,2	27,7	5,33
19	8,82	91,18	105,8	23,3	3,84

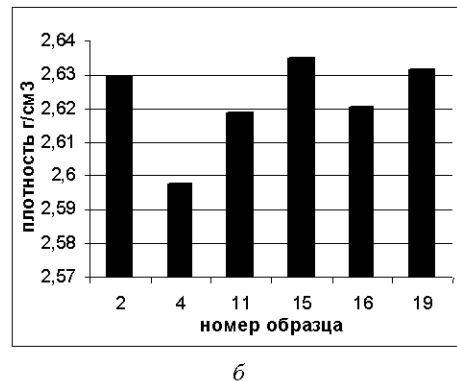
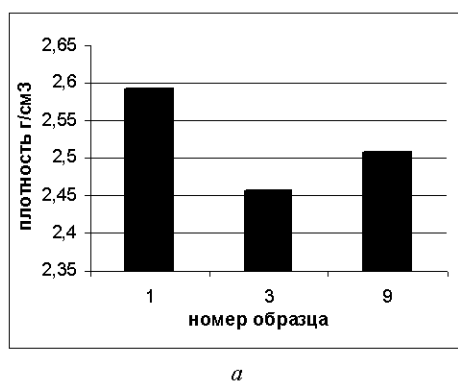
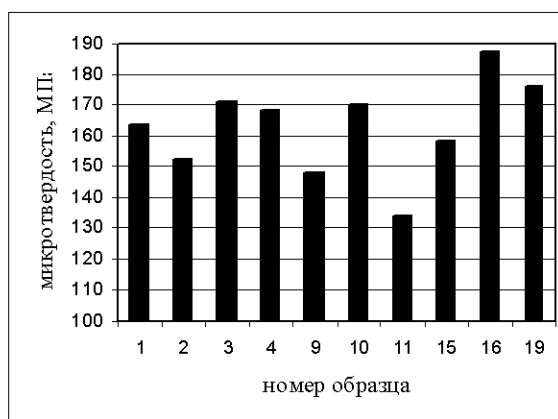


Рис. 5. Плотность сплава АК18 после водородной обработки с последующим медленным охлаждением (а) и быстрым охлаждением (б)



a



b

Рис. 6. Микротвердость кристаллов β -Si твердого раствора (a) и эвтектики α -Al- β -Si (b) в образцах заэвтектического силумина после водородной обработки

Таблица 4 – Значение твердости сплава АК18

№ образца	1	2	3	4	9	10	11	15	16	19
НВ	109	120	140	142	155	137	143	143	126	123

Плотность сплава понижается после 5-ти минут водородной обработки при различных скоростях охлаждения. При увеличении времени водородной обработки более 5-ти минут плотность сплава возрастает: при медленном охлаждении плотность сплава колеблется в пределах 2,45–2,6 г/см³, при быстром 2,6–2,63 г/см³.

Микротвердость первичных кристаллов β -Si твердого раствора колеблется в интервале 6263–7500 МПа, а эвтектики 134–187 МПа, соответственно (рис. 6). Наибольшие значения наблюдаются при увеличении времени выдержки водородной обработки до 40–90 мин.

Твердость сплава АК18, легированного комплексом В-Sn, почти в 2 раза превышает твердость немодифицированного силумина [3]. Последующая водородная обработка приводит к увеличению твердости в среднем на 25 %.

Выводы

Проведено исследование влияния водородной обработки на структуру и свойства сплава АК18, легированного комплексом В-Sn. Показано:

- водородная обработка в течение 10 мин приводит к изменению форм роста первичных кристаллов β -Si твердого раствора, наряду с пятилучевыми кристаллами наблюдаются H-образные кристаллы. Морфология эвтектики сохраняется пластинчатой;

- в результате водородной обработки в течение 20–40 мин существенно измельчаются структурные составляющие сплава АК18: первичные и эвтектические

кристаллы β -Si твердого раствора уменьшаются в 1,5–2 раза, межпластинчатое расстояние в эвтектике уменьшается в 1,2–3 раза;

- наилучшее соотношение параметров структуры, микротвердости, твердости и плотности наблюдается в образце после водородной обработки в течение 40 минут с последующим быстрым охлаждением.

Список литературы

1. Мондольфо Л. Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов / Л. Ф. Мондольфо ; [пер. с англ.]. – М. : Металлургия, 1979. – 640 с.
2. Борисов Г. П. Водородная обработка расплава – как метод снижения водородной пористости отливок из алюминиевых сплавов / Г. П. Борисов // Водородная обработка материалов. – Донецк : ДонГТУ, 2001. – С. 202–204.
3. Носко О. А. Особливості структури, фазові перетворення легованого кремнію і модифікованих заэвтектичних силумінів та розробка способів підвищення їх властивостей : автореф. дис. канд. техн. наук : спец. 05.16.01 / О. А. Носко. – Д., НметАУ. – 2006. – 20 с.
4. Kutsova V. Z. The Regularities of the Structure Formation and Phase Transformation in Al-Si Alloys / Kutsova V. Z. // Advanced Light Alloys and Composites. – NATO ASI Series. – 1997 – P. 29–34.
5. Силумины. Атлас микроструктур и фактограмм промышленных сплавов : Справочн. изд. / [Пригунова А.Г., Белов Н. А., Таран Ю. Н. и др.]. – М. : МИСиС, 1996. – 175 с.

Одержано 18.11.2011

Куцова В.З., Носко О.А., Аюпова Т.А., Купчинська А.О. Структура і властивості модифікованого поршневого силуміну АК18 після водневої обробки

У роботі досліджено структуру, фазовий склад, мікротвердість, кількісне співвідношення та лінійні розміри структурних складових, щільність сплаву АК18 в вихідному стані та після водневої обробки. Встановлено, що воднева обробка сплаву АК18 зумовлює кращі параметри структури, за рахунок чого суттєво підвищується комплекс механічних властивостей.

Ключові слова: силумін, модифікування, воднева обробка, β -Si – твердий розчин, евтектика α -Al + β -Si.

Kutsova V., Nosko O., Ayupova T., Kupchinskaya A. Structure and properties of modified piston silumin AK18 after hydrogen treatment

Microstructure, growth forms of primary crystals phase composition, quantitative parameters and linear size of structure components, density, microhardness and mechanical properties of hypereutectic industrial piston silumin after hydrogen treatment are studied. It is shown that the best quantitative parameters of structure and mechanical properties in modified silumin are observed after hydrogen treatment.

Key words: silumin, modifying, hydrogen treatment, β -Si solid solution, eutectic α -Al + β -Si.
