

Библиографический список

1. Oliver W. C., Pharr G. M. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments // J. Mater. Res. – 1992. – Vol. 7. – № 6. – P. 1564-1583.
2. ISO group TC 164/SC 3/WG1 and ASTM E28.06.11. ISO/DIS 14577-1, 2 and 3.
3. Дуб С. Н., Новиков Н. В. Испытания твердых тел на нанотвердость // Сверхтвердые материалы. – 2004. – № 6.
4. Oliver W. C. and Pharr G. M. An Improved Technique for Determining Hardness and Elastic Modulus Using Load and Displacement Sensing Indentation Experiments // J. Mater. Res. – 1992. – V. 7. – № 6. – P. 1564-1583.
5. Oliver W. C. and Pharr G. M. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology // J. Mater. Res. – 2004. – V. 19. – № 1. – P. 3-20.
6. Трунов М. Л., Биланч В. С., Дуб С. Н. Исследование вязкоупругого механического поведения материалов при испытаниях на нанотвердость // Письма в ЖТФ. – 2007. – Т. 77. – В. 10. – С. 50-57.
7. Исаенкова М. Г., Перлович Ю. А., Головин Ю. И. Использование наноиндентометра для оценки механических свойств материалов // «Ядерная физика и технологии». – М, 2008. – С. 23.
8. Федосов С. А., Пешек Л. Определение механических свойств материалов микроиндентированием. Современные зарубежные методики. – М.: МГУ, 2004.
9. Головин Ю. И., Дуб С. Н., Иволгин В. И., Коренков В. В., Тюрин А. И. ФТТ 47, 961 (2005).

Поступила 04.02.2015



УДК 669.715.018:621.745

Наука

Куцова В. З. /д. т. н./, Носко О. А. /к. т. н./,
Купчинская А. О.
ИМетАУ

Улучшение структуры и свойств силумина АК18 (В-Sn) путем водородной обработки и термоциклирования

Исследована структура, фазовый состав, микротвердость, количественное соотношение и линейные размеры структурных составляющих, распределение элементов в образцах сплава АК18 в исходном состоянии и после водородной обработки с последующим термоциклированием. Установлено, что водородная обработка сплава АК18 с последующим термоциклированием вызывает лучшие параметры структуры, за счет чего существенно повышается комплекс механических свойств. Ил. 7. Табл. 3. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: поршневой силумин, микроструктура, водородная обработка, термоциклирования, механические свойства

Microstructure, growth forms of primary crystals, quantitative parameters and linear size of structure characteristics, microhardness, distribution of elements and mechanical testing of hypereutectic industrial piston silumin after hydrogen treatment and thermocycling are studied at present work. It is shown that the best quantitative parameters of structure and mechanical properties in modified silumin observed after hydrogen treatment during 40 minutes and hermocycling.

Keywords: piston silumins, microstructure, hydrogen treatment, thermal cycling, mechanical properties

Силумины – важнейшие алюминиевые литейные сплавы, обладающие хорошими литейными свойствами, высоким модулем упругости, низким температурным коэффициентом линейного расширения, хорошей свариваемостью и обрабатываемостью резанием при сравнительно невысокой стоимости [1].

Для улучшения структуры и свойств поршневых силуминов их подвергают физико-химическому воздействию на расплав и термической обработке в твердом состоянии.

Цель работы

Исследование влияния термоциклирования на структуру и свойства модифицированно-

го комплексом В-Sn силумина АК18, предварительно прошедшего водородную обработку.

Материал и методы исследования

Объектом исследования в данной работе служили образцы силумина АК18, модифицированного комплексом В-Sn. Химический состав исследуемого сплава приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав исследуемого сплава

Наименование сплава	Химический состав, %					
	Si	Fe	Mn	Mg	B-Sn	Al
АК18	18,0	0,3	0,2	0,3	0,05	основа

Для выявления общей микроструктуры образцы травили 0,5 % водным раствором плавиковой кислоты с последующей промывкой в струе проточной воды.

Исследование микроструктуры осуществляли с помощью оптического микроскопа «Neophot-21». Микротвердость фаз и структурных составляющих определяли с помощью микротвердомера ПМТ-3 по стандартной методике. Количественные параметры структуры сплава исследовали методами стереометрической металлографии. Твердость измеряли твердомером по методу Бринелля. Механические свойства измеряли на установке «Instron».

Водородную обработку расплава проводили на оборудовании ФТИМС НАНУ по методике, разработанной под руководством чл.-корр. НАНУ Г. П. Борисова [2]. При бескислородном методе наводороживания жидких алюминиевых расплавов в данной работе производили посредством введения в расплав препарата «PROBAT-FLUSS DEGASER T200» производства фирмы «SCHAFER» (Германия), изготовленного на основе гидрида титана. Для этого мерное количество флюса, который составляет 0,1; 0,2; 0,3 и 1 % от массы расплава в тигле лабораторной печи в момент обработки, заворачивали в алюминиевую фольгу и с помощью колокольчика, окрашенного кокильной краской, вводили в расплав, при тщательном перемешивании в продолжение 4 минут. Гидрид титана при температуре выше 500 °С диссоциирует на титан и

водород, которые растворяются в расплаве, а смесь хлоридов калия и натрия хорошо смачивает металл и способствует удалению окислов алюминия всплывающими пузырьками водорода. Параметры водородной обработки приведены в табл. 2.

Термоциклирование проводили в пять циклов в интервале температур 475-485 °С, выдержка при температуре термоциклирования – 15 минут.

Результаты эксперимента

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 размеров эвтектических кристаллов кремния и межпластинчатого расстояния в эвтектике α-Al + β-Si, морфология эвтектики сохраняется пластинчатой (рис. 2). Также в структуре силумина АК18 с помощью металлографического анализа и травления выявлены интерметаллидные фазы, которые идентифицированы [1, 5] как интерметаллиды типа (FeMn)₃Si₂Al₁₅ (рис. 2).

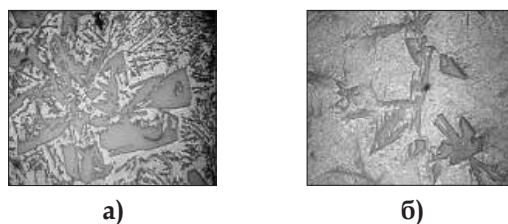


Рис. 1. Структура исходного модифицированного силумина АК18, x100:

а - $V_{охл} = 0,04$ °С/мин; б - $V_{охл} = 0,4$ °С/мин

Водородная обработка приводит к изменению форм роста первичных кристаллов β-Si твердого раствора (рис. 3а), наряду с пятилучевыми кристаллами наблюдаются Н-образные кристаллы. Морфология эвтектики сохраняется пластинчатой, межпластинчатое расстояние уменьшается (рис. 3а).

Водородная обработка от 20 до 40 мин приводит к измельчению первичных кристаллов β-Si твердого раствора, формированию компактных кристаллов правильной формы (рис. 3б-г).

Таблица 2

Параметры режимов гидроциркуляционной обработки сплава типа АК18 (В-Sn)

Обработка	Т печи, °С	Т заливки разрывных образцов, °С	Т заливки металлограф. образцов, °С/№ образца	
			$h^* = 2$ мм $T_{ф}^{**} = 250$ °С	$h^* = 10$ мм $T_{ф}^{**} = 25$ °С
Исходный сплав АК18 (В-Sn)	799	-	760/1	760/4
Водородная обработка, 10 мин	804	780	780/2	780/5
Водородная обработка, 20 мин	803	798	790/3	790/6
Водородная обработка, 40 мин	800	680	-	680/7
Водородная обработка, 40 мин	800	-	$T_{зак} = 680$ °С / 8	
Водородная обработка, 90 мин	800	756	$T_{зак} = 755$ °С / 9	



Рис. 2. Структура исходного модифицированного силумина АК18, х400:
а - $V_{\text{охл}} = 0,04 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{мин}$; б - $V_{\text{охл}} = 0,4 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{мин}$

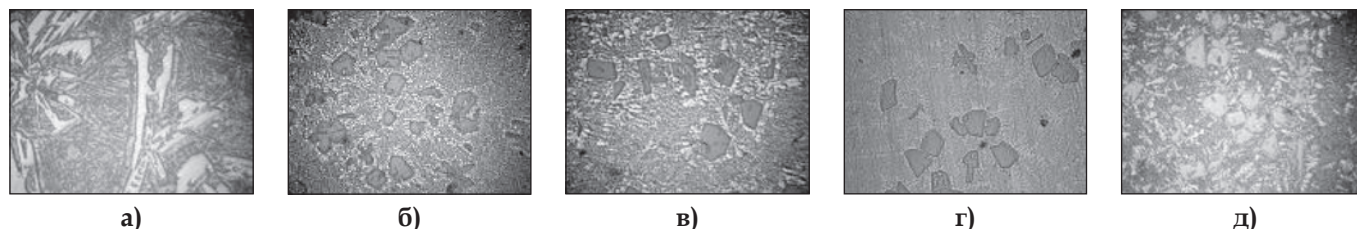


Рис. 3. Микроструктура сплава АК18 (В-Sn) после водородной обработки, х100:
а - образец № 2; б - образец № 3; в - образец № 6; г - образец № 7; д - образец № 9

Увеличение времени водородной обработки от 40 до 90 мин приводит к появлению псевдопервичных дендритов α -Al твердого раствора, формированию ободка α -Al твердого раствора вокруг кристаллов β -Si твердого раствора, формированию более тонкодифференцированной эвтектики не только пластинчатой, но и стержневой морфологии (рис. 3д).

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 более разветвленной. Наиболее наглядно это наблюдается в образцах после водородной обработки с последующим медленным охлаждением (рис. 4а)

Микроструктуры образцов сплава АК18 (В-Sn), предварительно подвергнутых водородной обработке, после термоциклирования представлены на рис. 5. Термоциклирование приводит к измельчению первичных кристаллов кремниевого твердого раствора и эвтектики.

Морфология структурных составляющих не меняется, кристаллы первичного кремния приобретают округлую форму за счет подрастворения граней.

Количественное соотношение кристаллов β -Si твердого раствора и эвтектики и линейные размеры структурных составляющих исследованного сплава в исходном состоянии и после водородной обработки и термоциклирования приведены в табл. 3.

Анализ табл. 3 свидетельствует о том, что водородная обработка исследованных спла-

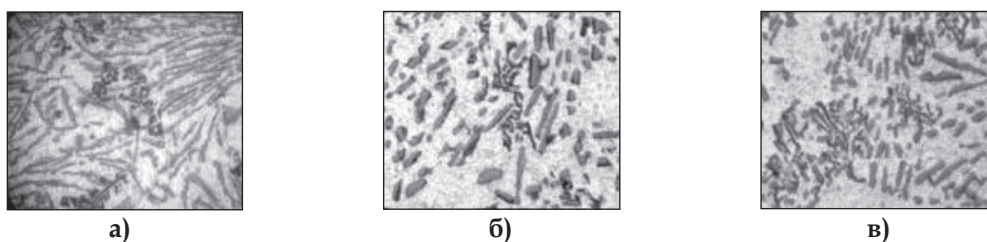


Рис. 4. Микроструктура сплава АК18 после водородной обработки:
а - образец № 2, х400; б - образец № 5, х1000; в - образец № 7, х1000

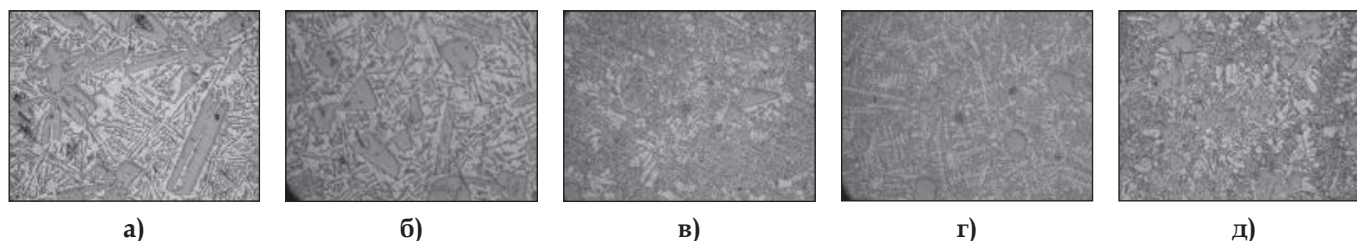


Рис. 5. Микроструктура сплава АК18(В-Sn) после водородной обработки и термоциклирования, х100:
а - образец № 2; б - образец № 3; в - образец № 6; г - образец № 7; д - образец № 9

Количественное соотношение первичных кристаллов β -Si твердого раствора и эвтектики α -Al- β -Si и линейные размеры первичных кристаллов β -Si твердого раствора и эвтектики α -Al- β -Si в сплаве АК18 (B-Sn) после водородной обработки и термоциклирования

Сред. % структур. составл.		Линейные размеры, мкм		
% первич. кристаллов β -Si	% эвтектики α -Al- β -Si	первичных кристаллов β -Si	эвтектики α -Al- β -Si	
			эвтектич. Si	межпл. расстояние
Образцы в исходном состоянии				
14,5	85,5	444	96	18,2
Образцы после водородной обработки				
Скорость охлаждения сплава $V_{\text{охл}} = 0,04 \text{ }^\circ\text{C}/\text{сек}$				
8,11	92	205,7	78,3	14,0
Скорость охлаждения сплава $V_{\text{охл}} = 0,4 \text{ }^\circ\text{C}/\text{сек}$				
5,03	93,7	162,6	33,5	5,2
Образцы после закалки				
8,9	91,05	97,5	25,5	4,5
Образцы после водородной обработки и термоциклирования				
Скорость охлаждения сплава $V_{\text{охл}} = 0,04 \text{ }^\circ\text{C}/\text{сек}$				
7,16	97	166	49,4	11,5
Скорость охлаждения сплава $V_{\text{охл}} = 0,4 \text{ }^\circ\text{C}/\text{сек}$				
4,6	95	131	15,1	6,09
Образцы после закалки				
8,3	91,2	65,7	14,5	4,8

вов приводит к значительному снижению (в 2-4 раза) линейных размеров первичных кристаллов β -Si твердого раствора в зависимости от скорости охлаждения. Термоциклирование исследуемого сплава после водородной обработки приводит к еще дополнительному измельчению первичных кристаллов (в 2-7 раз) и подрастворению их граней в сравнении с исходным состоянием, что в результате обеспечивает уменьшение количества первичных кристал-

лов β -Si на 20 %. Комплексное воздействие (термоциклирование и водородная обработка) образцов оказывает значительное влияние на линейные размеры эвтектической составляющей и приводит к измельчению эвтектического кремния в 1,9-7 раз, межпластинчатого расстояния – 1,6-4 раза.

На рис. 6 представлены графики изменения микротвердости структурных составляющих исследованных образцов.

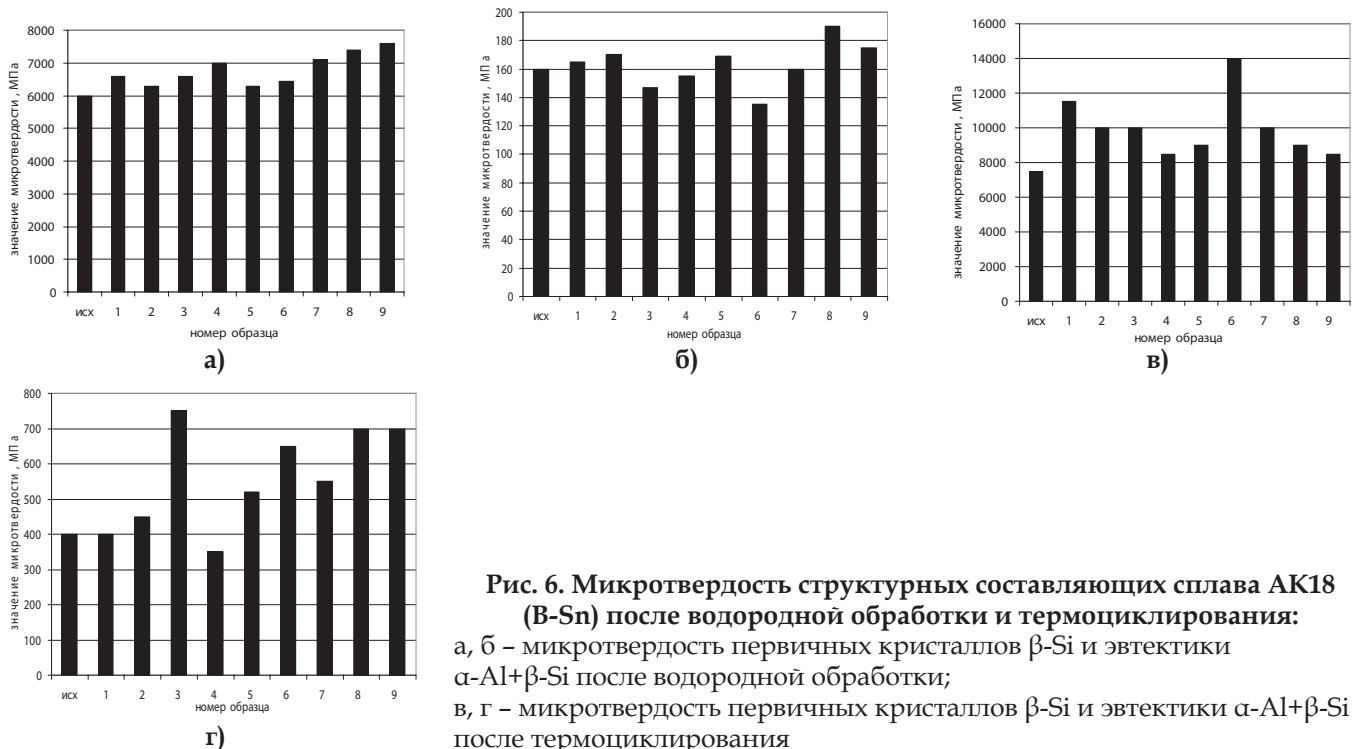


Рис. 6. Микротвердость структурных составляющих сплава АК18 (B-Sn) после водородной обработки и термоциклирования: а, б – микротвердость первичных кристаллов β -Si и эвтектики α -Al+ β -Si после водородной обработки; в, г – микротвердость первичных кристаллов β -Si и эвтектики α -Al+ β -Si после термоциклирования

Анализ рис. 6 показывает, что водородная обработка исследованных сплавов приводит к повышению средних значений микротвердости первичных кристаллов β -Si твердого раствора на 8-25 % (рис. 6а) в зависимости от скорости охлаждения и длительности водородной обработки. В то же время водородная обработка оказывает неоднозначное влияние на микротвердость эвтектики (рис. 6б). В зависимости от режима водородной обработки наблюдается как повышение микротвердости в 1,1-1,2 раза (образцы № 1, 2, 5, 8, 9 из табл. 2), так и снижение в 1,06-1,23 раза (образцы № 3, 4, 6 из табл. 2). Снижение микротвердости обусловлено снижением скорости охлаждения.

Термоциклирование исследуемых образцов сплава АК18 (В-Sn) после предварительной водородной обработки дополнительно повышает средние значения микротвердости фаз и структурных составляющих сплава: микротвердость первичного кремния повышается в 1,13-2 раза (рис. 6в), микротвердость эвтектики в 1,12-1,9 раз (рис. 6г).

Причиной повышения микротвердости первичных кристаллов β -Si после термоциклирования может быть повышение растворимости алюминия в β -Si-твердом растворе или полиморфное превращение $Si_{ГЦК} \rightarrow Si_{РОМБ}$ [3, 4]. Микротвердость эвтектики возрастает за счет уве-

личения легированности кремнием алюминиевого твердого раствора и уменьшения межпластинчатого расстояния.

На образцах, подвергнутых водородной обработке в течение 40 мин с последующим быстрым охлаждением (рис. 7а) и последующей водородной обработкой и термоциклированием (рис. 7б), проведен локальный рентгеноспектральный количественный анализ.

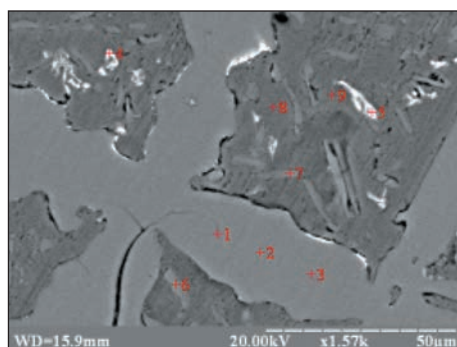
Анализ рис. 7 свидетельствует, что растворимость алюминия в первичных кристаллах β -Si твердого раствора после термоциклирования увеличивается до 6-7 %, по сравнению с 2,8-3,1 % алюминия в первичных кристаллах кремния в образце после водородной обработки, что согласуется с данными измерения микротвердости, а именно, с ее повышением после термоциклирования и водородной обработки.

Выводы

1. Показано, что термоциклирование образцов сплава АК18 (В-Sn), предварительно подвергнутых водородной обработке, приводит:

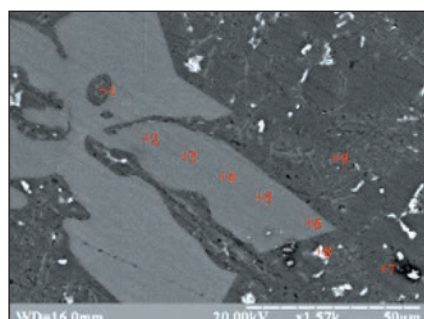
- к измельчению первичных кристаллов β -Si твердого раствора в 2-7 раз, измельчению эвтектического кремния в 1,9-7 раз и уменьшению межпластинчатого расстояния в 1,6-4 раза.

- к повышению микротвердости β -Si твердого раствора в 1,13-2 раза и эвтектики α -Al- β -Si в



Спектр	Распределение элементов, %					
	Al	Si	Mg	Mn	Fe	Sn
1	3,1	96,5	0,38	-	-	-
2	2,88	96,97	0,16	-	-	-
3	2,92	96,97	-	0,05	-	-
4	65,19	10,88	4,5	4,44	14,99	-
5	65,45	16,11	4,13	3,58	10,25	0,48
6	27,96	69,46	-	-	-	0,48
7	34,07	63,43	2,44	-	0,06	-
8	89,86	3,87	6,23	-	-	0,04
9	90,36	3,99	5,52	-	-	-

а)



Спектр	Распределение элементов, %					
	Al	Si	Mg	Mn	Fe	Cu
1	73,5	26,49	-	-	-	-
2	7,2	92,19	-	-	-	0,19
3	6,82	92,72	-	-	-	-
4	6,56	93,23	-	-	-	-
5	7,17	91,21	-	0,12	-	-
6	81,07	18,76	-	0,1	-	-
7	67,99	31,9	-	0,12	-	-

б)

Рис. 7. Микрорентгеноспектральный анализ распределения элементов между фазами и структурными составляющими сплава АК18 (В-Sn):

а - исходный быстро охлажденный сплав;

б - сплав после 40 мин водородной обработки с последующим быстрым охлаждением и термоциклированием

1,12-1,9 раз, а также росту твердости сплава в 2 раза.

2. Полученные данные позволяют рекомендовать водородную обработку в течение 20-40 мин с дальнейшим быстрым охлаждением или закалкой в воду и термоциклированием в твердом состоянии для улучшения свойств сплава АК18 (В-Sn).

Библиографический список

1. Мондольфо Л. Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов: Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1979. – 640 с.

2. Борисов Г. П. Водородная обработка расплава – как метод снижения водородной по-

ристости отливок из алюминиевых сплавов // Водородная обработка материалов. – Донецк, ДонГТУ, 2001. – С. 202-204.

3. Kutsova V. Z. The Regularities of the Structure Formation and Phase Transformation in Al-Si Alloys // Advanced Light Alloys and Composites. – NATO ASI Series. – 1997. – P. 29-34.

4. [Таран Ю. Н.], Куцова В. З., Носко О. А. Фазовые переходы полупроводник-металл // Успехи физики металлов. – Т. 5. – 2004. – С. 87-166.

5. Силумины. Атлас микроструктур и фрактотграмм промышленных сплавов: Справ. изд. / А. Г. Пригунова, Н. А. Белов, Ю. Н. Таран и др. – М.: МИСИС, 1996. – 175 с.

Поступила 04.02.2015



УДК 658.382.3:669.715:621.785

Производство



Скуйбеда Е. Л. /к. т. н./
ЗНТУ

Экологически безопасная технология повышения качества вторичных сплавов системы Al-Si-Cu-Fe

Исследование посвящено улучшению структуры, механических и служебных свойств вторичного сплава АК8МЗ. Применение разработанной экологически безопасной технологии рафинирующе-модифицирующей и термической обработки позволило достичь вторичными силуминами уровня свойств, удовлетворяющего требованиям ГОСТ 1583-93. Промышленная апробация в условиях АО «Мотор-Сич» показала высокую эффективность и технико-экономическую целесообразность использования данной технологии. Ил. 1. Табл. 1. Библиогр.: 7 назв.

Ключевые слова: силумин, рафинирование, модифицирование, термическая обработка, безопасность, токсичность

The research is devoted to improvement of structure and increase of mechanical and service properties of the secondary alloy АК8МЗ. Application of developed ecologically safe technology of refining-modifying and heat treatment allowed secondary silumins to answer the requirements of ГОСТ 1583-93. High efficiency and technical-economic expediency of present technology during production approbation at joint-stock company «Motor-Sich» was shown.

Keywords: silumin, refining, modification, heat treatment, safety, toxicity

Постановка проблемы

В современных экологических, экономических и социально-политических условиях осо-

бую важность для металлургии Украины приобретает использование собственной сырьевой базы, снижение себестоимости выпуска продук-