

УДК 621.74

К. Н. БАРАНОВ

В. П. ГРУША, канд. техн. наук, доц.

А. П. ГУТЕВ

Институт технологии металлов НАН Беларуси (Могилев, Беларусь)

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ВТОРИЧНЫХ СИЛУМИНОВ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЖЕЛЕЗА

Аннотация

Проведены исследования влияния термической обработки на структуру и твердость отливок из силумина $AlSi12Cu3Fe2MnCr0,4$ при литье в струйный кристаллизатор с вибрацией. Исследованы прочностные параметры опытных образцов после их термической обработки.

Ключевые слова:

вторичные силумины, глуходонный кристаллизатор, вибрация, термическая обработка, железосодержащие интерметаллиды, микроструктура.

Термическая обработка (ТО) силуминов, как правило, включает в себя закалку и старение, варьирование температуры и времени выдержки, что позволяет изменять фазовый состав, морфологические параметры структуры и механические свойства отливок. Закалка проводится с целью растворения избыточных фаз и получения максимальной пресыщенности твердого раствора. Старение предназначено для последующего выделения компактных интерметаллидов при распаде твердого раствора и упрочнения силуминов по дисперсионному механизму. В работах [1, 2] было установлено, что стандартные режимы термической обработки вторичных силуминов (с повышенным содержанием железа) не являются оптимальными, необходима их корректировка исходя из содержания в сплаве железа. В связи с этим были проведены исследования влияния термической обработки (закалки и искусственного старения) на структуру и твердость отливок из силуминов с содержанием железа более 2,0 % при литье в струйный кристаллизатор с вибрацией.

В качестве объекта исследований были выбраны образцы из силумина $AlSi12Cu3Fe2MnCr0,4$. Плавку вели в муфельной электропечи марки СНОЛ 30/1300 в графитсодержащем глазурованном тигле АС-20 Т2. Модифицирующие флюсы и лигатуры не применяли. В качестве материалов шихты использовали шину медную М1 и чушку АК12М2 следующего химического состава: Al-81,57 %; Si-14,21 %; Cu-2,24 %; Fe-0,90 %; Zn-0,63 %; Mn-0,17 %; Mg-0,05 %; остальное – примеси. Анализ химического состава проводили с использованием оптико-эмиссионного спектрометра «Solaris» фирмы «GNR» (Италия) с программным обеспечением «Metallab32».

Разливку жидкого металла осуществляли при температуре 900 °С на опытной вибрационно-литейной установке. Получили опытную отливку наружным диаметром 53 мм из силумина АК12М3 с содержанием железа более 2,0 %, марганца – не менее 1,0 % и хрома – не менее 0,4 % от массы отливки. Из сред-

ней части полученной отливки были вырезаны поперечные шлифы, которые были разделены на две равные части для их дальнейшей термообработки.

Температура закалки опытных образцов составляла 525 °С. Время выдержки при нагреве под закалку варьировали в пределах от 2 до 24 ч (образец № 2.3.1 – 2 ч, образец № 2.3.2 – 4 ч, образец № 2.3.3 – 8 ч, образец № 2.3.4 – 24 ч). Последующее искусственное старение закаленных опытных образцов осуществляли при 175 °С. Время выдержки при старении увеличили до 8 ч, что связано с пониженной скоростью прохождения диффузионных процессов, характерных для сплавов с высоким содержанием железа. Для экспериментов применяли муфельную электропечь SNOL 10/11.

Исследования микроструктуры центральной части шлифов опытных образцов проводили на увеличениях от 100 до 1000 крат с помощью аппаратно-программного комплекса на базе микроскопа «Carl Zeiss Axiotech 100 vario» и инвертированного оптического микроскопа Leica DMi8A. Микроструктура и результаты металлографических исследований опытных образцов из силумина $AlSi12Cu3Fe2MnCr0,4$ после их термической обработки представлена на рис.1 и в табл.1.

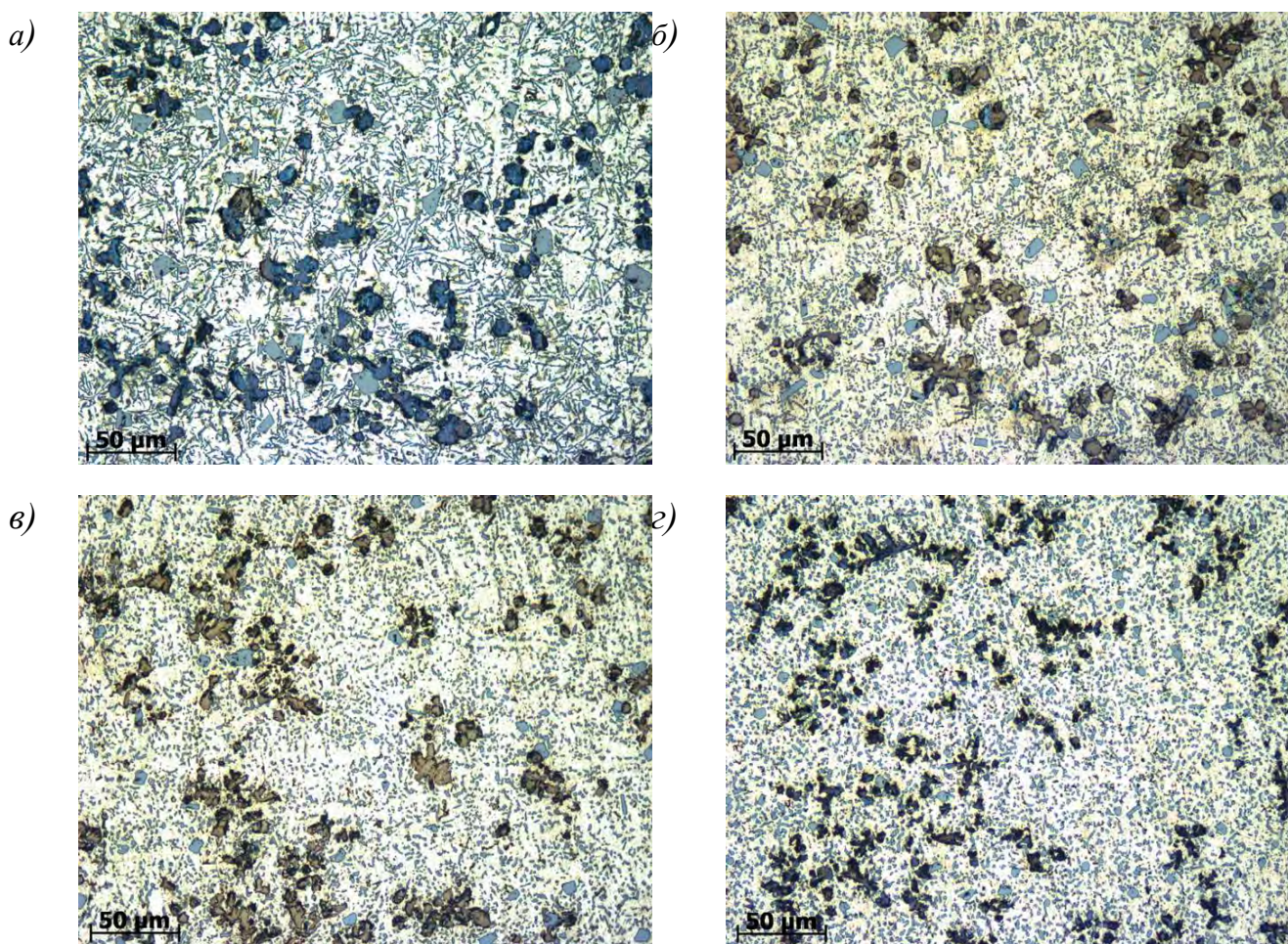
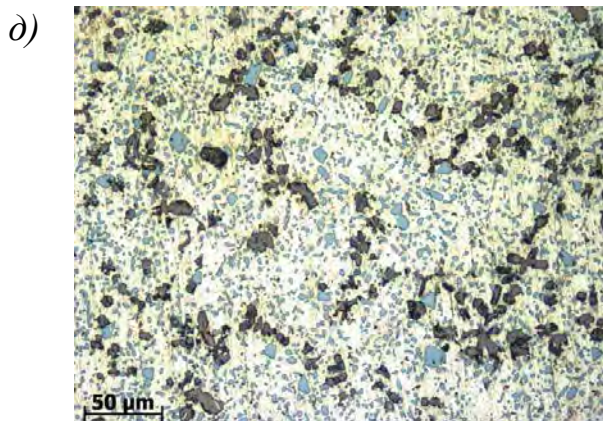


Рис. 1. Микроструктура центральной части шлифов опытных образцов диаметром 53 мм из силумина $AlSi12Cu3Fe2MnCr0,4$ после термической обработки (закалка и искусственное старение), $\times 200$: а – обр. № 2.3.0; б – обр. № 2.3.1; в – обр. № 2.3.2, з – обр. № 2.3.3, д – обр. № 2.3.4



Окончание рис. 1

Табл. 1. Результаты металлографических исследований опытных образцов после термической обработки (закалки и искусственного старения)

№ обр.	Выдержка в печи при закалке $t=525\text{ }^{\circ}\text{C}$ (с последующим искусственным старением $t=175\text{ }^{\circ}\text{C} - 8\text{ ч}$), ч	Средний размер кристаллов эвтектического кремния, мкм	Форма кристаллов эвтектического кремния	Средний размер железосодержащих интерметаллидных включений, мкм	Форма железосодержащих интерметаллидных включений
2.3.0	без ТО	4,5	компактная	13	округлая
2.3.1	2	2,0	округлая	11	округлая
2.3.2	4	2,5	округлая	9	округлая
2.3.3	8	3,0	глобулярная	7	округлая
2.3.4	24	4,0	глобулярная	10	округлая

Микроструктура опытных образцов после закалки и искусственного старения представлена кристаллами эвтектического кремния округлой и глобулярной формы размером 2...4 мкм, единичными дисперсными кристаллами первичного кремния размером 12...14 мкм и железосодержащих интерметаллидных включений размером 7...11 мкм округлой формы.

Установлено, что режим термообработки (закалка $t = 525\text{ }^{\circ}\text{C}$, выдержка в печи 8 ч и искусственное старение $t = 175\text{ }^{\circ}\text{C}$, выдержка в печи 8 ч) способствует уменьшению на 46 % размеров железосодержащих интерметаллидных включений округлой формы и получению глобулярных кристаллов эвтектического кремния средним размером 3 мкм опытных образцов диаметром 53 мм из сплава АК12М3 с содержанием железа не менее 2,0 %.

Проведены исследования по определению твердости опытных образцов из силумина $\text{AlSi12Cu3Fe2MnCr0,4}$ после их термической обработки. Твердость опытных образцов определяли по методу Бринелля в соответствии с ГОСТ 9012–59 на твердомере марки ТШ-2М по четырем точкам, равноудаленным по ширине шлифа. Для измерения твердости применяли стальной шарик диаметром 10 мм с приложением усилия 1000 кгс. Результаты исследований представлены в табл. 2.

Табл.2. Результаты исследований твердости опытных образцов

№ обр.	Твердость, НВ (10/1000)				
	1	2	3	4	Ср. знач.
2.3.0	110	110	110	107	109
2.3.1	121	125	125	121	123
2.3.2	114	117	114	114	115
2.3.3	117	114	114	114	115
2.3.4	114	114	114	114	114

Установлено, что при режиме термообработки (закалка $t = 525$ °С, выдержка в печи 2 ч и искусственное старение $t = 175$ °С, выдержка в печи 8 ч) наблюдается максимальное значение твердости (увеличение на 12 %) опытных образцов диаметром 53 мм из силумина $\text{AlSi12Cu3Fe2MnCr0,4}$. Увеличение твердости при протекании процессов старения в работе [1] объясняется явлением дисперсионного упрочнения, а дальнейшее ее снижение – разупрочнением твердого раствора, т.е. на определенных этапах старения один вид упрочнения преобладает над другим.

Определена зависимость твердости и дисперсности железосодержащих интерметаллидных включений в опытных образцах диаметром 53 мм из сплава АК12МЗ с содержанием железа не менее 2,0 %, полученных вибрационно-литейным способом после их термической обработки (рис.2).

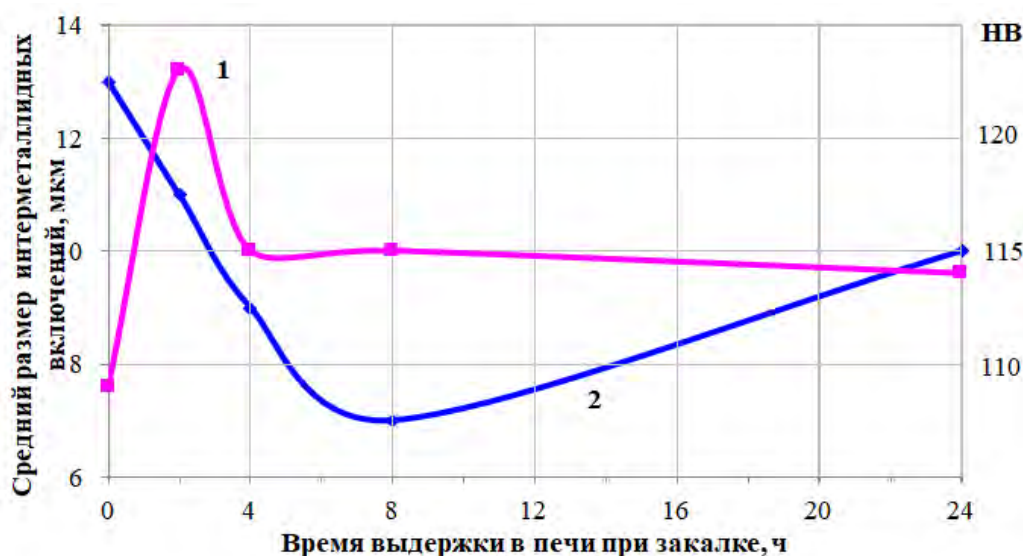


Рис. 2. Зависимость изменения средних значений твердости (1) и размера интерметаллидных включений (2) опытных образцов из силумина $\text{AlSi12Cu3Fe2MnCr0,4}$ от времени их выдержки в печи при закалке $t = 525$ °С

Прочностные параметры (временное сопротивление разрыву, предел текучести, относительное удлинение) опытных образцов определяли на электромеханической разрывной машине марки ИР 5143-200-11 максимальным усилием 200 кН по среднему арифметическому значению четырех испытаний образцов по ГОСТ 1497–84. Результаты испытаний приведены в табл. 3.

По результатам проведенных исследований, установлено, что специальная термическая обработка опытных образцов из силуминов с повышенным содержанием железа (не менее 2,0 %) позволяет повысить их прочностные параметры. Предел прочности при растяжении для термообработанных образцов № 3.1, 3.3, 3.5 увеличился на 37 %, 50 % и 24 % соответственно. Условный предел текучести при растяжении для термообработанных образцов № 3.1, 3.5 увеличился на 33 % и 20 % соответственно, для образцов № 3.3 наблюдается снижение данного параметра после термической обработки на 27 %. Относительное удлинение при растяжении для термообработанных образцов № 3.3, 3.5 увеличилось на 75 % и 83 % соответственно, для образцов № 3.1 наблюдается снижение данного параметра после термической обработки на 42 %.

Табл. 3. Результаты исследований прочностных параметров опытных образцов

№ обр	Химический состав образца	Обработка образца	Предел прочности σ_B , МПа	Предел текучести σ_T , МПа	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение δ , %
3.0	AlSi12Cu3Fe2	литой	128	–	–	1,9
			128	–	122	1,7
			139	–	–	1,4
			–	–	–	–
			Ср. 131	Ср. 0	Ср. 122	Ср. 1,6
3.1	AlSi12Cu3Fe2	после ТО	179	165	–	1,1
			174	–	163	0,4
			176	–	168	0,8
			190	142	155	0,9
			Ср. 180	Ср. 154	Ср. 162	Ср. 0,8
3.2	AlSi12Cu3Fe2 Mn0,5Cr0,2	литой	196	141	148	0,4
			161	–	160	0,3
			192	173	186	0,5
			187	–	182	0,3
			Ср. 184	Ср. 157	Ср. 169	Ср. 0,4
3.3	AlSi12Cu3Fe2 Mn0,5Cr0,2	после ТО	285	103	80	1,1
			294	145	161	1,1
			288	148	162	0,4
			241	124	91	0,1
			Ср. 277	Ср. 130	Ср. 124	Ср. 0,7
3.4	AlSi12Cu3Fe2 Mn1Cr0,5	литой	172	–	152	0,1
			221	149	155	0,1
			199	136	138	1,0
			193	–	188	1,2
			Ср. 196	Ср. 142	Ср. 158	Ср. 0,6
3.5	AlSi12Cu3Fe2 Mn1Cr0,5	после ТО	216	180	–	0,9
			251	133	148	1,0
			255	175	–	2,2
			251	181	233	0,2
			Ср. 243	Ср. 167	Ср. 190	Ср. 1,1

Визуальный осмотр показал, что на поверхности изломов опытных образцов № 3.0 (AlSi12Cu3Fe2) наблюдалась крупная кристаллическая структура, поверхность разрушения ориентирована перпендикулярно к оси образца. Такой излом характерен для хрупкого разрушения. У образцов № 3.3 (AlSi12Cu3Fe2Mn0,5Cr0,2) наблюдалась более мелкая однородная структура, поверхность изломов матовая без выраженного кристаллического блеска.

Установлено, что легирование марганцем (0,5 %...1,0 %) и хромом (0,2 %...0,5 %) опытных отливок диаметром 53 мм из силумина АК12МЗ с повышенным содержанием железа (не менее 2,0 %) при литье в струйный кристаллизатор с применением вибрации способствует повышению их прочностных характеристик: предела прочности на 50 % (в литом состоянии) и 54 % (после ТО), условного предела текучести на 38 % (в литом состоянии) и 17 % (после ТО), а также относительного удлинения на 38 % (после ТО) исходя из их среднего значения.

Таким образом, комплексное воздействие ускоренного охлаждения, вибрации, легирования и специальной термической обработки способствует получению высокодисперсной и глобулярной микроструктуры с компактными железосодержащими интерметаллидными включениями и повышению механических свойств (прочностных параметров и твердости) сплошных отливок из вторичного силумина АК12МЗ с высоким содержанием железа (не менее 2,0 %.)

В рамках исследований по разработке технологии получения толстостенных полых цилиндрических заготовок без стержня литьем намораживанием будут продолжены исследования режимов термообработки и свойств силуминов из вторичных шихтовых материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Волчок, И. П.** Термическая обработка железосодержащих силуминов / И. П. Волчок, Е. Л. Скуйбеда // Литье и металлургия. – 2012. – № 3 (67). – С. 94–97.
2. **Скуйбеда, Е. Л.** Особенности изменения морфологии железистых интерметаллидов в структуре вторичных силуминов под воздействием термической обработки / Е. Л. Скуйбеда // Литье и металлургия. – 2013. – № 4 (73). – С. 42–44.

Контакты:

grusha@itm.by (Груша Владимир Петрович);

lms@itm.by (Гутев Алексей Петрович);

lms@itm.by (Баранов Константин Николаевич).