

Кинетические кривые роста диффузионного слоя, построенные в логарифмических координатах, указывают на параболический характер зависимости. Однако при насыщении из смесей, содержащих порошок кремния и активатор, имеет место отклонение от квадратичного закона роста слоя, и показатель степени равен 2,2–2,6. Этот факт экспериментально подтверждает то, что при описании процесса роста силицидных фаз и других интерметаллидных соединений наряду с диффузионным массопереносом необходимо учитывать кинетику фазовых превращений.

По истечении некоторого периода времени наблюдали сквозное силицирование фольги, которая имела однофазную структуру  $\text{NbSi}_2$ . Установленное термодинамическое равновесие между образцом и средой зависит от насыщающей способности среды.

После установления равновесия изменения размеров и массы фольги не наблюдали, что свидетельствует об отсутствии процессов осаждения кремния на "дисилицидную пластину".

Образцы, прошедшие диффузионную обработку, подвергали циклическим испытаниям на жаростойкость при 1000 и 1200 °С (1 цикл – выдержка 5 ч при температуре испытания и охлаждения на воздухе).

Установили, что стойкость покрытия зависит от толщины дисилицидного слоя и определяется в основном наличием в нем дефектов и способностью к самозалечиванию в процессе эксплуатации. Так, образцы с толщиной покрытия 20 мкм выдержали 3 цикла испытаний при 1000 °С, удельный прирост массы составил 1,16 мг/см<sup>2</sup>, а покрытие толщиной 90 мкм обеспечило надежную защиту в течение 7 циклов испытаний при 1200 °С, удельный прирост массы – 6,47 мг/см<sup>2</sup>. Однако значительно повысить жаростойкость лишь за счет увеличения толщины силицидного покрытия нельзя. Для эффективной защиты сплавов на основе ниобия необходимо применение модифицированных и комплексных силицидных покрытий.

*УДК 621.74.043*

**Б.М.НЕМЕНЕНОК**, канд.техн.наук,  
**М.И.СТРИЖЕНКОВ**, **А.М.ГАЛУШКО**, канд.техн.наук,  
**Е.Ю.ФЕДОРОВА** (БПИ)

## **ОСОБЕННОСТИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СИЛУМИНОВ СТРОНЦИЕМ**

Для выбора наиболее рационального способа введения стронция в расплав производилась обработка сплава АЛ4 стронцием совместно с универсальным флюсом, серой и гексахлорэтаном. Анализировались механические свойства, жидкотекучесть, объемная усадка, микроструктура и газосодержание. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Обработка сплава АЛ4 (9,85 % Si, 0,24 % Mg, 0,43 % Mn, 0,84 % Fe, 0,28 % Cu) стронцием совместно с 0,8 % универсального флюса, состоящего из 35 % NaCl, 40 % KCl, 10 % NaF и 15 %  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ , обеспечивает получение высоких механических и технологических свойств сплава. В данном случае флюс является рафинирующим веществом. Вместе с тем при анализе микроструктуры

Таблица 1

Вариант введения стронция	Литое состояние		Объемная усадка			Содержание газа в см <sup>3</sup> 100 г	Жидкотекучесть (спираль), мм
	$\delta, \%$	$\sigma_{в}, \text{МПа}$	$K_{у}, \%$	$K_{р}, \%$	$K_{у.п}, \%$		
0,05% Sr + 0,8 % флюса	5,7	208	8,26	2,7	5,56	0,18	540
0,05 % Sr + 0,2 % C <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub>	5,2	205	8,25	2,85	5,40	0,17	545
0,05 % Sr + 0,05 % S	7,0	220	8,26	3,2	5,06	0,17	575
0,05 % Sr + 0,8 % флюса + + 0,05 % S	6,5	214	8,26	3,0	5,26	0,16	565

Таблица 2

Вариант модифицирования	Температура заливки, °С	Формозаполняемость (мм <sup>-1</sup> ) при гидростатическом напоре металла, мм					
		20	40	60	80	100	120
0,8 % флюса (заводская технология)	700	0,32	0,36	0,41	0,62	0,95	1,33
	720	0,35	0,40	0,45	0,67	1,00	1,39
	740	0,41	0,48	0,60	0,78	1,07	1,56
0,05 % Sr + 0,05 % S	680	0,42	0,52	0,65	0,81	1,02	1,50
	700	0,50	0,58	0,72	0,89	1,21	1,94
	720	0,56	0,63	0,77	0,96	1,33	2,10

обнаруживаются участки частично немодифицированной эвтектики и игольчатые включения железосодержащей фазы, что способствует образованию усадочной пористости. Ослабление модифицирующего действия стронция связано с частичной нейтрализацией его хлорсодержащими соединениями натрия и калия, входящими в состав флюса. Еще более заметно проявляется отрицательное влияние хлора на эффект модифицирования при обработке расплава стронцием совместно с гексахлорэтаном.

Стронций менее активно взаимодействует с серой, чем с хлором и кислородом. При таком варианте обработки сплава модифицирующее действие стронция на эвтектику дополняется сфероидизацией включений железосодержащей фазы под влиянием серы. Кроме того, сера рафинирует расплав, снижает усадочную пористость и способствует увеличению жидкотекучести сплава.

Модифицирование сплава АЛ4 стронцием и серой гарантирует получение высоких механических свойств, что дает возможность использовать его для производства тонкостенных отливок. В этом случае важнейшей характеристикой расплава становится его формозаполняемость. На Минском моторном заводе на пробе Энглера—Эллерброка было изучено влияние температуры заливки и модифицирования на формозаполняемость сплава АЛ4. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Формозаполняемость сплава АЛ4 зависит от температуры заливки, гидростатического напора металла и способа модифицирования. Так, для достиже-

ния формозаполняемости  $0,6 \text{ мм}^{-1}$  необходимо по заводской технологии заливать расплав с температурой  $740^\circ \text{C}$  при гидростатическом напоре 60 мм. В случае модифицирования расплава стронцием и серой аналогичная формозаполняемость достигается при температуре заливки  $720^\circ \text{C}$  и гидростатическом напоре в два раза меньшем.

Проведенные исследования показывают целесообразность совместной обработки силуминов стронцием и серой при получении отливок ответственного назначения из сплава АЛ4 (литье в кокиль).

УДК 621.785.78.669.715

О.Е.ПОЛЕВИКОВА, З.С.ОВСЯННИКОВА,  
канд.техн.наук (БПИ)

### ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ГРАНУЛИРУЕМЫХ ВТОРИЧНЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ

Условия упрочняющей термической обработки зависят от режимов закалки, старения, скорости охлаждения и т. д. Оптимальные режимы определяли на основе планирования экспериментов. Испытания проводились на прессованных из гранул вторичных сплавах АК5М2 и АК4М4 (ГОСТ 1585–73). В качестве параметров оптимизации выбраны:  $Y_1$  – предел прочности при растяжении  $\sigma_b$ , МПа;  $Y_2$  – предел текучести  $\sigma_{0,2}$ , МПа;  $Y_3$  – относительное удлинение  $\delta$ , %. Факторы, влияющие на свойства полуфабрикатов при термической обработке:  $X_1$  – температура нагрева под закалку,  $^\circ\text{C}$ ;  $X_2$  – время выдержки при этой температуре, мин;  $X_3$  – время перерыва между закалкой и старением, ч;  $X_4$  – температура старения,  $^\circ\text{C}$ ;  $X_5$  – длительность старения, ч;  $X_6$  – температура охлаждающей среды,  $^\circ\text{C}$ .

Для отыскания направления движения к области оптимума использована дробная реплика  $2^{6-2}$  (дробный факторный план). Матрица планирования для сплава АК5М2 представлена в табл. 1. Было выполнено 17 опытов по 3 образца в каждом при различном сочетании факторов. Полученные уравнения регрессии, определяющие направление движения к области оптимума, можно записать в виде:

$$Y_1 = 29,9 + 1,87X_1 - 2,75X_4 - 0,87X_1X_6 - 1,12X_4X_5 ;$$

$$Y_2 = 19,9 + 2,87X_1 - 1,12X_1X_6 - 1,37X_4X_5 - X_2X_4 ;$$

$$Y_3 = 9,5 - 3X_1 - 1,62X_2 + 0,87X_4X_6 + 1,37X_1X_4 - 0,87X_1X_5 .$$

Наиболее сильное влияние на свойства прессования профилей оказывают такие факторы, как температура нагрева под закалку и температура старения, причем прочностные характеристики возрастают при повышении температуры закалки и снижении температуры старения. Предел текучести в большей мере зависит от температуры закалки и в меньшей – от температуры старения. Пластичность сплава возрастает при снижении температуры закалки и сокращении выдержки при ней. На прочность и пластичность оказывают влия-