

ния формозаполняемости $0,6 \text{ мм}^{-1}$ необходимо по заводской технологии заливать расплав с температурой 740°C при гидростатическом напоре 60 мм. В случае модифицирования расплава стронцием и серой аналогичная формозаполняемость достигается при температуре заливки 720°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 σ_b , МПа; Y_2 – предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа; Y_3 – относительное удлинение δ , %. 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-

Таблица 1

Код	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	Y_1	Y_2	Y_3
Основной уровень	475	75	12	175	8	50			
Интервал варьирования	25	45	12	25	4	30			
Верхний уровень	500	120	24	200	12	80			
Нижний уровень	450	50	0	150	4	20			
1	—	—	—	—	—	—	292,4	153,7	15,0
2	+	+	+	—	+	—	389,5	282,6	9,75
3	+	+	—	+	—	+	283,3	200,3	2,75
4	—	—	+	+	+	+	248,9	162,3	16,5
5	+	—	+	+	—	—	317,9	241,5	5,25
6	+	—	—	—	+	+	363,5	264,5	7,5
7	—	+	+	—	—	+	309,3	171,7	11,2
8	—	+	—	+	+	—	261,5	172,1	9,0
9	+	+	—	—	—	—	345,9	237,5	5,5
10	—	—	+	—	+	—	300,0	173,4	11,75
11	—	—	+	+	+	—	272,7	163,2	17,0
12	+	+	+	+	+	+	260,7	184,2	3,75
13	+	—	+	—	—	+	309,5	179,5	10,2
14	+	—	—	+	+	—	272,3	194,7	6,75
15	—	+	+	+	—	—	261,3	162,3	12,0
16	—	+	—	—	+	+	305,0	192,0	8,0
17	0	0	0	0	0	0	336,0	273,7	5,0

ние парные взаимодействия, например совместное влияние температур закалки и охлаждающей среды. Повышению прочности способствует снижение температуры закалочной среды, а пластичности — снижение температуры закалки и уменьшение времени выдержки при ней, а также повышение температур старения и закалочной среды.

Оптимизация режима упрочняющей термической обработки сразу по трем механическим характеристикам заключается в нахождении компромиссного решения между тем или иным уровнем прочностных свойств и пластичности. В качестве примера можно рекомендовать закалку с температуры 500 °С (выдержка 2 ч) в холодную воду и искусственное старение через сутки при 150 °С в течение 12 ч. При этом достигаются: $\sigma_B = 390$ МПа; $\sigma_{0,2} = 280$ МПа; $\delta = 10$ %.

Аналогичным образом проведены эксперименты с образцами из сплава АК4М4. Полученные уравнения регрессии имеют вид:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= 34,6 - 0,77X_1 - 1,82X_4 - 0,59X_5 + 0,69X_1X_4; \\
 Y_2 &= 23,5 + 0,98X_1 - 0,69X_4 + 0,76X_1X_4 - 0,98X_1X_5 - \\
 &\quad - 0,42X_2X_5 - 0,56X_3X_4 - 1,77X_4X_5; \\
 Y_3 &= 5,4 + 1,44X_4 + 0,51X_5X_6 - 0,91X_1X_3.
 \end{aligned}$$

Из уравнений видно, что наиболее сильное влияние на свойства сплава оказывают температуры нагрева под закалку и старения. Более заметно парное взаимодействие таких факторов, как температура и время старения, а

также температура закалки и время старения. Парное взаимодействие ряда факторов не оказывает существенного влияния на предел текучести. На пластичность наиболее значительное влияние оказывает температура старения, с повышением которой относительное удлинение возрастает.

В качестве примера оптимального режима упрочняющей термической обработки для данного сплава можно рекомендовать следующий: закалка с 500°C и выдержкой 1 ч в холодную воду и последующее (без перерыва) искусственное старение при 150°C в течение 12 ч ($\sigma_{\text{в}} = 390$ МПа; $\sigma_{0,2} = 260$ МПа; $\delta = 7\%$). При некотором снижении пластичности ($\delta = 5\%$) можно существенно повысить предел прочности сплава $\sigma_{\text{в}}$ до 400 МПа и предел текучести $\sigma_{0,2}$ до 330 МПа.

УДК 621.746.0

А.Н.ЧИЧКО, В.Ф.СОБОЛЕВ, канд. техн. наук (БПИ),
Ф.Н.БОРОВИК (ИФПП АН БССР)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАСТВОРИМОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ В АЛЮМИНИЕВЫХ СИСТЕМАХ

Как известно, содержание легирующих элементов в твердом растворе существенно влияет на механические и технологические свойства сплава. Основными факторами, влияющими на растворимость компонентов, является атомный радиус, потенциал ионизации и электроотрицательность [1]. В то же время в работах Б.Б.Гуляева говорится, что трудно выявить однозначную зависимость между растворимостью различных элементов, опираясь лишь на один из этих параметров [2]. Во-первых, нельзя выделить параметры для построения физических моделей с целью изучения природы растворимости. Во-вторых, получаемая информация о системе низкая, что не позволяет эффективно использовать ЭВМ.

В настоящей работе в качестве параметров, характеризующих электронное строение, использованы данные энергетического спектра электронов основы и добавки. Обучающая матрица содержала информацию о двойных системах алюминия со следующими элементами: Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zr, Mo, W, Pt, Au, Nb, Ag, Ta, Ca, Na, Zn, Mg, La, Y, Pb, Cd, Hf, Ge, Si, Sn. Пределы растворимости брались по диаграмме состояния [3] для каждой температуры. В качестве признаков математической модели использовали следующие параметры энергетического спектра алюминия и добавок: энергия для d_0 -подполосы (X_1), энергия s -полосы (X_2), энергия d_1 -полосы (X_3), ширина d_0 -полосы (X_4), ширина d_1 -подполосы (X_5), энергия Ферми (X_6), заполнение d_1 -подполосы (X_7). Расчет параметров энергетической структуры выполнялся в ячейке Вигнера—Зейца [4].

В результате обучения ЭВМ с помощью регрессионного анализа были построены нелинейные регрессионные уравнения, связывающие предел растворимости при данной температуре (873 К, 823 К, 773 К, 723 К, 673 К) с признаками электронного строения добавки и основы. Уравнение для прогноза растворимости при температуре 673 К можно записать в следующем виде: