

Табл. 2. Значимость признаков, зависящих от характеристик компонентов сплава АК5М2, содержащего 1 % (ат.) легирующего элемента

Литейная характеристика	Значимость признака, зависящего от характеристик		
	физико-химических свойств	атомно-кристаллического строения	
		атомных	электронных
Жидкотекучесть	0,34	0,52	0,61
Линейная усадка	0,24	0,24	0,24
Объем усадочных раковин	0,25	0,34	0,55
Объем рассеянной пористости	0,27	0,31	0,42

висящие от характеристик, отражающих электронное строение компонентов. Это делает возможным с помощью рассчитанных признаков строить математические модели, позволяющие осуществлять выбор легирующего комплекса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Свойства элементов. Ч. 1. Физические свойства / Под ред. Г.В. Самсонова. — М., 1985. — 600 с.

УДК 621.746.6

А.Н. ЧИЧКО,  
В.Ф. СОБОЛЕВ, канд. техн. наук (БПИ)

### ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ОТ ХАРАКТЕРИСТИК ИХ КОМПОНЕНТОВ

Механические свойства сплавов в значительной степени зависят от процесса кристаллизации. Один из возможных путей его изучения связан с математическим моделированием, основанным на существовании корреляционных связей между параметрами кристаллизации сплава и признаками, вычисленными с учетом характеристик компонентов.

Целью настоящей работы было изучение корреляционных связей между некоторыми введенными параметрами кристаллизации и признаками (аргументами), зависящими от макро- и микрохарактеристик компонентов. Под параметрами кристаллизации будут пониматься следующие характеристики: теплота кристаллизации; время и температура, соответствующие выделению 25 % твердой фазы; интервал кристаллизации.

Для вычисления перечисленных параметров был разработан алгоритм, основанный на обработке кривой охлаждения, полученной с помощью термического анализа, и реализован на ЭВМ ЕС-1022.

Все расчеты проводились по кривым охлаждения сплава АК5М2 (табл. 1). Относительные значения параметров кристаллизации вычислялись по соотношению

Табл. 1. Относительные параметры кристаллизации сплава АК5М2, легированного 1 % (ат.) элемента-добавки

Элемент	Теплота кристаллизации	Температура, соответствующая выделению 25 % твердой фазы	Время, соответствующее выделению 25 % твердой фазы	Интервал кристаллизации
Na	1,022	1,004	0,902	0,951
Mg	0,834	0,994	0,907	1,03
Si	0,912	0,987	0,907	0,853
Ti	0,782	1,007	0,91	1,129
V	0,744	1,004	0,903	1,102
Cr	0,54	1,028	0,876	1,157
Mn	0,438	1,015	0,849	1,133
Fe	0,6	1,013	0,846	1,098
Co	0,512	1,006	0,779	1,021
Ni	0,88	0,991	0,9	1,066
Cu	0,722	0,992	0,886	1,131
Zn	0,767	0,995	0,9	1,022
Cd	0,904	0,995	1,073	1,08
Pb	0,825	1,006	0,869	0,933
Bi	0,877	0,978	0,94	0,892

$$P = P_1 / P_2 ,$$

где  $P_1, P_2$  — параметры кристаллизации соответственно исследованного сплава и АК5М2.

Для формирования признаков использовались следующие характеристики: линейный коэффициент термического расширения, приведенное поверхностное натяжение, удельное электросопротивление при температуре 298 К, термический коэффициент электросопротивления, теплоемкость, теплота сублимации, плотность, теплота плавления, приведенный термодинамический потенциал, температура кипения и плавления, минимальный вектор Бюргерса, атомный объем, атомный радиус, энергия связи, 1-й и 2-й потенциалы ионизации, радиус главного максимума внешних орбиталей атомов, электроотрицательность по Л. Полингу. Значения перечисленных параметров брались из работы [1].

В обучающую выборку входили вычисленные параметры кристаллизации, приведенные в табл. 1, и функции-признаки, рассчитанные с помощью соотношения

$$F = \left| \frac{F_1 - F_2}{F_1} \right| , \quad (2)$$

где  $F_1, F_2$  — характеристики соответственно алюминия и легирующего элемента.

Оценка корреляционных связей между построенными признаками и параметрами кристаллизации сплава проводилась с помощью метода шагового регрессионного анализа с применением моделей вида:

Табл. 2. Коэффициенты информативности, связывающие параметры кристаллизации сплава АК5М2, содержащего 1 % (ат.) элемента-добавки, с признаками, зависящими от характеристик их компонентов

Параметр кристаллизации	Коэффициент информативности для признака, зависящего от		
	минимальных векторов Бюргерса	атомных объемов	приведенных термодинамических потенциалов
Теплота кристаллизации	0,41 (л)	0,49 (л)	0,55 (л)
Температура, соответствующая выделению 25 % твердой фазы	0,51 (н)	0,22 (н)	0,36 (л)
Время, соответствующее выделению 25 % твердой фазы	0,7 (л)	0,59 (л)	0,7 (л)
Интервал кристаллизации	0,8 (н)	0,58 (л)	0,61 (л)

$$Y = A_0 + A_1 x_1; \quad Y = e^{A_0} e^{A_1 x_1},$$

где  $Y$  — параметр кристаллизации сплава;  $A_0$  — свободный член регрессионного уравнения;  $A_1$  — коэффициент регрессионного уравнения;  $x_1$  — признак.

В результате было изучено по 38 математических моделей для каждого из рассмотренных параметров кристаллизации сплава АК5М2. Адекватность моделей оценивалась по коэффициенту информативности, равному коэффициенту частной корреляции без учета знака, и значениям  $t$ -распределения Стьюдента и  $F$ -отношению.

Среди изученных признаков наиболее информативными по отношению к параметрам кристаллизации оказались признаки, зависящие от минимальных векторов Бюргерса, атомных объемов, приведенных термодинамических потенциалов. В табл. 2 приведены коэффициенты информативности для линейной (л) и нелинейной (н) моделей.

При сравнении критических значений  $t$ -распределения и  $F$ -отношения с данными, соответствующими приведенным коэффициентам информативности, оказалось, что для теплоты кристаллизации наиболее существенными являются признаки, построенные на атомных объемах и приведенных термодинамических потенциалах. Для температуры, соответствующей выделению 25 % твердой фазы, существенен признак, построенный на минимальных векторах Бюргерса. Для остальных параметров кристаллизации все приведенные признаки существенны.

Таким образом, приведенные признаки могут использоваться для оценки параметров кристаллизации сплава АК5М2 с помощью математического моделирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Свойства элементов. Ч. 1. Физические свойства / Под ред. Г.В. Самсонова. — М., 1975. — 600 с.