

мической обработки литейного алюминиевого сплава АД-9В. В сб.: "Металлургия вторичных цветных металлов и сплавов", с. 75-81, М., "Металлургия", 1972.

А.М. Галушко, О.М. Неросли-зский,  
В.С. Очеретяный, Ю.В. Маркаров,  
О.А. Тиханович

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ СПЛАВА АЛ4

В работе сделана попытка оценить взаимосвязь химического состава и механических свойств термообработанного по режиму Т8 сплава АЛ4 при литье в кокиль. Корреляционный и регрессионный статистический анализ 1200 плавок, проведенных за 1972-1973 годы, производился с помощью ЭВМ "Минск-22". Оценивалась связь предела прочности при растяжении ( $\sigma$ , кг/мм<sup>2</sup>), относительного удлинения ( $\delta$ , %) и твердости (НВ, кг/мм<sup>2</sup>) с процентным содержанием в сплаве магния, кремния, марганца, железа и меди.

Уравнение регрессии, описывающее связь механических свойств (Y) и химического состава (X), получено в виде многочлена Маклорена:

$$Y = A + \sum A_i X_i + \sum A_{ij} X_i X_j + \sum A_k X_i^2 + \dots$$

Члены уравнения порядка выше второго были незначимы и отбрасывались. Правдоподобность полученных уравнений проверялась по критерию Пирсона при уровне значимости 0,05. Неизвестные коэффициенты находились методом наименьших квадратов. Затем рассчитывалась стандартная ошибка и коэффициенты частной и множественной корреляции.

Уравнения регрессии имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \sigma = & 24,05 - 1,06\text{Si} - 16,74\text{Mg} + 28,39\text{Fe} - 8,42\text{Mn} - 9,57\text{Cu} + \\ & + 2,94\text{MgSi} - 0,77\text{SiFe} + 0,54\text{SiMn} + 0,51\text{SiCu} - 18,82\text{MgFe} + \\ & + 17,91\text{MgMn} + 22,88\text{MgCu} - 16,91\text{FeMn} - 3,44\text{FeCu} + \\ & + 9,73\text{MnCu} + 0,06\text{Si}^2 - 5,82\text{Mg}^2 - 7,76\text{Fe}^2 + 7,57\text{Mn}^2 - 3\text{Cu}^2. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta = & 6,17 - 0,02\text{Si} + 8,22\text{Mg} + 6,46\text{Fe} - 21,49\text{Mn} - 18,19\text{Cu} - \\ & - 2,77\text{MgSi} - 0,05\text{SiFe} + 1,27\text{SiMn} + 0,45\text{SiCu} - 5,14\text{MgFe} + \\ & + 1,27\text{MgMn} + 15,03\text{MgCu} + 3,92\text{FeMn} + 6,87\text{FeCu} = \end{aligned}$$

$$-0,47\text{MnCu} + 0,04\text{Si}^2 + 19,99\text{Mg}^2 - 1,76\text{Fe}^2 + 7,44\text{Mn}^2 + 8,9\text{Cu}^2.$$

$$\begin{aligned} \text{HB} = & 62,74 - 0,93\text{Si} - 64,9\text{Mg} + 26,25\text{Fe} + 89,28\text{Mn} + \\ & + 70,46\text{Cu} + 16,55\text{SiMg} + 3,1\text{SiFe} - 4,92\text{SiMn} - 3,65\text{SiCu} - \\ & - 69,96\text{MgFe} - 6,2\text{MgMn} + 33,94\text{MgCu} - 58,43\text{FeMn} - \\ & - 47,59\text{FeCu} + 9,84\text{MnCu} - 0,01\text{Si}^2 - 52,5\text{Mg}^2 - 9,0\text{Fe}^2 - \\ & - 15,56\text{Mn}^2 - 3,55\text{Cu}^2. \end{aligned}$$

Полученные аналитические уравнения позволяют не только с достаточно высокой точностью прогнозировать механические свойства сплава АЛ4, но и определяют пути их повышения в зависимости от выбора целевой функции. На основании статистической обработки экспериментальных данных построены графические срезы регрессионных уравнений прочности, твердости и пластичности.

На прочность сплава АЛ4 большое влияние оказывают кремний, марганец, железо и медь. При этом обнаружено, что характер влияния того или иного элемента определяется соотношением остальных компонентов. На рис. 1 показан графический

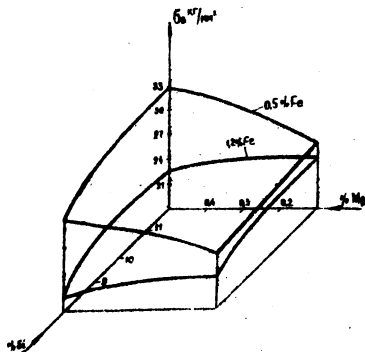


Рис. 1. Влияние кремния, магния и железа на прочность сплава АЛ4 при содержании 0,1% меди и 0,4% марганца

срез уравнения прочности при концентрации в сплаве 0,1% меди и 0,4% марганца. Видно, что железо оказывает вредное влияние на прочность сплава, особенно при повышенном содержании магния и кремния. Наиболее высокие значения прочности обнаруживаются в чистых по железу сплавах, содержащих 10–11% кремния и 0,4–0,5% магния.

Медь в сплаве АЛ4 относится к примесям и содержание ее регламентировано ГОСТом до 0,3%. Анализ уравнения прочности показывает, что увеличение содержания меди до 1,5–2,0% способствует повышению прочности силуминов (рис. 2), осо-

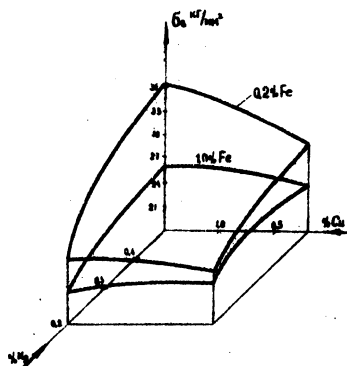


Рис. 2. Влияние магния, меди и железа на прочность сплава АЛ4 при содержании 0,3% марганца и 10% кремния

бенно при высоком содержании магния (0,3–0,5%). Графический срез уравнения, приведенный на рис. 2, соответствует содержанию в сплаве 0,3% марганца и 10% кремния.

Относительное удлинение сплава АЛ4 колеблется в значительных пределах и является чувствительным свойством к его химическому составу, особенно к содержанию железа, магния, марганца и кремния.

На рис. 3 представлена зависимость относительного удлинения сплава АЛ4 от концентрации кремния, железа и марган-

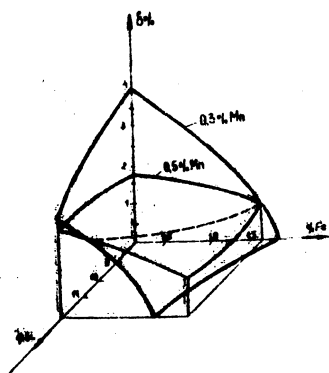


Рис. 3. Влияние кремния, железа и марганца на относительное удлинение сплава АЛ4 при содержании в нем 0,1% меди и 0,3% магния

ца ( $Cu = 0,1\%$ ,  $Mg = 0,3\%$ ). Железо оказывает отрицательное влияние на пластичность сплава, особенно при повышенном содержании кремния, т.е. в области  $\beta$ -фазы. Марганец повышает относительное удлинение в данной области, однако отрицательно сказывается в низколегированных силуминах.

Совместное увеличение концентрации магния и меди оказывает положительное влияние на твердость силуминов.

Определение влияния меди на механические свойства сплава АЛ4 производилось на опытных плавках в условиях Минского моторного завода. В качестве медесодержащего вещества использовался вторичный сплав АЛ10В, количество меди в котором составляет 6-8%. Результаты плавки представлены на рис. 4. Добавки вторичного сплава повышают прочность и твердость сплава АЛ4 в результате легирования последнего медью.

Однако оптимальным вариантом следует считать 10-15%-ную замену первичного шихтового материала вторичным. Это обусловлено значительным снижением пластичности сплава АЛ4 при дальнейшем увеличении добавки сплава АЛ10В.

Таким образом, проведенный статистический анализ механических свойств сплава АЛ4 позволил получить необходимые

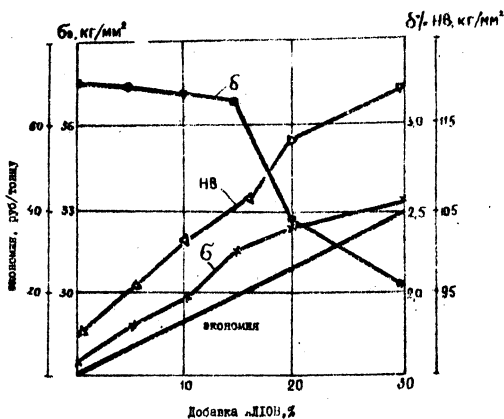


Рис. 4. Влияние добавок вторичного сплава АЛ10В на механические свойства сплава АЛ4

уравнения, на основании которых установлена возможность частичной замены первичных шихтовых материалов вторичными без ухудшения свойств отливок.

А.М. Лазаренков

#### ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ОТЛИВОК ПРИ ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Формирование отливок при литье по газифицируемым моделям происходит в результате сложных химико-физических процессов деструкции пенополистироловой модели и взаимодействия продуктов деструкции с металлом в периоды его заливки, кристаллизации и охлаждения в форме.

Влияние продуктов деструкции модели на структуру отливок из стали и чугуна исследовали на образцах-теплетях, вырезаемых из верхней, средней и нижней частей охлажденных отливок. Приготовленные шлифы после травления изучали на микроскопе МИМ-8М при 100- и 200-кратном увеличении. Характер-