

ПРИКЛАДНОЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРУЮЩИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВТОРИЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Скобло Т.С. доктор техн. наук, Тимченко Н.И. инженер-экономист

(Харьковский государственный технический университет сельского хозяйства)

Обгрунтована методика побудови математичних моделей вторинних алюмінієвих сплавів, які можна застосовувати для прогнозу їх властивостей і визначення оптимального складу.

Алюминиевые сплавы получают на специализированных предприятиях путем использования шихтовых материалов. Такие сплавы используют для фасонного литья - блоков цилиндров двигателей, полдонов, картеров. Первичные сплавы характеризуются относительно высокой стабильностью состава, а, значит, и свойств - твердости по Бриннелю (НВ) и предела прочности (σ_s). Содержание основных легирующих примесей в них обычно изменяется в сравнительно узких пределах: Cu, Fe, Mg, Zn, Mn, Ni - до 1 - 2%, а Si - до 8 - 10%. При этом вариации твердости составляют в основном от 60 до 75 кг/см². Вторичные сплавы на основе переработки лома можно производить и на ремонтных предприятиях. Они характеризуются значительно большим разбросом химического состава, а, значит, - твердости, прочности. Рецепт их выдерживается весьма приблизительно, а содержание в них примесей далеко от оптимального. Цель работы - разработка методики построения прогнозирующих математических моделей вторичных сплавов, на основании которых выполняется обоснование содержания их концентрации, при которой обеспечивается гарантированный комплекс механических и эксплуатационных свойств.

Анализ свойств первичных и вторичных сплавов выполнен по выборке, содержащей 423 наблюдения за период 4 года. Фрагмент исходных данных (первые 10 наблюдений) приведен в табл. I

Таблица I. Фрагмент данных текущего контроля алюминиевых сплавов (содержание примесей дано в %, твердости НВ - в кг/см²)

Mn	Si	Mg	Fe	Cu	Ni	Zn	НВ
1	2	3	4	5	6	7	8
0,22	6,60	0,24	1,00	1,04	0,19	0,38	71
0,12	7,6	0,25	0,8	1,04	0,19	0,3	70
0,16	7,4	0,28	0,82	0,84	0,19	0,16	70
0,4	7,6	0,27	0,56	0,98	0,24	0,2	69

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
0,44	6,5	0,21	1	0,98	0,3	0,26	75
0,28	7,2	0,27	0,66	1,25	0,19	0,17	68
0,34	8	0,5	0,96	1,25	0,18	0,33	71
0,27	6,2	0,5	0,94	0,89	0,09	0,46	68
0,48	7,25	0,22	0,78	0,98	0,03	0,15	64
0,23	8	0,23	0,62	1,04	0,04	0,25	63

Выполняя статистический анализ каждого столбца таблицы исходных данных, заключаем, что большая часть их удовлетворяет логарифмически-нормальному закону распределения. В функциональном масштабе именно этого распределения происходит выравнивание интегральных функций распределения (как, например, это показано для твердости HB - рис. 1). Поэтому в дальнейшем модель строится для логарифмов исходных величин: $LgMn$, $LgSi$, $LgMg$ и т.д. Линейная математическая модель сплавов анализируется в виде:

$$LgHB = a_0 + a_1 LgMn + a_2 LgSi + a_3 LgMg + a_4 LgFe + a_5 LgCu + a_6 LgNi + a_7 LgZn \quad (1)$$

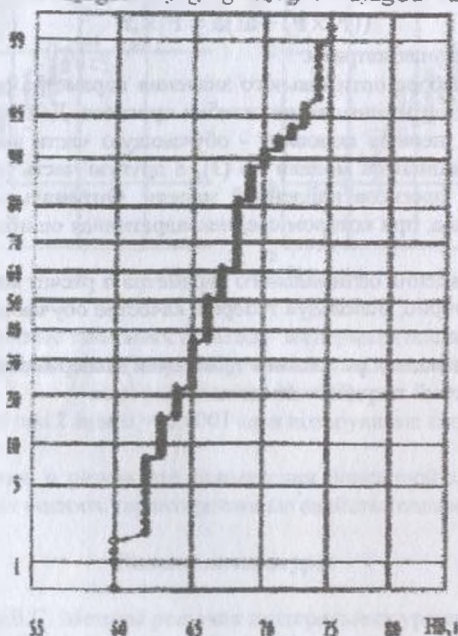


Рис. 1. Интегральная функция распределения твердости сплавов в масштабе логарифмически-нормального распределения

Параметры математической модели (1) обычно находят методом регрессионного анализа. Для этого решают систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) вида:

$$(F' \times F)\bar{a} = F' \times Y' \quad (2)$$

где $\bar{a}$ - матрица-столбец искоемых коэффициентов; Y' - матрица-столбец функции отклика ($LgHB$); F - матрица значений факторов модели (1) при искоемых коэффициентах; F' - транспонированная матрица F .

Система (2) - плохо обусловленная. Погрешности правой части и матрицы F могут приводить к невозможности решения этого уравнения. Кроме того, модель предполагается использовать для решения задач прогноза свойств сплавов за пределами области значений состава, исследованной экспериментально.

Поэтому реализация прогнозных свойств модели (2) использован известный метод регуляризации по Лаврентьеву М.М.[1]. Суть его сводится к тому, что вместо (2) численно решается несколько искаженная СЛАУ, диагональные коэффициенты которой смещены на небольшую величину α (параметр регуляризации):

$$((F' \times F) + \alpha I)\bar{a} = F' \times Y' \quad (3)$$

где I - единичная матрица.

Проблему выбора оптимального значения параметра регуляризации предлагается решать путем минимизации ошибки прогноза. Для этого часть исходных данных (например, первую половину - обучающую часть выборки) используют для расчета коэффициентов модели по (3), а другую часть (контрольную) - для проверки качества прогноза найденной модели. Оптимальным считается такое значение параметра α , при котором среднеквадратичная ошибка прогноза - не более минимальной.

После нахождения оптимального параметра α расчет коэффициентов модели выполняют повторно, используя теперь в качестве обучающей уже всю выборку исходных данных.

На рис. 2 приведены результаты сравнения экспериментальных (HB) и расчетных (HB_p) значений твердости сплавов.

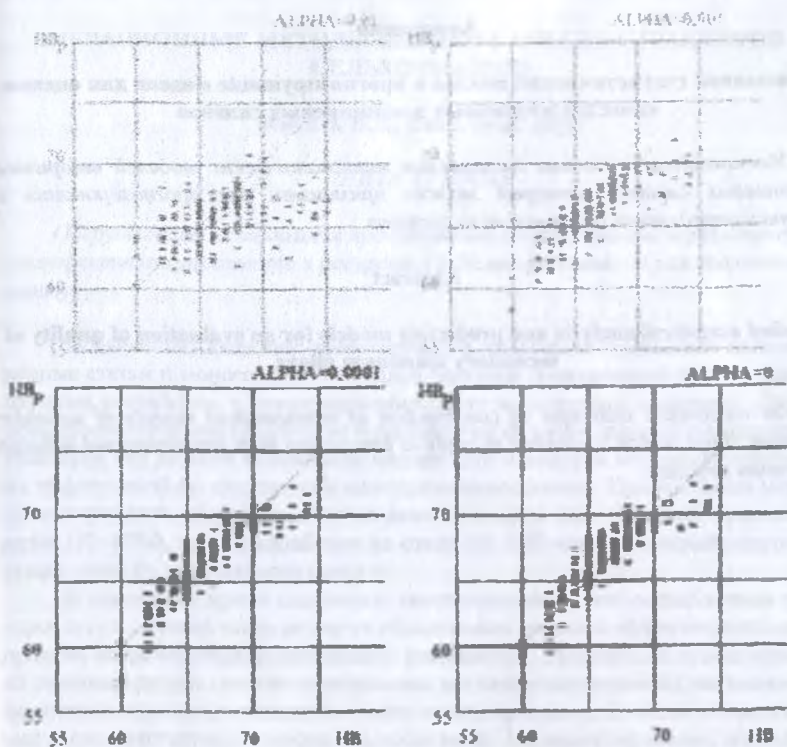


Рис.2. Корреляционные зависимости между экспериментальными значениями твердости (HB) и расчетными (HBr), полученными на основе анализа половины всех наблюдений $N_a = N/2$.

Как видно из рис.2 при $\alpha = 0.0001$ прогнозирующие свойства модели (1) - наилучшие.

Таким образом, в результате применения описанной методики получена модель, позволяющая оценить гарантированные свойства сплавов.

Список литературы

1. Верлань В.С. Методы решения интегральных уравнений с программами для ЭВМ. - Киев. Наукова думка. 1978. - 275 с.

Аннотация

Прикладной статистический анализ и прогнозирующие модели для оценки качества вторичных алюминиевых сплавов

Обоснованная методика построения математических моделей вторичных алюминиевых сплавов, которые можно применять для прогнозирования их свойств и определения оптимального состава.

Abstract

Applied statistical analysis and predicting models for an evaluation of quality of secondary aluminum alloys

The reasonable technique of construction of mathematical models of secondary aluminum alloys, which is possible to apply to forecasting their properties and definition of optimum structure.