

УДК 621.317.4

ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ МІДІ З МЕТОЮ ЇХ СЕПАРАЦІЇ

О.Ф. Єрьоміна, доцент, к.т.н., ХНАДУ, Б. Абдурахманов, студент, ХНАДУ

Анотація. З метою оцінки можливості електричної сепарації відходів мідних сплавів було проведено дослідження електропровідності бронзи і латуні. По єдиній методиці із застосуванням планування експерименту були приготовані зразки сплавів міді з найбільш поширеними легуючими елементами і досліджена їх електропровідність.

Ключові слова Електропровідність, мідні сплави, математичне планування експерименту, коефіцієнти регресії

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ С ЦЕЛЬЮ ИХ СЕПАРАЦИИ

Е.Ф. Еремина, доцент, к.т.н., ХНАДУ, Б. Абдурахманов, студент, ХНАДУ

Аннотация. С целью оценки возможности электрической сепарации отходов медных сплавов было проведено исследование электропроводности бронзы и латуни. По единой методике с применением планирования эксперимента были приготовлены образцы сплавов меди с наиболее распространенными легирующими элементами и исследована их электропроводность.

Ключевые слова. Электропроводность, медные сплавы, математическое планирование эксперимента, коэффициенты регрессии

DEFINITION ELECTRIC RESISTIVITY OF COPPER-BASED ALLOYS WITH A VIEW TO SEPARATION

E. Yeryomina, associate professor, cand. eng. sc, B. Abdurakhmanov student HNADU

Abstract. In order to evaluate the possibility of separation of waste electrical copper alloys have been investigated the electrical conductivity of bronze and brass. The same methodology using design of experiment samples were prepared from copper alloy with the most common alloying elements and investigated their electrical conductivity.

Keywords. Electrical conductivity, copper alloys, mathematical planning of the experiment, the regression coefficients

Вступ

Важливу роль в ресурсозбереженні грає поділ змішаних відходів на групи марок сплавів. Вихідну механічну суміш відходів мідних сплавів перед їх металургійним переділом можна розділяти, використовуючи розходження в будь-яких фізичних властивостях частинок - густині, електропровідності, крупності, питомій магнітній сприйнятливості і

ін. Сортування по густині проаналізоване в [1], де зроблено висновок про непридатність цього методу для поділу бронзо-латуної стружки, оскільки щільності більшості сплавів близькі по абсолютній величині. У даний роботі проводиться дослідження електричного опору сплавів міді з цинком, оловом і алюмінієм з метою оцінки можливості їх електричної сепарації.

Постановка завдання

В літературі містяться вичерпні відомості про електропровідність мідних сплавів, що застосовуються в електротехнічній промисловості [2-4], відомості ж про електричні властивості конструкційних сплавів носять неповний і часто суперечливий характер. Проте саме відходи конструкційних сплавів складають основну масу бронзо-латунної стружки, що поступає на підприємства по переробці вторинних кольорових металів, і знання їх електропровідних характеристик необхідне для оцінки можливості розділення, заснованого на цих властивостях. Тому в даній роботі по єдиній методиці були приготовані зразки сплавів міді з легуючими елементами, що вживаються, і досліджена їх електропровідність.

Методика і результати досліджень

Дослідження електропровідності сплавів на основі міді проводилося із застосуванням математичного планування експерименту. Вивчення номенклатури що використовуються в машинобудуванні мідних сплавів і аналіз складу сировини, що поступає на підприємства по переробці вторинних кольорових металів, показали, що більшість найпоширеніших марок бронзи і латуні містить як легуючі елементи цинк, олово і алюміній.

Після аналізу хімічного складу мідних сплавів, вживаних в машинобудуванні, були визначені інтервали варіювання легуючих елементів, що найбільш часто зустрічаються у промисловості. На підставі цих чинників був складений композиційний ротатабельний план експерименту, що представлено в таблиці 1. Значення зоряного плеча обчислювалося по формулі

$$a = 2^{k/4}, \quad (1)$$

де k - число чинників [5].

По запропонованому плану за єдиною методикою були виплавлені сплави заданого хімічного складу, з яких виточені зразки циліндрової форми діаметром 4 мм і завдовжки 100 мм. Вимірювання електричного опору проводили по стандартній методиці за допомогою моста постійного струму Р316. Величина опору шин, що підводять струм, враховувалася при визначенні опору зразків. Пог-

рішність вимірювання опору не перевищувала 2%.

Таблиця 1 Рівні і інтервали варіювання чинників

Чинники	X ₁ %Zn	X ₂ %Sn (%Sn)	X ₃ %Al
Нульовий рівень	22	5	11
Інтервал варіювання	6,7	1,12	3,36
Верхній рівень (+1)	28,7	6,12	14,36
Нижній рівень (-1)	15,3	3,88	7,64
Зоряна точка, верх (+1,682)	40,0	8,0	20,0
Зоряна точка, низ (-1,682)	4,0	2,0	2,0

Для того, щоб випадкова погрішність не перевищувала систематичну, було визначено необхідне число дослідів. Порівняння середньої квадратичної погрішності одиничного вимірювання і систематичної погрішності показало, що їх величини близькі. Необхідне число вимірювань в цьому випадку при довірчій вірогідності $\delta=0,9$ складає $n=5$. Надалі всі вимірювання електричного опору кожного зразка проводили не менше п'яти разів.

Питомий електроопір сплавів ρ знаходили за формулою

$$\rho = \frac{\pi d^2 R}{4l}, \quad (2)$$

де R - електричний опір зразка;

d - його діаметр;

l - довжина зразка.

Було проведено п'ять серій дослідів, матриця планування і середні значення електроопору кожного зразка наведена в таблиці 2.

Залежність між складом сплаву і його питомим електроопором шукали у вигляді

$$\rho = b_0 + \sum_{i=1}^N b_i x_i + \sum_{i=1}^N b_{ij} x_i x_{ij}, \quad (3)$$

де x_i, x_j - значення вмісту легуючих елементів;

b_i, b_{ij} - коефіцієнти регресії;

N - число легуючих елементів.

Проведений розрахунок коефіцієнтів регресії дозволив отримати рівняння, що зв'язує питомий електричний опір сплаву з його хімічним складом

$$\rho \cdot 10^{-9} = 126,55 + 0,30x_1 - 1,4x_2 - 3,59x_3 - 0,03x_1^2 + 0,08x_2^2 + 0,02x_3^2 + 0,23x_1x_2 + 0,03x_1x_3 + 0,49x_2x_3$$

Таблиця 2 Матриця планування і результати вимірювання питомого електричного опору

№ досл.	X_1	X_2	X_3	$\rho \cdot 10^9$ Ом·м
1	-1	-1	-1	110,32
2	+1	-1	-1	107,04
3	-1	+1	-1	117,31
4	+1	+1	-1	132,80
5	-1	-1	+1	108,35
6	+1	-1	+1	109,09
7	-1	+1	+1	126,47
8	+1	+1	+1	133,28
9	-1,682	0	0	120,53
10	+1,682	0	0	106,18
11	0	-1,682	0	93,60
12	0	+1,682	0	141,69
13	0	0	-1,682	124,37
14	0	0	+1,682	121,31
15	0	0	0	117,71

Оцінка адекватності отриманого рівняння проводилася по критерію Фішера [5]. Дослідний критерій Фішера F розраховували за формулою

$$F = \frac{D_a}{D_{cp}}, \quad (3)$$

Тут D_a - дисперсія адекватності, яка може бути знайдена як

$$D_a = \frac{\sum_{i=1}^n (y_T - \bar{y}_T)^2}{n - d}, \quad (4)$$

де D_{cp} - середня дисперсія всього експерименту,

$$D_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (y_{iE} - y_{iT})^2}{mn}, \quad (5)$$

де m - число серій експериментів, n - кількість вимірювань в одній серії, y_{iT} і y_{iE} - теоретичне і експериментальне значення функції, \bar{y}_T - середнє експериментальне значення функції.

Експериментальне значення критерію Фішера F порівнювали табличним F_T при довірчій

вірогідності 0,9. Модель вважали адекватною, якщо $F < F_T$.

Проведені розрахунки показали, що $D_a = 84,32$, а $D_{cp} = 163,83$. Теоретичний критерій Фішера при довірчій вірогідності 0,9 складає, згідно [5], 5,1. Таким чином, $F < F_T$, і модель можна вважати адекватною, тобто отримане рівняння правильно описує експериментальні результати і дозволяє розраховувати питомий електричний опір сплавів міді з цинком, оловом і алюмінієм.

Висновки

Аналіз значень питомого електричного опору сплавів, що вивчаються, показує, що їх відмінність не перевищує 20%, а з урахуванням допусків змісту легуючих елементів в сплавах кожної марки ці значення можуть перекриватися, що не дозволяє використовувати електричну сепарацію для розділення відходів мідних сплавів на групи марок. Найперспективнішим способом розділення бронзолатунних відходів на групи марок сплавів представляється магнітна сепарація. На користь такого висновку говорять проведені дослідження магнітної сприйнятливості мідних сплавів [3], що показали істотну відмінність магнітних властивостей сплавів різних марок.

Література

1. Кравченко Н.Д., Кармазин В.И. (1986) Магнитная сепарация отходов цветных металлов. – Москва: Metallurgiya. – 120 с.
2. Блат, Ф. Физика электронной проводимости в твердых телах. / Ф. Блатт- М.: Мир, 1971.-470 с.
3. Соловьев, А.Н. О зависимости электрического сопротивления жидких металлов от удельного объема./ А.Н. Соловьев // Теплофизика высоких температур. – 1963. – Т. 1. – № 1. – С. 45-49.
4. Исхаков, М.Э. Электросопротивление и тепловое расширение сплавов на основе Си. / М.Э. Исхаков, Ж.Х. Мурлиева, Д.К. Палчаев / Известия РАН. Серия физическая. 2011. Т.75. №5.
5. Кондрашов А.П., Шестопалов Е.В. (1974) Основы физического эксперимента и математическая обработка результатов измерений. – Москва: Атомиздат. – 200 с.