

$$d_{обр} = \frac{P_v}{P_v - P_{жс}} \cdot (d_{жс} - 0,0012) + 0,0012 \quad (1)$$

де  $d_{обр}$  – щільність зразка, г/см<sup>3</sup>;

$P_v$  – маса зразка в повітрі, г;

$P_{жс}$  – маса зразка в ССІ<sub>4</sub>, г;

$d_{жс}$  – щільність ССІ<sub>4</sub>, г/см<sup>3</sup>.

Результати показали значний розбіг значень від 2,729 г/см<sup>3</sup> до 2,852 г/см<sup>3</sup>. Окрім того, найбільші діапазони коливань значень щільності спостерігаються у зразках металу, що піддавався віброобробленню. Наприклад, при частоті 150 Гц без застосування модифікування щільність сплаву коливається в межах 2,750...2,852 г/см<sup>3</sup> (різниця 3,5%), без оброблення – 2,739...2,773 г/см<sup>3</sup> (1,2%), з застосуванням тільки модифікування – 2,736...2,737 г/см<sup>3</sup> (0,04%).

Наведені дані свідчать про наявність ліквідаційних зон у виливках, що піддавалися віброобробленню, та отриманих за традиційною технологією. Це підтверджується результатами досліджень щільності металу зразків, що містили таку зону, або її частину.

Проведені дослідження показали підвищення усередненої щільності металу виливків, що піддавалися віброобробленню разом з модифікуванням, на 1,2% відносно металу виливків, отриманих за традиційною технологією.

**Сергієнко Р. А., Верховлюк А. М., Щерецький О. А., Потрух О. Г.,  
Науменко М. І.**

**(ФТІМС НАН України, м. Київ)**

## **ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ ЛАТУНЕЙ**

rsruslan17@gmail.com

В роботі розглянуто ряд технологічних чинників, які впливають на електропровідність сплавів на основі міді. До таких технологічних факторів належать: легування, швидкість охолодження при кристалізації сплаву з рідкого стану, а також термопластичне оброблення.

Проведені дослідження засвідчили, що заданої електропровідності можна досягти шляхом додаткового легування сплавів системи Cu-Zn різними елементами. Подвійні сплави системи міді з цинком типу томпак мають досить високу електропровідність на рівні 40% ІАСС, тому для розроблення сплавів із заданою електропровідністю їх необхідно легувати елементами, які знижують електропровідність [1]. Різні легувальні елементи по-різному впливають і знижують електропровідність. Питому електропровідність литого металу в загальному вигляді можна представити емпіричним рівнянням:

$$E = KA - K1[Zn] - K2[Si] - K3[Fe] - K4[Mn] - \dots Ki[Э], \quad (1)$$

де А – константа;

К – коефіцієнт, залежний від структури металу і технологічних особливостей;

K1, K2 .... Ki – коефіцієнти парціального впливу легувальних елементів і домішок на електропровідність.

Приведене рівняння не враховує взаємного впливу елементів на електропровідність, тому воно може бути застосовано тільки для конкретного однофазного сплаву при невеликих змінах концентрацій компонентів. Дослідження довели ефективність регулювання електропровідності потрібних латуней різних систем (Cu-Zn-Al, Cu-Zn-Sn, Cu-Zn-

Mn) шляхом додаткового легування. Так, наприклад, легування алюмінієм потрійної системи Cu-Zn-Mn у кількості до 2% (мас. ч.) дозволяє в широких межах регулювати електропровідність сплавів указаної системи – з 23,8% IACS до 16% IACS для сплаву Cu<sub>10</sub>Zn<sub>1,5</sub>Mn та з 22% IACS до 15% IACS для сплаву Cu<sub>10</sub>Zn<sub>2</sub>Mn. Легування однофазних  $\alpha$ -латуней, як правило, призводить до зниження електропровідності, в той час як поява другої  $\beta$ -фази призводить до збільшення електропровідності, що було перевірено на латунях Cu<sub>35</sub>Zn, Cu<sub>35</sub>Zn<sub>2</sub>Ni при легуванні їх алюмінієм. Таким чином дослідження показали, що необхідний рівень електропровідності в латунях можна досягти при їх комплексному легуванні, при цьому кожен елемент по-різному впливає на інтенсивність зниження електропровідності.

Так, як електропровідність чутлива до змін структури і фазового складу, тому швидкість охолодження впливає на її значення. В роботі досліджували взаємозв'язок швидкості охолодження при кристалізації одно- і двофазних латуней різних систем (Cu<sub>10</sub>Zn, Cu<sub>10</sub>Zn<sub>2</sub>Al, Cu<sub>25</sub>Zn<sub>2</sub>Ni<sub>1</sub>Al, Cu<sub>10</sub>Zn<sub>2</sub>Mn<sub>2</sub>Al, Cu<sub>35</sub>Zn, Cu<sub>35</sub>Zn<sub>1</sub>Al, Cu<sub>35</sub>Zn<sub>2,5</sub>Al) з їх електропровідністю. Для забезпечення різної швидкості охолодження при отриманні зразків застосовували форми з різною теплопровідністю. Як правило, електропровідність незначно (на десятки долі відносних одиниць % IACS) зростала при збільшенні швидкості охолодження в діапазоні від 1 К/с до 120 К/с.

Термопластичне оброблення – ще один технологічний фактор, який впливає на електропровідність латуней. Зниження електропровідності при деформації пов'язано тільки зі змінами мікроструктури сплавів, а саме розміром зерен, які подрібнюються в процесі деформації, в результаті чого збільшується кількість дефектів на міжфазних межах [2, 3]. Подальший відпал деформованих латуней забезпечує рекристалізацію і практично відновлює електропровідність до рівня електропровідності сплаву в литому стані. Так наприклад, характер змін електропровідності з багатьох операцій прокатки і відпалу сплаву Cu<sub>9,2</sub>Zn<sub>2,5</sub>Sn<sub>1,8</sub>Al такий: 18,25% IACS (литий стан) → 16,28% IACS (прокатка з 7 до 3,2 мм (ступінь деформації  $\varepsilon = 54\%$ )) → 17,51% IACS (відпал при 730 °C) → 16,18% IACS (прокатка з 3,2 до 1,6 мм (ступінь деформації  $\varepsilon = 50\%$ )) → 18,10% IACS (відпал при 730 °C) [4].

Таким чином, на основі вище розглянутого аналізу можна зробити висновки, що при розробленні мідних сплавів із заданою електропровідністю можна застосовувати різні технологічні прийоми, основні з яких – це легування, пластична деформація і термічне оброблення, а також швидкість охолодження при кристалізації сплаву, яка впливає на електропровідність через зміну структури, при цьому найефективнішим методом, що забезпечує стабільні результати, залишається легування.

Література:

1. Смирязин А. П., Смирязина Н. А., Белова А. В. Промышленные цветные металлы и сплавы. – М.: Металлургия, – 1974. – 488 с.
2. Верховлюк А. М., Лахненко В. Л., Щерецкий А. А., Сергиенко Р. А., Науменко М. И., Апухтин В. В., Назаренко А. Основные принципы разработки монетных сплавов с заданной электропроводностью // Вісник Національного банку України (Вестник Национального банка Украины). – 2014. – №12. – С. 30...36.
3. Плитченко В. В., Апухтин В. В., Науменко М. И. Влияние деформации на электропроводность и твёрдость многокомпонентных сплавов на основе меди // Металознавство та обробка металів (Металловедение и обработка металлов). – 2008. – № 1. – С. 59...62.
4. Плитченко В. В. Разработка экономнолегированного многокомпонентного сплава на основе меди для монет средних номиналов: дис. канд. техн. наук: 05.16.01 / Плитченко Валерий Васильевич – Киев, 2008. – 160 с.