

УДК 691.735

АНАЛІЗ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ СПЛАВІВ МІДНОГО КУТУ СИСТЕМИ Cu–Sn–Al

Т. В. Кімстач¹, ст. викл., **К. І. Узлов**², докт. техн. наук, проф.,
С. І. Реп'ях³, докт. техн. наук, проф.

¹*1375tatyana@gmail.com*, ²*konst.uzlov@gmail.com*, ³*123rs@ua.fm*

Український державний університет науки і технологій

На даний час мідні сплави широко використовуються у різних галузях промисловості. Одним з напрямів, який потребує значного споживання сплавів на основі міді, є інженерія матеріалів, де їх використовують в якості зносостійких матеріалів для виготовлення антифрикційних деталей та елементів тертя / ковзання, підшипників, тощо.

За рівнем механічних, технологічних та експлуатаційних властивостей найбільш поширені в Україні свинцеві, олов'яні та алюмінієві бронзи. Але, в Європейському Союзі у 2006 році нормативами RoHS було оновлено правила використання деяких небезпечних речовин в обладнанні з метою заборони використання свинцю та свинець-умісних речовин.

Тому доцільно дослідити властивості бронзи в складі якої одночасно, в якості основних компонентів, присутні як алюміній, так і олово, з метою поєднання в ній найкращих рівнів властивостей притаманних олов'яним та алюмінієвим бронзам. Якісно провести такі дослідження без вивчення фазових діаграм неможливо. Фазові діаграми є науковим підґрунтям для оптимізації промислових складів сплавів [1; 2].

На сьогодні більшість робіт сучасних авторів з цього питання спрямоване на встановленні закономірностей структуроутворення сплавів системи Cu–Sn–Al з концентраціями, що відповідають монотектичній ділянці діаграми [3–5]. Це пов'язано з тим, що ці сплави представляють промисловий інтерес в якості триботехнічних матеріалів. Але, дані різних авторів стосовно діаграм фазових рівноваг системи Cu–Sn–Al є фрагментарними та, навіть, суперечливими.

Таким чином, напрям досліджень, щодо структуроутворення сплавів системи Cu–Sn–Al немонотектичного концентраційного інтервалу є актуальним.

На підставі аналізу фазових і структурних перетворень сплавів мідного куту системи Cu–Sn–Al з вмістом Sn до 7 (мас.) % та Al до 11 (мас.) % встановлено евтектико-перитектичний характер їх структуроутворення.

Сплави з вмістом Al, що відповідає евтектичній горизонталі системи Cu–Al при охолодженні в твердому стані підпорядковуються евтектоїдному перетворенню. При цьому, в залежності від швидкості охолодження, евтектична β -Cu₃Al фаза може перетворитися на евтектоїду структурну складову α -Cu+ γ_2 -Cu₉Al₄ повністю, частково (рис. 1, а), або зберегтися у вихідному стані, як продукт евтектичної кристалізації (рис. 1, б).

Сплави з вмістом Al за верхньою концентраційною межею евтектичної горизонталі Cu–Al кристалізуються безпосередньо з формуванням хімічної сполуки $\beta\text{-Cu}_3\text{Al}$. Подальше охолодження супроводжується появою $\alpha\text{-Cu}$ фази. При переході через евтектоїдну горизонталь відбувається розпад $\beta\text{-Cu}_3\text{Al}$ фази за евтектоїдною реакцією на $\alpha\text{-Cu} + \gamma_2\text{-Cu}_9\text{Al}_4$. При цьому, на міжфазній границі зберігається деяка кількість вихідної $\beta\text{-Cu}_3\text{Al}$ первинної фази у вигляді обідку (рис. 2).

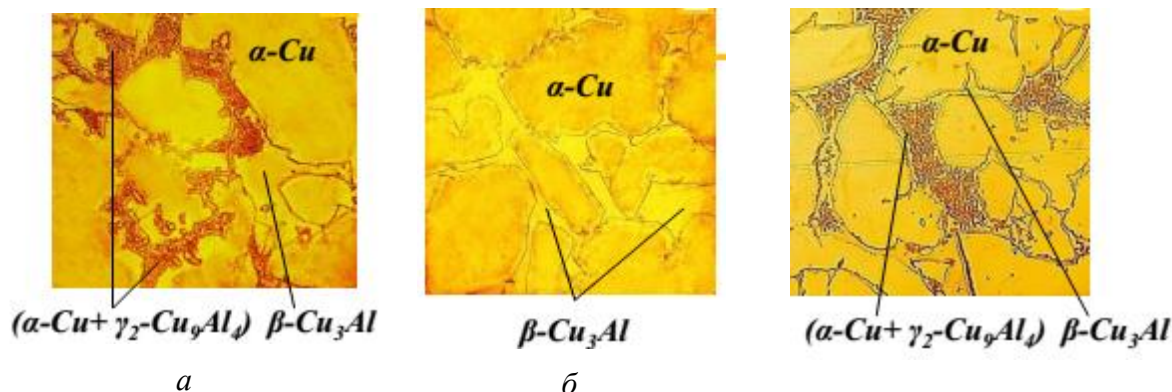


Рис. 1. Оптичні зображення мікроструктури сплаву з вмістом компонентів (мас. %): Cu – 87,92; Sn – 3,12; Al – 8,51; Fe – 0,45 (а – $\times 1000$, б – $\times 500$)

Рис. 2. Оптичне зображення мікроструктури сплаву з вмістом компонентів (мас. %): Cu – 86,60; Sn – 3,67; Al – 9,73 ($\times 1000$)

Сплави з вмістом Al меншим за початкову концентрацію евтектичної горизонталі системи Cu–Al за первинною кристалізацією є алюмінієвими бронзами, а за сукупністю подальших фазових перетворень – олов'яними. Ця група сплавів після кристалізації $\alpha\text{-Cu}$ кристалів за двофазним інтервалом ліквідус-солідус діаграми Cu–Al, внаслідок насичення залишкової рідини легкоплавким оловом, підпорядковується закономірностям фазових перетворень системи Cu–Sn. Але в цій доевтектичній концентраційній області системи Cu–Al в залежності від вмісту олова, структурний і фазовий склад сплавів неоднаковий. У сплавах до 3 % (мас.) Sn спостерігається формування однофазної $\alpha\text{-Cu}$ структури (рис. 3, а). Структура сплавів в інтервалі концентрацій 3–4 % (мас.) Sn є двофазною – $\alpha\text{-Cu} + \beta\text{-Cu}_5\text{Sn}$ (рис. 3, б). Перехід за концентраційну межу 4 % (мас.) Sn принципово характер структуроутворення сплавів не змінює, але в цьому випадку $\beta\text{-Cu}_5\text{Sn}$ фаза піддається твердофазному евтектоїдному перетворенню з формуванням у структурних позиціях вихідної $\beta\text{-Cu}_5\text{Sn}$ фази евтектоїдної структурної складової $\alpha\text{-Cu} + \delta$ ($\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$) (рис. 3, в).

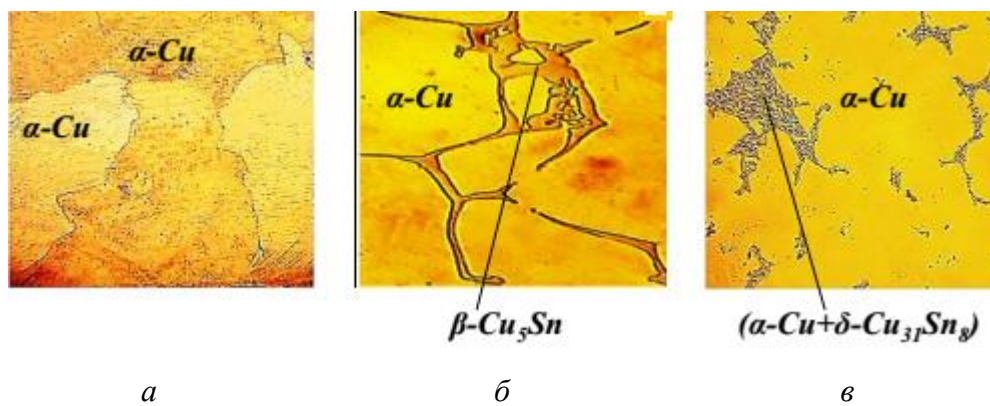


Рис. 3. Мікроструктури бронз з вмістом компонентів (мас. %):

а) Cu – 97,60; Sn – 1,30; Al – 1,10 ($\times 400$);

б) Cu – 92,07; Sn – 3,41; Al – 3,52 ($\times 800$);

в) Cu – 88,01; Sn – 5,87; Al – 6,12 ($\times 400$).

Висновок. Встановлені закономірності дозволяють розширити уявлення про структуроутворення в бронзах та визначити раціональні межі вмісту олова та алюмінію для подальшої оптимізації складу бронзи системи Cu–Sn–Al.

Список використаних джерел

1. Древинг В. П. Правило фаз. Москва : Изд-во Московского Университета, 1954. 173 с.
2. Soares D. F., Abreu M., Barros D., Castro F. Experimental study of the Cu–Al–Sn phase equilibria, close to the copper zone. *Journal of Mining and Metallurgy Section B: Metallurgy*. 2017. № 53(00). Pp. 209–213. URL : <https://www.researchgate.net/publication/320071059>.
3. Mirkovic D., Gröbner J., Schmid-Fetzer R. Liquid demixing and microstructure formation in ternary Al–Sn–Cu alloys. *Materials Science and Engineering*. 2008. A 487. Pp. 456–467. URL : <https://www.researchgate.net/publication/257335091> Liquid demixing and microstructure formation in ternary Al-Sn-Cu alloys.
4. Kotadia H. R., Panneerselvam A., Mokhtari O., Green M. A., Mannan S. H. Massive spalling of Cu–Zn and Cu–Al intermetallic compounds at the interface between solders and Cu substrate during liquid state reaction. *Journal of Applied Physics*. 2012. VOL. 111. P. 074902. URL : <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.3699359>.
5. Chang Y. A., Neumann J. P., Mikula A., Goldberg D. The Al–Cu–Sn (Aluminum-Copper-Tin) system. *Bulletin of Alloy Phase Diagrams*. 1980. Vol. 1. Pp. 82–84. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02883303>