



Научові перспективи
Видавнича група



MODERNÍ ASPEKTY VĚDY

*v rámci publikační skupiny
Scientific Publishing Group*

*Svazek XXII mezinárodní
kolektivní monografie*

Česká republika
2022



Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. (Česká republika)
Středoevropský vzdělávací institut (Bratislava, Slovensko)
Národní institut pro ekonomický výzkum (Batumi, Gruzie)
Al-Farabi Kazakh National University (Kazachstán)
Institut filozofie a sociologie Ázerbájdžánu Národní akademie věd (Baku, Ázerbájdžán)
Batumi School of Navigation (Batumi, Gruzie)
Regionální akademie managementu (Kazachstán)
Veřejná vědecká organizace „Celokrajinské shromáždění lékařů ve veřejné správě“
(Kyjev, Ukrajina)
Nevládní organizace „Sdružení vědců Ukrajiny“ (Kyjev, Ukrajina)
Univerzita nových technologií (Kyjev, Ukrajina)

v rámci publikační skupiny Publishing Group „ Vědecká perspektiva “

MODERNÍ ASPEKTY VĚDY

Svazek XXII mezinárodní kolektivní monografie

Česká republika
2022

International Economic Institute s.r.o. (Czech Republic)
Central European Education Institute (Bratislava, Slovakia)
National Institute for Economic Research (Batumi, Georgia)
Al-Farabi Kazakh National University (Kazakhstan)
Institute of Philosophy and Sociology of Azerbaijan National Academy of Sciences
(Baku, Azerbaijan)
Batumi Navigation Teaching University (Batumi, Georgia)
Regional Academy of Management (Kazakhstan)
Public Scientific Organization "Ukrainian Assembly of Doctors of Sciences in Public
Administration" (Kyiv, Ukraine)
Public Organization Organization "Association of Scientists of Ukraine" (Kyiv, Ukraine)
University of New Technologies (Kyiv, Ukraine)

within the Publishing Group "Scientific Perspectives"

MODERN ASPECTS OF SCIENCE

22- th volume of the international collective monograph

Czech Republic
2022

UDC 001.32: 1/3] (477) (02)

C91

Vydavatel:

Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.
se sídlem V Lázních 688, Jesenice 252 42
IČO 03562671 Česká republika
Zveřejněno rozhodnutím akademické rady

Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. (Zápis č. 15/2022 ze dne 9. srpen 2022)



Monografie jsou indexovány v mezinárodním vyhledávací Google Scholar

Recenzenti:

Karel Nedbálek - doktor práv, profesor v oboru právo (Zlín, Česká republika)

Markéta Pavlova - ředitel, Mezinárodní Ekonomický Institut (Praha, Česká republika)

Iryna Zhukova - kandidátka na vědu ve veřejné správě, docentka (Kyjev, Ukrajina)

Yevhen Romanenko - doktor věd ve veřejné správě, profesor, ctěný právník Ukrajiny (Kyjev, Ukrajina)

Oleksandr Datsiy - doktor ekonomie, profesor, čestný pracovník školství na Ukrajině (Kyjev, Ukrajina)

Jurij Kijikov - doktor informatiky, dr.h.c. v oblasti rozvoje vzdělávání (Teplice, Česká republika)

Vladimír Bačišin - docent ekonomie (Bratislava, Slovensko)

Peter Ošváth - docent práva (Bratislava, Slovensko)

Oleksandr Nepomnyashy - doktor věd ve veřejné správě, kandidát ekonomických věd, profesor, řádný člen Vysoké školy stavební Ukrajiny (Kyjev, Ukrajina)

Vladislav Fedorenko - doktor práv, profesor, DrHb - doktor habilitace práva (Polská akademie věd), čestný právník Ukrajiny (Kyjev, Ukrajina)

Dina Dashevskaya - geolog, geochemik Praha, Česká republika (Jeruzalém, Izrael)

Tým autorů

C91 Moderní aspekty vědy: XXII. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2022. str. 550

Svazek XXII mezinárodní kolektivní monografie obsahuje publikace o: utváření a rozvoji teorie a historie veřejné správy; formování regionální správy a místní samosprávy; provádění ústavního a mezinárodního práva; finance, bankovníctví a pojišťovnictví; duševní rozvoj osobnosti; rysy lexikálních výrazových prostředků imperativní sémantiky atd.

Materiály jsou předkládány v autorském vydání. Autoři odpovídají za obsah a pravopis materiálů.



OBSAH

PŘEDMLUVA 11

ODDÍL 1. VEŘEJNÁ SPRÁVA, SAMOSPRÁVA A STÁTNI SPRÁVA

§1.1 ДЕРЖБЮДЖЕТ ЩОРІЧНО НЕДООТРИМУЄ ВІД НЕОПОДАТКУВАННЯ НЕЛЕГАЛЬНОЇ ЛІКЕРОГОРІЛЧАНОЇ ПРОДУКЦІЇ (Романенко Є.О., Національний Авіаційний Університет) 13

§1.2 LONELINESS AS A UNIVERSAL PSYCHOLOGICAL PHENOMENON (Malimon V.I., Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas) 27

§1.3 ДЕРЖАВНЕ УПРАВЛІННЯ В УМОВАХ ВІЙНИ І В ПОСТВОЄННИЙ ПЕРІОД: МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД ТА РЕАЛІЇ УКРАЇНО-РОСІЙСЬКОГО ВІЙСЬКОВОГО КОНФЛІКТУ (Шпак Ю.В., Державний університет «Житомирська політехніка») 41

ODDÍL 2. EKONOMIKA A ŘÍZENÍ PODNIKU

§2.1 FOOD SOVEREIGNTY AND AGROLOGISTICS AS THE BASIS OF FOOD SECURITY IN UKRAINE UNDER THE CONDITIONS OF THE STATE OF MARTIAL FOLLOWING THE CONSEQUENCES OF RUSSIAN AGGRESSION (Bulycheva T.V., National Pedagogical Dragomanov University, Butkaliuk K.O., National Pedagogical Dragomanov University, Hryniuk T.A., National Pedagogical Dragomanov University) 63





- §5.3 *МІЖНАРОДНІ АСПЕКТИ ПРАВОВОГО РЕГУЛЮВАННЯ СФЕРИ ТРАНСКОРДОННИХ БАНКРУТСТВ* (Панченко В.В., Національний юридичний університет імені Ярослава Мудрого) 369
- §5.4 *НА УКРАЇНІ ВВОДИТЬСЯ ОБОВ'ЯЗКОВА ТА ДОБРОВОЛЬНА ДЕРЖРЕЄСТРАЦІЯ ДНК* (Романенко Є.О., Національний авіаційний університет) 381
- §5.5 *КЛАСИФІКАЦІЯ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ НА ЯКИХ ЗАПРОВАДЖЕНО СПЕЦІАЛЬНИЙ ПРАВОВИЙ РЕЖИМ ЕКОНОМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ* (Серебряк С.В., Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля) 399
- §5.6 *ЗАПОБІГАННЯ ПОСЯГАННЯМ НА ІНФОРМАЦІЙНУ БЕЗПЕКУ ДЕРЖАВИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ* (Сопілко І.М., Національний авіаційний університет) 412

ODDÍL 6. TECHNICKÉ VĚDY

- §6.1 *DIFFRACTION OF NONSTATIONARY SOUND WAVES BY A GYROSCOPE SUSPENSION* (Mel'nick V., Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kosova V., Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ostapenko Z., Kyiv Polytechnic Institute named after Ihor Sikorskyi, Ruzhynska L., Kyiv Polytechnic Institute named after Ihor Sikorskyi) 427
- §6.2 *ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Cu-Sn-Al НЕМОНОТЕКТИЧНОГО КОНЦЕНТРАЦІЙНОГО ІНТЕРВАЛУ* (Узлов К.І., Інститут промислових та бізнес технологій Українського державного університету науки і технологій, Реп'ях С.І., Інститут промислових та бізнес технологій Українського державного університету науки і технологій, Кімстач Т.В., Інститут промислових та бізнес технологій Українського державного університету науки і технологій) 445





*§6.2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ
СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Cu-Sn-Al
НЕМОНОТЕКТИЧНОГО КОНЦЕНТРАЦІЙНОГО ІНТЕРВАЛУ*
(Узлов К.І., Інститут промислових та бізнес технологій
Українського державного університету науки і технологій,
Реп'ях С.І., Інститут промислових та бізнес технологій
Українського державного університету науки і технологій,
Кімстач Т.В., Інститут промислових та бізнес технологій
Українського державного університету науки і технологій)

Вступ. За результатами аналітичних досліджень [1, 2] встановлено, що на сьогодні щорічне зростання попиту на мідь складає 2,1% і в 2030 році світовий попит на мідь може зрости до 40 млн. т. При цьому, за даними International Copper Study Group, дефіцит міді на світовому ринку вже в 2020 р. досяг 250 тис. т. [2].

Такий попит на мідь та її сплави зумовлений унікальним поєднанням в мідних сплавах ряду властивостей які дозволяють використовувати їх в самих різних середовищах та умовах роботи [3]. Одним з напрямів, який потребує значного споживання мідних сплавів, є «Механічна інженерія» де мідні сплави використовують в якості зносостійких матеріалів для виготовлення фрикційних деталей та елементів тертя/ковзання, підшипників, тощо. При цьому, за даними [4-7], в області виробництва підшипників с точки зору розробки нових матеріалів найбільш перспективними є монотектичні сплави.

Для поєднання необхідних механічних, корозійних, антифрикційних та ливарних параметрів потрібно цілеспрямоване легування мідних сплавів кількома елементами. Якісно здійснити таке легування без вивчення фазових діаграм неможливо. Фазові діаграми є науковим підґрунтям для оптимізації промислових складів сплавів [8, 9].





Аналіз трикомпонентних діаграм системи Cu-Sn-Al [10-13] доводить, що дослідження спрямовані на встановлення закономірностей структуроутворення цих трикомпонентних бронз присвячені, переважно, сплавам на основі олова. Дані, щодо мідного куту цієї діаграми фрагментарні та, навіть, суперечливі.

Тому напрям досліджень, щодо структуроутворення сплавів системи Cu-Sn-Al немоноотектичного концентраційного інтервалу є актуальним.

Виклад основного матеріалу. *Бронзи системи Cu-Sn-Al з вмістом понад 7% (мас.) Al.* Аналіз діаграми Al-Sn свідчить про те, що взаємодія компонентів алюмінію та олова не може додати до структурного стану цих сплавів ніяких проміжних фаз, через їх відсутність у цій двокомпонентній системі [14]. При кристалізації сплавів системи Cu-Sn-Al температура тугоплавкого компоненту Al не може бути домінуючою через те, що вона відповідає значенню 660 °С. Тим більше, таке саме твердження є справедливим для олова. Відомо, що температура плавлення олова – 232 °С. Крім того, в системі Al-Sn має місце евтектична горизонталь при ще нижчій температурі – 228 °С. Точка евтектики, в даному випадку, відповідає концентрації 97,8 % (ат) Sn. При цьому, в цій потрібній системі Cu-Sn-Al температура плавлення міді 1063 °С. В системі Cu-Sn наступною за цією температурою по мірі зниження є перитектика – 798 °С. Але у системі Cu-Al точка конгруентного плавлення хімічної сполуки 1048 °С. Евтектика в цій системі відповідає температурі 1037 °С та концентрації 8,5 % (мас.) Al. При цьому евтектична горизонталь на діаграмі фазових рівноваг знаходиться майже за концентраційними межами лінії евтектоїдної рівноваги. Крайні значення вмісту Al на верхній концентраційній межі евтектики 9,5 % (мас.). Найнижча концентрація Al на евтектоїдній горизонталі 9,4 % (мас.).

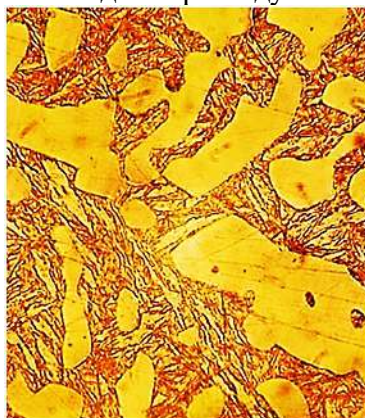




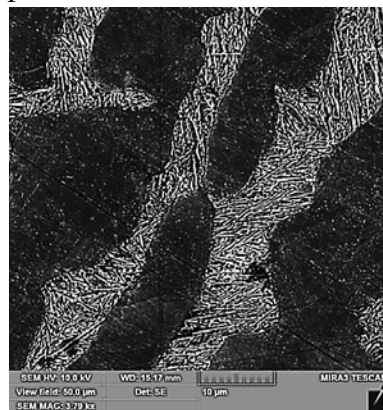
Тобто, при аналізі твердіння виливків бронз трикомпонентної системи Cu-Sn-Al, скоріш за все, слід очікувати першою реалізацію фазових перетворень, які притаманні системі Cu-Al.

На рис. 1 представлені мікроструктурні оптичне (а) та растрове електронно-мікроскопічне (б) зображення сплаву з масовим вмістом компонентів: Cu – 86,12 %; Al – 10,39 %; Sn – 3,49 %.

Аналіз мікроструктури на рис. 1 свідчить про те що кристалізація сплаву трикомпонентної системи Cu-Sn-Al доєвтектоїдного складу (за діаграмою Cu-Al) із вмістом 10,39 % (мас.) Al відбувається із первинною кристалізацією β -Cu₃Al, та подальшим її частковим перетворенням з формуванням α -Cu твердого розчину. Перехід через евтектоїдну горизонталь супроводжується реакцією β -Cu₃Al \rightarrow α -Cu + γ -Cu₉Al₄. Тобто, кінцевий структурний стан складається із α -Cu кристалів твердофазної перекристалізації вихідної β -фази, та продуктів евтектоїдного розпаду залишкової β -фази.



а, x1000



б

Рис. 1. Мікроструктурні оптичне (а) та растрове електронно-мікроскопічне (б) зображення сплаву з масовим вмістом компонентів: Cu – 86,12 %; Al – 10,39 %; Sn – 3,49 %

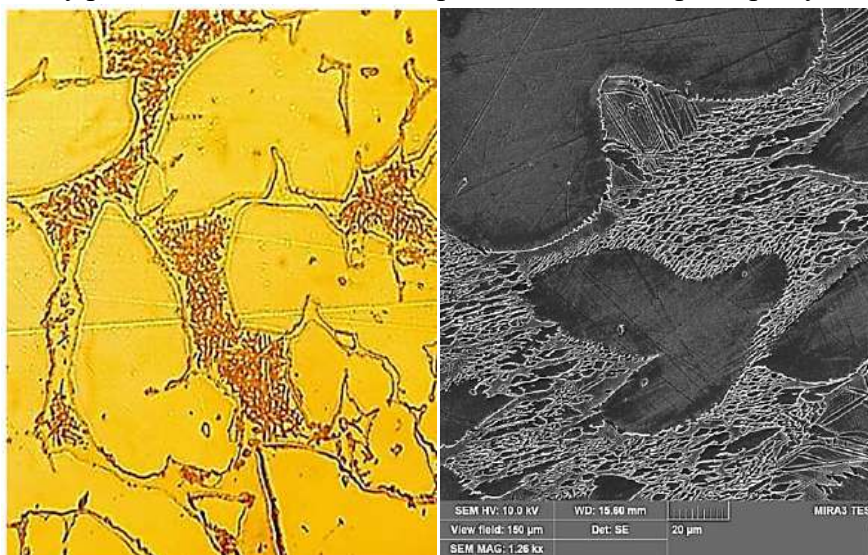




Мікроструктури на рис. 2 сплаву з масовим вмістом компонентів: Cu – 86,60 %; Al – 9,73 %; Sn – 3,67 % свідчать про закономірне збільшення кількості α -фази при зменшенні концентрації Al в сплаві в області евтектоїдної горизонталі.

Аналіз мікроструктури на рис. 2 свідчить, також, про ідентичний структурний стан цього сплаву попередньому. Однак, слід зазначити, що в даному випадку проілюстрований типовий випадок неповного перетворення β -фази за евтектоїдною реакцією.

На рис. 3 представлені результати енерго-дисперсійного спектрального аналізу (ЕДС) дослідного сплаву з масовим вмістом компонентів: Cu – 86,60 %; Al – 9,73 %; Sn – 3,67 %, на якому розміщені позиції точок опромінювання поверхні зразку.



a

б

a – $\times 1000$

Рис. 2. Мікроструктурні оптичне (а) та растрове електронно-мікроскопічне (б) зображення сплаву з масовим вмістом компонентів: Cu – 86,60 %; Al – 9,73 %; Sn – 3,67 %



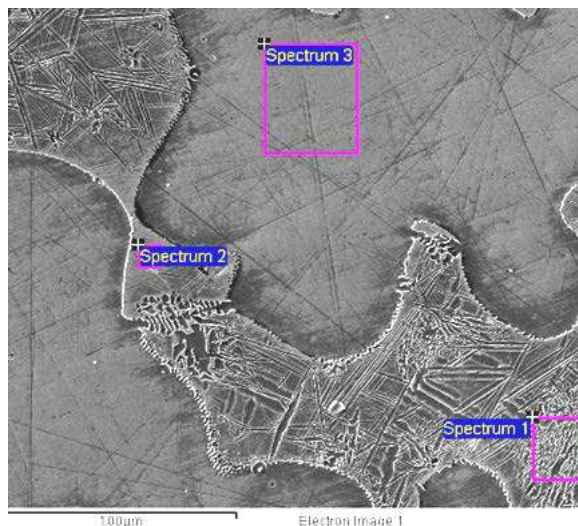


Рис.3. Електронно-мікроскопічне зображення у вторинних електронах поверхні зразку з масовим вмістом компонентів: $Cu - 86,60\%$; $Al - 9,73\%$; $Sn - 3,67\%$ з точками розміщення катодного променя

Результати ЕДС аналізу надані в табл. 1.

Таблиця 1

Результати ЕДС аналізу вмісту (ат, %) Cu , Al та Sn зразку з масовим вмістом компонентів: $Cu - 86,60\%$; $Al - 9,73\%$; $Sn - 3,67\%$

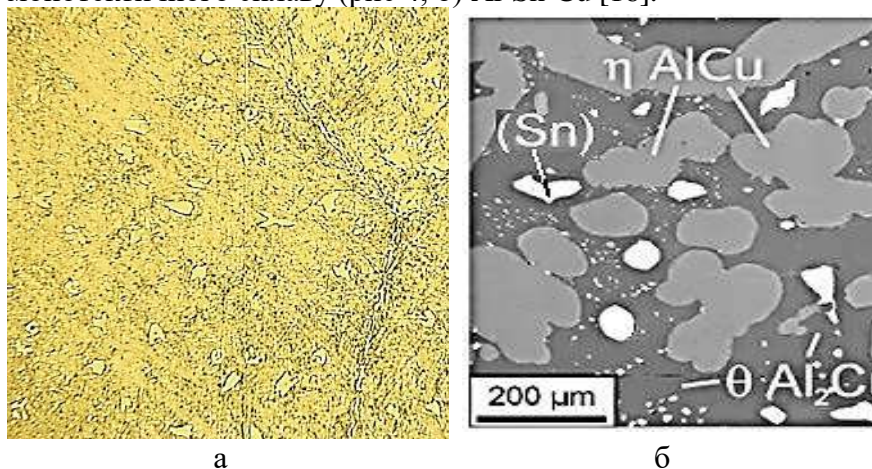
Spectrum	In stats.	Al	Cu	Sn
Spectrum 1	Yes	21.73	75.91	2.35
Spectrum 2	Yes	23.08	74.73	2.19
Spectrum 3	Yes	10.03	87.51	2.46

Аналіз даних табл. 1 свідчить про те, що припущення відносно структуроутворення сплавів аналізованого інтервалу концентрацій за фазовими перетвореннями системи $Cu-Al$ (структурний склад сплаву за даними ЕДС) є таким.



- Spectrum 3 – α -Cu твердий розчин із розчиненням Al – 10,03 % (ат.) з додатковим легуванням Sn – 2,46 % (ат)
- Spectrum 2 – залишковий продукт евтектоїдної реакції вихідної β -фази зі співвідношенням компонентів Cu – 74,73/(23,08+2,19) \approx 3/1. Тобто, виходячи із визначеного кількісного відношення атомів, це є хімічна сполука зі стехіометричною формулою Cu_3Al (β -фаза)
- Spectrum 1 – евтектоїд α -Cu + γ_2 - Cu_9Al_4 із інтегральним співвідношенням компонентів близьким до такого, якій характерний для вихідної β - Cu_3Al фази.

Крім того, за даними роботи [15], через схильність олов'яних бронз до зворотної ліквідації на поверхні виливків з'являється, так званий «олов'яний піт» у вигляді білих плям або виділень. Такі ефекти спостерігаються і в дослідженому випадку (рис 4, а) подібно до структурного стану монотектичного сплаву (рис 4, б) Al-Sn-Cu [16].



а – $\times 400$

Рис. 4. Мікроструктура виділень «олов'яного поту» в досліджуваній бронзі (а) з масовим вмістом компонентів: Cu – 84,03 %, Al – 10,14 % , Sn – 5,83 % та мікроструктурні позиції олов'яної фази в сплаві Al-Sn-Cu (за даними [16])



За результатами наведених досліджень можна зробити висновок, що для сплавів трикомпонентної системи Cu-Sn-Al з концентрацією компонентів відповідно до евтектоїдної горизонталі діаграми Cu-Al характерним є реалізація фазових перетворень із наявністю фаз і структурних складових типових для алюмінієвих бронз.

Додатковим підтвердженням цього факту є результати дифракційного рентгеноструктурного аналізу. Типова дифрактограма сплаву з масовим вмістом компонентів: Cu – 86,60 %; Al – 9,73 %; Sn – 3,67% наведена на рис. 5.

Тобто, рентгеноструктурний фазовий аналіз (рис 5) свідчить про наявність в сплаві саме тих фаз, які є складовими α -Cu твердого розчину та евтектоїда α -Cu + γ_2 -Cu₉Al₄ відповідно до системи Cu-Al.

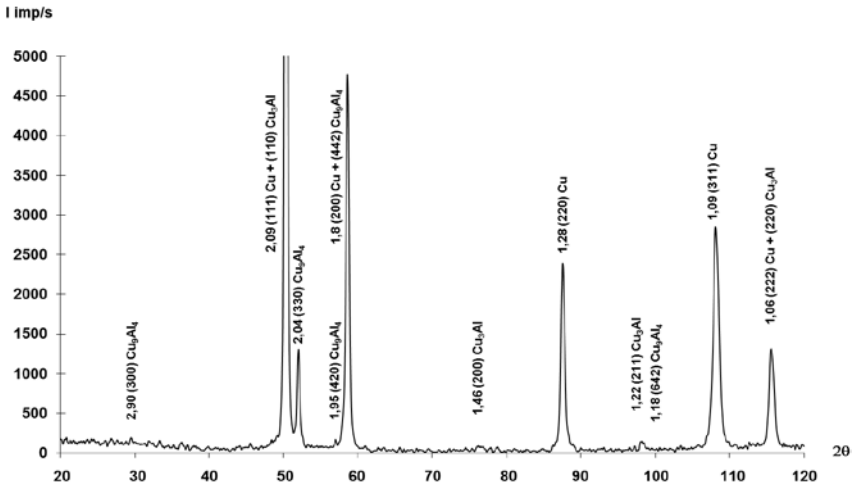


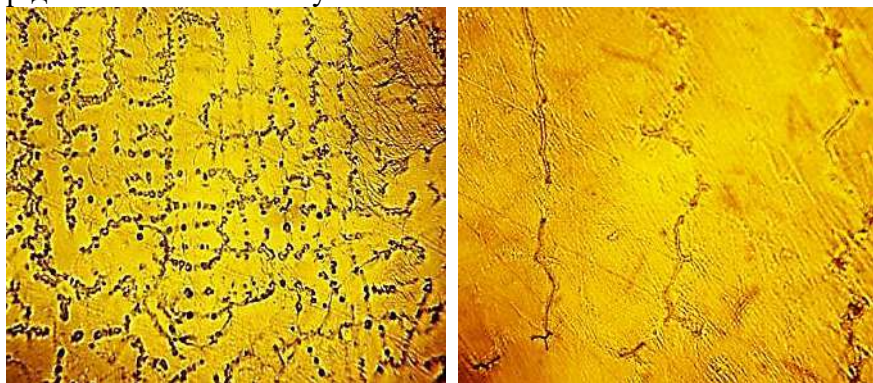
Рис. 5. Дифрактограма сплаву з масовим вмістом компонентів: Cu – 86,60 %; Al – 9,73 %; Sn – 3,67%

Бронзи системи Cu-Sn-Al з вмістом до 7% (мас.) Al. Перехід у концентраційну область зниженої концентрації



Al проти рівноважної за евтектичною лінією діаграми Cu-Al (до 7,4 % (мас.)) принципово змінює характер структуроутворення сплавів системи Cu-Sn-Al. У цьому випадку в інтервалі ліквідус-солідус формуються первинні дендрити α -Cu (рис.6).

Температурний інтервал між $t_{пл}$ Cu та евтектичною горизонталлю складає 1085 °C – 1037 °C і дорівнює 48 °C. Наведений факт є запорукою дуже вузького інтервалу кристалізації, що забезпечує, за даними [17, 18], преференційну рідкоплинність бронзі. Це пов'язано, за даними загальновідомих теоретичних та практичних робіт з ливарного виробництва (див., наприклад [17, 18]), з тим, що по мірі збільшення інтервалу кристалізації сплаву його рідкоплинність зменшується.



а

б

а – $\times 100$, б – $\times 500$

Рис. 6. Мікроструктура відливки дослідженої бронзи з вмістом до 7% (мас.) Al

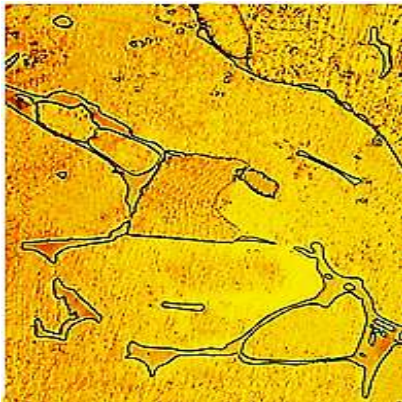
Тобто, сплави цього інтервалу за первинною кристалізацією є алюмінієвими бронзами, а за сукупністю подальших фазових перетворень – олов'яними бронзами. При формуванні первинних дендритів α -Cu¹ (рис. 6, а) рідина, що



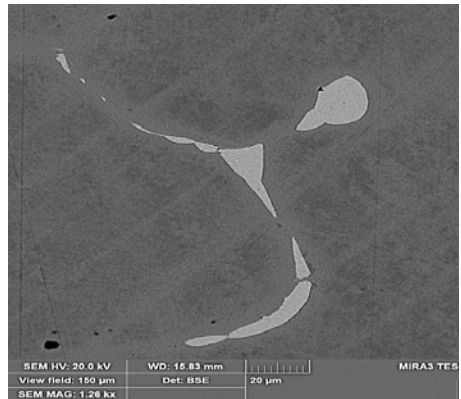
відтісняється їх гілками, суттєво насичується легкоплавким оловом (рис. 6, б). Тоді, при температурі 798 °С залишкова рідина кристалізується за перитектичною реакцією системи Cu-Sn: **Рідина** + α -Cu \rightarrow β -Cu₅Sn – 798°С. Мікроструктурні оптичне та растрове електронно-мікроскопічне зображення сплаву зі співвідношенням компонентів: Cu – 92,47 %; Al – 3,78 %; Sn – 3,75 % наведені на рис. 7, а, б.

Результати досліджень рентгеноспектрального мікроскопічного аналізу (РСМА) представлені на рис. 8. За даними проведеного РСМА стає очевидним той факт, що досліджувана хімічна сполука містить підвищену кількість олова. З цієї причини кількість міді та алюмінію в позиції розташування цього з'єднання закономірно знижується.

Цей факт, також, свідчить на користь зробленого вище припущення про формування у міждендритних позиціях Sn-вмісної проміжної фази.



а



б

а – x1000

Рис. 7. Мікроструктурні оптичне (а) та растрове електронно-мікроскопічне (б) зображення сплаву з масовим вмістом компонентів: Cu – 92,47 %; Al – 3,78 %; Sn – 3,75 %





З метою доведення цього припущення було реалізоване ЕДС сканування (рис. 9) хімічної сполуки у міждендритних позиціях закристалізованого сплаву з масовим вмістом компонентів: Cu – 92,47 %; Al – 3,78 %; Sn – 3,75 %. Результати ЕДС сканування дослідного зразка відповідно до позицій спектрів за рис. 8 представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати ЕДС аналізу вмісту (ат, %) Cu, Al та Sn зразку з масовим вмістом компонентів: Cu–92,46 %; Al–3,78 %; Sn–3,75 %

Spectrum	In stats.	Al	Cu	Sn
C(1)	Yes	3.17	79.96	16.86
C(2)	Yes	2.85	80.49	16.66
C(3)	Yes	7.85	88.22	3.93
C(4)	Yes	8.55	88.76	2.69
C(5)	Yes	9.53	88.47	2.00
C(6)	Yes	10.16	88.19	1.65
C(7)	Yes	10.60	87.68	1.73

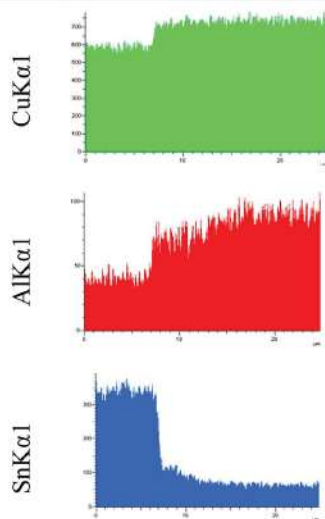
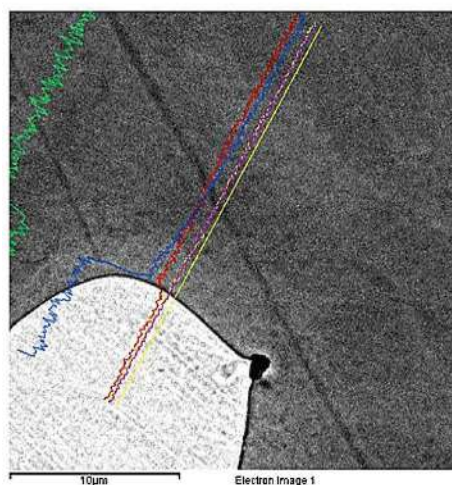


Рис.8. Протокол РСМА дослідження сплаву з масовим вмістом компонентів: Cu – 92,47 %; Al – 3,78 %; Sn – 3,75 %



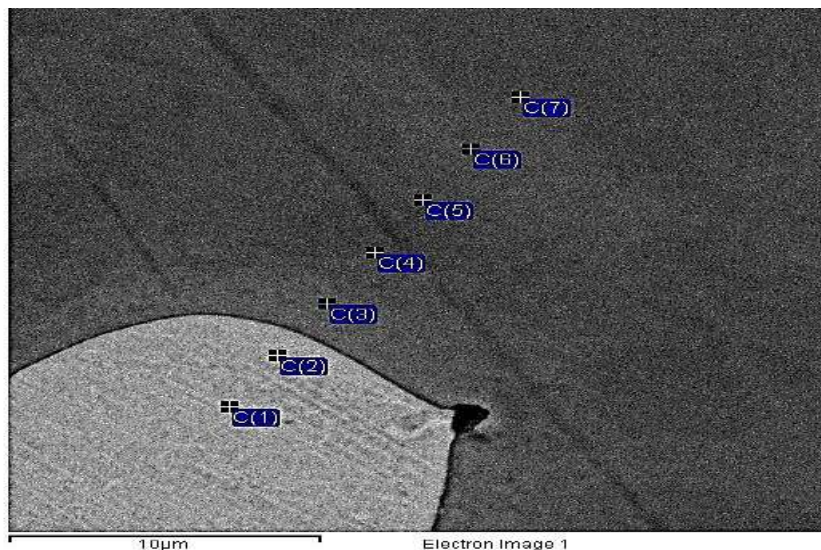


Рис. 9. *Позиції РСМА сканування з кроком 3 мкм міжфазної границі матриця-хімічна сполука.*

Результати РСМА сканування міжфазної границі (хімічна сполука) \leftrightarrow α -Cu матриця (рис.9, табл. 2) додатково підтверджують той факт, що досліджена проміжна фаза є олов'яною. Кількісні розрахунки атомних відсотків вмісту міді та олова дають результат: $79,96/16,86 \approx 5$. Тобто, стехіометрія цієї фази Cu_5Sn , яка є перитектичною β -фазою системи Cu-Sn. Кількісні дані табл. 2 свідчать, також, по її легування Al в кількості приблизно 3 % (ат). На відміну від фазових складових попереднього концентраційного інтервалу сплавів, в даному випадку Al не формує будь-яких фаз у цьому випадку.

На рис. 10 представлені результати диференційного термогравіметричного аналізу (ДТГА) з масовим вмістом компонентів: Cu – 92,47 %; Al – 3,78 %; Sn – 3,75 % при охолодженні.



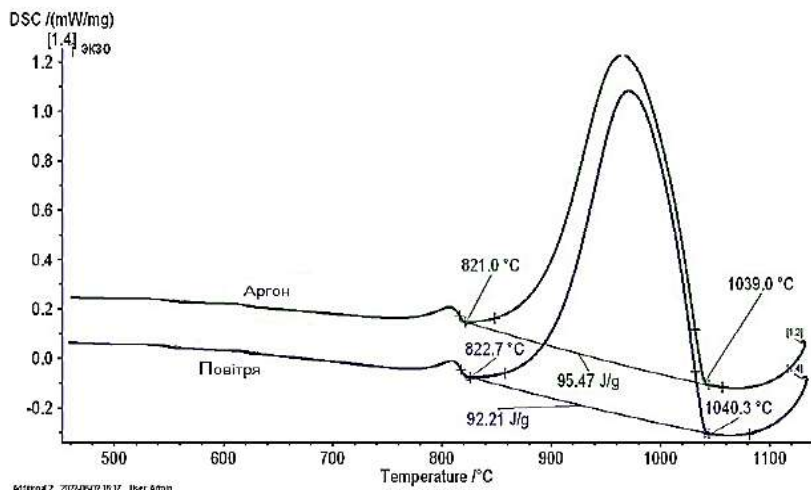


Рис.10. Результати диференційного термогравіметричного аналізу сплаву з масовим вмістом компонентів: $\text{Cu} - 92,47\%$; $\text{Al} - 3,78\%$; $\text{Sn} - 3,75\%$ при охолодженні

За даними ДТГА сплаву $\text{Cu} - 92,47\%$; $\text{Al} - 3,78\%$; $\text{Sn} - 3,75\%$ встановлено, що після проходження інтервалу температур ліквідус-солідус в сплаві відбувається значиме фазове перетворення про яке свідчить максимум на кривих охолодження в інтервалах температур $821,0 \dots 784,4\text{ }^\circ\text{C}$ (з max $880,0\text{ }^\circ\text{C}$) при експерименті в атмосфері аргону та $822,7 \dots 788,6\text{ }^\circ\text{C}$ (з max $810,0\text{ }^\circ\text{C}$) в атмосфері повітря. Показово, що температура перитектичного рівноваги в системі Cu-Sn відповідає значенню $798\text{ }^\circ\text{C}$, тобто відноситься до вказаного температурного інтервалу.

Додатковим підтвердженням двофазного складу структури сплаву з масовим вмістом компонентів: $\text{Cu} - 92,47\%$; $\text{Al} - 3,78\%$; $\text{Sn} - 3,75\%$ є результати рентгеноструктурного фазового аналізу наведеного на рис. 11.



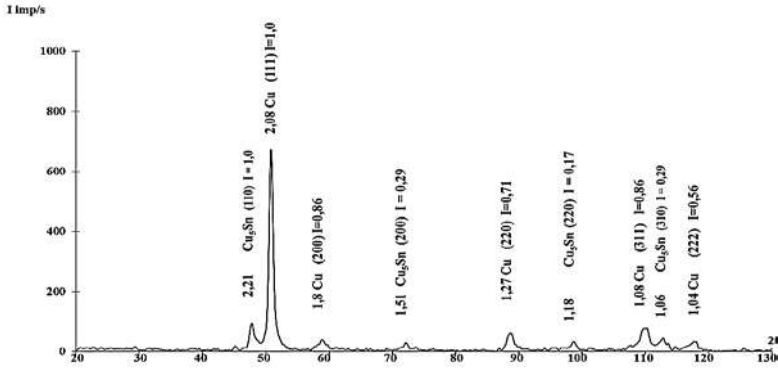
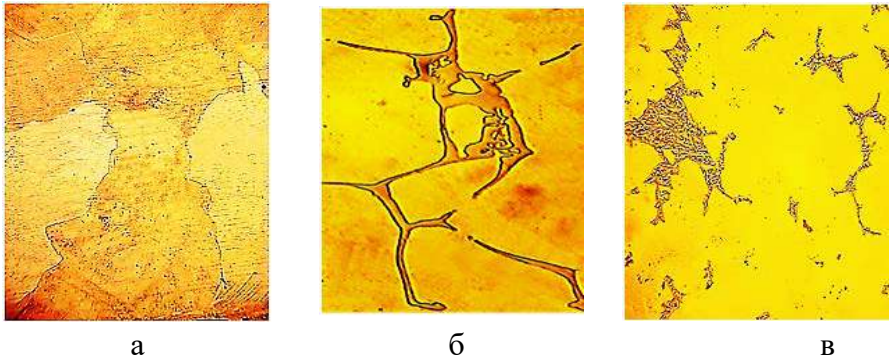


Рис. 11 Дифрактограма сплаву з масовим вмістом компонентів: $Cu - 92,47\%$; $Al - 3,78\%$; $Sn - 3,75\%$

На дифрактограмі рис.11 ідентифіковані дифракційні максимуми α -Cu твердого розчину та фази β - Cu_5Sn перитектичного походження.

Але в цій концентраційній області, в залежності від вмісту олова, структурний і фазовий склад сплавів, також, неоднаковий. По це свідчать результати металографічного аналізу (рис. 12).



а

б

в

а – $\times 400$, б – $\times 800$, в – $\times 400$

Рис. 12 Мікроструктури бронз з масовим вмістом компонентів: а – $Cu - 97,60\%$; $Al - 1,10\%$; $Sn - 1,30\%$; б – $Cu - 92,07\%$; $Al - 3,52\%$; $Sn - 3,41\%$; в – $Cu - 88,01\%$; $Al - 6,12\%$; $Sn - 5,87\%$



При вмісті Sn до 3% (мас) структура сплаву є однофазною – α -Cu твердий розчин (див. рис. 12, а).

В інтервалі концентрацій 3...4 % (мас) Sn сплави набувають двофазну α -Cu та β -Cu₅Sn структуру(див. рис. 12, б).

В структурі сплаву з 4...7 % (мас) Sn очевидно присутні продукти евтектоїдного розпаду β -Cu₅Sn → α -Cu + δ -Cu₃₁Sn₈ (див. рис. 12, в).

ДТГА при нагріві для сплаву Cu – 88,01 %; Al – 6,12 %; Sn – 5,87 % (рис. 13) реєструє наявність максимумів диференційного сигналу невисокої інтенсивності при температурах 652,3...628,9 °C (з максимумом при 636,4 °C), 586,2 ...571,6 °C (з максимумом при 570,8 °C). Очевидно, що ці сигнали є індикаторами твердофазних перетворень.

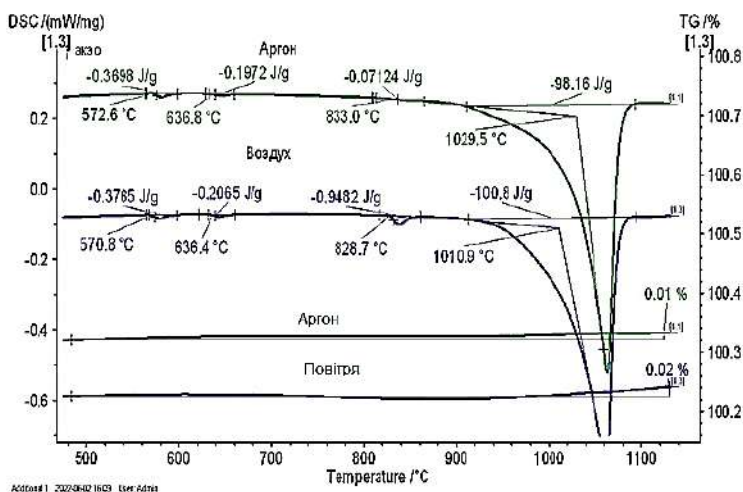


Рис.13 Результати диференційного термогравіметричного аналізу сплаву з евтектоїдною складовою при нагріві

Відомо, що у системі Cu-Sn при охолодженні в твердому стані мають місце такі фазові перетворення:



Евтектоїдне: $\gamma\text{-Cu}_4\text{Sn} \rightarrow \beta\text{-Cu}_5\text{Sn} + \varepsilon\text{-Cu}_3\text{Sn} - 630\text{ }^\circ\text{C}$;
 Перитектоїдне: $\beta\text{-Cu}_5\text{Sn} + \gamma\text{-Cu}_4\text{Sn} \rightarrow \delta\text{-Cu}_{31}\text{Sn}_8 - 580\text{ }^\circ\text{C}$;
 Евтектоїдне – $\beta\text{-Cu}_5\text{Sn} \rightarrow \alpha\text{-Cu} + \delta\text{-Cu}_{31}\text{Sn}_8 - 520\text{ }^\circ\text{C}$.

Наведені дані щодо температур твердофазних перетворень дуже добре відповідають інтервалам термічних ефектів, які зафіксовані методом ДТГА (див. рис. 13).

При температурі $350\text{ }^\circ\text{C}$ $\delta\text{-Cu}_{31}\text{Sn}_8$ мала би розпадатися [19, 20] за евтектоїдною реакцією на фази $\alpha\text{-Cu}$ та ε . Але це перетворення може реалізуватися тільки при дуже повільному охолодженні. В реальних умовах твердіння, сплав після $520\text{ }^\circ\text{C}$ зберігає зазвичай двофазну будову $\alpha\text{-Cu} + \delta\text{-Cu}_{31}\text{Sn}_8$.

Тобто, всі розглянуті твердофазні перетворення пов'язані з формуванням $\delta\text{-Cu}_{31}\text{Sn}_8$ фази. Зі з'явленням фази $\delta\text{-Cu}_{31}\text{Sn}_8$ у структурі бронз знижується їх пластичність та в'язкість.

Бронзи системи Cu-Sn-Al з вмістом до 7 % (мас) Al та 4...8 % (мас.) Sn. Евтектоїд $\alpha\text{-Cu} + \delta\text{-Cu}_{31}\text{Sn}_8$, як продукт метастабільного евтектоїдного перетворення β -фази перитектичного походження, або сама $\beta\text{-Cu}_5\text{Sn}$ в умовах реального промислового литва з'являються та зберігаються в кінцевій структурі бронзи вже при вмісті Sn 5...6 % (мас.) [21-23].

Як було зазначено у попередньому підрозділі, трикомпонентні бронзи системи Cu-Sn-Al в інтервалі концентрацій 4...6 % (мас.) Sn, які кристалізуються з формуванням $\beta\text{-Cu}_5\text{Sn}$ за перитектичною реакцією, у ході твердофазних перетворень набувають структурного стану $\alpha\text{-Cu} + \delta\text{-Cu}_{31}\text{Sn}_8$.

Фаза $\delta\text{-Cu}_{31}\text{Sn}_8$ має вузьку область гомогенності в інтервалі температур $590...350\text{ }^\circ\text{C}$. δ -фаза – це твердий розчин на основі сполуки $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ з електронною концентрацією 21/13, кубічної сингонії, структурного типу γ -латуні (Cu_5Sn_8). Просторова група $F\bar{4}3m$ з четверною інверсійною віссю



симетрії та параметром решітки $a = 1,79505$ нм. δ -фаза це тверда і крихка електронна сполука $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ [24, с. 310].

Кристалографічні моделі решіток α -Cu, β - Cu_5Sn та δ - $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ представлені на рис. 14.

Зіставний аналіз кристалографічних характеристик фаз в сплавах, які вміщують в собі гексаедричну ГЦК решітку $\text{Fm}\bar{3}\text{m}$ міді з параметром $a=3,615\text{Å}$, гексаедричну ОЦК решітку $\text{Im}\bar{3}\text{m}$ β - Cu_5Sn з параметром $a=2,991\text{Å}$ та гесатетраедричну решітку евтектоїдної δ -фази – хімічної сполуки $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ кубічної сингонії просторової групи симетрії $\text{F}\bar{4}3\text{m}$ з параметрами $a=b=c=17,951\text{Å}$.

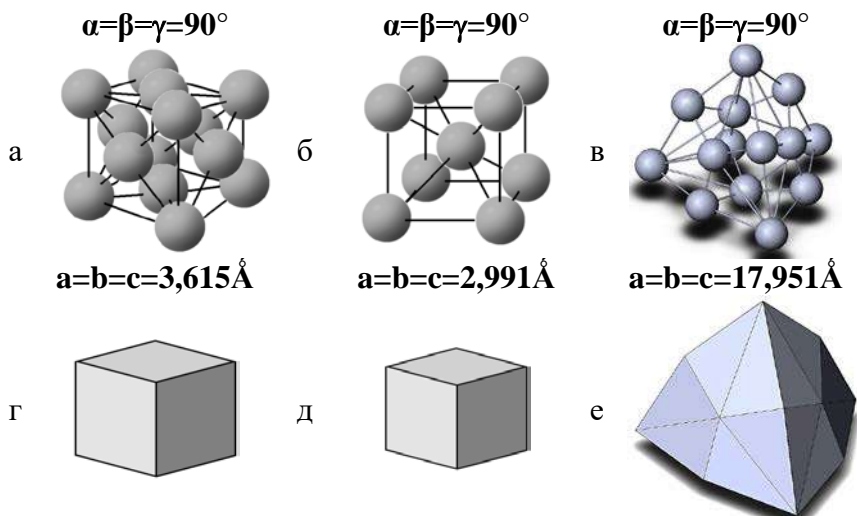


Рис. 14 Кристалографічні моделі решіток: α -Cu твердого розчину з гранецентрованою кубічною решіткою $\text{Fm}\bar{3}\text{m}$ вищої категорії симетрії (а), β -фази Cu_5Sn з об'ємноцентрованою кубічною решіткою $\text{Im}\bar{3}\text{m}$ вищої категорії симетрії (б) і евтектоїдної δ -фази – хімічної сполуки $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ кубічної сингонії з просторовою групою симетрії $\text{F}\bar{4}3\text{m}$ з четверною інверсійною віссю симетрії (в) та відповідних простих форм: гексаєдрів (г, д) та гесатетраєдру (е)



Результати зіставного аналізу рис. 14 дозволяють пояснити окрихчування аналізуємого сплаву при з'явленні на місті компактної ОЦК β -Cu₅Sn фази продукту її евтектоїдного перетворення – δ -Cu₃₁Sn₈. Просторова група цієї фази за формулами кристалографії 3L₄4L₃P. За наявності основної ознаки 4L₃ решітка цієї фази відноситься до кубічної сингонії, планарного класу симетрії. Параметр решітки цієї фази $a=17,951\text{Å}$, тобто у шість разів більший за вихідну β -Cu₅Sn фазу з параметром $a=2,991\text{Å}$.

Висновки. За результатами дослідження встановлено, що у випадку структуроутворення сплавів з вмістом алюмінію до евтектичного інтервалу системи Cu-Al фазові перетворення відбуваються відповідно до закономірностей немонотектичних складів монотектичної системи Cu-Sn-Al. Тобто, за рахунок первинної кристалізації високотемпературної α -Cu^I фази склад рідини змінюється до збагаченої оловом рідкої фази L₂, притаманної для потрійної системи Cu-Sn-Al. Тоді, за діаграмою системи Cu-Sn відбувається перитектична реакція $L_2 + \alpha\text{-Cu}^I \rightarrow \beta\text{-Cu}_5\text{Sn}$.

Дослідженнями металографічного, растрового електронно-мікроскопічного, рентгеноспектрального мікроскопічного, енерго-дисперсійного спектрального, рентгеноструктурного аналізів встановлено евтектико-перитектичний характер структуроутворення сплавів мідного куту системи Cu-Sn-Al з вмістом Sn до 7% (мас.) Al до 11 % (мас.) з первинною кристалізацією за евтектичною діаграмою Cu-Al фази β -Cu₃Al та подальшими її твердофазними перетвореннями і наступним формуванням за перитектичною реакцією системи Cu-Sn фази Cu₅Sn.

Встановлено, що, на відміну від рівноважної розчинності основних компонентів в α -Cu твердому розчині систем Cu-Al і Cu-Sn, та раніше описаного зсуву ліній фазових рівноваг зі з'явленням у мікроструктурі евтектоїдних





складових при 5...6 % (мас.) Sn, кінетика структуроутворення у випадку трикомпонентної системи така, що двофазна структура спостерігається при вмісті Sn ~ 3% (мас.).

Показано, що процес формування кінцевої двофазної структури в трикомпонентній системі Cu-Sn-Al (α -Cu+ β -Cu₅Sn) відбувається за рахунок кристалізації із залишкової рідини хімічної сполуки Cu₅Sn за перитектичною реакцією системи Cu-Sn при концентрації в бронзі алюмінію за нижньою межею вмісту цього компоненту відносно евтектоїдної горизонталі системи Cu-Al. Встановлена закономірність дозволяє розширити уявлення про структуроутворення в бронзах та визначити раціональні межі вмісту олова та алюмінію для подальшої оптимізації складу бронзи системи Cu-Sn-Al.

Результати зіставного аналізу кристалографічних характеристик фаз в сплавах, які вміщують в собі гексаедричну ГЦК решітку Fm $\bar{3}$ m міді з параметром $a=3,615\text{Å}$, гексаедричну ОЦК решітку Im $\bar{3}$ m β -Cu₅Sn з параметром $a=2,991\text{Å}$ та гесатетраедричну решітку евтектоїдної δ -фази – хімічної сполуки Cu₃₁Sn₈ кубічної сингонії просторової групи симетрії F $\bar{4}$ 3m з параметром решітки $a=17,951\text{Å}$ дозволили пояснити окрихчування аналізуемого сплаву системи Cu-Sn-Al з вмістом до 7 % (мас) Al та 4...8 % (мас.) Sn при з'явленні на місці компактної ОЦК β -Cu₅Sn фази продукту її евтектоїдного перетворення – δ -Cu₃₁Sn₈.

Список використаних джерел:

1. Кондратьев В.Б., Попов В.В., Кедрова Г.В. Глобальный рынок меди. *Горная промышленность*. 2019. № 3. С. 80-87.
2. Кондратьев В.Б., Попов В.В., Кедрова Г.В. Глобальный рынок меди (продолжение). *Горная промышленность*. 2019. № 4. С. 100-101.





3. Branco W. Schipper, Hsiu-Chuan Lin, Marco A. Meloni, Kjell Wansleeben. Estimating global copper demand until 2100 with regression and stock dynamics. *Resources, Conservation & Recycling*. 132 (2018.) P. 28–36.
4. Bushe N. A., Goryacheva I. G., & Makhovskaya Yu. Yu.. Effect of the phase composition of antifriction aluminum alloys on their self-lubrication under friction. *Trenie Iznos*, 23(3), 286 – 295 (2002).
5. Bushe N.A., Gulyaev A.S., Dvoskina V.A., et al., Bearings from Aluminum Alloys [in Russian], Transport, Moscow (1974), 255 p.
6. Kotova E.G., Kurbatkin I.I., Mironov A.E., & Gershman I. S. A study of the microstructure and mechanical properties of experimental antifriction alloys (for monometallic sliding bearings), *Tsvetn. Met.*, 2013. №. 5. P. 66 – 72.
7. Kurbatkin I.I., Belov N.A., Ozerskii O.N., et al.. Tribological and structural studies of novel aluminum-base antifriction materials. *Trenie Iznos*, 2014. №. 2, P. 52 – 57.
8. ДРЕВИНГ В.П. Правило фаз. Москва: Издательство Московского Университета, 1954. 173с.
9. Soares D.F., Abreu M., Barros D., Castro F. Experimental study of the Cu-Al-Sn phase equilibria, close to the copper zone. *J. Min. Metall. Sect. B-Metall.* 2017. 53 (3) B. P. 209 – 213.
10. Chang Y. A., Neumann J. P., Mikula A. & Goldberg D. The Al–Cu–Sn (Aluminum–Copper–Tin) system / *Bulletin of Alloy Phase Diagrams*, Volume 1, 1980. P. 82–84. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02883303>.
11. 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 111, 074902 (2012).
12. Watanabe H., Kono N., Sengoku T., Ishizaka M. Phase Diagram in the Copper-Rich Region of the Ternary Copper-Aluminum-Tin System, *Shindo Gijutsu Kenkyukai-Shi*, 1975. 14 , P. 170 – 176.





13. Kotadia H.R., Patel J.B., Fan Z., Doernberg E. & R.Schmid-Fetzer. Processing of Al-45Sn-10Cu Based Immiscible Alloy by a Rheomixing Process. *Solid State Phenomena* Vols. 141-143 (2008) P. 529-534.

14. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник в 3 т./ под общ. ред. Н.П. Лякишева. Москва: Машиностроение, 1996. Т 1. 992 с.

15. Смирягин А.П., Смирягина Н.А., Белова А.В. Промышленные цветные металлы и сплавы. Москва : Металлургия, 1974. 488 с.

16. D. Mirković. J. Gröbner, K. Schmid-Fetzer. Liquid demixing and microstructure formation in ternary Al-Sn-Cu alloys *Materials Science and Engineering A* 487 (2008), P. 456-467.

17. Рабинович Б.В. Введение в литейную гидравлику. Москва: Машиностроение, 1966. 423 с.

18. Гуляев Б.Б. Теория литейных процессов. Ленинград : Машиностроение, 1976. 216 с.

19. Меркулова Г.А. Металловедение и термическая обработка цветных сплавов. Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2008. 312 с.

20. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. Москва : МИСИС, 2005. 432 с.

21. Мальцев М. В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов. Москва: Металлургия, 1970. 364 с.

22. Гуляев А.П. Металловедение. Москва: Металлургия, 1986. 544 с.

23. Грешта В.Л. Кольорові метали та сплави на їх основі / В.Л. Грешта, О.В. Лисиця, Л.П. Степанова. Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. 286 с.

24. Материаловедение / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г.Г Мухина. Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 648 с.



Vydavatel:

Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.
se sídlem V Lázních 688, Jesenice 252 42
IČO 03562671 Česká republika

MODERNÍ ASPEKTY VĚDY

Svazek XXII mezinárodní kolektivní monografie

Podepsáno k tisku 10. srpen 2022
Formát 60x90/8. Ofsetový papír a tisk
Headset Times New Roman.
Mysl. tisk. oblouk. 8.2. Náklad 100 kopií.