

## **Відгук офіційного опонента**

### **на дисертаційну роботу Кімстач Тетяни Володимирівни «ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ОЛОВ'ЯНО-АЛЮМІНІЄВОЇ БРОНЗИ З ПІДВИЩЕНИМИ ЛИВАРНИМИ, ТРИБОТЕХНІЧНИМИ ТА КОРОЗІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ»**

#### **Актуальність теми дисертаційної роботи**

Бронзи знаходять широке застосування в різних галузях техніки завдяки поєднанню унікальних властивостей, таких як міцнісні та антифрикційні характеристики, корозійна стійкість, ливарні властивості та оброблюваність різанням. Ливарні олов'яно-алюмінієві бронзи, досліджені в роботі, використовують для виготовлення антифрикційних деталей та елементів тертя/ковзання. Ці сплави відрізняються високою технологічною пластичністю і легкістю в обробці практично за будь-яких температур. Однак, існують ще можливості підвищення ливарних, триботехнічних та корозійних властивостей олов'яно-алюмінієвих бронз за рахунок керування структуроутворенням сплавів мідного кута діаграми стану Cu–Sn–Al. Зокрема властивості олов'яно-алюмінієвих бронз можна покращити шляхом оптимізації їх хімічного складу за показниками експлуатаційних властивостей. Тому важливою задачею є задача створення наукових основ для управління структурою бронз на різних стадіях технологічного процесу з метою отримання якісних виробів, які відповідають вимогам технічних стандартів. А відтак, для прогнозування властивостей олов'яно-алюмінієвих бронз важливо знати вплив вмісту основних і легуючих елементів (таких як Fe, Si, Pb, Zn) на структурні перетворення, що відбуваються в рідкому та твердому станах. До того ж, натепер недостатньо відомостей про зв'язок між вмістом компонентів у складі сплавів Cu–Sn–Al, що належать концентраційному діапазону 3–4 ваг.% Sn та Al, та їх механічними властивостями. Враховуючи сказане, дослідження, проведені в дисертаційній

роботі Т.В.Кімстач, спрямовані на визначення закономірностей структуроутворення немоноктичних сплавів мідного кута діаграми стану Cu–Sn–Al, з метою підвищення їх механічних, ливарних, антифрикційних та корозійних властивостей, є безумовно актуальні. Цей висновок також підтверджує зв'язок дисертації з тематичними планами держбюджетних науково-дослідних робіт Українського державного університету науки і технологій за держбюджетною темою Г103Г10001 «Розробка інноваційної технології структурування екологічно безпечних формуально-стрижневих сумішей ливарного виробництва у паро-мікрохвильовому середовищі» (№ держреєстрації 0121U109531).

### **Ступінь обґрунтованості, достовірності та новизна наукових положень, висновків, рекомендацій**

Достовірність експериментальних результатів, обґрунтованість наукових висновків і рекомендацій, які випливають із дисертаційної роботи Т.В.Кімстач, не викликають ніяких сумнівів. Дослідження виконані із залученням сучасного експериментального обладнання та комп'ютерної техніки. Заслуговує на увагу комплексний підхід автора до вирішення поставлених питань. Отримані результати корелюють із результатами інших дослідників. Вони апробовані на авторитетних міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях, опубліковані у виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних, та в провідних вітчизняних фахових спеціалізованих виданнях.

Дисертаційна робота Т.В.Кімстач складається з анотації двома мовами, вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та 3 додатків. У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, описано об'єкт, предмет та методи досліджень, показано наукову новизну і практичне значення дисертаційної роботи.

Перший розділ містить літературний аналіз сучасного стану наукової діяльності в галузі дослідження структури олов'яних та алюмінієвих бронз, впливу основних елементів та легуючих домішок на їх властивості. З посиланням на аналіз літературних джерел обґрунтовано задачі досліджень, які потребують вирішення в дисертаційній роботі.

У другому розділі наведено хімічний склад понад 50 зразків досліджених експериментальних бронз та детально описано методи і методики дослідження, зокрема металографічного аналізу, рентгеноспектрального мікроаналізу, растрової електронної мікроскопії, рентгеноструктурного аналізу, диференціального термогравіметричного аналізу, визначення мікротвердості, твердості за Брінелем, ударної в'язкості, відносного видовження та стиснення, коефіцієнтів тертя, оцінки корозійної тривкості, ливарних властивостей, деформаційної здатності тощо.

Третій розділ присвячено дослідженню структури сплавів Cu–Sn–Al, що містять до 7 % Sn та 11 % Al (у ваг. %), з огляду на суперечливість літературних відомостей щодо структури сплавів цього концентраційного діапазону. Послугуючись встановленими закономірностями фазових перетворень, зроблено висновок, що оптимізацію хімічного складу бронзи слід виконувати в інтервалі концентрацій 1–6 % Sn та Al (у ваг. %).

У четвертому розділі подано результати визначення оптимального складу олов'яно-алюмінієвих бронз з підвищеними механічними властивостями за допомогою методу симплекс-планування Г. Шеффе із застосуванням моделей третього та четвертого ступеня. На підставі результатів дослідження впливу домішок кремнію, заліза, цинку та свинцю на механічні властивості встановлено допустимий вміст кожного з компонентів у складі сплавів Cu–Sn–Al, що містять до 6 % Sn та Al (у ваг. %). Для прогнозування властивостей олов'яно-алюмінієвих бронз автором запропонований до використання комплексний показник хімічного складу.

У п'ятому розділі висвітлено результати дослідження експлуатаційних і технологічних властивостей розробленої бронзи БрОЗА3. Наведено відомості про її ливарні властивості, здатність до деформування,

триботехнічні характеристики, зносостійкість, корозійну тривкість, термічну стабільність тощо. Описано результати промислових випробувань бронзи БрОЗА3 в умовах ТОВ ПК "Перспектива" (м. Дніпро).

Додатки містять список публікацій здобувача та документи, що підтверджують впровадження результатів дисертаційної роботи.

**Ступінь новизни** виконаних у дисертаційній роботі Т.В.Кімстач досліджень визначається тим, що більшість результатів отримана автором уперше. Серед них наступні:

- закономірності формування структури сплавів мідного кута діаграми стану Cu–Sn–Al, що містять до 7 % Sn та 11 % Al (у ваг. %);
- результати експериментального визначення та розрахунку методом симплекс-планування складу бронзи БрОЗА3 з підвищеними механічними властивостями;
- рекомендації щодо обмеження вмісту легуючих домішок кремнію, заліза, цинку та свинцю у складі досліджених олов'яно-алюмінієвих бронз;
- результати порівняльного аналізу триботехнічних характеристик, зносостійкості, корозійної тривкості в середовищах повітря, водопровідної та морської води тощо запропонованої бронзи БрОЗА3 та традиційних бронз марок БрО5Ц5О5 і БрА9Ж3Л;
- склад та спосіб виготовлення нової ливарної бронзи БрОЗА3 з підвищеними експлуатаційними характеристиками для виготовлення триботехнічних деталей і фасонних ливарних виробів.

### **Практичне значення отриманих результатів**

Окрім відзначених вище наукових результатів, наведених у дисертаційній роботі Т.В.Кімстач, необхідно вказати ще на ряд її достоїнств, що мають практичне значення. Результати роботи пройшли успішну дослідно-промислову апробацію на підприємстві ТОВ ПК "Перспектива" (м. Дніпро) при виготовленні виливків «Вкладиш» (акт від 21.04.2021 р.).

Результати роботи також впроваджені в навчальний процес дисципліни «Матеріалознавство кольорових та рідкоземельних металів та сплавів» для студентів спеціальності 132 – Матеріалознавство ННІ ІПБТ УДУНТ (акт від 25.10.2022 р.).

Таким чином, комплекс виконаних автором досліджень не обмежується лабораторними випробуваннями, а є вельми корисний матеріал для застосування на практиці. Завдяки цьому дисертаційна робота Т.В.Кімстач є завершеною науково-дослідною працею.

### **Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях**

Основні результати роботи повністю викладено в 17 наукових працях, з яких 10 статей опубліковано в наукових фахових виданнях України, 2 статті – у виданнях, що включені до міжнародної наукометричної бази даних Scopus; 1 стаття – у виданні, що індексується в наукометричній базі даних Index Copernicus; 1 розділ монографії, яка індексується в наукометричній базі даних Google Scholar; 1 патент на корисну модель; 5 публікацій – у матеріалах конференцій. Об'єм представленої дисертації, одержані нові результати, документи, що підтверджують практичне значення, рівень наукових публікацій свідчать про завершеність роботи в цілому і її важливість для науки й вітчизняної промисловості. Автореферат достатньо повно відображає зміст дисертації.

### **Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації і автореферату**

1. Аналізуючи структуру сплавів Cu–Sn–Al, автор не враховує результати рентгеноспектрального мікроаналізу зразків і описує фази, до складу яких входить лише мідь і алюміній, забуваючи про наявність в них олова (підрозділ 3.2.1). Не можна також погодитися з тим, що фаза  $Cu_5Sn$ , яка містить набагато більше міді, є олов'яною (стор. 96). До того ж, роблячи висновки про характер фазових перетворень у досліджених сплавах Cu–Sn–

Al, автор не вказує швидкість їх охолодження, хоча цей фактор може мати суттєвий вплив на кінцеву структуру сплавів.

2. Автор робить висновок про необхідність обмеження вмісту олова 4 ваг. % в сплавах Cu–Sn–Al на підставі утворення в їх структурі небажаної евтектоїдної фази  $\delta$ -Cu<sub>31</sub>Sn<sub>8</sub>. На підтвердження проходження евтектоїдної реакції за температури 520°C в сплаві Cu–6,12%Al–5,87%Sn з утворенням вказаної фази автор наводить термограму сплаву, хоча на ній відсутній відповідний термічний ефект (рис. 3.20). Причому, сам автор зазначає, що екстремуми виявлені лише за температур 636,4°C та 570,8°C (стор. 99).

3. Порівнюючи поведінку досліджених бронз у корозійних середовищах, автор підсумовує, що механізмами руйнування деяких з них є щілинна або шарувата корозія (підрозділ 5.2.1). Однак, описані результати не відповідають визначенню умов виникнення щілинної корозії, а у випадку шаруватої корозії картина корозійних уражень більш схожа на корозійні виразки або плями (відповідно до ДСТУ 9.908-85, додаток 2). На наш погляд, досліджені зразки зазнають структурно-вибіркової або міжкристалітної корозії.

4. У цілому висвітлення результатів роботи в дисертації справляє гарне враження як своєю послідовністю, так і чіткістю викладення. Однак, у роботі присутні неточності перекладу, наприклад «з'єднання» (стор. 35, 94) або «сполучення» (стор. 115) замість «сполуки», «напруги» замість «напруження» (стор. 46, 151), «окрихчення» (стор. 102) або «окрихчування» (стор. 104) замість «охрупчування», «щільність» замість «густина» (стор. 70, 81, 129), «кришталева решітка» замість «кристалічна» (стор. 127) тощо. Слід також зауважити щодо використання автором деяких термінів. Наприклад, тавтологічними є вислови «стала незмінність» (стор. 165) або «під дією впливу» (стор. 47), а невдалими – вирази «конгломератний габітус евтектичної конструкції» (стор. 87), «кінцева структура хімічної сполуки бронзи BrO5Ц5С5», «структурні складові Pb-фази кристалізаційного походження рідини» (стор. 112) тощо.

5. Серед зауважень щодо оформлення роботи слід указати на такі. Враховуючи важливість показника хімічного складу  $K_x$  для прогнозування властивостей олов'яно-алюмінієвих бронз, бажано було більш детально обґрунтувати застосування формули 4.1. Результати, наведені в таблицях 5.3–5.8 та на рис. 5.12, дублюють одні інших. В роботі зустрічаються позасистемні одиниці вимірювання величин, наприклад  $г/м^3$  (стор. 70). Частота виміру сили не може вимірюватися в Гц (стор. 69), а довірча ймовірність не може дорівнювати 0,95 % (стор. 75). На рис. 4.5, 4.8, 5.18 бажано було б зобразити точки, що відповідають вмісту компонентів, та похибку вимірювання. На рис. 5.28 не вказана тривалість відпалу. Як характеристику слід указувати ударну в'язкість, а не «ударний вигин», який є методом оцінки цієї характеристики (рис. 5.2).

#### **Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам**

Зроблені зауваження не мають принципового характеру, який би стосувався суті дисертаційної роботи. В цілому можна заключити, що дисертантом отримані нові наукові результати, що дозволило вирішити важливе науково-технічне завдання, яке полягає у розробці хімічного складу олов'яно-алюмінієвої бронзи з підвищеними механічними, ливарними, триботехнічними та корозійними властивостями шляхом управління процесами структуроутворення сплавів мідного кута діаграми стану Cu–Sn–Al.

На підставі вищесказаного можна зробити висновок про те, що дисертаційна робота Кімстач Тетяни Володимирівни «Дослідження та розробка олов'яно-алюмінієвої бронзи з підвищеними ливарними, триботехнічними та корозійними властивостями» відповідає всім вимогам п. 9, 11, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р., зі змінами, затвердженими постановами КМУ № 656 від 19.08.2015 р., № 1159 від 30.12.2015 р. і нормативними документами Міністерства освіти і науки

України, до актуальності, методичного рівня, змісту, наукової новизни, практичного значення, оформлення тощо, є завершеною кваліфікаційною науковою роботою, а її автор Кімстач Тетяна Володимирівна заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.01– Металознавство та термічна обробка металів.

Офіційний опонент –  
провідний науковий співробітник  
відділу надпровідних магнітних систем (№2),  
доктор технічних наук, професор



Олена Сухова

Підпис Олени Сухової підтверджую –

Вчений секретар Інституту транспортних  
систем і технологій НАН України,  
доктор фізико-математичних наук, с.н.с



Дмитро Редчиць