ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

КІМСТАЧ Тетяни Володимирівни

на тему «Дослідження та розробка олов'яно-алюмінієвої бронзи з підвищеними ливарними, триботехнічними та корозійними властивостями», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.16.01 – «Металознавство та термічна обробка металів»

1. Актуальність теми дисертації та відповідність спеціальності 05.16.01 – «Металознавство та термічна обробка металів».

Бронзи, завдяки поєднанню високих механічних, корозійних, антифрикційних та технологічних властивостей, широко використовуються для виробництва самозмащувальних підшипників, антифрикційних деталей, втулок, вкладишів, запірної арматури та інших виробів, що зазнають тертя. Монотектичний сплав Cu-Pb-Al, найбільш поширений для виготовлення цих виробів. Але свинець у його складі є екологічно небезпечним та, згідно до вимог Європейського Союзу, заборонений до використання. Це обумовлює необхідність заміни в мідних сплавах свинцю іншими хімічними елементами та розробку нових хімічних складів бронз, що зазнають тертя.

Отримання необхідного рівня властивостей без-свинцевих бронз може бути здійснено шляхом одночасного легування міді оловом та алюмінієм. Але для цього потрібно знати закономірності утворення структури та її вплив на властивості сплаву Cu-Sn-Al в залежності від вмісту олову та алюмінію, які на сьогоднішній вивчені недостатньо. Необхідно також знати вплив домішкових елементів на структуру та властивості цих бронз.

Враховуючі вищесказане, дисертаційна робота Кімстач Т.В., яка спрямована на встановлення закономірностей утворення структури та її впливу на фізико-механічні, ливарні, деформаційні та триботехнічні властивості сплаву Cu-Sn-Al в залежності від вмісту олову та алюмінію у якості легуючих елементів є актуальною.

Виконання дисертаційної роботи пов'язано з тематичними планами держбюджетних науково-дослідних робіт Українського державного університету науки і технологій.

За напрямками досліджень – закономірності формування структури металів і сплавів при переході з рідкого стану у твердий, зв'язок між хімічним і фазовим складом сплавів, структурою різних рівнів, фізико-механічними та корозійними властивостями та зносостійкістю дисертація Кімстач Т.В. відповідає паспорту спеціальності 05.16.01 – «Металознавство та термічна обробка металів».

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

Зміст дисертації та автореферату свідчить про достовірність та обґрунтованість отриманих в роботі експериментальних даних і

сформульованих положень наукової новизни та висновків здобувача. Дослідження виконані з використанням сучасних методів металознавства, а узагальнення їх результатів узгоджується з результатами досліджень інших авторів. Достовірність рекомендацій щодо практичного використання результатів досліджень підтверджено позитивними результатами промислових випробувань та впровадження.

У **першому розділі** дисертації проаналізовано наукова-технічна література за темою досліджень. Показано, що безперечний інтерес представляє дослідження структури та властивостей бронзи в складі якої одночасно присутні алюміній та олово, з метою поєднання у такій бронзі найкращих рівнів властивостей. Визначено бажаний рівень механічних властивостей бронзи де основними компонентами є олово та алюміній. Показано, що деякі хімічні елементи, які присутні в бронзах у якості домішок, є небажаними, а їх вплив на властивості мідних сплавів потребує відповідних досліджень. На підставі результатів проведеного аналізу сформульована мета та поставлені завдання досліджень.

У **другому розділі** дисертації наведено дані щодо матеріалів та методів дослідження. Дослідження виконані на сплавах системи Cu-Sn-Al з вмістом Sn в межах 0–7,91 % (мас) та Al 0–10,39 % (мас). В роботі використані стандартні методи та загальноприйняті методики, в числі яких методи: світлової та растрової електронної мікроскопії, диференційного термогравіметричного, енергодисперсійного спектрального та рентгеноструктурного фазового аналізів; визначення механічних і технологічних властивостей бронз. Експериментальні дані досліджень властивостей випробуваних зразків піддавали статистичним методам обробки. Оптимізацію хімічного складу бронзи здійснювали за показниками її приймально-здавальних характеристик методом симплексних трикутників.

У **третьому розділі** дисертації встановлено евтектичний характер структуроутворення сплавів мідного куту системи Cu-Sn-Al з вмістом олова до 7% (мас.) та алюмінію до 11 % (мас.) в концентраційних межах евтектичної горизонталі системи Cu-Al з первинною кристалізацією α- Cu_I фази, далі фази β-Cu_3Al за евтектичною реакцією цієї системи та подальшими її твердофазними перетвореннями.

У випадку затвердіння сплавів з вмістом алюмінію до інтервалу евтектичної горизонталі системи Cu-Al фазові переходи відбуваються відповідно шляхом первинної кристалізації високотемпературної α- Cu_I фази, що призводить до збагаченої оловом залишкової рідкої фази, хімічний склад якої притаманний для потрійної системи Cu-Sn-Al. Як наслідок, за діаграмою системи Cu-Sn відбувається перитектична реакція L_2+α-Cu_I→β-Cu_5Sn із стабілізацією фази β-Cu_5Sn у твердому стані. Кінетика структуроутворення у випадку трикомпонентної системи така, що двофазна структура спостерігається при вмісті Sn ~ 3% (мас.).

Доведено, що евтектико-перитектичний процес формування кінцевої

двофазної структури в системі Cu-Sn-Al відбувається за рахунок кристалізації хімічної сполуки Cu_5Sn без її подальшого твердофазного перетворення.

Результати аналізу кристалографічних характеристик фаз в сплавах понад 4 % (мас.) Sn дозволили пояснити окрихчування аналізуємого сплаву системи Cu-Sn-Al з вмістом до7 % (мас) Al та 4–8 % (мас.) Sn при з'явленні δ-$Cu_{31}Sn_8$ як наслідок евтектоїдного перетворення фази β-Cu_5Sn.

За отриманими результатами встановлено, що в подальших дослідженнях доцільним є здійснення оптимізації хімічного складу бронзи в межах вмісту Sn та Al 1–6 % (мас.) кожного за показниками механічних властивостей.

У **<u>четвертому розділі</u>** дисертації за результатами досліджень впливу Sn та Al (від 1 до 6% за масою, кожного) на механічні властивостей сплавів системи Cu-Sn-Al встановлено, що найкраще поєднання механічних властивостей має бронза із вмістом Sn=(3–4)% (мас.) та Al=(3–4) % (мас.).

В сплавах системи Cu-Sn-Al зі збільшенням масового вмісту Sn та Al в межах від 3 до 4% (мас.) кожного пластичність та в'язкість (величини δ_5 та KCU) знижуються, а міцність (величини σ_B та $\sigma_{0,2}$) зростає.

Результати досліджень впливу вмісту домішок (кремнію, заліза, цинку та свинцю) на механічні властивості бронзи БрО3А3 показали, що вміст кремнію та заліза слід обмежити 0,2 % (мас.) кожного. Свинець та цинк є небажаними домішками з точки зору їх негативного впливу на показники характеристик міцності.

З метою практичного урахування взаємозв'язку між показниками механічних властивостей, а також між механічними властивостями та співвідношенням основних компонентів олов'яно-алюмінієвих бронз був запропонований комплексний показник (K_X).

При використанні комплексного показника K_X похибка між експериментальними та розрахунковими даними не перевищує 10% для δ_5, ψ, KCU і 5% для σ_B і $\sigma_{0,2}$. Це дає підставу рекомендувати отримані залежності для інженерних розрахунків з метою прогнозування механічних властивостей бронзи БрО3А3 з вмістом Al і Sn 3–4% (мас.) та Si і Fe до 0,2% (мас.) (кожного).

У **<u>п'ятому розділі</u>** дисертації наведено дані з експлуатаційних і технологічних властивостей нової бронзи БрО3А3 та результати її промислових випробувань.

За результатами досліджень встановлено, що бронза БрО3А3 з вмістом Sn і Al 3...4% (мас.) кожного є бронзою ливарною, що дає підставі рекомендувати її для виготовлення фасонних виливків. Встановлено, що використовувати бронзу БрО3А3 у якості деформаційного матеріалу недоцільно.

Бронза БрО3А3 характеризується найкращим рівнем антикорозійних властивостей і може бути рекомендована для виготовлення литих деталей,

що експлуатують на повітрі в водопровідній або морській воді. Зносостійкість бронзи БрО3А3 вище ніж у стандартних бронз БрО5Ц5С5 та БрА9Ж3Л.

Запропонована математична модель, яка визначає зміну коефіцієнту тертя бронзи БрО3А3 від вмісту Cu, Al та Sn. Для цього була розв'язана система лінійних алгебраїчних рівнянь, яка показала адекватність отриманих результатів експериментальним значенням.

За результатами промислових випробувань виливків бронзи БрО3А3 встановлена відсутність неприпустимих дефектів металургійного походження та добра механічна оброблюваність лезовим інструментом. Підприємством підтверджена відсутність кінцевого браку за ознакою перевищення кількості шпаристості та усадкових раковин.

3. Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше встановлений евтектико-перитектичний характер структуроутворення сплавів мідного кута системи Cu-Sn-Al з вмістом Sn до 7% (мас.) Al до 11 % (мас.) та зроблений опис цього процесу.

2. Отримали подальший розвиток уявлення щодо закономірностей зміщення концентраційного інтервалу існування однофазного структурного стану до 3 % (мас.) Sn в мідному куті системи Cu-Sn-Al при вмісті Al до 7,4 % (мас.) та Sn 1–6 % (мас.) завдяки формуванню хімічної сполуки Cu_5Sn за перитектичною реакцією системи мідь-олово після первинної кристалізації α-Cu твердого розчину відповідно до евтектичної системи фазових рівноваг Cu-Al.

3. Вперше встановлено закономірності комплексного впливу Sn та Al у хімічному складі бронзи системи Cu-Sn-Al при їх вмісті до 6 % (мас.) кожного та домішкових елементів (Fe, Si, Pb, Zn) в межах до 0,6 % (мас.) кожного на структуру та рівень механічних властивостей бронзи.

4. Вперше встановлені залежності між показниками границі міцності, умовної границі плинності, відносного подовження, ударної в'язкості та вмістом основних компонентів литої бронзи БрО3А3 оптимізованого складу з 3–4 % (мас.) Sn та Al кожного.

4. Практичне значення отриманих результатів.

Отримані результати дозволили розробити склад та спосіб виготовлення нової ливарної бронзи БрО3А3 з підвищеними експлуатаційними характеристиками, яку доцільно використовувати замість відомих свинцевих та/або високоолов'яних бронз для виготовлення триботехнічних деталей та фасонних ливарних виробів. Випробування нової бронзи на зносостійкість продемонстрували найкращі значення цієї характеристики у порівнянні з відповідними показниками матеріалів БрО5Ц5С5 та БрА9Ж3Л, які стандартно використовуються у якості елементів тертя підшипникових виробів.

Спосіб виготовлення та хімічний склад нової бронзи БрО3А3 захищено патентом на корисну модель UA № 151379 U «Спосіб виготовлення литих виробів з бронзи».

Результати роботи пройшли дослідно-промислову апробацію на підприємстві ТОВ ПК «Перспектива» при виготовлені виливків «Вкладиш» (м. Дніпро) з позитивним результатом (Акт від 21.04.2021 р.).

Результати впроваджені у навчальний процес дисципліни «Матеріалознавство кольорових та рідкоземельних металів та сплавів» за спеціальністю 132 Матеріалознавство ННІ ІПБТ УДУНТ (Акт від 25.10.2022 р.).

5. Повнота відображення наукових положень в опублікованих роботах.

Основні положення дисертаційної роботи викладені у 17 друкованих працях, в тому числі: у 10 фахових виданнях, з яких 2 індексуються у міжнародній наукометричній базі SCOPUS, 1 індексується у міжнародній наукометричній базі COPERNICUS; у 1 патенту на корисну модель; у 1 розділі монографії, яка індексується у міжнародній наукометричній базі Google Scholar; у 5 публікаціях матеріалів міжнародних науково–технічних та науково–практичних конференцій.

6. Зауваження до дисертаційної роботі.

Питання та зауваження щодо рукопису дисертації:

1. Навіщо в роботі використовували ребристий кокіль – рис. 2.1, розділ «Матеріали, прилади, устаткування. Методи та методики досліджень» стор. 56.

2. Навіщо визначали температуру переходу сплавів з пластичного в пружний стан при охолодженні виливків? Який сенс має ця величина для теми дисертації?

3. В роботі досліджували мідні сплави із вмістом Sn ≈0-8% та Al ≈7,4-11%, а ілюстрація мікроструктур, що формуються при цьому виконана тільки для випадку – 3,12% Sn та 8,51% Al. Чим обумовлений вибір ілюстрації структури тільки цього сплаву? Доцільно було б проілюструвати більш широкий діапазон структур досліджуваних бронз.

4. Необхідне пояснення наявності ступеня 0,0001 та його фізичного сенсу у знаменнику другого доданку рівняння 4.1, значення якого, в цьому випадку, можна прийняти за постійну величину, яка дорівнює концентрації олова.

5. У тексті рукопису зустрічаються вирази, які надмірно рясніють спеціальною термінологією. Наприклад, на стор. 87 «… двофазний склад сплаву з конгломератним габітусом евтектичної конструкції…». Це ускладнює, а не сприяє розумінню суті явища, що розглядається.

6. У тексті роботи виявлено декілька помилок.

6.1. У розділі 1 помилка у назві підрозділу 1.4. Написано «Аналіз діаграми фазових рівноваг двокомпонентних систем Cu-Sn, Cu-Al та Al-Cu». Повинно бути «Аналіз діаграм фазових рівноваг двокомпонентних систем Cu-Sn, Cu-Al та Al- Sn».

6.2. На рис. 5.1 та 5.2 області I, II й III, які обговорюються, не позначені.

6.3. На стор. 127 дається посилання на відсутній у рукописі рис. 6.3 б.

7. Загальний висновок

Дисертація **Кімстач Тетяни Володимирівни** «Дослідження та розробка олов'яно-алюмінієвої бронзи з підвищеними ливарними, триботехнічними та корозійними властивостями» є завершеною науковою роботою, яка розв'язує актуальну науково-технічну задачу розробки хімічного складу нової екологічно чистої олов'яно-алюмінієвої бронзи з високими фізико-механічними, ливарними та експлуатаційними властивостями.

Вважаю, що дисертаційна робота за своєю вагомістю, новизною наукових результатів, їх практичним значенням, кількістю публікацій та апробації відповідає вимогам п. п. 9, 11–14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567 з відповідними змінами й доповненнями затвердженими постановами КМУ № 656 від 19.08.2015 р., № 1159 від 30.12.2015 р. і нормативними документами Міністерства освіти і науки України, щодо кандидатських дисертацій, а її автор, **Кімстач Тетяна Володимирівна**, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.01 – «Металознавство та термічна обробка металів».

Старший науковий співробітник
відділу термічної обробки
металу для машинобудування
Інституту чорної металургії
НАН України ім. З.І. Некрасова,
доктор технічних наук,
старший науковий співробітник Андрій БОРИСЕНКО

Підпис д. т. н., с. н. с. Андрія Борисенка ЗАСВІДЧУЮ:
Вчений секретар Інституту чорної металургії
НАН України ім. З.І. Некрасова
доктор технічних наук,
старший дослідник Ганна КОНОНЕНКО

ІНСТИТУТ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ ім. З.І. НЕКРАСОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ
Ідент. 00190294
УКРАЇНА, місто ДНІПРО