

ВІДНОВЛЕННЯ ДЗВОНІВ І ХУДОЖНІХ ЛИВАРНИХ ВИРОБІВ ІЗ МІДНИХ СПЛАВІВ

Т.Б. Майданчук, А.М. Бондаренко, В.М. Ілюшенко, Є.П. Лук'яненко

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: pwi_37@ukr.net

Представлено результати експериментальних робіт з відновлення художніх ливарних виробів із мідних сплавів. Показано, що при ремонті потрібен індивідуальний підхід, що пов'язано із різним хімічним складом і присутністю дефектів у литому металі, формою та розміром виробу, необхідністю корегування хімічного складу зварювальних матеріалів та ін. Визначено, що при реставрації дзвонів найдоцільнішим для виконання ремонтних робіт є процес ручного аргонодугового зварювання неплавким електродом (TIG-процес). Показано, що позитивні результати зі зварювання тріщин церковних дзвонів із забезпеченням їх високих акустичних властивостей досягається при правильному виборі присаджувального матеріалу. Для зварювання ливарних дефектів, а також виготовлення зварних вузлів скульптур може бути рекомендовано зварювання покритими електродами. Бібліогр. 19, табл. 3, рис. 13.

Ключові слова: ливарні бронзи, хімічний склад, дзвонова бронза, тріщини, ремонтно-зварювальні технології, металопорошковий дріт, покриті електроди

Вступ. Мідь та її сплави завдяки особливим фізико-механічним і технологічним властивостям знаходять широке застосування в різних галузях промисловості та будівництва. Немає жодної галузі виробництва, де б не використовувалась мідь і її низько- та складнолеговані сплави. Високі ливарні та декоративні властивості мідних сплавів роблять їх незамінними протягом багатьох віків (починаючи з «бронзової ери») при виготовленні художніх та ювелірних виробів – скульптур, пам'ятників, прикрас та ін.

Найпоширенішим сплавом для цих цілей є олов'яна бронза системи Cu–Sn–Zn–Pb, яка в якості ливарного матеріалу має високу рідкоплинність, невелику усадку, добре заповнює навіть складні ливарні форми, забезпечує «бронзовий колір» виробів та їх високу корозійну стійкість. Діаграму стану системи мідь–олово наведено на рис. 1 [1, 2].

Характерною особливістю структури олов'яних бронз є те, що в умовах твердіння звужується область твердого α -розчину, та евтектоїд ($\alpha + \beta$) (його основу складає електронне з'єднання $Cu_{31}Sn_8$ з масовим вмістом 32,53 % Sn) з'являється при концентраціях Sn значно менших, ніж це впливає з рівноважної діаграми стану [2]. Це відбувається внаслідок низької швидкості дифузії олова в мідь, коли при швидкому переході олов'яних бронз із рідкого в рідко-твердий та твердий стан атоми олова не встигають зайняти всі вузли в атомній решітці центрів і кристалів сплаву, що утворюється. У результаті кристали твердого α -розчину вміщують значно менше олова, ніж це впливає з рівноваж-

ної діаграми. Причому розплавлений сплав, що не закристалізувався, збагачується оловом у тих частинах зливка, які кристалізуються в останню чергу [3, 4]. З підвищенням вмісту олова значно підвищуються міцність і знижується пластичність сплаву (рис. 2) [5].

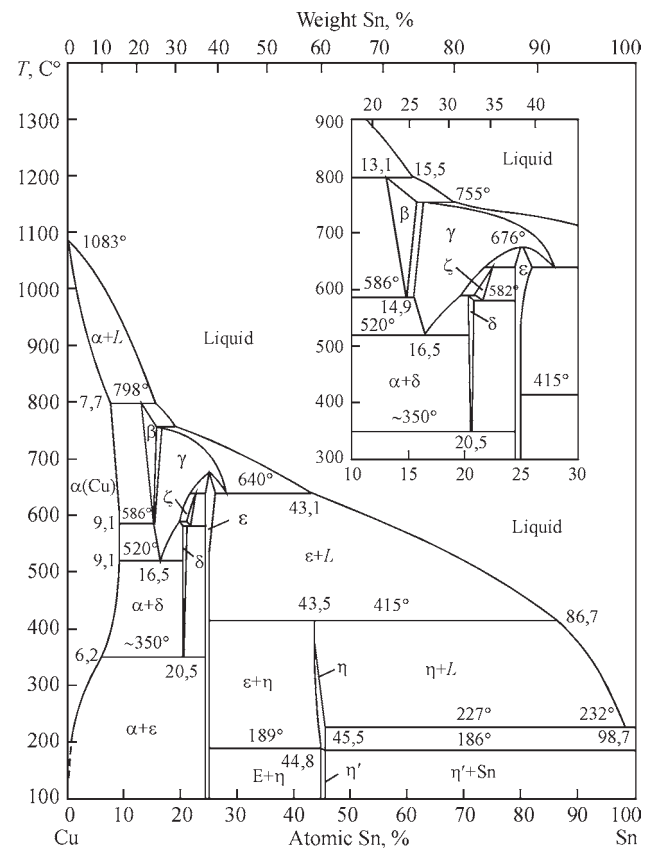


Рис. 1. Діаграма стану системи Cu–Sn [1, 2]

Майданчук Т.Б. – <https://orcid.org/0000-0002-2826-8514>, Бондаренко А.М. – <https://orcid.org/0000-0003-0506-4444>, Ілюшенко В.М. – <https://orcid.org/0000-0002-9047-8512>, Лук'яненко Є.П. – <https://orcid.org/0000-0001-7678-5965>

© Т.Б. Майданчук, А.М. Бондаренко, В.М. Ілюшенко, Є.П. Лук'яненко, 2025

Хімічний склад ливарних бронз для художнього литва наведено в табл. 1 [6, 7].

Згідно з діючими стандартами до сплавів даної системи відносяться також ливарні бронзи марок БрОЗЦ12С5, БрО4Ц7С5, БрО4Ц4С17, БрО5Ц5С5, БрО6Ц6С3. Ці бронзи найбільш досліджені й, на наш погляд, також можуть використовуватись в якості матеріалу для художнього литва (у тих чи інших композиціях).

Наведені бронзи марок БХ і БрОЦС відносяться до малоолов'яних ($\leq 5...6\%$ Sn) бронз, при більшій концентрації Sn – високоолов'яні (БрО8Ц4, БрО10Ф1, БрО10Ц2, БрО10Ц10). Олово підвищує механічні властивості (рис. 2) та корозійну стійкість бронз. До високоолов'яних відноситься також добре відома з давніх часів «дзвонова» бронза, оптимальний склад якої – $20...23\%$ Sn, до 2% домішок, решта – Cu [8]. Саме такий склад бронзи забезпечує її достатню міцність і задовільні звукові якості, що особливо важливо при виготовленні таких виробів як церковні дзвони.

Для художнього литва, як правило, використовуються малоолов'яні бронзи з добавками цинку та свинцю, які поліпшують ливарні властивості сплаву та полегшують подальшу механічну обробку виробів. Добре придатним матеріалом для виготовлення художніх виробів (скульптур малих

форм, сувенірів, прикрас та ін.) слугують й інші сплави на основі міді, дешевші в порівнянні з олов'яними бронзами, – мідно-цинкові сплави (латуні), міно-алюмінієві сплави (алюмінієві бронзи), кремнієво-марганцеві бронзи.

Наведена інформація стосовно сплавів для художнього литва необхідна перш за все для чіткого розуміння, з яким металом ми маємо справу у випадку відновлювального ремонту виробу. Необхідність виконання таких ремонтних робіт виникає як у випадку підвищення ресурсу використання виробу, так і навіть на стадії виготовлення (зварювання дефектів литва). Практичний досвід зварювання ливарних бронз показує, що такі сплави відносяться до категорії матеріалів з обмеженою зварюваністю, їх зварювання – складна та відповідальна операція.

Мета даної роботи – визначення хімічного складу та структурних особливостей пошкоджених художніх виробів із мідних сплавів і розробка на їх основі спеціальних зварювальних матеріалів і технології зварювання для відновлення цілісності виробів.

В Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, починаючи з 50-х років минулого сторіччя, ведуться систематичні дослідження зі зварюваності мідних сплавів і розробки технологічних процесів їх зварювання та наплавлення. Як правило, ці роботи виконувались з метою вирішення актуальних проблем застосування цих матеріалів у таких галузях як машинобудування, суднобудування, металургійна та електротехнічна промисловість.

Враховуючи існуючі доробки щодо зварювальних матеріалів (порошкові дроти, покриті електроди) і технологічних процесів зварювання та наплавлення конструкційних мідних сплавів, у відділі загальних проблем техніки та технології дугового зварювання ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України були проведені науково-практичні роботи стосовно відновлення та реставрації художніх ливарних виробів із мідних сплавів. Результати деяких із них наведено далі.

Реставрація церковних дзвонів. Церковні дзвони, які доводилось реставрувати, мали характерну класичну форму (рис. 3).

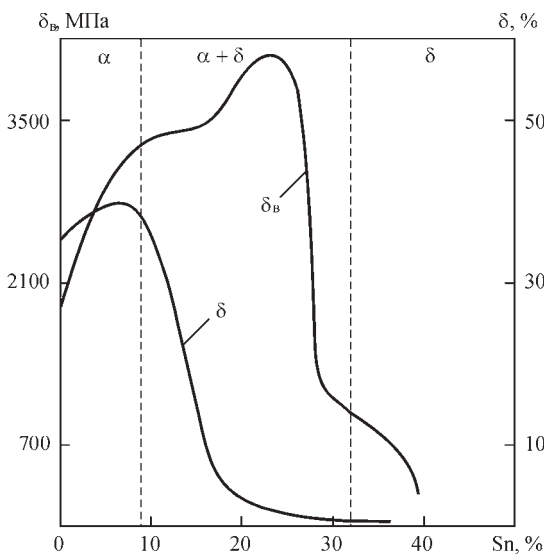


Рис. 2. Залежність механічних властивостей олов'яних бронз від вмісту олова

Таблиця 1. Склад ливарних бронз для художнього литва [6, 7]

Марка бронзи	Sn	Zn	Pb	Cu	Домішки				Застосування
					Sb	Fe	Al	Всього	
БХ1	4...7	5...8	1...4	зал.	1,0	1,0	0,1	3,0	Для відливки бюстів і статуй
БХ2	1...5	8...13	1...6	зал.	1,0	1,0	0,1	3,0	Габаритне декоративне литво
БХ3	0,5...3	25...35	1...3	зал.	0,5	1,0	0,5	3,0	Дрібне декоративне литво
Дзвонова бронза	20...23	*	*	зал.	*	*	*	*	Литво дзвонів

Примітки. БХ1 – для виготовлення бюстів, скульптур; БХ2 – для великого декоративного литва; БХ3 – для дрібного декоративного литва; * не регламентуються (але не більше 2 %).

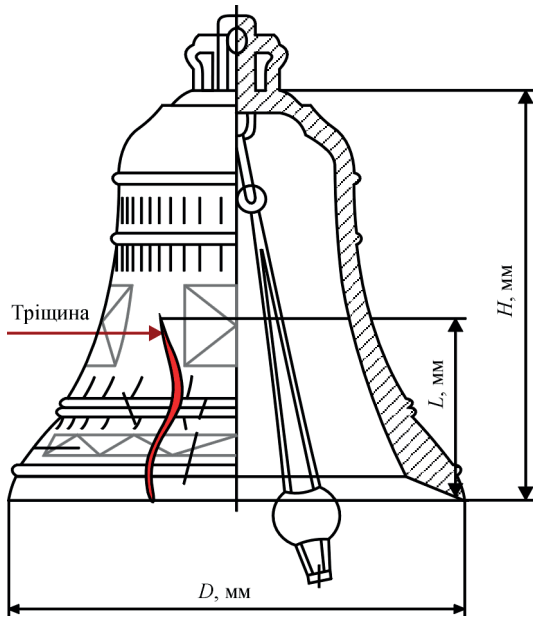


Рис. 3. Узагальнений профіль дзвонів, що підлягали реставрації [8]

Як зазначається в [9], основними критеріями якості церковних дзвонів є їх милозвучність і художнє оформлення, а також відсутність дефектів (пор, тріщин, неметалевих включень), які можуть призвести до його швидкого руйнування. Детальне дослідження дзвонової бронзи показало, що саме сплав міді з 20...22,5 % олова (вміст домішок в межах 1...2 %) має у литому нетермообробленому стані високі акустичні характеристики. Слід враховувати, що навіть незначна зміна хімічного складу призводить до суттєвих змін у структурі та властивостях дзвонової бронзи (рис. 4) [10].

Як показали дослідження [11], враховуючи умови експлуатації (ударне навантаження, старін-

ня металу, атмосферну корозію та ін.) акустичні властивості дзвонової бронзи різко знижуються. Проте найчастіше дзвони втрачають своє призначення через утворення в них тріщин (рис. 5).

Саме з такими дефектами були передані для ремонту декілька дзвонів різних розмірів (та й різних виробників). У табл. 2 і 3 наведено дані стосовно габаритних розмірів дзвонів і хімічного складу бронзи.

Візуальний контроль дзвонів показав, що тріщини зароджуються в нижній частині дзвону (ударному поясі) і поширюються вгору. Слід зазначити, що конструктивно стінки дзвонів мають нерівномірну товщину: максимальна в ударному поясі, у верхній частині – значно меншу. Так, метал найдовшої тріщини в дзвоні К-2 у верхній частині мав товщину 8 мм, а метал ударного поясу дзвону К-3 – 48 мм. Фактично заварювання тріщини являє собою виконання стикового шва металу змінної товщини, що знаходиться в жорстких умовах закріплення.

З літературних джерел відомо, що при ремонті дзвонів застосовують способи паяння та зварювання. Автори [12] стверджують, що їм вдалося відремонтувати дзвін із застосуванням паяння, у якості присаджувального матеріалу вони використовували порошки на основі міді, а в [13] застосовували прутки з матеріалу, аналогічного металу дзвону, які були отримані ливарним способом. Автори [14] у своїх науково-практичних дослідках з відновлення цілісності дзвонів 16-го та 19-го сторіччя застосовували як метод паяння, так і зварювання. При цьому, як і в [15], перед ремонтом дзвін повністю підігрівали та повільно охолоджували. Однак така

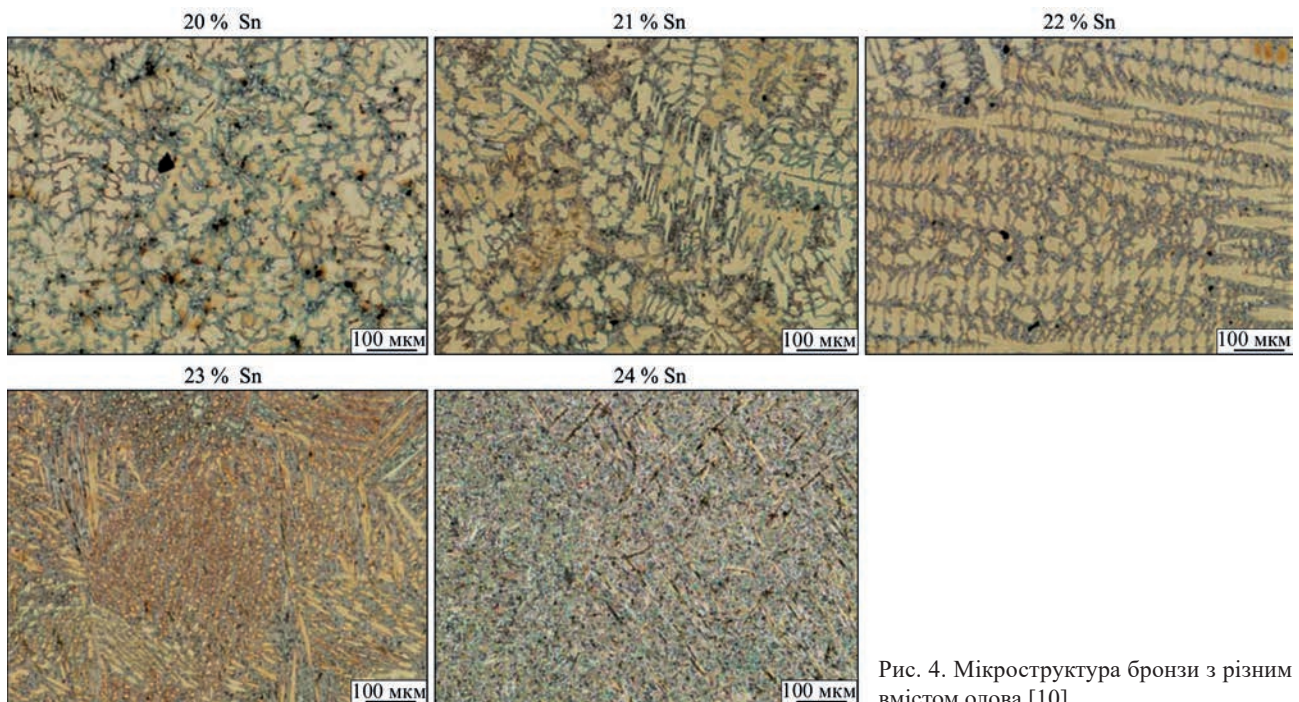


Рис. 4. Мікроструктура бронзи з різним вмістом олова [10]



Рис. 5. Зовнішній вигляд дзвону з тріщиною

Таблиця 2. Основні габаритні розміри дзвонів

Дзвін	Висота H , мм	Діаметр D , мм	Довжина тріщини l , мм
К-1	250	300	90
К-2	400	465	230
К-3	490	580	160

Таблиця 3. Хімічний склад бронзи, %

Дзвін	Sn	Zn	Pb	Cu
К-1	15,6...16,2	–	< 0,5	зал.
К-2	17,0...17,8	1,3	< 1,0	зал.
К-3	20,4...21,3	< 1,0	–	зал.



Рис. 6. Зовнішній вигляд обробленої тріщини (а) і схема зварювання тріщини (б)

технологія є затратною та не завжди надає позитивні результати. Тому, на наш погляд, доцільнішим та економічно обґрунтованим способом зварювання для виконання ремонтних робіт з відновлення дзвонів є TIG-процес без попереднього підігріву із застосуванням спеціальних присадних дротів. Такі металопорошкові драти забезпечують отримання металу шва, близького за складом до дзвонів бронзи, а, відповідно, й її акустичних властивостей.

Традиційно кінець тріщин перед їх розчищенням під зварювання розсверлюється (рис. 6). Враховуючи товщину металу, зварювання тріщин виконується двобічними багатопрхідними швами, що формуються наплавленням невеликих (8...10 мм) валиків (рис. 7), причому кожен з них додатково проковується з метою зниження термічних напружень.

В якості захисного газу використовується аргон. Параметри режиму зварювання $I_{зв} = 140...180$ А, $U_d = 10...15$ В, $Q_{Ar} = 10...15$ л/хв, $d_{ел} = 3,0...4,0$ мм.



Рис. 7. Зовнішній вигляд зварного шва

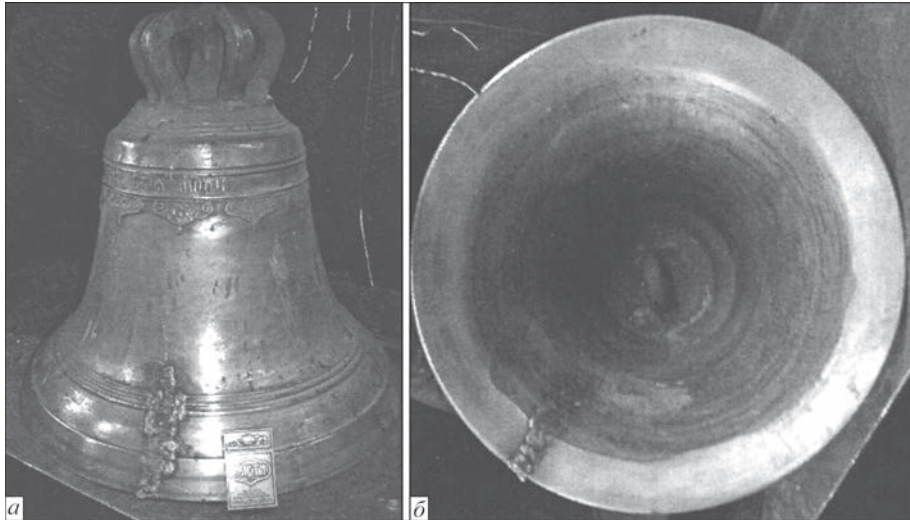


Рис. 8. Відновлений дзвін К-3 ззовні (а) та всередині (б)

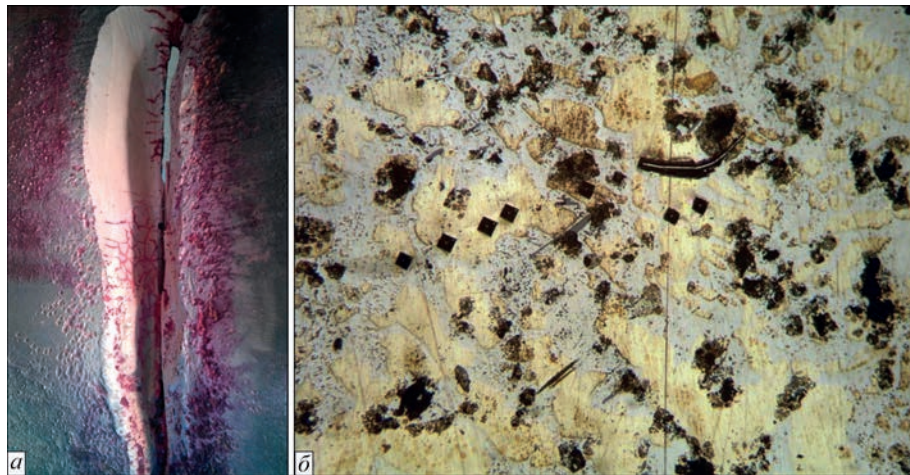


Рис. 9. Дефекти в зоні термічного впливу: мікротріщини (а), пори (темні місця неправильної форми) (б)



Рис. 10. Статуя Венери-купальниці (Національний дендрологічний парк «Софіївка», м. Умань)

Із трьох переданих для ремонту дзвонів успішно були відновлені дзвони К-1 та К-3 (рис. 8).

У дзвіні К-2, що мав найбільш протяжну тріщину, в процесі ремонту виникла нова тріщина протяжністю до 200 мм. Додатковий контроль якості цього дзвону після зварювання методом капілярної дефектоскопії виявив наявність у металі внутрішніх мікротріщин, які в процесі заварювання розчищеної тріщини призводять до подальшого розтріскування дзвону (рис. 9, а). Крім того, у металі зони термічного впливу утворились пори (рис. 9, б).

Тому при оцінці ремонтпридатності дзвону необхідна всебічна діагностика його якості. Контроль якості відновлених дзвонів і оцінка їх акустичних властивостей (характеру та мелодійності звучання) підтвердив можливість і доцільність ремонту церковних дзвонів за створеними технологіями та застосуванням спеціальних металопорошкових дротів.

Відновлення бронзової чаші дендропарку «Софіївка». В Інститут електрозварювання ім. С.О. Патона НАН України з проханням надати технічну допомогу у відновленні раритетного



Рис. 11. Частини бронзової чаші



Рис. 12. Бронзова чаша після реставрації (а) та через 5 років після встановлення в Національному дендрологічному парку «Софіївка» (б)

художнього виробу – бронзової чаші 19-го сторіччя – звернулася дирекція Національного дендрологічного парку «Софіївка» (м. Умань). Ця чаша була встановлена біля статуї Венери-купальниці (рис. 10), наповнювалась джерельною водою, яка потім по гранітному підземному каналу стікала в

нижній став. Ручки чаші декоративно виготовлені у вигляді вужів [16].

«Мисливці за металобрухтом» зірвали чашу з постаменту, порізали ручки на 14 частин. Декількох частин від «вужів» не вдалося знайти (рис. 11).



Рис. 13. Пам'ятник В.І. Толубинському з відбитою рукою (а) та після зварювання покритими електродами (б)

Однією з умов ремонту була необхідність отримання декоративного кольору металу швів, близького до кольору чаші. Згідно з даними масо-спектрального аналізу чаша була виготовлена з ливарної бронзи типу БрОЦС. Найраціональнішим для ремонту є використання, як і при ремонті церковних дзвонів, TIG-процесу з присаджувальним матеріалом типу металопорошкового дроту відповідного складу.

Окрім зварювання деталей, які були пошкоджені, було виготовлено частини вужів, які не вдалося знайти. До того ж, довелося виготовити спеціальний ручний інструмент для отримання «луски» на поверхні частин зварених «вужів» і зварних швах.

На рис. 12 наведено фотографію відновленої чаші, яка повернулася на своє історичне місце до дендропарку «Софіївка».

Зварювання фрагментів пам'ятника. При виготовленні ливарних виробів типу пам'ятників, бюстів та інших габаритних скульптур виникає потреба у з'єднанні їх окремих фрагментів. Актуальною також є проблема зварювання дефектів литва, що виникають у процесі виготовлення виробу. Для виконання таких робіт успішно використовуються сучасні зварювальні технології – MIG/MAG, TIG, а також ММА. В умовах індивідуального виробництва – майстерні скульптора, на монтажній площадці та ін. – найдоцільнішим є ММА-процес, що не потребує спеціального обладнання. Таким, наприклад, є ремонт пам'ятника академіку АН УРСР В.І. Толубінському (рис. 13), в якого в результаті падання з постаменту була відбита рука у двох місцях та зверсток.

Враховуючи хімічний склад, з якого виготовлено даний пам'ятник, і наявні в ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України напрацювання щодо розробки покритих електродів на основі міді [17–19], було виготовлено дослідну партію електродів. Проведення зварювальних робіт з ремонту даного виробу підтвердило високу якість зварного шва та, що важливо в таких випадках, співпадіння кольору шва з кольором основного металу.

Висновки

1. Виконано дослідження хімічного складу та структурних особливостей пошкоджених художніх виробів із мідних сплавів. Встановлено, що хімічний склад скульптур, особливо тих, що виготовленні більше століття тому, не завжди відповідає встановленим нормативним документам сьогодення, що призводить до необхідності індивідуального підходу при розробці зварювальних матеріалів при їх ремонті.

2. Створено спеціальні металопорошкові дроти та покриті електроди, які забезпечують отримання

як високих показників міцності зварних з'єднань, так і їх необхідних декоративних властивостей.

3. Проведені дослідно-експериментальні роботи з відновлення ливарних виробів із мідних сплавів, у тому числі й дзвонової бронзи, та отримані позитивні результати дають можливість суттєво розширити впровадження ремонтно-зварювальних технологій у практику реставрації таких виробів.

Список літератури

1. Лякишев Н.П. (1997) *Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник*. Москва, Машиностроение.
2. Абрамович В.Р., Демянцевич В.П., Ефимов Л.А. (1988) *Сварка плавлением меди и сплавов на медной основе*. Ленинград, Машиностроение, Ленинградское отд-ние.
3. Сучков Д.И. (1967) *Медь и ее сплавы*. Москва, Металлургия.
4. Лебедев К.П., Райнес Л.С., Шемтов Г.С. и др. (1973) *Литейные бронзы*. Ленинград, Машиностроение.
5. Le Jeune Road, N.W. (1997) *Welding copper and copper alloys*. Miami, American welding society.
6. Смирягин А.П., Смирягина Н.А., Белова А.В. (1974) *Промышленные цветные металлы и сплавы*. Москва, Металлургия.
7. Савета В.С., Хрычиков В.Е., Матвеева М.О. (2014) *Художественное и ювелирное литье: Учебное пособие*. Днепрпетровск, НМетАУ.
8. *Майстерня дзвонів Royal Bells*. Перемишль. URL: <https://dzvony.net/home> (дата звернення 20.01.2025).
9. *Різновиди церковних дзвонів у православній традиції*. Полтава. URL: <http://dzvonar.com.ua> (дата звернення 10.01.2025).
10. Nadolski, M. (2017) The evaluation of mechanical properties of high-tin bronzes. *Archives of Foundry Engineering*, 17(1), 127–130. DOI: <https://doi.org/10.1515/afe-2017-0023>
11. Audy, J., Audy, K. (2009) Analysis of bell materials: Tin bronzes. *China Foundry*, 58(1), 77–81. DOI: [https://doi.org/10.1672-6421\(2008\)03-0199-06](https://doi.org/10.1672-6421(2008)03-0199-06)
12. Ernesto Ponce L., José de la Vega (2014) Restoration of ancient bronze bells. Part I: Powder metallurgy. *Revista chilena de ingeniería*, 22(4), 460–468. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052014000400002>
13. Bartocha, D., Baron, C. (2021) Repair of a cracked historic Maryan Bell by gas welding. *Materials*, 14(10), 2504. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14102504>
14. Ernesto Ponce, L. (2015) Restoration of ancient bronze bells. Part II: Welding. *Revista chilena de ingeniería*, 23(1), 30–37. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052015000100004>
15. (2017) *Friends of the Truro Meeting House. Revere bell restoration*. <https://www.truromeetinghousefriends.com/wp-content/uploads/2016/06/2016-Spring-Newsletter-05142016.pdf>
16. Косенко І.С., Пилип'юк В.В. (2016) *Софіївка. Національний дендрологічний парк: фотоальбом*. Київ, Паливода А.В.
17. Люшенко В.М., Майданчук Т.Б., Аношин В.О., Скорина М.В. (2014) *Склад електродного покриття для зварювання та наплавлення олов'яних бронз*. А.с. № 106954 UA, B23K 35/365(2006.01). №а 2013 14841; Заявл.18.12.2013; Опубл. 27.10.2014. Бюл. №20.
18. Майданчук Т.Б., Скорина Н.В. (2014) Улучшение технологичности изготовления и сварочных свойств электродов для сварки и наплавки оловянных бронз. *Автоматическая сварка*, 6-7, 176–182.
19. Люшенко В.М., Лукьянченко Е.П. (сост.) (2013) *Сварка и наплавка меди и медных сплавов*. Киев, Международная ассоциация «Сварка».

References

1. Liakyshev, N.P. (editor) (1997) *State diagrams of binary metallic systems: Referbook*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
2. Abramovich, V.R., Demiantsevich, V.P., Efimov, L.A. (1988) *Fusion welding of copper and copper-based alloys*. Leningrad, Mashinostroenie [in Russian].
3. Suchkov, D.Y. (1967) *Copper and its alloys*. Moscow, Metallurgiya [in Russian].

4. Lebedev, K.P., Raines, L.S., Shemtov, H.S. et al. (1973) *Cast bronzes*. Leningrad, Mashnostroenie [in Russian].
5. Le Jeune Road, N.W. (1997) *Welding copper and copper alloys*. Miami, AWS.
6. Smiriagin, A.P., Smiriagina, H.A., Belova, A.B. (1974) *Industrial non-ferrous metals and alloys*. Moscow, Metallurgiya [in Russian].
7. Savega, V.S., Hrichikov, V.E., Matveeva, M.O. (2014) *Artistic and jewelry casting: Tutorial*. Dnipro, NMetAU [in Russian].
8. *Royal Bells Workshop. Przemysl*. <https://dzvony.net/home> (date of application 20.01.2025) [in Ukrainian].
9. *Varieties of church bells in the Orthodox tradition. Poltava*. <http://dzvonar.com.ua> (date of application 10.01. 2025) [in Ukrainian].
10. Nadolski, M. (2017) The evaluation of mechanical properties of high-tin bronzes. *Archives of Foundry Eng.*, 17(1), 127–130. DOI: <https://doi.org/10.1515/afe-2017-0023>
11. Audy, J., Audy, K. (2009) Analysis of bell materials: Tin bronzes. *China Foundry*, 58(1), 77–81. DOI: [https://doi.org/1672-6421\(2008\)03-0199-06](https://doi.org/1672-6421(2008)03-0199-06)
12. Ernesto, Ponce L., José de la Vega (2014) Restoration of ancient bronze bells. Pt I: Powder metallurgy. *Revista Chilena de Ingenieria*, 22(4), 460–468. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052014000400002>
13. Bartocha, D., Baron, C. (2021) Repair of a cracked historic Maryan Bell by gas welding. *Materials*, 14(10), 2504. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14102504>
14. Ernesto Ponce, L. (2015) Restoration of ancient bronze bells. Pt II: Welding. *Revista Chilena de Ingenieria*, 23(1), 30–37. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052015000100004>
15. (2017) *Friends of the Truro Meeting House. Revere bell restoration*. <https://www.truromeeetinghousefriends.com/wp-content/uploads/2016/06/2016-Spring-Newsletter-05142016.pdf>
16. Kosenko, I.S., Pylypiuk, V.V. (2016) *Sofiivka. Arboretum: Photoalbum*. Kyiv, Palyvoda A.V. [in Ukrainian].
17. Iliushenko, V.M., Maidanchuk, T.B., Anoshin, V.O., Skoryna, M.V. (2014) *Composition of electrode coating for welding and surfacing tin bronzes*. Pat. UA 106954, Fill. 18.12.2013, Publ. 27.10.2014 [in Ukrainian].
18. Majdanchuk, T.B., Skorina, N.V. (2014) Improvement of adaptability to fabrication and welding properties of electrodes for tin bronze welding and surfacing. *The Paton Welding J.*, 6–7, 172–176. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2014.06.37>
19. Iliushenko, V.M., Lukianchenko, Ye.P. (2013) *Welding and surfacing of copper and copper alloys*. Kyiv, International Association «Welding» [in Russian].

RESTORATION OF BELLS AND ARTISTIC CASTINGS PRODUCTS MADE OF COPPER ALLOYS

T.B. Maidanchuk, A.M. Bondarenko, V.M. Ilyushenko, E.P. Lukyanchenko

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: pwi_37@ukr.net

The results of experimental work on the restoration of artistic castings from copper alloys are presented. It is shown that an individual approach is required during product repair, which is associated with the different chemical composition and presence of defects in the cast metal, the shape and size of the product, the need to adjust the chemical composition of welding consumables, etc. It is determined that when restoring bells, the most appropriate process for performing repair work is the process of manual argon-arc welding with a nonconsumable electrode (TIG process). It is shown that positive results in welding up cracks in church bells while ensuring their high acoustic properties are achieved with the correct choice of filler material. Coated-electrode welding can be recommended for welding up casting defects, as well as for manufacturing welded components of sculptures. 19 Ref., 3 Tabl., 13 Fig.

Keywords: foundry bronzes, chemical composition, bell bronze, cracks, repair and welding technologies, metal-cored wire, coated electrodes

Отримано 24.04.2025

Отримано у переглянутому вигляді 16.06.2025

Прийнято 09.10.2025

INTERNATIONAL WIRE AND CABLE TRADE FAIR
wire
Düsseldorf

INTERNATIONAL TUBE AND PIPE TRADE FAIR
Tube
Düsseldorf

COME & CONNECT

APRIL 13 - 17 2026
DÜSSELDORF
GERMANY