

DOI: 10.25140/2411-5363-2022-1(27)-82-91

УДК 621.375.826:621

**Віктор Романенко<sup>1</sup>, Леонід Головка<sup>2</sup>, Михайло Блощизин<sup>3</sup>, Віктор Дубнюк<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри лазерної техніки та фізико-технічних технологій  
Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

**E-mail:** [romvzv@gmail.com](mailto:romvzv@gmail.com), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1918-7090>

<sup>2</sup>доктор технічних наук, професор кафедри лазерної техніки та фізико-технічних технологій  
Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

**E-mail:** [leongolovko@gmail.com](mailto:leongolovko@gmail.com), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7803-0312>, **SCOPUS Author ID:** [6603561129](https://orcid.org/0000-0001-7803-0312)

<sup>3</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри лазерної техніки та фізико-технічних технологій  
Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

**E-mail:** [m.bloshchytsyn@gmail.com](mailto:m.bloshchytsyn@gmail.com), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3688-7948>

<sup>4</sup>старший викладач кафедри лазерної техніки та фізико-технічних технологій  
Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

**E-mail:** [v.dubniuk@kpi.ua](mailto:v.dubniuk@kpi.ua), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6146-9265>

## ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СПЕЦІАЛЬНИХ УТРИМУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ

*Наведено аналіз існуючих способів та представлено нові комбіновані процеси виготовлення біметалів, де на поверхні його функціональної складової шляхом лазерного або дугового зварювання створюється спеціальна регулярна конструкція з утримувачів, підготовлена складова розміщується в піщаній формі. На поверхню функціональної складової через отвір в формі із дозатору подається розплав конструктивної складової біметалу. Повне заповнення технологічного простору між утримувачами розплавленим металом гарантує надійне скріплення пластин біметалу. Висока міцність зчеплення складових біметалу і рівномірності її розподілу по площині з'єднання забезпечується заданим розміщенням конструкцій утримувачів.*

**Ключові слова:** біметал; комбінований процес; розплав; функціональна конструктивна складова; міцність зчеплення.  
*Рис.: 12. Бібл.: 15.*

**Актуальність теми дослідження.** У сучасному виробництві велика кількість металевих конструкцій різного призначення при експлуатації відчувають одночасний вплив механічних навантажень і зовнішнього агресивного середовища. Для конструкцій, де потрібне забезпечення високого рівня міцності разом із забезпеченням опору різним видам абразивного зношування і корозійного руйнування стає неможливим підібрати сталь або сплав, які б поєднували в собі всі необхідні якості, не вдаючись до невиправданих як із матеріального, так і з економічного погляду затрат. Технологічне оснащення відіграє важливу роль у зазначених випадках стає доцільним використання біметалевих матеріалів, до складу яких входять основна та робоча пластини. При цьому основний шар відповідає за несучу здатність конструкції, але від нього не вимагається високої корозійної стійкості або зносостійкості. Розрахунок міцності конструкцій з біметалевої сталі ведеться, виходячи тільки з товщини шару основи. Робочий шар несе чисто захисні функції, у зв'язку з чим, він повинен бути виконаним із корозійностійкого або зносостійкого матеріалу.

**Постановка проблеми.** При проєктуванні технології виготовлення біметалів нами була поставлена та вирішена задача вдосконалення способу ливарного виготовлення біметалевих матеріалів, при якому забезпечувався би достатньо високий рівень міцності зчеплення пластин біметалу, щоб унеможливити роз'єднання пластин біметалу при його використанні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням функціонального аналізу технічних систем присвячено достатню кількість наукових праць [1-11].

Одним із альтернативних методів для отримання біметалів є технологія, в основі якої лежить нанесення розплавленого металу на поверхню основи виробу методом електрошлакового наплавлення. При цьому оплавлення основного і розплавлення присадного

(робочого) металів відбувається за рахунок тепла, що виділяється в шлаковій ванні при протіканні через неї електричного струму [1]. Цей спосіб забезпечує рівномірність товщини і хімічного складу наплавленого робочого шару, підвищення якості його поверхні при збереженні високої міцності з'єднання шарів біметалу. Проте при цьому способі спостерігається утворення кристалізаційних тріщин і інших дефектів у самому робочому шарі й на його поверхні.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що є недоліки наявних способів переважно пов'язані з не достатнім рівнем міцності зчеплення пластин біметалу, тобто є можливість роз'єднання пластин біметалу при його використанні.

**Метою статті** є визначення можливостей підвищення міцності зчеплення біметалевих деталей із можливістю спрощення технологічної реалізації процесу.

**Виклад основного матеріалу.** Найбільш широко для виготовлення біметалевих матеріалів застосовується метод ливарного виготовлення біметалів, що включає систему отримання біметалічного виливка зі зносостійким поверхневим шаром при заливанні розплавленого робочого металічного матеріалу одного складу (наприклад, неіржавіючої сталі) у форму, в якій встановлена пластина основи із металічного матеріалу іншого складу (наприклад, сталі 3, сталі 10 або 20) [2; 3]. Цей спосіб на відміну від попереднього дозволяє отримувати на біметалі корозійностійкий шар потрібної товщини, без утворення кристалізаційних тріщин і інших дефектів у самому робочому шарі й на його поверхні. Проте при отриманні біметалічного виливка має місце мала глибина перехідного шару для зчеплення основного та робочого металу.

При реалізації запропонованого методу ми враховували, що оскільки глибина проникнення розплаву основи в робочу пластину при отриманні біметалу за звичайних умов незначна, а в деяких випадках, коли температура плавлення робочої пластини вища за температуру плавлення металу основи, і зовсім відсутня, то потрібен додатковий елемент для надійного з'єднання пластин біметалу.

Таким елементом може служити спеціальний утримувач, який виготовлений, наприклад, із дроту діаметром  $d$  (рис. 1). Діаметр дроту вибирається з тих міркувань, що дріт не повинен повністю розплавлятися під час заливання та подальшій кристалізації рідкого металу основи. При цьому допускається часткове підплавлення цього елемента. Експериментальні дослідження показують, що дріт діаметром  $d$  більше за 3,0 мм відповідає таким вимогам.

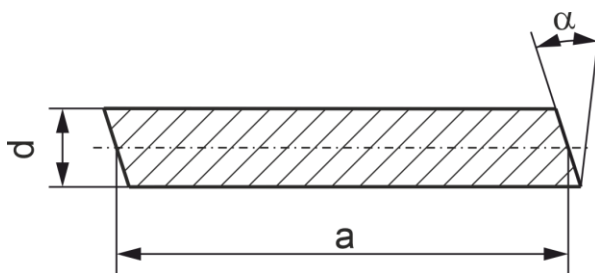


Рис. 1. Приклад утримувача, виготовленого з дроту [2; 3]

Дріт для кращого подальшого утримування шару основи повинен бути нахиленим під невеликим кутом  $\alpha$  до поверхні робочої пластини. При куті в  $10...30^\circ$  рідкий метал буде повністю охоплювати всю поверхню дроту та забезпечить повний і надійний обхват нахиленого утримувача шаром металу основи після кристалізації та охолодження. Довжина ж дроту  $a$  підбирається такою, щоб забезпечити надійне прикріплення робочої пластини цим утримувачем після його схоплення шаром основи. При цьому нахилені утримувачі повинні бути віддалені від зовнішнього краю біметалу на невелику відстань, наприклад, на

1...3 мм залежно від товщини пластини основи. Кількість потрібних утримуючих елементів визначається розмірами біметалу, що виготовляється. При цьому було встановлено, що утримувачі потрібно закріплювати на поверхні основи на відстані 50...100 мм один від одного.

Прикріплення утримувача 1 до поверхні робочої пластини 2 може бути виконане за допомогою, наприклад, електродугового зварювання плавким електродом 3 або лазерним випромінюванням 4 (рис. 2) [2; 3; 4; 5]. Для цього утримуючий елемент встановлюють та попередньо фіксують (наприклад, плоскогубцями) в потрібному місці, з нахилом під потрібним кутом (10...30°), та його край надійно приварюють до поверхні робочої пластини. Режими зварювання підбирають такими, щоб внутрішня поверхня робочої пластини розплавлялась не більше, ніж на половину її товщини. Це необхідно, щоб протилежна (експлуатаційна) поверхня робочої пластини не псувалась. Можлива лише поява на ній кольорів мінливості. При цьому потрібно поперемінно змінювати нахил утримувачів в різні сторони по всій площині робочої пластини, що забезпечить більш надійне зчеплення шарів біметалу [6 - 13]. Крім того, на краях робочої пластини нахил утримувачів краще виконувати в сторону кромки цієї пластини, та розташовувати утримуючі елементи як можна ближче до країв. Це забезпечить мінімальні зазори між пластинами біметалу на його кромках.

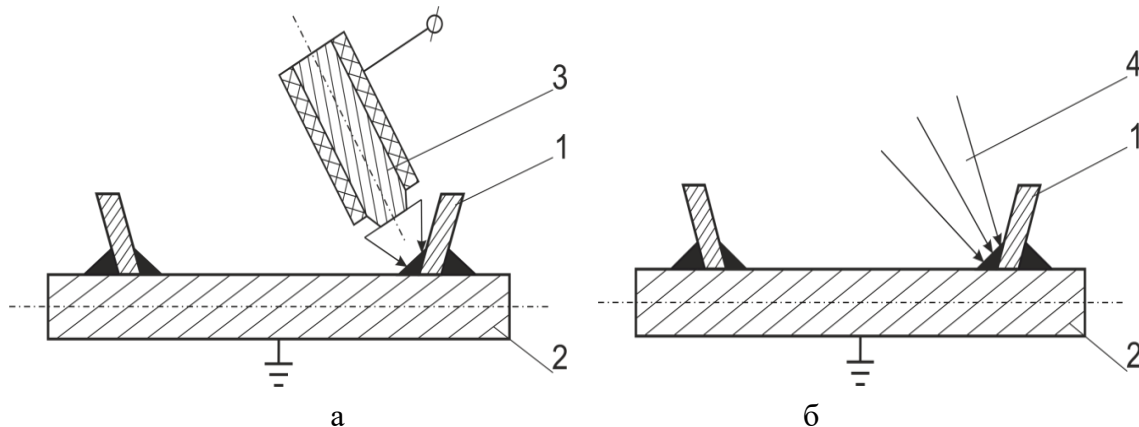


Рис. 2. Приєднання утримувача до робочої пластини за допомогою електродугового зварювання плавким електродом (а) або лазерного випромінювання (б) [2; 3; 4; 5]

У подальшому для отримання біметалу робочу пластину 2 встановлюють (при орієнтуванні утримувачів 1 вверх) у форму, у яку ущільнюють формувальну суміш 4, та закривають верхньою напівформою 5 (рис. 3). Розплав металу основи 6 через ливникову систему 7 подають у порожнину форми для створення (після охолодження) основи біметалу. В порожнині форми рідкий метал основи рухається по робочій пластині 2 (стрілка 8) зі швидкістю, рівною швидкості вільного розтікання рідкого металу, поступово омиваючи та обволікаючи всі утримувачі 1. У результаті після кристалізації та затвердіння рідкого металу отримують основу біметалу, яка має надійне з'єднання з робочою пластинною. Приварені до робочої пластини та закристалізовані в пластині основи утримуючі елементи забезпечують це. Наприкінці технологічні напливи металу від ливникової системи необхідно зачистити, наприклад, зішліфувати.

Для спрощення та здешевлення процесу виготовлення біметалічних матеріалів також був запропонований спосіб з використанням вже готової пластини основи потрібної товщини, а процес заливки щоб зводився лише до заповнення невеликих технологічних отворів в цій пластині. Це набагато скорочує енергозатрати, ніж при отриманні суцільного шару основи ливарним методом [13; 14; 15].

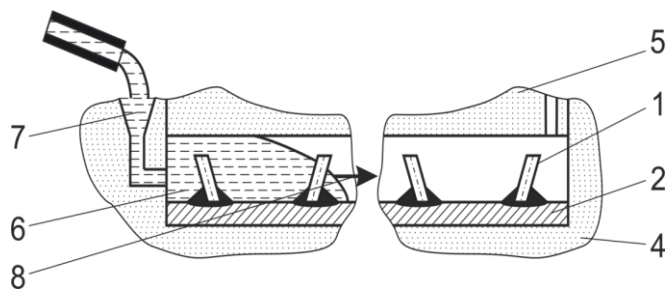


Рис. 3. Заливання форми металом основи [2; 3]

Запропонований спосіб реалізується таким чином. У пластині основи 1 завдяки попередній розмітці або використанню шаблонів виконують ступінчасті технологічні отвори 2 (рис. 4). Діаметр вузької частини технологічного отвору повинен бути достатнім для вільного затікання рідкого металу по всій глибині цього отвору. Діаметр же ширшої частини технологічного отвору повинен бути більшим вузької частини, наприклад, в 1,5 раза, а глибина широкої частини може складати 30...50 % глибини всього технологічного отвору в залежності від товщини пластини основи.

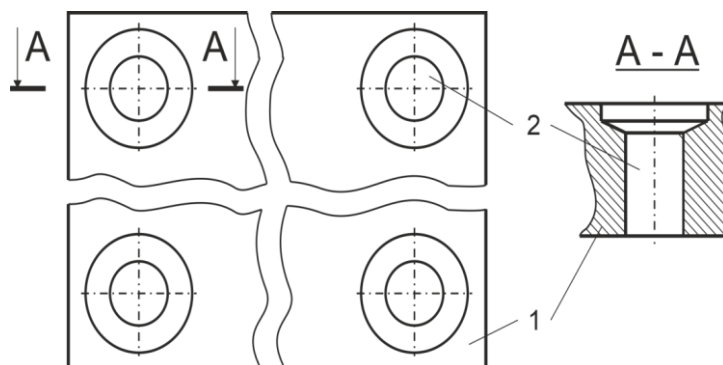


Рис. 4. Виконання ступінчатих технологічних отворів у пластині основи та поперечний перетин цих отворів [2; 4; 5]

Пластину основи кладуть на робочу пластину та маркують центри технологічних отворів на останній. Знімають пластину основи та до робочої пластини 3 в місцях маркування вертикально встановлюють та кріплять утримувачі 4, наприклад, електродуговим зварюванням плавким електродом 5 (рис. 5). По довжині утримуючі елементи можуть бути декілька довшими товщини пластини основи (для зручності їх подальшого згинання).

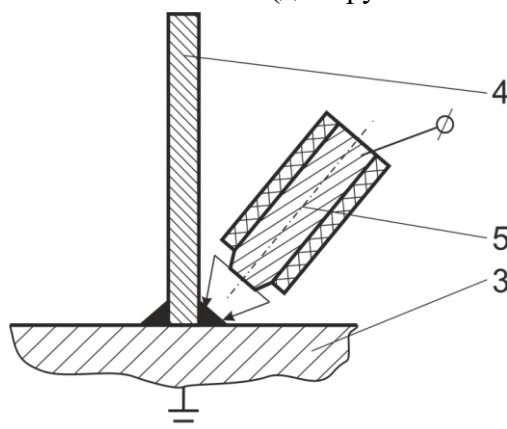


Рис. 5. Приєднання утримуючого елемента до робочої пластини за допомогою електродугового зварювання [2; 3; 4; 5]

Після цього пластину основи 1 встановлюють на робочу пластину 3 ширшою частиною технологічного отвору 2 назвони так, щоб утримуючі елементи зайшли в технологічні отвори (рис. 6) та тимчасово скріплюють пластини 1 та 3 між собою, наприклад, за допомогою струбцин. Для забезпечення надійного зчеплення пластин біметалу за рахунок неможливості виходу утримувачів із технологічних отворів після заливки та затвердіння металу, що заливається, до утримуючих елементів потрібно прикласти зусилля 6 для їх згинання в межах технологічних отворів 2. Це можна здійснити, наприклад, за допомогою молотка. При цьому форма зігнутого утримувача не повинна заважати переміщенню рідкого металу при заливці по всьому об'єму технологічного отвору.

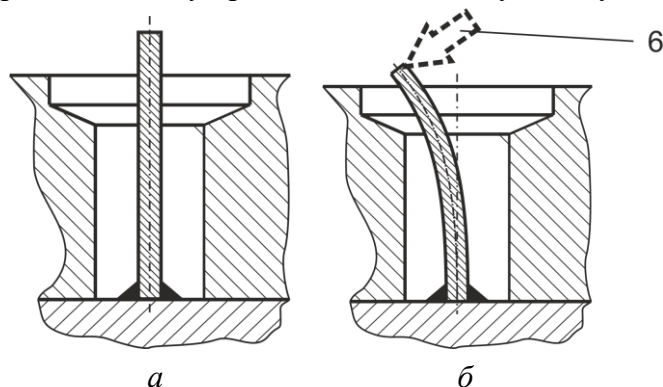


Рис. 6. Встановлення пластини основи на робочу пластину (а) та згинання кожного утримуючого елемента в межах технологічного отвору (б) [2; 4; 5]

За допомогою засобу для заливки розплавленого металу 7 (наприклад, невеликого тигля) рідкий метал основи 8 заливають в кожний технологічний отвір 2 так, щоб цей метал заповнював отвір 2 врівень із поверхнею пластини основи 1 (рис. 7). Після затвердіння рідкого металу в кожному технологічному отворі отримують надійне з'єднання 9 пластин біметалу. Дійсно, приварені до робочої пластини та закристалізовані в пластині основи зігнуті утримуючі елементи разом зі ступінчатою формою технологічних отворів забезпечують це. Наприкінці напливи металу в місцях технологічних отворів потрібно зачистити.

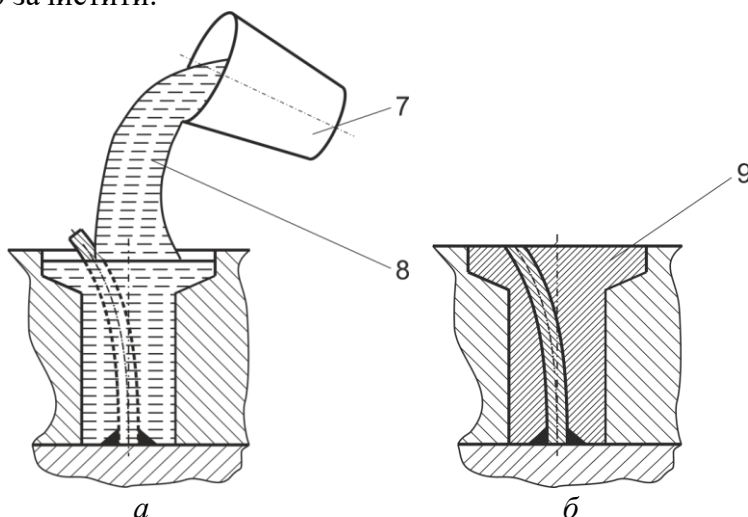


Рис. 7. Заливка металу основи в кожний технологічний отвір (а) з подальшим створенням монолітної пластини основи (б) [2; 4; 5]

Кількість потрібних утримуючих елементів визначається розмірами біметалу, що виготовляється. При цьому було встановлено, що утримувачі потрібно закріпляти на поверхні робочої пластини на відстані 50...100 мм один від одного.



Нами розроблений також найбільш дешевий та простий метод отримання біметалевих пластин без потреби в ливарних операціях та обладнанні. Для цього в пластині основи 1 також виконують технологічні отвори 2. Діаметр отвору 2 підбирають декілька більшим діаметра утримуючого елемента так, щоб останній вільно заходив у отвір 2 з урахуванням розширення, що виникає в нижній частині утримувача при його приварці до робочої пластини. Як правило, діаметр технологічного отвору виконують на 120...150 % більшим за діаметр утримуючого елемента. Кількість та спосіб розміщення отворів 2 на пластині основи 1 можуть бути обрані, відповідно до потреб міцності з'єднання пластин біметалу.

Як і в попередньому способі, пластину основи кладуть на робочу пластину та маркують центри технологічних отворів на останній. Знімають пластину основи та до робочої пластини 3 у місцях маркування вертикально встановлюють та приварюють утримувачі 4 за допомогою, наприклад, електродугової зварки плавким електродом 5 (рис. 5). По довжині утримувачі можуть бути декілька довшими товщини пластини основи (для зручності їх подальшого приварювання до цієї пластини). Пластину основи встановлюють на робочу пластину так, щоб утримуючі елементи зайшли в технологічні отвори та тимчасово скріплюють пластини між собою.

За допомогою плавкого електроду приварюють верхню частину утримуючого елемента до зовнішньої кромки технологічного отвору (рис. 8). Після охолодження та кристалізації зварної ванни отримуємо зварний шов 6 між пластиною основи та утримувачем. Загальна ж кількість таких з'єднань і забезпечить високий рівень міцності зчеплення пластин біметалу. Виступаючі над поверхнею пластини основи напливи металу зварного шва 6 усуваються, наприклад, зішліфовуються урівень із поверхнею цієї пластини.

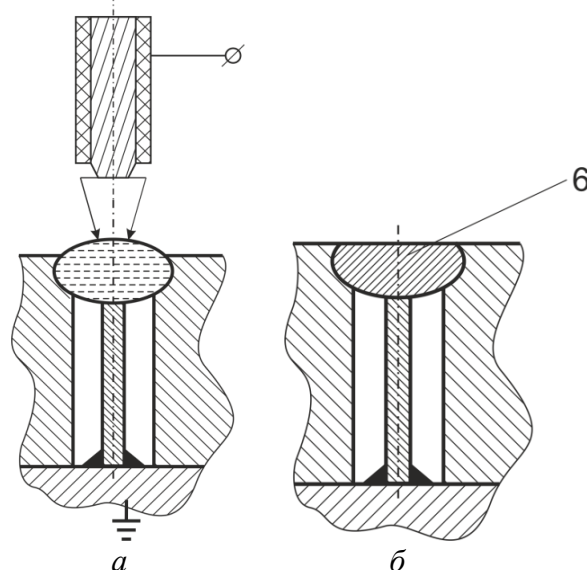
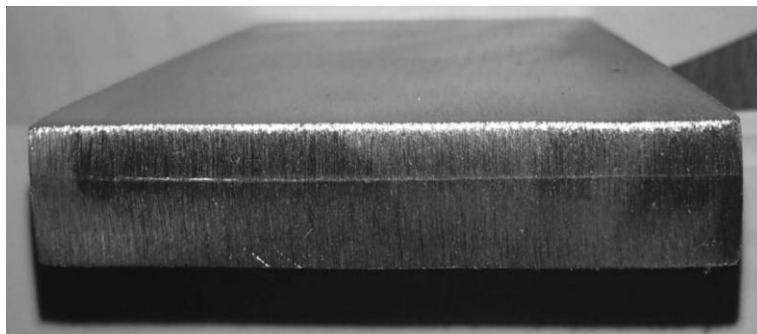


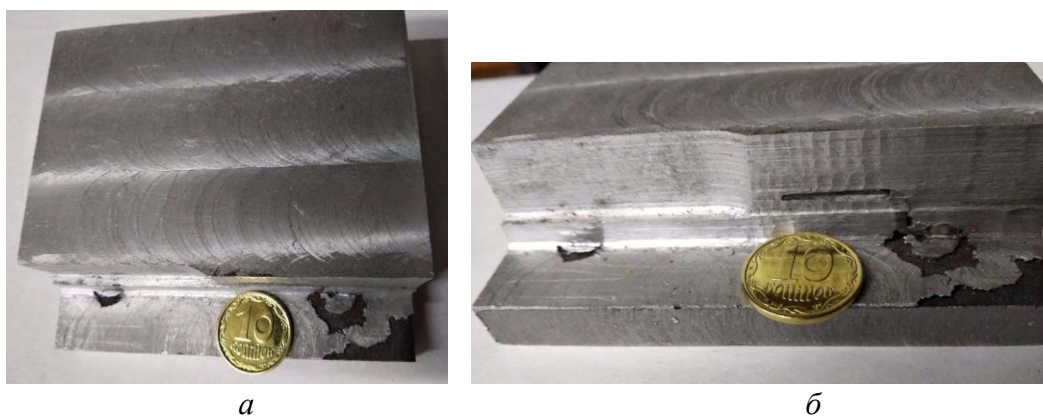
Рис. 8. Приварювання утримуючого елемента до кромки технологічного отвору (а) з наступним зачищенням пластини основи (б) [5; 11]

Нами були проведені пошукові експерименти по отриманню пластин біметалу при заливці шару основи з використанням утримуючих елементів. Усі зразки показали надійне з'єднання між пластинами біметалу. Можемо з певністю констатувати, що така технологія повністю готова для промислового використання. На рис. 9 наведено розріз готового біметалу при зчепленні його пластин утримуючими елементами, де робоча пластина розташована зверху, а пластина основи – знизу. Слід зауважити повне прилягання пластин біметалу одна до одної. При цьому має місце надійне зчеплення між шарами біметалу.



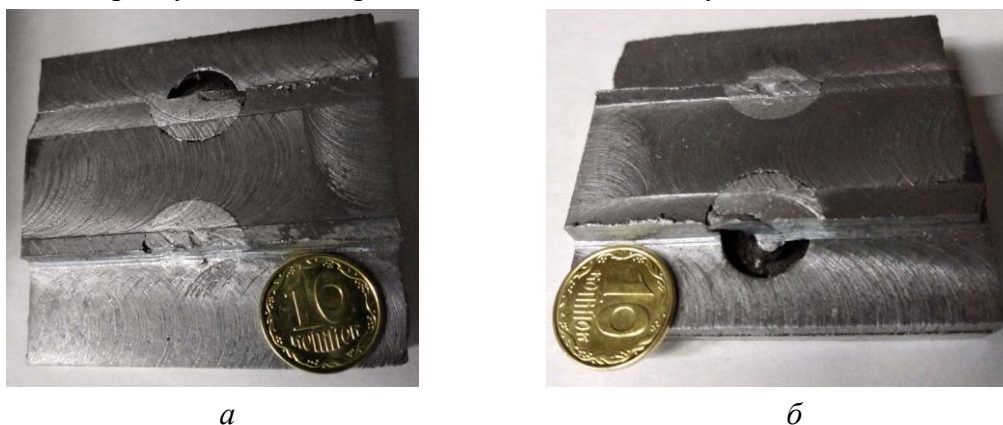
*Рис. 9. Розріз біметалу, виконаного при заливці робочого шару та використанні утримуючих елементів [5; 11]*

На рис. 10 представлено розріз біметалу в місцях встановлення утримувачів, сфотографований під різним кутом для кращого спостереження місць зчеплення. На фото видно повний обхват утримуючих елементів створеним шаром пластини основи (ця пластина – зверху) при надійному приварюванні утримувачів до робочої пластини (нижня пластина).



*Рис. 10. Розріз біметалу в місцях встановлення утримувачів, сфотографований під різним кутом спостереження [3; 5; 11]*

Спосіб виготовлення біметалів при використанні технологічних отворів у пластині основи та при застосуванні утримуючих елементів теж забезпечує досить надійне зчеплення між пластинами біметалу. Крім того при цій технології набагато знижуються енергозатрати на таке виробництво. Розріз одного з таких технологічних отворів представлений на рис. 11, а. Добре видно повне заповнення технологічного отвору залитим металом, що гарантує надійне скріплення пластин біметалу.



*Рис. 11. Розріз біметалу з утримуючими елементами всередині технологічних отворів при їх заливці (а) та частковому заварюванні (б) [3; 5; 11]*

Розріз з'єднання пластин біметалу за допомогою приварювання плавким електродом верхньої частини утримуючого елемента до зовнішньої кромки технологічного отвору представлений на рис. 11, б. На фото видно, що лише верхня частина утримуючого елемента приплавлена до пластини основи. Але такого зчеплення достатньо для надійного скріплення пластин біметалу, тоді як вартість такої технології менша від попередніх.

На верхній поверхні пластини основи (рис. 12) добре видно сліди заплавлених технологічних отворів після електродугового зварювання в результаті зачищення цієї поверхні шліфмашинкою, чого повністю достатньо для подальшого використання біметалу.



*Рис. 12. Верхня поверхня пластини основи біметалу після заплавлення технологічних отворів електродуговою зваркою та подальшої зачистки [3; 5; 11]*

**Висновки.** Таким чином, запропоновані нами способи виготовлення біметалів із застосуванням спеціальних утримуючих елементів суттєво розширюють можливості свого застосування в результаті забезпечення високого рівня міцності зчеплення пластин біметалу, що гарантує низьку вірогідність відокремлення робочої пластини в процесі подальшого використання біметалевих матеріалів. Впровадження цих технологій у виробництво біметалів не потребує великих матеріальних затрат та забезпечує максимальну рентабельність процесу виготовлення таких матеріалів. Наявність же декількох способів виготовлення дозволяє підбирати найбільш оптимальну технологію в залежності від об'ємів виробництва та розмірів отримуваних листів біметалів або окремих виробів з них.

#### Список використаних джерел

1. Патент РФ № 2193071, кл. С22В9/20; заявл. 05.06.2000; опубл. 20.11.2002.
2. Патент № 133111 UA, В22D 19/16 (2006.01). Пристрій для ливарного виготовлення біметалічних матеріалів з застосуванням утримуючих елементів / Романенко В. В.; Головка Л. Ф.; Блощин М. С., Салій С. С. – № у 201810064; заявл. 09.10.2018; опубл. 25.03.2019; Бюл. № 6, 2019.
3. Патент № 134859 UA, В23D 19/08 (2006.01). Спосіб ливарного виготовлення біметалів із застосуванням нахилених утримувачів / Романенко В. В.; Головка Л. Ф.; Блощин М. С., Ямшинський М. М., Салій С. С., Ковальчук О. Г. – № у 201812618 ; заявл. 19.12.2018 ; опубл. 10.06.2019; Бюл. № 6, 2019.
4. Патент № 133173 UA, В23D 19/08 (2006.01). Спосіб ливарного виготовлення біметалів з використанням технологічних отворів та утримуючих елементів / Романенко В. В.; Головка Л. Ф.; Блощин М. С., Салій С. С. – № у 201810447 ; заявл. 23.10.2018 ; 25.03.2019; Бюл. № 6, 2019.
5. Спосіб виготовлення біметалів електродуговим зварюванням з використанням технологічних отворів та утримуючих елементів / Патент на корисну модель № 133218 дата 25.03.2019
6. Производство металлических слоистых композиционных материалов / А. Г. Кобелев, В. И. Лысак, В. Н. Чернышев, А. А. Быков, В. П. Востриков. – М. : Изд. «Интермет Инжиниринг», 2002. – 496 с.
7. Лазерні технології та комп'ютерне моделювання / під редакцією Л. Ф. Головка, С. О. Лук'яненка. – К. : Вид-во «Вістка», 2009. – 295 с.



8. Golovko L. Development of the laser-foundry process for manufacture of bimetals [Electronic resource] / L. Golovko, S. Salii, M. Bloschchysyn // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – Vol. 4/1, no. 94. – Pp. 47–54. – Accessed mode: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.139483>.

9. Пристрій для лазерно-ливарного виготовлення біметалів: пат. № 96621 України: МПК: B23K 26/352 / № u201409701; заявл. 04.09.2014; опубл. 10.02.2015, Бюл. № 3. 5 с.

10. Development of an 8090/3003 bimetal slab using a modified direct-chill casting process / Wang T., Liang C., Chen Z. and others // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2014. – Vol. 214, no. 9. – Pp. 1806–1811. – Accessed mode: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.03.029>.

11. Комбінований лазерно-ливарний процес виготовлення біметалів [Електронний ресурс] / С. С. Салій, Л. Ф. Головка, А. Л. Головка, В. В. Романенко // *Mechanics and Advanced Technologies*. – 2020. – № 1 (88). – Pp. 93-107. – Режим доступу: <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2020.88.200234>.

12. Квасницький В. В. Спеціальні способи зварювання : навчальний посібник / В. В. Квасницький. – Миколаїв : УДМУ, 2003. – 437 с.

13. Панфилов А. И. Перспективы использования биметаллических износостойких листов SWIP в угольной промышленности / А. И. Панфилов, А. В. Копощко, Ю. М. Кусков // *Физико-технические проблемы горного производства*. – 2011. – № 14. – С. 181–187.

14. Коррозионно-стойкие биметаллы с прочным сцеплением слоев для нефтехимической промышленности и других отраслей / [И. Г. Родионова, А. А. Павлов, А. И. Зайцев и др.]. – М. : ЗАО Металлургиздат, 2011. – 292 с.

15. Шмидт М. Получение биметаллических заготовок с помощью лазерной сварки проплавленным швом / М. Шмидт, С. В. Курынцев // *Автомат. сварка*. – 2010. – № 6. – С. 30–33.

### References

1. Patent RF № 2193071, kl. C22B9/20 [Patent of the Russian Federation № 2193071, class. C22B9 / 20]. (2002).

2. Romanenko, V.V., Holovko, L.F., Bloschchysyn, M.S., & Salii S.S. (2019). Patent № 133111 UA, B22D 19/16 (2006.01) Prystrii dlia lyvarnoho vyhotovlennia bimetalichnykh materialiv z zastosuvanniam utrymuiuchykh elementiv [Patent № 133111 UA, B22D 19/16 (2006.01). Device for foundry production of bimetallic materials with the use of retaining elements].

3. Romanenko, V.V., Holovko, L.F., Bloschchysyn, M.S., Yamshynskyi, M.M., Salii, S.S., & Kovalchuk O.H. (2019). Patent № 134859 UA, B23D 19/08 (2006.01). Sposib lyvarnoho vyhotovlennia bimetaliv iz zastosuvanniam nakhylenykh utrymuvachiv [Patent № 134859 UA, B23D 19/08 (2006.01). Method of foundry production of bimetals with the use of inclined holders].

4. Romanenko, V.V., Holovko, L.F., Bloschchysyn, M.S., & Salii, S.S. (2019). Patent № 133173 UA, B23D 19/08 (2006.01). Sposib lyvarnoho vyhotovlennia bimetaliv z vykorystanniam tekhnolohichnykh otvoriv ta utrymuiuchykh elementiv [Method of foundry production of bimetals using technological holes and retaining elements].

5. Patent na korysnu model № 133218. (2019). Sposib vyhotovlennia bimetaliv elektroduhovym zvariuvanniam z vykorystanniam tekhnolohichnykh otvoriv ta utrymuiuchykh elementiv [Method of manufacturing bimetals by electric arc welding using technological holes and retaining elements].

6. Kobelev, A.G., Lysak, V.I., Chernyshev, V.N., Bykov, A.A., & Vostrikov, V.P. (2002). *Proizvodstvo metallicheskikh sloistykh kompozitsionnykh materialov [Production of metal layered composite materials]*. Izd. «Intermet Inzhiniring».

7. Gholovka, L.F., Lukianenka, S.O. (2009). *Lazerni tekhnologii ta kompiuterne modeliuвання [Laser technologies and computer modeling]*. Vyd-vo «Vistka».

8. Golovko, L., Salii, S., & Bloschchysyn, M. (2018). Development of the laser-foundry process for manufacture of bimetals. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/1(94), 47–54. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.139483>.

9. Romanenko, V.V., Lykshosha, V.P., Shatrava, O.P., Gholovko, L.F., & Kryvcun, I.V. (2015). Prystrii dlia lazerno-lyvarnoho vyhotovlennia bimetaliv, Ukraine, Pat. № 96621 [Device for laser casting of bimetals: US Pat. № 96621 of Ukraine: IPC: B23K 26/352].

10. Wang, T., Liang, C., & Chen, Z. (2014), Development of an 8090/3003 bimetal slab using a modified direct-chill casting process. *Journal of Materials Processing Technology*, 214(9), 1806–1811. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.03.029>.
11. Salii, S.S., Gholovko, L.F., Gholovko, A.L., & Romanenko V.V. (2020). Kombinovanyi lazerno-lyvarnyi proces vygotovlennia bimetaliv [Combined laser-casting process of bimetallic manufacturing]. *Mechanics and Advanced Technologies*, (1(88)), 93-107. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2020.88.200234>.
12. Kvasnytskyi, V.V. (2003). *Specialni sposoby zvariuvannia [Special methods of brewing]*. UDMTU.
13. Panfilov, A.I., Koposhko, A.V. & Kuskov, Ju.M. (2011). Perspektivy ispolzovaniia bimetallicheskikh iznosostoikikh listov SWIP v ugolnoi promyshlennosti [Prospects for the use of SWIP bimetallic wear-resistant sheets in the coal industry]. *Fiziko-tehnicheskie problemy gornogo proizvodstva – Physical and technical problems of mining*, (14), 181–187.
14. Rodionova, I.G., Pavlov, A.A., & Zaitsev, A.I. (2011). *Korroziionno-stoikie bimetally s prochnym scepleniem sloev dlia neftehimicheskoi promyshlennosti i drugih otraslei [Corrosion-resistant bimetallics with strong adhesion of layers for the petrochemical industry and other industries]*. ZAO Metallurgizdat.
15. Shmidt, M., & Kuryncev, S.V. (2010). Poluchenie bimetallicheskih zagotovok s pomoshh'ju lazernoj svarki proplavnym shvom [Obtaining bimetallic blanks using laser penetration welding]. *Avtomat. Svarka – Automatic welding*, (6), 30–33.

Отримано 11.02.2022

UDC 621.375.826:621

**Victor Romanenko<sup>1</sup>, Leonid Golovko<sup>2</sup>, Mykhailo Bloschchysyn<sup>3</sup>, Viktor Dubniuk<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Laser Systems and Physical Technologies National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [romvv@gmail.com](mailto:romvv@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1918-7090>

<sup>2</sup>Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Laser Systems and Physical Technologies National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [leongolovko@gmail.com](mailto:leongolovko@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7803-0312> SCOPUS Author ID: 6603561129

<sup>3</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Laser Systems and Physical Technologies National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [m.bloschchysyn@gmail.com](mailto:m.bloschchysyn@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3688-7948>

<sup>4</sup>Senior Lecturer of the Department of Laser Systems and Physical Technologies National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [v.dubniuk@kpi.ua](mailto:v.dubniuk@kpi.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6146-9265>

## PRODUCTION OF BIMETALLIC MATERIALS WITH THE USE OF SPECIAL HOLDING ELEMENTS

*The analysis of existing methods and a new combined process of bimetal production are presented, according to which a special regular design of holders is created on the surface of its functional component by means of laser or arc welding. The melt of the structural component of the bimetal is fed to the surface of the functional component through the hole in the form of a special device with a given flow rate. Holders are made of wire. The holders are located on the surface of the working plate at an angle or perpendicular to the base, followed by bending after assembly. The number of holders, their geometry and relative position on the surface are determined by the size of the bimetal. You can change the required parameters of the strength of adhesion in different areas. Full filling of technological space between holders filled with metal guarantees reliable fastening of bimetallic plates. Various options have been developed and implemented to reduce the cost of bimetal production technology. There are options where not the whole surface is filled, but only the specified areas of the prepared holes. This allows to implement multi-layer metal structures. A cheap and simple method of obtaining bimetallic plates without the need for foundry operations and equipment is the use of welding technology. It has been proven that in order to ensure high bond strength of bimetallic components and uniform distribution on the joint plane, it is necessary that the frequency of the holders and the step between them have the optimal value. The high efficiency of a new, innovative combined technology of bimetal production has been demonstrated.*

*The introduction of these technologies in the production of bimetals does not require large material costs and ensures maximum profitability of the manufacturing process of such materials. The presence of several manufacturing methods allows you to select the most optimal technology depending on the volume of production and the size of the resulting sheets of bimetals or individual products from them.*

**Keywords:** bimetal; combined process; melt; functional structural component; adhesion strength.

Fig.: 12. References: 15.