

**С.І. Кучук-Яценко, В.С. Гавриш, П.М. Руденко,
А.О. Наконечний, С.А. Шевчук, М.С. Завертанний**

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України,
вул. Казимира Малевича, 11, Київ, 03150, Україна,
+380 44 205 2370; +380 44 568 0486, office@paton.kiev.ua

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА СТВОРЕННЯ ДОСЛІДНОГО УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПОРОМ ТВЕРДОСПЛАВНИХ ЗУБІВ РОЗПУШУВАЧА БАРОВОГО ЛАНЦЮГА З МАТЕРІАЛУ ВК-8



Вступ. Необхідність зварювання твердих сплавів зі сталлю виникає в інструментальній промисловості і в низці процесів у машинобудівній галузі при виготовленні твердосплавних заготовок, які за своїми габаритами або конфігурацією не можуть бути отримані звичайними методами порошкової металургії.

Проблематика. Виготовлення зубів розпушувача з твердих сплавів вольфрам-кобальтової групи ВК8 та сталі 40Х, є важливим та актуальним завданням для підвищення експлуатаційної надійності барового ланцюга. У світовій практиці при виготовленні його зубів використовують технологію пайки в індукторі або газовим полум'ям з припоями на основі срібла. Проте такий процес є низькопродуктивним та високовартісним.

Мета. Розробка високоефективної та відносно дешевої технології виготовлення зубів розпушувача барового ланцюга та експериментального обладнання для її реалізації.

Матеріали й методи. Дослідження проводились на промислових зразках із твердого сплаву ВК-8 та сталі 40Х. Мікроструктуру зварних з'єднань досліджували методами оптичної та електронної мікроскопії.

Результати. Розроблено технологію контактного зварювання опором твердосплавних зубів розпушувача барового ланцюга з матеріалу ВК-8 зі сталлю 40Х з використанням проміжного композиційного прошарку. Створено дослідне устаткування на основі машини для контактного зварювання та комп'ютерної системи управління. Металографічні дослідження зварних з'єднань показали відсутність у них дефектів. Проведені випробування зубів розпушувача барового ланцюга довели, що вони забезпечують належний ресурс експлуатації.

Висновки. Розроблена технологія та устаткування дозволяють значно знизити собівартість та підвищити продуктивність процесу зварювання порівняно з існуючими технологіями та здійснити заміщення зубів розпушувача барового ланцюга імпортного виробництва на власні розробки.

Ключові слова: контактне зварювання опором, проміжний композиційний прошарок, твердосплавні матеріали, комп'ютерна система управління.

Філія «Центр з ремонту та експлуатації колійних машин» ПАТ «Укрзалізниця» в своїй роботі застосовує машини для глибокого очищення баласту. Останнім часом при капіталь-

ному ремонті залізничних колій та відновленні баластної призми використовують щечене-очисні машини барового типу для глибокого очищення баласту, такі як RM-80, СЧ-1000, ЩОМ-6. Машинам глибокого очищення приділяється основна увага при плануванні ремонтно-колійних робіт на найближчі роки. Ос-

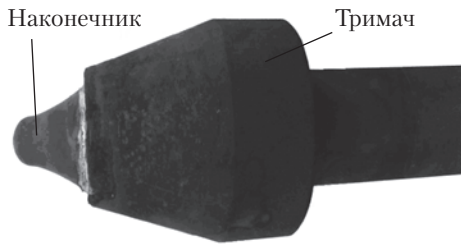


Рис. 1. Зуб розпушувача барового ланцюга

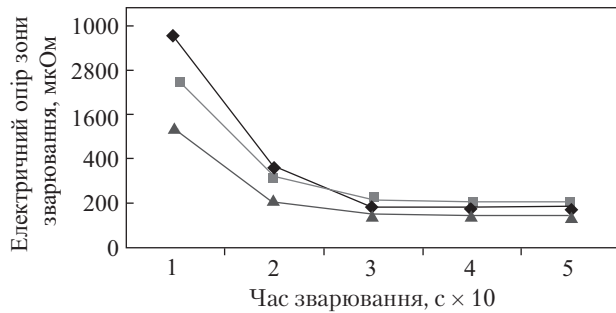


Рис. 2. Електричний опір зони зварювання трьох зразків

новним робочим вузлом цих машин, який вирізає та видаляє баласт з-під рейкошпальної решітки, є вигрібний пристрій, який оснащено баровим (вигрібним) ланцюгом. Цей ланцюг працює в режимах високих навантажень та має зуби з твердосплавними напайками як імпортного, так і вітчизняного виробництва. Від стану й надійності роботи барового ланцюга залежить продуктивність та ефективність функціонування всієї машини [1].

Баровий ланцюг працює в складних умовах. Інтенсивне абразивне зношування поєднується з високими статичними й динамічними навантаженнями, що виникають при роботі на переушільненому баласті. Зважаючи на це, до конструкції та якості виготовлення барових ланцюгів висувають підвищені вимоги, а ланцюг знаходиться під постійним наглядом обслуговуючої бригади. Термін служби ланцюга суттєво залежить від матеріалу його деталей, технології та якості їх виготовлення, а його конструкція дозволяє подовжити тривалість експлуатації шляхом зміни зношених деталей [1].

В роботі барового ланцюга важливу роль відіграють розпушувачі, що мають форму конусоподібного зуба. Нові розпушувачі істотно знижують енергетичні витрати на екскавацію баласту, збільшують продуктивність машини, знижують навантаження на ланцюг і привідні механізми. У процесі роботи необхідно контролювати стан розпушувачів, своєчасно замінювати зношені та відновлювати втрачені елементи, виготовляти які краще з легированих сталей або з напайкою твердосплавних матеріалів. Заміну розпушувачів, як правило, поєднують з ремонтом ланцюга при напруженні 7–10 км [1].

Заміна барового ланцюга — це трудомісткий і високовартісний процес, тому важливим питанням є пошук способів подовження терміну служби ланцюга та підвищення його ефективності. Одним з варіантів є вибіркова заміна окремих деталей ланцюга, зокрема й зубів розпушувача [1]. Конструкція зуба складається зі сталевого тримача та металокерамічного твердосплавного наконечника, що приварюється до тримача.

Існуючі на сьогодні технології з'єднання твердосплавних головок (наконечників) з матеріалу типу ВК-8 з тримачем зуба не завжди відповідають сучасним вимогам з якості та продуктивності. Зокрема, технологія індукційної пайки не забезпечує стабільну якість з'єднання та потребує дорогі срібних припоїв. Технологія дифузійного зварювання у вакуумі, яка використовується при виготовленні пуансонів, вирубних штампів тощо, має низьку продуктивність, тому є неефективною при промисловому виготовленні зубів розпушувача [5–9].

Заміна наявних технологій з'єднання металокерамічних твердих сплавів зі сталлю новою, розробленою у результаті виконання інноваційного проекту технологією, дозволить значно заощадити матеріально-технічні ресурси підприємств, підвищити продуктивність роботи устаткування та покращити умови праці, а також знизити енерговитрати процесу.

КОНТАКТНЕ ЗВАРЮВАННЯ ОПОРОМ ТА ДОСЛІДНЕ УСТАТКУВАННЯ

З метою усунення недоліків наявних технологій (низька продуктивність, висока собівартість, нестабільність якості з'єднання) та забезпечення належної міцності зварного з'єднання запропоновано нову технологію контактної зварювання опором, яка базується на використанні проміжних композиційних прошарків згідно з патентом України UA 78378 C2 і Patent USA № 8,426,762 B2. Прошарками є тонкі профільовані металічні плівки, заповнені шаром флюсу. Така плавка вставка розміщується між зварюваними деталями, підвищує опір у контакті між ними та забезпечує локалізацію нагрівання в зоні з'єднання. При цьому в зоні контакту формується шов заданої товщини та механічних властивостей. Також було досліджено вплив складу елементів композиційного прошарку на величину його опору та концентрацію нагріву при зварюванні опором, оскільки саме він визначає механічні властивості з'єднання [2–4].

- Роботу виконували за такими напрямками:
- ✦ аналіз наявних способів контактної зварювання з прошарками;
 - ✦ розробка технологічного циклу нагрівання та охолодження;
 - ✦ вибір матеріалу та форми проміжного прошарку;
 - ✦ вибір та перевірка основних параметрів режиму зварювання;
 - ✦ розробка та виготовлення дослідного устаткування та додаткового технологічного оснащення;
 - ✦ проведення експериментів по зварюванню зубів розпушувачів;
 - ✦ проведення механічних випробувань;
 - ✦ вибір датчиків контролю основних параметрів режиму зварювання;
 - ✦ розробка й виготовлення комп'ютерної системи контролю та керування процесом зварювання.

Об'єктом виконаних досліджень був зуб розпушувача барового ланцюга, який складається з наконечника із твердосплавного матеріалу

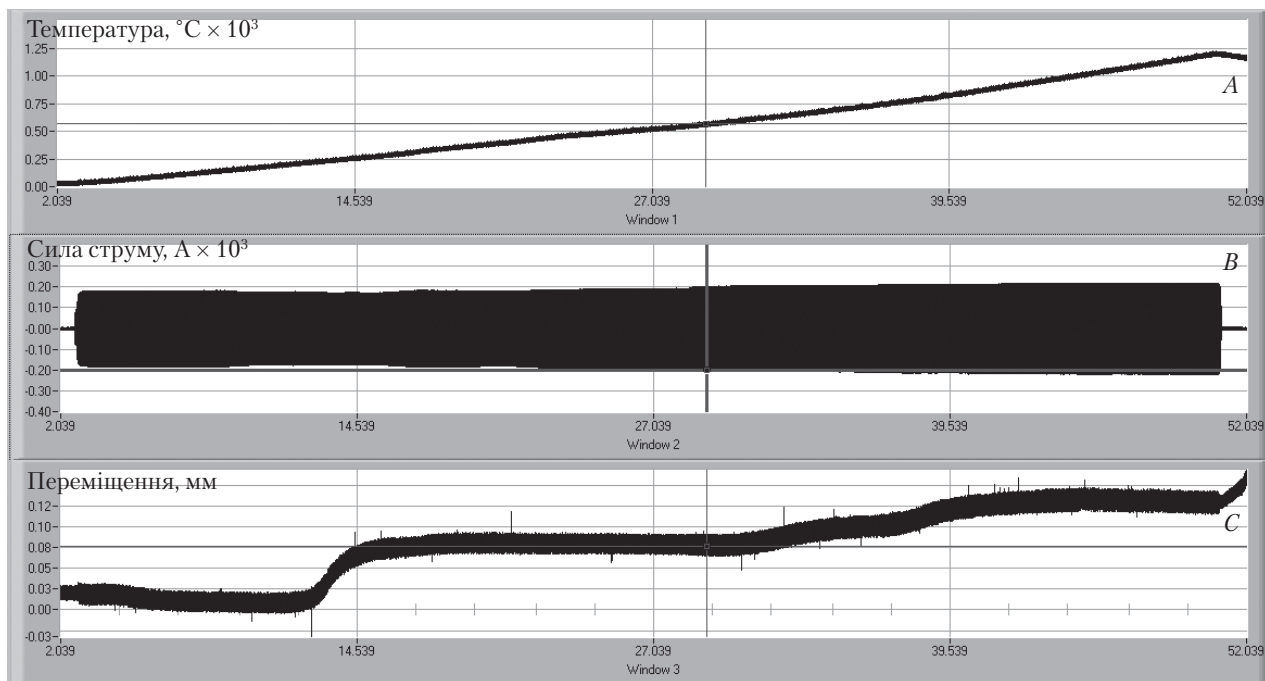


Рис. 3. Осцилограма параметрів процесу при зварюванні зуба: А – температура зони прошарку; В – сила струму у первинній обмотці зварювального трансформатора; С – переміщення верхнього електрода

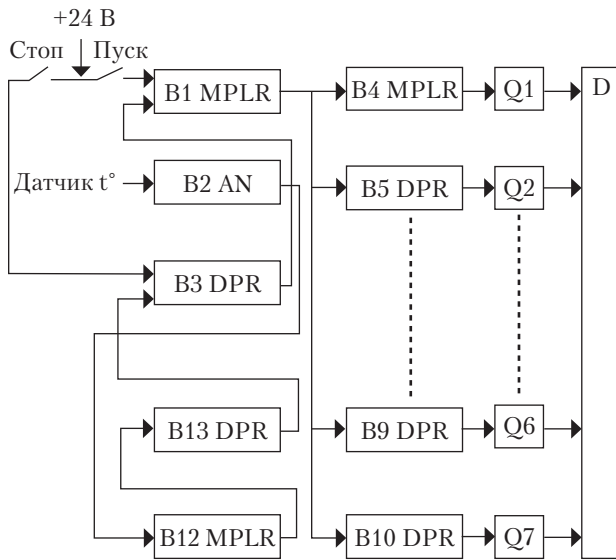


Рис. 4. Схема з'єднання функціональних блоків контролера: B1 – блок задання часу зварювання та його контролю; B2 – блок порівняння фактичної температури у зоні зварювання із заданою; B3 – блок припинення процесу зварювання оператором; B4–B10 – блоки регулювання струму зварювання; B12, B13 – блоки автоматичної зупинки процесу зварювання

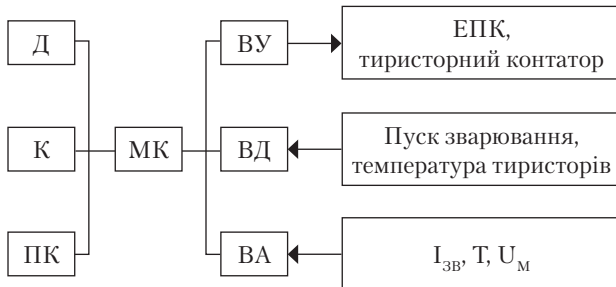


Рис. 5. Структурна схема КСУ КС 02Б: МК – мікроконтролер; ВД – вузол введення дискретних сигналів; ВА – вузол введення аналогових сигналів; ВУ – вузол виведення керуючих сигналів; ПК – послідовний канал зв'язку; Д – дисплей; К – клавіатура

лу ВК-8 та тримача зі сталі 40Х (рис. 1). Устаткування для контактного зварювання опором зуба розпушувача можна розділити на такі складові: зварювальна машина, система управління й контролю, технологічне оснащення.

Вибір зварювальної машини залежить від розмірів зварюваних деталей, а також від тер-

модеформаційного циклу, який забезпечить необхідне нагрівання та деформацію цих деталей. Попередні експерименти показали, що для цього потрібно використовувати контактну точкову машину з додатковим проміжним електродом й спеціалізовану систему управління та контролю.

Термодеформаційний цикл зварювання повинен забезпечувати розплавлення прошарку в середовищі флюсу та не призводити до плавлення матеріалів тримача та наконечника.

Попередні розрахунки та експериментальні дослідження показали, що цикл зварювання тримача зі сталі 40Х та наконечника з твердого сплаву ВК8 повинен починатися з модуляції струму та його збільшення в другій частині циклу. Процес зварювання закінчують, коли температура прошарку досягає температури його плавлення, з подальшим витримуванням під струмом. Розрахунки електричного опору зони зварювання показали, що на початку процесу величина опору коливається в межах 500–900 мкОм, а у другій половині процесу зростає до 180–210 мкОм, що дає підставу вважати процес стабільним (рис. 2).

Для контролю процесу зварювання та забезпечення потрібної якості з'єднань на контактній машині встановлено датчики струму, напруги між електродами, переміщення верхнього електроду та температури зони плавлення прошарку. Електричні сигнали з цих датчиків реєструвалися 8-ми каналною комп'ютерною системою. Осцилограму параметрів процесу зварювання наведено на рис. 3.

Аналіз осцилограм переміщення верхнього електроду показав, що початкова напруга з датчика суттєво змінюється залежно від коливання лінійних розмірів зварюваних деталей – тримача та наконечника. Вибіркове вимірювання висоти наконечника показало, що її значення становить 2,1–2,3 мм, тоді як переміщення верхнього електроду при зварюванні не перевищує 0,5 мм. Крім того, зростання переміщення електроду відбувається нерівномірно, що можна пояснити локальними ви-

плесками розплавленого металу проміжного прошарку.

Вимірювання переміщення верхнього електроду до та після зварювання деталей зуба показали, що переміщення електроду відбувається в широкому діапазоні. Так, для зразка 1 показник δ становив 0,22 мм, тоді як для зразка 3 — $\delta = 0,02$ мм. При цьому якість зварювання, яку оцінювали за макрошліфами та за розплавленим прошарком між тримачем і наконечником, залишалася однаковою, на належному рівні та достатньою для обох зразків.

Коливання переміщення також залежить й від висоти наконечника зуба, яка становить до 25 % загальної висоти деталі. Осцилограму параметрів процесу зварювання, зокрема й температури зони прошарку, наведено на рис. 3. На відміну від переміщення, температура зони прошарку змінюється лінійно та досягає свого максимуму наприкінці процесу.

Аналіз осцилограм параметрів процесу зварювання показав, що температура зони прошарку беззаперечно корелює з якістю з'єднання, тому цей параметр було використано для контролю та управління.

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ЗВАРЮВАННЯ НА ПРОГРАМОВАНОМУ КОНТРОЛЕРІ

Систему управління створено на базі програмованого контролеру типу *FAB AF-20MR-D* фірми Array Electronic Co., Ltd.

Контролер *FAB* належить до нового покоління програмованих контролерів, які програмуються за допомогою вибудовування послідовностей функціональних блоків, що є значно простішим за програмування контролерів попередніх серій.

У розпорядженні є 20 загальних типів функціональних блоків, кожен з яких може мати особливу конфігурацію, наприклад тимчасові затримки «включення», «виключення», «тривалість включення», «лічильник» і т. п. Оскільки функціональні блоки можуть включатися як послідовно, так і паралельно, то можна реалізувати досить складні завдання управління.

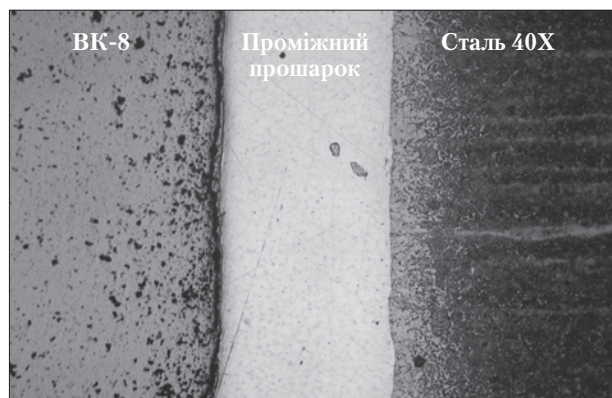


Рис. 6. Макрошліф з'єднання VK8 + сталь 40X ($\times 100$)

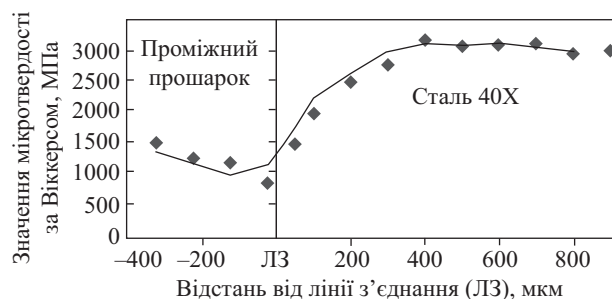


Рис. 7. Визначення мікротвердості зони термічного впливу сформованого з'єднання

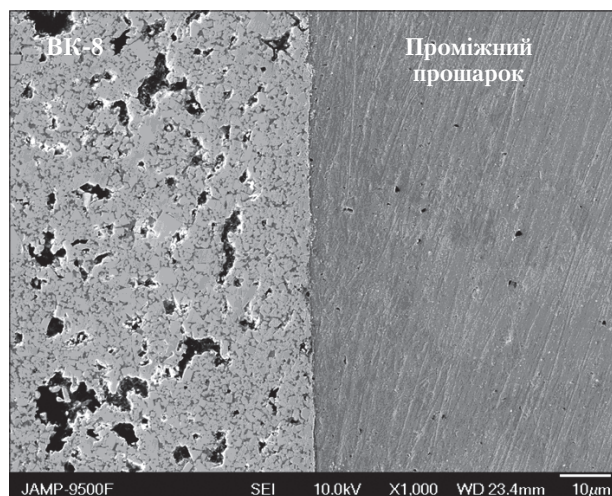


Рис. 8. Мікрофотографія лінії з'єднання VK8 — проміжний прошарок ($\times 1000$)

Керування зварювальною машиною здійснюється контролером *FAB*, який запрограмовано для відпрацювання циклограм, що складається з початкової модуляції зварювального

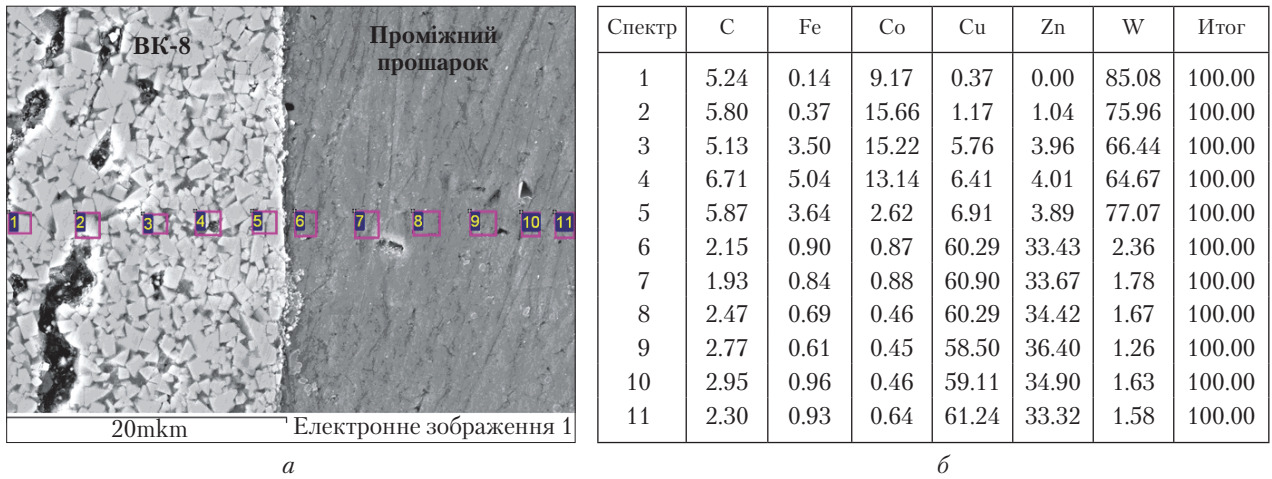


Рис. 9. Мікрофотографія лінії з'єднання ВК8 – проміжний прошарок (а, $\times 4000$) із точками проведення рентгено-спектрального аналізу (1–11) та його результати (б)

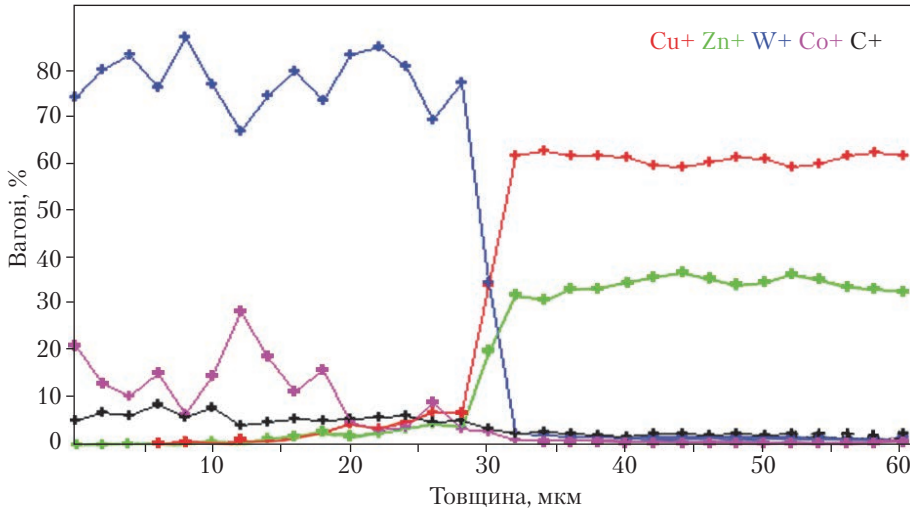


Рис. 10. Розподіл елементів сплаву в зварному з'єднанні ВК8 – проміжний прошарок

струму, тривалості зварювання, регулювання струму та виключення напруги при досягненні заданої температури зони зварювання. Схему з'єднання функціональних блоків наведено на рис. 4.

Задання та дотримання тривалості операції зварювання здійснюється блоком В1, а регулювання струму блоками В4–В10. Порівняння напруги датчика температури зони зварювання з необхідним забезпечується блоком В2. Коли температура досягає потрібного значення, процес зварювання припиняється керуючим сигналом з компаратора В2 (блоки В12,

В13, В3). Оператор має можливість вручну припинити процес зварювання кнопкою «стоп» через блок В3.

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ КСУ КС 02Б

Комп'ютерну систему управління КСУ КС 02Б призначено для керування процесом зварювання елементів барового ланцюга на контактних точкових машинах змінного струму [10].

Функціями системи управління є:

- задання та виконання циклограми режиму зварювання: попереднє стиснення, стиснення, зварювання 1 з модуляцією струму 1,

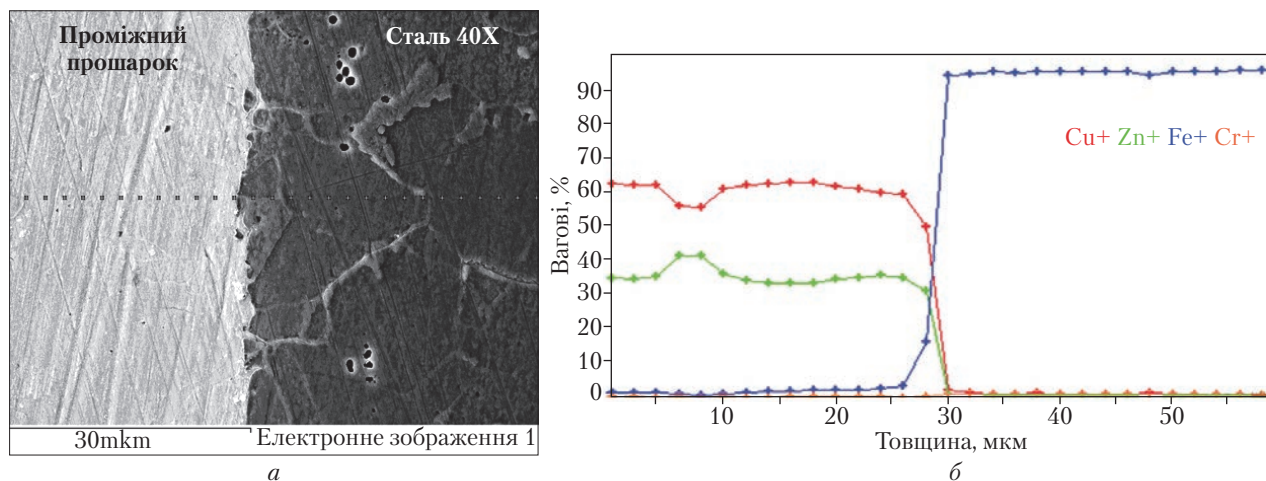


Рис. 11. Лінія з'єднання проміжний прошарок – сталь 40X (а, $\times 4000$) і результати рентгеноспектрального аналізу розподілу елементів у зоні з'єднання (б)

- пауза з можливістю багаторазового повторення, охолодження, зварювання 2 з модуляцією струму 2, проковка з включенням проковки під час проходження струму, пауза;
- ✦ управління тиристорним контактором і чотирма електропневмоклапанами;
- ✦ компенсація зміни напруги мережі живлення;
- ✦ стабілізація діючого значення зварювального струму;
- ✦ автоматичне налаштування на $\cos(\phi)$ зварювальної машини;
- ✦ вимірювання зварювального струму, температури зварюваних деталей в місці зварювання, а також напруги мережі живлення;
- ✦ контроль якості зварювання з допустимим відхиленням зварювального струму і/або температури в місці зварювання і/або прогнозуванням якості зварного з'єднання за математичною моделлю або нейронною мережею;
- ✦ збереження в пам'яті системи восьми заданих режимів зварювання при відключенні напруги живлення;
- ✦ автоматичний вибір будь-якого з восьми заданих режимів від зовнішнього сигналу управління,
- ✦ самодіагностика системи;

- ✦ зв'язок з персональним комп'ютером через канал послідовного обміну RS 232 або RS 485;
- ✦ програмний захист від несанкціонованого доступу до задання параметрів режиму зварювання.

Структурну схему системи наведено на рис. 5.

Мікроконтролер через вузол ВД зчитує сигнали дискретних датчиків (пуск зварювання, датчик перегріву тиристорів, контроль провідності тиристорів та ін.), а через вузол ВА – показники датчиків зварювального струму, температури в місці зварювання та напруги мережі живлення. Введення й контроль параметрів режиму зварювання здійснюється за допомогою клавіатури. Задані та вимірювані параметри відображаються на дисплеї. Виведення керуючих сигналів на електропневмоклапани й тиристори відбувається через вузол ВУ. Після закінчення зварювання дані про параметри процесу можуть передаватися на персональний комп'ютер або систему управління процесом контактного зварювання через послідовний канал зв'язку персонального комп'ютера.

Контроль процесу здійснюється за допусками на зварювальний струм і температуру в місці зварювання в кінці першого імпульсу струму. Допуск на струм становить 6 % від за-

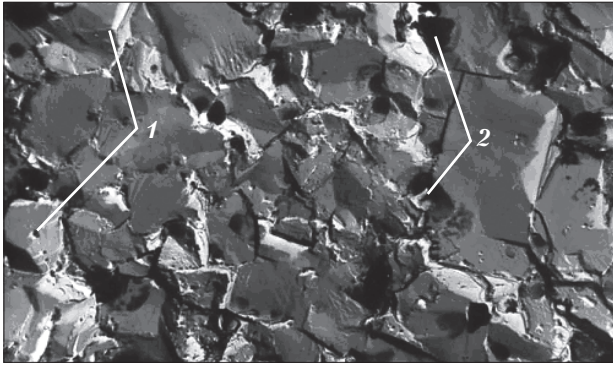


Рис. 12. Фрактограма зламу зразка ВК8+40Х після випробування на зсув ($\times 10000$): 1 – «язички», 2 – «вириви»

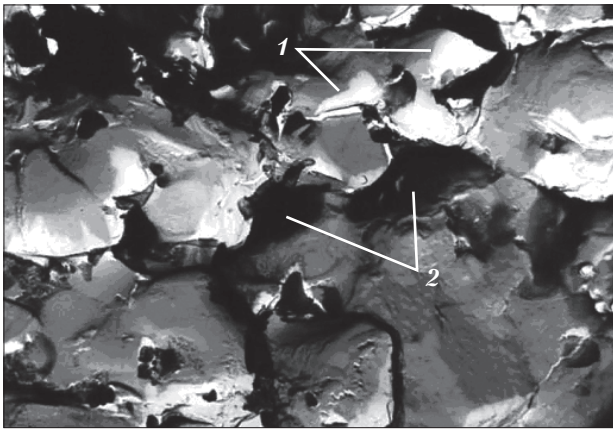


Рис. 13. Фрактограма зламу зразка ВК8+40Х після ударного руйнування ($\times 10000$): 1 – «язички», 2 – «вириви»

даного значення струму, допуск на температуру – 12 % від заданої температури. У разі виходу параметрів за межі допустимих значень, на дисплеї з'являється відповідне діагностичне повідомлення та подається зовнішній сигнал (звуковий або світловий).

МЕТАЛОГРАФІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Формування з'єднання по всій товщині деталей є рівномірним, залишкових шлакових включень не спостерігається. Дослідження макрошліфів (рис. 6) показало, що товщина проміжного прошарку при оптимальному режимі зварювання становить 0,28–0,34 мм. При цьому з'єднання мають механічні властивості на зсув $\tau = 240\text{--}260$ МПа. Зменшення товщини прошарку підвищує залишкові внут-

рішні напруження, що призводить до зниження міцності на зсув. Збільшення товщини прошарку також зменшує зазначену міцність, вочевидь завдяки зменшенню ефекту «тонкого прошарку» між двома плитами з набагато більшою жорсткістю.

В зоні термічного впливу на сталі 40Х на глибину до 120 мкм спостерігається зона перегріву з виділенням дрібнодисперсної бейнітно-перлітної структури з зонами доєвтектоїдного фериту, що свідчить про швидкість охолодження після зварювання від 200 °С/с. Така вузька зона термічного впливу (ЗТВ) отримана завдяки високій питомій потужності тепло-виділення й короткому часу зварювання. Ділянка повної перекристалізації складається із зернистої ферито-перлітної структури. Зона неповної перекристалізації характеризується різнозернистістю та наявністю ділянок з підвищеною мікротвердістю до 3200 МПа. При визначенні мікротвердості ЗТВ (рис. 7) вимірювання виконували на проміжному прошарку й сталі 40Х, на твердому сплаві ВК-8 заміри не виконували через високу твердість зерен карбиду вольфраму й порошкову структуру цього композиту.

Встановлено, що зниження мікротвердості в ЗТВ спостерігається на глибину до 300 мкм. Подальше вивчення за допомогою оптичної мікроскопії на збільшеннях понад $\times 400$ не виявило утворення нових фаз на лінії з'єднання чи проникнення розплаву в матеріал ВК-8.

Подальше вивчення когезійної взаємодії зварюваних матеріалів виконували методами електронної мікроскопії за допомогою растрового електронного мікроскопу JAMP-9500F фірми JEOL (Японія) з енергодисперсійним аналізатором LINK-860/500 фірми LINK (Великобританія) (рис. 8–11).

На рис. 12–13 показано фрактограми поверхні зламу зварних зразків ВК-8+40Х після випробувань на зсув та ударного руйнування. В обох випадках руйнування проходить по твердому сплаву, що пов'язано з концентрацією внутрішніх напружень в приконтатній

зоні ВК-8. Чітко видно зернисту структуру металокерамічного твердого сплаву. Однак казати про повністю крихкий злам в цьому випадку не можна, оскільки видно «язички» та «вириви», які свідчать про часткове проходження пластичної деформації. Крихкий злам по карбідним частинкам також може затримуватися за рахунок утворення дрібних виступів відриву, що свідчить про часткову пластичну деформацію. На деяких ділянках видно сходинки, що утворюють струменевий злам, лінії якого розташовані під різним кутами. Тут руйнування більш крихке порівняно з формуванням сходинок з плавними обрисами, що мають криву траєкторію. Не зважаючи на незначну роль пластичності при утворенні сходинок, це може суттєво змінити роботу, витрачену на руйнування. Напрямок локального руйнування помітно змінюється при переході з одного зерна на інше. На наведених мікрофрактограмах простежується картина «квазівідриву». Цей вид руйнування, поряд з характерними рисами крихкого відриву, має залишки деякої пластичної деформації та є перехідним від дуже крихких до пластичних зламів. Квазівідрив являє собою крихкий надрив в сусідніх малих ділянках та поєднання їх в єдину поверхню руйнування з деякою пластичною деформацією. Особливості будови крихких зламів, такі як сходинки у вигляді гребенів, сколів і язичків є характерними ознаками квазівідриву.

Таким чином, запропонований спосіб контактного зварювання опором з композицій-

ним прошарком дозволив отримати якісне з'єднання твердосплавного матеріалу ВК-8 зі сталлю 40Х при виготовленні зубів розпушувача барового ланцюга, яке характеризується високою продуктивністю та низькою собівартістю.

Проведені металографічні дослідження шліфів зварних з'єднань методами оптичної та растрової електронної мікроскопії показали вузьку зону термічного впливу, допустиме зниження мікротвердості та відсутність макродефектів. Експериментальні дослідження та аналіз параметрів контролю та управління процесом контактного зварювання опором з композитним прошарком показали, що температура зони зварювання, яка вимірювалася датчиком інфрачервоного випромінювання, корелює з якістю зварювання й може бути використана як параметр контролю та управління.

Розроблені системи автоматичного управління процесом зварювання на основі програмованого контролера та спеціалізованої комп'ютерної системи забезпечують стабільний цикл зварювання та управління за температурою зони зварювання. Розроблене дослідне устаткування для контактного зварювання опором твердосплавних зубів розпушувача барового ланцюга з матеріалу ВК-8 забезпечує належний термодформаційний цикл, автоматичне управління процесом і може бути використане для проектування відповідного промислового зразка.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Повышение долговечности баровых цепей. URL: <http://scbist.com/xx1/24786-02-1999-povyshenie-dolgovechnosti-barovyh-cepей.html> (дата звернення 29.03.2018).
2. USA Patent № US 8,426,762 B2. Kuchuk-Yatsenko V.S., Nakonechnyi A.A., Sakhatskiy A.G. Method of resistance butt welding using corrugated flux-filled metal inserts.
3. Патент України UA 78378. Наконечный А.О., Кучук-Яценко В.С., Сахацкий А.Г. Спосіб контактного зварювання опором.
4. Кучук-Яценко С.И., Зяхор И.В., Чернобай С.В., Наконечный А.А., Завертанный М.С. Структура соединений алюминиды титана γ -TiAl при контактной стыковой сварке сопротивлением с использованием промежуточных прослоек. *Автоматическая сварка*. 2015. № 9. С. 7–15.
5. Сварка твердых сплавов со сталями. URL: <http://mash-xxl.info/info/678604> (дата звернення 29.03.2018).
6. А. с. СССР № 1194630 А. Способ диффузионной сварки твердого сплава со сталью / В.И. Нечаев, А.В. Сергеев №3785935/25-27; заявл. 28.06.84; опубл. 30 11.85, Бюл. Ф 44.

7. Пайка металлокерамических твердых сплавов. URL: <http://www.drevniymir.ru/vostok02.html> (дата звернення 29.03.2018).
8. Технологии пайки. Пайка металлокерамических твердых сплавов. URL: <http://www.bsn-media.ru/?cat=48> (дата звернення 29.03.2018).
9. Рекомендации КЗТС по пайке пластин из твердого сплава. URL: http://www.ritscomp.ru/TV_SP/rekomendacii/rekom_5.htm (дата звернення 29.03.2018).
10. Кривенко В.Г, Руденко П.М., Гавриш В.С. Компьютерная система управления КСУ КС02 для контактных точечных машин. *Сварщик*. 2004. № 3(37). С. 3.

Стаття надійшла до редакції 24.04.18

REFERENCES

1. Increase of durability of bar chains. URL: <http://scbist.com/xx1/24786-02-1999-povyshenie-dolgovechnosti-barovyh-cepei.html> (Last accessed: 29.03.2018) [in Russian].
2. *USA Patent № US 8,426,762 B2*. Kuchuk-Yatsenko V. S., Nakonechnyi A. A., Sakhatskiy A. G. Method of resistance butt welding using corrugated flux-filled metal inserts.
3. *Patent of Ukraine UA 78378*. Kuchuk-Yatsenko V. S., Nakonechnyi A. A., Sakhatskiy A. G. Method of resistance welding.
4. Kuchuk-Yatsenko, S. I., Zyakhor, I. V., Chernobay, S. V., Nakonechny, A. A., Zavtitanii, M. S. (2015). Structure of titanium aluminum-titanium compounds γ -TiAl at resistance butt welding using interlayers. *Automatic welding*, 9, 7–15 [in Russian].
5. Welding of hard alloys with steels. URL: <http://mash-xxl.info/info/678604> (Last accessed: 29.03.2018).
6. *A. s. USSR No. 1194630 A*. The method of diffusion welding of a hard alloy with steel. V. Y. Nechaev, A. V. Sergeev. № 3785935 / 25-27 claimed. 28.06.84; publ. 30 11.85, Bul. F 44.
7. Soldering of metal-ceramic hard alloys. URL: <http://www.drevniymir.ru/vostok02.html> (Last accessed: 29.03.2018).
8. Soldering technologies. Soldering of metal-ceramic hard alloys. URL: <http://www.bsn-media.ru/?cat=48> (Last accessed: 29.03.2018).
9. Recommendations of CPC for soldering hard-alloy plates. URL: http://www.ritscomp.ru/TV_SP/rekomendacii/rekom_5.htm (Last accessed: 29.03.2018).
10. Krivenko, V. G., Rudenko, P. M., Gavrish, V. S. (2004). Computer control system KSU KS02 for contact point machines. *Welder*, 3(37), 3 [in Russian].

Received 24.04.18

*Kuchuk-Yatsenko, S.I., Havrysh, V.S., Rudenko, P.M.,
Nakonechny, A.A., Shevchuk, S.A., and Zavertannyi, M.S.*
Paton Electric Welding Institute, the NAS of Ukraine,
11, Kazymyr Malevych St., Kyiv, 03150, Ukraine,
+380 44 205 2370; +380 44 568 0486, office@paton.kiev.ua

DEVELOPMENT OF RESISTANCE BUTT WELDING TECHNOLOGY AND PROTOTYPE EQUIPMENT FOR JOINING CARBIDE BAR CHAIN RIPPER TEETH OF VK-8 MATERIAL

Introduction. The need for welding hard alloys with steel occurs in the tool industry and in other engineering industries while manufacturing carbide blanks that cannot be produced by conventional methods of powder metallurgy because of their size or configuration.

Problem Statement. The ripper teeth manufacturing from the hard alloys of the tungsten-cobalt group VK8 and steel 40X is an important and urgent task for improving of the bar chain operational reliability. In world practice, the soldering technology is used in an inductor or a gas flame with silver-based solders for manufacturing the teeth. However, this process is characterized by a low productivity and a high cost.

Purpose. Development of highly effective and relatively cheap technology to produce the bar chain ripper teeth and equipment for its implementation.

Materials and Methods. The research has been carried out on industrial samples of VK-8 hard alloy and 40X steel. The welded joint microstructure has been studied by optical and electron microscopy.

Results. The resistance welding technology of carbide bar chain ripper teeth from material VK-8 and steel 40X with the use of an intermediate composite layer has been developed. Experimental equipment based on resistant welding machine and computer control system has been created. Metallographic studies of weld joints have shown that the joints have no defects. The tests of the welded bar chain ripper teeth have proved that they provide the required service life.

Conclusions. The developed technology and equipment enable to reduce the cost and to increase the productivity of the welding process in comparison with the existing technologies. It has enabled to replace the imported bar chain ripper teeth with domestic products.

Keywords: resistance welding, intermediate composite layer, carbide materials, and computer control system.

*С.И. Кучук-Яценко, В.С. Гавриш, П.М. Руденко,
А.О. Наконечный, С.А. Шевчук, М.С. Завертаный*
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины,
ул. Казимира Малевича, 11, Киев, 03150, Украина,
+380 44 205 2370; +380 44 568 0486, office@paton.kiev.ua

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И СОЗДАНИЕ ОПЫТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКИ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ
ЗУБЬЕВ РЫХЛИТЕЛЯ БАРОВОЙ ЦЕПИ ИЗ МАТЕРИАЛА ВК-8**

Введение. Необходимость сварки твердых сплавов со сталью возникает в инструментальной промышленности и в ряде процессов в машиностроительных отраслях при изготовлении твердосплавных заготовок, которые по своим габаритам или конфигурации не могут быть получены обычными методами порошковой металлургии.

Проблематика. Изготовление зубьев рыхлителя из твердых сплавов вольфрамкобальтовой группы ВК8 и стали 40X является важной и актуальной задачей для повышения эксплуатационной надежности баровой цепи. В мировой практике при изготовлении ее зубьев используют технологию пайки в индукторе или газовым пламенем с припоями на основе серебра. Однако такой процесс отличается низкой производительностью и высокой себестоимостью.

Цель. Разработка высокоэффективной и относительно дешевой технологии изготовления зубьев рыхлителя баровой цепи и экспериментального оборудования для её реализации.

Материалы и методы. Исследования проводили на промышленных образцах из твердого сплава ВК-8 и стали 40X. Микроструктуру сварных соединений исследовали методами оптической и электронной микроскопии.

Результаты. Разработано технологию контактной сварки сопротивлением твердосплавных зубьев рыхлителя баровой цепи из материала ВК-8 со сталью 40X с использованием промежуточного композиционного слоя. Создано опытное оборудование на основе машины для контактной сварки и компьютерной системы управления. Металлографические исследования сварных соединений показали отсутствие у них дефектов. Проведенные испытания сварных зубьев рыхлителя баровой цепи доказали, что они обеспечивают требуемый ресурс эксплуатации.

Выводы. Разработанная технология и оборудование позволяют значительно снизить себестоимость и повысить производительность процесса сварки по сравнению с существующими технологиями и провести замещение зубьев рыхлителя баровой цепи импортного производства на отечественные разработки.

Ключевые слова: контактная сварка сопротивлением, промежуточный композиционный слой, твердосплавные материалы, компьютерная система управления.