

УДК 621.791

В. І. Савуляк, С. А. Заболотний, Д. В. Бакалець

## ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ПОЄДНАННЯМ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ І ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПАЯННЯ

Вінницький національний технічний університет

*В статті запропоновано використання поєднання технології зварювання та паяння в якості методу ремонту ділянок металоконструкцій, що пошкоджені тріщинами. Встановлено, що наявність мідних припоїв не погіршує процес зварювання та формування зварного шва, проте змінює його механічні властивості, зокрема ударну в'язкість.*

### ВСТУП

Металоконструкції транспортних та технологічних машин в процесі експлуатації отримують статичні та динамічні навантаження, під впливом яких на найбільш навантажених ділянках виникають тріщини та інші пошкодження [1].

Для підвищення якості відновлення цілісності та зміцнення цих ділянок та конструкцій доцільним є вдосконалення відомих методів та технологічних прийомів, а також розробка та впровадження нових.

Високу ефективність ремонту тріщин показує одночасне застосування методів зварювання та високотемпературного паяння [2], що дозволяє подовжити ресурс та покращити інші експлуатаційні властивості рам. Такий підхід дозволяє більш повно задовольнити сучасні експлуатаційні вимоги.

Найбільш розповсюдженими матеріалами для виготовлення зварних металоконструкцій транспортних засобів залишаються вуглецеві та низьколеговані сталі. Недоліком традиційних технологій зварювання є структурні перетворення в зоні термічного впливу (навколошовній зоні), що призводять до їх ослаблення та інтенсифікації корозійних процесів. Блокування корозії здійснюється різними способами, одним з яких є нанесення антикорозійних покриттів (кольорових металів) паянням.

Паяння вуглецевих та низьколегованих сталей не викликає особливих труднощів і може бути здійснено з використанням різноманітних припоїв і способів нагрівання. Це пояснюється тим, що окисна плівка на поверхнях цих сталей є хімічно нестійкою. Вона легко відновлюється та розчиняється у флюсах. За умов ретельної підготовки поверхні паяння таких сталей найчастіше всього здійснюється міддю або припоями на її основі.

Пильну увагу питанням взаємодії розплавів міді із сталями приділили В. В. Чигарьов, Ю. Г. Бобро, П. А. Гавриш та інші вчені. Достатньо висока рідкотекучість міді і здатність змочувати сталеві та інші поверхні дозволяє їй проникати в глиб найменших пошкоджень у металі і щільно заповнювати їх. Відома думка про негативний вплив такого процесу [3] контактування сталі з рідкою міддю (мідними сплавами), що супроводжується міжкристалітним проникненням міді в сталь (МКП). Як результат тріщини у вигляді «клинів», що мають місце на дефектній поверхні відновлюваної деталі, глибина яких може сягати від 0,01 до 40 мм, заповнюються міддю. На думку цих авторів таке проникнення істотно знижує механічні властивості сталі ( $\sigma_{0,2}$ ,  $\sigma_t$ ,  $\sigma_{-1}$ ,  $\delta$ ) і, особливо, пластичні. Механізм МКП пояснюється на основі уявлень про адсорбційне зниження міцності, міжзернову корозію і дифузію під впливом напружень, розклинувальну дію рідкої міді [4].

Тріщини при наплавленні міді на сталь утворюються в результаті спільного дії рідкої міді, проникаючої в мікронадриви, які виникають при кристалізації матричної фази - сталі (ефект Ребіндера), і термічних напружень розтягу. Необхідною умовою виникнення цього ефекту є наявність змочування стінок капіляра-тріщини. З двох фаз, присутніх в розглянутих сталях, рідка мідь змочує аустеніт ( $\gamma$ -фазу) і не змочує ферит ( $\alpha$ -фазу). Визначено, що розклинувальний тиск рідкої міді на сталь становить приблизно 25 МПа.

Проникання міді в сталь на глибину від декількох мікрметрів до декількох десятків міліметрів при наплавленні, зварюванні і паянні відзначено в роботах [5-7]. При цьому допустима глибина проникнення, що не впливає на механічні властивості сталі, обмежується 0,3-0,5 мм. Вважають, що на проникання міді в сталь при наплавленні, зварюванні, паянні впливають такі фактори: час контактування розпавленої міді зі сталлю, із збільшенням якого збільшується глибина проникнення;

напружений стан металу при наплавленні, зварюванні і паянні; структурний стан, хімічний склад сталі.

Інститутом проблем матеріалознавства НАНУ [8] запропоновано принципову схему комбінування зварювання внапуск і паяння. Вона полягає в розміщенні паяльного матеріалу між листами безпосередньо в зоні дії зварювальної дуги. Зварювання відбувається по крайках листів з одночасним розплавленням припою. Авторами отримано авторське свідоцтво, проте подальшого розвитку цей напрямок не набув.

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

Підсилення та ремонт ділянок металоконструкцій із зародженими тріщинами можливе шляхом приварювання додаткових елементів [9]. Така технологія ремонту забезпечує підвищення міцності конструкції, але її недоліком є ослаблення металу в зоні температурного впливу та зменшення у цій зоні корозійної стійкості. Один із способів усунення таких недоліків полягає у використанні технології, яка поєднує процеси зварювання та паяння [10]. Технологія передбачає використання припоїв з необхідною температурою плавлення для підвищення міцності зварних з'єднань внапуск, а також підвищення корозійної стійкості навколошовної зони. Особливістю є те, що припой встановлюється між основними елементами, які зварюються, та розплавляється за рахунок теплоти від процесу зварювання, яка збільшує температуру навколошовної зони (рис.1).

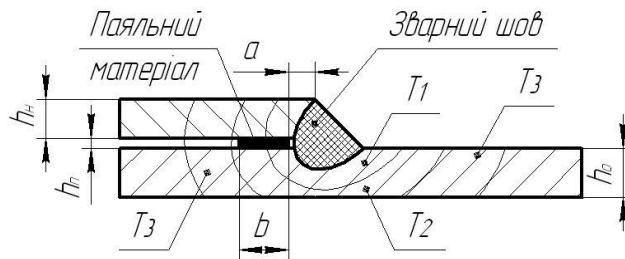


Рисунок 1 – Спосіб зварювання внапуск

Попередніми дослідженнями [11] встановлено, що відновлення та зміцнення металоконструкцій шляхом заліковування пошкоджень сплавами на основі міді забезпечує гальмування тріщин, істотно збільшує їх живучість.

Допустимий зазор між деталями, що зварюються внапуск, регламентується ГОСТом 5264-80, залежить від товщини деталей і може становити до 2 мм. Відповідно до цього необхідно використовувати смужки паяльного матеріалу із товщиною, що не перевищує 2 мм.

Визначення оптимальних режимів зварювання та паяння доцільно проводити методом моделювання процесу із використанням спеціалізованого програмного забезпечення на основі кінцево-елементного аналізу [10]. Розроблено модель, яка дозволила аналізувати в часі теплові поля в процесі зварювання та охолодження деталі, а саме визначати зміни температур в різних точках об'єму матеріалу деталі та припою (рис. 2).

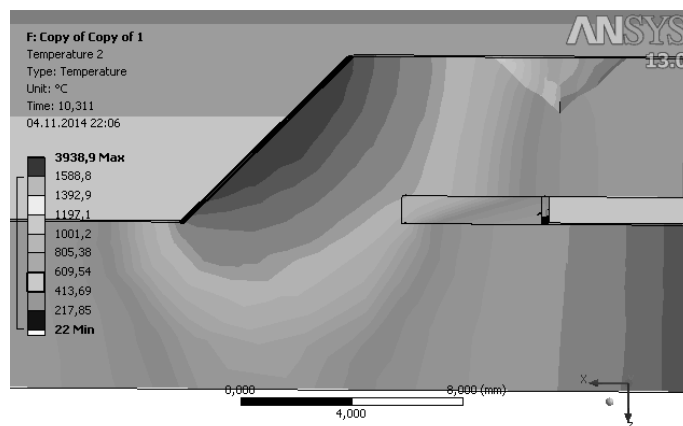


Рисунок 2 – Результати моделювання температурного поля в зоні приварювання накладки

Для визначення запасу міцності зразків, з'єднаних за описаною вище технологією, нами було проведено випробування на розривній машині. Оскільки чітких стандартів щодо проведення випробувань зварних з'єднань внапуск знайдено не було, вирішено використати відомі методики випробувань, що подібні з умовами роботи конструкції, описані в [11]. Схеми випробувань показано на рисунку 3.

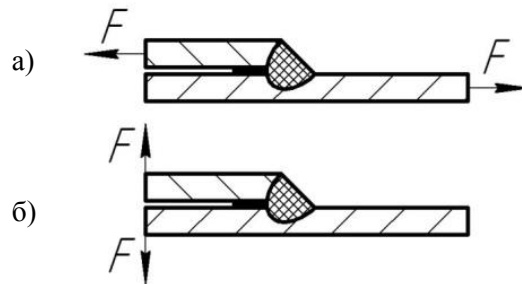


Рисунок 3 – Схеми випробувань: а) – зсув, б) – позacentральний розтяг

В результаті випробувань на зсув встановлено, що руйнування усіх зразків відбувалось поза зварним швом та зоною запаювання, у зоні температурного впливу. У випробуваннях на позacentральний розтяг виявлено, що руйнування місця запаювання має в'язкий характер, відбувається по криволінійній поверхні і в деяких місцях проходить по основному металу деталі без руйнування припою, що свідчить про високу міцність такого з'єднання.

Разом з тим при використанні такої технології для ремонту не виключена можливість попадання мідного припою в зварний шов. Дослідженням впливу такого легування зварного шва на зміну механічних властивостей з'єднання приділено досить багато уваги. У розглянутих роботах [3–7] наведена узагальнена інформація, яка вказує на погіршення механічних властивостей із збільшенням частки міді у зварному шві, проте не розкриває повної картини впливу такого легування на конкретні показники міцності. З іншого боку є низка робіт, які вказують на позитивний вплив легування міддю на залізобуглецеві сплави [2, 10, 11].

Така інформація є досить важливою для реалізації зварювання-паяння, оскільки потрібно знати чи компенсується підвищення крихкості зварного шва в результаті попадання до нього припою за рахунок адгезії, що виникає при розплавленні припою в навколошовній зоні біля кореня шва.

В нашій роботі виконані дослідження впливу вмісту міді в шві на ударну в'язкість зварених зразків. Легування шва проводили шляхом розміщення мідного припою у вигляді смужки між зварними деталями, яка в процесі зварювання розплавлялась (рис. 4). Кількість розчиненої міді у зварному шві регламентувалась шириною пластинки припою.

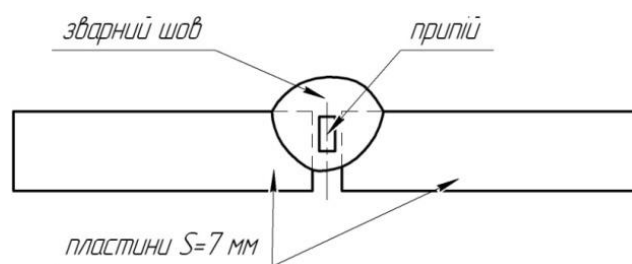


Рисунок 4 – Схема легування шва

Зварювання проводили на прямій полярності електродом УОНИ 13/45 та в середовищі вуглекислого газу дротом СВ 08Г2СА.

Наявність мідного припою не спричиняло негативного впливу на процес зварювання. Проведено дослідження кратерів, що навмисне не заварювались при ручному дуговому зварюванні (рис. 5, а) і напівавтоматичному в середовищі  $\text{CO}_2$  (рис. 5, б). В їх центрах виявлено наявність поодиноких дефектів (пор, дрібних тріщин), у місці виходу припою при ручному дуговому зварюванні та магістральних тріщин, що заходили на певну відстань в зварний шов при напівавтоматичному зварюванні в середовищі  $\text{CO}_2$ . Тому подальші випробування зразків, заварених в середовищі  $\text{CO}_2$ , не проводились.

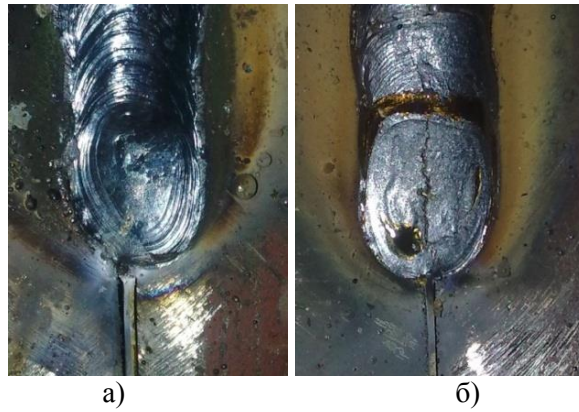


Рисунок 5 – Кратер зварного шва: а) ручного дугового зварювання; б) напівавтоматичного в середовищі CO<sub>2</sub>

Після зварювання проводили виготовлення зразків для визначення ударної вязкості, та супутньо проводили макроаналіз поперечного перерізу зварних швів, який показав повне розплавлення припою у зразках з вмістом міді до 2% (рис. 6, а). На межі 2% виявлено ледь помітне випотівання міді по кореневі шва (рис. 6, б). Із збільшенням частки міді її надлишки накопичуються в корені шва, заповнюючи зону непровару (рис. 6, в). На всіх зразках не виявлено дефектів.

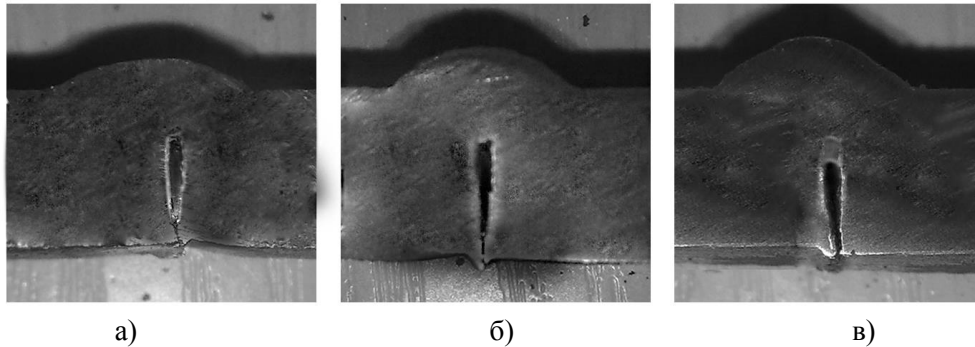


Рисунок 6 – Макрошліфи швів з часткою припою у зварному шві: а) 0.68%; б) 2.05%; в) 4.09%

Випробування на ударну в'язкість проводилися на маятниковому копрі моделі 2010 КМ - 30 , з енергією удару 300 Дж зразків, заварених РДЗ. Значення ударної в'язкості для зразків, заварених без припою та з різною кількістю припою, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати випробовування на ударну в'язкість

Об'ємна частка припою, %	0	0,68	1,36	2,05	2,73	3,41	4,09
КС зразка № 1, кГ·м/см <sup>2</sup>	4,4	3,4	3	2,4	3,8	2,2	4,4
КС зразка № 2, кГ·м/см <sup>2</sup>	3,9	3,4	1,6	3,8	3,6	1	5,8
КС зразка № 3, кГ·м/см <sup>2</sup>	4,1	2,2	3,6	3,4	3	7,8	2,8
Середнє значення	4,13	3	2,73	3,2	3,47	3,67	4,33

Із усередненого графіка (рис. 7) видно, що із збільшенням частки припою у зварному шві до 1,36 % відбувається зменшення ударної в'язкості. Проте із подальшим збільшенням частки припою показники ударної в'язкості зростають.

Кількість введеного припою обмежувалась можливістю його повного розплавлення. При повторенні експерименту із збільшенням вмісту мідного припою до 8 % руйнування відбувалось не по зварному шві, а по зоні термічного впливу. Значення ударної в'язкості за результатами випробувань коливалось в межах кГ·м/см<sup>2</sup>.

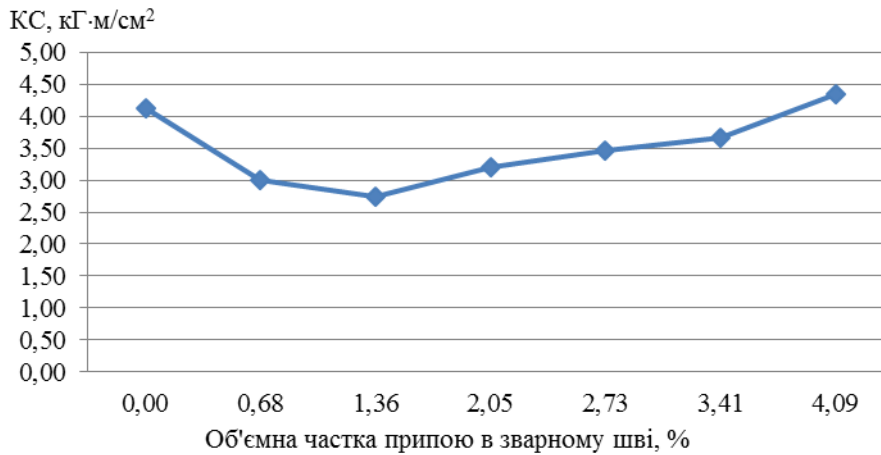


Рисунок 7 – Залежність ударної вязкості зварного шва від об'ємної частки припою у ньому

Додаткових досліджень вимагає необхідність встановлення оптимальних розмірів "вставок" міді, що впливають не тільки на можливу зміну концентрації частки міді у матеріалі зварного шва, а і на його макрогеометрію (ширину, глибину проплавлення, висоту підсилення) та механічні властивості. Такий вплив встановлений попередніми дослідженнями, що підтверджується макрошліфами (див. рис. 6). Видно, що збільшення розмірів мідної вставки забезпечує зростання тепловідведення із зони зварювання, що призводить до зменшення глибини проплавлення та збільшення висоти підсилення.

#### ВИСНОВКИ

Реалізація комбінованого зварювання з використанням припоїв на основі міді не виключає можливості попадання мідного припою в зварний шов. Проведеними випробуваннями встановлено, що наявність мідних припоїв не погіршують процес зварювання та формування зварного шва, проте змінює його механічні властивості, зокрема ударну в'язкість.

Після досягнення порогу розчинення міді в металі зварної ванни вона починає скупчуватись в корені зварного шва, таким чином підвищуючи його міцність.

Відновлення та зміцнення сталевих конструкцій шляхом використання комбінованого зварювання з використанням припоїв на основі міді окрім підвищення характеристик міцності такого з'єднання забезпечує корозійний захист зони термічного впливу.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Максапетян Г. В. Определение напряженного состояния рам грузовых автомобилей при различных кузовах / Г. В. Максапетян, Г. Дж. Кочинян // Сборник научных трудов АрмСХИ. – 1977. – Вып. XXVIII. – С. 112–115.
2. Савуляк В. І. Поєднання зварювання та паяння для ремонту рам транспортних засобів / В. І. Савуляк, С. А. Заболотний, Д. В. Бакалець // Проблеми трибології. – 2014. – №3(73). – С17–21.
3. Сварка меди со сталью в среде углекислого газа / Н. Г. Лосицкий, В. Я. Глушко, А. Е. Митус и др. // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1973. – № 6. – С. 26–28.
4. Сварка разнородных металлов и сплавов В. Р. Рябов, Д. М. Рабкин, Р. С. Курочко, Л. Г. Стрижевская. – М. : Машиностроение, 1984.
5. Вайнерман А. Е. О влиянии проникновения медного сплава на свойства соединений, получаемых наплавкой сплавов на сталь / А. Е. Вайнерман // Наплавка металлов. – Л. : ЛДНТП, 1970. – Ч. II. – С. 25–35.
6. Грудзинский Б. В. О взаимодействии расплавленной меди со сталями при наплавке и сварке / Б. В. Грудзинский, И. А. Шлямнева, Г. А. Степанов // Сварочное производство. – 1970. – № 12. – С. 10–12.
7. Рабкин Д. М. Сварка разнородных металлов. / Д. М. Рабкин, В. Р. Рябов, С. М. Гуревич. – К. : Техника, 1976. – 208 с.
8. Патент на корисну модель 21033 Україна, МПК В23К 9/23 (2006.01). Спосіб нероз'ємного з'єднання металічних конструкцій елементів зварюванням плавленням / Кльонишев В. В.,

Колодяжний А. В., Головня В. В., Маштаков М. М. – № у 201300304 ; заявл. 09.12.1992 ; опубл. 07.10.1997, Бюл. № 10. – 4 с.

9. Бакалець Д. В. Підвищення надійності та відновлення металоконструкцій транспортних та сільськогосподарських машин / Д. В. Бакалець, В. І. Савуляк // Технічні науки : збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – Вінниця, 2012. – Випуск 11(66), т. 2. – С. 302–306.

10. Savulyak V. I. Improvement of strengthening and repair of frame structures welding methods / V. I. Savulyak, S. A. Zabolotniy, D. V. Bakalets / New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies. – 2013. – № 20. – S. 189–192.

11. Савуляк В. І. Вплив заліковування тріщин мідними сплавами на міцність сталевих конструкцій / В. І. Савуляк, Д. В. Бакалець // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 4. – С. 172–175.

#### REFERENCES

1. Maksapetyan G.V. Opredelenie napryazhennogo sostoyaniya ram gruzovyh avtomobilej pri razlichnyh kuzovah / G.V Maksapetyan, G. Dzh. Kochinyan // Sbornik nauchnyh trudov ArmSKHI. – 1977. – Выр. XXVIII. – S. 112–115.

2. Savulyak V. I. Poednannya zvaryuvannya ta payannya dlya remontu ram transportnih zasobiv / V. I. Savulyak, S. A. Zabolotnij, D. V. Bakalec' // Problemi tribologii. – 2014. – № 3(73). – S. 17–21.

3. Svarka medi so stal'yu v srede uglekislogo gaza / N. G. Losickij, V. YA. Glushko, A. E. Mitus i dr. // Himicheskoe i neftyanoe mashinostroenie. – 1973. – № 6.– S. 26–28.

4. Svarka raznorodnyh metallov i splavov // V. R. Ryabov, D. M. Rabkin, R. S. Kurochko, L. G. Strizhevckaya. – М. : Mashinostroenie, 1984.

5. Vajnerman A. E. O vliyanii pronikoveniya mednoro splava na svojstva soedinenij, poluchaemyh naplavkoj splavov na stal' / Vajnerman A. E // Naplavka metallov. – L. : LDNTP, 1970. – Ch. II. – S. 25–35.

6. Grudzinskij B. V. O vzaimodejstvii rasplavlennoj medi so stalyami pri naplavke i svarke / B. V. Grudzinskij, I. A. SHlyamneva, G. A. Stepanov // Svarochnoe proizvodstvo. – 1970. – № 12. – S. 10–12.

7. Rabkin D. M. Svarka raznorodnih metallov. / D. M. Rabkin, V. R. Ryabov, S. M. Gurevich. – K. : Tekhnika, 1976. – 208 s.

8. Patent na korisnu model' 21033 Ukraina, MPK B23K 9/23 (2006.01). Sposib nerozemnogo zednannya metalichnih konstrukcij elementiv zvaryuvannyam plavlennyam / Kl'onishev V. V., Kolodyazhnyj A. V., Golovnya V. V., Mashtakov M. M. – № у 201300304 ; zayavl. 09.12.1992 ; opubl. 07.10.1997, Byul. № 10. – 4 s.

9. Bakalec' D. V. Pidvishchennya nadijnosti ta vidnovlennya metalokonstrukcij transportnih ta sil'skogospodars'kih mashin / D. V. Bakalec', V. I. Savulyak // Tekhnichni nauki : Zbirnik naukovih prac' Vinnic'kogo nacional'nogo agrarnogo universitetu. – V., 2012. – Vipusk 11(66), t. 2. – S. 302–306.

10. Savulyak V. I. Improvement of strengthening and repair of frame structures welding methods / V. I. Savulyak, S. A. Zabolotniy, D. V. Bakalets / New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies. – 2013. – № 20. – S. 189–192.

11. Savulyak V. I. Vpliv zalikovuvannya trishchin midnimi splavami na micnist' stalevih konstrukcij / V. I. Savulyak, D. V. Bakalec' // Visnik Vinnic'kogo politekhnichnogo institutu. – 2012. – № 4. – S. 172–175.

**В. І. Савуляк, С. А. Заболотний, Д. В. Бакалець**

### **ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ПОЄДНАННЯМ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ І ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПАЯННЯ**

Вінницький національний технічний університет

В статті запропоновано використання поєднання технології зварювання та паяння в якості методу ремонту ділянок металоконструкцій, що пошкоджені тріщинами.

Об'єкт дослідження – зварний шов та навколошовна зона, що сформовані технологією зварювання-паяння.

Мета роботи – визначення впливу кількості розчиненої міді у об'ємі зварного шва на ударну в'язкість з'єднання.

Підсилення та ремонт ділянок металоконструкцій із зародженими тріщинами можливе шляхом приварювання додаткових елементів. Таке технологічне рішення забезпечує підвищення міцності

конструкції, але одночасно призводить до негативної зміни структури в зоні температурного впливу та зменшення у ній корозійної стійкості.

Один із способів усунення таких недоліків полягає у поєднанні процесів зварювання та паяння. В якості паяльного матеріалу для захисту навколошовної зони запропоновано використовувати мідь. В наслідок потрапляння та розчинення міді у зварному шві можлива зміна механічних характеристик з'єднання. В роботі виконані дослідження впливу вмісту міді в шві на ударну в'язкість зварених зразків.

Встановлено, що наявність мідних припоїв не погіршує процес зварювання та формування зварного шва, проте змінює його механічні властивості, зокрема ударну в'язкість. Відновлення та зміцнення сталевих конструкцій шляхом використання комбінованого зварювання з використанням припоїв на основі міді окрім підвищення характеристик міцності такого з'єднання забезпечує корозійний захист зони термічного впливу.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ЗВАРЮВАННЯ, ПАЯННЯ, ТРІЩИНИ, МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЇ, УДАРНА В'ЯЗКІСТЬ, ЗВАРНИЙ ШОВ.

Савуляк Валерій Іванович, доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри технології підвищення зносостійкості ВНТУ, e-mail: vsavulyak@mail.ru, тел. +380963507247, Україна, 21000, м. Вінниця, вул. Воїнів Інтернаціоналістів, 3, к. 311.

Заболотний Сергій Антонович, кандидат технічних наук, Вінницький національний технічний університет, доцент кафедри технології підвищення зносостійкості ВНТУ, e-mail: zab82@mail.ru, тел. +380972377320, Україна, 21000, м. Вінниця, вул. Пирогова 76а, кв.32.

Бакалець Дмитро Віталійович, Вінницький національний технічний університет, асистент кафедри технології підвищення зносостійкості ВНТУ, e-mail: bacalets\_dima@mail.ru, тел. +380976637686, Україна, 21000, м. Вінниця, вул. Келецька 99, кв. 160

**V. I. Savuliak, S. A. Zabolotnui, D. V. Bakalets**

## **UPGRADING OF RENEWAL AND STRENGTHENING OF METALLIC CONSTRUCTIONS BY THE WAY OF COMBINATION OF PROCESSES OF WELDING AND HIGH TEMPERATURE SOLDERING**

Vinnitsia National Technical University

The using of combination of technology of welding and soldering as a method of repair of areas of metallic constructions, that are damaged by cracks, is offered in the article.

A research object is the weld-fabricated guy-sutures and round guy-sutures area, that formed technology of welding-soldering.

A purpose of work is determination of influence of amount of cut-in copper in the volume of the weld-fabricated guy-sutures on impact resistance of connection.

Strengthening and repair of areas of metallic constructions with the engendered cracks are possible by the way of welding on of additional elements. Such technological decision provides the increase of durability of construction, but at the same time leads to the negative change of structure in the temperature affected zone and diminishing of corrosive firmness in it.

One of methods of removal of such failings consists in combination of processes of welding and soldering. In quality of soldering material for defence of round guy-sutures area it is suggested to use a copper. As a result of hit and dissolution of copper there is a possible change of mechanical descriptions of connection in the weld-fabricated guy-sutures. In this work is the executed researches of influence of content of copper are in guy-sutures on impact resistance of the welded standards.

It is set that the presence of copper solders is not worsened by the process of welding and forming of the weld-fabricated guy-sutures, however changes it mechanical properties, in particular impact resistance. Renewal and strengthening of steel constructions by the way of using of the combined welding with the use of solders on the basis of copper except for the increase of descriptions of durability of such connection provides corrosive defence of the thermal affected zone.

**KEYWORDS:** WELDING, SOLDERING, CRACKS, METALLIC CONSTRUCTIONS, SHOCK VISCIDITY, WELD-FABRICATED GUY-SUTURES.

Savuliak Valerii I. – Dr. Sc. (Eng.), Professor, , Head of the Chair of Technology of Increase of Wearproofness of Vinnytsia National Technical University, e-mail: vsavulyak@mail.ru, tel. +380963507247, Ukraine, 21000, Vinnytsia, Voiniv Internationalistiv str., 3, 311.

Zabolotnui Serhii A. – Cand. Sc. (Eng.), , Assistant Professor of the Chair of Technology of Increase of Wearproofness of Vinnytsia National Technical University, e-mail: zab82@mail.ru, tel. +380972377320, Ukraine, 21000, Vinnytsia, Pyrogova str., 76a, 32.

Bakalets Dmytro V. – Assistant of the Chair of Technology of Increase of Wearproofness of Vinnytsia National Technical University, e-mail: bakalets\_dima@mail.ru, tel. +380976637686, Ukraine, 21000, Vinnytsia, Keletska str., 99,160.

**В. И. Савуляк, С. А. Заболотный, Д. В. Бакалец**

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УКРЕПЛЕНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ СОЧЕТАНИЕМ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПАЙКИ**

Винницкий национальный технический университет

В статье предложено использование сочетания технологии сварки и пайки в качестве метода ремонта участков металлоконструкций поврежденных трещинами.

Объект исследования - сварной шов и околошовная зона, сформированные технологиями сварки-пайки.

Цель работы - определение влияния количества растворенной меди в объеме сварного шва на ударную вязкость соединения.

Усиление и ремонт участков металлоконструкций с трещинами возможно путем приварки дополнительных элементов. Такое технологическое решение обеспечивает повышение прочности конструкции, но одновременно приводит к негативному изменению структуры в зоне температурного влияния и уменьшение в ней коррозионной стойкости.

Один из способов устранения таких недостатков заключается в сочетании процессов сварки и пайки. В качестве паяльного материала для защиты околошовной зоны предложено использовать медь. В следствие попадания и растворения меди в сварном шве возможно изменение механических характеристик соединения. В работе выполнены исследования влияния содержания меди в шве на ударную вязкость сварных образцов.

Установлено, что наличие медных припоев не ухудшает процесс сварки и формирования сварного шва, однако изменяет его механические свойства, в частности ударную вязкость. Восстановление и упрочнение стальных конструкций путем использования комбинированной сварки с использованием припоев на основе меди кроме повышения характеристик прочности такого соединения обеспечивает коррозионную защиту зоны термического влияния.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** СВАРКА, ПАЙКА, ТРЕЩИНЫ, МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ, УДАРНАЯ ВЯЗКОСТЬ, СВАРНОЙ ШОВ.

Савуляк Валерий Иванович, доктор технических наук, профессор, Винницкий национальный технический университет, заведующий кафедры технологии повышения износостойкости ВНТУ, e-mail: vsavulyak@mail.ru, тел. +380963507247, Украина, 21000, г. Винница, ул. Воинов Интернационалистов, 3, к. 311

Заболотный Сергей Антонович, кандидат технических наук, Винницкий национальный технический университет, доцент кафедры технологии повышения износостойкости ВНТУ, e-mail: zab82@mail.ru, тел. +380972377320, Украина, 21000, г. Винница, ул. Пирогова 76а, кв.32

Бакалец Дмитрий Витальевич, Винницкий национальный технический университет, ассистент кафедры технологии повышения износостойкости ВНТУ, e-mail: bakalets\_dima@mail.ru, тел. +380976637686, Украина, 21000, г. Винница, ул. Келецкая 99, кв.160