

УДК 621.791

В. І. Савуляк, д-р. техн. наук, проф.; Д. В. Бакалець, асп.

## ВПЛИВ ЗАЛКОВУВАННЯ ТРІЩИН МІДНИМИ СПЛАВАМИ НА МІЦНІСТЬ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

*Розглянуто технологію залковування тріщин мідними сплавами. Доведено позитивний вплив цього процесу на міцність пошкоджених тріщинами сталевих деталей.*

### Вступ

Неоднорідність будови реальних металів призводять до того, що навіть за малих деформацій окремі зерна швидко накопичують пошкодження та граничні внутрішні напруження. Утворюються зони з великою кількістю площин ковзання, з'єднаних між собою поперечними надривами. У цих зонах виникають пори, які стають зародками мікротріщин [1].

У випадку дії напружень, змінних у часі, накопичуються пошкодження, що призводить до зростання мікротріщини, яке неминуче спричиняє поступове зменшення перерізу та ослаблення конструкції.

Встановлено, що тривалість роботи деталей з тріщинами в умовах дії циклічних навантажень становить 10...80 відсотків сумарного напрацювання на відмову. При цьому, відмова може відбутися раптово, у разі відносно малих навантажень, що робить руйнування дуже небезпечним [2].

Необхідно зазначити, що найпрогресивніший напрямок збільшення довговічності та покращення експлуатаційних властивостей деталей машин полягає в комбінуванні технологій залковування тріщин, які утворились в процесі експлуатації, з використанням різних процесів зміцнювальних технологій. Це дозволяє найповнішою мірою задовольнити сучасні запити практики.

*Метою роботи є вивчення та дослідження процесу відновлювального зміцнення шляхом залковування пошкоджень у вигляді тріщин заповненням їх розплавами міді.*

### Матеріали та методика досліджень

Для проведення експериментальної частини досліджень виготовлено сталеві зразки (рис. 1) за ГОСТ 1497-84. На горизонтальній поверхні яких механічною обробкою виготовлено пази та за рахунок згинання-розгинання у фронтальній площині отримано сітку мікротріщин. На рис. 2 зображено схему розробленої установки, яка дозволила реалізувати технологію запаювання тріщин сплавами на основі міді.

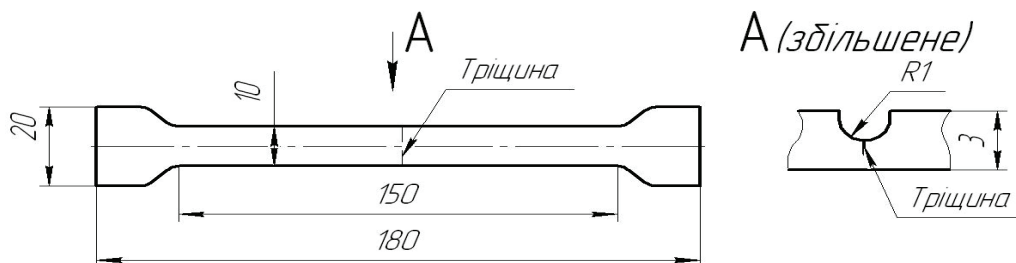


Рис. 1. Креслення дослідного зразка

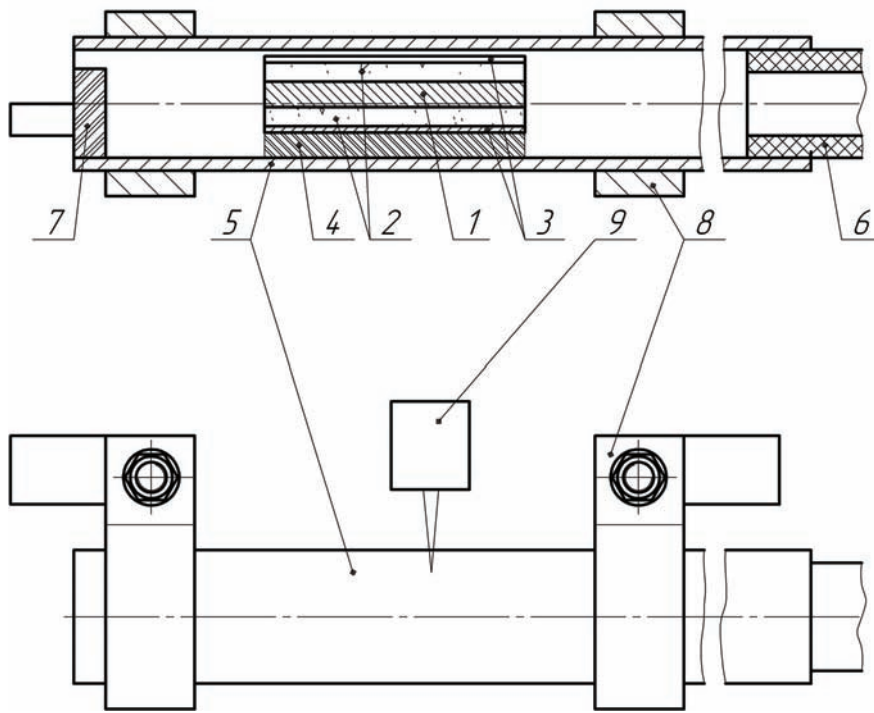


Рис. 2. Схема установки для відновлювального зміцнення:  
 1 – деталь; 2 – флюс; 3 – присадний матеріал з листового мідного сплаву; 4 – підставка;  
 5 – камера нагрівання; 6 – трубопровід для підведення аргону; 7 – заглушка;  
 8 – затискач для підведення струму, 9 – термопара

Деталі 1 з тріщинами обгортали мідним присадним матеріалом 3 і розміщували на керамічній підкладці 4 у камері 5. Нагрівання камери здійснювалось постійним струмом через затискачі для підведення струму 8.

Для усунення негативного впливу розбіжності у температурах плавлення, різниці в теплопровідності і теплоємності між залізом та міддю, високої спорідненості міді до кисню, її високої рідкотекучості, схильності до пористості та появи крихкої евтектики  $\text{Cu} + \text{Cu}_2\text{O}$  процес відновлювального зміцнення проводився в захисному інертному середовищі аргону. Подача чистого газу в камеру нагрівання 5 проводилась через трубопровід 6, а забруднений випарами та окислами газ видалявся через отвір у заглушці 7 до системи вентиляції. Температура нагрівання камери вимірювалась термопарами 9 та фіксувалась самописцем. Обробка тривала від декількох хвилин до години з плавним збільшенням температури від кімнатної до  $1200\text{ }^\circ\text{C}$ . Після відновлювального зміцнення проводились випробування зразків на розрив. Дослідження мікроструктури зони контакту мідного сплаву з поверхнею зразка проводили на мікросліфах, виготовлених за ГОСТ 11545-65.

### Результати досліджень та їх обговорення

Під дією теплоти, що виділялась в результаті пропускання струму через металевий корпус камери 5 (рис. 2), відбувалось поступове нагрівання усієї системи і розплавлення мідного сплаву та його стікання на поверхню зразка. Наявність флюсу на основі бури та інертного середовища забезпечило якісне змочування поверхні розплавом, та його проникнення у тріщини. На рис. 3 показано заповнені мідним сплавом тріщини у вигляді «клинів», що мали місце на дефектній поверхні відновлюваної деталі. Глибина залікованих тріщин сягає кількох міліметрів. Процес контактування сталі з рідкою міддю (мідними сплавами) супроводжується міжкристалітним проникненням міді в сталь (МКП). Механізм МКП детально досліджувався в роботі [3] і пояснюється на основі уявлень про адсорбційне проникнення рідких матеріалів по границях зерен та через мікротріщини у глибину поверхневого шару твердого тіла.

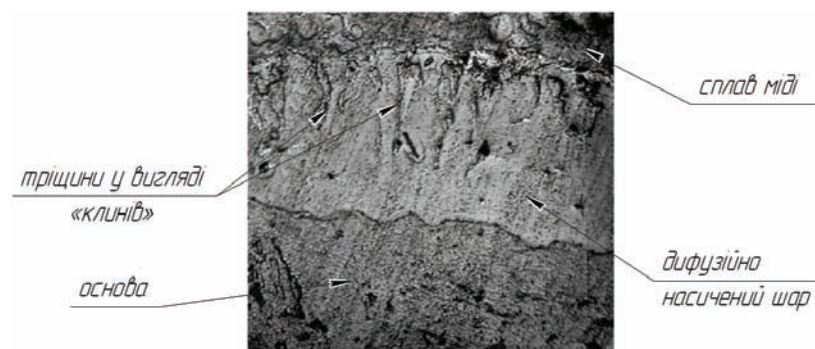


Рис. 3. Мікроструктура сталеві деталі з мікротріщинами заповненими сплавом міді

Вважається, що це істотно знижує механічні властивості сталі ( $\sigma_{0,2}$ ,  $\sigma_B$ ,  $\sigma_{-1}$ ,  $\delta$ ) і особливо пластичні. Для визначення запасу міцності зони з тріщиною авторами проведено випробування на розривну міцність зразків після заліковування ушкоджених зон мідними сплавами. Виявлено, що руйнування зразків, відбувалось поза зоною зміцнення (рис. 4).

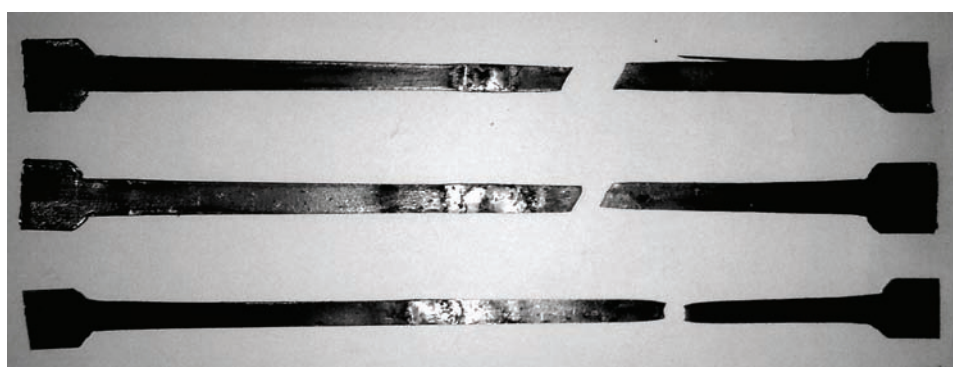


Рис. 4. Зразки після випробування на розрив

Мікроструктурний аналіз зони заліковування тріщин показав, що у поверхневому шарі зразків, що піддавались тривалій витримці у камері нагрівання, виявлено явно виражену зону, що ймовірно усього, утворилась за рахунок процесу дифузійного насичення сталі елементами з розплаву міді та флюсу.

При кімнатній температурі залізо з міддю утворює тверді розчини заліза в міді ( $\epsilon$ -фаза, вміст  $Fe \leq 0,2\%$ ), міді в  $\alpha$ -залізі ( $0,3\% Cu$ ) і суміші цих розчинів ( $\alpha + \epsilon$ ). Розчинність міді в  $\alpha$ -залізі менше, ніж у  $\gamma$ -залізі. При  $850\text{ }^\circ C$  максимальна розчинність міді в  $\delta$ -,  $\gamma$ - і  $\alpha$ -залізі становить, відповідно, 6,5, 8 і 1,4%. Розчинність заліза в міді зменшується з пониженням температури з 4% при  $1094\text{ }^\circ C$  до 0,4% при  $750\text{ }^\circ C$ ; при  $650\text{ }^\circ C$  – падає до 0,2% і з подальшим зниженням температури змінюється незначно [4, 5].

У технічно чистому залізі аустеніт існує в інтервалі температур  $910...1401\text{ }^\circ C$ ; а у вуглецевих сталях – при температурах не нижче  $723\text{ }^\circ C$ . У легованих сталях аустеніт може існувати і при набагато нижчих температурах.

В сталях, що містять інші метали (крім заліза, леговані сталі), атоми металів заміщають атоми заліза в кристалічній ґратці і виникає твердий розчин заміщення. Для вуглецевих сталей, що використовувались в експерименті легуючі елементи вводили у вигляді порошку, який додавали до флюсу. Нікель, наприклад, стабілізує аустенітну фазу. Присутність нікелю у кількості 8...10% приводить до того, що аустенітна фаза зберігається і при кімнатній температурі.

Регулювання складу та кількості легуючих елементів у флюсі дозволяє керувати механічними властивостями поверхневих шарів. В залежності від часу витримки системи під високою температурою (до 1 год.) глибина формування комплексно легованої фази хромом, нікелем та міддю досягає 200 мкм (рис. 5). При цьому форма границі між цією фазою та основним металом змінюється від прямолінійної до помітно хвилястої (рис. 6). З боку сталі, що примикає до границі, розмір зерна збільшується в межах зони шириною 1...2,5 мм. Мікротвердість дифузійно легованої зони досягає  $580...620\text{ кгс/мм}^2$  (рис. 6). Крім того, в системах зі значним

вмістом міді спостерігається підвищення ступеня гетерогенності за рахунок утворення додаткової фази на основі міді ( $\epsilon$ -бронзи) [6].

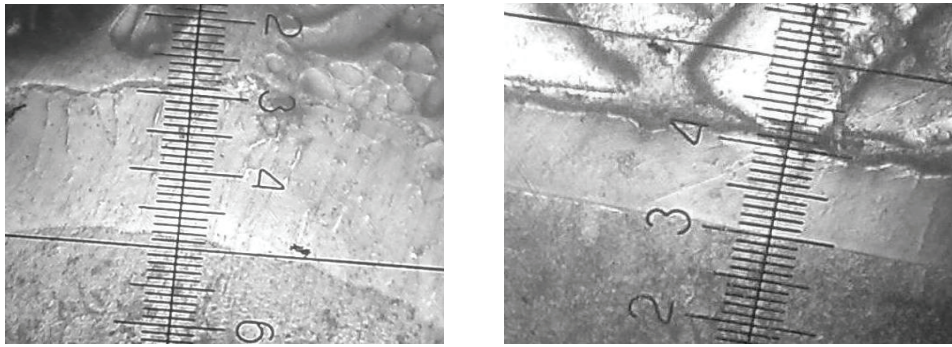


Рис. 5. Розміри границі сплавлення між сталлю і міддю

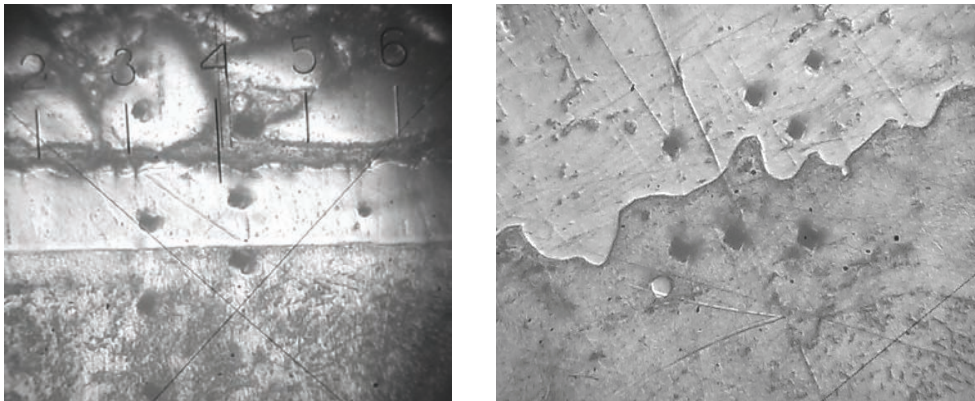


Рис. 6. Мікротвердість границі сплавлення між сталлю і міддю

### Висновки

1. Відновлювання та зміцнення сталевих конструкцій шляхом заліковування пошкоджень сплавами на основі міді забезпечує гальмування тріщин, помітно збільшує їх живучість.
2. Встановлено, що заліковування тріщин мідними сплавами забезпечує необхідну розривну міцність зон сталевих конструкцій, що піддавались обробці.
3. Фізико-механічні властивості небезпечної зони конструкції, де може відбутися руйнування, можна цілеспрямовано змінювати шляхом поверхневого дифузійного легування з одночасним заліковуванням втомних тріщин.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Трощенко В. Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении [Текст] / В. Т. Трощенко. — К. : Наукова думка. 1981. — 344 с.
2. Олейник Н. В. Выносливость деталей машин [Текст] / Н. В. Олейник. — К. : Техніка, 1979. — 199 с.
3. Гавриш П. А. Термодинамические особенности взаимодействия меди и железа в сварочной ванне [Текст] / П. А. Гавриш, М. А. Турчанин // Вестник ДГМА. — 2006. — № 2(4). — С. 75—78.
4. Бобро Ю. Г. Структура та зносостійкість бейнітних мідистих чавунів з кулястим графітом [Текст] / Ю. Г. Бобро, М. В. Дмитріюк // Наукові нотатки : міжвуз. зб. (за напрямом «Інженерна механіка»). — Луцьк, 2003. — Вип. 13.
5. Бобро Ю. Г. [Текст] / Ю. Г. Бобро, А. Ю. Бобро, В. І. Тихонович // Металознавство та обробка металів. — 1997. — № 1. — 3—7 с.
6. Чигарев В. В. Проблемы повышения качества сварки меди со сталью [Текст] / В. В. Чигарев, В. А. Клюев, П. А. Гавриш // Сварочное производство в машиностроении: перспективы развития : матер. I междунар. науч.-техн. конф. 6—9 октября, 2009г. ; под общ. ред. Н. А. Макаренко. — Краматорск : ДГМА. — 2009. — 34 с.

Рекомендована кафедрою технології підвищення зносостійкості

Стаття надійшла до редакції 30.05.12  
Рекомендована до друку 27.06.12

**Савуляк Валерій Іванович** — завідувач кафедри, **Бакалець Дмитро Віталійович** — аспірант.

Кафедра технології підвищення зносостійкості, Вінницький національний технічний університет, Вінниця