

3. Мамаев Т.Л. Прочность и деформативность изгибаемых железобетонных элементов, восстановленных после коррозионных испытаний и механических повреждений: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / НИИЖБ. - Москва, 1997. - 19 с.

4. ДБН В.3.1-1-2002. Ремонт і підсилення несучих та огорожувальних будівельних конструкцій і основ промислових будинків і споруд. – К.: Державний комітет України з будівництва і архітектури, 2003 – 82 с.

5. СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. - 80 с.

УДК 539

*Козут М.С., д.т.н., професор (Львівський інститут пожежної безпеки МНС України),  
Лебідь Н.М., к.т.н. (Львівський державний аграрний університет Міністерства аграрної  
політики України),*

*Громко Я.С., (Міністерство палива та енергетики України),*

*Коваль О.М. (ГУ МНС України у Львівській області)*

### **ВПЛИВ ПІДВИЩЕНИХ ТЕМПЕРАТУР НА ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ НЕОДНОРІДНИХ ТРИШАРОВИХ НАПЛАВЛЕНЬ**

В роботі запропоновано методіку визначення тріщиностійкості ( $K_{Ic}$ ) багатошарових неоднорідних наплавлень з використанням модернізованого компактного зразка з боковою тріщиною у периферійному напавленні за умов підвищених температур (20; 70 і 300°C). При цьому обґрунтовано розміри цього зразка та наплавлень (по висоті і товщині) з метою коректного визначення  $K_{Ic}$ .

Зроблено висновок про те, що неоднорідність металу наплавлень у зв'язку з підвищенням температури призводить до певного зниження  $K_{Ic}$  для більш твердих і міцних наплавлень і, навпаки, деякого зростання  $K_{Ic}$  для менш міцних і менш твердих наплавлень, що можна пояснити виникненням температурних напружень, зумовлених різними об'ємними розширеннями цих наплавлень по лінії сплавлення з в'язкою основою для зварного з'єднання.

*Вступ.* З практики експлуатації, наприклад, деталей енергетичного обладнання відомо [1], що ресурс працездатності бандажів вальців млинів МВС-140А залежить від якості напавленого поверхневого шару на спрацьовану поверхню, дії питомих тисків на периферійний шар укладених неоднорідних наплавлень, а також впливу підвищених температур, що виникають в процесі роботи вальців на операції розмелювання вугілля.

Завданням даної роботи було дослідження тріщиностійкості  $K_{Ic}$  неоднорідних багатошарових порошкових наплавлень з урахуванням впливу підвищених температур, оскільки експлуатація бандажів вальців з одним зносостійким напавленням призводить до відколів напавленого матеріалу, що може спричинити виникнення екстремальної ситуації, зокрема зупинку електропривода двигуна. Якщо засоби захисту не спрацьовують і не відбувається аварійне вимкнення двигуна в його обмотках та живильній мережі виникають великі струми, які призводять до нагрівання ізоляції та її загоряння.

Відомо, що для визначення  $K_{Ic}$  одношарових наплавлень, які адекватно характеризують стикові зварні з'єднання, використовують зразки типу балок з боковим надрізом у металі шва або циліндричні зразки з кільцевою тріщиною у кільцевому напавленні [2,3]. Для отримання значень  $K_{Ic}$  багатошарових порошкових наплавлень з причини невеликої висоти балки і заданого діаметра циліндричного зразка, дослідники виготовляють кілька партій

таких зразків, де вварюють необхідної марки дроти, після чого отримують наплавлення з заданими фізико-механічними властивостями, що збільшує розхід матеріалу на виготовлення зразків і час на проведення самих експериментів.

*Мета дослідження* – розробити інженерну методику визначення тріщиностійкості ( $K_{Ic}$ ) тришарових неоднорідних наплавлень шляхом багаторазового випробування компактного зразка з боковою тріщиною у шві стикового зварного з'єднання з урахуванням впливу підвищених температур.

*Підстави для проведення дослідження.* Основною підставою для проведення таких досліджень є розроблена методика визначення тріщиностійкості зварних з'єднань на компактному зразку з боковою тріщиною у шві перемінної висоти для оцінки міцності квазікрихких і в'язких швів [4]. Згідно з цією методикою, стан крихкості чи в'язкості металу шва задають висотою ступінчастого паза для заплавлення досліджуваного матеріалу, а також товщиною основи матеріалу зразка. Змінюючи висоту ступінчастого паза в заданих межах, зростаюча тріщина у шві на своєму шляху може поширюватись за різними механізмами руйнування: крихким, характерним для ( $K_{Ic}$ ) і квазікрихким чи в'язким – характерним для ( $K_c$ ) за умов невідповідності автотемпературної зони передруйнування.

В описаних нижче дослідженнях запропонована конструкція зразка використана для нанесення неоднорідних наплавлень та коректного визначення для них характеристики  $K_{Ic}$  з урахуванням підвищених температур (20; 70 і 300°C).

*Результати досліджень.* Комплексе таких експериментів проведено на компактних зразках (рис.1).

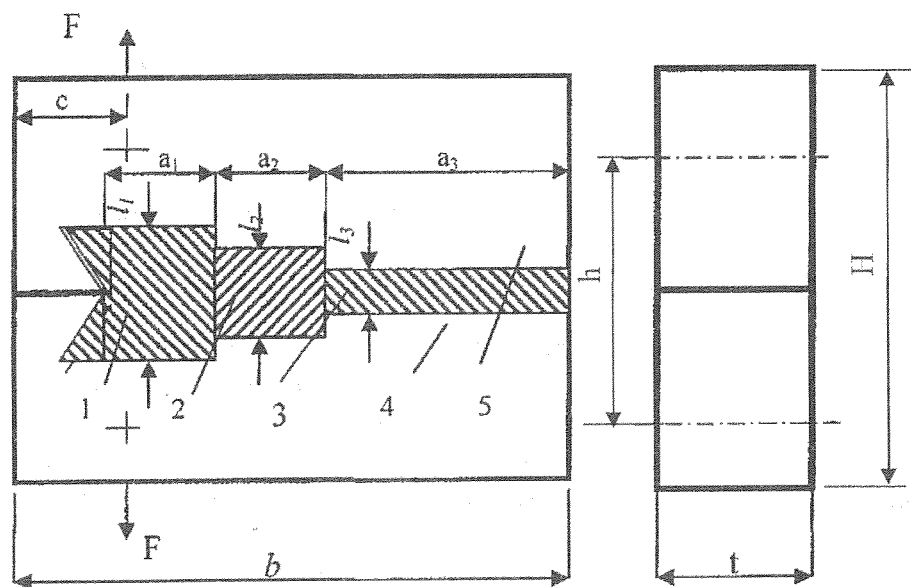


Рис.1. Компактний зразок для визначення тріщиностійкості ( $K_{Ic}$ ) неоднорідних багатшарових порошкових наплавлень і схема навантаження при руйнуванні: 1,2,3-наплавлення; 4,5- нижня і верхня половинки зразка відповідно.

Товщину зразка вибрано за рекомендаціями [5] –  $t = 2,5(K_{Ic} / \sigma_T)^2$ , виходячи із найбільш в'язкого матеріалу наплавлення, що склало ( $t=25\text{мм}$ ). Висоту наплавлень встановлювали з

умови сумісності їх деформацій для трьох наплавлень при досягненні в кожній з них границі міцності  $\sigma_B$ , тобто висоти  $l_1$ ,  $l_2$  і  $l_3$  повинні бути такими, аби:

$$\Delta l_1|_{\Delta\sigma=\sigma_B^{(1)}} = \Delta l_2|_{\Delta\sigma=\sigma_B^{(2)}} = \Delta l_3|_{\Delta\sigma=\sigma_B^{(3)}}, \quad (1)$$

де  $\Delta l_1$ ;  $\Delta l_2$ ;  $\Delta l_3$  - приріст видовжень наплавлень при відповідних для кожної з них границь міцності  $\sigma_B$ .

Щоб визначити  $\Delta l_i$  і  $\sigma_B^{(i)}$ , необхідно для кожного наплавленого матеріалу отримати діаграму розтягу і встановити характеристики міцності та пластичності ( $\sigma_T^{(i)}$ ,  $\sigma_B^{(i)}$ ,  $\varepsilon_C^{(i)}$ , де  $i=1,2,3$ ).

В кінцевому випадку висоту будь-якого наплавлення можна підрахувати за співвідношенням:

$$l^{(i)} = \varepsilon_C^{(i)} \cdot \Delta l^{(i)}, \text{ де } i=1,2,3. \quad (2)$$

Тут  $\varepsilon_C^{(i)}$  відповідно максимальне відносне видовження, яке відповідає досягненню напруженнями величини  $\sigma_B^{(i)}$  ( $i=1,2,3$ ).

При підрахунку товщин наплавлень  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ , спочатку визначали розміри їх пластичних смуг за відомими формулами [6]:

$$d^* = \frac{\pi E \delta_c}{8 \sigma_0}, \quad (3)$$

де 
$$\delta_c = \frac{K_{Ic}^2}{E \sigma_0}. \quad (4)$$

Підставляючи у (3) значення  $\delta_c$  із (4), одержимо діаметр пластичної смуги у вершині тріщини (він же адекватний вибору товщини наплавлення) для будь-якого матеріалу, тобто:

$$d^* = \frac{\pi K_{Ic}^2}{8 \sigma_0^2} \cong a. \quad (5)$$

Тут  $\sigma_0$  – напруження відриву при плоскій деформації (для крихких наплавлень  $\sigma_0 \cong \sigma_B$ , а для квазікрихких наплавлень  $\sigma_0 = (\frac{\sigma_T + \sigma_B}{2})$ ;  $K_{Ic}$  – тріщиностійкість матеріалу наплавлення;  $\sigma_T$ ,  $\sigma_B$  – границі течіння і міцності матеріалу наплавлення відповідно;  $E$ ,  $\delta_c$  – модуль Юнга і критичне розкриття у вершині тріщини матеріалу наплавлення відповідно.

За встановленими значеннями  $\sigma_0$ ,  $K_{Ic}$  і користуючись формулами (5) і (3) можна визначити діаметр пластичної смуги  $d^*$  і висоту  $a$  будь-якого наплавлення відповідно.

В процесі експерименту на самописному приладі записували діаграму руйнування в координатах  $F^*$ -  $\varepsilon^*$  – (сила – деформація). По одержаних скачках на діаграмі для кожного наплавлення підраховували значення руйнівного зусилля  $F^*$  і величину деформації  $\varepsilon^*$ . Підвищені температури ( $T=70^\circ\text{C}$  і  $300^\circ\text{C}$ ) створювали у спеціальній камері, викладеній шамотним ізоляційним матеріалом, в жолобках якого знаходилась ніхромова спіраль, під'єднана до електромережі. Контроль за температурою в камері здійснювали хромель-алюмелевою термопарою та потенціометром типу КСП-4.

Розміри випробувального компактного зразка запропонованої конструкції були такими:  $t=25\text{мм}$ ,  $v=60\text{мм}$ ,  $c=25\text{мм}$ ,  $m=50\text{мм}$ ,  $h=30\text{мм}$ ); розміри висот для наплавлень, підрахованих за формулою (2) становили:  $l_1=2,0\text{мм}$ ;  $l_2=4,0\text{мм}$ ;  $l_3=3,0\text{мм}$ ; розміри товщин для наплавлень, підрахованих за адекватними діаметрами пластичних смуг  $l_i^*$  за формулою (5) становили:

$a_1=3,0\text{мм}$ ;  $a_2=4,0\text{мм}$ ;  $a_3=25,0\text{мм}$ , а кути при вершині уступів дорівнювали: у першому наплавленні  $\alpha_1=60^\circ$ , а у другому і третьому наплавленні  $\alpha_2=\alpha_3=90^\circ$ . Тришарове порошкове наплавлення кожного уступу (прорізу) здійснювали після стикування двох половинок зразка (див. рис. 1) і наявності керамічних пластин по його боках, що запобігали виливанню розплавленої ванни. Операцію заплавлення виконували на автоматі типу А-1416 з випрямлячем постійного струму типу ВДУ-1201 за такими режимами: величина струму А-650...700, робоча напруга В-30...32 і виліт електрода мм-50...60. Присадковими матеріалами до основи половинок зразка (сталь 35Л) були порошкові дроти марок ПП-АН170 (перший уступ); ПП-АН170М2 (другий уступ); ПП-АН19 (третій уступ). Фінішними операціями були шліфування та полірування бокових граней сформованого таким чином компактного зразка. Експерименти на роздирання зразків виконували на розривній машині марки Р-10 зі швидкістю переміщення активного захоплювача ( $v=1,0\text{ мм/хв.}$ ). Контроль за ростом тріщини фіксували катетометром, окуляр якого сфокусували у вістря тріщини, що штучно створена у першому, найвищому за висотою, наплавленні.

Тріщиностійкість  $K_{Ic}$  металу тришарових наплавлень визначали за співвідношеннями [4]:

$$K_I = \frac{F}{t\sqrt{b}} y(\varepsilon, \varepsilon_I), \quad (6)$$

де

$$y(\varepsilon, \varepsilon_I) = 1,9878 \sqrt{\varepsilon(1-\varepsilon) \left\{ (1-\varepsilon)^{-1} + \sigma \left( \frac{1+\varepsilon}{2} - \varepsilon_I \right) / (1-\varepsilon^2) \right\}} / (1+7,9925\varepsilon)^{\frac{1}{2}}. \quad (7)$$

Тут  $\varepsilon = l/b$ ,  $\varepsilon_I = c/b$ , де  $l$ - довжина тріщини;  $b$ - ширина зразка;  $t$ - товщина зразка;  $F$ - руйнівне зусилля для заданого матеріалу наплавлення, взяте із діаграми руйнування;  $c$ - відстань від краю зразка до точки прикладання зусилля  $F$  (див.рис.1). Як правило, в експериментальній практиці її приймають  $\varepsilon_I = 0,2...0,3$ .

Підраховані за формулами (6), (7) значення  $K_{Ic}$  після роздирання трьох партій компактних зразків з тришаровими порошковими наплавленнями при підвищених температурах представлено в табл.1 Там же, для порівняння наведено також початкову твердість (HRC) тришарових наплавлень при  $20^\circ\text{C}$ .

Таблиця 1. Значення  $K_{Ic}$  тришарових порошкових наплавлень

№ з/п	Марка порошкового дроту для наплавлень	Тріщиностійкість $K_{Ic}$ , МПа $\sqrt{\text{М}}$			Твердість, HRC
		20°C	70°C	300°C	20°C
1	ПП-АН170	22,1	16,9	12,8	59
2	ПП-АН170М2	25,3	21,2	18,3	54
3	ПП-АН19	48,5	50,4	52,8	38

Як видно із даних табл.1, з підвищенням температури випробування тріщиностійкість  $K_{Ic}$  для менш твердого наплавлення (ПП-АН19) зростає. В той же час значення  $K_{Ic}$  для середньо і високотвердих наплавлень (ПП-АН170М2 і ПП-АН170) зменшилися, і тим істотніше, чим вища температура випробувань і більша їх твердість (див. рис.1), що можна

пояснити негативним впливом температурних напружень, які викликали різні об'ємні розширення трьох шарів для неоднорідного зварного з'єднання.

Для наочності на рис.2 показано гістограми зміни тріщиностійкості  $K_{Ic}$  від температури нагріву для тришарових порошкових наплавлень, побудованих згідно з даними табл. 1.

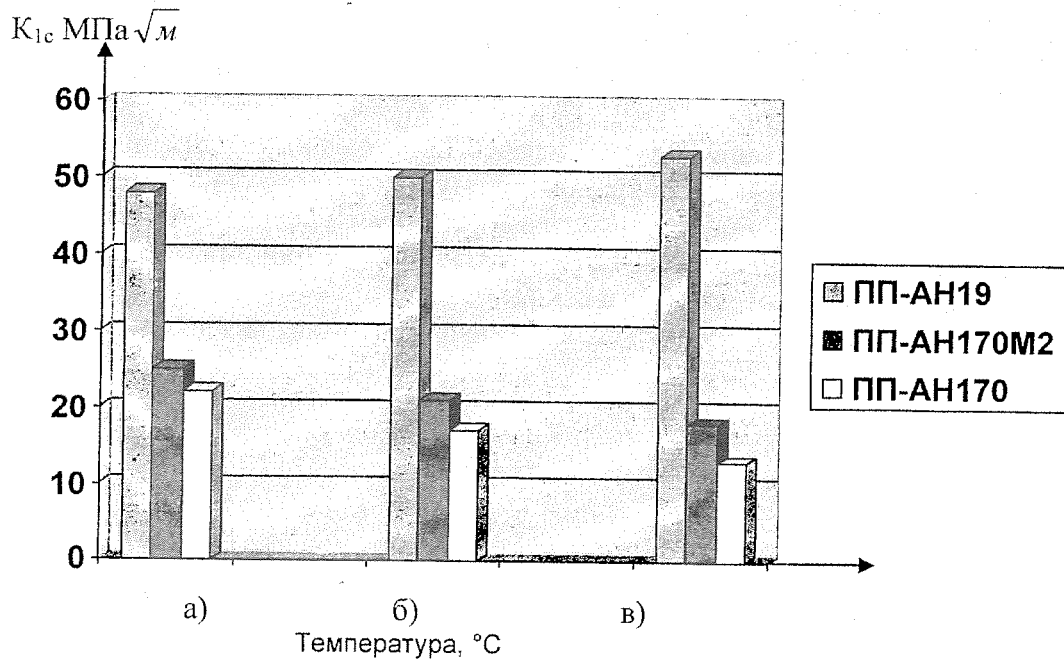


Рис.2. Зміна тріщиностійкості  $K_{Ic}$  від температури нагріву  $T$  для тришарових наплавлень : а) 20°C; б) 70°C; в) 300°C.

На підставі одержаних значень тріщиностійкості ( $K_{Ic}$ ) для тришарових порошкових наплавлень з урахуванням послідовності наплавлення і впливу температурного чинника, як це відбулося після випробування компактних зразків, в умовах виробництва котельного цеху Добротвірської ТЕС виконано промислове відновлення спрацьованих поверхонь вальців млина МВС-140А, тобто на підготовлену поверхню вальця (сталь 35Л) укладено перший шар з низькою твердістю (HRC = 46од.), другий шар з середньою твердістю (HRC = 55од.) і третій – периферійний шар з високою твердістю (HRC = 62од.); присадковий матеріал – порошкові дроти марок ПП-АН19; ПП-АН170М2 і ПП-АН170 відповідно.

Реальна експлуатація відновлених таким чином вальців порівняно з відновленими вальцями за заводською технологією наплавлення (одношарове укладання наплавлення з високою твердістю HRC = 62од.) дала істотне підвищення (до 40%) ресурсу працездатності млина на користь нової технології відновлення та зміцнення. Підрахований економічний ефект за шість місяців експлуатації вальців, відновлених за запропонованою технологією наплавлення, на операції розмелювання вугілля до порошкоподібного стану і вдування його для спалювання в котлах становить 270 тис. 127грн.

#### Висновки.

1. Розроблено методику оцінки тріщиностійкості ( $K_{Ic}$ ) неоднорідних зварних з'єднань на модернізованій конструкції компактного зразка багаторазового використання з записом діаграми руйнування і фіксацією скачка зміни руйнівного зусилля  $F = F^*$  для конкретних марок порошкових наплавлень; що скорочує час на проведення таких експериментів і зменшує витрати матеріалу на виготовлення дослідних зразків.

2. Урахування підвищених температур при дослідженні неоднорідних тришарових порошкових наплавлень призвело до певного зростання  $K_{Ic}$  для менш твердого наплавлення

3. Для підвищення (до 40%) ресурсу працездатності бандажів вальців млинів на операції розмелювання вугілля до порошкоподібного стану, замість одношарового наплавлення необхідно запроваджувати тришарове, при цьому послідовність укладання шарів повинна бути такою, аби твердість наступного шару зростала від основи до периферії бандажа; це запобігатиме можливим відколам та виникненню аварій, як це траплялося для одношарового наплавлення бандажів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Громко Я.А., Козут М.С., Куновський Г.П., Лебідь Н.М., Лошак О.С. Прогресивні технології відновлювання та зміцнення спрацьованих деталей енергетичного обладнання ТЕС. Енергетика і електрифікація.-2002.-№10.- с.45-50.
2. Козут М.С., Караїм В.С., Лебідь Н.М. Оцінка міцності стикових зварних з'єднань із сталі 50 за критеріями тріщиностійкості. // Проблеми прочності-2003.-№2.-С.147-155.
3. Козут Н.С., Шахматов М.В., Ерофеев В.В. Несущая способность сварных соединений. – Львов, изд-во «Світ» 1991. – 184 с.
4. Козут М.С. Визначення тріщиностійкості зварних з'єднань багаторазовим випробуванням призматичного зразка з боковою тріщиною у шві. //Вісник НУ „Львівська політехніка” „Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні” .1999.-№371.- С.79-82.
5. ГОСТ 25.506-85. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. Введ. 01.01.1986.-М.: Изд-во стандартов.-1985.- 62с.
6. Панасюк В.В. Механика квазихрупкого разрушения материалов. К.: Наук. думка, 1991. – 415 с.

УДК 624.011.1

*Ю.І.Орловський, д.т.н., професор, Ю.Е.Павлюк, В.А.Батлук, д.т.н., професор (Львівський інститут пожежної безпеки МНС України),  
Д.В.Гулін (Дочірня фірма "Кнауф Маркетинг", Київ),  
А.Ю.Старченко (Національний університет "Львівська політехніка")*

#### ВОГНЕСТІЙКІСТЬ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ З ОБШИВКОЮ ГІПСОКАРТОННИМИ ЛИСТАМИ

Для підвищення вогнестійкості дерев'яних конструкцій як конструктивний спосіб вогнезахисту запропоновано облицювання їх поверхні гіпсокартонними листами (ГКЛ). Ефективність такого способу вогнезахисту підтверджується вогневими лабораторними випробуваннями дерев'яних конструкцій (балок, стійок), захищених одинарними і подвійними гіпсокартонними листами завтовшки 12,5 та 15 мм.

Як показали результати випробувань, межа вогнестійкості облицювання залежить від товщини листів, їх вологості і вологості конструкції, що захищається. У проведених випробуваннях за межу вогнестійкості був прийнятий час прогрівання облицювання, за який на поверхні підкладки температура досягала 500°C.

Останнім часом в будівництві широко застосовуються комплексні конструкції, що складаються з дерев'яного каркаса або дерев'яних несучих елементів (балок, стійок) з