

УДК 621.539.375

М.Когут¹, докт. техн. наук; Н.Лебідь¹, канд. техн. наук; Я. Громко²

¹Львівський державний аграрний університет

²ВАТ „Центренерго”, м.Київ

ДО ВИЗНАЧЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ НЕОДНОРІДНИХ БАГАТОШАРОВИХ НАПЛАВЛЕНЬ БАНДАЖІВ ВАЛЬЦІВ

В роботі запропоновано інженерну методику визначення фундаментальної характеристики тріщиностійкості K_{Ic} багатошарових наплавлень обґрунтованих розмірів по товщині і нанесених на спрацьовану поверхню бандажів вальців середньоходових млинів, що використовують на операції подрібнення вугілля до порохоподібного стану на теплових електричних станціях.

Отримано K_{Ic} для неоднорідних трьохшарових наплавлень на призматичному зразку з боковою тріщиною узгоджуються з K_{Ic} , встановленими на відомих типах балкових і циліндричних зразків з тріщинами, що дозволяє цей зразок запроваджувати в інженерну практику.

Постановка проблеми та завдання досліджень. З практики експлуатації бандажів вальців середньоходових млинів відомо, що їх поверхневий шар повинен бути твердішим та міцнішим від основи бандажа. Разом з тим відомо, що наплавлений на спрацьовану поверхню бандажа поверхневий шар має низький опір крихкому руйнуванню і, як наслідок, спостерігаються вибої, відколи та тріщини наплавленого шару від основи з причини різних їхніх фізико-механічних характеристик, що призводить до зупинки млина та повторного наплавлення і відновлення бандажа, що також є малоефективним.

Підвищити працездатність бандажів дозволяють розроблені нами методики [1,2] у яких замість одношарового наплавлення, запропоновано трьохшарове, при цьому перший приповерхневий шар має найвищу міцність і твердість, другий – середню міцність і твердість, а у третього міцність і твердість дещо вища від основи бандажа. Укладання шарів за такою послідовністю дозволяє позбутися вищезгаданих недоліків. У зв'язку з тим в роботі поставлено завдання розробити конструкцію зразка, який би імітував трьохшарове наплавлення і дозволяв проводити ранжування неоднорідних наплавлень за тріщиностійкістю (K_{Ic}).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для вивчення K_{Ic} одношарових наплавлень, які адекватно характеризують стикові зварні з'єднання, використовують зразки типу балок з боковим надрізом у металі шва [3] або циліндричні зразки з кільцевою тріщиною у кільцевому наплавленні [8].

Для отримання значень K_{Ic} багатошарових наплавлень з причини невеликої висоти балки необхідно виготовляти кілька партій таких зразків з заданими фізико-механічними властивостями наплавлень, що збільшить розхід матеріалу на виготовлення зразків і час на проведення самих експериментів.

Мета дослідження – розробити інженерну методику визначення тріщиностійкості (K_{Ic}) трьохшарових неоднорідних наплавлень з різними фізико-механічними властивостями шляхом багаторазового випробування одного призматичного (компактного) зразка з боковою тріщиною у цих наплавленнях.

Науково-методичні підстави дослідження. Основною підставою для проведення досліджень неоднорідних наплавлень є розроблена методика визначення тріщиностійкості зварних з'єднань багаторазовим випробуванням призматичного зразка з боковою тріщиною у шві для оцінки міцності квазікрихких і в'язких швів [4]. Згідно з цією методикою, стан крихкості чи в'язкості металу задають висотою ступінчатого паза, який заплавляють досліджуваним матеріалом з основою зразка, виготовленою із більш твердого матеріалу. Змінюючи висоту ступінчатого паза в заданих межах, підростаюча тріщина у шві на своєму шляху може поширюватися за різними механізмами руйнування, тобто крихкому – для якого маємо (K_{Ic}), і

квасікрихкому чи в'язкому – для якого характерне K_c у випадку невідповідності умов автодемності зони передруйнування [5].

В описаних нижче дослідженнях запропонована конструкція зразка буде використана для нанесення неоднорідних наплавлень та коректного визначення їх характеристики K_{Ic} .

Результати дослідження. З метою уніфікування цих досліджень і досягнення найбільшої їх відповідності до практики, розглянемо запропонований дослідний зразок (рис.1).

В класичній постановці для такого зразка величину коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН) можна визначити із співвідношення [6]

$$K_I = \frac{F}{t\sqrt{b}} y(\varepsilon, \varepsilon_1), \quad (2)$$

де

$$y(\varepsilon, \varepsilon_1) = 1,9878 \sqrt{\varepsilon(1-\varepsilon) \left\{ (1-\varepsilon)^{-1} + 6 \left(\frac{1+\varepsilon}{2} - \varepsilon_1 \right) / (1-\varepsilon^2) \right\} / (1+7,9925\varepsilon)^2}.$$

Тут $\varepsilon = l/b$, $\varepsilon_1 = c/b$, де l - довжина тріщини; b - ширина зразка; t - товщина зразка; F - руйнівне зусилля для матеріалу наплавлення; c - відстань від краю зразка до точки прикладання F (див.рис.1). Як правило, в експериментальній практиці приймають $\varepsilon_1 = 0,2-0,3$ [4].

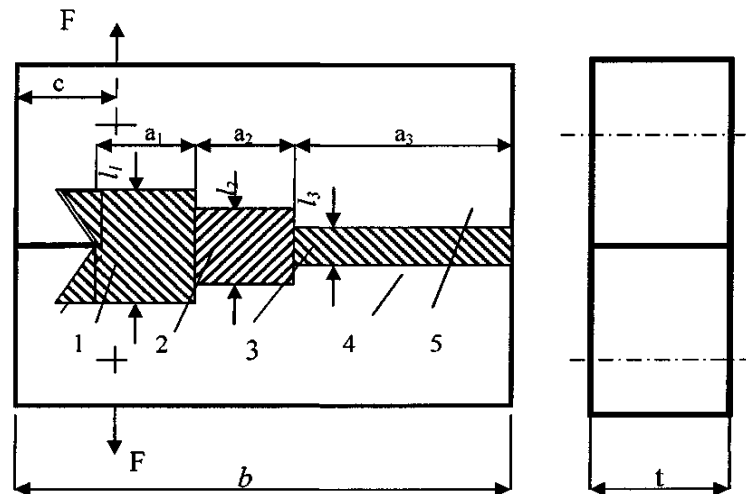


Рис.1 Призматичний зразок для визначення тріщиностійкості (K_{Ic}) неоднорідних багатшарових наплавлень і схема навантаження при руйнуванні: 1, 2, 3 - наплавлення; 4, 5 - верхня і нижня половинки зразка

В нашому випадку запропонований зразок має основу з двох половинок, підвищеної міцності та твердості, а також робочої частини, на якій вивчають крихке руйнування (підростання тріщини) після наплавлення трьох досліджуваних матеріалів, які використовують при виготовленні бандажів. При цьому перше наплавлення відповідає зовнішньому напавленню бандажа, наступне – середньому, а третє близьке до міцності основи тіла бандажа. Товщину цього зразка вибираємо за співвідношенням: $t = 2,5(K_{Ic} / \sigma_{0,2})^2$ [5], виходячи із найбільш в'язкого матеріалу наплавлення. Висоти наплавлень будемо вибирати з умови сумісності деформацій наплавлень при досягненні в них границі міцності σ_6 , тобто висота наплавлень l_1 , l_2 і l_3 повинна бути такою, аби:

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

де Δl_1 ; Δl_2 ; Δl_3 - видовження наплавлень при вказаних напруженнях.

Щоб визначити Δl_i і $\sigma_T^{(i)}$ необхідно для кожного матеріалу побудувати діаграму розтягу і визначити його міцнісні та деформаційні характеристики ($E^{(i)}$, $\sigma_T^{(i)}$, $\sigma_B^{(i)}$, $\mu^{(i)}$, $\psi^{(i)}$, де $i = 1, 2, 3$).

Так як $\sigma_B^{(i)}$ досягається за границею текучості, то висоту наплавлень $l^{(i)}$ визначаємо із співвідношення:

$$l^{(i)} = \varepsilon_c^{(i)} \cdot \Delta l^{(i)}, \text{ де } i=1, 2, 3. \quad (4)$$

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

Щодо довжин наплавлень a_1 , a_2 , a_3 з різними значеннями фізико-механічних характеристик ($\sigma_T^{(i)}$, $\sigma_B^{(i)}$, $\mu^{(i)}$, $\psi^{(i)}$, $E^{(i)}$, $HRC^{(i)}$), то тут доцільно спочатку встановити розмір пластичної зони за формулами [4] виду:

$$d_* = \pi E \delta_c / 8 \sigma_0, \quad (5)$$

де
$$\delta_c = K_{1c}^2 / E \sigma_0. \quad (6)$$

Підставляючи у (5) значення δ_c із (6), одержимо величину пластичної зони у вершині тріщини для будь-якого матеріалу наплавлення, тобто:

$$d_* = \frac{\pi E K_{1c}^2}{8 \sigma_0 E \sigma_0} = \frac{\pi K_{1c}^2}{8 \sigma_0^2}. \quad (7)$$

Тут σ_0 – напруження відриву при плоскій деформації (для крихких наплавлень $\sigma_0 \cong \sigma_T$, а для квазікрихких наплавок $\sigma_0 = (\sigma_T + \sigma_B)/2$); K_{1c} – тріщиностійкість заданого матеріалу наплавлення; σ_T , σ_B – границі текучості і міцності матеріалу наплавлення відповідно.

За відомими значеннями σ_T , K_{1c} [4] за формулою (7) визначали величину пластичної зони d_* і за формулою (4) - висоти наплавлень, які зведено в табл.1. Для забезпечення технологічності та коректності експерименту довжини наплавок з різною твердістю приймаємо з розрахунку двох величин пластичної зони, тобто $a_i = 2d_*$.

Детальніше розглянемо технологію виготовлення дослідного зразка, суть якої полягає у наступному. Призматичний зразок (рис.1) має верхню 4 і нижню 5 частини, які виготовляли із матеріалу підвищеної міцності та твердості. У цих частинах до гартування виконували три виступи з висотами: $l_1 = 2,5$ мм; $l_2 = 2,0$ мм; $l_3 = 1,5$ мм та довжинами $a_1 = 3,0$ мм; $a_2 = 4,0$ мм; $a_3 = 25,0$ мм відповідно. При цьому перший виступ мав загострення при вершині з кутом $\alpha = 30^\circ$, а другий і третій – мали прямі кути.

Потім в них висвердлювали по одному отвору $\varnothing 10$ мм на відстані від краю $c = 25$ мм і проводили гартування (сталь У8, нагрівання 780°C , витримування 30 хв, охолодження в масло і відпуск 200°C , витримування 2 год.)

Для забезпечення щільності торцевих граней двох призматичних частин перед збиранням в єдиний зразок їх шліфували, полірували, а потім в затиснутому стані утворені ступінчаті прорізи заплавляли досліджуваним матеріалом. Якісне їх заплавлення здійснювали при наявності двох керамічних пластин, які, прилягаючи до бокових граней, створювали герметичну ванну для збереження розплавленого металу під час застигання [9]. Кінцевими операціями було фінішне шліфування та полірування бокових граней до одержання регламентованої товщини $t = 25,0$ мм і початкове ініціювання штучної тріщини з вершини незаплавленого вістря зразка шляхом втомного деформування на вібраторі (навантаження циклу при деформуванні зразка $Q \leq 0,6 \sigma_T$, де σ_T - границя текучості матеріалу першого найтвердішого наплавлення).

Результати проведених експериментів, виконаних на розтяг запропонованого зразка ($t = 25$ мм, $b = 60$ мм, $c = 25$ мм) на розривній машині Р-10 і підрахована

тріщиностійкість K_{Ic} для трьох наплавлень різних матеріалів дроту, а також значення K_{Ic} , одержані авторами [8] на циліндричному зразку з кільцевим наплавленням і кільцевою тріщиною в ній, зведено в табл.1. Зазначимо, що в цьому випадку кожна партія цих зразків мала наплавлення з аналогічної марки дроту, що і для призматичного зразка.

Таблиця 1

Механічні характеристики, тріщиностійкість, розміри пластичної зони та розміри наплавлень для призматичного зразка

№ п/п	Марка матеріалу дроту для наплавлення	Механічні характеристики			Тріщиностійкість K_{Ic} МПа $\sqrt{м}$		Розмір пластичної зони d^* ,мм	Довжина наплавлення, a_i ,мм	Висота наплавлення l_i ,мм
		σ_B МПа	σ_m , МПа	HRC за Роквелом	[8]	(2)			
1	ПП-АН-19	560	490	45-48	52,2	50,2	4,12	8,24	3,0
2	ПП-АН-170М2	820	730	55-62	32,1	30,1	0,67	1,4	4,0
3	ПП-АН-170	860	780	58-67	27,8	26,5	0,45	0,9	5,0

Примітка: Для гальмування тріщини у найбільш в'язкому матеріалі дроту марки ПП-АН-19 довжину наплавлення збільшено у 3 рази в порівнянні з розрахунковим значенням.

Із табл.1 видно, що значення K_{Ic} , одержані на двох типах зразків, узгоджуються між собою, що вказує на коректність даної методики.

Щодо нормальних і дотичних напружень σ_r і σ_φ відповідно, які виникають в процесі експлуатації вальців млина, тобто створюваних контактних тисків при перемелюванні кусків вугілля з поверхневим шаром бандажів, то їх можна підрахувати із умов оптимальної працездатності. При цьому ці напруження від натягу моделюють прикладанням до внутрішньої поверхні бандажа тиску p і визначають за відомими з опору матеріалів співвідношеннями Ляме [7]:

$$\sigma_r = p \frac{r_2^2}{r_1^2 - r_2^2} \left(1 - \frac{r_1^2}{r^2} \right); \quad (9)$$

$$\sigma_\varphi = p \frac{r_2^2}{r_1^2 - r_2^2} \left(1 + \frac{r_1^2}{r^2} \right) \quad (10)$$

де r , φ - координати полярної системи з початком на осі валка; r_1 , r_2 – радіуси зовнішньої і внутрішньої поверхонь бандажа відповідно.

Виходячи з викладеного вище, можна зробити основний **висновок**, що запропонована конструкція призматичного зразка з боковою тріщиною у наплавленнях перемінної висоти дозволяє багаторазово визначати тріщиностійкість K_{Ic} для багат шарових наплавлень, нанесених на спрацьовану зовнішню поверхню бандажів. При цьому також скорочується час проведення таких експериментів і зменшуються витрати матеріалу на виготовлення дослідних зразків.

In activity the engineering technique of definition of the fundamental characteristic of resistance of crack propagation (K_{Ic}) of a stuff of multilayer surfacings of the regulated sizes on depth marked, on a tearing surface of shrouds of calenders, grinding mills, on operation of a coal degradation for activity on thermal power plants is offered.

Obtained K_{Ic} for inhomogeneous surfacings on a compact sample with a lateral crack are coordinated with (K_{Ic}), established on known phylums beam and cylindrical is model with cracks, which one allow this sample to use to engineering practice.

Література

1. Громко Я.А., Когут М.С., Куновський Г.П., Харандюк Т.М., Лебідь Н.М., Лошак О.С. Прогресивні технології відновлення та зміцнення спрацьованих деталей енергетичного обладнання ТЕС. – Енергетика і електрифікація.-2002.-№10.-С.45-50.
2. Когут М.С. Громко Я.А. Способи відновлення спрацьованих поверхонь сільськогосподарських та енергетичних машин. // Вісник державного аграрного університету „Агроінженерні дослідження”.- 2003.-№7.-С.229-236.
3. Когут М.С., Караїм В.С., Лебідь Н.М. Оцінка міцності стикових зварних з’єднань із сталі 50 за критеріями тріщиностійкості. // Проблемы прочности-2003. - №2. - С.147-155.
4. Когут 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. Панасюк В.В. Механика квазіхрупкого розрушення. – Киев: Наук.думка.-1991.-415 с.
6. Панько І.М. Теоретичні основи інженерних методів для оцінки тріщиностійкості матеріалів і елементів конструкцій. - Львів, вид-во Львівського національного університету імені Івана Франка, 2000.-280 с.
7. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов.-М.: Наука,-1965, Т.1-363 с.
8. Когут М.С., Громко Я.А., Лебідь Н.М. Оцінка міцності стикових зварних з’єднань за силовим K_{Ic} критерієм тріщиностійкості на малогабаритних зразках з наплавками. // Вісник Тернопільського державного технічного університету 2004, Том 9. - №1. - С.10-15.
9. Когут М.С., Шахматов М.В., Ероев В.В. Несущая способность сварных соединений. Львов, 1991.- 184 с.

Одержано 11.05.2004 р.