

## СПОСІБ КРУГОВОГО ЗАПЛАВЛЕННЯ КІЛЬЦЕВОЇ КАНАВКИ ЦИЛІНДРА І МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ КІЛЬЦЕВОГО ШВА

*М. Когут, д. т. н., Р. Гуменюк, к. т. н.*

*Львівський національний аграрний університет*

*Є. Формальчик, д. т. н.*

*Національний університет «Львівська політехніка»*

**Постановка проблеми.** Для визначення фундаментальної характеристики тріщиностійкості ( $K_{1C}$ ) зварних з'єднань [1] застосовують різні типи лабораторних зразків (типу пластин, зістикованих між собою прямокутними косими чи шевронними прошарками) [2; 3], які по бокових гранях мають  $V$ -подібні надрізи заданої гостроти дна ( $\rho \leq 0,1$  мм) і деформують, як правило, на осьовий розтяг. Водночас ці зразки не завжди дають змогу коректно визначати  $K_{1C}$  для м'яких стикових швів зварних з'єднань через відсутність забезпечення умов автомодельності зони передруйнування (розмірів пластичних смуг спереду фронту концентратора) у співвідношенні з розмірами випробувального зразка [4].

Більш ефективним з вищенаведених типів зразків є циліндричний зразок з поверхневою осесиметричною кільцевою тріщиною, ініційованою за методикою кругового згину при жорстко фіксованому прогині такого зразка [5], який успішно використовують для визначення  $K_{1C}$  крихких і квазікрихких матеріалів при відповідних значеннях діаметрів і розмірах кільцевої тріщини вглиб матеріалу циліндра.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Стосовно досліджень кільцевих швів для зварних з'єднань запропоновано спосіб їх виготовлення та методику визначення тріщиностійкості ( $K_{1C}$ ) металу шва сталльної термонапруженої арматури за умови ініціювання кільцевої тріщини в матеріалі кільцевої заплавки [6]. Треба відзначити, що на коректність визначення характеристики  $K_{1C}$  впливають: розміри канавки (глибина та ширина), співвідношення відносного розміру кільцевої тріщини  $\varepsilon = d/D$ , що повинно бути в межах від 0,5 до 0,7, де  $d$  – діаметр перешийка в площині кільцевої тріщини;  $D$  – зовнішній діаметр циліндра [7], а також чистота металу самого шва, залежно від способу зварювання [8] та марок наплавних матеріалів для одержання якісних зварних з'єднань з основою вихідного матеріалу [9; 10], що визначають їх однорідність чи неоднорідність [11] відповідно. Для забезпечення вищеперелічених чинників впливу, на нашу думку, немале значення має спосіб одержання якісного (без включень і мікропор) металу кільцевого шва за допомогою кругового заплавлення кільцевої канавки в циліндрі, про який йтиметься далі.

**Постановка завдання.** Мета роботи – запропонувати спосіб кругового заплавлення кільцевої канавки циліндра, використовуючи зварювальний автомат А-825М та схему вертикального базування циліндра, для визначення тріщиностійкості ( $K_{1C}$ ) металу кільцевого шва зварного з'єднання.

**Виклад основного матеріалу.** *Виготовлення циліндричних зразків з кільцевою заплавкою на зварювальному автоматі А-825М.* Для одержання якісного кільцевого шва операція зварювання потребує механізованого обладнання та спеціальних пристроїв, а сам процес наплавлення пропонується реалізовувати на зварювальному автоматі А-825М. Основна відмінність виготовлення кільцевого шва від відомого способу [6] полягає в тому, що як основу циліндричного зразка використано термонапружені арматурні сталі 35ГС і 25Г2С, а виточену кільцеву канавку заправляли матеріалом дроту зі сталі Св08Г2С, який за хімічним складом є близьким до цих марок сталей.

Загальний вигляд автомата А-825М для одержання однорідних чи неоднорідних стикових зварних з'єднань у циліндричних зразках з кільцевою канавкою показано на рис. 1. Габарити автомата  $a \times b \times h = 1800 \times 1500 \times 800$  мм.

Автоматичний режим процесу зварювання на цьому автоматі здійснювали в захисному середовищі вуглекислого газу  $\text{CO}_2$  за умови базування циліндричного зразка у спеціальному пристрої з вертикальною віссю обертання (див. рис. 1). Автомат складається зі звареної основи 1, струмопровідного обладнання 5, пускового механізму 6, колони 16, кінцевого перетворювача 20, магазину зварювального дроту 23 і обладнання 24 для подачі зварювального дроту й захисного газу.

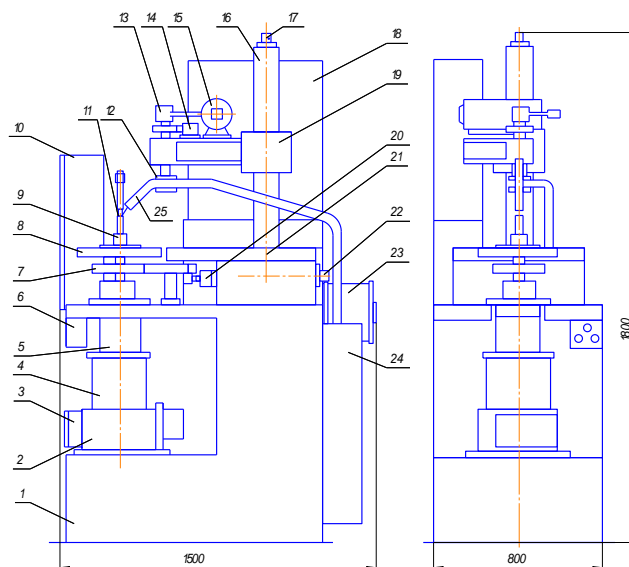


Рис. 1. Автомат А-825М та пристрій для автоматичного заповнення кільцевого шва у циліндричному зразку.

Зварювальний циліндричний зразок 11 закріплюють вертикально в трикулачковому патроні 9, встановленому на масивному обертовому мідному столі 8. Мідний стіл 8 від електродвигуна 2 через редуктор 4 отримує кругове обертання.

Швидкість обертання стола задається коробкою швидкостей 3 зі змінними зубчастими колесами 7. Газопровід 25 із зварювальним дротом обертовим механізмом 13, що приводиться в рух перемикачем швидкостей від гідроприводу

15, автоматично вводиться в зону зварювання і виводиться з неї відповідно в початковий і кінцевий моменти процесу, керуєними сигналами, отриманими за допомогою перетворювачів 14. Координати місця зварювання виставляють переміщенням супорта 21 в горизонтальному і каретки 19 у вертикальному напрямках механічними гвинтовими приводами 22 і 17. Режими зварювання встановлюють і контролюють за допомогою виконавчих пристроїв і приладів пульта управління 18. Запуск роботи пристрою здійснюють за допомогою пускового механізму 6. Місце зварювання, де виникає електрична дуга і можливе розбризкування заплавленого матеріалу, захищено кожухом 10, оснащеним оглядовим вікном.

Пристрій базування та закріплення циліндричного зразка-заготовки для заплавлення кільцевої канавки показано на рис. 2.

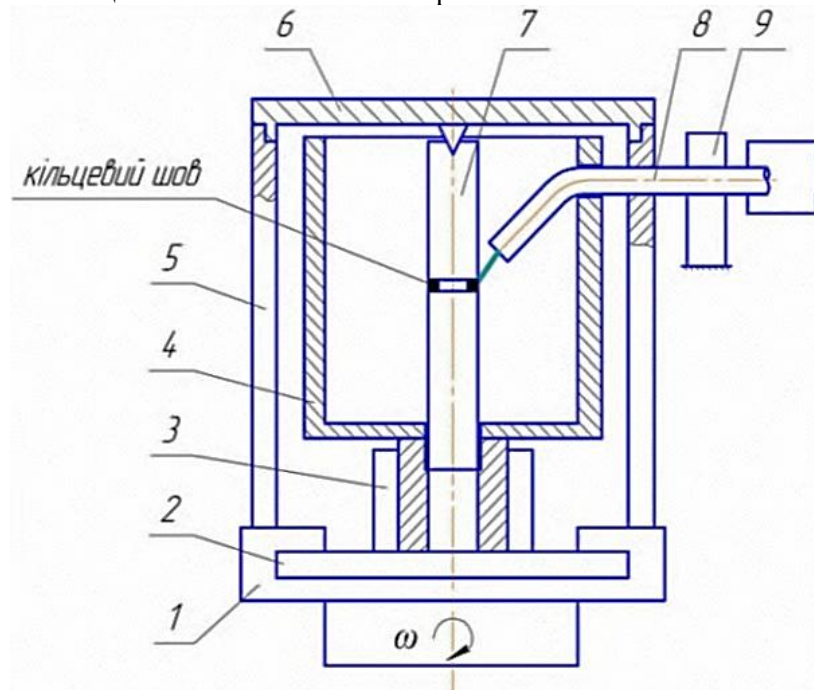


Рис. 2. Пристрій базування та закріплення циліндричного зразка для кругового заплавлення кільцевої канавки на модернізованому автоматі А-825М: 1 – стояк приводу; 2 – поворотний столик; 3 – трикулачковий патрон; 4 – кожух захисний; 5 – циліндричний стакан; 6 – кришка; 7 – зразок-заготовка; 8 – мундштук зі шлангом; 9 – стійка для мундштука автомата.

*Маршрут виготовлення кільцевої заправки у циліндричному зразку – заготовці:*

- вставити зразок-заготовку на базувальні центри і вертикально затиснути у патроні;
- заправити касету порошковим дротом марки Св08Г2С Ø 1,6мм;
- підвести мундштук з порошковим дротом до зони кільцевої канавки;

- увімкнути привід для кругового обертання циліндричного зразка;
- виконати заплавлення кільцевої канавки (глибина кільцевого шва 5 мм і висота кільцевого шва 2 мм) за такими режимами:
  - струм постійний; величина струму, А – 650...700; робоча напруга, В – 30...32, виліт електрода, мм – 20, полярність обернена;
  - зачистити наплавлений метал від шлаку та бризок за допомогою молотка 7850-010Щ15Хр ГОСТ2310-77, зубила 3810-0203Н12Х1 ГОСТ 7211-86 і щітки металевої 3899-4007 ОСТ 17-830-80 відповідно;
  - перевірити візуально заплавлений метал на наявність поверхневих тріщин, раковин, мікропустот (у разі наявності дефектів – раковин, місце зачистити і заправити повторно);
  - зняти циліндричний зразок з базувальної позиції (трикулачкового патрона) для подальшого шліфування зовнішнього діаметра та нарізання кільцевого концентратора по середині висоти кільцевого шва.

За такою послідовністю повторити маршрут виготовлення кільцевого шва у наступному циліндричному зразку-заготовці.

Пристрій дає змогу виконувати зварювання (заплавлення) кільцевої канавки для різних діаметрів циліндричних зразків від 8 до 200 мм при різних частотах обертання стола  $\omega = 5...60 \text{ с}^{-1}$ . Оптимальне та якісне заплавлення кільцевого шва досягається, коли частота обертання стола  $\omega = 5...7 \text{ с}^{-1}$  за один повний оберт та за середніх режимів зварювання.

За іншого матеріалу зразка-заготовки режими зварювання в кожному конкретному випадку необхідно встановлювати експериментальним добром.

Запропонований спосіб пройшов апробацію на двох марках шестиметрових прутків  $\varnothing 16$  мм із сталей 35ГС і 25Г2С після електротермічного зміцнення за методикою [12]. Із них вирізали заготовки  $L = 140$  мм, точили кільцеву канавку по середині їхньої довжини висотою  $2c=2$ мм і глибиною до  $\varnothing 5$  мм, яку заплавили зварювальним дротом Св08Г2С діаметром 1,6 мм в автоматичному режимі. Після механічної обробки зовнішнього діаметра до  $\varnothing 14$  мм, нарізки кільцевого концентратора по середині висоти наплавки до  $d_k=12$ мм з радіусом заокруглення дна ( $\rho \leq 0,1$  мм) і кутом при вершині  $\alpha = 60^\circ$ , за методикою [5] ініціювали кільцеві тріщини у матеріалі шва до  $d=10 \pm 2$  мм. Експерименти на осьовий розтяг таких зразків виконали на розривній машині РМ-10 (фірми Instron) зі швидкістю деформування  $v = 1$  мм/хв, де фіксували діаграму руйнування в координатах сила-деформація ( $F-\epsilon$ ). Маючи для кожного конкретно розірваного зразка значення  $F=F^*$  і користуючись формулою [6], підраховували тріщиностійкість шва сталей 35ГС і 25Г2С відповідно:

$$K_{1C} = \frac{F^*}{D\sqrt{D}} \cdot y, \quad (1)$$

$$\text{де } y = \frac{0.7976 \sqrt{1-\epsilon}}{\epsilon \sqrt{\epsilon} \cdot \sqrt{1-0.8012\epsilon}}. \quad (2)$$

Тут функція  $y$  характеризує відносний розмір кільцевої тріщини ( $\epsilon=d/D$ ) у матеріалі шва зварних з'єднань. Одержані результати експериментів зведено в

таблицю. Там же для порівняння подано дані щодо тріщиностійкості ( $K_{IC}$ ) матеріалу основи цих сталей.

Таблиця

Тріщиностійкість ( $K_{IC}$ ) шва і сталей 35ГС і 25Г2С

№	Марка сталі	Режим термічного зміцнення	$K_{IC}$ , МПа $\sqrt{м}$	
			шва	основи
1	35ГС	Електронагрів до 400 °С при 1000А, витримка 60с, фіксація після видовження $\Delta L=30$ мм, охолодження на повітрі	124,5	187,9
2	25Г2С		195,8	292,5

Примітка: Кількість випробуваних зразків становила 5 шт. для кожної марки сталі.

Із даних (див. табл.) видно зменшення до 23% тріщиностійкості ( $K_{IC}$ ) шва порівняно з вихідним матеріалом, що можна пояснити впливом залишкових напружень у шві та певною неоднорідністю його структури для зварних з'єднань. Крім того, перевагу за тріщиностійкістю ( $K_{IC}$ ) шва у сталі 25Г2С можна пояснити також підвищеною міцністю  $\sigma_b = 1480$  МПа порівняно зі швом у сталі 35ГС, у якій міцність становить  $\sigma_b = 1085$  МПа.

**Висновки.** 1. Модернізувавши зварювальний автомат А-825М за допомогою пристрою вертикального базування та закріплення циліндра у трикулачковому патроні і використавши автоматичну схему кругового заплавлення кільцевої канавки та завдяки вдалому добору матеріалу дроту з основою циліндрів, вдалося виготовити кільцевий шов з більш однорідною структурою для стикового зварного з'єднання.

2. Запропонована методика виявилася ефективним інструментом ранжування за тріщиностійкістю ( $K_{IC}$ ) зварних з'єднань та термонапружених сталей.

#### Бібліографічний список

1. Когут Н. С. Несущая способность сварных соединений / Н. С. Когут, М. В. Шахматов, В. В. Ерофеев. – Львов : Свит, 1991. – 184 с.
2. Шахматов М. В. Несущая способность сварных соединений с дефектами в твердых и мягких швах / М. В. Шахматов // Автоматическая сварка. – 1988. – № 6. – С. 14 – 16.
3. Об оценке чувствительности механически неоднородных стыковых сварных соединений к щелевидному дефекту при вязком разрушении / М. В. Шахматов, В. В. Ерофеев, В. Н. Михайлов [и др.] // Сварочное производство. – 1985. – № 4. – С. 34 – 35.
4. Когут М. С. Тріщиностійкість конструкційних матеріалів та їх зварних з'єднань із наплавками / М. С. Когут, Н. М. Лебідь. – Львів : Арал, 2008. – 287 с.
5. Панасюк В. В. Об одном способе образования поверхностных осесимметричных трещин в цилиндрических образцах / В. В. Панасюк, С. Е. Ковчик, Н. С. Когут // Физ.-хим. механика материалов. – 1972. – № 2. – С. 95 – 97.
6. Когут М. С. Визначення тріщиностійкості ( $K_{IC}$ ) металу шва сталльної термонапруженої арматури на циліндричному зразку з кільцевою тріщиною / М. С. Когут, Р. В. Гуменюк // MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture. – 2012. – Vol. 14, № 4. – P. 28 – 31.

7. Когут Н. С. О выборе диаметра цилиндрического образца для определения  $K_{1C}$  материала / Н. С. Когут // Зав. лаборатория. – 1980. – № 3. – С. 277 – 279.
8. Когут М. С. Експериментальні дослідження міцності зварних з'єднань: металу наплавки з металом молотків залежно від способу наплавлення та марки дроту / М. С. Когут // Інженерія агропромислового виробництва у вимірах бережливості. – Львів : ЛДАУ, 2006. – С. 309 – 311.
9. Наплавочные материалы стран-членов СЭВ : каталог. – К. ; М., 1979. – 618 с.
10. Сварочная проволока марки Св-08Х20Н9Г7Т производства ОАО „Днепроспецсталь” / К. А. Ющенко, Л. В. Чекотило, В. Г. Гордонный [и др.] // Сварщик. – 2000. – С. 8 – 10.
11. Когут М. С. Тріщиностійкість однорідних і неоднорідних стикових зварних з'єднань / М. С. Когут // Проблеми прочності. – 2007. – № 7. – С. 62–76.
12. Гнідець Б. Г. Залізобетонні конструкції з електротермічним попереднім напруженням / Б. Г. Гнідець, П. П. Завадяк, М. Р. Щеглюк. – К. : Техніка, 1996. – 240 с.

**Когут М., Гуменюк Р. Форнальчик Є. Спосіб кругового заплавлення кільцевої канавки циліндра і методика визначення тріщиностійкості кільцевого шва**

Запропоновано спосіб кругового заплавлення кільцевої канавки циліндричного зразка на модернізованому зварювальному автоматі А-825М за умови його вертикального базування у пристрої і методику визначення тріщиностійкості кільцевого шва.

На прикладі досліджень стикових зварних з'єднань із термонапружених арматурних сталей 35ГС і 25Г2С на таких зразках встановлено зниження до 23% тріщиностійкості ( $K_{1C}$ ) металу шва порівняно з тріщиностійкістю ( $K_{1C}$ ) вихідного металу цих сталей відповідно.

**Ключові слова:** заплавка, стиковий шов, зварне з'єднання, тріщиностійкість.

**Kohut M., Humeniuk R., Fornalchyk Ye. Method surfacing circular neck of the cylinder and methodology for determining fracture toughness weld ring**

The method of overlaying a circular ring grooves on cylindrical sample modernized welding machine A-825M if it vertical deployment of the device and method for determining the fracture toughness of the annular suture.

For example, studies of butt welded joints of steel reinforcing thermostressed 35HS and 25H2S on such samples is set to 23% reduction in fracture toughness ( $K_{1C}$ ) weld metal compared to the crack ( $K_{1C}$ ) source metal of steel, respectively.

**Key words:** surfacing, butt weld, weld, crack.

**Когут М., Гуменюк Р., Форнальчик Е. Способ круговой заплавки кольцевой канавки цилиндра и методика определения трещиностойкости кольцевого шва**

Предложен способ круговой заплавки кольцевой канавки цилиндрического образца на модернизированном сварочном автомате А-825М при условии его

вертикального базирования в устройстве и методика определения трещиностойкости кольцевого шва.

На примере исследований стыковых сварных соединений из термонапряженных арматурных сталей 35ГС и 25Г2С на данных образцах установлено снижение до 23% трещиностойкости ( $K_{IC}$ ) металла шва по сравнению с трещиностойкостью ( $K_{IC}$ ) исходного металла указанных сталей соответственно.

**Ключевые слова:** заплата, стыковой шов, сварное соединение, трещиностойкость.