



УДК 621.791.052

INCREASING THE RESISTANCE OF WELDING JOINTS IN MEDIUM CARBON STEEL PRIOR TO STACK FORMATION

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ СЕРЕДНЬОВУГЛЕЦЕВОГО МЕТАЛУ ДО УТВОРЕННЯ ТРІЩИН

Klochko O.Yu. / Клочко О.Ю.*D.Sc. (Technology), prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0003-3623-6587

Deryabkina E.S. / Дерябкіна Є.С.*Cand. Sc. (Technology), as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-5531-0124

*State Biotechnological University, Kharkiv, Alchevskih, 44, 61002**Державний біотехнологічний університет, Харків, Алчевських, 44, 61002*

Анотація. Досліджено вплив величини погонної енергії зварювання на стійкість проти кристалізаційних тріщин зварних з'єднань, поява яких обумовлена часткою участі основного середньовуглецевого матеріалу у металі шва. Встановлені діапазони погонної енергії зварювання першого і другого шарів, допустимий вміст вуглецю і швидкість охолодження зварного з'єднання, що виключають утворення кристалізаційних тріщин в металі шва і гартівних структур в зоні термічного впливу зварного з'єднання. Визначено залежності і розраховані режими багат шарового зварювання у вуглекислому газі без попереднього підігріву сталі 45Л товщиною 8-16 мм.

Ключові слова: зварне з'єднання, погонна енергія, кристалізаційні тріщини, гартівні структури, попередній підігрів, вміст вуглецю, швидкість охолодження.

Вступ.

При виготовленні зварнолитих конструкцій широке застосування знаходять виливки із середньовуглецевих сталей 35Л і 45Л підвищеної міцності, які мають хороші ливарні та механічні властивості, але мають обмежену зварюваність [1]. Зварні сполуки цих сталей схильні до утворення гартівних структур у зоні термічного впливу та кристалізаційних тріщин у металі шва [1,2], утворення яких зумовлено часткою участі середньовуглецевого основного металу у шві, величина якої залежить від величини погонної енергії зварювання [3]. Умовою попередження утворення гартівних структур є забезпечення швидкості охолодження зони термічного впливу нижче за критичну [4].

Ефективним засобом підвищення стійкості металу шва проти утворення кристалізаційних тріщин та загартованих структур є попередній підігрів [1,4], проведення якого ускладнює технологічний процес, збільшує трудомісткість, різко погіршує умови праці зварювальників. Це робить підігрів дуже небажаним, а здебільшого і взагалі неприйнятним [5].

Тому актуальним є дослідження та розробка технології зварювання, при якій забезпечується отримання зварних з'єднань достатньої пластичності без кристалізаційних тріщин та гартових структур при виключенні попереднього підігріву сталі 45Л завтовшки 8 – 16 мм.

Основний текст.

Дослідження здійснювалися на циліндричних порожнистих зразках



діаметром 80 – 150 мм та пластинах розміром 450×100 мм завтовшки 8 – 16 мм із сталі 45Л. Зварні з'єднання виконували без підігріву вручну електродами УОНІ-13/45 Ø5 мм та напівавтоматичним зварюванням вуглекислому газі зварювальним дротом Св-08Г2С діаметром 1,2, 1,6 та 2 мм.

Зі зварних зразків виготовлялися мікро- і макрошліфи для визначення частки участі основного металу, наявності тріщин, проведення металографічних досліджень та виміру твердості. З середньої частини шва бралася стружка для проведення хімічного аналізу. Вивчався вплив погонної енергії зварювання на частку участі основного металу у шві та перехід вуглецю в шов при одно- та двошаровому зварювання у вуглекислому газі. Термічні цикли зварювання записувалися за допомогою хромель - алюмелевих термопар та електродного потенціометра ПРС-1. Фіксувалася швидкість охолодження зони термічного впливу зразків, зварених з різною погонною енергією.

Дослідження впливу погонної енергії зварювання, вмісту вуглецю в металі шва і швидкості охолодження ЗТВ на властивості зварних з'єднань показали, що при зварюванні у вуглекислому газі без попереднього підігріву, у металі шва тріщини відсутні при погонній енергії до 6000 Дж/см і вмісту вуглецю до 0,2%. Однак при цьому в ЗТВ утворюються загартовані структури, виключити які дозволяє зменшення швидкості охолодження до 18-19⁰С/с, але при цьому у шві спостерігаються кристалізаційні тріщини.

При металографічних дослідженнях зварних з'єднань, виконаних як вручну електродами УОНІ 13/45 Ø5 мм, так і у вуглекислому газі зварювальним дротом Св-08Г2С Ø 1,2, 1,6 та 2мм, виявлено, що в обох випадках в ЗТВ спостерігаються гартівні структури - мартенсит і голчастий троостит [6], а в металі шва є кристалізаційні тріщини. Пластичні структури (ферит і перліт) з твердістю Нv₃₀=200-220 у ЗТВ можна отримати при погонній енергії q/v =2400 кал/см, але при цьому в зварному шві утворюються тріщини кристалізації, так як C_{шва}>0,2%[5]. Область на графіку (рисунок1), що лежить між зазначеними значеннями погонної енергії при одношаровому зварюванні без підігріву, характеризується наявністю кристалізаційних тріщин і загартованих структур одночасно. Таким чином, одношарове зварювання досліджуваних сполук без підігріву неприйнятне.

У зв'язку з тим, що зі збільшенням погонної енергії частка участі основного металу збільшується і призводить до утворення кристалізаційних тріщин, а швидкість охолодження зони термічного впливу зменшується і створюються умови для утворення менш напружених структур, і навпаки, проведено спільне дослідження цих залежностей. Це дозволило припустити, що існує область режимів, в якій можливе отримання зварних сполук зі швидкістю охолодження зони термічного впливу і вмістом вуглецю в металі шва нижче критичних, при яких можуть бути отримані зварні з'єднання без кристалізаційних тріщин у шві та загартованих структур у зоні термічного впливу. Для визначення цієї області були побудовані суміщені графіки (рисунок1) залежностей вмісту вуглецю в металі шва (1 шар, 2 шар) та швидкості охолодження ЗТВ (1,2,3,4,5 та 1',2',3',4',5') від погонної енергії при одно - та двошаровому зварюванні. Перший шар, виконаний на погонній енергії 4000-5200 Дж/см, є маловуглецевою підкладкою



($C_{скв.} \sim 0,16\%$) і забезпечує підігрів зони термічного впливу ($T = 200-250^\circ C$). Точка перетину з $C_{кр}$ отримана при $q/v = 10000$ кал/см.

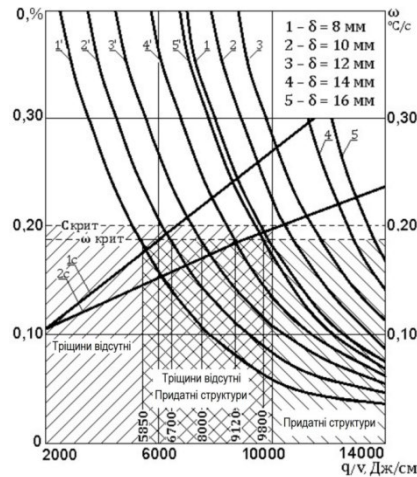


Рисунок 1 - Поєднані графіки залежностей вмісту вуглецю в металі шва (1шар, 2шар) та швидкості охолодження зони термічного впливу (1, 2, 3, 4, 5 і 1', 2', 3', 4', 5') при одно - та двошаровому зварюванні.

Авторська розробка

Зміщення кривих швидкостей охолодження вліво при накладенні другого шару забезпечило отримання критичної швидкості охолодження вліво, при накладенні другого шару забезпечило отримання критичної швидкості охолодження ЗТВ, при погонних енергіях $q/v = 6000 - 10000$ кал/см, шва 0,15-0,20% і швидкістю охолодження зони термічного впливу $6 \dots 19^\circ C/c$, тобто без кристалізаційних тріщин та гартівних структур. В результаті математичної обробки експериментальних даних отримано залежності для визначення напруги та сили струму при двошаровому зварюванні для першого шару(1,2):

$$U_{d_1} = (0,35 - 0,45)\sqrt{(q/V)V_{зв}} \quad (1)$$

$$I_{зв_1} = (3,20 - 3,70)\sqrt{(q/V)V_{зв}} \quad (2)$$

для другого шару(3,4):

$$U_{d_2} = (0,35 - 0,45)\sqrt{(q/V)V_{зв}} \quad (3)$$

$$I_{зв_2} = (3,40 - 4,0)\sqrt{(q/V)V_{зв}} \quad (4)$$

де U_d - напруга дуги, В;

$I_{зв}$ - зварювальний струм, А;

q/V - погонна енергія зварювання, Дж/см;

$V_{зв}$ - швидкість зварювання, см/с.

Встановлено лінійну залежність оптимальної погонної енергії від товщини металу при виконанні другого шару(5):

$$q/V = 1300\delta + 360, \quad (5)$$

де δ - товщина металу, см.

Тому величини напруги і струму при виконанні другого шару так само можуть бути визначені за формулами (6,7):



$$U_{\delta_2} = (3,4 - 4,0) \sqrt{(13\delta + 3,6) V_{36}} \quad (6)$$

$$I_{36_1} = (34 - 40) \sqrt{(13\delta + 3,6) V_{36}} \quad (7)$$

Авторська розробка

Залежності використані для розрахунку режимів зварювання 1-ого та 2-го шарів, які забезпечують отримання зварних з'єднань зі сталі 45Л завтовшки 8-16 мм без кристалізаційних тріщин та гартівних структур (таблиця 1). з'єднання

Таблиця 1 - Режими двошарового зварювання сталі 45Л

Товщина металу, мм	Тип з'єднання	$I_{зв, А}$	$U_{д, В}$	Швидкість зварювання м/г
1-й шар				
8-10	Стикове, зі скосом однієї кромки	190-210	22-23	26-32
11-13	Стикове, зі скосом кромок, кутове	210-250	23-24	24-30
14-16	Стикове, зі скосом кромок, кутове	250-300	24-26	24-30
2-й шар				
8-10	Стикове, зі скосом однієї кромки	270-300	27-28	26-32
11-13	Стикове, зі скосом кромок, кутове	290-320	28-30	24-30
14-16	Стикове, зі скосом кромок, кутове	320-300	30-32	24-30

Авторська розробка

Висновки.

Таким чином, на підставі проведених досліджень встановлено, що при зварюванні сталі 45Л попередити кристалізаційні тріщини та гартівні структури в ЗТВ можливо при двошаровому зварюванні у вуглекислому газі першого шару на погонній енергії 6000-10000 Дж/см, а другого шару на погонній енергії до 10000 Дж/см та швидкості охолодження не більше 18-19⁰С/с. Критичний вміст вуглецю в металі шва має перевищувати 0,2%. Визначено залежності та розраховано режими двошарового зварювання без підігріву сталі 45Л завтовшки 8-16мм, що забезпечують отримання зварних з'єднань без кристалізаційних тріщин у металі шва та ЗТВ з феритно-перлітною структурою.

Результати досліджень рекомендуються до впровадження при зварюванні у вуглекислому газі шестерень, зірочок, валів та інших деталей, що виготовляються із середньовуглецевих сталей марок 35,45, 35Л,40Л,45Л.

Література:

1. М.Г. Єфіменко, Н.О. Радзівілова. Матеріалознавство і термічна обробка зварних з'єднань. - Харків, УПА, 2003.- 488с.
2. Патон, Б. Е. Современные направления повышения прочности и ресурса сварных конструкций // Автоматическая сварка, 2000, № 9/10, С. 3 – 9.
3. А. Т. Назарчук, В. В. Снисарь, Э. Л. Демченко. Получение равнопрочных сварных соединений закаливающихся сталей без подогрева и термической обработки // Автоматическая сварка. 2003, № 5, С. 41 – 50.



4. G. Brozda, M. Zeman Weldability evaluation of a modern TMCR steel by using simulation techniques // Acta Metal-lurgicaSinica, 2000. – № 1. – P. 103 – 111.

5. Е.С. Дерябкина, М.Н. Жежер. Влияние термической обработки на склонность к МКК сварных соединений низколегированной коррозионностойкой стали с азотом // Машинобудування. 2012, Вип.9, С.78-86.

6. T. S. Skoblo, O. Yu. Klochko, E. L. Belkin, A. Sidashenko. New approaches in study of inhomogeneity of heterogeneous structures, metallofiz // Metallofizika i Noveishie Tekhnologii. 2018, Vol. 40, Issue 2, P. 255-280. DOI: 10.15407/mfint.40.02.255.

References:

1. M.G. Efimenko, N.O. Radzivilova. Materials science and heat treatment of welded joints. - Kharkiv, UIPA, 2003. - 488p.

2. Paton, B. E. Modern directions for increasing the strength and service life of welded structures // Automatic Welding, 2000, No. 9/10, pp. 3 – 9.

3. A. T. Nazarchuk, V. V. Snisar, E. L. Demchenko. Obtaining equal-strength welded joints of hardening steels without heating and heat treatment // Automatic welding. 2003, No. 5, pp. 41 – 50.

4. G. Brozda, M. Zeman Weldability evaluation of a modern TMCR steel by using simulation techniques // Acta Metal-lurgicaSinica, 2000. – № 1. – P. 103 – 111.

5. E.S. Deryabkina, M.N. Zhezher. The influence of heat treatment on the tendency to MCC of welded joints of low-alloy corrosion-resistant steel with nitrogen // Mashinobuduvannya. 2012, Vip.9, pp.78-86.

6. T. S. Skoblo, O. Yu. Klochko, E. L. Belkin, A. Sidashenko. New approaches in study of inhomogeneity of heterogeneous structures, metallofiz // Metallofizika i Noveishie Tekhnologii. 2018, Vol. 40, Issue 2, P. 255-280. DOI: 10.15407/mfint.40.02.255.

Abstract. Below, we study the effect of heat input on the resistance against crystallization cracks of weldments, that appears due to presence of the main medium-carbon material in the weld metal. The amount of heat input inside the first and second layers have been established, as well as the permissible carbon content and the cooling rate of the weldments. The latter excludes formation of crystallization cracks inside the weld metal and hardening structures in the zone of thermal influence of the weldments. The dependences are determined and the modes of multilayer welding in carbon dioxide without preheating of 45LI steel with a thickness of 8-16 mm are evaluated.

Key words: welding joints, heat input, crystallization cracks, quenching structures, preheating, carbon content, cooling rate.

Статья отправлена: 19.01.2023 г.

© Дерябкина Е.С.