

*Андрій ДЗЮБИК¹, Наталія ЧЕРВІНСЬКА², Андрій ВОЙТОВИЧ²,
Людмила ДЗЮБИК¹*

КОРОЗИЙНА ТРИВКІСТЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ СТАЛІ ТИПУ ARMSTAL 500

¹Національний університет «Львівська політехніка»
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013. E-mail: dar.lviv@gmail.com

²Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79060

*Andriy DZYUBYK¹, Nataliia CHERVINSKA², Andriy VOITOVICH¹,
Lyudmyla DZYUBYK¹*

CORROSION RESISTANCE OF WELDS FOR ARMSTAL 500

¹National University "Lviv Politechnic"
12, Bandera Str., Lviv, 79013, Ukraine. E-mail: dar.lviv@gmail.com

²Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine
5, Naukova Str., Lviv, 79060, Ukraine

ABSTRACT

Determined the corrosion resistance of welds for ARMSTAL 500 type steel. It is shown that the use of appropriate welding material can be structurally different phase composition welds. This allows to modify the welding residual stress and regulate their distribution axis seam. Corrosion resistance and avoid root weld cracks would perform optimally austenitic electrode In terms of technological strength. This would enable relax residual stresses. The main seam perform electrode Sv-08G2S of ferrite-pearlitic structure to provide the required strength and corrosion resistance of the weld.

KEY WORDS: *corrosion resistance, stresses, welded joints, diagnostics, strength.*

ВСТУП

Освоєння промисловістю нових марок броньованих сталей типу ARMSTAL 500 зумовлює необхідність розроблення відповідних технологій їх зварювання для отримання якісних рівномірних з'єднань [1, 2]. Різна технологія виконання зварних стиків і наступна їх термічна обробка утворюють різний структурно-фазовий склад металу самого зварного шва та зони термічного впливу (ЗТВ). Ця структурно-фазова неоднорідність спричинює виникнення електрохімічної гетерогенності металу зварного шва, що інтенсифікує корозійні процеси, які в сукупності із впливом залишкових напружень або експлуатаційних навантажень можуть призводити до корозійного розтріскування зварного з'єднання у корозивних середовищах. Таке поєднання особливо небезпечне для з'єднань із високоміцної сталі, структурною складовою якої є мартенсит [3–5].

У даній роботі досліджено корозійну тривкість різних зон зварного шва високоміцної бейнітної сталі типу ARMSTAL 500, а також розподіл електрохімічних властивостей металу впоперек зварного шва.

МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для досліджень застосовували стикові зварні з'єднання із прямолінійними швами з листової середньовуглецевої низьколегованої сталі товщиною 10 мм з бейнітною структурою (табл. 1). Для одержання якісного зварного стику застосовували V-подібну прямолінійну розробку крайок листа. Структура листа дрібнодисперсна з твердістю 380...400 HV.

Таблиця 1. Хімічний склад досліджуваних сталей різних товщин
Table 1. The chemical composition of the studied steels of different thickness

S, mm	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Cu	V	W
10,1	0,273	0,259	0,941	0,757	0,208	1,16	0,142	0,057	0,059

Зварювання здійснювали півавтоматичним способом у середовищі суміші інертних та активних газів (98 % Ar + 2% O₂) дротами суцільного перерізу різного хімічного складу (табл. 2), що забезпечувало отримання аустенітної або ферито-перлітної структури металу шва. Застосовували однотипне та комбіноване заповнення шарів. Техніка зварювання передбачала багато-прохідне зварювання електродними дротами малого перерізу. Струм дуги складав 110...130 А, а напруга 20...22 В.

Таблиця 2. Хімічний склад електродних дротів
Table 2. The chemical composition of electrode wires

Зварювальний дріт Хім. елем., %	Св-08Г2С	Св08Х20Н9Г7Т
Fe	95,97	69,43
C	0,345	0,129
Si	0,345	0,887
Mn	0,945	> 4,95
Cr	0,688	16,54
Mo	0,203	0,059
Ni	1,06	7,48
Co	0,015	0,089
Cu	0,135	0,001
Sn	0,07	0,001
V	0,054	0,161
W	0,141	0,133

Зварювали без попереднього підігрівання. При цьому для кореневого шва використовували електроди з пластичною аустенітною структурою. Це дає змогу забезпечити необхідну тріщиностійкість з'єднання на стадії його формування. Заповнюючий та облицювальний шари розробки крайок виконували металом із ферито-перлітної структурою. Така технологія зварювання не потребує використання термічного оброблення та забезпечує отримання рівномірного зварного з'єднання.

Мікроструктуру досліджували на оптичному та електронному мікроскопах. Твердість зварних з'єднань визначали методом Віккерса.

Моделювання залишкових напружень, зумовлених термічним циклом зварювання, виконували за відомим методом [5]. Він враховує локальність пластичних деформацій в околі зварного шва та дає змогу оцінити при цьому тривісний напружений стан.

Корозійну тривкість зварного з'єднання досліджували з допомогою потенціостата ПИ-50-1.1 з відповідним програмним забезпеченням, знімаючи поляризаційні криві у потенціодинамічному режимі. Використовували трьохелектродну схему вимірювань: робочий електрод – досліджувана сталь; електрод порівняння – насичений хлоридсрібний, допоміжний – платиновий. До досліджуваної пластини приклеювали електрохімічні комірки у різних ділянках зварних з'єднань (рис. 1): основного металу, зони термічного впливу та зварних швів. Корозивним середовищем, яке наливали у комірки, слугував 3%-й розчин натрію хлориду. Швидкість розгортки потенціалу становила 2 мВ/с. Випробування проводили за кімнатної температури.

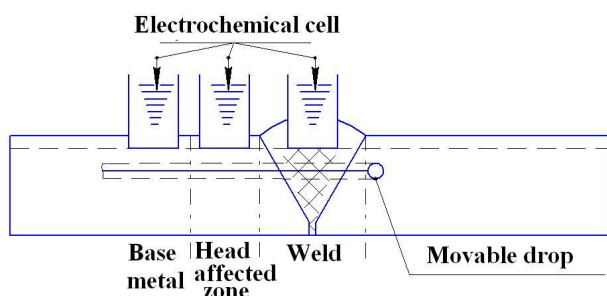


Рис. 1. Схема зразка для електрохімічних випробувань.
Fig. 1. Scheme for electrochemical sample test.

Мікроелектрохімічні випробування виконували, скануючи поверхню зварних швів рухомою краплею низькопровідного розчину МЕХ (0,0092N H₂SO₄+0,14% H₂O₂+0,00001% K₂Cr₂O₇) [6], в якому вуглецеві сталі та алюмінієві сплави розчиняються в активному стані.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Електрохімічні випробування проводили, знімаючи поляризаційні криві у різних ділянках зварних з'єднань. Поверхню поляризували за різного часу експозиції зразків у корозивному середовищі: 1 год і 72 год. Встановлено (табл. 3), що стаціонарний електродний потенціал основного металу у 3%-му розчині NaCl у першу годину випробувань становив -0,54 В і через 72 год експозиції у цьому ж середовищі змістився у негативну область до -0,62 В. Електродний потенціал аустенітного шва був позитивнішим і становив -0,31 і -0,45 В відповідно. Зварні шви із ферито-перлітною структурою мало відрізнялися між собою і за значеннями були близькі до потенціалу основного металу. Найвища корозійна тривкість характерна для аустенітної зони зварного стику (табл. 3, рис. 2, крива 2) упродовж усього часу випробувань. Густина струму корозії за час випробувань зменшилася в 2,6 рази, хоча дещо зросла інтенсивність катодних процесів, водночас зменшилася анодних.

Таблиця 3. Електрохімічні параметри зварних з'єднань у 3 % розчині NaCl

Table 3. Electrochemical parameters of welds in 3 % NaCl solution

№ п/п	Зразок	$E_{st.}, V$	$i_{corr}, mA/cm^2$	$E_{st.}, V$	$i_{corr}, mA/cm^2$
		1 h		72 h	
1.	Осн. мет.	-0,54	$3,75 \cdot 10^{-2}$	-0,62	$2,13 \cdot 10^{-2}$
2.	Шов 1	-0,31	$4,35 \cdot 10^{-3}$	-0,45	$1,66 \cdot 10^{-3}$
3.	ЗТВ 1	-0,59	$6,75 \cdot 10^{-3}$	-0,66	$3,50 \cdot 10^{-3}$
4.	Шов 2	-0,57	$1,21 \cdot 10^{-2}$	-0,62	$2,13 \cdot 10^{-2}$
5.	ЗТВ 2	-0,60	$9,18 \cdot 10^{-3}$	-0,67	$5,05 \cdot 10^{-3}$
6.	Шов 3	-0,58	$2,43 \cdot 10^{-2}$	-0,65	$1,43 \cdot 10^{-2}$
7.	ЗТВ 3	-0,61	$1,77 \cdot 10^{-2}$	-0,66	$1,76 \cdot 10^{-2}$

У таблиці шов 1 – аустенітний, а шов 2 і шов 3 – ферито-перлітні.

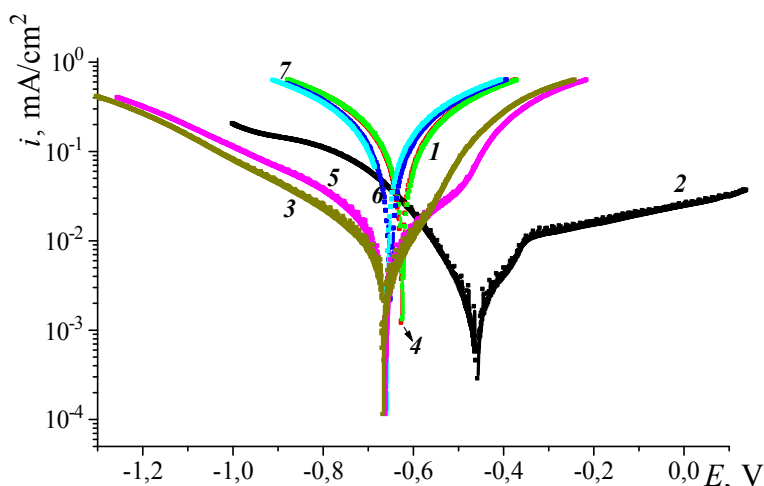


Рис. 2. Поляризаційні криві досліджуваних зварних швів і ЗТВ після 72 год експозиції у 3%-му розчині NaCl:

1 – вихідна сталь; 2 – шов 1; 3 – ЗТВ 1; 4 – шов 2; 5 – ЗТВ 2; 6 – шов 3; 7 – ЗТВ 3.

Fig. 2. Polarization curves of welds after 72 h in 3% NaCl solution
1 – base metal; 2 – weld 1; 3 – HAZ 1; 4 – weld 2; 5 – HAZ 2; 6 – weld 3; 7 – HAZ 3.

Неоднорідна структура зварних швів зумовлює і електрохімічну гетерогенність за впливу корозивного середовища, що, в свою чергу, спричиняє формування мікрогальванопар. Саме їх активність визначає швидкість корозії сталей, а ця активність залежить від інтенсивності катодних електродних реакцій на катодних ділянках, що лімітують корозію. Що більша площа катодних ділянок, то менше гальмуються катодні електродні реакції внаслідок поляризувального впливу анодних ділянок. Отже, активність мікрогальванопар і, відповідно, швидкість корозії сталі зростає зі збільшенням структурної неоднорідності. Внаслідок структурної неоднорідності можливе виникнення локальної корозії по границях зерен у зоні сплавлення, що надалі може призвести до корозійного розтріскування з'єднання.

На основі мікроелектрохімічних досліджень даних зварних швів у розчині МЕХ (рис. 3)

встановлено, що більша мікроелектрохімічна гетерогенність притаманна швам з аустенітною структурою (рис. 3 *a*). Максимальна різниця між потенціалом основного металу і зварного шва у даному середовищі становить 0,5 В (від -0,4 до +0,1 В). Для швів з ферито-перлітною структурою ця різниця значно менша і становить 0,15 В (рис. 3 *b*).

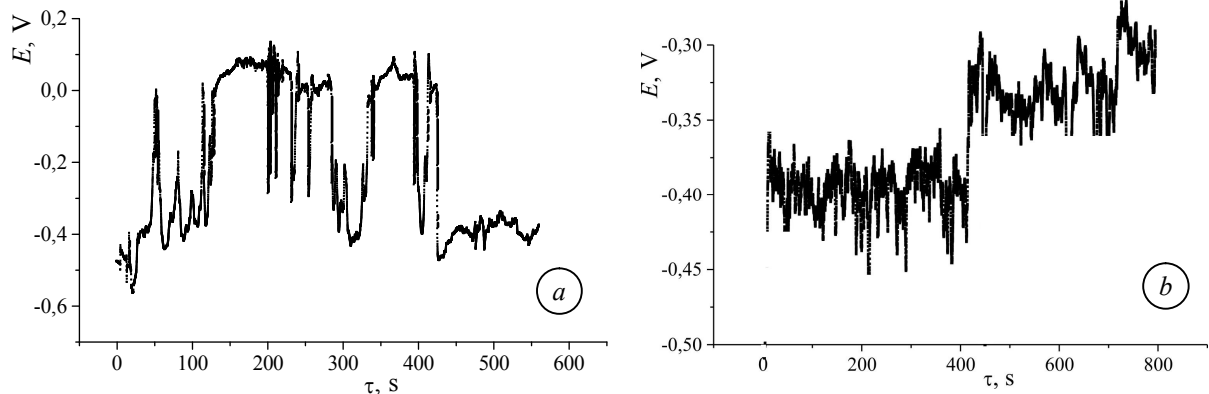


Рис. 3. Мікроелектрохімічна гетерогенність аустенітного шва 1 (*a*) і ферито-перлітного (*b*).

Fig. 3. Microelectrochemical heterogeneity austenitic (*a*) and ferrite-pearlite welds.

Таким чином, за результатами електрохімічних досліджень можна стверджувати, що зварне з'єднання електродними дротами за мікроструктурою, близькою до основного металу, за відсутності значних залишкових напружень не повинно б спричиняти його локальної корозії. Наявність аустенітної зони може бути причиною інтенсивнішої корозії металу зони термічного впливу, що пришвидшує корозійні процеси, однак її присутність може зменшити локалізацію залишкових напружень внаслідок їх релаксації у м'якшому металі і таким чином позитивно вплинути на корозійно-механічне руйнування. Але ці питання вимагають подальших досліджень.

ВИСНОВКИ

Електрохімічна гетерогенність швів, виконаних електродними дротами Св-08Г2С, є незначною, електродний потенціал зварного шва та основного металу відрізняються всього на 0,15 В у низькопровідному розчині МЕХ і на 0,02 В у 3%-му розчині натрію хлориду.

Електродний потенціал зварного шва, виконаного аустенітним електродом Св08Х20Н9Г7Т, у середовищі 3%-го NaCl відрізняється на ~0,2 В, а в розчині МЕХ – на 0,5 В, що повинно б інтенсифікувати локальну корозію металу зони термічного впливу.

З точки зору забезпечення технологічної міцності, корозійної тривкості та уникнення тріщин корінь шва оптимально було б виконувати аустенітним електродом. Це дало б змогу зрелаксувати залишкові напруження. Основний шов слід виконувати електродом Св-08Г2С з ферито-перлітною структурою, що забезпечить необхідну міцність та корозійну тривкість зварного з'єднання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дзюбик А., Палаш В. Проблеми прогнозування міцності зварних з'єднань елементів конструкцій із високоміцних сталей // Міжнародна наукова конференція «Сучасні проблеми механіки та математики»: тези доп., 21 – 25 травня 2013 р. – Львів, 2013. - Т 1. - С. 95-97.
2. Махненко В. И. Ресурс безопасной эксплуатации сварных соединений и узлов современных конструкций. – Киев: Наук. думка, 2006. – 620 с.
3. Корозійно-механічне руйнування зварних конструкцій / В.І. Похмурський, Р.К. Мелехов, Г.М. Круцан, В.Г. Здановський. – К.: Наукова думка, 1995. – 260 с.
4. Улиг Г.Г., Реві Р.У. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику: пер. с англ. / под. ред. А.М. Сухотина. – Л.: Химия, 1989. – 485 с.
5. Осадчук В.А., Цимбалюк Л. І., Дзюбик А. Р. Визначення тривісного розподілу залишкових напружень в зварних з'єднаннях елементів конструкцій прямолінійними швами і оцінка їх впливу на міцність з'єднань за наявності дефектів типу тріщин // Математичні методи і фізико-механічні поля. – 2011. – 54, № 1. – С. 131-140.
6. Pokhmursky V.I., Student M.M., Chervinska N.R., Stupnytsky T.R., Pokhmurska H.V. Electrochemical properties of arc sprayed coatings from cored wires on the base of cheap ferroalloys // Ochrona przed korozja (Corrosion protection). – 2013. – 11. – P. 516-518.