

УДК 620.194

**ВПЛИВ ДЕФЕКТІВ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ТРУБНОЇ СТАЛІ 17Г1СУ
НА ОПІР СІРКОВОДНЕВОМУ РОЗТРИСКУВАННЮ***М. С. ХОМА, Р. М. ЮРКЕВИЧ, Г. В. ЧУМАЛО, О. І. РАДКЕВИЧ**Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів*

Вивчено вплив дефектів у зварних з'єднаннях (ЗЗ) трубної сталі 17Г1СУ, виконаних ручним електродуговим способом електродами УОНІИ 13/55Р, FOX EV 50 (Böhler), Basic One (Lincoln), на роботоздатність зварних конструкцій на повітрі і у середовищі з сірководнем. Встановлено, що об'ємні дефекти сумарною площею до 15% від розрахункового перерізу ЗЗ, виконаного електродом УОНІИ 13/55Р, за повільного деформування (10^{-5} s^{-1}) не впливають на його міцність. Вони суттєво знижують опір ЗЗ до сірководневого корозійного розтріскування: за наявності сумірних дефектів порогові напруження зразків, зварених електродами УОНІИ 13/55Р та FOX EV 50, на 60 МПа нижчі, ніж без них.

Ключові слова: *трубна сталь, зварне з'єднання, дефекти, зварювальний електрод, сірководневе корозійне розтріскування.*

Під час зварювання сталі не завжди вдається уникнути дефектів. Ними у зварних з'єднаннях (ЗЗ) вважають такі, що не відповідають вимогам чинних норм і технічних умов [1], зменшують міцність і експлуатаційну надійність та можуть спричинити руйнування всієї конструкції. Найчастіше виділяють дефекти форми й розмірів зварних швів, макро- і мікроструктури, деформації й жолоблення зварних конструкцій. До дефектів макроструктури, що виявляють за збільшення не більш ніж у 10 разів, відносять газові пори, шлакові включення, непровари, тріщини. Поруватість можуть викликати підвищений вміст водню через використання вологих електродів або флюсів, а також іржа, волога, оливи, фарби на зварюваних крайках або зварювальному дроті. Шлакові включення спричинені поганим очищенням крайок зварюваних деталей та недостатньо повним видаленням шлаку за багатопрхідного зварювання.

Вплив дефектів на міцність ЗЗ зумовлений, в основному, зменшенням робочого перерізу та концентрацією напружень. Залежно від концентрації напружень всі дефекти поділяють на плоскі (гострі) – тріщини, непровари, подрізи, які створюють різку концентрацію напружень, та об'ємні (тупі) – пори, шлакові включення тощо.

Тріщини в металі шва (МШ) і в зоні термічного впливу (ЗТВ) неприпустимі. Об'ємні дефекти за їх сумарної площі до 5...10% перерізу шва мало впливають на статичну міцність швів з підсиленням. Коли матеріал ЗЗ має великий запас пластичності, то на статичну міцність, в основному, впливає відносний розмір дефекту. За зниженої пластичності матеріалу, а також динамічного і вібраційного навантажень навіть невеликі дефекти можуть істотно знижувати міцність ЗЗ, яка тоді залежить від концентрації напружень на дефекті, а не від його розміру [2– 5].

Нижче досліджено вплив розміру та кількості поверхневих дефектів у ЗЗ на його роботоздатність.

Матеріали та методи випробувань. Досліджували ЗЗ трубної сталі 17Г1СУ, виконані електродами УОНІИ 13/55Р, FOX EV 50 (Böhler), Basic One (Lincoln)

(див. таблицю), якими зварюють малолеговані і вуглецеві конструкційні сталі. Електроди УОНІИ 13/55Р та FOX EV 50 використовують для корневих, заповнювальних та облицювальних шарів шва.

**Хімічний склад та механічні властивості основного металу
та зварювальних електродів**

Матеріал та електроди	Вміст елементів, %								$\sigma_{T \min}$	$\sigma_{B \min}$
	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P	інші		
Сталь 17Г1СУ	0,17	1,4	0,47	0,04	0,03	0,005	0,023	0,034 Al; 0,03 Cu; 0,01 Ti;	440	600
УОНІИ 13/55Р Ø 3 mm	0,10	1,54	0,43	0,02	0,03	0,011	0,022	0,05 Cu	380	530
FOX EV 50 Ø 4 mm	0,076	0,72	0,64	–	0,21	0,005	0,010	–	420	500– 640
Basic One Ø 4 mm	0,05	1,34	0,44	0,07	0,04	0,008	0,017	0,05 Cu; 0,01 Mo; 0,01 V; 0,008 Ti; 0,002 Al	518	579

Електрод УОНІИ 13/55 Р прожарювали при 350°C впродовж години, струм зварювання ним сталі 17Г1СУ (Ø 1020×12 mm) – 90...120 А для кореневого шару і 140...180 А для заповнювального та облицювального. Під час зварювання сталі непрожареними електродами FOX EV 50 та Basic One кореневий шар виконували прожареним електродом УОНІИ 13/55Р, струми зварювання такі, як і для електрода УОНІИ 13/55Р (всього чотири проходи).

Схильність зразків із 33 до сірководневого корозійного розтріскування під напруженням (СКРН) вивчали згідно зі стандартом [6], використовуючи циліндричні зразки з діаметром 6,4 mm та довжиною робочої частини 51,2 mm, у розчині NACE (5%-й NaCl + 0,5% CH₃COOH, насичення H₂S, рН 3...4, 20°C). Тривалість випробувань 720 h. Характеристики міцності та пластичності зразків із 33 досліджували на установці УИП-6 зі швидкістю деформації 10⁻⁵ s⁻¹. Металографію виконували на мікроскопах ZEISS Stemi 2000 C та METAM PB-21. Дефектність зразків оцінювали за сумарною відносною площею дефектів кожного виду: $g = \Sigma S/S_p$, де ΣS – сумарна площа дефектів; S_p – розрахунковий переріз з'єднання. Оскільки вивчали зразки однакового перерізу, відносну дефектність оцінювали за сумарною площею дефектів на поверхні зразка [2].

Результати досліджень. Глибина дефектів у 33 не перевищувала 0,3 mm (рис. 1). Випроби на повітрі з малою швидкістю деформації 33, які мали сумірні дефекти, показали, що за використання електрода FOX EV 50 руйнування протікає від дефектів у металі шва (МШ) ($\Sigma S = 4,27 \text{ mm}^2$), а електродів УОНІИ 13/55Р – по основному металу (ОМ) ($\Sigma S = 4,67 \text{ mm}^2$) (рис. 2). Дефекти МШ цього з'єднання сумарною площею ~15% від перерізу зразка не вплинули на його міцність.

Відомо [2], що у пластичних сталях під малими навантаженнями тупі дефекти за їх сумарної площі до 5...10% площі перерізу шва мало впливають на статичну міцність шва з підсиленням. Саме їх (рис. 1а) зафіксовано у 33, виконаному електродом УОНІИ 13/55Р. Водночас дефекти у з'єднанні, звареному електродом FOX EV 50 (рис. 1b і 2а), спричинили його руйнування. Очевидно, міцність зразків тут залежить від концентрації напружень в околі дефектів.

Оскільки 33, виконані електродом УОНІИ 13/55Р, руйнувались по ОМ, то жодних змін у властивостях не виявили. Найбільш відчутно дефектність проявляється у 33, виконаних електродом FOX EV 50 (рис. 2а і 3). Встановлено, що вплив дефектів на пластичність суттєвіший, ніж на міцність. Дефекти, які займають ~13% площі перерізу шва ($\Sigma S = 4,27 \text{ mm}^2$, $S_p = 32 \text{ mm}^2$), знижують значення σ_B та $\sigma_{0,2}$ відповідно в 1,14 та 1,24 рази, а значення Ψ та δ – у 2,0 та 2,17 разів

порівняно з такими ж характеристиками бездефектних ЗЗ. Час до руйнування при цьому зменшується більш ніж удвічі.

Рис. 1. Дефекти у зварних швах сталі 17Г1СУ, виконаних вологими електродами УОНІИ 13/55Р (а), FOX EV 50 (б) та Basic One (с).

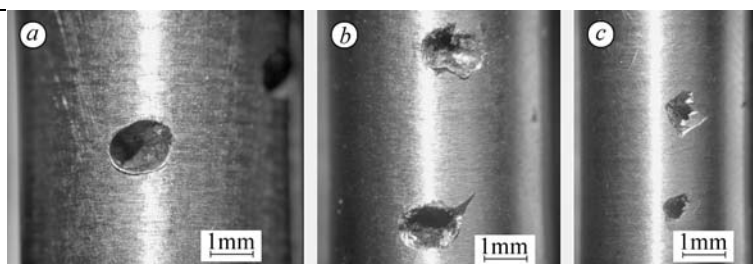


Fig. 1. Defects in welded joints of 17G1CY steel made with wet electrodes: УОНІИ 13/55Р (a), FOX EV 50 (Böhler) (b) and Basic One (Lincoln) (c).

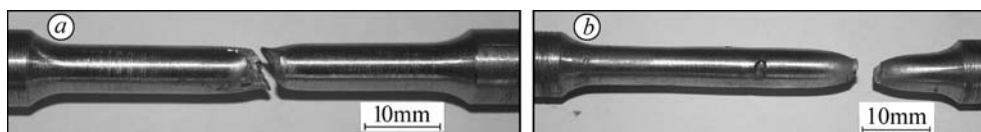


Рис. 2. Зразки ЗЗ сталі 17Г1С, виконаного електродами FOX EV 50 (а) та УОНІИ 13/55Р (б), після розтягу з малою швидкістю деформації на повітрі.

Fig. 2. Welded joints samples of 17G1CY steel performed with FOX EV 50 (a) and УОНІИ 13/55Р (b) electrodes after tension with low-speed deformation in air.

Рис. 3. Характеристики міцності (а) та пластичності (б) ЗЗ сталі 17Г1СУ без дефектів (світлі стовпчики) та з дефектами (заштриховані); електрод FOX EV 50.

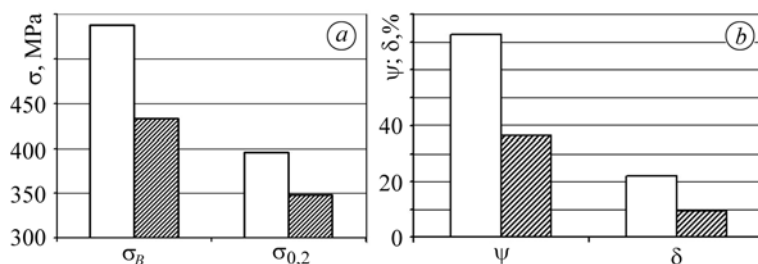


Fig. 3. Strength (a) and plasticity (b) properties of welded joints of 17G1CY steel without defects (light columns) and with defects (dashed area); FOX EV 50 electrode.

Дослідження опірності СКРН бездефектних ЗЗ, виконаних різними електродами, виявили, що у сірководневому середовищі порогові напруження для них $\sigma_{SSC} \approx 0,75\sigma_{0.2min}$, що становить 295 МПа (рис. 4а). Зразки руйнувались у зоні ОМ.

Встановлено, що опір СКРН зразків ЗЗ із дефектами слабший, ніж без них: порогові напруження для сталі 17Г1СУ, звареної електродами УОНІИ 13/55Р ($\Sigma S_{def} = 3,3 \text{ mm}^2$ або 10,3% від S_p) та FOX EV 50 ($\Sigma S_{def} = 3,16 \text{ mm}^2$ або 9,9% від S_p), становлять $\sigma_{SSC} = 0,6\sigma_{0.2}$ (235 МПа) (рис. 4б, криві 1, 2), що на 60 МПа нижче, ніж для зразків без дефектів. Натомість, опір СКРН для цієї сталі, звареної електродом Basic One, становить $0,5\sigma_{0.2}$ (196 МПа), що практично на 100 МПа нижче, ніж для бездефектних зразків (рис. 4, криві 3). Зазначимо, що тут кількість і площа поверхневих дефектів вищі: чотири дефекти ($\Sigma S_{def} = 7,42 \text{ mm}^2$ або 23% S_p) проти двох у згаданих вище з'єднаннях. Всі досліджені зразки руйнувались по МШ від дефектів, які є концентраторами напружень. Зі збільшенням статичних навантажень час до руйнування різко скорочується. Зокрема, час до руйнування зразка ЗЗ, виконаного електродом УОНІИ 13/55Р, з двома дефектами площею $2,5 \text{ mm}^2$ (7,8% S_p) і напруженнями $0,8\sigma_{0.2}$ (314 МПа) лише 26 h. За нижчих напружень ($0,6\sigma_{0.2}$ або 235 МПа) ЗЗ з дефектами до 10% від S_p не зруйнувалися впродовж бази випробувань.

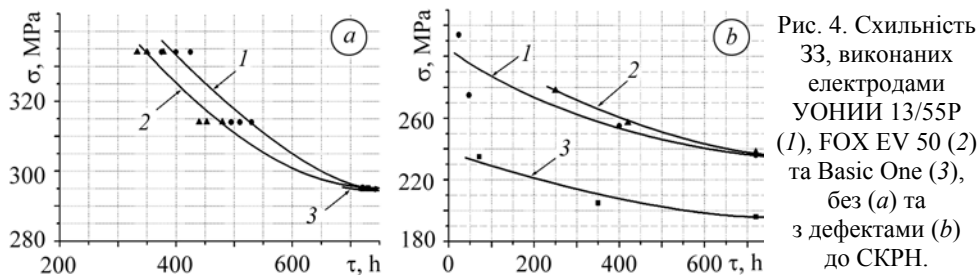


Fig. 4. Susceptibility of welded joints performed with УОНИИ 13/55Р (1), FOX EV 50 (2) and Basic One (3) electrodes without defects (a) and with defects (b) to SSCC.

ВИСНОВКИ

Встановлено, що об'ємні дефекти сумарною площею до 15% від площі перерізу зразків зі 33 сталі 17Г1СУ, виконаного електродом УОНИИ 13/55Р, за повільних швидкостей деформування (10^{-5} s^{-1}) не впливають на їх міцність. Показано, що опір СКРН зразків 33 із дефектами нижчий, ніж без них: порогові напруження для сталі 17Г1СУ, звареної електродами УОНИИ 13/55Р та FOX EV 50, із сумірними дефектами на 60 МПа нижчі, ніж без дефектів. Всі досліджені 33 руйнувались по МШ від дефектів, які є концентраторами напружень. Зі збільшенням навантаження на 79 МПа у сірководневому середовищі час до руйнування зразків зі 33 (електрод УОНИИ 13/55Р) з дефектами площею до 10% від площі перерізу зразків істотно зменшується (в 27 разів).

РЕЗЮМЕ. Изучено влияние дефектов в сварных соединениях трубной стали 17Г1СУ, выполненных ручным электродуговым способом электродами УОНИИ 13/55Р, FOX EV 50 (Böhler), Basic One (Lincoln), на работоспособность сварных конструкций как на воздухе, так и в средах, содержащих сероводород. Установлено, что объемные дефекты, суммарной площадью до 15% от расчетного сечения сварного соединения, выполненного электродом УОНИИ 13/55Р, при медленных нагрузках (10^{-5} s^{-1}) не влияют на его прочность. Дефекты существенно снижают сопротивляемость СКРН сварного соединения: пороговые напряжения для стали 17Г1СУ, сваренной электродами УОНИИ 13/55Р и FOX EV 50, с соизмеримыми дефектами, на 60 МПа ниже, нежели образцов без дефектов.

SUMMARY. The influence of defects in welded joints of 17Г1СУ pipe steel performed by manual electric arc method with УОНИИ 13/55Р, FOX EV 50 (Böhler), Basic One (Lincoln) electrodes on the serviceability of welded structures, both in air and in environments containing hydrogen sulphide, has been studied. It is established that the bulk defects, with a total area of up to 15% of the calculated cross sections of the welded joints prepared with УОНИИ 13/55Р electrode under slow loading (10^{-5} s^{-1}) do not affect its durability. Defects significantly reduce the resistance of the welded joint to SSCC: threshold stress for 17Г1СУ steel welded with УОНИИ 13/55Р and FOX EV 50 electrodes with commensurable defects are by 60 МПа lower than for the samples without defects.

1. ВСН 012-88. Строительство магистральных и промысловых трубопроводов. Контроль качества и приемка работ. Ч. I. – М.: Миннефтегазстрой, 1989.
2. Технология металлов и материаловедение / Под ред. Л. Усовой. – М.: Металлургия, 1987. – 800 с.
3. Махненко В. И. Ресурс безопасной эксплуатации сварных соединений и узлов современных конструкций. – К.: Наук. думка, 2006. – 620 с.
4. Стеклов О. И. Стойкость материалов и конструкций к коррозии под напряжением. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.
5. Походня И. К. Проблемы сварки высокопрочных низколегированных сталей // Сучасне матеріалознавство XXI сторіччя. – К.: Наук. думка, 1998. – 670 с.
6. NACE Standard TM0177-90. Standard Test Method. Laboratory Testing of Metals for Resistance to Sulfide Stress Cracking in H₂S Environment. – Houston, Texas, 1990. – P. 22.

Одержано 27.09.2010