

УДК 620.017:669.017

**М. Греділь, канд. техн. наук; О. Цирульник, канд. техн. наук;  
О. Звірко, канд. техн. наук; В. Волошин**

*Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України*

## **ДЕГРАДАЦІЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛУ ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ ЕКСПЛУАТОВАНОГО МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ**

*Резюме.* Досліджено механічні властивості окремих зон зварного з'єднання трубної сталі 17Г1С після 30 років експлуатації. Встановлено, що тривала експлуатація спричиняє зниження пластичності та ударної в'язкості, особливо металу зони термічного впливу. Для металу шва виявлено одночасне зниження міцності, твердості та опору крихкому руйнуванню.

**Ключові слова:** зони зварного з'єднання, деградація, ударна в'язкість.

**M. Hredil; O. Tsyurulnyk; O. Zvirko; V. Voloshyn**

## **DEGRADATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF WELDING JOINT METAL OF GAS MAIN AFTER SERVICE**

*The summary.* The mechanical properties of certain zones of welding joint of 17G1C pipe steel after 30 years of service were investigated. It was established that long-term service causes a decrease of plasticity and impact toughness, especially of the heat affected zone metal. Weld metal revealed simultaneous decrease of strength, hardness and brittle fracture resistance.

**Key words:** zones of welding joint, degradation, impact toughness.

**Вступ.** Проблема деградації властивостей сталей магістральних газопроводів останнім часом загострилася [1] у зв'язку з їх тривалою експлуатацією. Порівняльні випробування експлуатованих сталей і металу труб запасу на міцність, пластичність, ударну в'язкість, тріщиностійкість та опір корозійному розтріскуванню [2–4] свідчать про різке зниження опору крихкому руйнуванню та корозійно-водневому розтріскуванню. Електрохімічні дослідження в модельному середовищі водного конденсату магістральних газопроводів показали можливість наводнювання металу стінки труби від її внутрішньої поверхні як результат корозійних процесів усередині труби, а отже, і деградації властивостей за сумісної дії механічного навантаження і транспортованого середовища [5]. Усе це зумовлює потребу постійного моніторингу технічного стану магістральних трубопроводів, експлуатованих 20 і більше років, який повинен включати регулярні спостереження за напруженим станом труби, станом основного металу і зварних швів, а також розрахунки конструкційної міцності та прогноз залишкового ресурсу з урахуванням змін у металі.

Детальний аналіз причин аварій часто свідчить про безпосередній зв'язок джерела зародження руйнування з певним дефектом металургійного, виробничого, будівельно-монтажного або експлуатаційного характеру, який є концентратором напружень. Значна частина їх пов'язана із дефектами зварного з'єднання (ЗЗ): неповне зняття залишкових напружень зварного шва, дефекти механічного пошкодження, а також поперечних стикових швів, зокрема непроварів тощо.

Проблема деградації властивостей сталей магістральних газопроводів особливо актуальна для ЗЗ. Відома проблема окрихчувального впливу зварювання внаслідок порівняно швидкого охолодження, що спричиняє структурні зміни, перерозподіл

шкідливих домішок і залишкові напруження. Тому ЗЗ вразливі до дії корозивно-наводнювальних середовищ. Для теплостійких сталей показано [6], що метал шва (МШ) деградує інтенсивніше порівняно з іншими зонами ЗЗ, через що з часом твердість, міцність і пластичність стають нижчими, ніж основного металу (ОМ) та зони термічного впливу (ЗТВ). Гірші експлуатаційні характеристики МШ у поєднанні з наявними у ньому дефектами зумовлюють високий ризик руйнувань.

У роботі досліджено механічні властивості окремих зон ЗЗ трубної сталі 17Г1С після тривалої експлуатації.

**Матеріали та методика досліджень.** Досліджували польове стикове ЗЗ сталі 17Г1С, вирізане з експлуатованої 30 років труби зовнішнім діаметром 1220 мм та товщиною 12 мм. Для порівняння зварювали стиковий шов із металу труби запасу ручним електродуговим способом згідно з вимогами технологічного регламенту: силою струму – 210 А, електродами УОНИ-13/55, які попередньо прогартовували при 560 К протягом 1 год. Ширина шва 3...4 мм, а ЗТВ – до 11 мм. Механічні властивості визначали розтягом зі швидкістю деформування  $3 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ . Випробовували циліндричні зразки діаметром робочої частини 5 мм та довжиною 25 мм, в центрі якої знаходилася досліджувана зона ЗЗ з круговим концентратором глибиною 1 мм. При цьому отримували умовні характеристики міцності (границя текучості  $\sigma_{0,2}$  і границя міцності  $\sigma_B$ ) і пластичності (відносне звуження  $\psi$ ). Ударну в'язкість ( $KCV$ ) визначали методом Шарпі.

**Результати і їх обговорення.** Міцність ОМ і ЗТВ експлуатованого ЗЗ та труби запасу (табл.) відрізняються незначно. Для МШ є тенденція до зниження характеристик міцності. Твердість ОМ та ЗТВ дещо зростає, а МШ – падає.

Таблиця. Механічні властивості різних зон ЗЗ сталі 17Г1С

Зони ЗЗ	Стан металу	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	<i>НВ</i>	$\psi$ , %
ОМ	Вихідний	653	796	187	62,5
	Експлуатований	630	833	192	54
ЗТВ	Вихідний	651	809	202	61
	Експлуатований	665	835	207	50
МШ	Вихідний	753	942	207	51
	Експлуатований	740	838	187	47

Загалом з отриманих даних складно зробити висновок про вплив експлуатації на міцність металу ЗЗ, оскільки вихідні властивості труб різних плавок можуть відрізнятися. Що стосується пластичності, то вона для всіх зон ЗЗ знижується, найінтенсивніше – для ЗТВ (рис. 1). І хоч пластичність МШ залишається найменшою, різниця у значеннях  $\psi$  для різних зон експлуатованого ЗЗ зменшується.

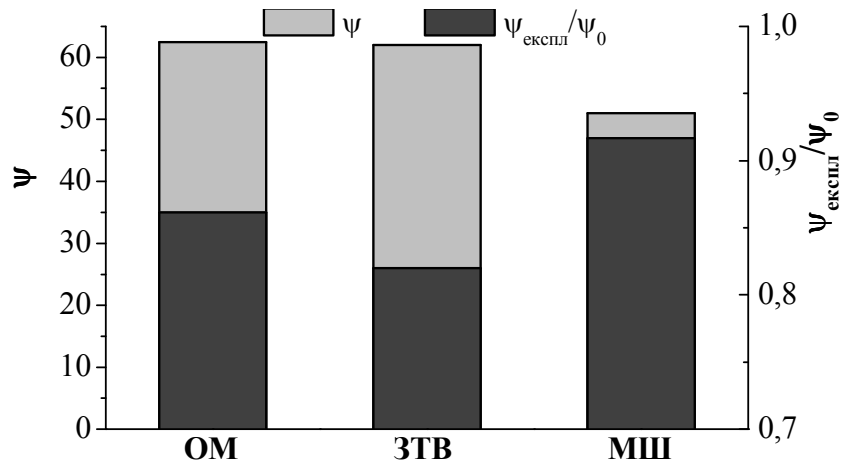


Рисунок 1. Вплив експлуатації на відносне звуження різних зон ЗЗ сталі 17Г1С

Найвища ударна в'язкість властива OM, найменша – металу ЗТВ (рис. 2), при цьому розкид експериментальних даних невеликий. Внаслідок тривалої експлуатації ударна в'язкість всіх зон ЗЗ зменшується, найсильніше – для металу ЗТВ. Розкид експериментальних даних різко зростає, особливо для ЗТВ і МШ. Таке зниження ударної в'язкості відповідає спаду пластичності за відносним звуженням, проте часто не узгоджується зі зміною міцності. Зокрема, в результаті експлуатації границя міцності МШ зменшилась від 942 до 838 МПа, що мало б супроводжуватися зростанням показників  $\psi$  і  $KCV$ . Однак відносне звуження та ударна в'язкість суттєво знизилися, що свідчить про окрихчення металу. Феномен одночасного зниження міцності й твердості, а з іншого боку, – опору крихкому руйнуванню експлуатованих ошаднолегованих сталей, виявлено раніше [2–4, 7]. Його пояснюють розвитком у металі розсіяної пошкодженості. Така поведінка металу відповідає другій стадії експлуатаційної деградації, що характерна для матеріалів, експлуатованих понад 20 років. Їй передують стадія деформаційного старіння. Зазначимо, що найінтенсивніше деградує метал ЗТВ, однак аномальної механічної поведінки цієї зони ЗЗ не виявлено.

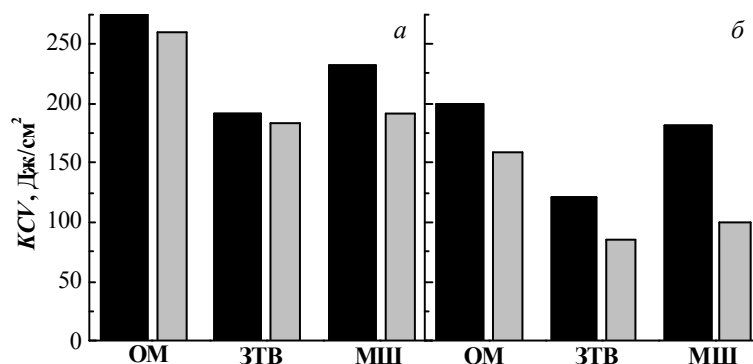


Рисунок 2. Ударна в'язкість зварного з'єднання труби запасу (а) та експлуатованого (б): чорні стовпчики – середні значення; сірі – мінімальні

**Висновки.** Тривала експлуатація мало впливає на характеристики міцності металу ЗЗ сталі 17Г1С, але спричиняє деградацію характеристик пластичності та ударної в'язкості. Серед зон ЗЗ властивості ЗТВ погіршуються найсильніше порівняно

зі 33 труби запасу. Для МШ виявлено одночасне зниження внаслідок експлуатації міцності, твердості та опору крихкому руйнуванню, що свідчить про накопичення в ньому експлуатаційної пошкодженості.

#### **Література**

1. Механіка руйнування і міцність матеріалів: довідн. пос. [Текст]; за заг. ред. В.В. Панасюка. Т. 11: Міцність і довговічність нафтогазових трубопроводів і резервуарів / Г.М. Никифорчин, Р.М. Джала, І.В. Ориняк та ін.; за ред. Г.М. Никифорчина. – Львів: Сполом, 2008. – 554 с.
2. Effect of the long-term service of the gas pipeline on the properties of the ferrite–pearlite steel / Н. Nykyforchyn, E. Lunarska, O. Tsyulnyk, et al. // *Materials and Corrosion*. – 2009. – № 9. – P. 716–725.
3. Environmentally assisted “in-bulk” steel degradation of long term service gas trunkline / Н. Nykyforchyn, E. Lunarska, O. Tsyulnyk et al. // *Engineering Failure Analysis*. – 2010. – 17. – P. 624–632.
4. Крижанівський, Є.І. Корозійно-воднева деградація нафтових і газових трубопроводів та її запобігання: наук.-тех. пос. [Текст] / Є.І. Крижанівський, Г.М. Никифорчин; під ред. В.В. Панасюка. У 3-х т. Т.1. Основи оцінювання деградації трубопроводів. – Івано-Франківськ: вид-во Івано-Франківського нац. техн. ун-ту нафти і газу, 2011. – 457 с.
5. Вплив експлуатації сталі X52 на корозійні процеси у модельному розчині газового конденсату [Текст] / О.Т. Цирульник, З.В. Слободян, О.І. Звірко та ін. // *Фіз.-хім. механіка матеріалів*. – 2008. – № 5. – С. 29–37.
6. Деградація зварних з'єднань парогонів теплоелектростанцій у наводнювальному середовищі [Текст] / Г.М. Никифорчин, О.З. Студент, І.Р. Дзіоба та ін. // Там же. – 2004. – №6. – С. 105–110.
7. Никифорчин, Г.М. Аномальний прояв високотемпературної деградації металу шва зварного з'єднання ошаднолегованої сталі [Текст] / Г.М. Никифорчин, О.З. Студент, А.Д. Марков // Там же. – 2007. – № 1. – С. 73–79.