

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ МАГНЕТОПРУЖНОЇ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРИВАЛО ЕКСПЛУАТОВАНОЇ НА НАФТОГОНІ СТАЛІ 19Г

*В. Р. СКАЛЬСЬКИЙ, Є. П. ПОЧАПСЬКИЙ, Б. П. КЛИМ,  
М. О. РУДАК, П. П. ВЕЛИКИЙ*

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

Досліджено мікроструктуру сталі 19Г труб нафтогону після 48 років експлуатації. Оцінено пошкодженість матеріалу порами у поперечному перерізі труби. Встановлено закономірність зміни параметрів сигналів магнетопружної акустичної емісії по товщині стінки трубопроводу.

**Ключові слова:** *трубна сталь, зварне з'єднання, мікроструктура, мікротвердість, пошкодженість, магнетопружна акустична емісія.*

Нафтопроводи тривалої експлуатації руйнуються під впливом механічних навантажень і корозивних робочих середовищ, які зумовлюють локалізовані фізико-хімічні процеси зародження та розвитку мікрodefektів, що призводить до виникнення макротріщин, а відтак – до аварій та катастроф як для виробництва, так і довілля [1]. Найчастіше такими дефектами є корозійні пори, пітинги, неметалеві включення тощо, які під дією інтенсивних навантажень стають концентраторами напружень, а отже, джерелами зародження руйнування [2], яке супроводжується генеруванням пружних хвиль акустичної емісії (АЕ) [2, 3].

Традиційно метод АЕ реалізують, прикладаючи до контрольованого об'єкта навантаження чи деформуючи його. Навантаження, необхідні для поширення малих дефектів, іноді перевищують допустимі для матеріалу. Тому практичне застосування АЕ-контролю дещо обмежене. Щоб його розширити, а також ефективніше локально діагностувати феромагнетні елементи конструкцій, збуджують сигнали магнетопружної акустичної емісії (МАЕ) зовнішнім магнетним полем, яке ініціює стрибкоподібне переміщення стінок магнетних доменів (ефект Баркгаузена) [4]. Характер цих процесів дещо особливий в околі окремих дефектів чи їх скупчень, де є значні градієнти механічних напружень, а також суттєві зміни доменної структури матеріалу під впливом пластичних деформацій або водню [4].

Нижче досліджено мікроструктуру матеріалу труби нафтогону зі сталі 19Г діаметром 1020 mm, товщиною стінки 10 mm після 48 років експлуатації, а також вплив деградації металу на параметри сигналів МАЕ.

**Методика випроб.** Мікроструктуру металу досліджували у діаметральному перерізі, використовуючи призматичні зразки розмірами 10×30×60 mm, вирізані з ділянки труби з поздовжнім швом. Застосовували оптичний мікроскоп NU-2 та сканівний електронний EVO-40XVP. Зразки полірували та травили 2%-им розчином азотної кислоти. Розподіл мікротвердості в перерізі визначали приладом ПМТ-3М за навантаження 0,49 N, керуючись ГОСТ 9450-76 [5]. Вплив деградації матеріалу трубопроводу на параметри сигналів МАЕ вивчали на зразках розміром 240×30×2 mm, вирізаних на трьох рівнях по товщині стінки труби (біля зовнішньої і внутрішньої поверхонь труби і з центральної частини її перерізу). Виконано

ристовували магнетоакустичну інформаційну систему МАЕ-2Л, призначену для відбору та опрацювання сигналів МАЕ [6]. Зразки перемагнетували у соленоїді з 1500 витками з мідного дроту діаметром 53 та завдовжки 152 mm. Амплітуду індукції магнетного поля міряли з допомогою котушки (1200 витків) за активного опору 112  $\Omega$ .

**Результати та їх аналіз.** Металографічними дослідженнями у поперечному перерізі зварного з'єднання (ЗЗ) експлуатованого металу виявили велику кількість пор. У мікроструктурі деградованого (рис. 1a) металу шва (МШ) зафіксували феритно-перлітні стовпчасті кристали та багато сферичних пор (рис. 1b) і сульфідних включень (рис. 1c).

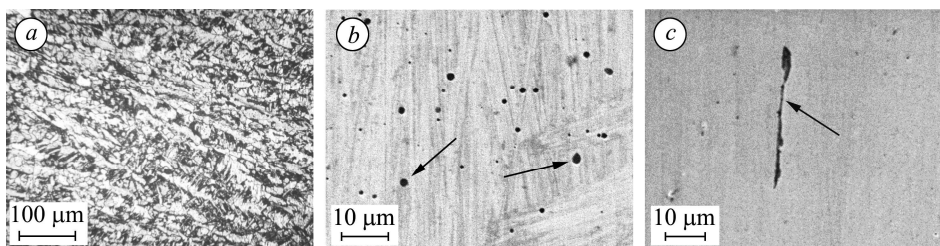


Рис. 1. Мікроструктура металу шва (a) 33 сталі 19Г: b – пори сферичної форми; c – сульфідне включення.

Fig. 1. Microstructure of the weld metal (a) of 19Г steel: b – spherical pores; c – sulfide inclusion.

У металі інших зон ЗЗ, як і в МШ, присутні пори розмірами 1...3  $\mu\text{m}$ . Але у феритно-перлітній структурі основного металу (рис. 2a–c) їх на 10...15% менше. Поперек стінки труби від зовнішньої (рис. 2a) до внутрішньої (рис. 2c) поверхонь їх кількість зростає на 10...20%. Вони правильної сферичної форми, що притаманно дефектам, сформованим навколо неметалевих включень.

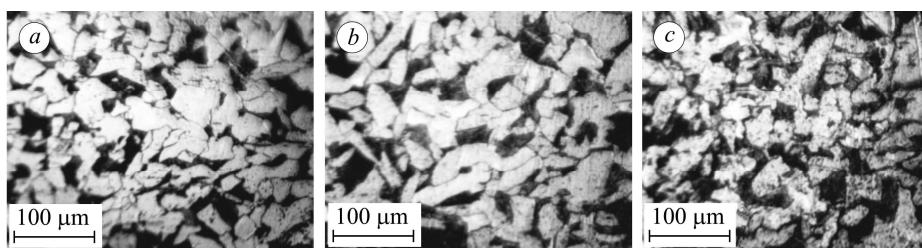


Рис. 2. Мікроструктура основного металу 33 сталі 19Г (a – зовнішній; b – серединний; c – внутрішній шари перерізу труби) та оцінка міри його пошкодженості  $\xi$  порами по товщині стінки труби  $t$  (d).

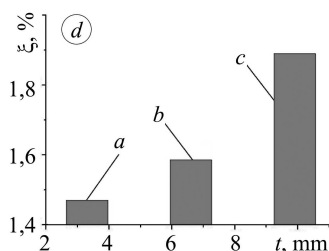


Fig. 2. Microstructure of the base metal of 19Г steel welded joint (WJ) (a – outer layer; b – middle layer; c – inner layer of the pipe diametral cross section) and estimation of its damage  $\xi$  by pores of the pipe base metal along the pipeline wall  $t$  (d).

Відомі різні підходи кількісної оцінки пошкодженості матеріалу [7]. Зокрема, для аналізу пор в основному металі стінки труби запропоновано порівняти площу поверхні зразка, яка потрапляє в поле зору, зі сумарною площею поперечного перерізу пор у тому ж полі зору. Досліджували у п'яти місцях по периметру труби з кроком 1 cm для кожного з трьох обраних шарів її стінки (біля зовнішньої і внутрішньої поверхонь і в центрі її перерізу). Міру пошкодженості металу

труби  $\xi$  визначали за співвідношенням площ поперечного перерізу пор і досліджуваної ділянки поверхні зразка. Виявили, що значення  $\xi$  по товщині стінки труби  $t$  зростає від зовнішнього до внутрішнього шарів (рис 2d). Враховуючи, що одним з чинників, які впливають на інтенсивність сигналу МАЕ, є твердість матеріалу [8], заміряли мікротвердість зразків методом Віккерса (рис. 3).

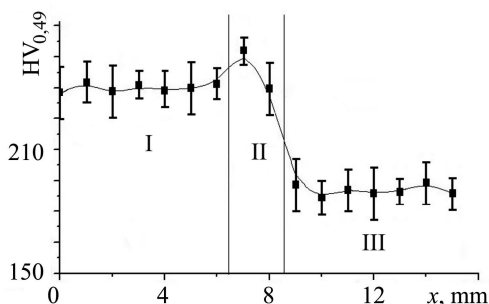


Рис. 3. Fig. 3.

Рис. 3. Зміна мікротвердості металу різних зон 33 сталі 19Г у напрямі від осі шва: I – метал шва; II – зона термічного впливу; III – основний метал.

Fig. 3. Change of the metal microhardness from different zones of WJ of the 19Г steel in the direction from the axis of the weld joint:

I – weld joint; II – heat affected zone; III – base metal.

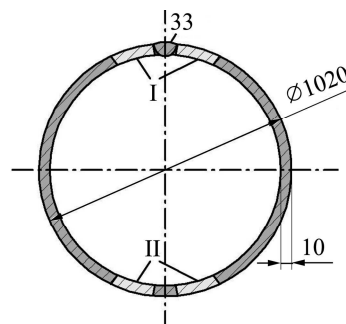


Рис. 4. Fig. 4.

Рис. 4. Схема вирізання зразків з труби нафтогону.

Fig. 4. Scheme of cutting specimens from the pipeline pipe.

Твердість металу шва порівняно з основним металом на 60...75 одиниць вища. В зоні термічного впливу досягає максимальних значень, що зумовлено дисперснішою структурою, сформованою під час кристалізації зварної ванни. Зазначимо, що твердість основного металу на 10...15 одиниць вища, ніж дослідженій сталі у стані постачання [9].

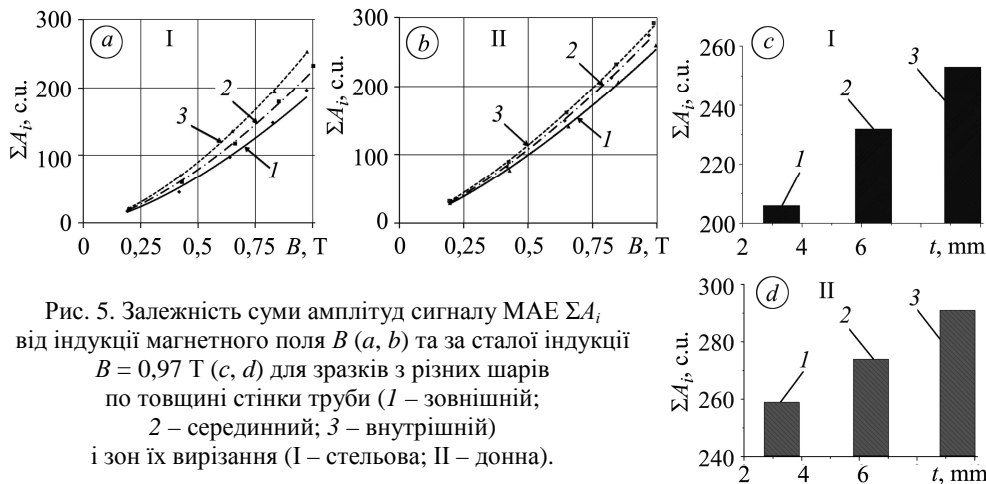


Рис. 5. Залежність суми амплітуд сигналу МАЕ  $\Sigma A_i$  від індукції магнетного поля  $B$  (a, b) та за сталої індукції  $B = 0,97$  Т (c, d) для зразків з різних шарів по товщині стінки труби (1 – зовнішній; 2 – серединний; 3 – внутрішній) і зон їх вирізання (I – стельова; II – донна).

Fig. 5. Dependence of the amplitudes sum of the MAE  $\Sigma A_i$  signal (in conventional units) on magnetic field induction  $B$  (a, b) and under constant induction  $B = 0,97$  Т (c, d) in specimens from different layers along the pipeline wall (1 – outer; 2 – middle; 3 – inner layers) and places of its cutting (I – upper zone; II – bottom zone).

Щоб встановити залежність між пошкодженням матеріалу трубопроводу та параметрами сигналів МАЕ, виготовили зразки зі стельової (I), що піддавалась

впливу випарів, та донної (II), яка безпосередньо контактувала з нафтою, частин труби (рис. 4).

Побудували (рис. 5) залежності суми амплітуд сигналів МАЕ від індукції магнетного поля з урахуванням місця розташування зразків і виявили різницю сум амплітуд сигналів МАЕ  $\Sigma A_i$  для різних місць вирізання зразків з діаметрально протилежних зон труби та різних шарів по товщині її стінки. За сталої індукції магнетного поля  $B$  найбільші значення  $\Sigma A_i$  зареєстровано під час перемагнечування зразків з внутрішнього шару стінки труби, найменші – зі зовнішнього. Це пояснюють тим [4], що водень, присутній у феромагнетику, підвищує активність генерування сигналів МАЕ. Навіть протилежна тенденція зміни пошкодженості матеріалу по товщині стінки труби не нівелювала його вплив. Отже, домінуючим чинником впливу на перемагнечення металу з різних шарів стінки труби можна вважати водень.

### ВИСНОВКИ

Тривала експлуатація труб нафтогонів спричиняє різну деградацію матеріалу верхньої чи нижньої частин труби. Особливо суттєво на генерування сигналів МАЕ в металі під час перемагнечування у квазістатичному магнетному полі впливає водень.

*РЕЗЮМЕ.* Исследована микроструктура стали 19Г труб нефтепровода после 48 лет эксплуатации. Оценена поврежденность материала порами в поперечном сечении трубы. Установлена закономерность изменения параметров сигналов магнитоупругой акустической эмиссии по толщине стенки трубопровода.

*SUMMARY.* The microstructure of 19G steel of oil pipes after exploitation for 48 years is investigated. The degree of damage by pores of the cross-section of the pipe wall material is evaluated. The dependence of the parameters of magnetoelastic acoustic emission signals on metal location along the thickness of the pipeline wall is established.

1. *Фрактографічні ознаки експлуатаційної деградації зварних з'єднань магістральних нафтогонів / Г. В. Кречковська, С. Р. Яновський, О. З. Студент, Г. М. Никифорчин // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2015. – 51, № 2. – С. 21–27.*  
(*Krechkovs'ka H. V., Yanovs'kyi S. R., Student O. Z., Nykyforchyn H. M. Fractographic signs of the in-service degradation of welded joints of oil mains // Materials Science. – 2015. – 51, № 2. – P. 165–171.*)
2. *Пенкин А. Г., Терентьев В. Ф., Маслов Л. Г. Оценка степени деградации механических свойств и остаточного ресурса работоспособности трубных сталей с использованием методов акустической эмиссии и кинетической твердости //www.sds.ru/articles/degradation, 2004.*
3. *Скальський В. Р., Коваль П. М. Акустична емісія під час руйнування матеріалів, виробів і конструкцій. Методологічні аспекти відбору і обробки інформації. – Львів: Сполум, 2005. – 396 с.*
4. *Назарчук З. Т., Андрейків О. Є., Скальський В. Р. Оцінювання водневої деградації феромагнетиків у магнетному полі. – К.: Наук. думка, 2013. – 272 с.*
5. *ГОСТ 9450-76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 34 с.*
6. *Назарчук З. Т., Скальський В. Р., Почапський Є. П. Технології відбору та опрацювання низькоенергетичних діагностичних сигналів. – К.: Наук. думка, 2014. – 304 с.*
7. *Скальський В. Р., Андрейків О. Є. Оцінка об'ємної пошкодженості матеріалів методом акустичної емісії. – Львів: Вид. центр Львів. нац. ун-ту ім. Івана Франка, 2006. – 330 с.*
8. *Shibata M. and Ono K. Magnetomechanical acoustic emission – a new method for non-destructive stress measurement // NDT Int. – 1981. – 14, № 5. – P. 227–234.*
9. *Зубченко А. С. Марочник сталей и сплавов. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.*

Одержано 04.12.2015