

СЛУЖБОВІ ВЛАСТИВОСТІ СТАЛЕЙ 09Г2С, 14ХГС І СТАЛІ 20 ПІСЛЯ ТРИВАЛОГО ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

С.А. Недосєка, А.Я. Недосєка, М.А. Яременко, М.А. Овсїенко

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Сталі 09Г2С, 14ХГС і сталь 20 входять до переліку найбільш застосованих для виготовлення будівельних конструкцій. Більшість газопроводів також виготовлені саме з цих сталей. Представляє значний інтерес зміна властивостей цих матеріалів у різноманітних умовах експлуатації з урахуванням часу і порушення експлуатаційних умов. Дослідження показують, що середовище та умови експлуатації, а також продукт, який транспортується трубопроводом, грають досить істотну роль у зміні їх властивостей з плином часу. Найбільш тонкі службові характеристики цих матеріалів може допомогти виявити технологія, заснована на акустичній емісії. Наведені нижче дослідження присвячені застосуванню АЕ для цих цілей. Бібліогр. 15, рис. 5.

Ключові слова: акустична емісія, АЕ активність, пошкодження, руйнування матеріалів, ударна в'язкість, навантаження

Службові властивості матеріалу являють собою характеристики, які виявляються при роботі матеріалу безпосередньо у реальних конструкціях. Вони є значно більш різноманітними, ніж ті, які визначаються для матеріалу при стандартних лабораторних випробуваннях зразків.

Дослідження зміни ударної в'язкості сталей 09Г2С, 14ХГС і сталі 20, які відпрацювали тривалий час у газопроводах, показало, що з плином часу ці властивості змінюються у бік зменшення (рис. 1, а). Ударну в'язкість визначали експериментально на стандартних зразках 10×10×55 мм з концентратором $r = 0,25$ мм [1]. Зразки виготовляли з вирізок, отриманих з діючих газопроводів під час зупинки на проведення ремонтних робіт. Термін експлуатації вказано на момент вирізання зразків. Початкові значення ударної в'язкості визначали для матеріалу запасних труб.

Падіння ударної в'язкості для труб, по яких транспортується газ, викликане, найімовірніше, проникненням атомарного водню в стінку труби з подальшим перетворенням його в молекулярний з різким збільшенням об'єму молекули, пов'язаним з поглинанням частини енергії, наявної на поверхнях мікротріщини. Останнє призводить до розвитку мікротріщини [1, 2–12]. Тривала експлуатація трубопроводів у такому стані веде до поступового зниження механічних властивостей матеріалу труби. На рис. 1, б представлені фотографії зруйнованих під час випробування на ударну в'язкість зразків.

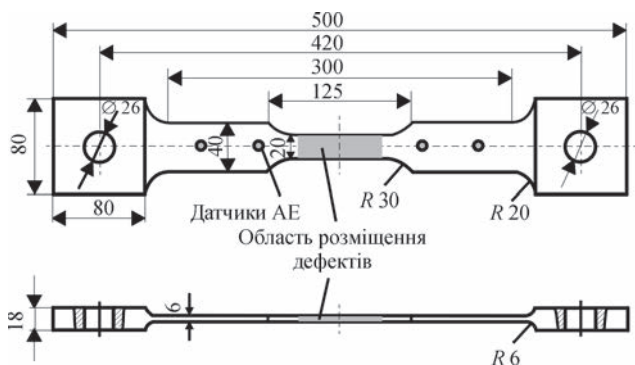
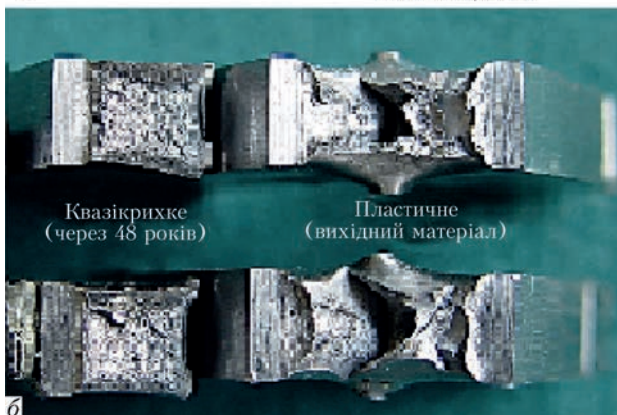
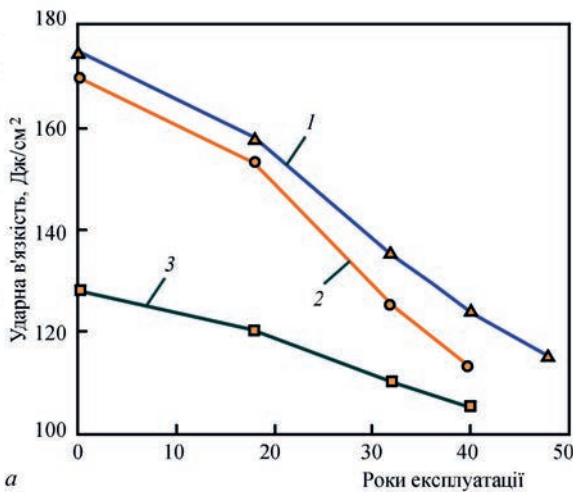


Рис. 1. Зміна властивостей сталей: а – властивості сталей 09Г2С, 20 і 14ХГС; б – пластичне і крихке руйнування сталі 20 в залежності від часу експлуатації

Рис. 2. Зразок для проведення випробувань з застосуванням АЕ технології

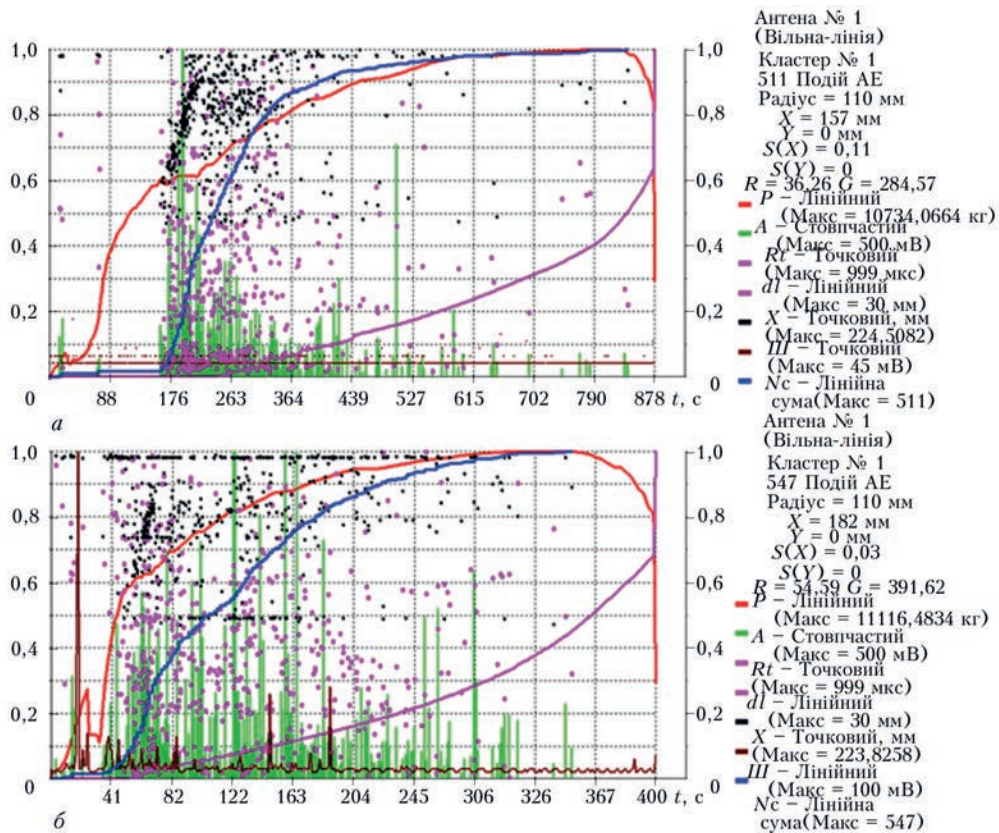


Рис. 3. Діаграми з графіками АЕ інформації при випробуванні зразків зі сталі 20: а – після 48 років експлуатації; б – вихідний матеріал. Праворуч від графіка у таблиці показані: dl – подовження зразка, мм (рожева крива), P – навантаження, кг (червона), A – амплітуда АЕ подій, мВ (зелені стовпчики), N – сума подій АЕ, пошкодження (синя), Rt – час наростання сигналу АЕ (рожеві точки), III – неперервна АЕ, що носить характер постійного шумового фону (чорна), K – координати кожної події АЕ (чорні точки). Граничні значення кожної вимірюваної величини показано у специфікації в правій частині діаграми. У специфікації також наведено радіус кластера, в якому об'єднувалися АЕ події, місце руйнування зразка X, мм, похибка вимірювання координат АЕ подій S(X), мм

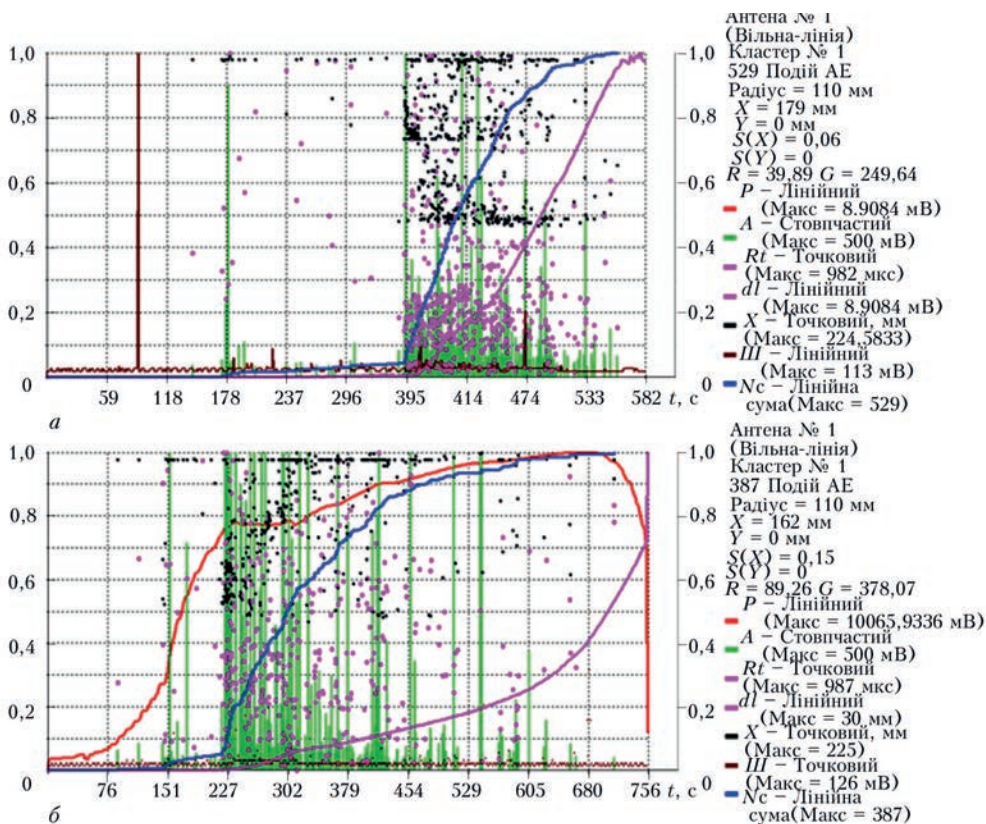


Рис. 4. Діаграми з графіками АЕ інформації при випробуванні зразків зі сталі 09Г2С: а – для матеріалу через 41 рік експлуатації труби; б – для вихідного матеріалу. Позначення як на рис. 3

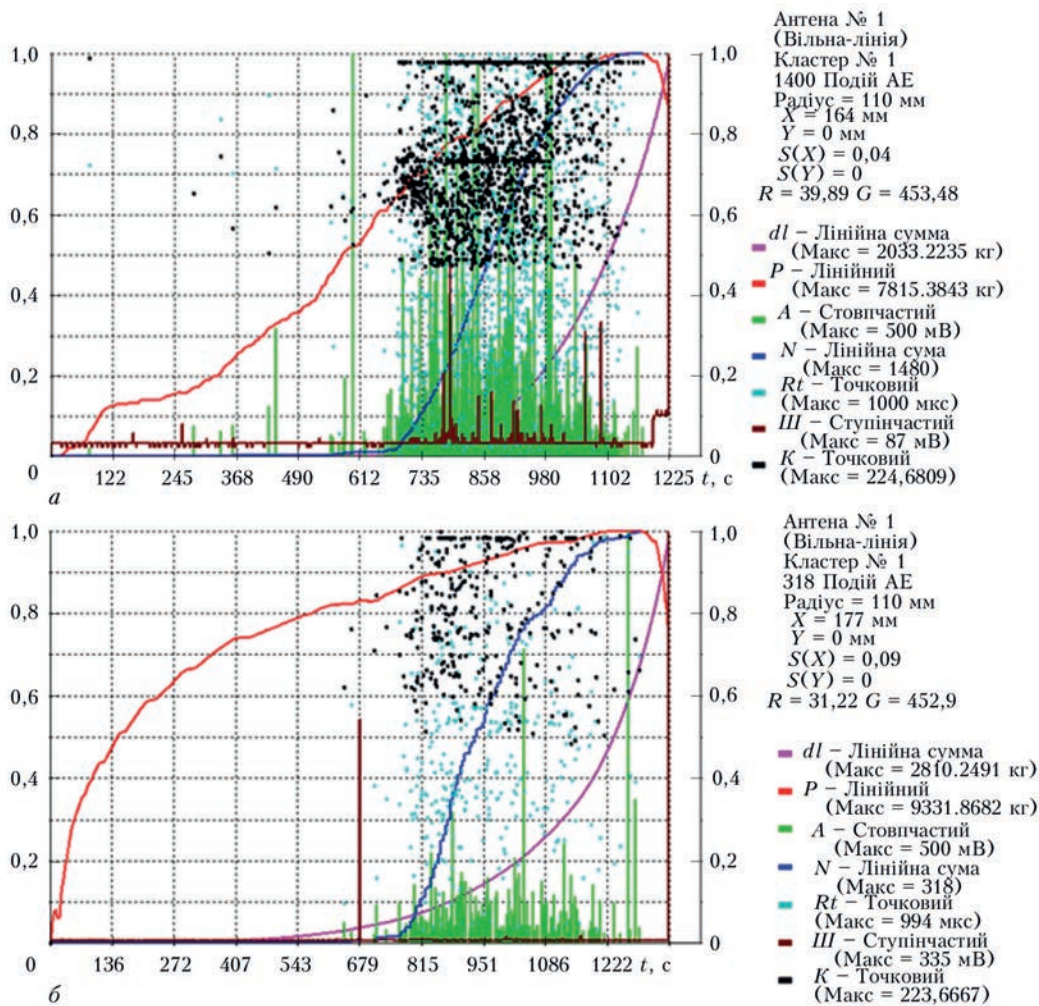


Рис. 5. Діаграми з графіками АЕ інформації при випробуванні зразків зі сталі 14ХГС: *a* – для матеріалу через 40 років після початку експлуатації труби; *б* – для вихідного матеріалу. Позначення як на рис. 3

Зразки на фото (рис. 1, *б*) розташовані за ступенем накопичених пошкоджень у послідовності справа наліво. Праворуч – вихідний матеріал, що не був у експлуатації. Його руйнування при випробуваннях відбувалося шляхом швидкої пластичної плинності. Ліворуч показані зруйновані під час випробування зразки сталі 20 через 48 років експлуатації підводної частини газопроводу Яготин–Черкаси. Руйнування цих зразків – квазікрихке. Дослідження матеріалів труб з застосуванням АЕ дозволило більш детально вивчити поступову зміну властивостей матеріалів, а також особливості навантаження труби при її експлуатації. Для дослідження стану матеріалів труб використовували стандартні зразки першого типу [1] для АЕ випробувань (рис. 2). Для руйнування зразків використовували розривну машину з гідравлічним приводом Р-20.

Діаграми з графіками розвитку руйнування при АЕ випробуваннях стандартних зразків (рис. 3–5) отримані приладом ЕМА-3.

АЕ діаграми параметрів АЕ, отримані для сталі 20 через 48 років експлуатації і в початковому стані, показані на рис. 3.

Представлені на діаграмі графіки детально описують процес руйнування сталі при розтягуванні зразка. В першу чергу слід відзначити, що АЕ почала виникати не з моменту навантаження зразка, а трохи пізніше – з урахуванням ефекту Кайзера, коли АЕ з'являється тільки при перевищенні навантаження над тим, до якого вже навантажували матеріал (рис. 3, *a*)¹. У даному випадку видно, що це навантаження складає (рис. 3): $0,6 \times 10735 = 6441$ кг, що відповідає напруженню 314,3 МПа.

Таким чином, у процесі експлуатації матеріал труби зазнавав навантаження, що перевищують нормоване значення межі плинності для сталі 20, що складає 280 МПа. Природно, це призводило до більш інтенсивного процесу утворення та накопичення пошкоджень. Число пошкоджень зростає (на графіках – синя крива), але в якийсь момент часу зростання сповільнюється [6, 8–11, 13–15].

¹ Незважаючи на наявність ефекту Кайзера, певне число АЕ подій виникає і в період його дії, що пов'язано з підростанням або виникненням нових дефектів у процесі попереднього експлуатаційного напруження. Цей процес досить наочно ілюструє рис. 3, *a*.

Як тільки навантаження розтягу перевищило навантаження зони тиші, з'являються перші АЕ події, інтенсивність яких наростає так само, як і кількість пошкоджень. За кривою зростання навантаження видно, що після нетривалої плинності матеріалу починається його зміцнення, що супроводжується зменшенням числа АЕ подій і величини часу наростання сигналу до максимуму амплітуди. Останнє підтверджує зміцнення матеріалу. Обсяг пошкоджень, що виникають, зменшується [6]. Нарешті, настає момент, коли число пошкоджень досягло критичної величини і відбувається руйнування.

Як видно з діаграми (рис. 3, б), пошкодження накопичуються рівномірно, розподіляючись по всьому контрольованому об'єму зразка, за винятком області початку пластичної плинності, коли координати пошкоджень зосереджені в цій області. Деяко по-іншому поводить себе сталь, що знаходилась у експлуатації протягом 48 років (рис. 3, а).

Тут найбільша скученість АЕ подій зосереджена в області пластичних деформацій і в області зміцнення. Далі, зі збільшенням руйнівного навантаження їх кількість стає все менше.

Загалом було зареєстровано 541 пошкодження, що призвело у кінцевому рахунку до руйнування. Пошкодження розвиваються зі зміцненням, про що свідчить зменшення часу Rt . Руйнування стає все більш крихким, про що свідчать випробування зразків з цієї сталі на ударну в'язкість (рис. 1, б).

Слід відзначити суттєві коливання неперервної емісії, коли процес утворення пошкоджень стає лавиноподібним. Можна також спостерігати, що області пластичної плинності спостерігаються окремими ділянками практично на всьому етапі навантаження зразка. Про це свідчать численні горизонтальні площадки на всій кривій навантаження.

Графіки (рис. 3, б) різко відрізняються від отриманих для матеріалу з терміном експлуатації 48 років (рис. 3, а). АЕ події з'являються з самого початку навантаження. Неперервна емісія показує активні сплески тільки на початковому періоді навантаження, що найімовірніше свідчить про інтенсивні переміщення дислокацій у цей момент часу. Інтенсивність накопичення пошкоджень триває довше, ніж на рис. 3, а, і тільки на останній, заключній стадії процес стабілізується. Амплітуди АЕ подій і час їх наростання протягом випробування весь час змінюються. Це говорить про монотонний стабільний розвиток руйнування матеріалу. Координати АЕ подій у даному випадку чітко зосереджуються в області майбутнього руйнування (чорні точки у верхній частині графіка).

Порівнюючи графіки на рис. 4, можна відзначити, що сталь 09Г2С у процесі експлуатації також піддавалася перевантаженням з незначним перевищенням тиску, який викликав напруження

вище межі плинності (реальна межа плинності сталі на момент контролю – 361,3 МПа, табличне значення – 295 МПа).

Порівнюючи графіки на рис. 5, можна відзначити, що і сталь 14ХГС у процесі експлуатації також піддавалася перевантаженням з незначним перевищенням тиску і, відповідно, накопиченню множинних пошкоджень, про що, зокрема, свідчить збільшення кількості подій АЕ приблизно у 4 рази.

Можна зробити загальний висновок за всіма випробуваними сталями: у процесі тривалої експлуатації в них досить інтенсивно накопичуються пошкодження. Як показують дослідження, найбільш схильні до накопичення пошкоджень з плином часу сталі 14ХГС і 09Г2С. Джерелом пошкоджень, за думкою авторів, в основному є гази, що вільно проникають у метал на атомарному рівні. Надалі наявність поверхневої енергії на наявних мікротріщинах призводить до появи у них молекулярного водню, при цьому розмір молекули значно більше розміру атома, і, що найістотніше, перевищує розміри кристалічної решітки металу. Останнє призводить до локального розриву решітки та розвитку дефекту [10]. Ділянки, на яких відбувається дане явище, з напрацюванням поступово збільшуються. В результаті утворюються мікро-, а потім і макропори, які є основою для подальшого виникнення макротріщини. У цьому випадку злам зразка наочно демонструє пористу структуру, а насиченість порами залежить від експлуатаційного напрацювання.

Висновки

Дослідження АЕ активності розглянутих матеріалів – сталей 09Г2С, 14ХГС і сталі 20 показує, що матеріали труб, які перебували у процесі експлуатації, зазнавали при цьому перевантаження. Кількісні показники перевантаження досить надійно визначаються ефектом Кайзера.

Інформацію про перевантаження в конструкції можна отримати без зупинки експлуатації за даними АЕ випробувань.

Показано, що інтенсивність накопичення пошкоджень у процесі експлуатації конструкції і їх кількість в значній мірі залежать від вихідного стану матеріалу.

Аналіз руйнування матеріалів дозволяє при застосуванні акустичної емісії досить повно оцінити цей процес і визначити умови, у яких проводилася експлуатація конструкції.

Список літератури

1. Недосека А.Я., Недосека С.А. (2020) *Основы расчета и диагностики сварных конструкций: монография. 5-те изд., перераб. и доп. Патон Б.Е. (ред.)*. Киев, Индпром.
2. Бриджмен Н. (1955) *Исследование больших пластических деформаций и разрыва*. Москва, Изд-во иностр. лит.

3. Волков В.А. (1980) *Основные результаты всеоюзного базового эксперимента по механике разрушения на низкопрочной стали*. В книге: Проблемы разрушения металлов. Москва, МДНТН, 3–22.
4. Лебедев А.А., Чаусов Н.Г. (1988) *Экспресс-метод оценки трещиностойкости пластичных материалов*. Киев, АН УССР. Препринт.
5. Недосека А.Я., Недосека С.А. (2014) Особенности применения метода акустической эмиссии при контроле разрушения материалов. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, **2**, 3–11.
6. Недосека А.Я., Недосека С.А., Маркашова Л.И. и др. (2018) Исследование методом акустической эмиссии кинетики накопления повреждений при разрушении материалов. *Там же*, **4**, 3–10.
7. Недосека А.Я., Недосека С.А., Овсиенко М.А. и др. (2016) Испытание сосудов давления международной группой специалистов. *Там же*, **3**, 3–10.
8. Недосека С.А. (2007) Прогноз разрушения по данным акустической эмиссии. *Там же*, **2**, 3–9.
9. Недосека С.А., Недосека А.Я. (2010) Комплексная оценка поврежденности и остаточного ресурса металлов с эксплуатационной наработкой. *Там же*, **1**, 9–16.
10. Патон Б.Е. и др. (2012) *Акустическая эмиссия и ресурс конструкций: Теория, методы, технологии, средства, применение*. Киев, Изд-во «Индпром».
11. Скальський В.Р. (2003) Оцінка накопичення об'ємної пошкодженості твердих тіл за сигналами акустичної емісії. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, **4**, 29–36.
12. Чаусов Н.Г., Недосека С.А., Лебедев А.А. (1993) Исследование кинетики разрушения сталей на заключительных стадиях деформирования методом акустической эмиссии. *Проблемы прочности*, **12**, 14–21.
13. Stone, D.E., Dingwall, P.F. (1977). Acoustic Emission parameters and their interpretation. *NDT international*, **10**, 51–56.
14. Nakamura, Yosio, Veach, C. L., McCauley, B.O. (1971) *Amplitude distribution of acoustic emission signals. A symposium presented at the December Committee Week American Society for Testing and Materials*. Bal Harbour, 7-8 December, pp. 164–186.
15. Tetelman, A.S., Chow, R. (1971) *Acoustic emission testing and micro cracking processes. A symposium presented at the December Committee Week American Society for Testing and Materials*. Bal Harbour. 7-8 December, pp. 30–40.
2. Bridgman, N. (1955) *Investigation of high plastic deformations and ruptures*. Moscow, Inostr. Lit-ra [in Russian].
3. Volkov, V.A. (1980) *Main results of an All-Union basic experiment of low-strength steel fracture mechanics*. In book: Problems of fracture of metals. Moscow, MDNTN, 3-22 [in Russian].
4. Lebedev, A.A., Chausov, N.G. (1988) *Express-method of assessment of crack resistance of ductile materials*. Kiev, AS of Ukr.SSR [in Russian].
5. Nedoseka, A.Ya., Nedoseka, S.A. (2014) Features of application of acoustic emission method at destructive testing of materials. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **2**, 3-11 [in Russian].
6. Nedoseka, A.Ya., Nedoseka, S.A., Markashova, L.I. et al. (2018) Investigation by acoustic emission method of the kinetics of damage accumulation at fracture of materials. *Ibid.*, **3**, 3-13 [in Ukrainian].
7. Nedoseka, A.Ya., Nedoseka, S.A., Ovsienko, M.A. et al. (2016) Testing of pressure vessels by an international expert team. *Ibid.*, **3**, 3-10 [in Russian].
8. Nedoseka, S.A. (2007) Forecasting the fracture by the data of acoustic emission. *Ibid.*, **2**, 3-9 [in Russian].
9. Nedoseka, S.A., Nedoseka, A.Ya. (2010) Integrated assessment of damage level and residual life of metals with certain operating life. *Ibid.*, 9-16 [in Russian].
10. Paton, B.E. (2012) *Acoustic emission and life of structures: Theory, methods, technologies, means, application*. Kiev, Indprom [in Russian].
11. Skalsky, V.R. (2003) Evaluation of accumulation of bulk damage in solids, based on acoustic emission signals. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **4**, 29-36 [in Russian].
12. Chausov, N.G., Nedoseka, S.A., Lebedev, A.A. (1993) Study of kinetics of steel fracture at final stages of deformation by acoustic emission method. *Problemy Prochnosti*, **12**, 14-21 [in Russian].
13. Stone, D.E., Dingwall, P.E. (1977) Acoustic emission parameters and their interpretation. *NDT Intern.*, **10**, 51-56 [in Russian].
14. Nakamura, Yosio, Veach, C.L., McCauley, B.O. (1971) *Amplitude distribution of acoustic emission signals. A Symposium presented at the December Committee Week American Society for Testing and Materials* (Bal Harbour, 7-8 December, 1971), 164-186.
15. Tetelman, A.S., Chow, R. (1971) *Acoustic emission testing and microcracking processes. A Symposium presented at the December Committee Week American Society for Testing and Materials* (Bal Harbour, 7-8 December, 1971), 30-40.

References

1. Nedoseka, A.Ya., Nedoseka, S.A. (2020) *Fundamentals of design and diagnostics of welded structures. 5th Ed. Ed. by B.E. Paton*. Kiev, Indprom [in Russian].

SERVICE PROPERTIES OF 09G2S, 14KHGS STEELS AND STEEL 20 AFTER LONG-TERM OPERATION


S.A. Nedoseka, A.Ya. Nedoseka, M.A. Yaremenko, M.A. Ovsienko

E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, 11 Kazymyr Malevych, Kyiv, 03150. E-mail: office@paton.kiev.ua


09G2S, 14KhGS steels and steel 20 are on the list of those the most widely applied for building structure fabrication. The majority of gas pipelines are also made exactly from these steels. Changing the properties of these materials under diverse operating conditions, taking into account the time and violation of operating conditions, is of considerable interest. Investigations show that the environment and operating conditions, as well as the product transported by the pipeline, have a quite significant role in the change of their properties over time. A technology based on acoustic emission, can help reveal the finest service properties of these materials. Investigations presented below are devoted to AE application for these purposes. 15 Ref., 5 Fig.

Keywords: acoustic emission, AE activity, damage, material fracture, impact toughness, load

Надійшла до редакції 05.11.2019



BULGARIAN
ACADEMY
of SCIENCES
1869



UNION OF SCIENTISTS
IN BULGARIA

Materials, Methods & Technologies

22 Міжнародна конференція
29.08 – 01.09 2020
Бураєс, Болгарія

<https://www.sciencebg.net/en/conferences/materials-methods-and-technologies/>

**SCIENCE &
EDUCATION
FOUNDATION**

