

УДК 669.14:620.191.33

ШВИДКІСТЬ ДЕФОРМУВАННЯ МЕТАЛУ ЗВАРНИХ СЕКЦІЙ ТРУБ В ПРОЦЕСІ НАТУРНИХ ВИПРОБУВАНЬ

В.Д. Макаренко¹,

д-р техн. наук, професор

Ю.Л. Винников²,

д-р техн. наук, професор

Ю.В. Макаренко³,

магістерка

О.Е. Чигиринець⁴,

д-р техн. наук, професор

С.М. Ткаченко⁵,

канд. техн. наук, доцент

В.І. Савенко⁶,

д-р техн. наук, професор

¹*Херсонський національний технічний університет, Україна*²*Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка", Україна*³*Університет Манітоби, м.Вінніпег, Канада*⁴*Національний технічний університет України «КПІ ім.Ігоря Сікорського»*⁵*Національний технічний університет «Запорізька політехніка», Україна*⁶*Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна*

DOI: 10.32347/2410-2547.2023.111.237-244

Анотація. Відомо, що випробування на зразках Менаже Шарпі та інших, які мають товщини не відповідаючи товщині стінок труб не відображають реальну картину в'язко-пластичних руйнувань, що не дозволяє розробити методику чи модель прогнозування остаточного ресурсу (безаварійного) газопроводів тривалого терміну експлуатації. В той же час теоретичні і лабораторні дослідження не завжди з достатньою повнотою відповідають на питання, пов'язані безпосередньо із забезпеченням довговічності і безаварійної працездатності трубопроводів. Вірогідно, що в лабораторних умовах підприємств чи наукових закладів важко відтворити і урахувати всі фактори, які характеризують зростання і розповсюдження Найбільш повно умови роботи металу в газопроводах відображають натурні випробування відрізків газопроводів довжиною 150-250 м. Однак, через технічну складність їх проведення, в польових умовах не завжди вдається отримати повний комплекс реєстрованих параметрів. Крім того, випробування відрізків вельми трудомісткі, складні в забезпеченні безпеки їх проведення, вимагають великих матеріальних і часових витрат. Серійні випробування окремих труб в умовах спеціально облаштованого полігона і зроблені на їх основі узагальнення достатньо задовільно відповідають результатам натурних випробувань відрізків газопроводів. Полігонні випробування труб дозволяють проводити порівняно недорогі дослідження при апробації нових типів сталі і конструкцій труб. Тому дані лабораторних досліджень потрібно перевіряти і обов'язково уточнювати по результатах випробування на спеціально облаштованому полігоні відрізків труб, призначених для будівництва магістральних газопроводів, які дозволили отримати кінематичні та динамічні параметри руйнування модельного газопроводу під робочим навантаженням і в умовах, максимально наближених до експлуатаційних. Аналіз результатів полігонних (натурних) випробувань свідчить, що з моменту ініційованого руйнування в центральній трубі швидкість магістральної тріщини (на дві сторони від ініціатора) зростає і на відстані приблизно 2-3 діаметрів від надрізу досягає максимуму. Зміна швидкості по довжині центральної труби може бути симетричною відносно надрізу виконаному в середній трубі, чи несиметричною. Це пов'язано з технікою проведення експерименту і умовами старту тріщини, зокрема зі зміщенням ініціюючого надрізу відносно середини труби і різними властивостями металу труб в зоні локального зриву. Загальною закономірністю залишається наявність максимуму швидкості на стадії розгону тріщини. Необхідно відмітити, що для

проведення експерименту, щоб досягнуті високі швидкості руйнування збереглися при вході вершини тріщини в досліджувані ділянки. Забезпечується така умова відповідним підбором в'язкості металу центральної труби.

Ключові слова: труба, деформація, тріщина, пластична зона, полігон.

Вступ

Натурні пневматичні випробування відрізків газопроводів супроводжуються в окремих випадках зривами великої потужності, а тому вимагають дотримання правил і норм санітарно-пожежної і екологічної безпеки. А тому, параметри руйнування (швидкість, тиск, значення пластичної зони, температура та ін.) визначають дистанційними методами.

Відомо [1-6], що середня швидкість розповсюдження хвилі пониженого тиску вздовж осі трубопроводу складає для природного газу приблизно 400 м/с. А тому це значення приймають при визначенні оптимальної довжини випробуваних секцій. Розрахунки показують, що при такій швидкості хвилі швидкість розповсюдження тріщини буде 200 м/с, а отже трубна секція повинна бути довжиною не менше 150 м. Такі зварні секції труб виготовляли безпосередньо на експериментальній ділянці Інституту електрозварювання імені С.О. Патона НАНУ.

В той же час теоретичні і лабораторні дослідження не завжди з достатньою повнотою відповідають на питання, пов'язані безпосередньо із забезпеченням довговічності і безаварійної працездатності. Вірогідно, що в лабораторних умовах підприємств чи наукових закладів важко відтворити і урахувати всі фактори, які характеризують зростання і розповсюдження руйнування в реально діючому газопроводі. Тому дані лабораторних досліджень потрібно перевіряти і обов'язково уточнювати по результатах пневматичних випробувань довгомірних трубних секцій, тобто в теперішній час гостро назріла необхідність поєднання лабораторних і натурних випробувань труб газопровідної мережі. Такі випробування не є масовими, але в результаті їх виконання отримують важливу інформацію стосовно поведінки і властивостей металу в умовах навантаження і експлуатації, найбільш наближених до експлуатаційних.

Натурні випробування відрізків газопроводів великих діаметрів 800-1200 мм дозволяють узагальнити дані по цьому питанню, які представляють науковий і практичний інтерес.

Методика випробувань відрізків труб полягала в наступному.

Проведені детальні дослідження динаміки руйнування труб при пневматичних випробуваннях відрізків газопроводів і при гідропневматичних випробуваннях окремих повнорозмірних труб дозволяють зробити наступні висновки.

Найбільш повно умови роботи металу в газопроводах відображають натурні випробування відрізків газопроводів довжиною 150-250 м. Однак, із-за технічної складності їх проведення в польових умовах не завжди вдається отримати повний комплекс реєстрованих параметрів. Крім того, випробування відрізків вельми трудомісткі, складні в забезпеченні безпеки їх проведення, вимагають великих матеріальних і часових витрат.

Серійні випробування окремих труб в умовах спеціально облаштованого полігона і зроблені на їх основі узагальнення достатньо задовільно відповідають результатам натурних випробувань відрізків газопроводів. Полігонні випробування труб дозволяють проводити порівняно недорогі дослідження при апробації нових типів сталі і конструкцій труб.

В зв'язку з викладеним, в якості основного метода визначення характеристик опору сталі труб руйнуванню, областей використання труб і розробки теорії міцності трубопроводів слід рекомендувати пневматичні випробування труб в умовах полігона. Конструкція полігона повинна забезпечити виконання наступних технічних вимог:

- довжина випробуваної секції - не менше 20 м (дві труби); максимальний діаметр труб -1420 мм на робочий тиск до 10-12 МПа;

- об'єм, заповнюваний повітрям у випробуваній секції, не менше 75 % загального об'єму секції;
- конструкція бронеканери повинна забезпечити гасіння повітряних і ударних хвиль, виникаючих при пневматичному руйнуванні труб, зовнішній вплив яких аналогічно потужному вибуху;
- на території полігона тиск не повинен підвищуватися більше ніж на 0,01 МПа;
- полігон повинен бути облаштований спеціальними приладами дистанційного запису (на відстані до 100 м) параметрів руйнування, мати цех для підготовки труб для випробування, відділення для виготовлення і випробування різних зразків.

Відповідно до викладених вимог, в тресті “Вар’егантрубопроводбуд” (м. Радужний Тюменська обл.) був розроблений проект, згідно якого був побудований новий полігон (на березі річки Аган - с.м.т. Новоаганськ Тюменська обл.) для проведення пневматичних випробувань труб. Полігон складався з цеху розмірами 12x44 м, облаштованого кран-балкою. В цеху розміщалися блок реєстрації параметрів дослідження з апаратурою вимірювання і ділянки з підготовки труб для випробувань.

Транспортування труб на випробування в бронеканеру проводилося по рейкам спеціальними візками. Уламки у випадку їх утворення при руйнуванні труб уловлювали в бронеканері, а при вилеті частин труби з відкритого торця бронеканери - в пастці. Основним елементом полігона, що забезпечував безпеку проведення пневматичних випробувань, є бронеканера, конструкцію якої розглянемо детально далі.

Бронеканера є потужною залізобетонною конструкцією арочного типу з корисною довжиною 40 м. Арка встановлена на силовій підлозі – фундаменті в залізобетонному виконанні товщиною 1900 мм. В підлозі встановлені балки з трьох зварених швелерів №24, які забезпечують в будь-якому місці по довжині камери кріплення досліджуваних секцій трубопровода напівхомутами із зусиллям до 10 т.

Бронеканера з глухого торця закрита потужною залізобетонною стіною товщиною 2 м, додатково захищеною в середині мішками з піском, які служать для розподілення зусилля торцевого удару і його амортизації. Внутрішня поверхня бронеканери укріплена кожухом з листової сталі товщиною 30 мм, а зовнішня - сталлю сіткою і обвалована ґрунтом товщиною 1 м. Відкритий торець бронеканери захищений наборними воротами, зв’язаними з конструкцією камери і складених з потужних стійок і закладних елементів коробчатого типу висотою по 400 мм. Призначення воріт відбивати повітряну хвилю в бронеканеру. Звідти стиснуте повітря по спеціально встановленим в стелі бронеканери дренажним трубам повинно витікати у вертикальній площині. На сприйняття торцевого удару частиною відокремленої труби ворота не розраховані. В цьому випадку закладні елементи можуть зруйнуватися і підлягають заміні, а торцевий удар гаситься пасткою.

Необхідна температура метала труб в момент руйнування забезпечується за рахунок використання природного холода (зимою) чи шляхом природного охолодження сухим льодом або рідким азотом (літом) за допомогою спеціальних пристроїв.

Характер деформування газопровідної труби представлений на рис. 1 - 3.

Аналіз результатів полігонних (натурних) випробувань свідчить, що з моменту ініційованого руйнування в центральній трубі швидкість магістральної тріщини (на дві сторони від ініціатора) зростає і на відстані приблизно 2-3 діаметрів від надрізу досягає максимуму. Зміна швидкості по довжині центральної труби може бути симетричною відносно надрізу (рис. 1) чи несиметричною (рис. 2). Це пов’язано, на наш погляд, з технікою проведення експерименту і умовами старту тріщини, зокрема зі зміщенням ініціюючого надрізу відносно середини труби і різними властивостями металу труб в зоні локального зриву [7-12]. Загальною закономірністю залишається наявність максимуму швидкості на стадії розгону тріщини. Необхідно зазначити, що при проведенні експерименту дотримувалися умови, згідно якої високі швидкості руйнування збереглися при вході вершини тріщини в дослідні ділянки труби. Забезпечення такої умови здійснювали відповідним підбором в’язкості металу центральної труби. Зокрема, при

$KCV = 1.7 \text{ МДж/м}^2$ максимальна швидкість складала 130 м/с (рис. 3); при $KCV = 1.5 \text{ МДж/м}^2$ максимальна швидкість складала 180 м/с (рис. 2), а при $KCV = 0.5 \text{ МДж/м}^2$, $v_{\max} = 380 \text{ м/с}$ (див. рис.2) [13-16].

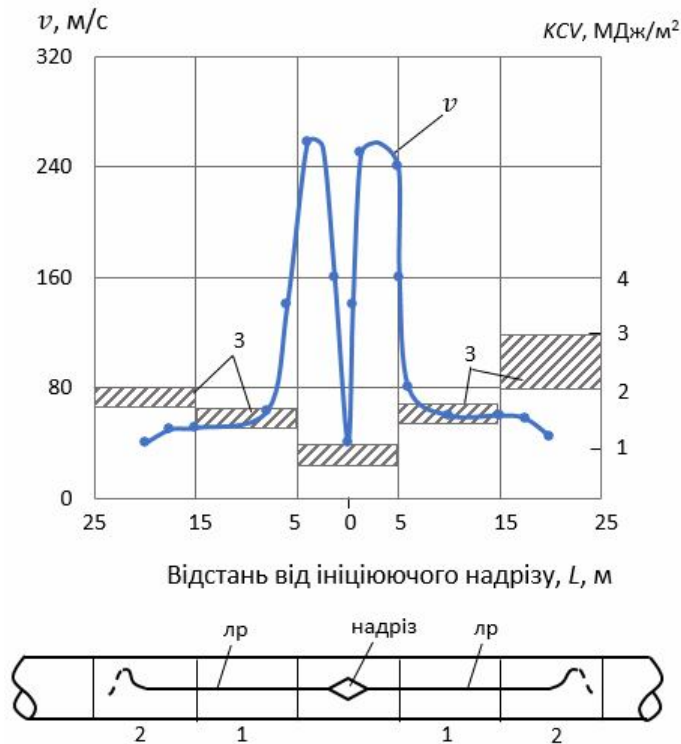


Рис. 2. Кінетика розповсюдження руйнування при випробуванні відрізка газопроводу загальною довжиною 160м. Тиск руйнування $P_r = 14 \text{ МПа}$. Позначення 1,2 – дослідні труби, 1020x200мм, сталь Х70; ЛР – лінія руйнування

Встановлено, що до моменту проходження магістральною тріщиною ділянок центральної труби встановлюється постійна швидкість декомпресії повітря. При вході тріщини в дослідні ділянки її швидкість змінюється в залежності від в'язкості металу труб і на деяких ділянках може бути постійною (стадія квазістаціонарного руйнування). Значення швидкості руйнувань характеризує опір металу труб розповсюдженню руйнування в конкретних умовах випробувань. Необхідно відмітити, що різке зниження швидкості в'язкого руйнування спостерігається при перетині кільцевих зварювальних швів (див. рис. 3), коли в'язкість металу дослідної труби, що досліджується, вище, ніж попередньої (стадія гальмування руйнування).

Висновки

1. Проведені натурні випробування на спеціально облаштованому полігоні відрізків труб, призначених для будівництва магістральних газопроводів, які дозволили отримати кінематичні та динамічні параметри руйнування модельного газопроводу під робочим навантаженням і в умовах, максимально наближених до експлуатаційним.

2. Аналіз результатів полігонних (натурних) випробувань свідчить що з моменту ініційованого руйнування в центральній трубі швидкість магістральної тріщини (на дві сторони від ініціатора) зростає і на відстані приблизно 2-3 діаметрів від надрізу досягає максимуму. Зміна швидкості по довжині центральної труби може бути симетричною відносно надрізу виконаному в середній трубі чи несиметричною. Це пов'язано з технікою проведення експерименту і умовами старту тріщини, зокрема зі зміщенням

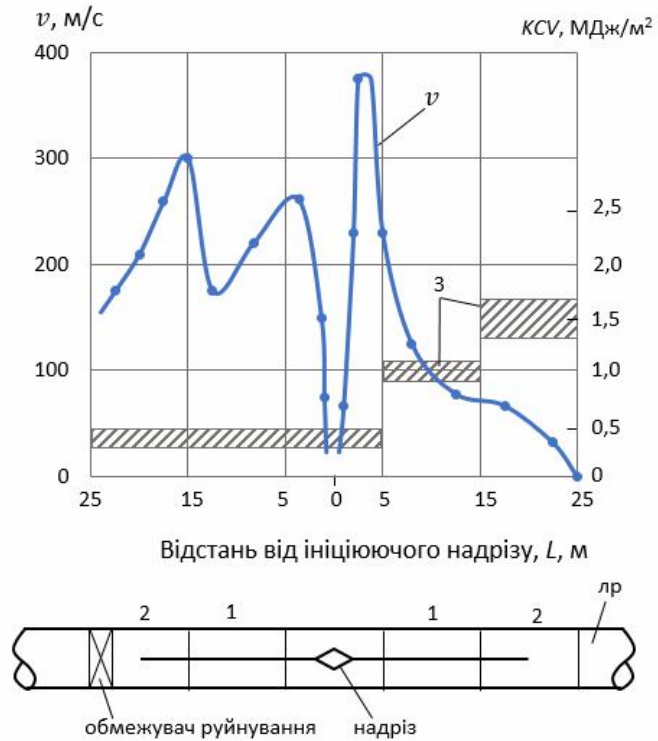


Рис. 3. Зміна швидкості руйнування у відрітку газопроводу довжиною 120м. Позначення: 1, 2 – дослідні труби 1020x18мм із термообробленої сталі Х70; 3 – межі зміни ударної в'язкості KICV; ЛР – лінія розриву тиск руйнування $P_p = 11.5$ МПа

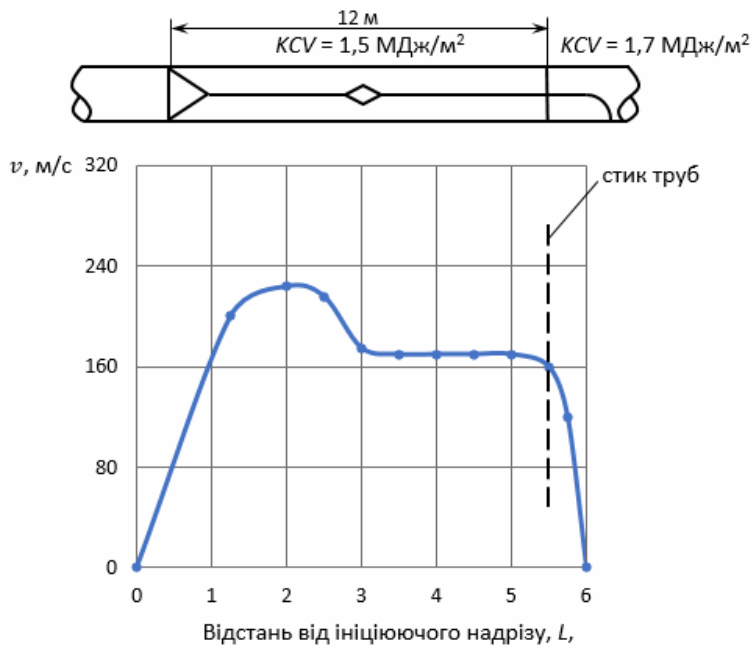


Рис. 4. Схема руйнування і результати випробувань відрізка газопроводу довжиною 25 м; робочий тиск $P_p = 8.5$ МПа. Дослідні труби 1020x18мм (сталь Х70)

ініціюючого надрізу відносно середини труби і різними властивостями металу труб в зоні локального зриву. Загальною закономірністю залишається наявність максимуму швидкості на стадії розгону тріщини.

3. При проведенні експерименту для досягнення високої швидкості руйнування збереглися при вході вершини тріщини в досліджувані ділянки. Забезпечується така умова відповідним підбором в'язкості металу центральної труби.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Андрейків О.С., Никифорчин Г.М., Ткачов В.І. Міцність і руйнування металічних матеріалів і елементів конструкцій у водневмісних середовищах // Фізико-механічний інститут: - Під ред. В.В. Панасюка, НАН України, Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка. - Львів: Простір-М, 2001. - С. 248-286.
2. Василенко І.І., Мелехов Р.К. Коррозионное растрескивание сталей. – Киев: Наук. думка, 1977. - 265 с.
3. Крижанівський Є.І., Цирульник О.Т., Петрина Д.Ю. Вплив наводнювання та попереднього пластичного деформування сталі на її тріщиностійкість // Фіз.-хім. механіка матеріалів. - 1999. - № 5. - С. 67-70.
4. Радкевич О.І., П'ясецький О.С., Василенко І.І. Корозійно-механічна тривкість трубної сталі в сірководневому середовищі // Фіз.-хім. механіка матеріалів. -2000. -№3. -С. 93-97.
5. Okada T., Hattori S. Relation Between Concentration of Salt Water and Corrosion Fatigue Strength on 0.37 Percent Carbon Structural Steel, Fukui University, Японія: Теоретические основы инженерных расчетов (Труды Американского общества инженеров-механиков); изд-во Мир, 1985, №3, S.98-107.
6. Швачко В.И. Макромеханические аспекты обратимой водородной хрупкости// Физ.-хим. механика материалов. -2000.- №4.-С.36-40
7. Макаренко В.Д., Крижанівський Є.І., Чернов В.Ю. Проблеми корозійної стійкості промислових трубопроводів// Нафтова і газова промисловість. -2002.-№6.-С.42-44
8. Самойленко М.І., Функціональна надійність трубопроводних транспортних систем// Харків: ХНАМП. – 2009.-184с
9. Насоніна Н.Г., Антоненко С.Є. Аналіз пошкодженості водопровідних і каналізаційних мереж// Сучасне промислове та цивільне будівництво. -2019.-Том15.-№1.-С23-34
10. Макаренко В.Д., Гоц В.І., Аргатенко Т.В. і ін. Дослідження аварійних трубопроводів// Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, вип. 42. -2023.-С.49-58
11. Василенко І.І., Шульге О.Ю., Радкевич О.І. Вплив хімічного складу і технології виробництва сталей на їх чутливість до водневого тріщинотворення та сірководневого корозійного розтріскування// Фіз.-хім механіка матеріалів. -1990.-№4.-С. 8-22
12. Порівняльний аналіз корозійно-механічних властивостей вітчизняної трубної сталі 20ЮЧ з іноземними аналогами/ О. Чапля, О. Радкевич, О. П'ясецький, Я. Спектор//Машинознавство. -1999.-№8.- С52-56.
13. Tyson W.R. Hydrogen Embrittlement and Hydrogen Dislocation Interactions // Corrosion. - 1980. Vol. 36, No. 8. - Pp. 441-443.
14. Писаренко Г.С., Стрижало В.А. Экспериментальные методы в механике деформируемого твердого тела// Киев: Наукова думка. -1986.-262с
15. T.Kawakubo, M. Hishida. Elastic-Plastic Fracture Mechanics Analysis on Environmentally Accelerated Cracking of Stainless Steel in High Temperature Water// Journal of Engineering Materials and Technology.- 2005. – Vol.107.-pp.240-245.
16. Методика з визначення параметрів тріщиностійкості ASTM E399-78 (для компактних зразків і зразків з центральним надрізом) // Journal of Engineering Materials and Technology.- 2005. –Vol.107.-pp.107-116.

REFERENCES

1. Andreykiv O.E., Nikyforchyn H.M., Tkachev V.I. Mitsnist i ruinvannia metalichnykh materialiv i elementiv konstruktzii u vodnevomisnykh seredovyschakh (Strength and destruction of metallic materials and structural elements in hydrogen-containing environments) // Physical and Mechanical Institute: - Ed. V.V. Panasyuka, NAS of Ukraine, Institute of Physics and Mechanics named after G.V. Karpenka - Lviv: Prostir-M, 2001. - 248-286p.
2. Vasylenko I.I., Melekhov R.K. Koroziiine roztriskuvannia stali (Corrosion cracking of steels) //- Kyiv: Nauk, dumka, 1977. - 265 p.
3. Kryzhanivskiy E.I., Tsiurulnyk O.T., Petryna D.Yu. Vplyv navodniuvannia ta poperednoho plastychnoho deformuvannia stali na yii trishchynostiikist (The influence of water treatment and preliminary plastic deformation of steel on its crack resistance) // Phys.-chem. mechanics of materials. - 1999. - No. 5. - 67-70p.
4. Radkevich O.I., Pyasetskyi O.C., Vasylenko I.I. Koroziiino-mekhanichna tryvkist trubnoi stali v sirkovodnevomu seredovyschchi (Corrosion-mechanical durability of pipe steel in a hydrogen sulfide environment) // Phys.-chem. mechanics of materials. -2000. - No. 3. - 93-97p.
5. Okada T., Hattori S. Zviazok mizh kontsentratsiieu solonoj vody ta koroziiinoiu vtomnoiu mitsnistiu konstruktiiinoi stali z vmistom vuhletsiu 0,37 vidsotka (Relation Between Concentration of Salt Water and

- Corrosion Fatigue Strength on 0.37 Percent Carbon Structural Steel), Fukui University, Japan: Theoretical foundations of engineering calculations //(Proceedings of the American Society of Mechanical Engineers); Myr publishing house, 1985, No. 3, 98-107p.
6. Shvachko V.I. Makromekhanichni aspekty oborotnoi vodnevoi krykhhkosti (Macromechanical aspects of reversible hydrogen embrittlement)// Phys.-chem. mechanics of materials) -2000.- No. 4.-36-40p.
 7. Makarenko V.D., Kryzhanivskiy E.I., Chernov V.Yu. Problemy koroziiinoi stiiikosti promyslovykh truboprovodiv (Problems of corrosion resistance of industrial pipelines)// Oil and gas industry. -2002.-№6.-42-44p
 8. Samoilenko M.I., Funktsionalna nadiinist truboprovodnykh transportnykh system (Functional reliability of pipeline transport systems)// Kharkiv: KhNAMP. – 2009.-184 p
 9. Nasonina N.G., Antonenko S.E. Analiz poshkodzhennosti vodoprovodnykh i kanalizatsiinykh merezh (Damage analysis of water supply and sewage networks)// Modern industrial and civil construction. -2019.-Vol.15.-No.1.-23-34p
 10. Makarenko V.D., Gots V.I., Argatenko T.V. etc. Doslidzhennia avariinykh truboprovodiv (Research of emergency pipelines)// Problems of water supply, drainage and hydraulics, vol. 42. -2023.-49-58p
 11. Vasylenko I.I., Shulte O.Yu., Radkevich O.I. Vplyv khimichnoho skladu i tekhnologii vyrobnytstva stali na yikh chutlyvist do vodnevoho trishchyno utvorennia ta sirkovodnevoho koroziiinoho roztriskuvannia (The influence of the chemical composition and production technology of steels on their sensitivity to hydrogen cracking and hydrogen sulfide corrosion cracking)// Physic-chemical mechanics of materials. -1990.-№4.-8-22p
 12. Chaplya, O. Radkevich, O. Pyasetskyi, Ya. Porivnialnyi analiz koroziiino-mekhanichnykh vlastyivostei vitchyznianoї trubnoi stali 20YuCh z inozemnymy analohamy (Comparative analysis of corrosion-mechanical properties of domestic pipe steel 20YCH with foreign analogues)/Spektor//Mashinoznavstvo. -1999.-№8.- 52-56p
 13. Tyson W.R. Vodneve okrykhhchennia ta vodnevi dyslokatsiini vzaïemodii (Hydrogen Embrittlement and Hydrogen Dislocation Interactions) // Corrosion. - 1980. Vol. 36, No. 8. - 441-443p.
 14. Pisarenko G.S., Stryzhalo V.A. Eksperymentalni metody v mekhanitsi tverdogo tila, shcho deformuietsia (Experimental methods in the mechanics of a deformable solid)// Kyiv: Naukova Dumka. -1986.-262 p
 15. T. Kawakubo, M. Hishida. Analiz pruzhno-plastychnoi mekhaniky ruïnuvannia pryskorenoho v navkolysnomu seredovyshchi roztriskuvannia nerzhaviiuchoї stali u vodi z vysokoiu temperaturoiu (Elastic-Plastic Fracture Mechanics Analysis of Environmentally Accelerated Cracking of Stainless Steel in High Temperature Water)// Journal of Engineering Materials and Technology. - 2005. –Vol.107.-pp.240-245p.
 16. Metodyka z vyznachennia parametriv trishchynostiikosti ASTM E399-78 (dlia kompaktnykh zrazkiv i zrazkiv z tsentralnym nadrizom) (Methodology for determining the parameters of crack resistance ASTM E399-78 (for compact samples and samples with a central notch)) // Journal of Engineering Materials and Technology. - 2005. – Vol.107.-107-116p.

Стаття надійшла 20.04.2023

Makarenko V.D., Vynnykov Yu.L., Makarenko Y.V., Chygyrynets' O.E., Tkachenko S.M., Savenko V.I.

SPEED OF METAL DEFORMATION OF WELDED PIPE SECTIONS IN THE PROCESS OF NATURAL TESTS

It is clear that testing on Menage Charpey samples and other materials, which may not match the durability of pipe walls, does not reflect the real picture of visco-plastic failures, which does not allow the development of a methodology or model for predicting the residual life (failure-free) gas pipelines have a three-year term of operation. At the same time, theoretical and laboratory studies do not always provide sufficient evidence for nutrition, directly related to the reliability and trouble-free operation of pipelines. It is likely that in the laboratory minds of enterprises and scientific foundations, it is important to create and identify all the factors that characterize the growing and widespread use of metal in gas pipelines to represent nature. and testing of cutting gas pipelines with a length of 150-250 m. However, due to the technical complexity of their implementation, in the field Our minds will never again be faced with the need to identify a new set of registration parameters. In addition, the testing of highly labor-intensive procedures, including ensuring the safety of their implementation, requires large material and hourly costs. Serial testing of enclosed pipes in the drains of a specially lined landfill and cutting on this basis is quite consistent with the results of field testing of gas pipelines. Field testing of pipes allows for consistently inexpensive research when testing new types of steel and pipe designs. Therefore, laboratory data need to be verified and necessarily clarified based on the results of pneumatic testing of long-life pipe sections, so that at the present time there is an urgent need to combine laboratory and field tests pipes of the gas pipeline. Such testing is not widespread, but as a result of their experimentation, important information is taken away from the behavior and power of metal in the minds of vantage and exploitation, those closest to exploitation. Full-scale testing was carried out at a specially trained test site for cutting pipes intended for the construction of main gas pipelines, which made it possible to determine the kinematic and dynamic parameters of the alignment of the model gas pipeline under operating conditions. importance and in minds as close as possible to the operational ones. Analysis of the results of the field (natural) tests is to confirm that from the moment of initiation of the

collapse in the central pipe, the fluidity of the main crack (on both sides of the initiator) increases and increases distance approximately 2-3 diameters from the cut, reaching a maximum. Changing the fluidity after tightening the central pipe can be either symmetrical or asymmetrical to the cut in the middle pipe. This is due to the technique of carrying out the experiment and the formation of cracks, including displacements of the cutting edge in the middle of the pipe and various influences on the metal of the pipes in the zone of local tearing. The underlying regularity is that the maximum fluidity is not evident at the crack acceleration stage. It is necessary to note that in order to carry out the experiment, so that the achieved high fluidity of the structure is preserved when the top of the crack enters the final plot. This is ensured by consistent selection of the viscosity of the metal of the central pipe.

Key words: pipe, deformation, crack, plastic zone, test site.

УДК 669.14:620.191.33

Макаренко В.Д., Винников Ю.Л., Макаренко Ю.В., Чигиринець О.Е., Ткаченко С.М., Савенко В.І. Швидкість деформування металу зварних секцій труб в процесі натурних випробувань // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2023. – Вип. 111. – С. 237-244.

Табл. 1. Іл. 10. Бібліогр. 12 назв.

UDC 669.14:620.191.33

Makarenko V.D., Vynnykov Yu.L., Makarenko Y.V., Chygyrynets' O.E., Tkachenko S.M., Savenko V.I. Speed of metal deformation of welded pipe sections in the process of natural tests // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles. – K.: KNUBA, 2023. – Issue 111. – P. 237-244.

Table 1. Fig. 10. Ref. 12.

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада): доктор технічних наук, професор Херсонський національний технічний університет Макаренко Валерій Дмитрович

Тел.: +38(066) 747-67-90

E-mail: green555tree@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9178-9657>

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада): доктор технічних наук, професор, Національний університет “Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка” Україна, Винников Юрій Леонідович

Тел.: +38(099) 292-96-94

E-mail: savenkoknuba@gmail.com

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада): магістерка університету Манітоби (м. Вінніпег, Канада) Макаренко Юлія Валеріївна

Тел.: +38(066) 747-67-90

E-mail: green555tree@gmail.com

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада): доктор хімічних наук, професор кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Чигиринець Олена Едуардівна

Адреса робоча: КПІ ім. Ігоря Сікорського, пр. Перемоги, 37, корп. 4, Київ 03056

Тел.: +38(044)-204-83-89

E-mail: o.chygyrynets@kpi.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2506-7020>

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада): канд. техн. наук, доцент, завідуючий кафедри зварювальних технологій Національного технічного університету «Запорізька політехніка» Ткаченко Сергій Миколайович

E-mail: savenkoknuba@gmail.com

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада): доктор технічних наук, професор кафедри організації і управління будівництвом Київського національного університету будівництва і архітектури Савенко Володимир Іванович

Адреса робоча: 03037, Україна, м. Київ, просп. Повітрофлотський, 31, Київський національний університет будівництва і архітектури

Тел.: +38(097)-970-66-59

E-mail: savenkoknuba@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1490-6730>