

Олексій ЦАПКО¹,

PhD, старший дослідник, доцент

ORCID: 0000-0003-2298-068X

Оксана БЕРДНИК¹,

канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0001-5321-3518

Дмитро ПРУСОВ²,

д-р техн. наук, професор

ORCID: 0000-0002-1720-2798

¹Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

²Інститут інноваційної освіти Київського національного університету будівництва і архітектури, м. Київ

ШВИДКІСТЬ ДЕФОРМУВАННЯ МЕТАЛУ ЗВАРНИХ СЕКЦІЙ ТРУБ В ПРОЦЕСІ НАТУРНИХ ВИПРОБУВАНЬ

Відомо, що випробування на зразках Менаже Шарпі та інших які мають товщини не відповідаючи товщині стінок труб не відображають реальну картину в'язко-пластичних і крихких руйнувань, що не дозволяє розробити методикку 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 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 нагріла 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. 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 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 замітити, 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 випробування відрізків газопроводів великих діаметрів 800-1200 мм дозволяють узагальнити дані, які представляють науковий і практичний інтерес.

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 переміщення хвилі пониженого тиску вздовж осі трубопроводу складає для природного газу приблизно 400м/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 Є.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. 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.

Мета досліджень. Експериментальні корозійно-механічні дослідження сталевих газопровідних труб.

Методика досліджень, обладнання і матеріали. В якості основного методу визначення характеристик спротиву сталі труб руйнуванню, областей використання труб і розробки теорії міцності трубопроводів слід рекомендувати пневматичні випробування труб в умовах полігону. Конструкція полігону 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 бронекамери повинна забезпечити гасіння повітряних і ударних хвиль, виникаючих при пневматичному руйнуванні труб, зовнішній вплив яких аналогічно потужному взриву;

на території полігона тиск не повинен підвищуватися більше чим 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 з викладеними вимогами, був розроблений проєкт, згідно якому був побудований новий полігон для проведення пневматичних випробувань труб. Полігон складався з цеху розмірами 12х44 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 бронекамеру проводилося по рейкам спеціальними візками. Осколки у випадку їх утворення при руйнуванні труб уловлювали в бронекамері, а при вилеті частин труби з відкритого торця бронекамери - в пастці. Основним елементом полігона, забезпечуючим безпеку проведення пневматичних випробувань, є бронекамера. Це потужна залізобетонна конструкція аروحного 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, забезпечуючі в будь-якому місці по довжині камери закріплення випробуємих секцій до них напівхомутами із зусиллям до 10 т.

Бронекамера 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 бронекамери укріплена кожухом з листової сталі товщиною 30 мм, а зовнішня – сталюю сіткою і обвалована ґрунтом товщиною 1 м. Відкритий торець бронекамери захищений наборними воротами, зв'язаними з конструкцією камери і складеними з потужних стійок і закладних елементів коробчастого типу висотою по 400 мм. Призначення воріт відбивати повітряну хвилю в бронекамеру. Звідти стиснуте повітря по спеціально встановленим в стелі бронекамери дренажним трубам повинно витікати у вертикальній площині. На сприймання 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 холоду (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. 1) 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].

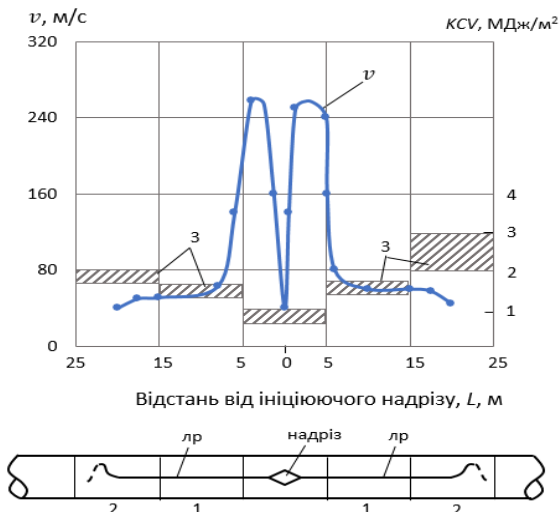


Рис. 1. Кінетика розповсюдження руйнування при випробуванні відрізка газопроводу загальною довжиною 160м. Тиск руйнування $P_r = 14 \text{ МПа}$:
1, 2 – дослідні труби, 1020x20мм, сталь Х70; ЛР – лінія руйнування

Загальною закономірністю залишається наявність максимуму швидкості на стадії розгону тріщини. Необхідно замітити, 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. Зокрема при $KCV = 1.7 \text{ МДж/м}^2$ максимальна швидкість складала 130 м/с (рис. 2); при $KCV = 1.5 \text{ МДж/м}^2$ максимальна швидкість складала 180 м/с (рис. 1), а при $KCV = 0.5 \text{ МДж/м}^2$ $v_{\max} = 380 \text{ м/с}$ (див. рис. 1) [6-7].

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 руйнування характеризує спротив металу труб розповсюдженню руйнування в конкретних умовах випробувань. Необхідно відмітити, що різке зниження швидкості в'язкого руйнування спостерігається при пересіченні кільцевих зварювальних швів (див. рис. 2), коли в'язкість металу дослідної труби вище, чим попередньої (стадія гальмування руйнування).

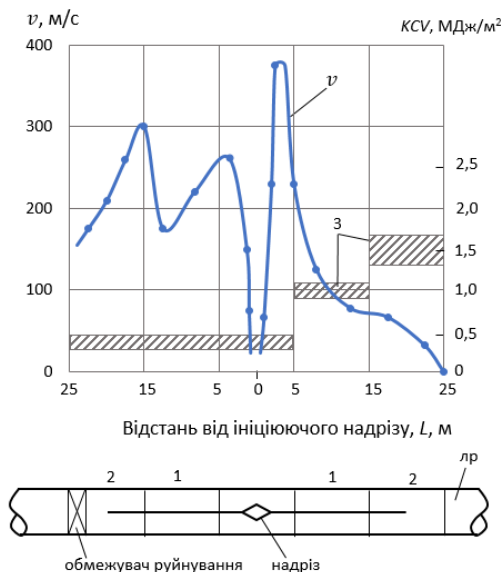


Рис. 2. Зміна швидкості руйнування у відрітку газопроводу довжиною 120м: 1, 2 – дослідні труби 1020х18мміз термообробленої сталі X70; 3 – межі зміни ударної в'язкості KCV; ЛР – лінія розриву тиск руйнування $P_p = 11.5$ МПа

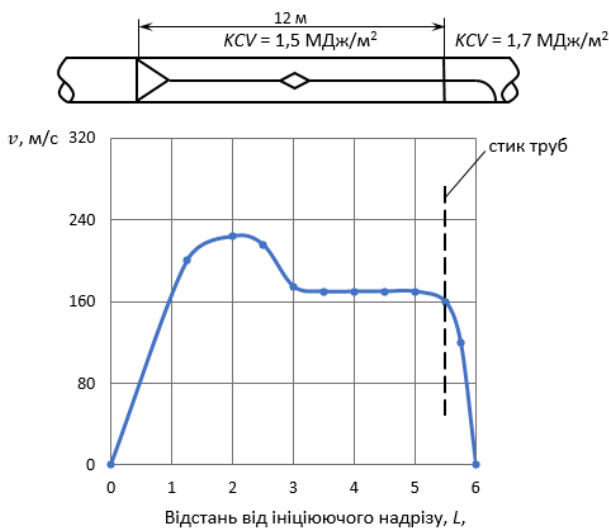


Рис. 3. Схема руйнування і результати випробувань відрізка газопроводу довжиною 25 м; робочий тиск $P_p = 8.5$ МПа. Дослідні труби 1020х18мм (сталь X70)

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

Список літератури:

1. Радкевич О.І., П'ясецький О.С., Василенко І.І. Корозійно-механічна тривкість трубої сталі в сірководневому середовищі. *Фіз.-хім. механіка матеріалів*, 2000, 36(3), 93-97.

2. Чапля О., Радкевич О., П'ясецький О., Спектор Я. Порівняльний аналіз корозійно-механічних властивостей вітчизняної сталі 20ЮЧ з іноземними аналогами. *Машинознавство*, 1999, 8, 52-56.

3. Василенко І.І., Мелехов Р.К. Коррозионное растрескивание сталей. Київ: Наукова думка, 1974. 265 с.

4. Makarenko V.D., Shatilo S.P., Astafev V.I. Methods of increasing the corrosion resistance of oil pipelines. *Welding International*, 1998, 12(12), 988-991.

5. Makarenko V.D., Shatilo S.P. Increasing desulphurisation of the metal of welded joints in oil pipelines. *Welding International*, 1999, 13(12), 991-995.

6. Самойленко М.І. Функціональна надійність трубопроводів них транспортних систем. Харків: ХНАМП. 2009. 184 с.

7. Berdnyk O.Yu., Lastivka O.V., Maystrenko A.A., Amelina N.O. Processes of structure formation and neoformation of basalt fiber in an alkaline environment. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020, 907, 012036. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/907/1/012036/pdf>.

Oleksii TSAPKO, Oksana BERDNYK, Dmytro PRUSOV

Rate of metal deformation in welded pipe sections during field tests

It is known that tests on Menage Sharp and other samples with thicknesses that do not correspond to the thickness of pipe walls do not reflect the real picture of viscous-plastic and brittle failures, which does not allow the development of a methodology or model for predicting the final (failure-free) service life of gas pipelines with a long

service life. At the same time, theoretical and laboratory studies do not always provide sufficient answers to questions directly related to ensuring the durability and accident-free operation of pipelines. It is likely that in the laboratory conditions of enterprises or scientific institutions, it is difficult to reproduce and take into account all the factors that characterize the growth and spread of destruction in a real gas pipeline. Therefore, laboratory research data must be verified and refined based on the results of pneumatic tests of long pipe sections, i.e., there is currently an urgent need to combine laboratory and field tests of gas pipeline network pipes. Such tests are not widespread, but they provide important information about the behavior and properties of metal under load and operating conditions that are closest to actual operating conditions. Field tests were conducted at a specially equipped test site on pipe sections intended for the construction of main gas pipelines, which made it possible to obtain the kinematic and dynamic parameters of the destruction of a model gas pipeline under working load and in conditions as close as possible to operational ones. Analysis of the results of field (full-scale) tests shows that from the moment of initiated failure in the central pipe, the speed of the main crack (on both sides of the initiator) increases and reaches its maximum at a distance of approximately 2-3 diameters from the notch. The change in speed along the length of the central pipe can be symmetrical relative to the notch made in the middle pipe or asymmetrical. This is due to the technique of conducting the experiment and the conditions of crack initiation, in particular, the displacement of the initiating notch relative to the middle of the pipe and the different properties of the pipe metal in the zone of local failure. A general pattern is the presence of a maximum velocity at the crack initiation stage. It should be noted that in order to conduct the experiment, the high fracture velocities achieved must be maintained when the crack tip enters the test sections. This condition is ensured by the appropriate selection of the viscosity of the central pipe metal.

Keywords: *pipe, deformation, crack, plastic zone, polygon.*