

НИЗЬКОЧАСТОТНА ВТОМА ТА КОРОЗІЙНА ВТОМА ПІДЗЕМНИХ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Є.І. Крижанівський, Л.Я. Побережний

LOW-FREQUENCY AND CORROSION FATIGUE OF BURIED MAIN PIPELINES

Ye.I. Kryzhanivsky, L. Ya. Poberezhny

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

Abstract The deformation behavior of pipeline's steel is studied at step-by-step static and low frequency cyclic loading in air and chloride environment. The complete curve of fatigue and curve of corrosion fatigue is built, which will enable it is better to forecast a resource and remaining resource of main pipelines work.

Світовий досвід проектування, будівництва та експлуатації підземних магістральних трубопроводів показав, що такі достатньо складні інженерні споруди можуть успішно створюватися та удосконалюватися лише при всебічному вивченні умов їх роботи та проведенні наукового пошуку, зокрема, досліджень, що стосуються глобальної проблеми міцності матеріалу трубопроводу в робочих (технологічних) середовищах. Енергетична незалежність України – один із пріоритетів розвитку її нафтогазового комплексу. Досягнення її неможливе без зменшення втрат енергоносіїв на транспортування. Одна із основних причин таких втрат – вихід з ладу трубопроводів через корозійні та корозійно-втомні ураження. Найнебезпечнішим є синергічний вплив циклічного навантаження та корозійно-активного середовища. З втомними та корозійно втомними руйнуваннями пов'язано більш як 70% всіх відмов трубопроводів. Однак донедавна втомні випробовування переважно проводили при частотах навантаження, які не відповідають експлуатаційним. Нами вперше було запропоновано визначати основні характеристики опору втомі та корозійній втомі при низькочастотному навантаженні, з метою моделювання реальних умов експлуатації трубопроводу.

Дослідження проводили на комп'ютеризованому лабораторному комплексі, який складається з установки МВ-1К, лабораторного комп'ютера, аналого-цифрового перетворювача на базі мікросхеми AD 7714 фірми Analog Devices, пристрою для сканування поверхонь та металографічного мікроскопу Cole-Parmer A48405-25 за розробленою нами методикою [1].

Використовували гладкі циліндричні зразки (рис.1) виготовлені із заготовок, вирізаних зі стінки труби з довжиною робочої частини 50 мм. Матеріал труби – сталь 17Г1СУ.

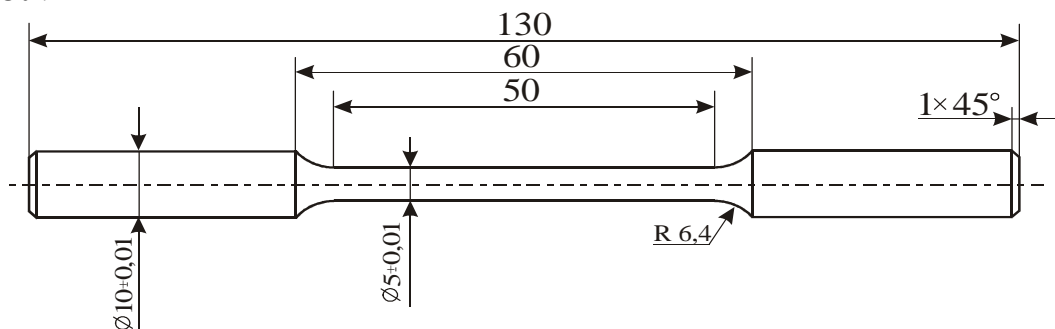


Рис. 1. Зразки для випробовувань на установці МВ-1К

Дослідження проводили у два етапи.

На першому етапі вивчали поведінку сталі трубопроводу при статичному ступінчастому навантаженні. При збільшенні навантаження на один ступінь приріст номінального напруження постійно складав $\Delta\sigma = 20$ МПа, а час витримки зразка під навантаженням $\Delta t = 20$ с. Такий режим навантаження дає змогу врахувати відставання деформації від напруження в часі і поглиблено вивчити деформаційну поведінку матеріалу трубопроводу. За результатами статичних випробовувань побудовано діаграму згину (рис. 2).

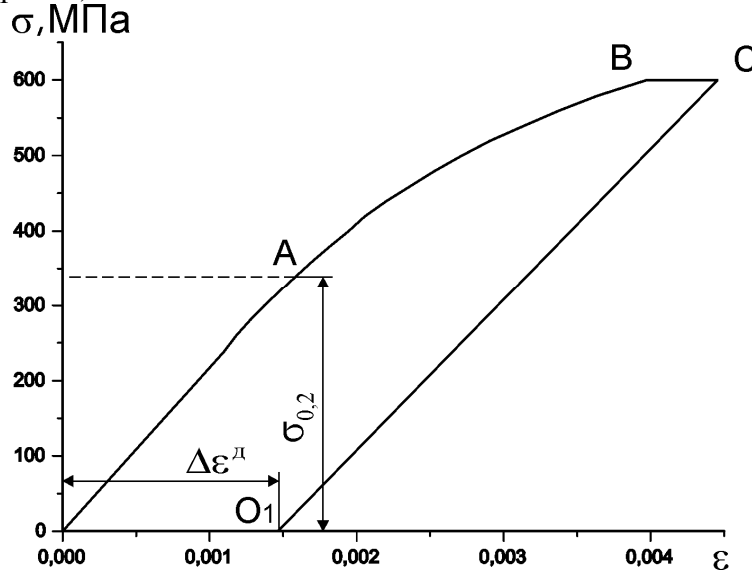


Рис.2. Діаграма згину зразків-моделей.

$\Delta\epsilon^D$ – залишкова деформація, $\sigma_{0,2}$ – границя текучості.

Основним завданням другого етапу було визначення основних фізико-механічних характеристик матеріалу трубопроводу при циклічному навантаженні.

Втомні випробовування проводили за схемою навантаження чистим згином при частоті обертання $f = 0,8$ Гц. Для корозійно-втомних випробовувань використовували 2 М розчин NaCl.

Побудовано повні криві втоми та криву корозійної втоми сталі трубопроводу (рис. 3).

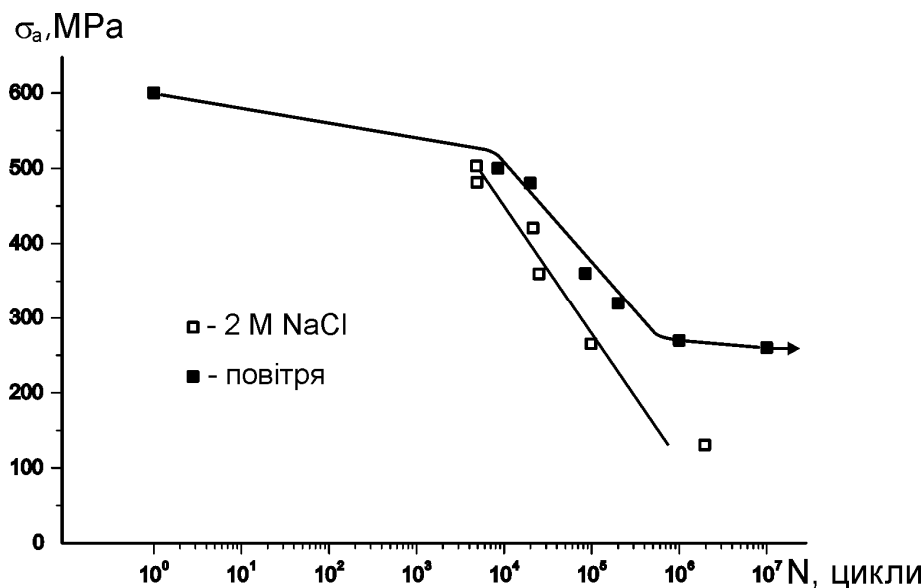


Рис. 3. Криві втоми та корозійної втоми сталі підземного магістрального трубопроводу

Показано, що наявність агресивного хлоридного середовища відчутно зменшує втомну довговічність матеріалу трубопроводу, і в області експлуатаційних навантажень ця величина сягає 1000 разів.

Кінетика деформації та руйнування подібна до такої у морських трубопроводів зі сталі 20 [2]. Вигляд поверхонь руйнування вказує що при великих σ_a паралельно розвиваються декілька тріщин, і лише на останній стадії виділяється одна магістральна, зі зменшенням амплітуди напружень це виділення відбувається практично відразу (рис. 4, а, б). Попереднє навантаження теж сприяє формуванню однієї магістральної тріщини (рис. 4, в).

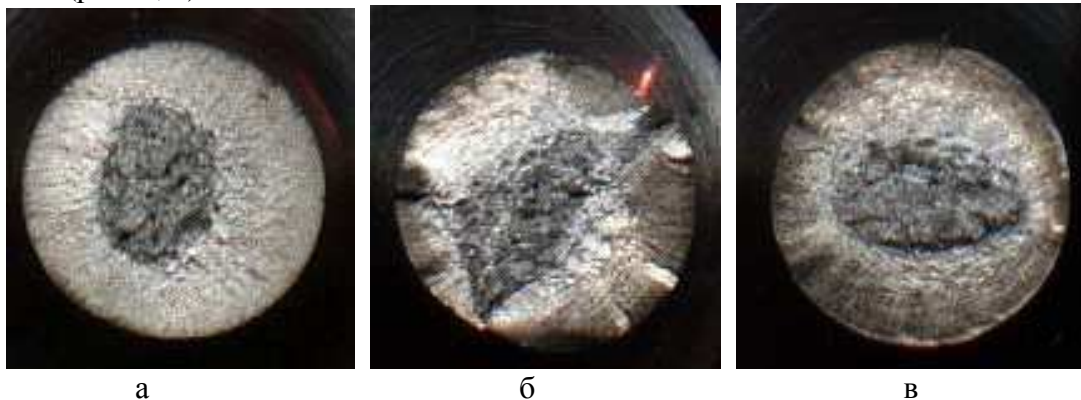


Рис. 4. Вигляд поверхонь руйнування в залежності від режиму навантаження та амплітуди напружень (середовище - повітря): а – 360 МПа, б – 480 МПа, в – 480 МПа (1 цикл переднавантаження).

Електродний потенціал (ЕП) є надзвичайно важливою характеристикою матеріалу, оскільки його величина впливає на характер та швидкість проходження катодних і анодних процесів, а також термодинамічну можливість чи неможливість їх протікання в даних умовах. Дослідження кінетики ЕП в умовах, близьких до експлуатаційних, мають велике практичне значення тому, що без них неможлива правильна хімічна інтерпретація корозійних процесів. Кінетика ЕП в процесі статичного та наступного низькочастотного навантаження показана на рис. 5. На ділянках АВ та А₁В₁, що відповідають ступінчастому статичному навантаженню, відбувається монотонне зменшення ЕП, тим більше, чим більша величина σ_a .

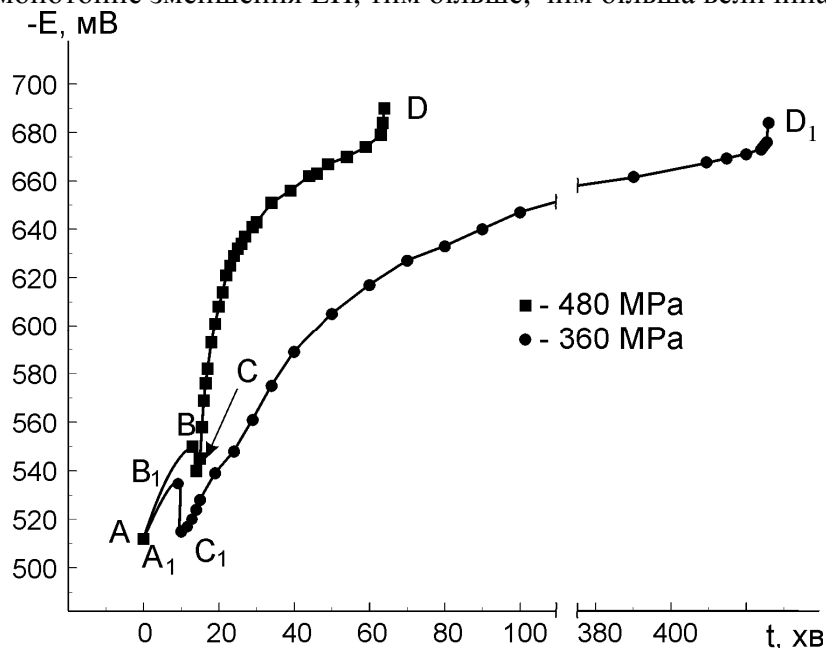


Рис. 5. Кінетика електродного потенціалу сталі трубопроводу, 2 М NaCl

На зміну ЕП під час статичного навантаження впливає насамперед чинник часу. Вплив механічних напружень мінімальний (ділянки АВ та A_1B_1). Протягом перших циклів навантаження (ділянки ВС та B_1C_1) проходить різке зростання ЕП, зумовлене наступними чинниками: в процесі низькочастотного навантаження у корозійному середовищі виникають струмені, які змивають з поверхні зразка частину адсорбованих агресивних йонів розчинних солей, що полегшує процес десорбції та утруднює повторну первинну та вторинну адсорбцію. Це призводить до сповільнення електродних процесів та зростання ЕП. На наступному етапі (ділянки CD та C_1D_1) спочатку, внаслідок активних процесів циклічного зміцнення, ЕП знову швидко спадає, тим інтенсивніше, чим більша амплітуда напружень. В подальшому спадання потенціалу затухає обернено пропорційно величині σ_a , що зумовлене переходом від процесу нагромадження пошкоджень до збільшення та поглиблення вже існуючих тріщин та дефектів. Інша причина зменшення інтенсивності розблагородження – покриття поверхні зразка плівкою нерозчинних продуктів корозії, які відіграють роль пасиваторів. Фактично наприкінці останньої ділянки зміна ЕП зумовлена в основному утворенням нових поверхонь вздовж берегів однієї чи кількох магістральних тріщин. Під час руйнування зразка спостерігаємо різке стрибкоподібне спадання ЕП через швидке поширення тріщини і утворення відносно великих за площею ювенільних поверхонь, найбільшою з яких є долом (точки D та D_1).

Висновки

Вивчено деформаційну поведінку сталі трубопроводу при ступінчатому статичному та низькочастотному навантаженні в повітрі та хлоридному корозійно-активному середовищі.

Побудовано повну криву втоми та криву корозійної втоми, які дадуть змогу краще прогнозувати ресурс та залишковий ресурс роботи магістральних трубопроводів.

Досліджено кінетику електродного потенціалу матеріалу трубопроводу у середовищі 2 М NaCl.

Література

1. Крижанівський Є. І., Побережний Л. Я. Методологія дослідження деформації та руйнування трубопровідних систем // Матеріали III міжнародної конференції „Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій”.- Львів.- 2004.- С. 419-424
2. Крижанівський Є. І., Побережний Л. Я. Деформаційна поведінка сталі трубопроводу при низькочастотній втомі // Збірник наукових праць IV Міжнародного симпозіуму „ISTF-2002”.- Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя, 2002.- Т. 1.- С. 296-300