

ОЦІНКА ДОВГОВІЧНОСТІ ТРУБОПРОВОДІВ ЗА РІЗНИХ ВИДІВ ВТОМНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Д.Ю.Петрина

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42264,
e-mail: public@nung.edu.ua

В работе разработана методика оценки ограниченной выносливости трубопроводной стали по результатам трех различных способов усталостных испытаний при асимметричном цикле. Правомочность предложенного решения аналитической задачи подтверждена результатами усталостных испытаний образцов стали 20, вырезанных из стенки газопроводной трубы.

The technique of an estimation of restricted endurance of pipeline steel by results of three different ways of fatigue trials at asymmetric cycle is developed in the work. Legitimacy of the offered decision of an analytical problem is confirmed with results of fatigue trials of samples of the steel 20 which have been cut out from a wall of a gas pipe.

Надійня оцінка працездатності трубопроводів потребує комплексного підходу, однією з важливих складових якого є визначення напруженого стану труби. У процесі тривалої експлуатації відбувається зміна напружено-деформованого стану трубопроводів за найрізноманітніших комбінацій статичних і динамічних силових чинників. Особливу роль відіграють тут циклічні навантаження.

Втома, як один із механізмів руйнування, є причиною експлуатаційних пошкоджень переважної більшості сучасних інженерних конструкцій. За статистикою частка втомних пошкоджень елементів металоконструкцій складає 40% від загальної кількості їх передчасних відмов. Тому великої актуальності набувають втомні дослідження, в яких використовуються зразки, виготовлені із заготовок, вирізаних зі стінки труби. Реалізація таких досліджень, а особливо за асиметричного циклу, що найбільш повно відповідає умовам втомного навантаження труб, необхідна для правильного визначення ресурсу роботи трубопроводу. Це вимагає створення нових методологічних підходів до постановки та проведення експерименту, коректного визначення постійних і змінних у часі параметрів, а також надання інформації у зручному для обробки та подальших інженерних розрахунків вигляді.

Порівняння багаточисленних літературних даних про випробування металів на втому за асиметричного циклу свідчить про застосування різними експериментаторами трьох методів побудови кривих втоми, незалежно від виду навантаження (розтяг, стиск, кручення, згин і т.д.).

1 метод. Крива втоми знімається за постійного середнього (статичного) навантаження σ_c або τ_c . Такий вид випробувань найбільш повно висвітлений в літературі, він використовується для побудови повних діаграм втоми [1].

2 метод. Крива втоми знімається за постійного мінімального напруження σ_{min} або τ_{min} . Така схема випробувань продиктована умовами роботи багаточисленних пружних елементів

(циліндричних пружин, ресор, торсіонів і т. ін.). Оскільки для виготовлення труб використовуються маловуглецеві сталі, то слід зазначити, що їх уточнені криві втоми побудовані у ході випробувань за даною методикою [2].

3 метод. Крива втоми знімається за постійного коефіцієнта асиметрії $r = \sigma_{min} / \sigma_{max}$ або $r = \tau_{min} / \tau_{max}$. Це найменш поширений в лабораторній практиці вид випробувань.

Згідно з ГОСТ 2860-65, випробування рекомендуються проводити за першим або третім методом. Однак навіть поверхневий аналіз літературних даних свідчить про перевагу другого методу.

Очевидно, що внаслідок застосування різних способів одержуються різні криві обмеженої витривалості, оскільки в кожному зі згаданих трьох випадків як постійний параметр приймається фізична величина, яка є змінною у випробуваннях матеріалу за двома іншими методами.

Нехай для заданого матеріалу в нашому розпорядженні є дві втомні криві, побудовані з достатньою статистичною достовірністю за різної асиметрії циклу одним із трьох методів, наприклад, за першим, тобто за різних середніх напружень $\sigma_c = S_1$ і $\sigma_c = S_2$ (рис. 1). Приймаючи, згідно з існуючими правилами, залежність між руйнуючим напруженням і логарифмом числа циклів до руйнування лінійною, запишемо рівняння ліній довговічності для першої та другої кривої відповідно

$$\sigma_1 = P_1 - K_1 \lg N_1 \text{ при } \sigma_c = S_1, \quad (1)$$

$$\sigma_2 = P_2 - K_2 \lg N_2 \text{ при } \sigma_c = S_2, \quad (2)$$

де: σ_1 і σ_2 – максимальні напруження (σ_{max});
 N_1 і N_2 – число циклів до руйнування;
 P_1, P_2, K_1 і K_2 – постійні.

Для аналогічного, як і у випадку рівнянь (1) і (2), діапазону значень σ потрібно побудувати лінію обмеженої витривалості даного матеріалу за постійного напруження $\sigma_{min} = M$, тобто за другим методом з метою забезпечення

ідентичних умов перерахунку надалі скрізь як σ приймається максимальне напруження циклу.

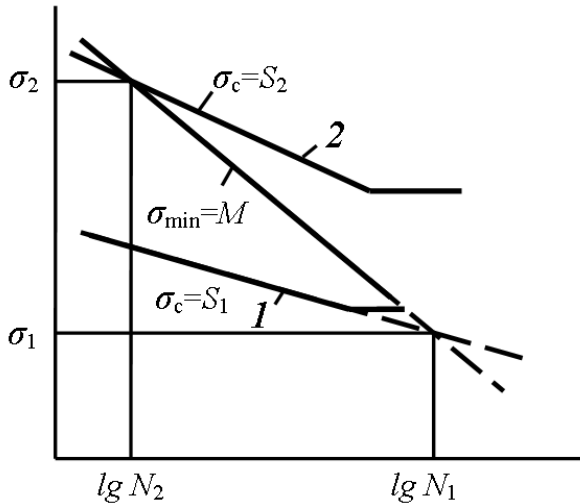


Рисунок 1 — Схема для розрахунку довговічності при переході від кривих витривалості, побудованих за $\sigma_c = \text{const}$, до кривої, одержаної за $\sigma_{\min} = \text{const}$

Рівняння (1) і (2) відображають результати випробувань, проведених за значень σ_{\min} , які монотонно змінювались. Знайдемо на лініях, що описуються рівняннями (1) і (2), величини довговічності, які відповідають випробуванням за $\sigma_{\min} = M$. Приймаючи до уваги відоме співвідношення $\sigma = 2\sigma_c - \sigma_{\min}$, з рівнянь (1) і (2) одержуємо такі значення довговічностей

$$\lg N_1 = \frac{1}{K_1} (P_1 + M - 2S_1);$$

$$\lg N_2 = \frac{1}{K_2} (P_2 + M - 2S_2). \quad (3)$$

Напруження, що відповідають довговічностям, представленим виразами (3), визначаються як

$$\sigma_1 = 2S_1 - M; \quad \sigma_2 = 2S_2 - M. \quad (4)$$

Таким чином, на залежностях 1 і 2 (рис.1) знайдені дві точки, через які може бути проведена лінія обмеженої витривалості даного матеріалу у випробуваннях з постійним $\sigma_{\min} = M$. Ця лінія описується рівнянням такого вигляду:

$$\sigma = P_{12} - K_{12} \lg N, \quad (5)$$

де:

$$K_{12} = \frac{2(S_1 - S_2)}{a_{12} - b_{12}}, \quad (6)$$

$$P_{12} = \frac{(2S_1 - M)a_{12} - (2S_2 - M)b_{12}}{a_{12} - b_{12}}, \quad (7)$$

$$a_{12} = \frac{1}{K_2} (P_2 + M - 2S_2), \quad (8)$$

$$b_{12} = \frac{1}{K_1} (P_1 + M - 2S_1). \quad (9)$$

Подвійні індекси постійних K і P надалі позначають: перший – від якого методу та другий – до якого методу здійснюється розрахунок.

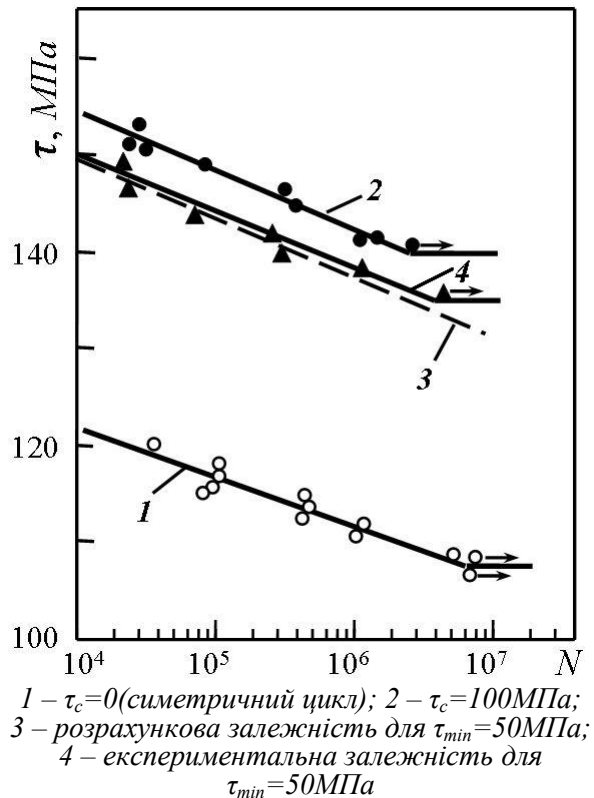
Аналогічно викладеному вище, за двома лініями обмеженої довговічності, побудованими за різної асиметрії будь-яким іншим методом, може бути знайдена лінія обмеженої довговічності, яка відповідає решті методам. При цьому слід пам'ятати, що задовільна точність розрахунку забезпечується рівнем статистичної достовірності обох одержаних експериментально ліній обмеженої довговічності.

У таблиці 1 наведено вирази для постійних K і P , необхідні для перерахунку ліній довговічності у ході переходу від одного з методів до інших двох.

Як приклад, розглянемо результати випробувань за циклічного кручення зразків сталі 20, вирізаних зі стінки ще не експлуатованої труби. Дані попередніх хімічних і механічних досліджень були такими: 0,22% С; 0,25 Cr; 0,43% Mn; 0,27% Si; 0,24% Ni; 0,027% S; 0,03P; $\sigma_B = 430$ МПа; $\tau_B = 370$ МПа; $\sigma_T = 220$ МПа; $\tau_T = 160$ МПа; $\sigma_{1.32} = 185$ МПа; $\tau_{1.32} = 107$ МПа. Використовувались зразки $\varnothing 6$ мм, випробування проведені на резонансних машинах ФМІ НАН України на частоті 40 Гц. Результати зображено на рис. 2. Статистична обробка результатів [3] дала можливість побудувати кореляційні залежності обмеженої витривалості (лінії 1 і 2)

$$\tau_1 = 144 - 5,5 \lg N_1 \quad (\tau_c = 0),$$

$$\tau_2 = 176,8 - 5,7 \lg N_2 \quad (\tau_c = 100 \text{ МПа}).$$



1 – $\tau_c = 0$ (симетричний цикл); 2 – $\tau_c = 100$ МПа; 3 – розрахункова залежність для $\tau_{\min} = 50$ МПа; 4 – експериментальна залежність для $\tau_{\min} = 50$ МПа

Рисунок 2 — Криві втоми сталі 20 під час кручення

Знайдемо лінію обмеженої довговічності для випадку випробувань сталі за постійного мінімального напруження $\tau_{\min}=50\text{МПа}$. Оскільки перерахунок здійснюється з 1-го методу до 2-го, необхідно користуватись формулами, розміщеними в першому рядку таблиці 1.

Рівняння лінії довговічності за $\tau_{\min}=50\text{МПа}$ має вигляд (рис. 2, пунктирна лінія 3):

$$\tau=180,7-5,54\lg N.$$

Для перевірки достовірності розрахункової кривої були проведені випробування на втому і побудована крива втоми сталі 20 за $\tau_{\min}=50\text{МПа}$ (лінія 4). Кореляційне рівняння експериментальної кривої має вигляд:

$$\tau_e=177,2-6,51\lg N_e.$$

Як бачимо із зображених на рис. 2 ліній, максимальне відхилення несучої здатності $\Delta\tau$

від розрахункового значення має місце за $N \cong 3 \cdot 10^6$ циклів і не перевищують 1%. Отже, запропонована методика може використовуватись для оцінки обмеженої довговічності трубопроводів за асиметричного циклу навантажень.

Література

1. Одинг И.А. Допускаемые напряжения в машиностроении и циклическая прочность металлов. – М.: Машгиз, 1962. – 260 с.
2. Иванова В.С., Терентьев В.Ф. Природа усталости металлов. – М.: Металлургия, 1975. – 455 с.
3. Степнов М.Н. Статистическая обработка результатов механических испытаний. – М.: Машиностроение, 1972. – 232 с.

УДК 621.643

ОСОБЛИВОСТІ СТРЕС-КОРОЗІЇ СТАЛІ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ У КИСЛИХ ЕЛЕКТРОЛІТАХ

Є.І.Крижанівський, Л.Я.Побережний

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42264,
e-mail: rector@nung.edu.ua, poberezhny@nung.edu.ua

Исследованы особенности стресс-коррозии стали магистральных газопроводов в растворах кислых электролитов. Показано, что механический фактор оказывает значительное влияние на скорость и характер протекания коррозионных процессов. Также необходимо отметить негативное влияние коррозионно-активной среды в условиях отсутствия или нецелостности пассивных оксидно-гидроксидных пленок.

Particularities of gasmain steel stress-corrosion in acidulous electrolyte solutions were investigated. It is revealed that mechanical factor plays important role in nature and velocities of the corrosion processes passing. Also important to consider influence of the acid environments at steel without passive oxide film.

Тривала дія на метал трубопроводу поля напружень у ґрунтовому масиві викликає в ньому різні структурні процеси, релаксацію внутрішніх напружень та деформацію загалом [1]. Тому дослідження закономірностей зміни фізико-механічних властивостей матеріалу труб у процесі експлуатації дозволять точніше визначити ресурс конструкцій трубопроводів, тим більше, що в сучасних умовах підвищується актуальність збереження довготривалого потенціалу діючих магістральних трубопроводів [2].

Проведені нами обстеження підземних трубопроводів показали, що їх термін експлуатації, головним чином, залежить від корозійної стійкості основного металу та зварного з'єднання труб, а також характеру руйнування поверхні металу в місцях з порушенням ізоляційним покриттям.

У практиці будівництва питання взаємодії трубопроводів з ґрунтом вивчені недостатньо [3]. Тому чітких і апробованих рішень щодо вибору чи визначення основних характеристик для розрахунку та аналізу роботи підземних

трубопроводів немає. Розрахунок труб, що прокладаються в ґрунті, проводиться методами механіки підземних споруд [4]. Труба та оточуючий ґрунтовий масив розглядаються як елементи єдиної деформівної системи, яка сприймає зовнішні навантаження та впливи.

Урахування корозійної активності ґрунту, яку прийнято оцінювати часом до появи на новому трубопроводі першої каверни, складу і фізико-механічних властивостей ґрунтів та їх динаміки значно ускладнює розрахункову схему, оскільки з'являється багато додаткових, змінних у часі параметрів, що беруться не лише з довідників, але й визначаються експериментально. Перелік одних лише істотних чинників, які визначають корозійну активність ґрунтів, якими є структура та гранулометричний склад, вологість, склад ґрунтового електроліту, загальна кислотність чи лужність ґрунту, концентрація водневих йонів, повітропроникність, окисно-відновний потенціал, електричний опір ґрунтів, вказує на складність математичного моделювання деформівної системи „труба –