

УДК 539.375.43

ОЦІНКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТРУБОПРОВОДУ З КОНЦЕНТРАТОРАМИ НАПРУЖЕНЬ

Л. Я. Побережний

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

Рассматривается инженерная методика оценки чувствительности основного металла и сварных соединений труб до концентрации напряжений, базирующаяся на анализе кинетических кривых раскрытия кольцевого надреза образцов-моделей при статическом и низкочастотном нагружении в комплексе с фрактографическими исследованиями.

The engineering strategy of estimation of capacity to work of pipeline with stress concentrators is considered, basing on analysis of kinetic curves of recirculating cut opening on the samples-models at static and low frequency loading in complex with fractographic investigations.

Відомо, що причиною передчасного руйнування сталевих трубопроводів в період експлуатації можуть бути первинні концентратори напружень металургійного та технологічного походження, а також вторинні, зумовлені, наприклад, місцевою корозією, часто підсиленою механічним чинником [1-3]. Це вимагає створення нових ефективних інженерних методик дослідження чутливості основного металу та зварних з'єднань труб до концентрації напружень [4-5]. При цьому важливо, щоб метод забезпечував вивчення процесу формування статичної та циклічної пластичних зон біля вершини концентратора [6].

Нами пропонується методичний підхід, який базується на неперервному вимірюванні параметра δ'' [4], що характеризує розкриття кільцевого надрізу глибиною $(D-d)/2$ та початковим радіусом r_0 (рис. 1). Статичне навантаження зразка-моделі 4 здійснюється за схемою чотириточкового згину, а циклічне – при додатковому його обертанні із заданою частотою.

Під дією згинальних моментів M інтенсивна деформація зразка відбувається лише в зоні концентрації напружень, оскільки $d \ll D$. Вважається, що принцип Сен-Венана відносно впливу зусиль на опорах та в точці прикладання поперечних сил виконується, а бічні поверхні кільцевого надрізу перед початком випробувань є паралельними і в процесі згину залишаються плоскими. Тоді з точністю, достатньою для інженерних розрахунків, можна визначити параметр δ''

$$\delta'' = D \sin \theta + 2r_0, \quad (1)$$

де θ – кут повороту бічної поверхні кільцевого надрізу.

Переміщення експериментального зразка y_1 та y_2 реєструються індикаторами годинникового типу 1 та 2 з ціною поділки 0,001 мм, виставленими на відстані l_1 , а переміщення y_3 поворотної планки 5 – індикатором 3 з ціною поділки 0,01 мм та комп'ютером (через тензоміст, використовуючи АЦП) з одночасною побудовою графічної залежності в режимі реаль-

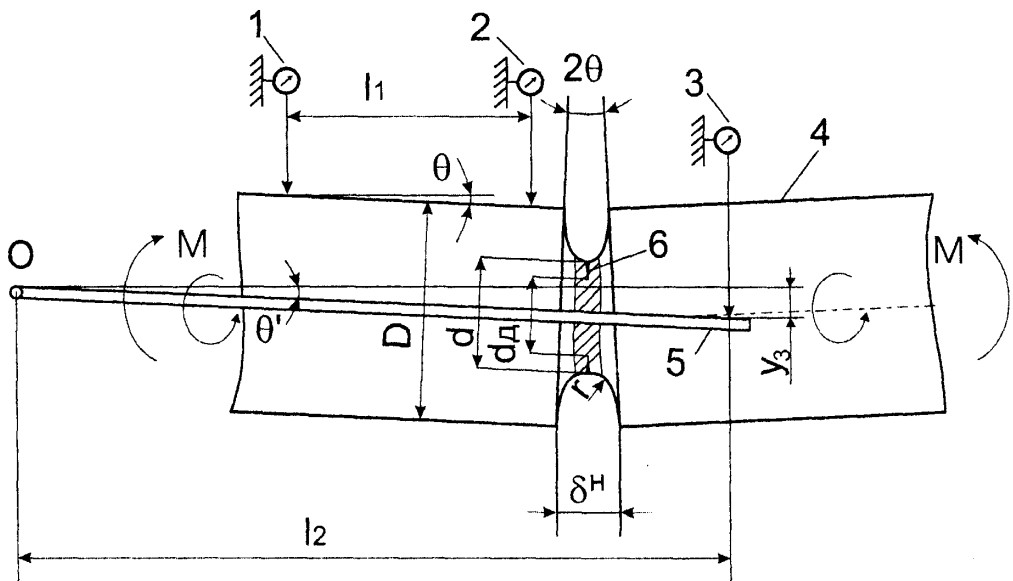


Рисунок 1 – Геометрія розкриття кільцевого надрізу

ного часу [4]. Кути повороту планки θ' та зразка θ визначаються за формулами

$$\operatorname{tg} \theta' = \frac{y_3}{\ell_2}, \quad \operatorname{tg} \theta = \frac{y_2 - y_1}{\ell_1}, \quad (2)$$

де ℓ_2 – відстань від головки індикатора 3 до точки О повороту планки.

Для зразків з $D=10$ мм, $d=5$ мм, $r_0=0,75$ різниця показів $y_2 - y_1 = 0,0988 y_3$.

Статистичну обробку результатів досліджень проводили в програмах Microsoft® Excel 2002 та Microsoft Origin 6.0, а побудову графічних залежностей – в програмі Ахум 5.0.

Кінетика розкриття кільцевого надрізу на зразках-моделях із сталі трубопроводу з подрібненими зернами фериту та перліту [7] показана на рис. 2.

Прямолінійна ділянка ОА відображає деформаційну поведінку сталі біля вершини концентратора напружень при статичному навантаженні і вказує на те, що в точці А, яка відповідає максимальному розкриттю надрізу в статичності δ_A^H , ще не спостерігається відчутних непружних деформацій, які б відстежувалися комп'ютеризованою вимірювальною системою, зокрема, при розвантаженні зразка. Відзначимо, що навантаження на ділянці ОА – ступінчасте і при його збільшенні на один ступінь номінальні напруження зростають на величину $\Delta\sigma = 20$ МПа за час $t_H = 1$ с. Час витримки на кожному ступені $t_s = 19$ с, а загальний час випробувань в статичності $t_A = 560$ с. До початку статично-

го навантаження $\delta^H = 2r_0$.

Низькочастотне навантаження при $M = \text{const}$ спричинює подальше зростання параметра δ^H на трьох характерних ділянках (рис. 2).

Ділянка АВ відображає стадію циклічного знеміцнення сталі біля вершини надрізу, яка завершується утворенням зони передруйнування [6], де відбулися макропластичні циклічні деформації та виникла початкова пошкодженість структури. Надалі ця зона визначає особливості зародження та розвитку структурно коротких та фізично малих мікротріщин [8] на ділянці ВС. Виходячи із кінетики розкриття кільцевого надрізу, можна припустити, що саме на цій ділянці, яка відповідає незначному стабільному зростанню параметра δ^H , відбувається остаточне формування кільцевої втомної тріщини і стабільне її зростання. Таким чином, при подальшому циклічному навантаженні зразок-модель працює з первинним кільцевим концентратором напружень з радіусом r та вторинним концентратором напружень у вигляді кільцевої втомної тріщини b (рис. 1), довжину, глибину та площу поверхонь якої визначали за сканованим зломом (рис. 2).

Характер зміни параметра δ^H на ділянці CD однозначно вказує на прискорений ріст кільцевої тріщини, максимальна глибина якої досягається у момент долому (точка D) і становить $(d - d_d)/2$.

Відносна тривалість роботи зразка-моделі на ділянках АВ, ВС та CD відповідно становила

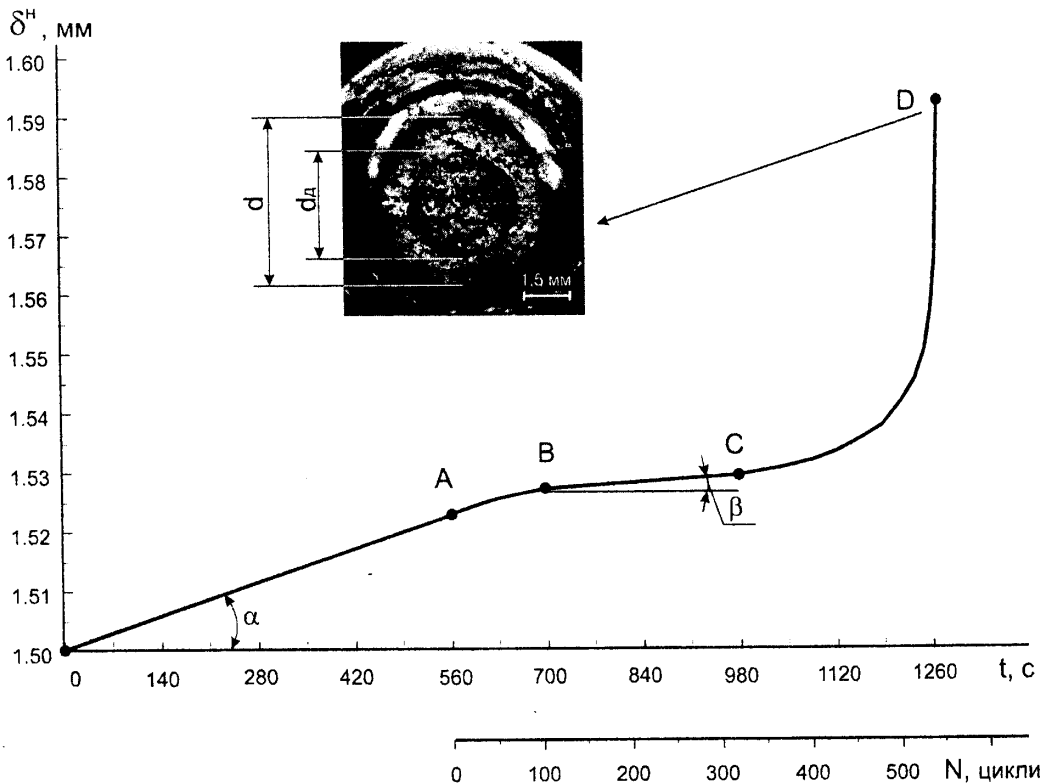


Рисунок 2 – Кінетична крива розкриття кільцевого надрізу при статичному (ОА) та низькочастотному (ABCD) навантаженні на повітрі (сталь 20; $M = 7,14$ Н·м; $f = 0,8$ Гц)

20, 39 та 41 % при втомній довговічності $N = 540$ циклів, що додатково вказує на важливість сканування зламів з подальшим визначенням параметрів тріщини.

Випробовування на повітрі показали добру відтворюваність результатів.

Таким чином, можна констатувати, що запропонована методика оцінки працездатності сталі трубопроводу з концентраторами напружень є достатньо ефективною та може рекомендуватися для практичного використання.

Література

1. Похмурский В.И. Коррозионная усталость металлов. – М.: Металлургия, 1985. – 207 с.
2. Петров Л.Н., Сопрунюк Н.Г. Коррозионно-механическое разрушение металлов и сплавов. – К.: Наук. думка, 1991. – 216 с.
3. Поляков С.Г. Электрохимический мониторинг в защите от коррозии сварных трубопроводов: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – К., 1999. – 35 с.
4. Крижанівський Є.І., Побережний Л.Я. Перспективи використання автоматизованих випробувальних систем з ЕОМ для оцінки корозійно-механічних властивостей матеріа-

лів морських трубопроводів // Проблемы создания новых машин и технологий. Научные труды КГПУ. Вып. 1/2001 (10). – Кременчуг: КГПУ, 2001. – С. 21-23.

5. Побережний Л.Я. Комп'ютеризована установка для корозійно-механічних випробовувань матеріалу морських трубопроводів // Автоматизація технологічних об'єктів і процесів. Пошук молодих: Збірник наукових праць I Всукраїнської науково-технічної конференції аспірантів та студентів в м. Донецьку 15-16 травня 2001 р. – Донецьк: ДонДТУ, 2001. – С. 172-174
6. Остап О.П. Роль зони передруйнування у визначенні концентрації напружень в циклічно деформованих матеріалах // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2001. – № 3. – С. 47-58.
7. Крижанівський Є.І., Побережний Л.Я. Особливості деформування текстурованої сталі трубопроводу при навантаженні чистим згинном // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2001. – № 1. – С. 57-61
8. Міллер К.Дж. Втома металів: минуле, сучасне та майбутнє // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 1991. – № 5. – С. 9-26

Міжнародна науково-практична конференція

“Захист навколишнього середовища, здоров'я, безпека у зварювальному виробництві”

м. Одеса (Україна), 10-14 вересня 2002 р.

Фізико-хімічний інститут захисту навколишнього середовища і людини (ФХІ ЗНСІЛ) Міністерства освіти і науки і НАН України

вул. Преображенська, 3,
м. Одеса, 65026, Україна

Тел. +380 (482) 237561
Факс: +380 (482) 231116
E-mail: eksvar@ukr.net

Тематика конференції:

- ◆ Методи і засоби захисту зварників, виробничого і навколишнього середовища від впливу зварювальних аерозолей.
- ◆ Пристрої локалізації (місцеві відсоси, зварювальні паяльники з відсосами), місцева вентиляція зварювальних постів, вентиляція монтажно-зварювальних цехів;
- ◆ Енерго- і ресурсозбереження, утилізація і переробка зварювального пилю;
- ◆ Технологічні можливості зниження викидів зварювальних аерозолей при зварюванні, наплавленні і різанні металів;
- ◆ Економічна ефективність прогресивних способів зварювання, засобів індивідуального і колективного захисту зварників і робітників суміжних професій;
- ◆ Сучасні проблеми медицини в зварювальному виробництві;
- ◆ Безпека праці та ергономіка в зварювальному виробництві;
- ◆ Еколого-правові аспекти.

Фізико-хімічний інститут захисту навколишнього середовища і людини України за дорученням Міждержавної наукової ради зі зварювання і близьких технологій створюють базу даних про розроблювачів ефективних сорбційно-фільтраційних матеріалів, каталізаторів низькотемпературної нейтралізації токсичних газоподібних речовин, респіраторів і установок санітарного очищення і кондиціонування повітря, що призначені для захисту зварювальників, виробничого та навколишнього середовища. Отримана інформація дасть змогу здійснити координацію НІОКР у даній галузі.

До дня відкриття конференції будуть видані наукові праці конференції.