

© Ю.Д. Петрина
д-р техн. наук
Б.Р. Шуляр
Д.Ю. Петрина
д-р техн. наук
ФНТУНГ

Оцінка тріщиностійкості магістральних трубопроводів за ударною в'язкістю

УДК 539.4

Тріщиностійкість магістральних трубопроводів оцінюють за критичними коефіцієнтами інтенсивності напружень. Через методичні складності у визначенні K_{IC} останній пропонують часто оцінювати за ударною в'язкістю. Проте визначення в'язкості руйнування K_{IC} за результатами випробувань ударної в'язкості для сталі 17Г1С-У може в окремих випадках призводити до суттєвих похибок.

Ключові слова: магістральні трубопроводи, тріщиностійкість, ударна в'язкість, в'язкість руйнування.

Трещиностойкость магистральных трубопроводов оценивают по критическим коэффициентам интенсивности напряжений. В связи с методическими сложностями в определении K_{IC} последний предлагают часто оценивать ударной вязкостью. Однако определение вязкости разрушения K_{IC} по результатам испытаний ударной вязкости для стали 17Г1С-У может в отдельных случаях приводить к существенным погрешностям.

Ключевые слова: магистральные трубопроводи, трещиностойкость, ударная вязкость, вязкость разрушения.

Crack resistance of think pipelines is estimated by critical stress intensity factors. Because of methodical complexity of K_{IC} determination. However the determination of fracture toughness by impact data for 17Г1С-У steel can sometimes result in essential errors.

Key words: trunk pipelines, crack toughness, impact strength, fracture toughness.

Розрахунки на міцність магістральних трубопроводів виконують за класичними методами, враховуючи можливі відхилення у несприятливий бік уведенням коефіцієнтів запасу міцності [1].

Однак останнім часом інтенсивного розвитку набули дослідження з оцінки залишкової міцності магістральних трубопроводів через критичні коефіцієнти інтенсивності напружень, тобто їх здатності чинити опір поширенню тріщин [2]. У зв'язку з цим в Україні було введено нормативні документи [3, 4] із розрахунку залишкової міцності магістральних трубопроводів із дефектами, що свідчить про підвищення активності у вивченні досліджуваної проблеми.

Короткочасне поширення тріщин досліджували на нормалізованих зразках, виготовлених зі сталі 17Г1С-У. Заготовки для зразків вирізали із реальних труб запасу із діаметром 1020 мм і товщиною стінки 12 мм. Хімічний склад сталі відповідав ТУ 14-1-1950-77. Випробування проводили на циліндричних зразках із попередньо наведеною втомною осесиметричною тріщиною під час розтягу за допомогою розривної машини УМ-5А.

Використовували загальновідомі методики нанесення

втомних тріщин, механічних випробувань на K_{IC} і підрахунку його величини [5, 6].

Результати випробувань на K_{IC} показано на рис. 1. Із підвищенням температури величина K_{IC} зростає. Однак, досягнувши $T_{\text{випр}} \approx 240$ К, в експерименті не виконуються умови плоскої деформації, що призводить до недостовірної оцінки K_{IC} . Ці дані показано на рисунку пунктирною лінією.

Тому потрібно зазначити, що правомірність оцінки тріщиностійкості трубних сталей за показниками K_{IC} пов'язана із великими труднощами, оскільки для них зазвичай не застосовуються обмеження, що накладаються лінійною механікою руйнування на величину пластичної деформації у вершині тріщини з урахуванням довжини останньої та розмірів досліджуваних зразків. З огляду на методичні труднощі під час експериментального визначення в'язкості руйнування трубних сталей, дані робіт [3, 4] пропонують скористатися емпіричною залежністю, що зв'язує ударну в'язкість за певної температури з величиною K_{IC} :

$$K_{IC} = 0,1 \sqrt{0,1 \frac{E}{1-\mu^2} KCV}, \quad (1)$$

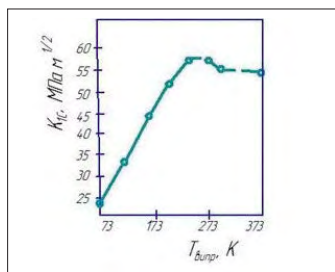


Рис. 1. Вплив температури випробувань на параметр K_{IC} трубної сталі 17Г1С-У

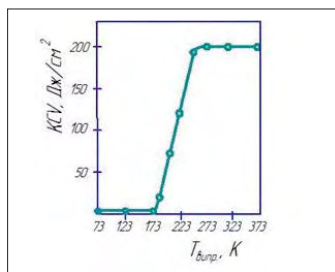


Рис. 2. Вплив температури випробувань на величину KCV трубної сталі 17Г1С-У

Вплив температур випробувань на ударну в'язкість і розрахункові значення K_{IC} трубної сталі 17Г1С-У

Таблиця

$T_{\text{випр}}, \text{K}$	KCV	Розрахункове значення K_{IC}
73	1,66	19,7
23	1,66	19,7
173	1,66	19,7
180	21,7	71,2
200	68,3	126,4
220	135	177,7
250	190	204,3
270	200	209,66
323	200	209,66
373	200	209,66

де E – модуль пружності; μ – коефіцієнт Пуассона; KCV – ударна в'язкість за Шарні.

Однак випадки різної структурної чутливості в'язкості руйнування і ударної в'язкості можливі [7].

Щоб з'ясувати це питання, ми провели серійні випробування на ударну в'язкість зразків зі сталі 17ГІС-У, результати яких показано на рис. 2.

Користуючись формулою (1) і даними рис. 2, підрахуємо прогнозовані значення K_{1C} і внесемо їх до таблиці.

Висновок

Отже, як видно з порівняння отриманих розрахункових і експериментальних значень K_{1C} (див. дані рис. 1 і таблиці), в цьому експерименті між ними не встановлено кореляційного зв'язку.

Порівняння результатів випробувань на K_{1C} і ударну в'язкість (див. рис. 1 та 2) свідчить про те, що в той час, як ударна в'язкість у межах температур від 73 до 173 К для сталі 17ГІС-У залишається на низькому (практично постійному) рівні, значення K_{1C} зростають майже удвічі.

Ці дані суперечать методиці визначення K_{1C} за величиною ударної в'язкості, згідно з якою між K_{1C} і KCV повинен існувати прямо пропорційний зв'язок. Така невідповідність викликана тим, що ударну в'язкість визначають на ділянці крихкого руйнування (див. рис. 2), а параметр K_{1C} – на ділянці переходу від крихкого до в'язкого руйнування (див. рис. 1). Говорити про якісь кореляційні зв'язки між K_{1C} і ударною в'язкістю за випробувань вище 240 К не має ніякого сенсу, оскільки оцінка K_{1C} у цьому температурному діапазоні недостовірна.

У подальшому планується провести дослідження на предмет оцінки в'язкості руйнування K_{1C} трубних сталей за їх іншими механічними характеристиками.

Список літератури

1. **Трубопровідний** транспорт газу / М.П. Ковалко, В.Я. Грудз, В.Б. Михалків [та ін.]. – К.: Агентство з раціонального використання енергії та екології, 2002. – 600 с.
2. **Оцінка** тріщиностійкості магістральних трубопроводів за критичними коефіцієнтами інтенсивності напружень / Є.І. Крижанівський, В.П. Рудко, О.О. Онищук, Д.Ю. Петрина // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2003. – № 1 (6). – С. 6–11.
3. **ВБН В.2.3-0008201. 04-2000**. Розрахунки на міцність діючих магістральних трубопроводів з дефектами. – К.: Держнафтогазпром, 2000. – 57 с.
4. **ДСТУ – НБВ.2.3.21:2008**. Настанова визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів з дефектами. – К.: Міжрегіонбуд України, 2008. – 68 с.

5. **ГОСТ 25.506-85**. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 62 с.

6. **Механика** разрушения и прочность материалов: Справ. пособие: в 4-х т. / под общей ред. Панасюка В.В. – К.: Наукова думка, 1988. – Т. 3: Характеристика кратковременной трещиностойкости материалов и методы их определения / С.Е. Ковчик, Е.М. Морозов. – 436 с.

7. **Романив О. Н.** О некоторых случаях различной структурной чувствительности вязкости разрушения и ударной вязкости / О.Н. Романив, А.Н. Ткач, А.С. Крыськив // Физ.-хим. механика материалов. – 1978. – № 6. – С. 46–71.

Автори статті



Петрина Юрій Дмитрович

Закінчив механічний факультет Львівського політехнічного інституту, доктор технічних наук, професор, член-кореспондент Гірничої академії України. Працює завідувачем кафедри технології нафтогазового машинобудування ІФНТУНГ. Коло наукових досліджень: міцність і довговічність нафтогазового обладнання, продовження ресурсу трубопровідного транспорту України. Автор близько 280 наукових публікацій, більше 50 авторських свідоцтв СРСР і патентів України.

Шуляр Богдан Романович

Аспірант кафедри технології нафтогазового машинобудування ІФНТУНГ. Закінчив ІФНТУНГ за спеціальністю технологія машинобудування (спеціалізація: технологія нафтогазового машинобудування). Напрямок наукової діяльності: продовження ресурсу трубопровідного транспорту України.



Петрина Дмитро Юрійович

Доктор технічних наук, завідувач кафедри механіки машин ІФНТУНГ. Закінчив ІФНТУНГ за спеціальністю інженер-механік (спеціалізація: технологія нафтогазового машинобудування). Напрямок наукових досліджень: стратегія продовження ресурсу та впровадження комплексу технологій реновації трубопровідного транспорту України, технологічні методи підвищення міцності бурової колони.

