ISSN 1993-9981 Методи та прилади контролю якості, № 19, 2007

УДК 656.56:629.017

ОЦІНКА В'ЯЗКИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРУБНОЇ СТАЛІ 17Г1С ЗА СКЛАДОВИМИ УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ

Д.Ю. Петрина [1)], Д.С. Вуйцік [1)], О.В. Корнута [1)], Л.Г. Петрина [2)]

[1)] Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу , вул.Карпатська, 15, м.Івано-Франківськ, 76019, тел. (8-03422)4-30-24

[2)] Державний медичний університет, вул.Галицька, 2, м. Івано-Франківськ, 76000, тел. (8-0342)78-41-63

Рассмотрены характеристики сопротивления разрушению образцов с трещиновидными дефектами. Приведены результаты анализа на примере материалов, использующихся в трубопроводном транспорте. Рассмотрены существующие характеристики материалов. Показано, что значение ударной вязкости не дает полного представления про характер разрушения трубопроводной стали 17Г1С. Представлена концепция оценки перехода стали 17Г1С в хрупкое состояние по составляющих ударной вязкости.

Descriptions of resistance destruction of standards are considered with crack like defects. There are given the results of analysis on the example of materials, which are d in a pipeline transport. Existent descriptions of materials are considered. It is showed that the value of shock viscidity does not give complete presentation about character of destruction of pipeline steel of 17Г1С. There is presented conception of transition estimation of steel 17Г1С in the fragile state after the constituents of shock viscidity.

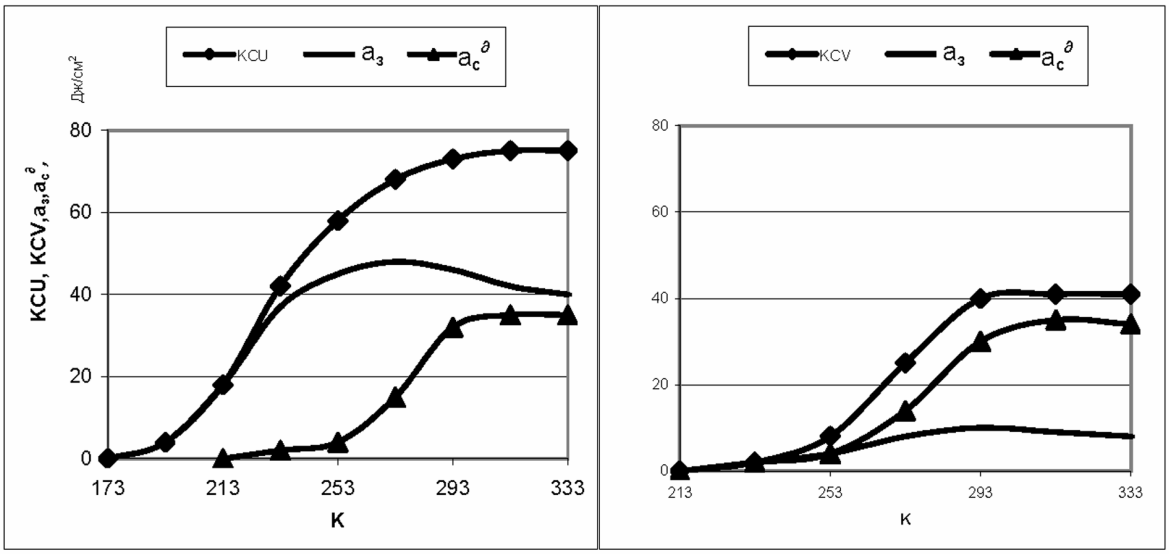
Більшість магістральних трубопроводів України вичерпали свій термін експлуатації і працюють з різними дефектами. Це привело до необхідності створення нових відомчих будівельних норм [1]. Згідно останніх в'язкі властивості трубних сталей оцінюються за ударною в'язкістю *KCV*. Однак величина ударної в'язкості не дає інформації про поведінку металу на окремих етапах процесу руйнування. Згідно сучасних представлень про процес руйнування він ділиться на два основних етапи: зародження та поширення тріщини [2]. Отже, цілком обґрунтованим буде відокремлений розгляд в'язкості сталі на роботу зародження тріщини ($a_з$) і роботу поширення тріщини (a_c^{∂}), тобто, $KCV = a_з + a_c^{\partial}$. Оскільки реальні конструкції працюють з тріщинами, то їх роботоздатність забезпечується енергоємністю процесу поширення тріщини. Тому в'язкість руйнування при наявності тріщини є визначальною. Крихкість сталей пов'язана саме з втратою опору поширенню тріщини. Це дуже важливо, тому що зміни в технології виплавки, обробки, текстури сталей, їх деградація при експлуатації по різному впливають на величини складових ударної в'язкості. Тому з допомогою складових ударної в'язкості можемо отримати більш повну картину про перехід сталі в крихкий стан. Враховуючи необхідність удосконалення нормативно-технічної документації в розрахунках на міцність нафто- і газопроводів з дефектами [3], дослідження про вплив складових ударної в'язкості на характер кривих холодноламкості сталі 17Г1С мають значну актуальність.

Для визначення поведінки сталей на стадіях зародження та поширення тріщин використали методику Б.А.Дроздовського і Я.Б.Фрідмана [4], яка полягає у випробуваннях зразків на ударний згин з визначенням складових ударної в'язкості. Побудову серіальних кривих "доля волокна в зломі – температура" проводили за методикою А.П.Гуляєва [5].

Згідно ГОСТ 9454–60 для визначення ударної в'язкості за головний прийнятий зразок типу I з надрізом радіусом 1 мм і глибиною 2 мм. За додатковий стандартом передбачений зразок типу IV з надрізом радіусом 0,25 мм і глибиною 2 мм, який нормативно-технічним документом [1] рекомендується для визначення ударної в'язкості сталей магістральних трубопроводів. При визначенні ударної в'язкості на зразку типу IV стандартом

передбачено обов'язкове проведення паралельних випробувань на зразку типу І. Тому наші дослідження проведені на зразках двох типів – І і IV. Відразу визначимо, в чому полягає різниця у величинах поглинутої енергії при випробуваннях зразків з різними радіусами надрізів.

Зміну ударної в'язкості та її складових в залежності від температури випробувань вивчали на зразках з гарячекатаної сталі 17Г1С. Як видно з рис.1, верхні температури холодноламкості як зразків з надрізом 1,00 мм, так і з надрізом 0,25 мм мають наближено одне значення. Проте перехід до випробовувань зразків з більш гострим концентратором різко зсуває нижню температуру холодноламкості в сторону вищих значень, звужуючи при цьому діапазон температур крихко-в'язкого переходу. При радіусі надрізу 1,00 мм робота зародження тріщини набагато перевищує роботу її поширення. З пониженням температури випробувань ця різниця зростає. При руйнуванні зразка робота поширення тріщини стає практично рівна нулю, тому ударна в'язкість визначається повністю роботою зародження тріщини. Це значить, що для зразка з надрізом 1 мм визначення ударної в'язкості дозволяє отримати представлення переважно про роботу зародження тріщини.



а) *б)*

а) – R=1,00 мм; б) – R=0,25 мм

Рисунок 1 – Залежності ударної в'язкості та її складових гарячекатаної сталі 17Г1С від температури випробувань

Більш гострий концентратор (R=0,25 мм) різко знижує роботу зародження тріщини. При цьому робота її поширення залишається, природно, незмінною. Через це гострота надрізу ударних зразків має суттєвий вплив на різницю в критичних температурах крихко-в'язкого переходу. Отже, чим м'якший концентратор, тим в більшій мірі зразок характеризує опір сталі зародженню тріщини.

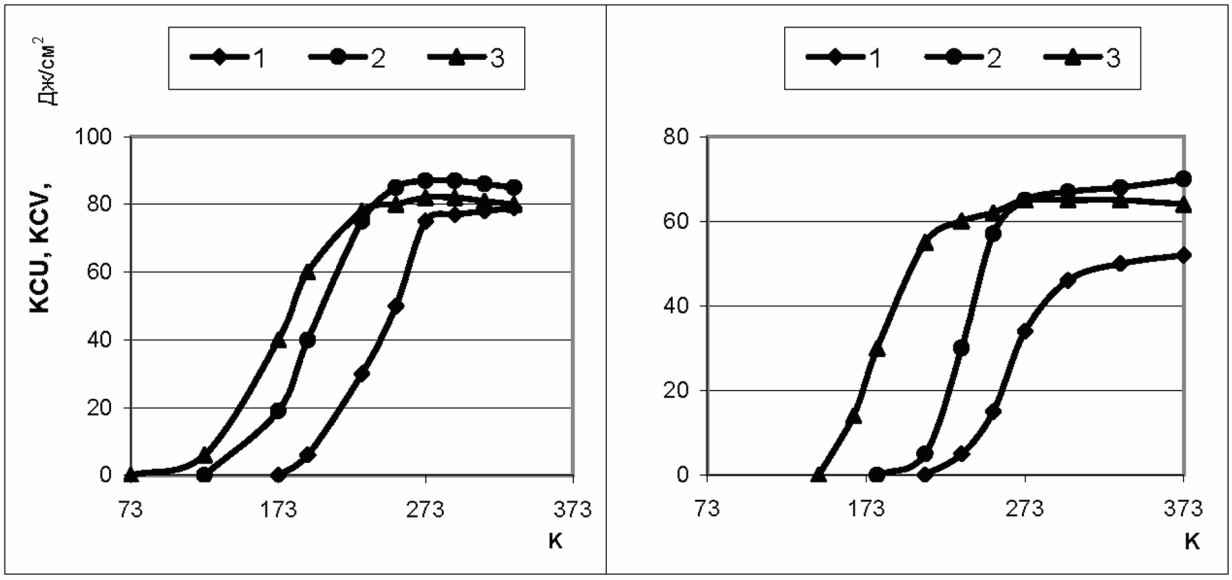
Опір металу поширенню тріщини є найважливішою характеристикою в'язкості, оскільки вона визначає здатність до переходу з в'язкого стану в крихкий. З цієї точки зору випробування зразків з надрізами, у вершинах яких створені втомні тріщини, є найбільш показними. Проте серіальні ударні випробування зразків з тріщинами поки що не входять в діючі нормативно-технічні документи.

Багаторічна практика експлуатації трубопроводів свідчить про те, що різні структурні стани сталі мають різну схильність до крихкого руйнування. Найчастіше трубні сталі використовуються в гарячекатаному та нормалізованому виді. Нормалізація значно

покращує холодостійкість сталей порівняно з гарячекатаними. Однак найбільший ефект забезпечує покращення.

На прикладі сталі 17Г1С вивчили характер зміни в'язких властивостей при різних структурних станах, які отримували в гарячекатаному, нормалізованому та покращеному видах. З метою одержання покращення відпуск проводили при температурі 923К.

Згідно з рис.2 нормалізація та покращення приводять до зсуву критичних температур холодноламкості в сторону їх нижчих значень незалежно від гостроти радіуса надрізу зразка. Зростає висота порогу холодноламкості (тобто різниця робіт цілком в'язкого та крихкого руйнувань). Останнє більш характерне для нормалізованої сталі. Сприятлива роль покращення порівняно з нормалізацією полягає у зсуві області повністю крихкого руйнування в сторону нижчих температур випробувань. Такі низькі значення критичних температур обумовлені тим, що ударна в'язкість, особливо для зразків з більш м'яким надрізом, характеризується в основному, як було вказано вище, здатністю сталі чинити опір зародженню тріщини.



а) *б)*

а) – R=1,00 мм; б) – R=0,25 мм; 1 –гарячекатана; 2 –нормалізована; 3 –покращена

Рисунок 2 – Залежності ударної в'язкості сталі 17Г1С від температури випробувань

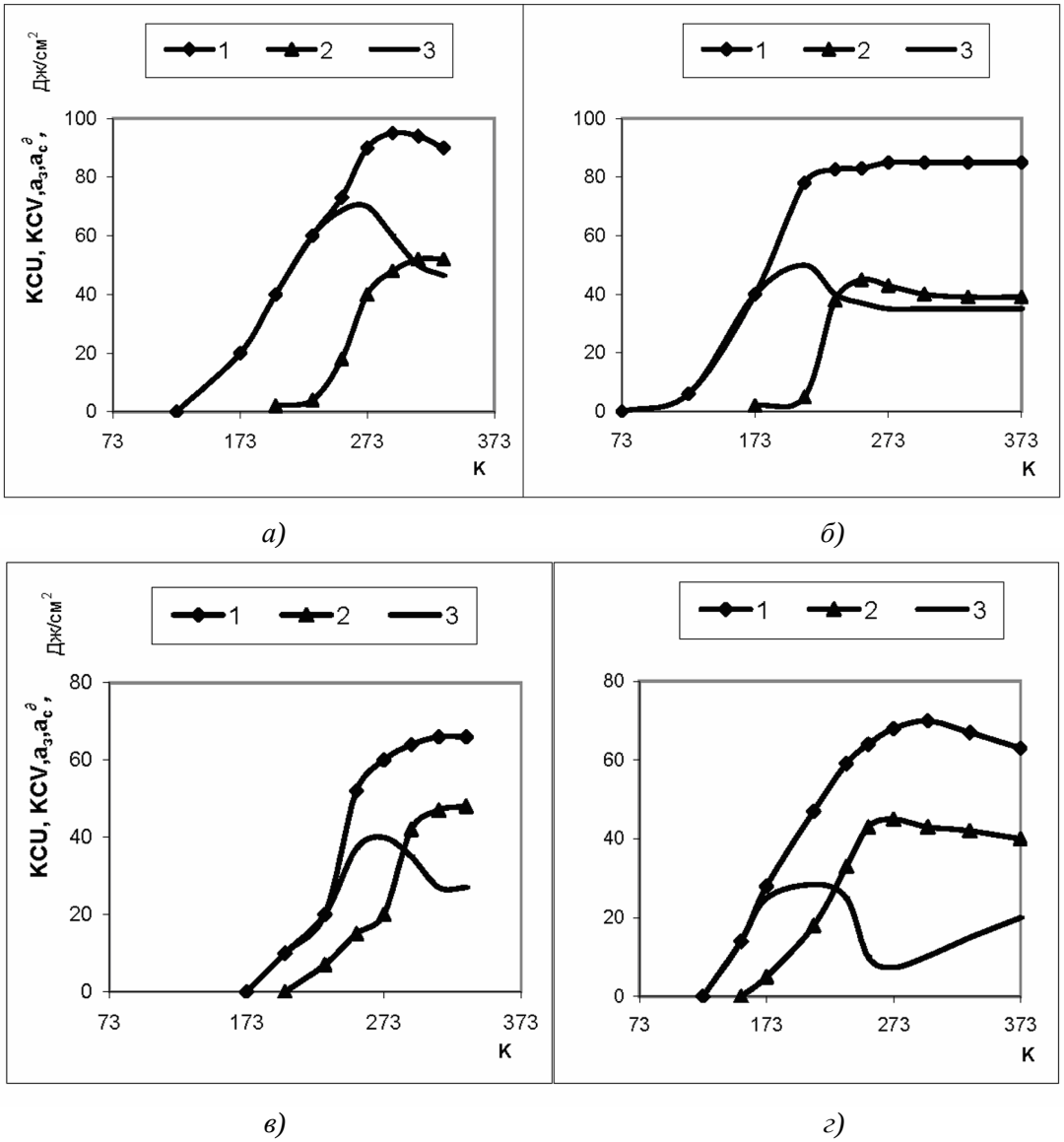
На рис. 1 і рис. 3 показані температурні залежності ударної в'язкості та її складових при різних структурних станах. Оскільки характер поширення тріщини найбільш повно характеризує схильність металу до крихкого руйнування, на рис. 4, *а* з метою більш наглядного порівняння приведені температурні криві зміни роботи поширення тріщини для всіх випадків структурних станів сталі 17Г1С, які розглядаються в дослідженні. З пониженням температури гарячекатана сталь найшвидше втрачає здатність чинити опір поширенню тріщини. Сильне пониження роботи зародження тріщини із зменшенням радіусу надрізу з 1,00 до 0,25 мм вказує на велику чутливість гарячекатаної сталі до наявності концентраторів напружень.

Нормалізація суттєво підвищує опір сталі зародженню тріщини, що пов'язане з підвищенням пластичності. Проте опір поширенню тріщини різко падає з пониженням температури. Тобто нормалізація хоча і дещо підвищує опір поширенню тріщини в цілому не дає суттєвих переваг порівняно з гарячекатаним станом. Отже, нормалізація сприяє росту ударної в'язкості в основному за рахунок підвищення опору зародженню тріщини.

Покращення суттєво розширює діапазон перехідних температур роботи поширення тріщини та помітно зсуває криву в сторону

більш низьких температур. При цьому зберігаються високі значення опору зародження та поширення тріщини до досить низьких температур випробувань.

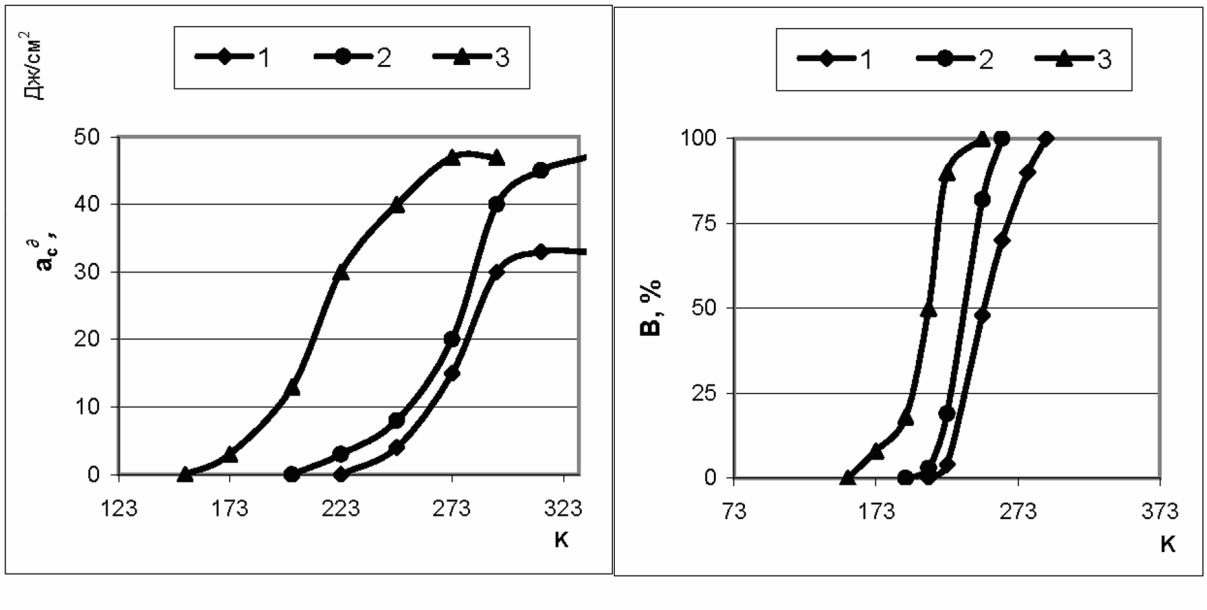
Отже, з розміщення кривих a_c^{∂} на рис. 4, *а* видно, що холодостійкість сталей зростає при переході з гарячекатаного стану в нормалізований, а потім в покращений. Відзначимо, що саме за складовими ударної в'язкості ми мали можливість кількісно оцінити вплив структурного стану сталей на характер процесу руйнування. Наприклад, згідно даних рис.1 і рис.3 на різних етапах руйнування при приблизно однаковій ударній в'язкості ми мали різне співвідношення її складових $a_з$ і a_c^{∂} . При нормалізованому стані величина ударної в'язкості складається з порівняно великого значення роботи зародження $a_з$ та малого значення роботи поширення тріщини a_c^{∂}.



а), б) – R=1,00 мм; в), г) – R=0,25 мм; а,в – нормалізована; б), г) – покращена; 1– KCU, KCV; 2 –a_c^{∂}; 3 – $a_з$

Рисунок 3 – Залежності ударної в'язкості та її складових сталі 17Г1С від температури випробувань

Покращення суттєво підвищує роботу поширення тріщини a_c^{∂} завдяки дисперсності сорбітної структури. Однак робота зародження тріщини при цьому дещо зменшується порівняно з нормалізацією. Це пояснюється тим, що збільшення пластичності матриці у покращеному стані зсуває крихко-в'язкий перехід сталі в бік більш низьких температур, а виділення вторинної фази – цементиту –в бік вищих температур випробувань. Залежно від того, який з приведених вище факторів має переважаючий вплив, змінюється схильність сталі до крихкого руйнування та співвідношення між складовими ударної в'язкості. В цілому зробимо висновок, що доля роботи поширення тріщини a_c^{∂} у величині ударної в'язкості покращеної сталі 17Г1С значно більша, ніж у випадку нормалізованого стану. Проведене дослідження показує, що значення однієї ударної в'язкості не завжди дає повне представлення про характер руйнування сталі.



а) *б)*

1–гарячекатана; 2–нормалізована; 3–покращена

Рисунок 4 – Залежності роботи поширення тріщини (*а*) та в'язкої складової (*б*) в зламі сталі 17Г1С від температури випробувань

На рис. 4, *б* приведені серіальні криві в'язкої складової *B* у зламах сталі 17Г1С. Видно, що ця характеристика також чутлива до структурного стану сталі. З порівняння рис. 4, *а* і рис. 4, *б* випливає, що серіальні залежності a_c^{∂} і *B* мають ідентичні розміщення та температурні інтервали. Цього і слід було чекати, оскільки a_c^{∂} і *B* відображають одну сторону руйнування – поширення тріщини. Значення критичних температур, визначені для a_c^{∂} і *B*, значно вищі за ті критичні температури, які були знайдені за серіальними кривими ударної в'язкості. Тому в районах Сибіру, де для трубопроводів в основному використовували гарячекатані та нормалізовані сталі, найбільше число аварій зафіксоване при температурах до 253К [6]. Покращенням можна понизити експлуатаційні температури аж до 213 К.

Таким чином із вищенаведеного видно, що значення ударної в'язкості не дає повного представлення про характер руйнування сталі 17Г1С. Більш повну картину про перехід сталі в крихкий стан можна отримати за допомогою серіальних температурних випробувань складових ударної в'язкості – роботи зародження та роботи поширення тріщини.

З ростом величини радіуса надрізу зразок в більшій мірі характеризує опір сталі зародженню тріщини. Опір металу поширенню тріщини є найважливішою характеристикою

в'язкості, оскільки він визначає здатність до переходу з в'язкого стану в крихкий. З цієї точки зору випробування зразків з надрізами, у вершинах яких створені втомні тріщини, є найбільш показними.

Встановлено, що серіальні залежності в'язкої складової у зламі та робота поширення тріщини мають ідентичні розміщення та температурні інтервали, тому можуть в однаковій мірі застосовуватися для оцінки холодноламкості сталей.

Серіальні температурні випробування за складовими ударної в'язкості дозволяють кількісно оцінити вплив структурного стану сталі 17Г1С на її схильність до крихкого руйнування. Найкращі показники має покращена сталь.

З метою подальшого вивчення властивостей трубної сталі 17Г1С необхідно провести дослідження ролі складових ударної в'язкості при переході матеріалу в крихкий стан в залежності від напряму прокатки, рафінування рідкими синтетичними шлаками, добавок рідкоземельних матеріалів тощо.

Література

1. ВБН В.2.3 – 00018201.04 – 2000. Розрахунок на міцність діючих магістральних трубопроводів з дефектами. – К.: Держнафтогазпром, 2000.–57 с.

2. Панасюк В.В. Механика квазихрупкого разрушения материалов. –К.: Наукова думка, 1991. –416 с.

3. Беккер М.В., Ориняк І.В., Розгонюк В.В. Про необхідність удосконалення нормативно-технічної документації в розрахунках на міцність нафто- і газопроводів з дефектами// Розвідка і розробка нафтових та газових родовищ.– 2004, №3(7). –С.116-119.

4. Дроздовский Б.А., Фридман Я.Б. Влияние трещин на механические свойства конструкционных сталей. – М.:Металлургиздат, 1960. –260с.

5. Гуляев А.П. Ударная вязкость и хладноломкость конструкционной стали.– М.: Машиностроение, 1969. –69 с.

6. Попов К.В., Савицкий В.Г. Низкотемпературная хрупкость стали и деталей машин. – М.:Машиностроение, 1969.– 269 с.