

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ТРУБ, ОБРОБЛЕНИХ ГРАТОЗНІМАЧЕМ

Б.В. Копей, Т.П. Венгринюк, Мурад Бетайєб

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 40534,
e-mail: koreyb@iung.edu.ua

Наводяться дані експериментальних досліджень впливу способу зняття грату на міцнісні властивості зварних з'єднань технологічних трубопроводів нафтогазової промисловості за статичного, динамічного і циклічного навантажень. Встановлено, що ударна в'язкість зразків, оброблених гратошліфувачем, є у 1,7 рази вищою, ніж оброблених механічним способом на токарному верстаті. Границя витривалості зразків у корозійному середовищі становить близько 50 МПа для обох способів зняття грату. Дослідження за швидкістю росту втомної тріщини на зразках із залишковим гратом показали, що їх величина зростає від $5 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-4}$ мм/цикл з моменту зародження до досягнення критичного стану. Тріщина зароджується в ранньому періоді роботи зразків, що відповідає 8-12% тривалості його роботи від початку випробовування до руйнування. Визначено кількісні показники довговічності з'єднань в залежності від висоти залишкового підсилення зварного шва.

Ключові слова: ресурс, трубопровід, пошкодження, дефект.

Приводятся данные экспериментальных исследований влияния способа снятия грата на прочностные свойства сварных соединений технологических трубопроводов нефтегазовой промышленности при статической, динамической и циклической нагрузках. Установлено, что ударная вязкость образцов, обработанных гратошлифовальным инструментом, в 1,7 раза выше, чем у образцов, обработанных механическим способом на токарном станке. Предел выносливости образцов в коррозионной среде составляет около 50 МПа для обоих способов снятия грата. Исследования по скорости роста усталостной трещины на образцах с остаточным гратом показали, что она увеличивается с $5 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-4}$ мм/цикл с момента зарождения до достижения критического состояния. Трещины зарождаются в раннем периоде работы образцов, что соответствует 8-12% продолжительности его работы от начала испытания до разрушения. Определены количественные показатели долговечности соединений в зависимости от высоты остаточного усиления сварного шва.

Ключевые слова: ресурс, трубопровод, повреждение, дефект

In this article the data of the experimental researches the effect of removal method of welding burr on technical properties of welded joints of industrial pipelines in the oil and gas industry at static-dynamic and cycle loading are presented. It is proved that impact toughness of samples processed by burr-grinder is in 1.7 times higher than those processed by a mechanical tool. The endurance limit of the welded samples with residual burr showed that their values increased from the moment of initiation to the critical state with $5 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-4}$ mm per cycle. Crack initiation occurs in the early period of work samples consisting 8-12 % of the resource from the beginning of the test to its failure. The quantitative indicators are of the compounds durability defined subject to the height of remaining amplification of the weld seam and the radius of the transition from the walls to the reinforcement.

Keywords: resource, pipeline, damage, defect.

Для оцінки надійності трубопроводів доцільно розглядати найбільш ймовірну схему їх руйнування. Згідно проведеного аналізу статичних даних, послідовність реалізації аварій з технологічними дефектами зварювання простежується в такій послідовності. В кільцевому зварному з'єднанні поблизу дефекту (непровар, грубі пори, підрізи тощо) накопичуються пошкодження, які викликають ріст втомної тріщини. З досягненням втомною тріщиною критичних розмірів починається крихке або квазікрихке розповсюдження тріщини по металу кільцевого зварного з'єднання з наступним виходом в основний метал.

З врахуванням викладеного вище виконано ймовірний розрахунок на циклічну тріщиностійкість кільцевого зварного з'єднання і визначено кількість циклів навантаження до його руйнування з подальшою оцінкою надійності. Як об'єкт досліджували трубопровід діаметром 1220 мм із сталі 17Г1С з товщиною стінки 8 мм із робочим тиском 5,5 МПа. Головним чинником, що характеризує умови навантаження, є

внутрішній тиск, максимальна амплітуда якого не перевищує 1,0 МПа, а число циклів за умовний робочий період складає $2 \cdot 10^4$. Виявлено, що в процесі навантаження близько 80% припадає на тиски величиною амплітуди до 0,5 МПа, на середні амплітуди від 0,5 МПа до 1,0 МПа – 16,9%, 3,0% складають тиски амплітудою 1,2 МПа. Для опису змін амплітуд тиску використовували розподіл Вейбулла. Отримані результати засвідчили, що ймовірність руйнування трубопроводу в продовж 20-ти років експлуатації (від $1,5 \cdot 10^4$ до $6 \cdot 10^4$ циклів) досить висока, що також підтверджується аналізом статистики відмов [1].

Таким чином, цей підхід уможливує оцінку надійності зварних з'єднань трубопроводів за статичними розрахунками циклічної тріщиностійкості із врахуванням навантаження та дефектності.

При експлуатації технологічних трубопроводів, зварених контактної-стиком зваркою, часто виникають навантаження, які призводять в деяких випадках до руйнування зварних з'єд-

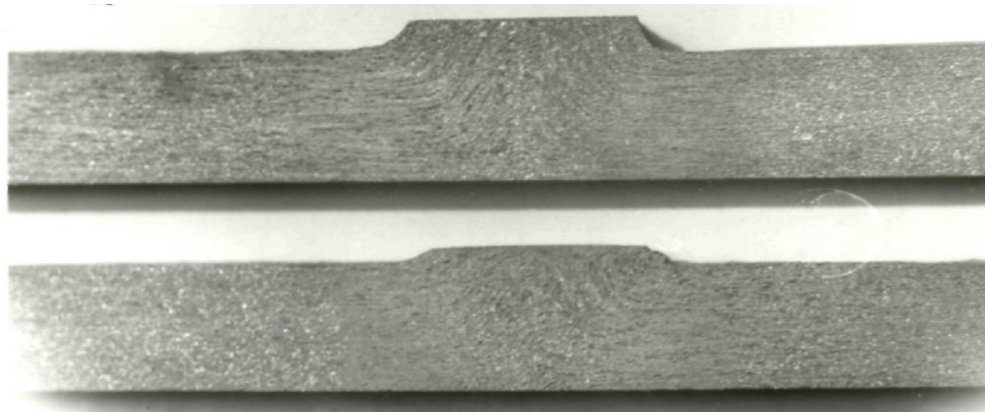
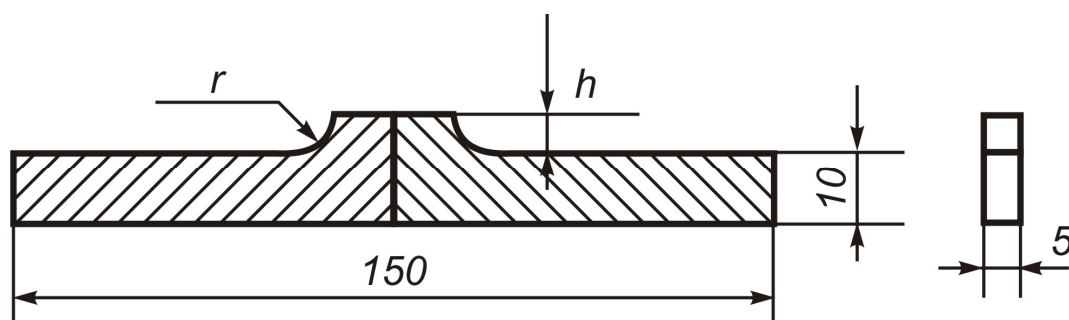


Рисунок 1 – Конструкція зразка для дослідження на опір втоми з контролем росту тріщин та поперечний шліф зварного з'єднання

нань. Руйнування, як правило, виникає в околі шовної зони – грату, або в зоні термічного впливу. На сьогоднішній день у процесі будівництва трубопроводів різного призначення, а також при кріпленні свердловин обсадними колонами використовують гратознімачі ударного типу роботи, що забезпечують рівномірне зчищення грату по всьому периметру з'єднань [2]. Грат виникає по всій лінії зварювання у вигляді шлакометалічного виступу, який зменшує прохідність перерізу трубопроводів і знижує його працездатність. Грат також збільшує місцеву жорсткість трубопроводу в зоні зварних з'єднань труб, що призводить до концентрації в них напружень і подальшого руйнування.

На даний час вплив способу зняття грату на механічні властивості зварних з'єднань досліджено недостатньо. В роботі [2] наводяться дані про поведінку зварних швів, оброблених гратознімачем. На особливу увагу заслуговує вивчення закономірностей руйнування зварних з'єднань, виконаних стиковою зваркою, після знімання грату у випадку динамічного навантаження.

Отже, оцінка впливу способу зняття грату на міцнісні властивості зварних з'єднань при статичному ударному і циклічному навантаженні є актуальною. Для дослідження було обрано дві групи зразків, вирізаних із тіла зварних труб із сталі 17Г1С: з обробленням грату на токарному верстаті і зняттям грату спеціальним гратознімачем [1]. Розмір зразків – 150x10 мм. Дослідження зразків на міцність на розтяг і ударну в'язкість проводили за стандартними методиками. Дослідження швидкості росту тріщин проводили на установці УРТ-8.

Дослідження опору зварних з'єднань корозійно-втомному руйнуванню проводили на установці ИМА-5. Зразки навантажували за схемою чистого згину з частотою обертання 25Гц. Корозійне середовище – 3%-ний водний розчин хлористого натрію. Результати випробувань представлено на рисунку 2.

Дослідження гладких зразків із зварними швами на розтяг підтвердили високі міцнісні властивості зварного з'єднання: границя міцності досягла величини $\sigma_B = 420$ МПа, що свідчить про еквівалентність механічних характеристик сталі і навколошовної зони за різних способів зняття грату.

Однак, як свідчать результати досліджень, при динамічному навантаженні зразків з надрізом на ударну в'язкість значно впливає спосіб зняття грату. При механічному способі зняття, робота, затрачена на руйнування зразків, менша, ніж при знятті гратознімачем (відповідно $a_n^M = 1,5$ МПа·м і $a_n^r = 2,5$ МПа·м відповідно для зразків з механічною обробкою шва і гратознімачем).

Дослідження на опір зварних гладких зразків корозійно-втомному руйнуванню показали, що їх механічна характеристика дещо нижча, ніж основного металу, але при цьому вплив способу зняття грату незначний.

Межа границі витривалості гладких зразків із швом становить близько 50 МПа при базі досліджень 50 млн. циклів.

Дослідження з визначення швидкості росту тріщини втоми у зразках при зніманні грату механічним способом на верстаті і за допомогою гратознімача показали, що спосіб зняття

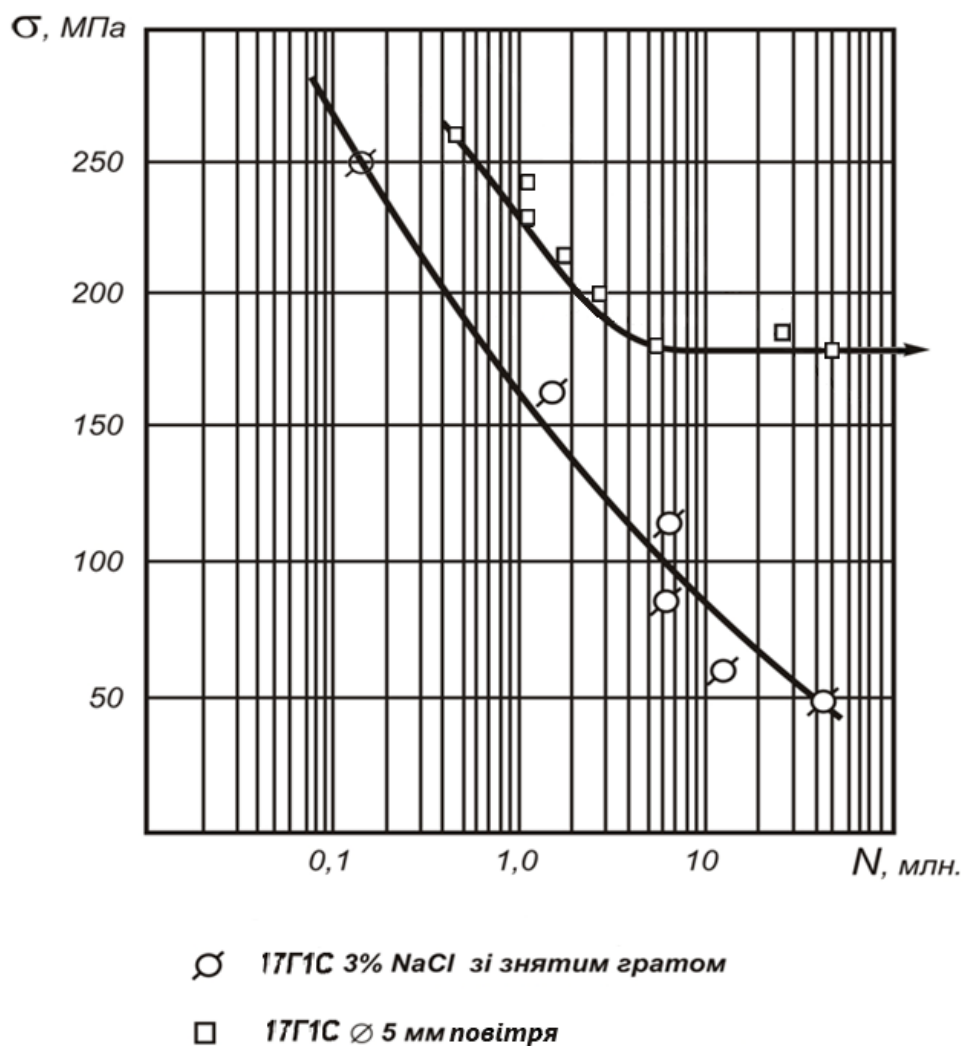


Рисунок 2 – Дослідження опору зварних з’єднань на корозійну втому

Таблиця 1 – Результати втомних досліджень зразків із знятим гратом

| № зразка | N, млн.циклів | | h, мм | r, мм |
|----------|---------------------|---------------|-------|-------|
| | механічним способом | гратознімачем | | |
| 1 | - | 0,846 | 4,0 | 4-5 |
| 2 | - | 1,2 | 3,0 | 4-5 |
| 3 | 2,1 | - | 3,0 | 4-5 |
| 4 | 4,58 | - | 2,0 | 4-5 |
| 5 | - | 0,591 | 2,0 | 2-3 |
| 6 | 2,085 | - | 1,0 | 2-3 |
| 7 | - | 0,40 | 2,5 | 2-3 |
| 8 | 0,602 | - | 2,0 | 2-3 |

грату не має значного впливу на міцнісні властивості зварних з’єднань. По-перше, було встановлено, що зварні шви, оброблені механічним способом на токарному верстаті, мали майже однакову довговічність із з’єднаннями, обробленими гратознімачами (рис. 2) [3].

Чим більша величина h , тим менше число циклів завантаження витримує зварний шов до руйнування, і чим менший, відповідно, радіус заокруглення r , тим нижча довговічність зраз-

ка. Такий вплив цих двох геометричних параметрів визначається рівнем концентрації напружень в місці переходу від тіла труби до залишкового підсилення.

По-друге, можна побачити, що довговічність зразка із знятим гратом залежить від висоти залишкового підсилення зварного шва h і радіуса r його переходу від стінки до підсилення (табл. 1, рис. 3).

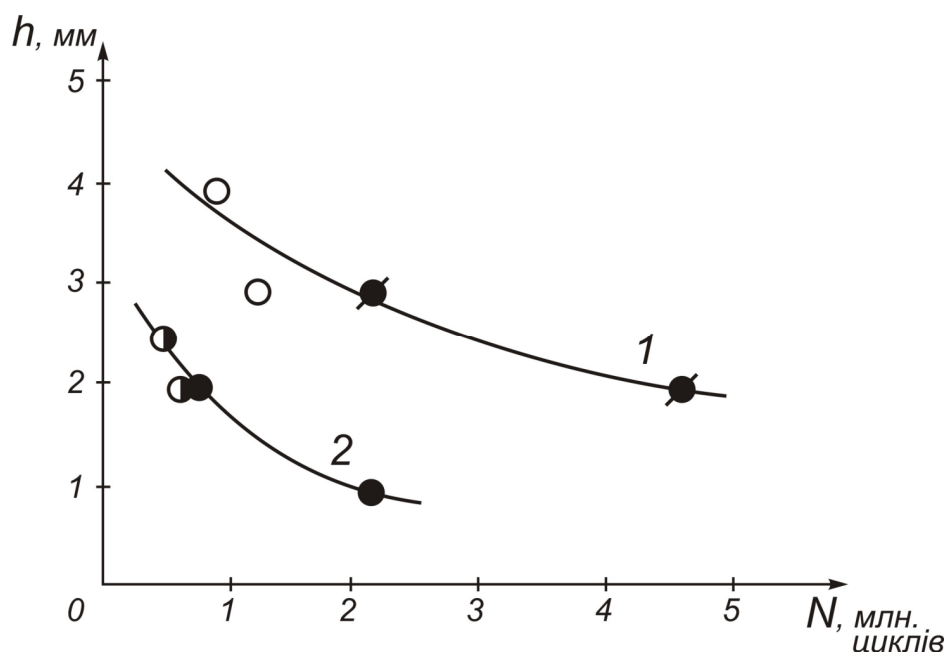


Рисунок 3 – Залежність числа циклів зварних з’єднань при циклічному навантаженні амплітудою $\Delta=1,2$ мм від величини залишкового зусилля шва h після обробки гратознімачем (○, ●) та на токарному верстаті (◐, ◑) для різних значень радіуса заокруглення r між гратом і стінкою труби

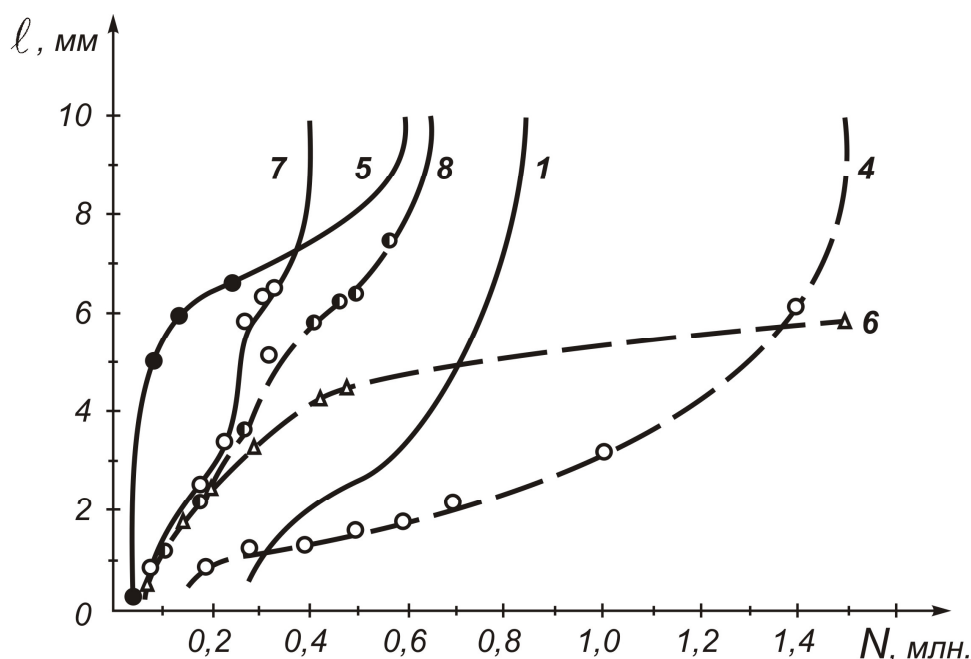


Рисунок 4 – Залежність довжини втомної тріщини від числа циклів навантаження зразків зі знятим гратом гратознімачем (1, 5, 7) та на токарному верстаті (4, 6, 8)

Величини швидкості росту тріщини втоми у зрізках із залишковим гратом зростають з моменту зародження тріщини до критичного стану з $5 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-4}$ мм/цикл. У ході випробувань встановлено, що тріщина, як правило, утворюється у зразках в момент часу, що відповідає 8-12% тривалості його роботи від початку випробувань до руйнування (рис. 4).

Висновок

Результати, проведених досліджень показали, що гратознімачі ударного типу дії позитивно впливають на механічні властивості зварних з’єднань завдяки характеру термомеханічного зміцнення, який полягає в пластичній деформації металу при зрізуванні грату. Використання гратознімачів підвищує довговічність зварних з’єднань технологічних трубопроводів.

Література

- 1 Москвичев Е.В. Оценка надежности сварных соединений трубопроводов, удерживающие дефекты в виде непроваров / Е.В. Москвичев А.М. Лепихин // Весник Сибирского государственного аэрокосмического университета. – 2007. – №1. – С.123-124.
- 2 Борецкий В.Г. Устройство для удаления внутреннего грата при контактной стыковой сварке обсадных труб над устьем скважин / В.Г. Борецкий Ю.В. Скульский // Бурение. ВНИИОЭНГ. – 1977. – № 9. – С.140-143.
- 3 Шелепин Е.И Головка для зачистки концов труб / Е.И. Шелепин, П.И. Огородников, Ю.С. Замора [и др.] // Авторские свидетельства. Ивано-Франковский институт нефти и газа. – 1972. – №28. – С.40.

Стаття надійшла до редакційної колегії
07.11.11

Рекомендована до друку професором
Грудзом В.Я.