

ГАЛЬМУВАННЯ РОСТУ ТРІЩИН В НАСОСНИХ ШТАНГАХ ПОЛІМЕРНИМИ КОМПОЗИЦІЙНИМИ СТРІЧКАМИ

Б.В.Копей, С.Ю.Онищук, О.О.Онищук, В.Б.Копей, І.І.Стеліга

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42166,
e-mail: kopeyb@nuing.edu.ua

Наводяться результати експериментального дослідження процесу гальмування росту тріщин в насосних штангах шляхом використання полімерних композиційних стрічок. Подається опис технології нанесення зміцнюючого покриття, яка використовувалась під час досліджень. Наведено ряд графічних залежностей – криві опору корозійній втомі, графіки залежності розміру тріщини від числа циклів навантаження, графіки залежності швидкості росту тріщини від залишкового ресурсу. Сформульовано висновки щодо впливу склотканинного покриття на опір металу штанг корозійній втомі

Ключові слова: ріст тріщини, склотканинна стрічка, корозія, втома, ресурс

Приводятся результаты экспериментального исследования процесса торможения роста трещин в насосных штангах путем применения полимерных композиционных лент. Описана технология нанесения упрочняющего покрытия, использовавшаяся при исследованиях. Представлен ряд графических зависимостей – кривые сопротивления коррозионной усталости, графики зависимости размера трещины от числа циклов нагрузки, графики зависимости скорости роста трещины от остаточного ресурса. Сформулированы выводы о влиянии стеклотканевого покрытия на сопротивление металла штанг коррозионной усталости.

Ключевые слова: рост трещины, стеклотканевая лента, коррозия, усталость, ресурс

In the article the results of experimental research of process of cracks growth braking in sucker rods by the use of polymeric composition ribbons are presented. Actuality of research theme is resulted, the existent methods of strengthening of sucker rods are examined, research tasks are formulated. Description of technology of overcoating strengthening, which was used for researches is given. The graphic dependences - curves of resistance is resulted to the corrosive fatigue, graphic of dependence of size of crack from the number of loading cycles, graphic crack growth speed from a remaining resource. Conclusions are formulated in relation to influence of fiberglass coverage on resistance of metal of sucker rods to the corrosive fatigue

Keywords: crack growth, fiberglass ribbon, corrosion, fatigue, resource

В процесі роботи штангової свердловинної насосної установки, насосні штанги постійно контактують з корозійно-агресивним продуктом, що в поєднанні із циклічними навантаженнями, зумовлює інтенсивне руйнування матеріалу штанг від корозійної втоми, а обрив колони насосних штанг супроводжується великими витратами коштів і часу на ловильні та спуско-підіймальні операції. Отже, підвищення ресурсу насосних штанг, що експлуатуються в умовах сумісної дії силових навантажень та корозійно-агресивних середовищ є актуальною науково-технічною проблемою.

Численними дослідженнями доведено, що процеси руйнування конструкцій за одночасної дії механічних навантажень і впливу корозійних робочих середовищ зумовлені рядом фізико-хімічних локалізованих процесів утворення та розвитку в матеріалі тріщиноподібних дефектів, причому ці процеси не обмежуються місцями підвищеної концентрації напружень (різьби, дефекти тіла штанги тощо), але часто виникають і на гладких циліндричних поверхнях тіла насосних штанг. Крім того, наявність високого вмісту парафіну у продукції свердловини призводить до утворення на поверхні насосно-компресорних труб та насосних штанг парафінових відкладень, що підвищує ризик

обриву колони насосних штанг у разі закупорювання каналу підйому продукції [1].

Отже, існує потреба в розробці ефективних методів, які дадуть змогу зменшити вплив корозійно-активного середовища на матеріал насосних штанг, а також запобігти або знизити інтенсивність утворення парафінових відкладень на поверхні тіла насосних штанг. На сьогодні такі методи описані в літературі недостатньо, особливо в плані врахування специфіки впливу захисного покриття на корозійну тріщиностійкість матеріалу насосних штанг. У зв'язку з цим визначення показників втомного корозійного руйнування матеріалу насосних штанг, зміцнених полімерними композиційними стрічками та розроблення раціональної методики зміцнення насосних штанг є актуальним науковим та прикладним завданням.

На сьогодні для захисту насосних штанг від корозії користуються такими методами:

- введення в закачувану воду інгібіторів корозії [2];
- застосування штанг із низьколегованих та легованих сталей [3];
- застосування склопластикових насосних штанг [4];
- захист поверхні штанг протикорозійними покриттями [3].

Застосування інгібіторів корозії потребує значних капітальних вкладень в обладнання, постійних експлуатаційних витрат на реагенти, обслуговування додаткового обладнання і постійний контроль за ефективністю захисту [3].

З огляду на дуже високу вартість процесу, застосування цього методу на промислах зменшується.

Застосування насосних штанг із легованих сталей. Термін експлуатації таких штанг значно більший за термін експлуатації стандартних штанг, а вища їх вартість у абсолютній більшості випадків компенсується підвищенням ресурсом, і за тривалих термінів експлуатації родовища дає позитивний економічний ефект. Недоліком методу є високі витрати на закупівлю штанг.

Склопластикові штанги цілком позбавлені проблеми корозійного руйнування. Крім того, вони мають низьку густину, малий коефіцієнт теплопровідності, не володіють магнітними властивостями, можуть працювати у широкому діапазоні робочих температур і тисків, і хоча їх властивості вказують на перспективність розробки та вдосконалення такого виду труб, високі вимоги до процесу зберігання та спуско-підіймальних операцій стають причиною їх обмеженого використання на промислах України [4].

Розглянемо детальніше методи захисту поверхні насосних штанг антикорозійними покриттями.

Сьогодні для насосних штанг застосовуються три види захисних покриттів [3]:

- дифузійне цинкове покриття;
- полімерне покриття;
- силікатно-емалеве покриття.

Дифузійне цинкове покриття. Для захисту насосних штанг від впливу корозійно- та ерозійно-агресивних середовищ добрі результати дає використання дифузійних цинкових покриттів. Такі покриття мають міцний дифузійний зв'язок з металом. Висока твердість дифузійних цинкових покриттів забезпечує високу опірність абразивному зношуванню. Крім того, особливості структури дифузійних покриттів сприятливо впливають на їх механічні, технологічні і захисні властивості [5]. Таким чином, застосування дифузійних цинкових покриттів істотно підвищує корозійну стійкість металу штанг за відносно невисокої вартості процесу обробки.

Однак застосування таких труб має два недоліки [6]:

- обмеження за довжиною. Наявне на сьогодні в Україні обладнання дає змогу зміцнювати штанги довжиною до 6,3 м, що менше за довжину стандартної штанги;
- застосування таких штанг неприпустиме в свердловинах з лужним середовищем.

Полімерне покриття. Штанги з полімерними покриттями вже тривалий час знаходять застосування в нафтогазовій промисловості [7]. Такі покриття мають високі експлуатаційні характеристики, їх можна наносити на поверхню тіла штанг різного сортаменту і призначення.

Нанесення полімерного покриття відбувається одним із двох типів матеріалів:

- термопластичні матеріали: полівінілхлорид, поліетилен, поліпропілен, фторопласт тощо;
- термореактивні матеріали: фенопласти, епоксидні, поліефірні матеріали.

Цей тип покриттів володіє низкою суттєвих переваг:

- висока корозійна стійкість;
- тривалий термін служби за певних умов експлуатації;
- достатньо висока герметичність різьбових з'єднань.

Водночас такі покриття мають і недоліки [6]:

- невисока ерозійна стійкість, що призводить до виходу з ладу внаслідок абразивної дії піску;
- вихід з ладу труби при механічному впливі;
- вузький температурний діапазон працездатності таких труб чи штанг.

Силікатно-емалеве покриття. Штанги із силікатно-емалевими покриттями володіють високими експлуатаційними параметрами, особливо під час видобування високов'язких нафт [3]. Завдяки певним фізико-хімічним процесам покриття силікатною емаллю характеризується високоміцною адгезією до поверхні металу. При цьому міцність зчеплення отриманого композитного матеріалу перевищує міцність самої емалі, а це зумовлює високі міцнісні і захисні властивості [8].

До переваг цього типу покриттів відносять:

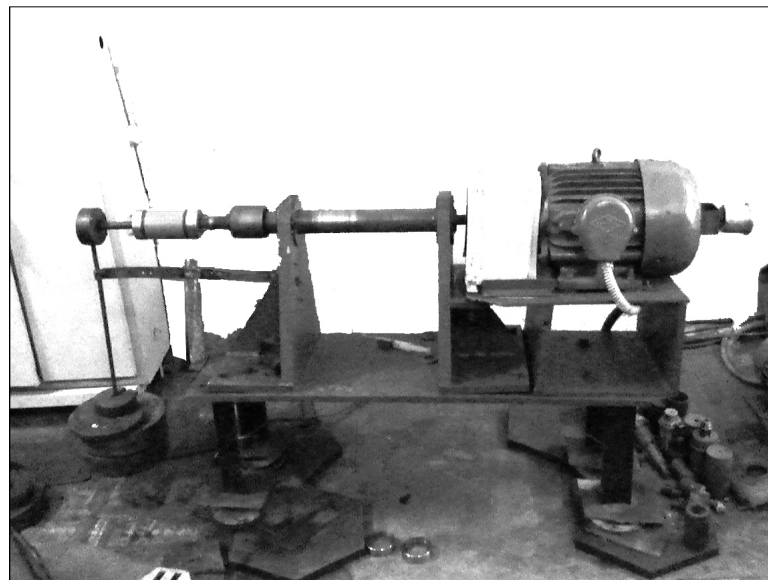
- широкий інтервал температур експлуатації (до 350°C);
- висока стійкість до абразивного зношування;
- високі міцнісні показники на згин, кручення і механічну дію;
- висока стійкість до корозійного зношування.

До недоліків можна віднести порівняно високу вартість труб із силікатно-емалевим покриттям.

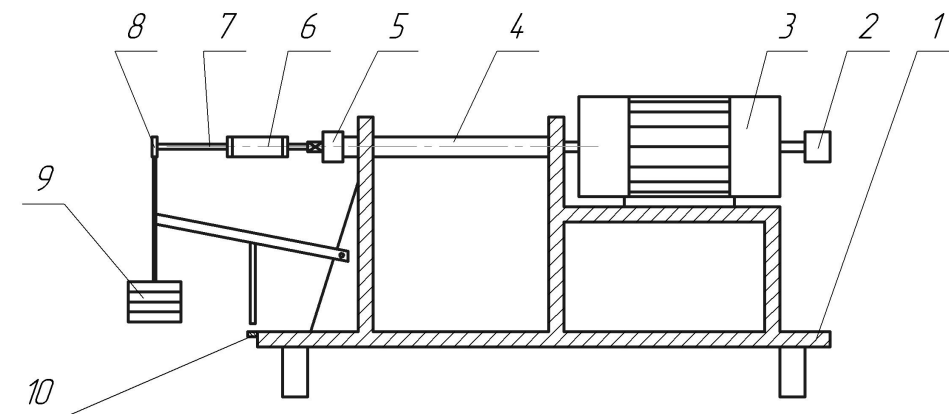
Провівши аналіз існуючих на сьогодні методів боротьби з корозією матеріалу насосних штанг на діючих промислах, можна зробити висновок про те, що затребуваними є методи, які не вимагають значних капітальних вкладень, є технологічно простими і, по можливості, такими, що підлягають відновленню в умовах промислу. Зважаючи на вказані чинники, проведено експериментальні дослідження з метою визначення впливу зміцнюючого склотканинного покриття насосних штанг на опір корозійній втомі.

Виходячи із мети – підвищення ресурсу колони насосних штанг, які працюють в умовах високої корозійної активності середовища і втомних навантажень, шляхом зміцнення тіла насосних штанг полімерною композиційною стрічкою, сформуємо завдання дослідження.

1. Визначити залежності швидкості росту тріщин в матеріалі насосних штанг від числа



а)



1 – станина; 2 – лічильник; 3 – електродвигун; 4 – вал; 5 – перехідник; 6 – камера для корозійного розчину; 7 – дослідний взірець штанги; 8 – підшипник; 9 – вантаж; 10 – клавіша вимкнення

б)

Рисунок 1 – Загальний вигляд (а) і схема (б) дослідної установки ЗКШ-25

відпрацьованих циклів за одночасної дії циклічного згинального навантаження і корозійних процесів в кислому середовищі.

2. Порівняти визначені залежності швидкості росту тріщин в насосних штангах, зміцнених полімерними композиційними стрічками, і не зміцнених штангах.

3. Проаналізувати вплив склотканинного покриття на довговічність роботи насосних штанг в умовах одночасної дії циклічних згинальних навантажень і корозійної активності середовища шляхом побудови кривих корозійної втоми для штанг зі зміцненням і без зміцнення.

4. Сформулювати висновок про вплив склотканинного покриття на опір корозійній втомі матеріалу насосних штанг.

Відповідно до сформульованих завдань дослідження авторами вивчався вплив склотканинного покриття на опір корозійній втомі матеріалу насосних штанг. Експеримент проводиться із використанням дослідної установки ЗКШ-25 (рисунок 1).

В експериментах використовувалися взірці, вирізані із насосних штанг діаметром 19 мм марки 15НЗМА, після експлуатації в свердловині Довбушанка-128 Надвірнянського НГВУ з 12.1986 р. по 10.1997 р. Причина зняття штанг з експлуатації – вихід терміну експлуатації, обрив колони у III секції насосних штанг по муфті. Параметри свердловини наведені в таблиці 1.

Експериментальні взірці являють собою відрізки насосних штанг зі сталі марки 15НЗМА, обрізані на відстані 42 см від торця штанги. Хімічний склад сталі 15НЗМА показаний в таблиці 2 [9].

Механічні властивості сталі 15НЗМА наведені в таблиці 3 і відповідають кімнатній температурі випробовувань 293К [9].

Експериментальні взірці 7 (рис. 1, б) кріпляться в установці за допомогою перехідника 5, який обертається разом з валом 4, сполученим з валом електродвигуна 3. Потрібне напруження в матеріалі тіла штанги створюється набором вантажів 9, які приєднано до підшипника 8, за-

Таблиця 1 – Параметри свердловини Довбушанка-128

Назва показника	Величина
Дебіт, т/добу	0,7
Дебіт газу, тис. м ³ /добу	0,7
Обводненість, %	7
Газовий фактор, м ³	1000
Пластовий тиск, МПа	16,0
Глибина штучного вибою, м	2901
Колона НКТ:	
I ст. Ø73 мм	3 шт. (21 м, група міцності N-80)
II ст. Ø73 мм	149 шт. (1429,4 м, група міцності К)
III ст. Ø73 мм	70 шт. (654,46 м, група міцності Д)
IV ст. Ø50,8 мм	1 шт. (8 м, група міцності Д)
Колона насосних штанг:	
I ст. Ø25 мм	65 шт. (519 м, сталь 15НЗМА)
II ст. Ø22 мм	70 шт. (560 м, сталь 15НЗМА)
III ст. Ø19 мм	31 шт. (239 м, сталь 15НЗМА)
IV ст. Ø16 мм	102 шт. (787 м, сталь 15НЗМА)

Таблиця 2 – Хімічний склад сталі 15НЗМА

Вміст елементів, % (за масою)					
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
0,15-0,20	0,55	0,35-0,65	≤0,30	3,20-3,80	0,20-0,30

Таблиця 3 – Механічні властивості сталі 15НЗМА

σ _T , МПа	σ _B , МПа	δ, %	ψ, %	KCV, Дж/см ²
737	834	10	45	9

кріпленого на кінці взірця штанги. Для моделювання корозійно-активного середовища свердловини на дослідному взірці закріплено камеру 6. Як корозійне середовище при дослідженні використано 3%-ний розчин NaCl. Для відображення відпрацьованого числа циклів навантаження на установці встановлено лічильник обертів 2. Для автоматичного вимкнення установки у разі поломки взірця, на станині 1 передбачено клавішу вимкнення 10.

В ході експерименту відслідковувались такі дані:

- число циклів до повного руйнування взірця при заданому навантаженні;
- число циклів до появи тріщини на поверхні взірця;
- розмір тріщини через кожних 50-100 тис. циклів.

Для вимірювання розміру тріщини у взірцях використано ультразвуковий дефектоскоп УД-2М.

Швидкість росту тріщини V (м/цикл) обчислювалась шляхом ділення величини приросту розміру тріщини (м) на кількість циклів, за яку цей приріст відбувся:

$$V = \frac{\Delta L}{N_i}, \quad (1)$$

де: ΔL – величина приросту розміру тріщини в м;

N_i – число циклів.

Навантаження на кінець штанги (9, рис. 1), необхідне для виникнення в матеріалі взірця напруження заданої величини σ , визначено за формулою [10]

$$P = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot \sigma}{9,6} - 20,5, \quad (2)$$

де: d – діаметр тіла насосної штанги, м;

σ – величина напруження в матеріалі взірця, МПа.

Кількість взірців для експерименту – 10 шт.

У ході проведенні експерименту половина взірців (5 шт.) попередньо зміцнюються склотканинною стрічкою за технологією, що передбачає проведення таких етапів [6]:

1 Візуальний огляд штанг на наявність механічних пошкоджень та ультразвукова дефектоскопія тіла штанг. Для досліджень вибрані лише взірці насосних штанг, на тілі яких відсутні механічні пошкодження.

2 Механічне зачищення тіла взірця штанги дротяними щітками.

3 Знежирювання поверхні тіла взірця тканиною, просоченою ацетоном.

Таблиця 4 – Властивості конструкції склотканинного покриття на основі наповнювача – склотканини Т-10-80, зв'язувача ЕДТ-10; адгезія до металу на основі клею К-153

№ з/п	Параметри	Значення параметрів
1	Густина зміцнюючого покриття, кг/м ³	1900
2	Границя міцності на розтяг, МПа	100
3	Границя міцності на стискання, МПа	240
4	Модуль пружності, МПа	46400
5	Питомий об'ємний електричний опір, Ом·м	1,3·10 ¹³
6	Ударна в'язкість, кДж/м ²	874
7	Водопоглинання, %	0,04
8	Твердість за Брінелем Н _В , МПа	487
9	Час затвердіння, год	24
10	Коефіцієнт лінійного розширення, 1/К	4,1·10 ⁻⁶ -8,1·10 ⁻⁶
11	Коефіцієнт Пуассона,	0,24
12	Перехідний електричний опір, Ом·м ²	10 ⁸
13	Міцність адгезії (МПа) склопластикового покриття до матеріалу штанги зі сталі:	
	а) за руйнуючим напруженням при рівномірному відриві за Т=20°С	10-10,9
	б) за руйнуючим напруженням при зсуві за Т=20°С	10,5-12,8
14	Температура адгезії, °С	18-20
15	Робоча температура експлуатації з'єднання на основі клею К-153, °С	-40÷+90
16	Електрична міцність адгезійного з'єднання, кВ/мм	24,9
17	Термін служби адгезійного з'єднання, років	25
18	Суцільність покриття, кВ/мм	не менше 5,0
19	Товщина покриття, м	0,01
20	Термін служби покриття, років	25
21	Міцність під час удару, Дж	не менше 10

4 Просушування оброблених поверхонь за температури 40-60°С.

5 Введення до зв'язувача розчинника (ацетон).

6 Суміщення наповнювача (склотканина) зі зв'язувачем шляхом нанесення компаунда на поверхню стрічки. Стрічка просочується рідким зв'язувачем безпосередньо перед намотуванням.

7 Намотування стрічки, що виконується в такій послідовності:

– початок зміцнювальної стрічки фіксується на тілі штанги;

– стрічка намотується на поверхню тіла штанги з нанесенням зв'язувача між витками, при цьому підтримується натяг стрічки за допомогою пристрою натягування. Намотування відбувається по спіралі в один шар;

– кінець зміцнюючої стрічки фіксується епоксидним зв'язувачем і відрізається.

Після натягування стрічки видимі локальні проміжки між склотканиною і поверхнею труби, а також між шарами стрічки заповнюються зв'язувачем.

Як зв'язуючий компаунд для зміцнюючої стрічки використовується епоксидний зв'язувач ЕДТ-10 ОСТ 92-0957.

Матеріал стрічки – конструкційна склотканина структури 10 на замаслювачі №80 Т-10-80 згідно з ГОСТ 19170-73.

Зміцнююче покриття на основі вказаних вище матеріалів забезпечує фізико-хімічні характеристики, наведені в таблиці 4.

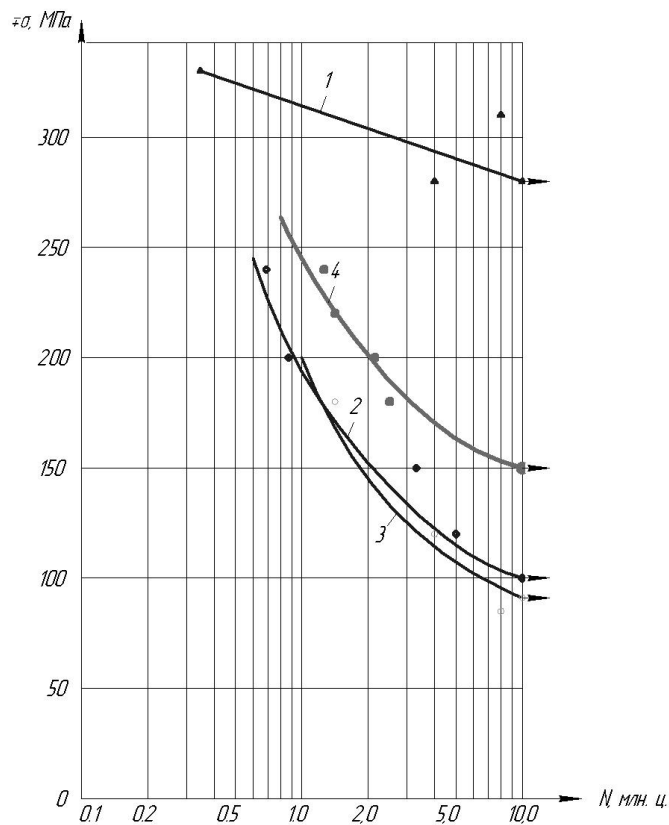
На основі даних про число циклів, яке пройшов дослідний взірець насосної штанги за заданого значення напруження, що виникає в матеріалі тіла насосної штанги, авторами побудовано криві опору корозійній втомі (рис. 2).

В роботі [12] наводяться криві втоми для штанг, виготовлених зі сталі 20Н2М, отримані в результаті експериментальних досліджень (рис. 2).

Бачимо, що крива опору корозійній втомі, побудована для взірців зі зміцненням (крива 4, рис. 2), знаходиться вище кривої для взірців без зміцнення (крива 2, рис. 2). Отже, зміцнення тіла насосної штанги склотканинною стрічкою, в корозійному середовищі (3%-ний розчин NaCl) підвищує опір втоми взірця на величину 80%.

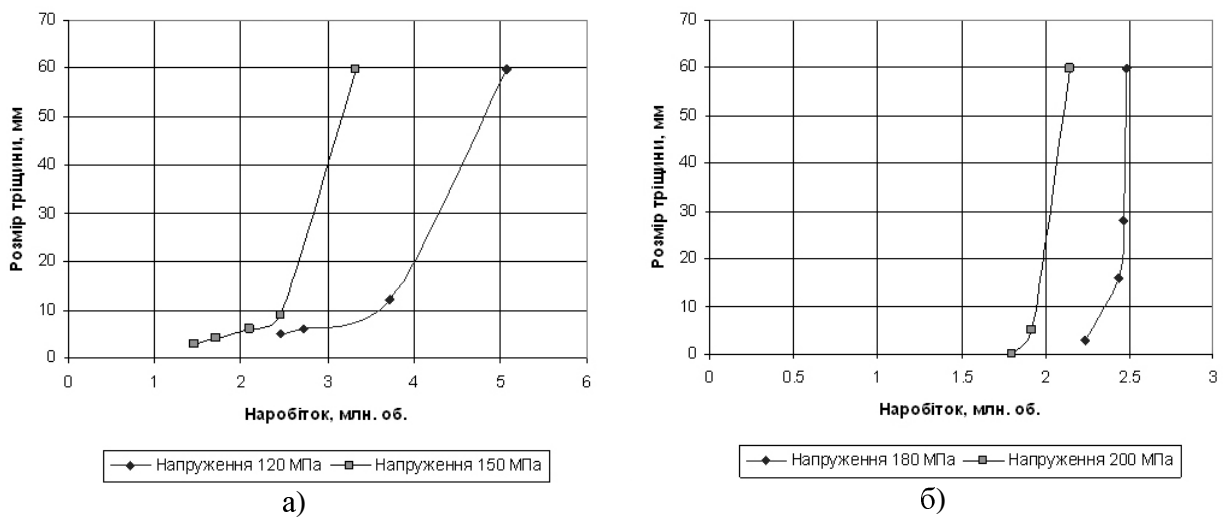
Отримано графічні залежності розміру тріщини від абсолютного наробітку (рис. 3, а,б) та відносного наробітку (рис. 4, а,б).

Величина відносного наробітку обчислюється як відношення числа циклів, яке пройшла штанга до розвитку тріщини певного розміру, до числа циклів, яке пройшов взірець до повного зламу:



1 – нові штанги зі сталі 20Н2М; 2 – дослідні штанги зі сталі 15Н3МА без зміцнення; 3 – штанги зі сталі 20Н2М після експлуатації в свердловинах [11]; 4 – дослідні штанги зі сталі 15Н3МА із зміцненням

Рисунок 2 – Криві опору корозійній втомі насосних штанг діаметром 19 мм



а) штанги без зміцнення; б) зміцнені штанги

Рисунок 3 – Графік залежності розміру тріщини (мм) від наробітку

$$N_B = \frac{N}{N_K}, \quad (3)$$

де: N – число циклів до розвитку тріщини певного розміру;

N_K – число циклів до зламу взірця (ресурс).

Як бачимо, графіки залежності розміру тріщини від числа циклів для взірців зі зміцненням є стрімкіші за графіки для взірців без зміцнення і беруть початок при більших значеннях абсциси графіків – величин наробітку (рис. 3) та відносного наробітку (рис. 4). Отже, наявність зміцнюючого покриття на поверхні тіла насосної штанги гальмує ранній розвиток

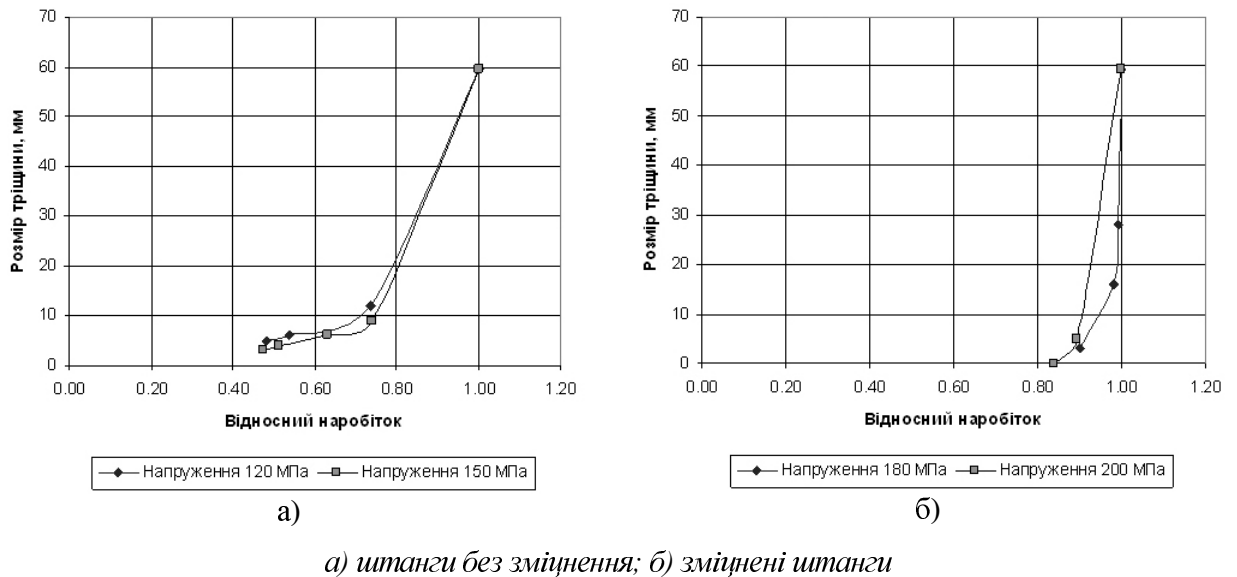
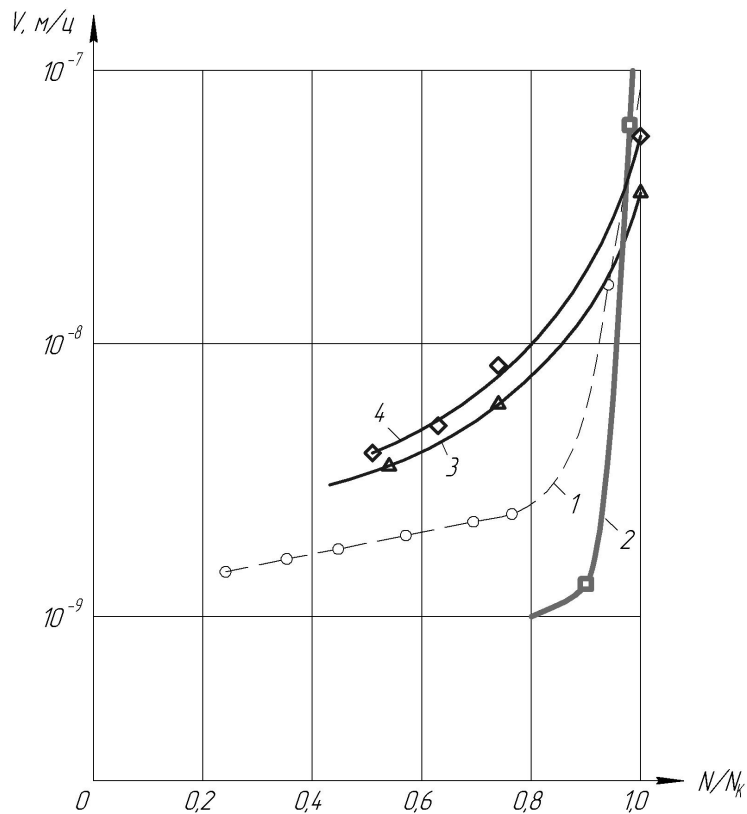


Рисунок 4 – Графік залежності розміру тріщини (мм) від відносного наробітку



1 – 3%-ний розчин NaCl, $\pm\sigma=100$ МПа [12]; 2 – 3%-ний розчин NaCl, $\pm\sigma=180$ МПа, штанга, зміцнена склотканинною стрічкою; 3 – 3%-ний розчин NaCl, $\pm\sigma=120$ МПа, штанга без зміцнення; 4 – 3%-ний розчин NaCl, $\pm\sigma=150$ МПа, штанга без зміцнення

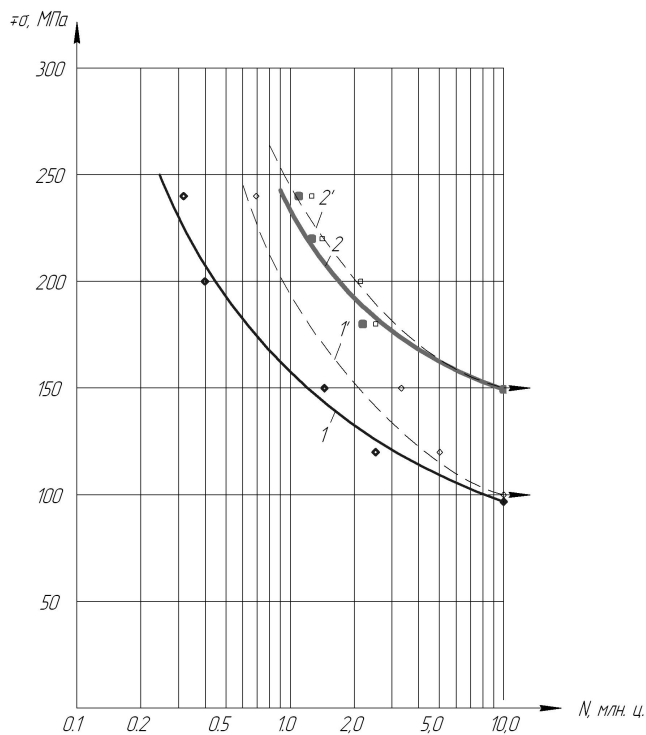
Рисунок 5 – Графік залежності швидкості росту тріщини від залишкового ресурсу

тріщини (який для зрізів без зміцнення починається від 0,45-0,55 шкали відносного наробітку) завдяки ізолюванню металу зрізця від дії корозійного середовища.

На основі даних про швидкість росту тріщини, визначену за формулою (1), побудовано графік залежності швидкості росту тріщини від залишкового ресурсу (рисунок 5).

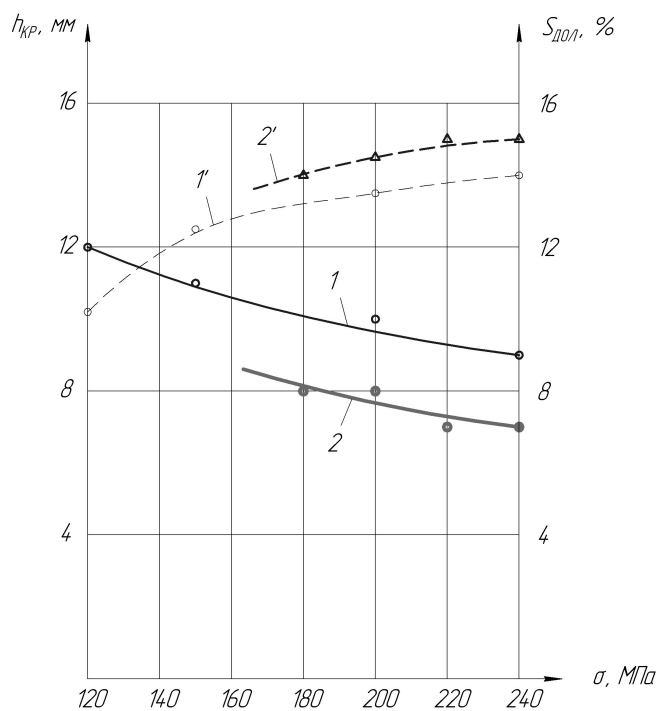
На рисунку 6 наведено графік залежності напруження в матеріалі зрізця штанги від наробітку до початку зародження тріщини.

Як бачимо, крива швидкості росту тріщини для зрізця зі зміцненням (крива 2, рис. 5), знаходиться правіше відносно кривих, побудованих для штанг без зміцнення (криві 3, 4, рис. 5). Отже, можна зробити висновок, що для зрізців



1 – насосні штанги без зміцнення, до зародження тріщини; 1' – насосні штанги без зміцнення, до поломки взірця; 2 – зміцнені насосні штанги, до зародження тріщини; 2' – зміцнені насосні штанги, до поломки взірця

Рисунок 6 – Графік залежності напруження в матеріалі взірців від наробітку до початку зародження тріщини та до поломки взірця



1,2 – графіки залежності критичної глибини тріщини $h_{кр}$ від напруження для зміцнених штанг і без зміцнення відповідно; 1', 2' – графіки залежності площі доламу $S_{дол}$ від напруження для зміцнених штанг і без зміцнення відповідн.

Рисунок 7 – Залежність критичної глибини корозійно-втомної тріщини і площі доламу від величини змінного напруження в місці руйнування насосної штанги

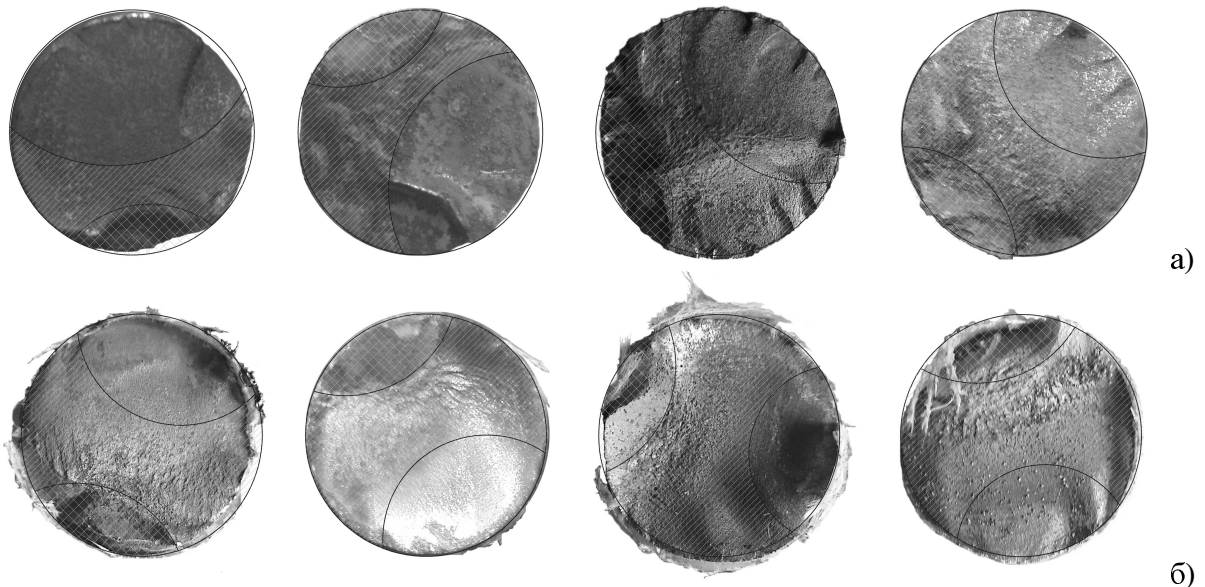


Рисунок 8 – Злами взірців без зміцнення (а) та зі зміцненням (б)

із зміцненням тріщина починає розвиватися значно пізніше (0,8 ресурсу для зміцнених взірців), в той час як для взірців без зміцнення це складає близько 0,5 ресурсу, її розвиток характеризується високою швидкістю. Це означає, що більшу частину ресурсу (близько 0,8) захисне покриття надійно ізолює метал штанги від дії середовища.

На основі аналізу зламів взірців (рис. 7, 8 а, б), можна зробити висновок про те, що зі зростанням напруження критична глибина тріщини зменшується, а площа доламу зростає.

В результаті експериментальних досліджень взірців насосних штанг, зміцнених полімерною композиційною стрічкою, нами отримано ряд графічних залежностей – криві опору корозійній втомі, графіки залежності розміру тріщини від числа циклів, графіки залежності швидкості росту тріщини від залишкового ресурсу.

Аналіз отриманих залежностей дає можливість стверджувати, що зміцнення насосних штанг полімерною композиційною стрічкою підвищує опір корозійній втомі взірця під час експлуатації в корозійному середовищі (3%-ний розчин NaCl) на 80%.

Наявність зміцнюючого покриття на поверхні тіла насосної штанги гальмує розвиток тріщини завдяки ізолюванню металу взірця від дії корозійного середовища. Розвиток тріщини для взірців із зміцнюючим покриттям починається в момент, який складає 0,8 її повного ресурсу, тоді як для взірців без зміцнення тріщина починає розвиватися вже при 0,5 ресурсу.

Література

1 Онищук С.Ю. Эффективные методы підвищення надійності насосних штанг / С.Ю. Онищук // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2009. – №2(24). – С. 22-27.

2 Шкандратов В.И. Антикоррозионная защита / В.И. Шкандратов, С. Ким // Нефтегазовая Вертикаль. – 2006. – № 9-10. – С. 18-22.

3 Проскуркин Е. Защитные покрытия. Качество и долговечность труб / Е. Проскуркин // Национальная металлургия. – 2003. – №5. – С. 86-97.

4 Копей Б.В. Насосні штанги та труби з полімерних композитів: проектування, розрахунок та випробування / Б.В. Копей, О.В. Максимук, Н.М. Щербина, В.В. Розгонюк, В.Б. Копей – Львів: ШПІМ ім. Я.С. Підстригача НАН України. – 2003.

5 Проскуркин Е.В. Цинкование / Е.В. Проскуркин, В.А. Попович, А.Т. Мороз – М.: Металлургия, 1988. – 528 с.

6 Копей Б.В. Сучасні методи боротьби з корозією глибинного обладнання штангових насосних установок / Б.В. Копей, О.О. Онищук, С.Ю. Онищук, В.Б. Копей // Нафтогазова енергетика. – 2008. – 2(7). – С. 13-16.

7 Протасов В.Н. Полимерные покрытия нефтепромыслового оборудования. Справ. пособие. / В.Г. Любимов. – М.: Недра, 1994. – 224 с.

8 Смирнов Л. Эмаль и сталь / Л. Смирнов // Металлы Евразии. – 2002. – №5. – С. 38-39.

9 Стойкость буровых долот / под. ред. К.Б. Кацова. – К.: Наукова думка, 1979. – 244 с.

10 Писаренко Г.С. Опір матеріалів / Г.С. Писаренко – К.: Вища школа. – 1993. – 671 с.

11 Копей Б.В. Опыт упрочнения новых и восстановления ресурса бывших в эксплуатации насосных штанг / Б.В. Копей, Я.Т. Федорович, Ю.С. Сычев, Г.А. Лесовой // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 1991. – №28. – С. 104-110.

12 Копей Б.В. Научно-технологические методы комплексного повышения ресурса деталей свердловинного нефтегазового оборудования. Дис. на здоб. наук. ступеня д.т.н. – Івано-Франківськ, 1996. – 486 с.

Стаття постуила в редакційну колегію
15.09.09

Рекомендована до друку професором
Ю. Д. Петриною