

# Дослідження та методи аналізу

---

---

УДК 693.193.01

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ СТРУКТУРНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ МАТЕРІАЛУ БУРИЛЬНИХ ТРУБ НА ЇХ ВТОМНУ ДОВГОВІЧНІСТЬ

*І.М. Гойсан*

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42353,  
e-mail: goissan@ukr.net*

*Проведено експериментальні дослідження впливу високотемпературної перекристалізації на подовження ресурсу бурильних труб на їх завершальному етапі експлуатації. На основі аналізу експериментальних даних зроблено висновок про позитивний вплив проведених структурних змін досліджуваних зразків на їх втомну довговічність. Згідно отриманих результатів досліджень встановлено більш пізній період зародження втомних тріщин та однорідний процес їх поширення у структурно-змінених експериментальних зразках порівняно із звичайними.*

Ключові слова: довговічність, перекристалізація, втомна тріщина.

*Проведены экспериментальные исследования влияния высокотемпературной перекристаллизации на повышение ресурса бурильных труб, которые пребывают на завершающем этапе эксплуатации. На основе анализа экспериментальных данных сделан вывод о позитивном влиянии проведенных структурных изменений исследуемых образцов на усталостную долговечность. Согласно полученных результатов исследований установлен более поздний период зарождения усталостных трещин и однородный процесс их распространения в структурно измененных экспериментальных образцах, в сравнении с обычными.*

Ключевые слова: долговечность, перекристаллизация, усталостная трещина.

*Experimental researches are conducted concerning influence of high temperature recrystallization on lengthening of borings pipes resource exactly on their finishing stage of servicing. On the basis of analysis of experimental data a conclusion is done about positive influence of the conducted structural changes of the probed standards on fatigue durability. In obedience to the got results of researches more late period of origin of fatigue cracks and homogeneous process of their distribution is set in the structurally changed experimental standards, by comparison to ordinary.*

Keywords: durability, recrystallization, fatigue crack.

Досвід експлуатації бурильних колон за-свідчив, що в переважній більшості бурильних труб, які працюють у свердловині, наявні тріщини, глибина яких складає в середньому 2-2,5 мм [1]. В результаті раніше проведених втомних випробувань елементів бурильних колон встановлено, що значна частка їх ресурсу відповідає періоду розвитку тріщин [1].

Згідно норм контролю [2] бурильні труби, які містять у тілі дефекти глибиною 3-5 мм, підлягають відбракуванню. В окремих випадках в бурильній колоні змінюють усі труби з виявленими тріщинами. Під час проведення дефектоскопії, відбракованих але не зламаних труб часто виявляють тріщини глибиною 6-7 мм [3]. Аналізуючи злами таких бурильних труб, спостерігали, що значна частина їх площі

поперечного перерізу зайнята зоною втомного руйнування.

Дані спостереження свідчать про неефективність та недосконалість методики відбракування такого роду обладнання, оскільки існує значна ймовірність вилучення з процесу буріння труб із втомними тріщинами, які за певних навантажень не впливають на надійність експлуатації бурильної колони. В той час такі бурильні труби з втомною тріщиною можна експлуатувати ще тривалий час. В зазначеній ситуації відсутня економічна доцільність відбракування і заміни бурильних труб, хоча їх експлуатаційний ресурс уже вичерпано. Цей факт пояснюється тим, що працюють труби в різних умовах та режимах експлуатації, тож особливості напружено-деформованого стану та інтен-

сивність накопичення пошкоджень в їх матеріалі ряді можуть значно відрізнятись.

Тому все більш актуальним постає питання обґрунтування можливості подовження терміну безпечної експлуатації бурильних труб з метою відбракування їх в економічно доцільний період ще до поломки.

На сьогодні подовження ресурсу деталей машин досягають з допомогою сучасних методів обробки, таких як вібраційна, магнітна, вибухова та інші [4]. Всі ці методи спрямовані на поверхневе зміцнення різного роду конструкцій, залишаючи поза увагою можливість впливати на їх довговічність на структурному рівні.

Недостатня увага приділяється дослідженням, спрямованим на оцінку структурних змін матеріалу елементів бурильних колон. Такого роду перетворення структурного стану матеріалу бурильних колон часто пов'язана із зміною у ньому залишкових напружень і накопиченням втомних макротріщин. Відомо, що однією з причин зниження втомної міцності бурильних труб є залишкові напруження розтягу, які під дією циклічних навантажень збільшують свою величину [5].

З використанням відомих процесів термічної обробки, які не потребують значних матеріальних затрат, можна безпосередньо впливати на структурний стан матеріалу даного обладнання, а, отже, і на надійність та подальше безпечне його використання. Одним із ефективних процесів теплової обробки сталей є нормалізація, яка викликає повну фазову перекристалізацію.

Метою даного дослідження є оцінка впливу високотемпературної перекристалізації на втомну довговічність матеріалу бурильних труб, що перебувають на завершальному етапі експлуатації.

В основі процесів термічної обробки більшості промислово важливих сталей лежить явище поліморфізму твердих розчинів, на базі  $\alpha$  і  $\gamma$ -заліза, які визначають їх структуру [6].

Поліморфні перетворення твердих розчинів сталі даного складу відбуваються в певному інтервалі температур, обмеженому критичними точками. Першим наслідком поліморфізму твердих розчинів сталі є перекристалізація, яка представляє собою явище зміни кристалічної будови сталі і проходить при нагріві до визначеної температури, що знаходиться в інтервалі між критичними точками. Перекристалізація полягає в утворенні нових зерен.

Утворення цих нових зерен проходить дифузійним шляхом виникнення і подальшого росту зародків нової фази – так званих центрів кристалізації.

Кількість центрів кристалізації і швидкість їх росту залежать від багатьох чинників, основними з яких є:

- температура нагрівання сталі відносно температури поліморфного перетворення, тобто критичних точок;
- наявність нерозчинних домішок, які полегшують утворення центрів кристалізації;
- пластична деформація, яка викликає плинність у процесі перекристалізації;

– рекристалізація, яка супроводжується в ряді випадків пластичною деформацією.

Практично здійснення перекристалізації пов'язане з нагріванням сталі даного складу до температур, які лежать між відповідними критичними точками; при цьому відбувається утворення зерен нової фази – аустеніту.

До операцій термічної обробки, завдяки якій здійснюється перекристалізація, відноситься згаданий вище процес нормалізації.

Основним призначенням нормалізації є утворення однорідної структури сталі, яка забезпечує більш високий рівень механічних властивостей. Шляхом високотемпературної перекристалізації вдається виправити такий суттєвий дефект сталі, як грубозерниста структура, отримана в результаті перегріву (при нагріванні до температур порядку 1000-1200°C) [7]. Цей дефект пов'язаний із різким збільшенням розміру зерен і погіршенням в'язкості.

Численні попередні дослідження на маловуглецевих сталях в умовах кругового згину показали, що границя їх витривалості зменшується із збільшенням розміру аустенітного зерна [8].

Аналіз експериментальних даних наукових робіт щодо впливу розміру зерна на зародження втомних тріщин встановив, що зменшення величини структурного зерна призводить до більш пізнього зародження втомних тріщин [8].

Тож так званою «аустенізацією» сталі, змінюючи розмір структурного зерна, можна впливати на період зародження та процес подальшого розвитку втомних макротріщин.

Вплив високотемпературної перекристалізації на втомну довговічність матеріалу бурильних труб оцінювали за результатами випробувань, пов'язаних з процесом утворення та розвитку втомних тріщин за жорсткої схеми навантажування консольним згином. Об'єктом дослідження слугували зразки, що були вирізані з бурильних труб типорозміру ТБВ 140 групи міцності «Л», які відпрацювали 30-45% свого ресурсу. Згідно з хімічним аналізом бурильні труби виготовлені із сталі 36Г2С. Ескіз таких досліджувальних зразків зображено на рис. 1.

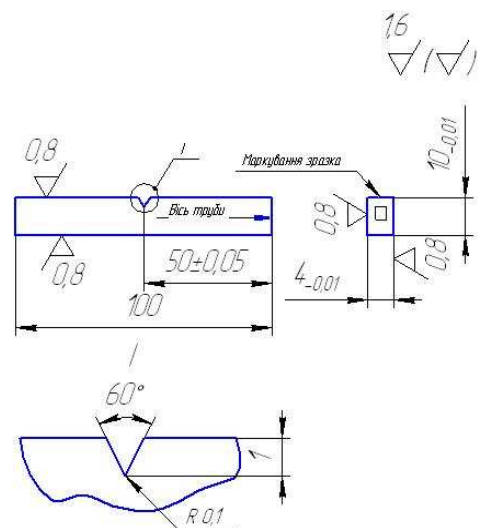
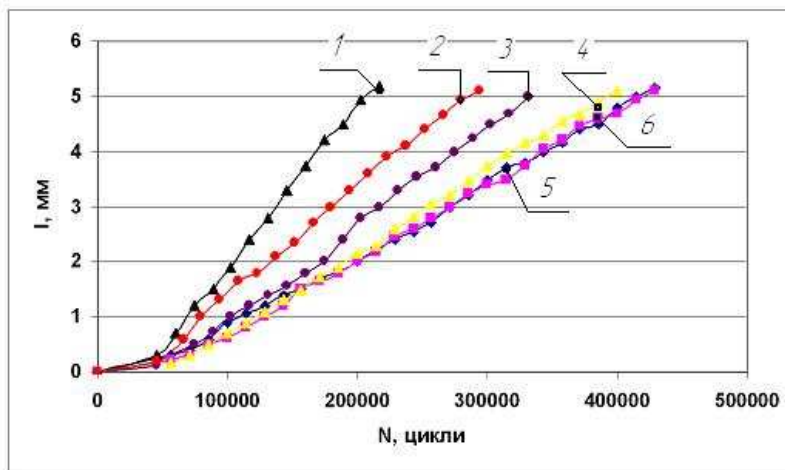


Рисунок 1 – Ескіз випробувальних зразків



1, 2, 3 - звичайні зразки; 4, 5, 6 – структурно-змінені зразки

Рисунок 2 – Ріст втомних тріщин експериментальних зразків

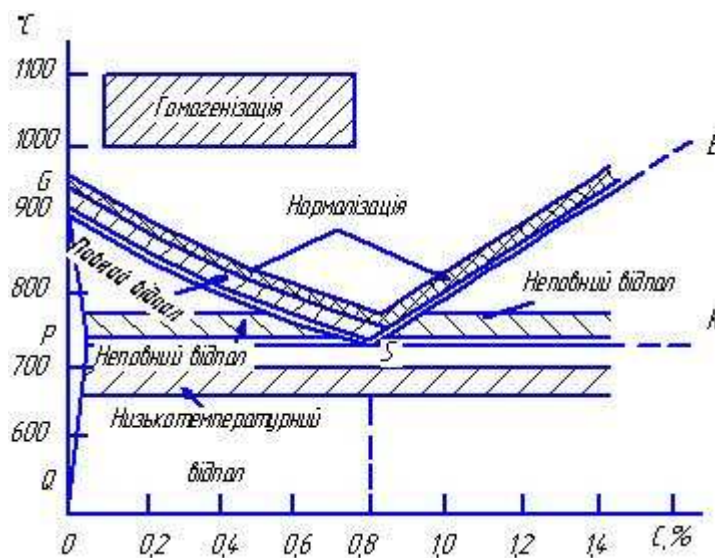


Рисунок 3 – Діаграма стану Fe-C

Випробування проводились на установці УДПТ-1 з кривошипним механізмом за постійної амплітуди деформації. За підростанням втомної тріщини при вершині нанесеного концентратора напружень спостерігали у мікроскоп МПБ-2.

Згідно отриманих результатів досліджень побудовано графічні залежності росту втомних тріщин від кількості циклів напруження (рис. 2, криві 1, 2, 3).

Частина виготовлених зразків піддали нормалізації з нагріванням до температури 850°C, оскільки даний процес для матеріалу труб марки 36Г2С проходить в межах 830-890°C [9] (рис. 3).

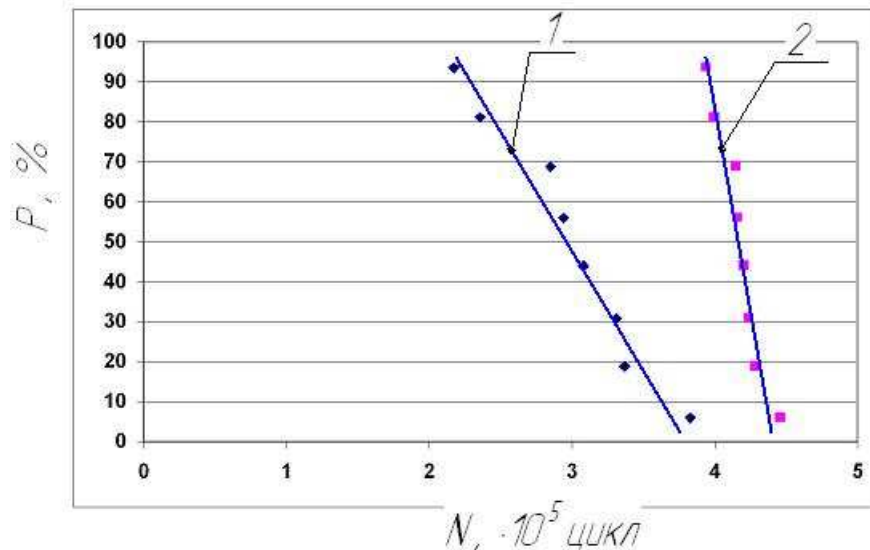
Структурно-змінені зразки дослідили на ріст втомних тріщин під час циклічного деформування. Результат таких досліджень подано у вигляді графічних залежностей, зображених на рис. 2 (криві 4, 5, 6). Аналіз експериментальних даних показав більш пізній період зародження втомних тріщин структурно-змінених зразків. Згідно із загальною графічною картиною (рис. 2) процес поширення втомних тріщин у перекри-

сталізованих зразках більш однорідний, що свідчить про можливість більш точного розрахунку ресурсу бурильних труб та вилучення їх з процесу буріння ще до поломки. Цей факт вказує на перспективність подальшого дослідження впливу внесених структурних змін матеріалу труб.

Оцінка розсіювання довговічностей експериментальних зразків подано у вигляді залежності ймовірності неруйнування від кількості циклів навантажування (рис. 4). Згідно з результатами випробувань, за ймовірності неруйнування 95% різниця між довговічностями перекристалізованого та звичайного зразків становить  $1,7116 \cdot 10^5$  циклів, а за ймовірності 5% –  $0,6258 \cdot 10^5$  циклів. Це свідчить про достатню ефективність використання такого процесу на подовження встановленого ресурсу труб.

Результати експерименту зведено до таблиці 1.

Детальне вивчення впливу структурних перетворень матеріалу бурильних труб послужить резервом підвищення втомної міцності та більш точного прогнозування втомної довго-



1 – звичайні зразки; 2 – перекристалізовані зразки

Рисунок 4 – Криві розподілу довговічностей досліджуваних зразків із сталі 36Г2С

Таблиця 1 – Розсіювання довговічностей експериментальних зразків

Імовірність руйнування P, %	Довговічність N, 10 <sup>5</sup> цикл	
	звичайні зразки	перекристалізовані зразки
99	2,1154	3,8437
95	2,1585	3,8701
75	2,5241	4,0022
50	2,9937	4,1674
40	3,1815	4,2334
30	3,3693	4,2995
20	3,5571	4,3655
5	3,8388	4,4646

вічності такого роду обладнання. Проведення процесу високотемпературної перекристалізації позитивно впливає на втому довговічність елементів бурильних колон за рахунок усунення накопичених пошкоджень та зняття залишкових напружень, тим самим дозволяє подовжити термін їх експлуатації.

Подальші дослідження будуть спрямовані на більш детальне вивчення впливу процесу високотемпературної перекристалізації на швидкість підростання втомних тріщин та характер руйнування матеріалу бурильних труб.

### Література

1 Механіка руйнування і міцність матеріалів: довідн. посібник; під заг. ред. В.В. Панасюка. – К.: Наук. думка, 1988. – Т.10: Міцність та довговічність нафтогазового обладнання; під ред. В.І. Похмурського, Є.І. Крижанівського. – Львів–Івано-Франківськ: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 2006. – 1193 с.

2 Инструкция по эксплуатации бурильных труб: РД-39-013-90. – Куйбышев, 1990. – 228 с.

3 Ляпков А.А. Исследование долговечности бурильной трубы с усталостными трещинами при различных запасах прочности / А.А. Ляпков // Разведка и охрана недр. – 1982. – № 5. – С. 5-7.

4 Трошенко В. Некоторые подходы к прогнозированию остаточного ресурса деталей машин и сооружений / В.Трошенко // Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій. – 2004. – С. 411-412.

5 Сичов А.Ю. Залишкові напруження в сталевих бурильних трубах / А.Ю.Сичов // Нафта і газ України. Збірник наукових праць: Матеріали 6-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Нафта і газ України-2000», Т.2 – Івано-Франківськ: Факел, 2000. – С. 311-313.

6 Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин. – М.: Металлургия, 1983. – 360 с.

7 Никифоров В.М. Технология металлов / В.М. Никифоров. – Л.: Mashgiz, 1953. – 390 с.

8 Иванова В.С. Природа усталости металлов / В.С. Иванова, В.Ф. Терентьев. – М.: Металлургия, 1975. – 456 с.

9 Колесник Б.П. Механические свойства углеродистой и низколегированной трубной стали после нормализации с применением скоростного нагрева // Производство труб: сборник статей УкрНИТИ. – Металлургиздат, 1963. – № 9.

Стаття надійшла до редакційної колегії

26.05.11

Рекомендована до друку професором  
Івасівим В.М.