

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу
Полтавський національний технічний університет імені
Юрія Кондратюка**

Б. В. Копей, А. В. Сизоненко

АТЛАС
зламів елементів бурильної
КОЛОНИ
МОНОГРАФІЯ

*Рекомендовано Вченою радою ІФНТУНГ
протокол №13/534 від 25 грудня 2013 р.*

**Івано-Франківськ
2014**

УДК 622.24.053

ББК 33.131 - 56

К 65

Рецензенти:

Лисканич М. В. - професор кафедри теоретичної механіки ІФНТУНГ,
доктор технічних наук, професор

Куцяк Я. В. - директор ПРАТ «Науково-дослідне і конструкторське бюро
бурового інструменту», кандидат технічних наук, доцент

Соболевський Я. Ю. – провідний інженер відділу буріння НДПІ ПАТ
«Укрнафта», кандидат технічних наук

К65

Копей Б.В., Сизоненко А.В. **Атлас зламів елементів бурильної колони.**
Монографія. Серія «Нафтогазове обладнання», том 4 - Івано-Франківськ,
ІФНТУНГ, 2014 - 57 с.

У даному атласі викладено ілюстрації експлуатаційних поломок та
злами, отримані під час експериментальних досліджень втомного та
корозійно-втомного руйнування натурних замкових різьбових з'єднань та
бурильних труб.

Атлас призначений для наукових та інженерно-технічних працівників
нафтогазової промисловості, а також для інженерів зі складних робіт бурових
підприємств. Може бути корисним для студентів, аспірантів та докторантів
університетів нафтогазового профілю.

ISBN 978-966-694-195-7

УДК 622.24.053

ББК 33.131 - 56

ISBN 978-966-694-195-7

© Копей Б.В., Сизоненко А.В., 2014

© ІФНТУНГ, ПНТУ ім. Ю. Кондратюка, 2014

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВО – виробниче об'єднання
ИМА-50, ИМА-30 (ИМА) – випробувальні машини інституту машинознавства та автоматики (тепер ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАНУ) для зразків діаметром 50 і 30 мм

СИТУ (СВТВ) – стенд для випробувань бурильних труб на втому

УФМИ-200 (УФМІ) – безінерційна установка ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАНУ для випробування зразків діаметром до 200 мм на втому за схемою чистого згину

УКИ-7 (УКВ-7) – установка для випробувань зразків на втому при консольному згині

УБР – управління бурових робіт

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ З ПРОБЛЕМИ ВІДМОВ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ.....	6
1.1 Дефекти бурильних труб та їх класифікація.....	6
1.2 Робота бурильної колони.....	7
1.3 Типи розповсюджених аварій бурильних труб.....	8
1.4 Закономірності росту тріщин у бурильних трубах та замкових різьбах.....	10
2 ОСНОВНІ ВИДИ ЗЛАМІВ БУРИЛЬНИХ ТРУБ.....	17
2.1 Корозійно-втомне руйнування, мікрофрактограми.....	17
2.2 Злами в різьбовій частині.....	20
2.3 Злами та пошкодження муфтової частини замка та тіла . бурильних труб.....	39
3 ВІДБРАКУВАННЯ ТРУБ.....	51
Використана література.....	54

ВСТУП

За останні роки значно зростають обсяги глибокого буріння нафтових і газових свердловин, нафтова та газова промисловість витрачає велику кількість бурильних і обсадних труб, але поточний технічний стан парку бурильних труб залишає бажати кращого, рідко поповнюється новими комплектами.

Однією із ключових проблем при спорудженні свердловин є забезпечення надійності і довговічності бурильної колони. Покращення цих показників впливає на зниження кількості аварій, пов'язаних з відмовами бурильної колони, та підвищує техніко-економічні показники буріння.

Дослідження великої кількості аварій, пов'язаної з трубами за останні роки, в більшості випадків привели до висновку, що руйнування труб зазвичай носить втомний та корозійно-втомний характер. Розвитку цих явищ сприяють змінні напруження, які є вищі, ніж межа витривалості, агресивний буровий розчин та різні дефекти. За таких умов превалюють корозійно-втомні руйнування її елементів. Проблема боротьби з корозійно-втомним руйнуванням бурильних труб стає особливо актуальною внаслідок багаторазової заміни зношених замків на трубі. Внаслідок цього труба з послабленим з'єднанням при роботі в свердловині напручує велику кількість циклів навантажень, що сприяє зародженню і росту тріщин у тілі труби або в місцях концентрації напружень (різьба, галтелі, проточки, тощо). У той самий час окремі тріщини не досягають критичного розміру з точки зору раптового руйнування і труба може працювати з таким дефектом тривалий час. Тому виникає необхідність достовірної оцінки стану труб, як нових, так і з експлуатаційними дефектами типу втомних тріщин до критичного стану з врахуванням можливої дисперсії втомних характеристик матеріалу труб. Дефектоскопія труб методами неруйнівного контролю дозволить визначити фактичні розміри тріщин, а вивчення закономірностей їх росту в трубах дасть можливість обґрунтувати періодичність контролю та прогнозувати залишковий ресурс роботи труб за швидкістю росту тріщин в докритичному періоді.

У даній роботі зібрані ілюстрації експлуатаційних поломок та злами, отримані під час експериментальних досліджень втомного та корозійно-втомного руйнування натурних замкових різьбових з'єднань та бурильних труб.

Атлас призначений для наукових та інженерно-технічних працівників нафтогазової промисловості, а також для інженерів зі складних робіт бурових підприємств. Може бути корисним для студентів, аспірантів та докторантів університетів нафтогазового профілю.

1 ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ З ПРОБЛЕМИ ВІДМОВ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ

1.1 Дефекти бурильних труб та їх класифікація

Дефектом називається будь-яка невідповідність вимогам нормативної документації (наприклад, ДСТУ), установлена виробником. Дефекти поділяються на допустимі і недопустимі. *Допустимі* в свою чергу поділяються на фіксовані (реєстровані) та нефіксовані.

Залежно від ймовірного впливу на працездатність деталі, дефекти поділяються на: *критичні; значні; малопомітні.*

Дефекти також поділяються на:

- явні – це такі дефекти, для виявлення яких у нормативній документації обов'язково передбачені відповідні правила, методи і засоби для роботи даного виду контролю;
- критичні – називають дефекти, за наявності яких використання продукції за призначенням неможливо, або виключається через невідповідність вимогам правил безпеки або надійності;
- брак – це продукція, котра не допускається до споживача через наявність дефектів;
- малозначні – дефекти, які не впливають на використання продукції за призначенням, або на її довговічність.

Приклад явних дефектів бурильних труб

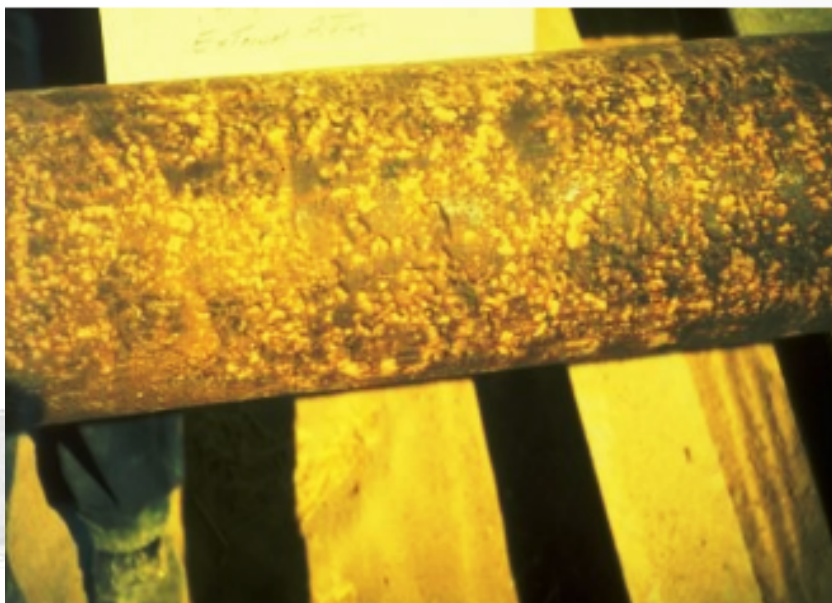


Рисунок 1.1 – Корозія матеріалу



Рисунок 1.2 – Точкова корозія матеріалу



Рисунок 1.3 – Зона посадки клинів ротора на тіло труби

1.2 Робота бурильної колони

В Україні значно зростають потреби в бурінні нафтових і газових свердловин, особливо активно нафтова та газова промисловість розвивається на акваторіях Чорного і Азовського морів, проте поточний технічний стан бурильних труб та їх з'єднань недостатньо задовільний.

При бурінні нафтових і газових свердловин гірська порода руйнується долотом, яке з'єднане з наземним обладнанням бурильною колоною. Бурильна колона в процесі проходки свердловини виконує ряд важливих функцій:

- забезпечує подачу промивної рідини до вибою свердловини;
- здійснює осьове навантаження на долото;
- сприймає реактивний момент вибійного двигуна;
- передає крутний момент долоту шляхом обертання всієї колони.

У процесі роботи бурильна колона підлягає впливу різноманітних за характером та величиною зусиль, до яких відносять статичні та динамічні. В залежності від способу буріння свердловини (роторний чи турбінний) характер зусиль, які діють на бурильні труби, змінюється [1].

Однією з ключових проблем при спорудженні свердловин є забезпечення надійності і довговічності бурильної колони. Покращення цих показників впливає на зниження кількості аварій, пов'язаних з відмовами бурильної колони, та підвищує техніко-економічні показники буріння. Тому на даний час велику увагу приділяють розрахунку довговічності та періодичному неруйнівному контролю (дефектоскопії) бурильних труб.

Більшість дослідників вказують, що відмови труб та їх елементів від дії статичних навантажень відбуваються досить рідко. Основною ж причиною, що призводить до руйнування різьбових з'єднань і труб, є циклічні навантаження. Однак спектр циклічних навантажень на трубні колони надзвичайно різноманітний, а точний облік їх практично неможливий. Тому розрахунок колон на витривалість, за аналогією з підходом, що використовується в машинобудуванні, проводять не за всім комплексом навантажень, а тільки за найбільш тривало діючим навантаженням, повторюваність якого за час роботи виробу складає не менше 10^4 циклів [2]. Для бурильної колони за таке навантаження приймають знакозмінний згинаючий момент.

Аналіз аварійності, проведений багатьма дослідниками [3,4,9,10] за останні роки, свідчить, що близько 80 % аварій з нарізними трубами пов'язано з їх корозійно-втомним руйнуванням, причому до 60 % припадає на різні види відмов різьбових з'єднань (корозійно-втомне руйнування, зріз, зрив різьби, промивання, зношення і розкручування різьби тощо) і така ситуація сприяла широкому впровадженню на підприємствах нових конструкцій труб з високоміцними різьбовими з'єднаннями та засобів неруйнівного контролю.

1.3 Типи розповсюджених аварій бурильних труб

Аварії з бурильними трубами відбуваються під дією значних знакозмінних навантажень, а також внаслідок розмивання та зношування різьбових з'єднань. Характерні види руйнувань бурильних труб наведено нижче та проілюстровано у даному атласі.

Злам по різьбі (48 %) в зоні потовщення є причиною половини всіх аварій з трубами [15]. Руйнування проходить, зазвичай, по першому витку різьби труби, що перебуває в спряженні з бурильним замком, в напрямі, перпендикулярному до осі труби, і має втомний характер. Аналогічне руйнування відбувається в ведучій трубі збірної конструкції (4%), поломці

піддається кінець труби по першому витку різьби в з'єднанні з перевідником. Втомні тріщини виникають і розвиваються в процесі дії знакозмінних навантажень (згинаючого моменту), які призводять до циклічного перерозподілу напружень як по довжині, так і по колу різьби. Часто причиною зародження цих тріщин є різні дефекти матеріалу труб, концентрація напружень у місцях зміни площі поперечного перерізу, нерівномірність розподілу напружень по периметру різьби та вздовж неї, відхилення форми і розмірів елементів різьби тощо. На інтенсивність руйнування різьби впливає зниження точності виготовлення та ступінь зносу. Характерні види поломок різьбових з'єднань наведені в розділі II атласу.

Розмивання різьбового з'єднання (5,6 %) відбувається як в замковому з'єднанні, так і в з'єднанні труби із замком в результаті проходження промивної рідини через зазори в різьбовому з'єднанні. Причини виникнення зазорів можуть бути технологічного або експлуатаційного характеру: значні відхилення параметрів профілю різьби при виготовленні; перекошування упорного торця муфти і упорного виступу ніпеля замка, їх пошкодження; застосування неякісного мастила або згвинчування неочищених різьб; недостатня величина моменту згвинчування різьбового з'єднання (розкриття стику).

Зношення різьби (4 %) відбувається внаслідок багаторазового згвинчування - розгвинчування з'єднання, обертання бурильної колони, її коливань, викликаних роботою вибійного двигуна. Причиною зносу різьби є недостатнє закріплення замків.

Заїдання (зріз) різьби (2 %) пов'язане із щільним захопленням поверхні різьби при згвинчуванні замкового з'єднання. Для попередження заїдання різьби слід використовувати спеціальне мастило для різьбових з'єднань, до складу якого входять металеві порошки, а також не перевищувати регламентований момент згвинчування.

Руйнування бурильних замків, (до 3%) по тілу, відбувається внаслідок виникнення поздовжніх і поперечних тріщин. Такі дефекти є наслідком дії значних зусиль, що призводять до згвинчування муфти та ніпеля замка на трубі або пов'язані з наявністю високих гартувальних напружень чи тріщин, що виникають при виготовленні.

Зношення бурильних труб в процесі експлуатації (абразивний, корозійний, механічний зноси замкових різьб та ін.) спричиняє появу вм'ятин, вибоїн, надрізів тощо, що змінює їх геометричні розміри і характеристики міцності. Такий вид відмов особливо характерний для труб з алюмінієвих сплавів.

Злам труб по тілу (до 30 %) має кілька видів: поперечний, спіральний, поздовжній. Поперечний злам тіла труби має втомний характер і спричинюється концентрацією напружень в місцях пошкоджень, що є перпендикулярними до осі труби. До них відносяться: заглиблення від клейм, поперечні риси від роботи клинів тощо. Поперечний злам можливий також в зоні зварювання. Спіральний злам являє собою руйнування по гвинтовій лінії. Напрямок спіралі співпадає з напрямком обертання колони. Спіральний

злам завжди починається з поперечної тріщини і має втомний характер. Поздовжній злам пов'язаний з дефектами прокату або значними внутрішніми напруженнями, викликаними порушенням технологічного режиму процесів прокатування і термообробки. Характерні поломки та дефекти показані на рисунках розділу II.

Розмивання труб по тілу відбувається в результаті дії тиску промивної рідини. Розмивання труб із внутрішньої поверхні спричинюється дефектами в трубі, до яких відносяться розшарування металу, плівки, неметалеві включення, втомні тріщини. Розмивання труб спостерігається також поблизу зварного шва, що викликано наявністю внутрішнього грата або утворенням тріщин в зоні зварювання.

Як ілюстрацію до такого розподілу можна взяти дані з аварійності з бурильними трубами в ВО "Укрбургаз". Всього було зафіксовано 27 відмов, з яких: 12 відмов (44 %) - поломки різьбових з'єднань (з них 9 відмов, тобто 33 %, поломки замкової різьби); 11 відмов (40 %) - поломки по тілу труб, переважно умовним діаметром 127 мм.

Таким чином, проведений аналіз показує, що найчастіше (до 50 %) бурильна колона виходить з ладу в результаті відмови різьбових з'єднань [12].

1.4 Закономірності росту тріщин в бурильних трубах та замкових різьбах

Спостереження за зародженням і розвитком тріщин у ході втомних та корозійно-втомних досліджень елементів бурильної колони показали [8-10], що значна частина їх ресурсу припадає на поширення тріщин. Згідно з даними авторів [2], період до початку утворення тріщини складає усього 10-20% ресурсу. Автор [8] вважає, що цей період у замкових різьбових з'єднаннях складає також 10-20% ресурсу, а в трубах ТБВК – 30-40%. Автори [15] в ході досліджень замкових різьбових з'єднань зразків ОБТЗ1 на стенді УП-200 встановили, що час до появи в ніпелі тріщин глибиною 0,5-1 мм складає 38-42% від загального ресурсу роботи. У дослідженнях замкових різьбових з'єднань З-121 Івасівим В.М. тріщина площею 15 квадратних міліметрів виросла за 27% ресурсу роботи.

Вивчення фрактографій зламів показали широку різноманітність форм фронтів розвитку тріщин. Лачинян Л.А. та Ляпков А.А. розглядають 4 форми фронту втомних тріщин: від концентричного до ексцентричного з кривизною фронту, оберненою до кривизни труби. Причому автори намагаються пов'язати форму фронту тріщини з коефіцієнтом запасу міцності. Під час випробовувань замкових різьбових з'єднань З-121 Івасівим В.М. спостерігався напівеліпсоїдний фронт втомної тріщини як з одного так і з декількох фокусів руйнування, а також круговий фронт. Дослідження показали, що зона доламу за напівеліпсоїдного фронту тріщини більша, ніж за кругового, і він є більш небезпечним з точки зору втомного руйнування. Крім того, за напівеліпсоїдного фронту втомної тріщини руйнування може

відбутися швидше внаслідок можливого промивання труби в місці наскрізної тріщини.

Автором [8] була поставлена задача визначити основні закономірності розвитку тріщин корозійної втоми на стенді СИТУ (СВТВ) – рис.1.4.

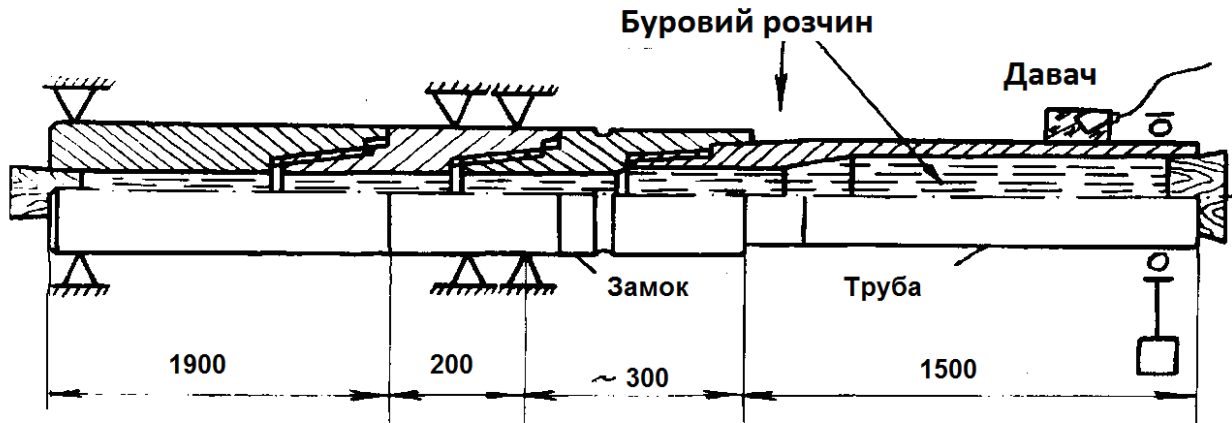


Рисунок 1.4 - Схема кріплення зразка на стенді для випробування натурних бурових труб та ОБТ на опір корозійній втомі з ультразвуковим контролем параметрів тріщин

У результаті обширних корозійно-втомних досліджень високоміцних бурових труб ТБВК з врахуванням розсіювання їх втомних характеристик встановлено, що інкубаційний період розвитку тріщин (I) у тілі труби складає 0,25 - 0,3, а росту тріщин (II) - 0,7 - 0,75 повного ресурсу роботи труби до кінцевого доламу (рис.1.5) [8].

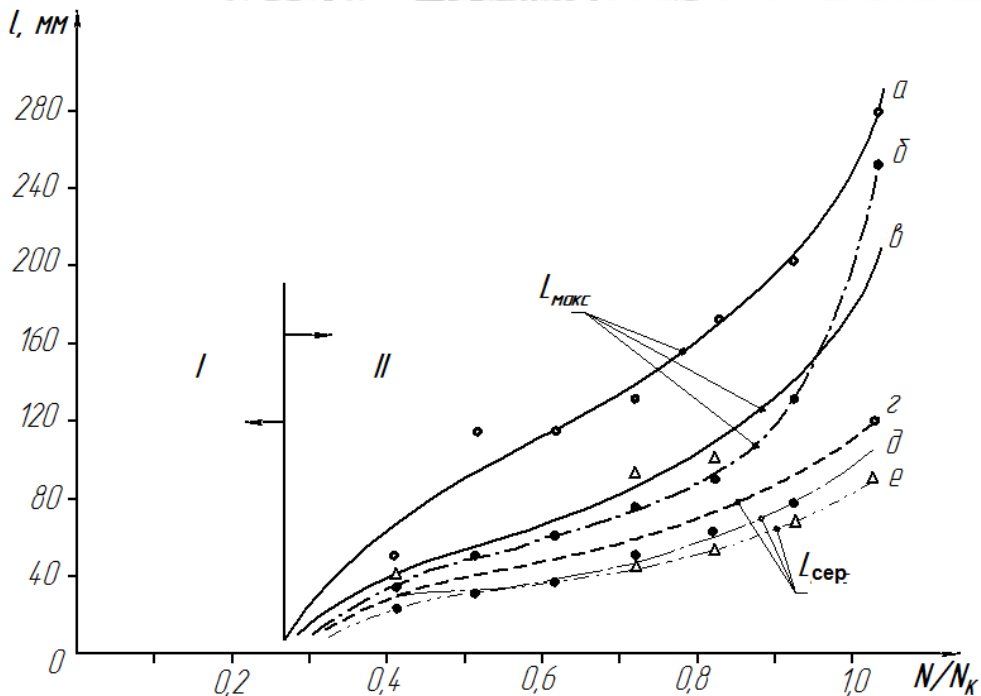


Рисунок 1.5 - Залежність найбільшої L_{max} та середньої $L_{сер}$ довжин корозійно-втомних тріщин в бурових трубах ТБВК 140x11Л від частки відпрацьованого трубою ресурсу (N/N_K)

Кількість зароджених тріщин в трубі суттєво залежить від амплітуди напружень згину. Вищий рівень напружень зменшує кількість циклів навантаження зразка до руйнування, а також зменшує кількість фокусів зародження і розвитку тріщин. Наприклад, якщо при величині змінного напруження згину $\pm \sigma = 100$ МПа (I) в тілі труби до моменту кінцевого руйнування труби виросло три тріщини довжиною більше 70 мм, а при напруженні $\pm \sigma = 90$ МПа (II) спостерігали 5 таких тріщин. При амплітуді напруження величиною $\pm \sigma = 70$ МПа (III) в тілі труби виявлено 7 тріщин (рис.1.6). Характерно, що з ростом величини напруження середня довжина тріщини зменшується і при частці відпрацьованого трубою ресурсу $N/N_k=0,7$ складає 40-60 мм, а при $N/N_k=0,9$ досягає 70 – 90 мм. В той же час найбільша тріщина при $N/N_k=0,7$ має 80 - 120 мм довжини, а при $N/N_k=0,9$ досягає величини $l_{тр} = 110 - 180$ мм.

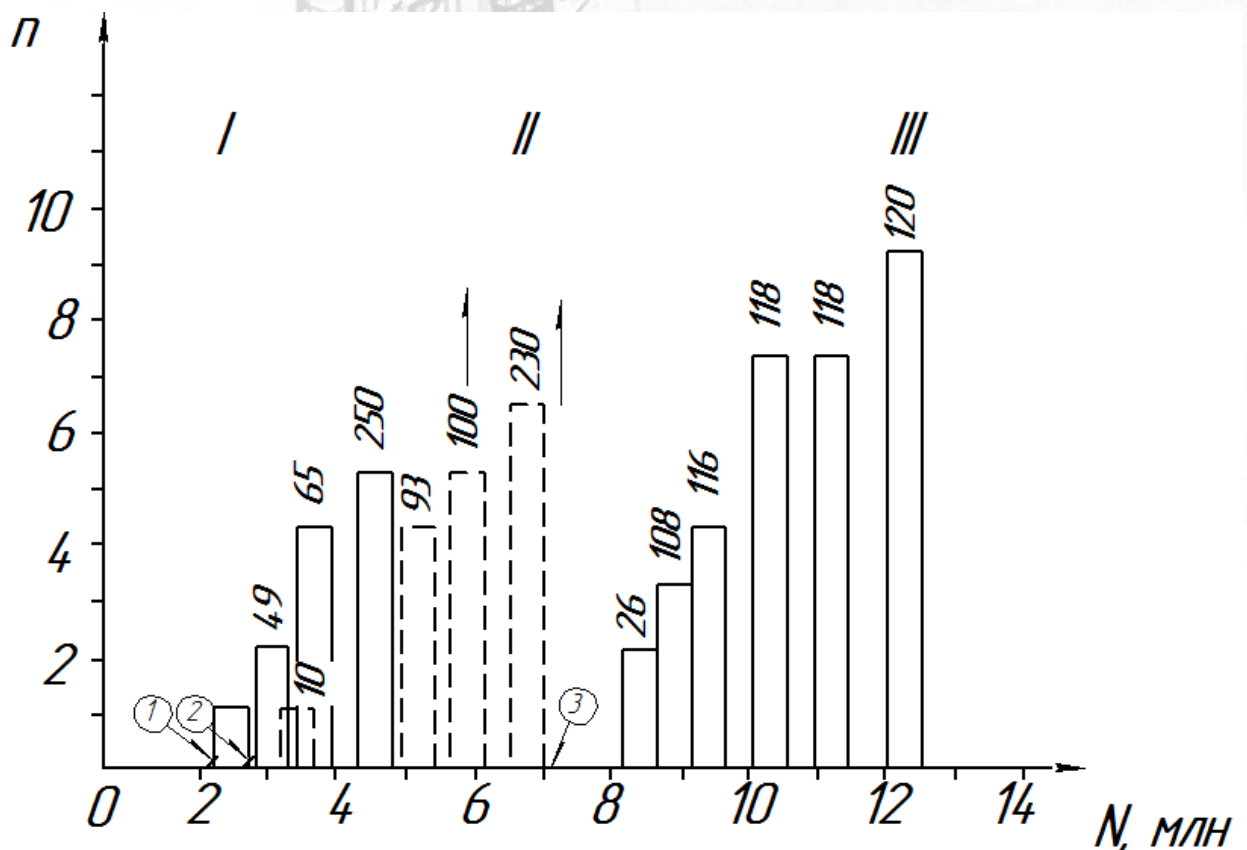


Рисунок 1.6- Кількість корозійно-втомних тріщин та їх найбільша довжина (l_{max}) у буритьних трубах ТБВК

В експлуатаційних умовах свердловини труба працює під дією перепаду тисків промивальної рідини, а гранично допустимою глибиною тріщини є величина, рівна товщині стінки труби, оскільки при цьому можливий промив труби через утворену тріщину. У такому випадку довжина тріщини може досягти величини біля 100 мм і її необхідно прийняти за гранично допустиму, оскільки подальша експлуатація труби неможлива. Необхідно відзначити, що допустиме спрацювання тіла труби груп міцності

К,Л і М не повинно перевищувати 3 мм, тобто діаметр труби ВК140х11Л повинен бути не менше 136,7 мм, а товщина стінки – не менше 9,5 мм.

Довжини утворених корозійно-втомних тріщин характеризуються певним розсіюванням їх величин. У діапазоні частки відпрацьованого трубами ресурсу (0,5 - 0,9) N/N_к середньо-квадратичне відхилення довжини тріщини зростає за лінійною залежністю і для різних величин змінного напруження зростає від 20 – 30 мм при 0,5 N/N_к до 30-40 мм при 0,9 N/N_к.

Ймовірність появи корозійно-втомної тріщини певної довжини у порівнянні з критичною на певній стадії відпрацьованого трубою ресурсу при величині змінних напружень $\pm \sigma = 70, 90$ і 100 МПа представлена на рис.1.7, з якого видно, що ця залежність підпорядкована закону розподілу Вейбула з

коефіцієнтом форми $\beta=3$, тобто $F(N) = 1 - e^{-\left(\frac{N/N_k}{\eta}\right)^\beta}$.

За цими кривими можна визначити середню довжину корозійно-втомної тріщини по відношенню до критичної ($l_{кр}=100$ мм) з певною ймовірністю їх появи на конкретній стадії відпрацьованого трубою ресурсу при дії змінних напружень $\pm \sigma = 70, 90$ і 100 МПа. Наприклад, при 75 % частини відпрацьованого ресурсу в тілі труби, навантаженої змінним напруженням $\pm \sigma = 90$ МПа можуть проявитись тріщини довжиною 40 мм з ймовірністю 85 %, довжиною 60 мм - з ймовірністю появи 50 %, а довжиною 100 мм - з ймовірністю їх появи 25 %.

Івасів В.М. провів роботу з дослідження кінетики втомного руйнування замкових різьбових з'єднань (ЗРЗ) з використанням G-критерія, запропонованого Почтенним Є. К. Однак при проведенні цих експериментів фіксацію ліній фронту втомних тріщин, що розвиваються у зразку, здійснювали методом перервчастих ступеневих навантажень. Внаслідок зміни режиму навантаження зразка можливий вплив на кінетику руйнування. Крім того, під час випробувань не враховували вплив корозійного середовища.

У роботі [8] ріст тріщин в ЗРЗ реєстрували за допомогою ультразвукового дефектоскопа ДУК-66 ехо-імпульсним методом під час короткочасних зупинок стенда СВТВ. Зразки об'єднаних бурильних труб (ОБТ) з різьбою З-121, виготовлених зі сталі групи міцності Д згідно з ТУ 14-3-385-79, затягували оптимальним крутним моментом і випробовували при дії змінного кругового згину, який створює напруження в основній площині замкової різьби $\sigma_{зг} = 70$ МПа. Буровий розчин заливали всередину зразка, а також омивали ззовні місце стику.

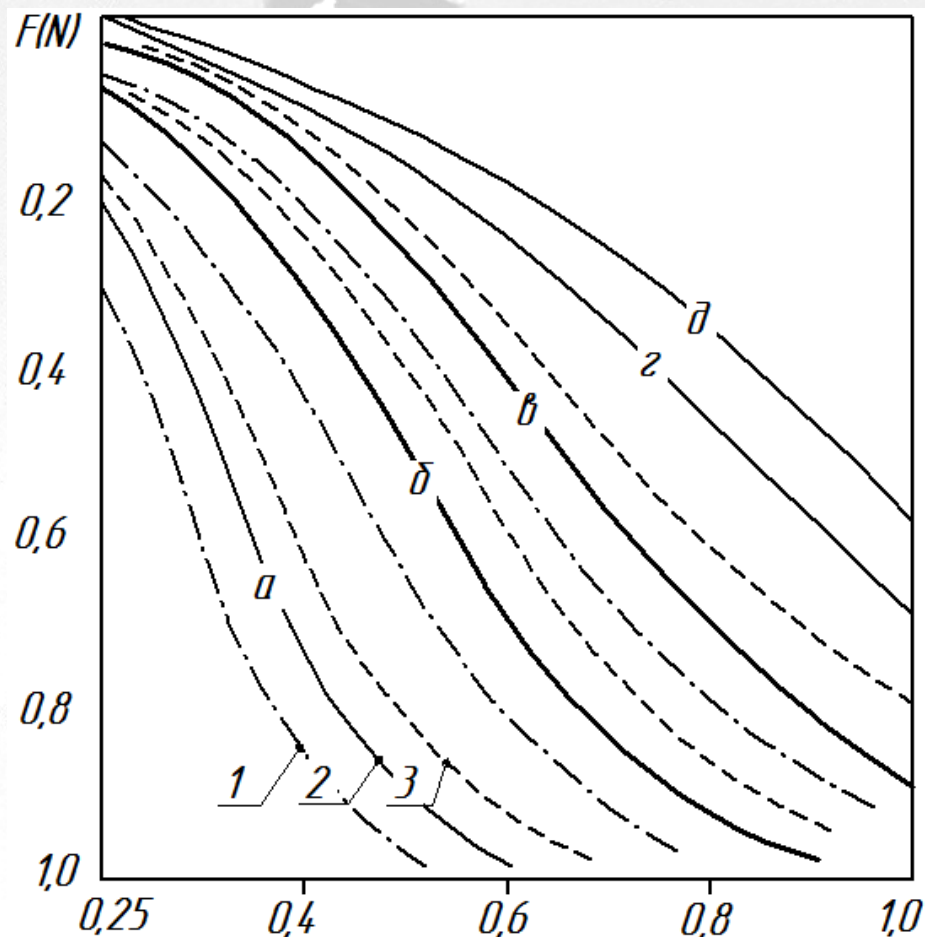


Рисунок 1.7 – Залежність ймовірності появи тріщин критичної довжини та їх частки в тілі бурильних труб ТБВК 140х11Л від частини відпрацьованого ресурсу під дією змінних напружень величиною 70 (1), 90 (2) і 100 (3) МПа

Ступінь пошкодження D оцінювали за площами зон корозійної втоми в небезпечному перерізі різьби ніпеля: $D = F_v / F_n$, (де F_v - площа зони корозійно-втомного руйнування; F_n - номінальна площа перетину ніпеля ЗРЗ). На рис. 1.8 показано злам ОБТ по ніпелю замкової різьби з реєстрацією довжини і глибини тріщини ультразвуковим контролем у міру її розвитку в небезпечному перерізі.

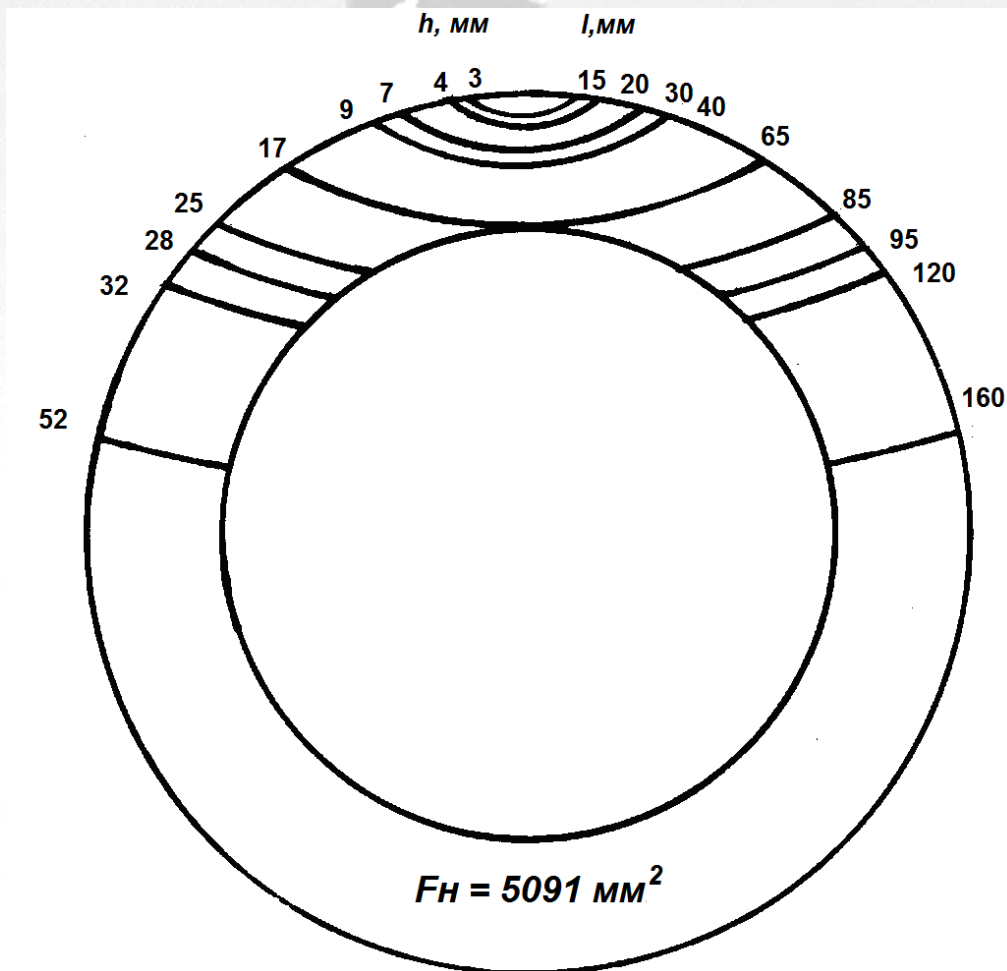


Рисунок 1.8 – Схема зламу ОБТ по ніпелю замкової різьби з реєстрацією довжини l і глибини тріщини h ультразвуковим контролем в міру її розвитку в небезпечному перерізі

За лінійну функцію, яка описує процес корозійно- втомного руйнування, було прийнято рівняння $G = G_0 - (G_0 - G_k) N_p / N_k$, (де $G_0 = l_g D_0 /$ - критерій опору корозійній втомі в початковий момент реєстрації тріщин, G_k - критерій опору корозійній втомі в момент кінцевої поломки, N_p, N_k - поточна і кінцева кількість циклів навантаження з'єднання).

Результати експериментальних випробувань наведені на рис 1.9.

Крива 1 побудована за результатами вимірювань параметрів тріщини ультразвуковим контролем (світлі точки) і аналітичного розрахунку її глибини за формулою, запропонованій в роботі Бабюка І. С. (темні точки) за формулою $h = 0,67 B \sqrt{(K_{3M})^{-1}}$, (де h - глибина втомної тріщини, B - товщина стінки в площині небезпечного перерізу, K_{3M} - коефіцієнт запасу міцності з'єднання (для даного зразка $K_{3M} = 1,67$).

Крива 2 описує ріст тріщини в різьбі 3-121 (ГОСТ 5286-75) [8].

На кривій 3 подано результати промислових вимірювань зон втомного руйнування високоміцних ОБТ електромагнітним способом за даними французьких дослідників. ОБТ були виготовлені фірмою Vallourec із сталі, близької за хімічним складом до сталі 40XH2MA.

Отримано рівняння лінійної регресії, яке описує кінетику корозійно-втомного руйнування замкової різьби $G = 2,23 - 2,0 N/N_k$.

Необхідно відмітити, що ступінь вихідного пошкодження різьби ОБТ з сталі Д становить $G_0 = 2,13$, а критерій опору корозійній втомі різьби в момент доламу $G_k = 0,4$.

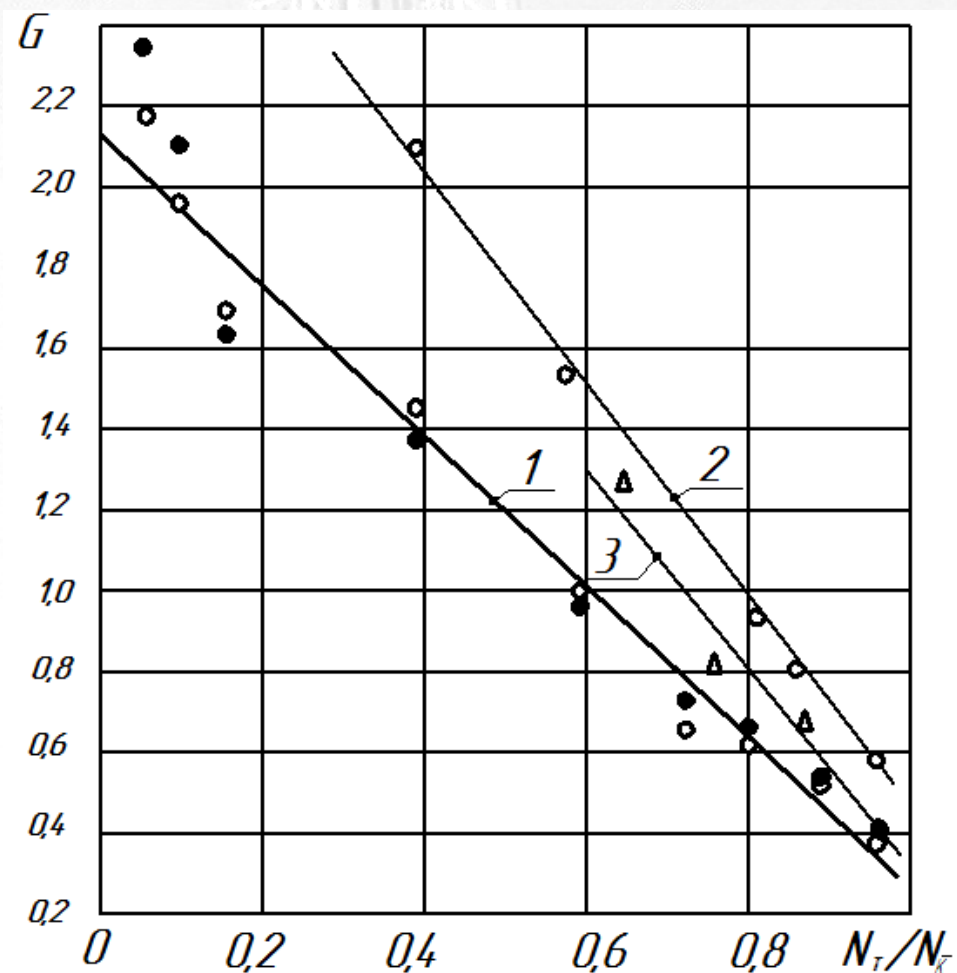


Рисунок 1.9 - Залежність ступеня корозійно-втомного пошкодження замкового різьбового з'єднання 3-121 за G -критерієм від частки відпрацьованого ресурсу після випробувань у корозійному середовищі (1, 3) та в повітрі (2): 1 - ОБТ групи міцності Д, 2 - [4], 3 - [4].

Аналізуючи криві 1 і 2, можна зробити висновок, що ступінь пошкодження для різьб, які випробовувалися в корозійному середовищі, на 35-40 % нижчий, ніж для замкових різьб, які випробувані в повітряному середовищі. Відомо, що корозійне середовище на 25-40 % понижує границю витривалості замкових різьбових з'єднань на базі випробувань 10 млн. циклів. Зі збільшенням тривалості випробувань до бази $N_6 = 50$ млн циклів це зниження посилюється.

Швидкості росту корозійно-втомних тріщин по довжині V_l і по глибині V_h зростають з $2...5 \cdot 10^{-8}$ м/цикл у початковий момент реєстрації до

величини $1,5 \cdot 10^{-7} \dots 1 \cdot 10^{-6}$ м/цикл у момент переходу до спонтанного руйнування (рис.1.10).

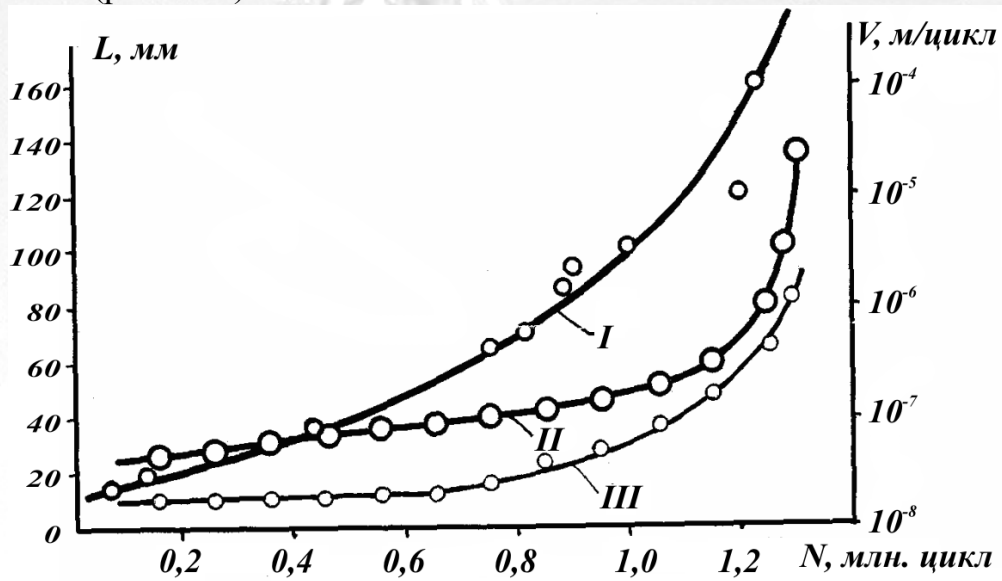


Рисунок 1.10 - Залежність довжини L (I) і швидкостей росту корозійно-втомної тріщини V по довжині (колу) V_l (II) і глибині V_h (III) від числа циклів N навантаження ЗРЗ 3-121

Період до зародження корозійно-втомної тріщини в різьбі становить всього 5-10 % від повного ресурсу роботи ОБТ. Швидкість росту тріщини досягає критичного значення $V = 1 \cdot 10^{-6}$ м/цикл за кількості циклів навантаження $(0,92-0,95)N_k$.

Отримані результати можуть бути використані для розрахунку довговічності ОБТ в реальних умовах і визначення залишкового ресурсу різьб з корозійно-втомними пошкодженнями.

2 ОСНОВНІ ВИДИ ЗЛАМІВ БУРИЛЬНИХ ТРУБ

2.1 Корозійно-втомне руйнування труб, мікрофрактограми.

Металографічні дослідження показали (рисунок 2.1), що тріщина корозійної втоми має розгалужений характер та розвивається переважно в слабких місцях у сорбітній структурі металу.

Основними причинами низької циклічної міцності труб різних конструкцій згідно з ГОСТ 631-75 є:

1) концентрація напружень у зоні зварного шва з'єднання труби із замком; 2) відносно вільний доступ бурового розчину до перших ниток різьби та виникнення процесів корозії; 3) фретінг-корозія у впадинах перших робочих ниток різьби.

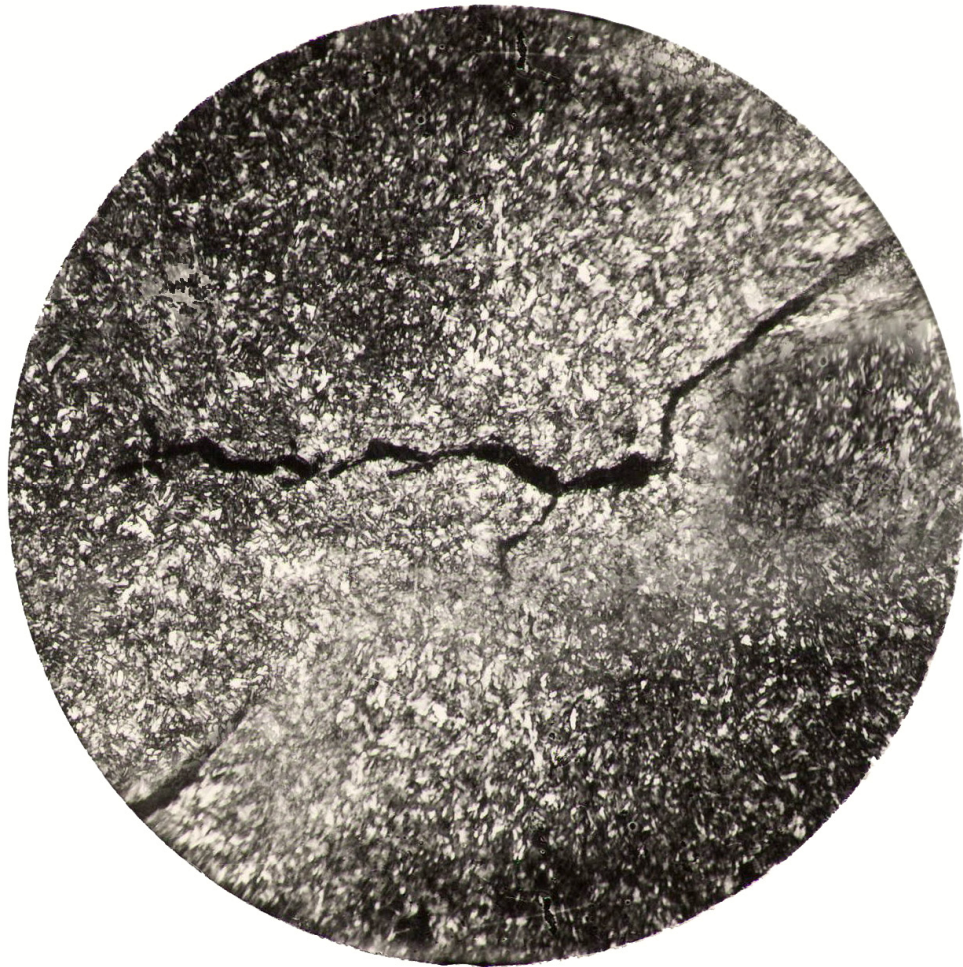


Рисунок 2.1 – Розвиток корозійно-втомної тріщини в тілі бурильної труби ТБВК 114×11 мм, група міцності «Л». Структура сталі – сорбіт відпуску з рівномірним виділенням фериту



Рисунок 2. 2 – Мікрофрактограма корозійної втоми зламу різьби 3-42 в стані поставки ферит-перлітної структури. Поряд зі звивистою структурою спостерігаються скольні зони

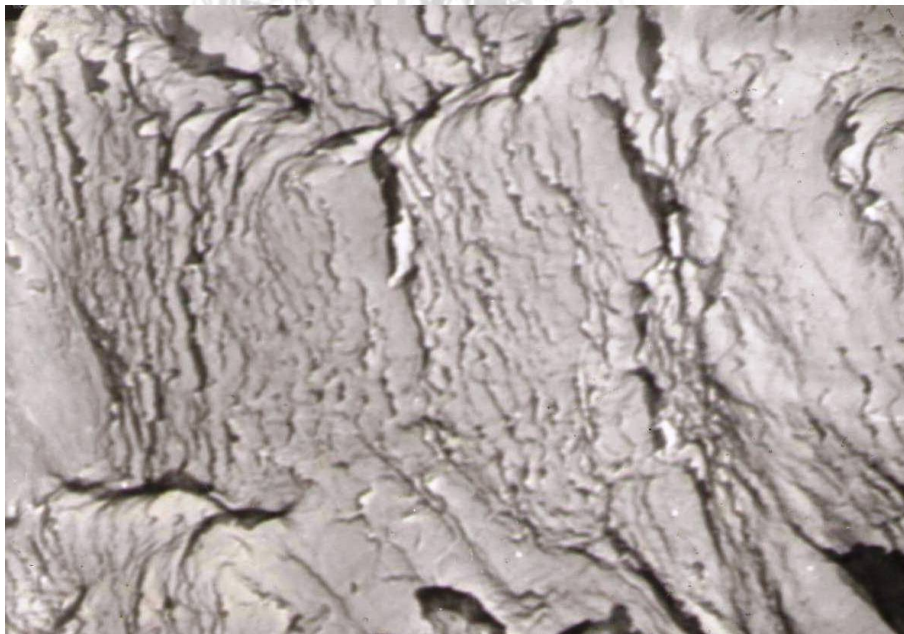


Рисунок 2. 3 – Мікрофрактограма корозійної втоми зламу різьби 3-42. Поряд зі звивистою структурою спостерігаються скольні зони

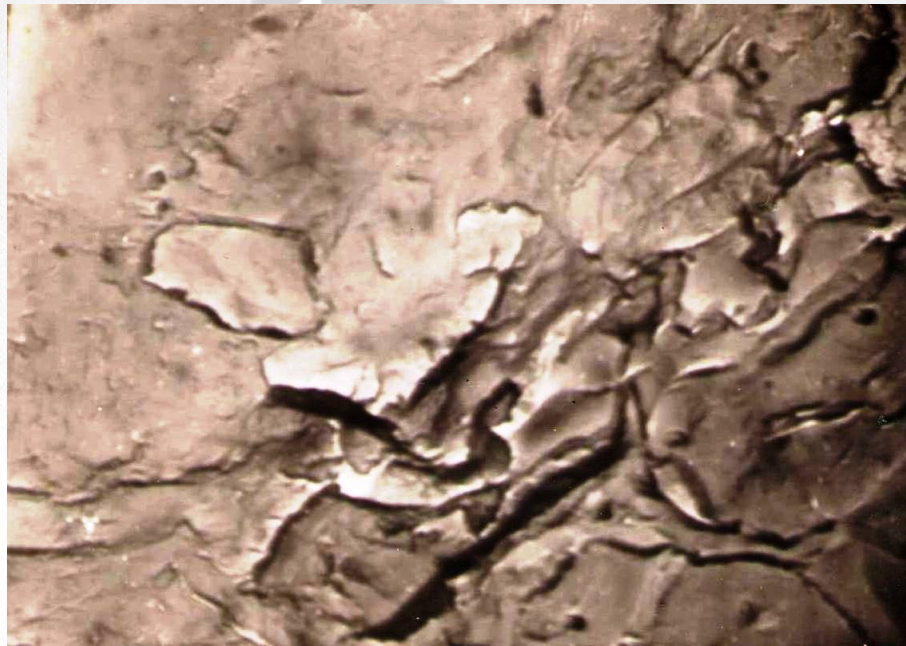


Рисунок 2.4 – Поширення корозійно-втомної тріщини в замкових різьбах 3-42 із сталі 40ХН, яка зазнала об'ємного гартування з високим відпуском. Чітко виражені шляхи в'язкого руйнування, властиві у великій мірі короточасному випробуванню

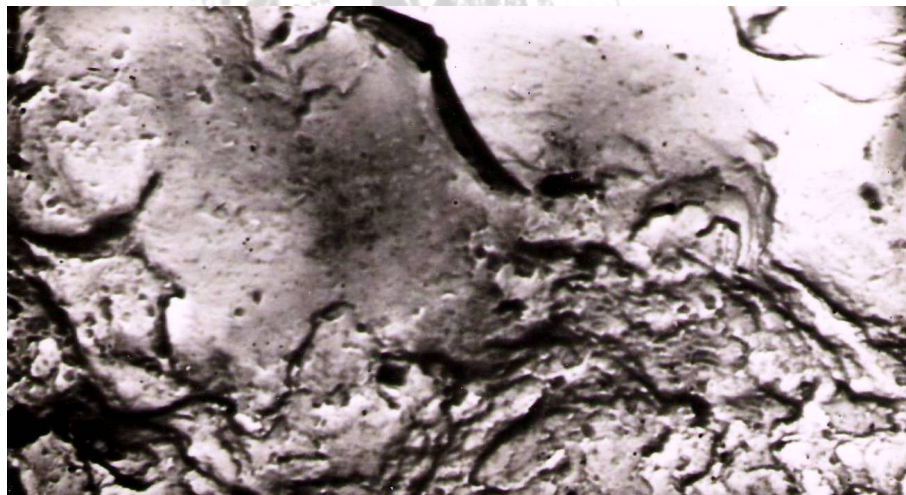


Рисунок 2. 5 – Мікрофрактограма корозійної втоми зламу різьби 3-42 зі сталі 40ХН у стані поставки (ферит-перлітної структури). Напруження $\pm \sigma_{згин} = 48$ МПа, $N = 1,08$ млн циклів. Поряд зі звивистою структурою спостерігаються скольні зони

2.2 Злами в різьбовій частині

Руйнації різьбового з'єднання за своїм видом можуть бути розділені на дві групи: викришування окремих витків та злам конуса ніпеля або муфти.

Найпоширенішим видом руйнації різьби є викришування окремих витків, яке спостерігається на різних ділянках різьби уздовж утворюючого конуса.

Злами моделей замкового з'єднання 3-26 при лабораторних випробуваннях



Рисунок 2.6 – Крупнозернистий злам з'єднання 3-26 після випробувань на повітрі на стенді ИМА-30. Сталь групи міцності «Д». Надзвичайно крупнозерниста структура викликана перегрівом матеріалу при гартуванні



Рисунок 2.7 – Крупнозернистий злам з'єднання 3-26 у корозійному середовищі на стенді ИМА-30, сталь групи міцності «Д». Надзвичайно крупнозерниста структура викликана перегрівом матеріалу при гартуванні

Злами замкового з'єднання 3-42 при лабораторних випробуваннях

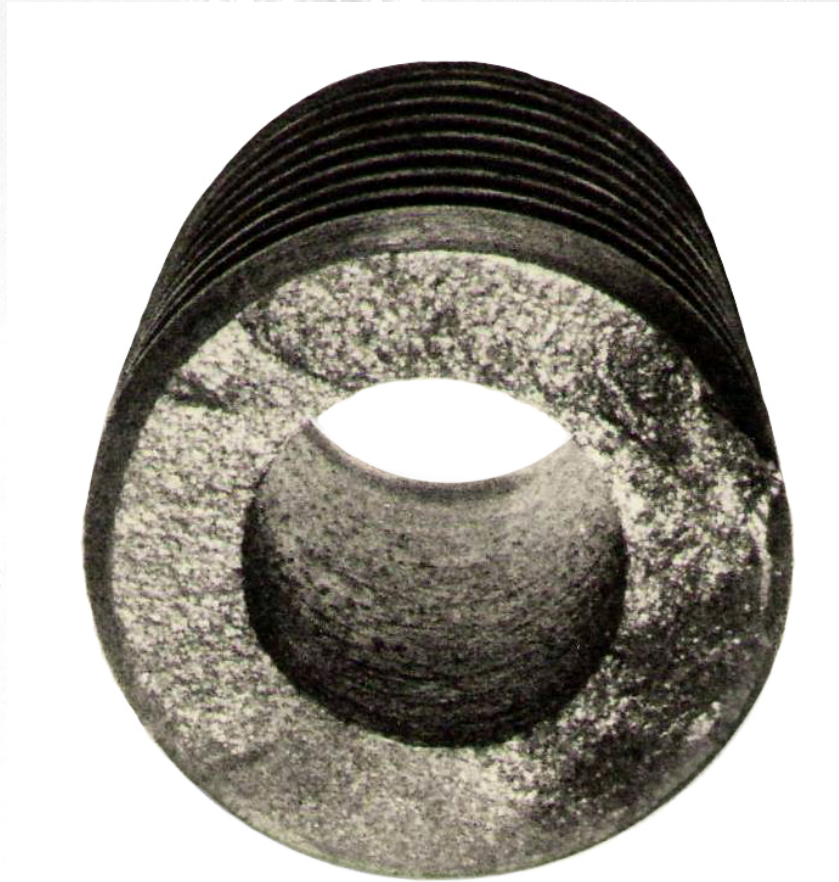


Рисунок 2.8 – Крупнозернистий злам різьби 3-42 в повітрі на стенді ИМА-50. Зона зародження втомних тріщин спостерігається слабо, з боків розташована зона розповсюдження тріщин, у верхній частині зображення явно виражена зона доламу, яка складає біля 35 % від загальної площі перерізу

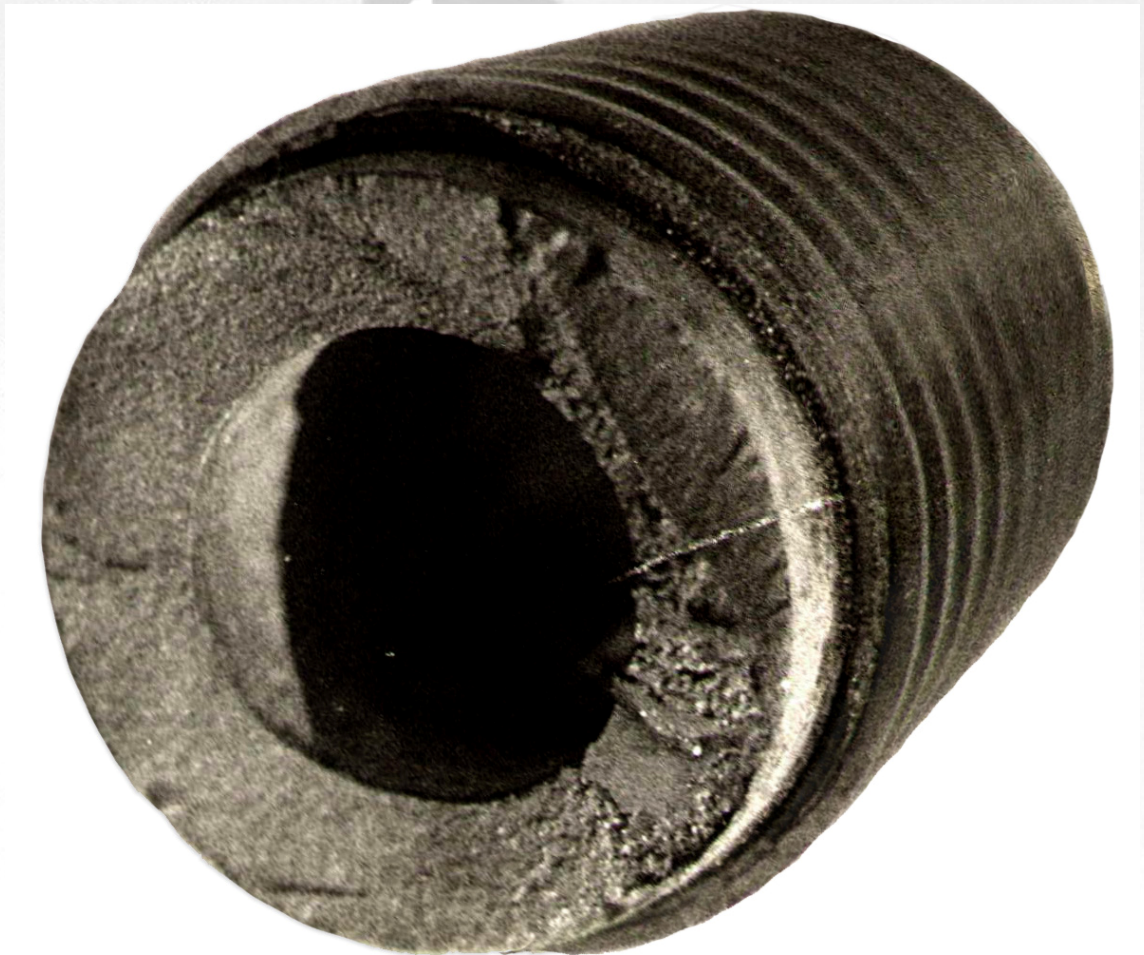


Рисунок 2.9 – Злам з'єднання 3-42 по різьбовій канавці в корозійному середовищі на стенді ИМА-50. Злам свідчить про те, що різьбова канавка, є концентратором напружень, яка представляє собою найслабше місце з'єднання, оскільки нарізана неправильно



Рисунок 2.10 – Злам з'єднання 3-42 по різьбовій канавці, стенд ИМА-50, зміцненого методом дифузійного цинкування . На передній частині чітко представлена зона доламу , в верхній частині спостерігається зона зародження втомних тріщин. Руйнування відбулось не по першому витку різьби, а по різьбовій канавці, оскільки різьба виявилась більш міцнішою



Рисунок 2.11 – Крупнозернистий втомний злам різьби згвинченого з'єднання 3-42 з загартованої сталі 40ХН на стенді ИМА-50 у корозійному середовищі. У лівій частині явно простежується зона зародження втомних тріщин. На іншій частині розміщена зона їх поширення. Зона доламу простежується слабо



Рисунок 2.12 – Втомний злам різьби 3-42 зі сталі 40ХН на стенді ИМА-50 після гартування і відпуску при температурі 500° С. Злам чашоподібний, майже відшліфований, що є характерним для гартування та високого відпуску. У верхній лівій частині явно виражена зона доламу, яка займає тільки 15 % площі перерізу



Рисунок 2.13 – Втомний злам різьби 3-42 в повітрі на стенді ИМА-50. У верхній та нижній частині зламу знаходяться дві зони зародження втомних тріщин. Ліворуч виражена зона розповсюдження тріщини. Праворуч виражена зона доламу, яка складає біля 25 % від всієї площі зламу



Рисунок 2.14 – Крупнозернистий втомний злам різьби 3-42 на стенді ИМА-50 у корозійному середовищі. В лівій частині чітко видно зону зародження втомних тріщин. На іншій частині розташована зона їх розповсюдження. Зона доламу слабо виражена



Рисунок 2.15 – Втомний злам бурильного замка 3-42 по першому витку. В нижній правій частині зображення спостерігається зона зародження втомних тріщин.

Злами бурильних замків труб діаметром 89 мм в свердловині



Рисунок 2.16 – Злами бурильних замків труб діаметром 89мм французького виробництва, зруйнованих у свердловині внаслідок надмірного моменту згвинчування. Крихке руйнування виникло по декількох площинах. Наявні чітко виражені сліди пластичної деформації



Рисунок 2.17 – Злами замків діаметром 89 мм французького виробництва, котрі зруйнувались у свердловині «Шевченково-1» внаслідок надмірного моменту згвинчування. Крихке руйнування виникло у декількох площинах. Структура зламу крупнозерниста. Є явно вираженні сліди пластичної деформації



Рисунок 2.18 – Злам замка труби діаметром 89 мм французького виробництва, який зруйнувався у свердловині Шевченково-1 внаслідок надмірного моменту згвинчування. Крихке руйнування виникло по декількох площинах. Структура зламу крупнозерниста. Є чітко вираженні сліди пластичної деформації



Рисунок 2.19 – Злам замка бурильної труби діаметром 89 мм французького виробництва. Руйнація відбулась у свердловині надлишкового моменту згвинчування. Крихке руйнування відбулося по декількох площинах. Є явно вираженні сліди пластичної деформації, структура зламу крупнозерниста

Злами та пошкодження замкових різьб по ніпелю

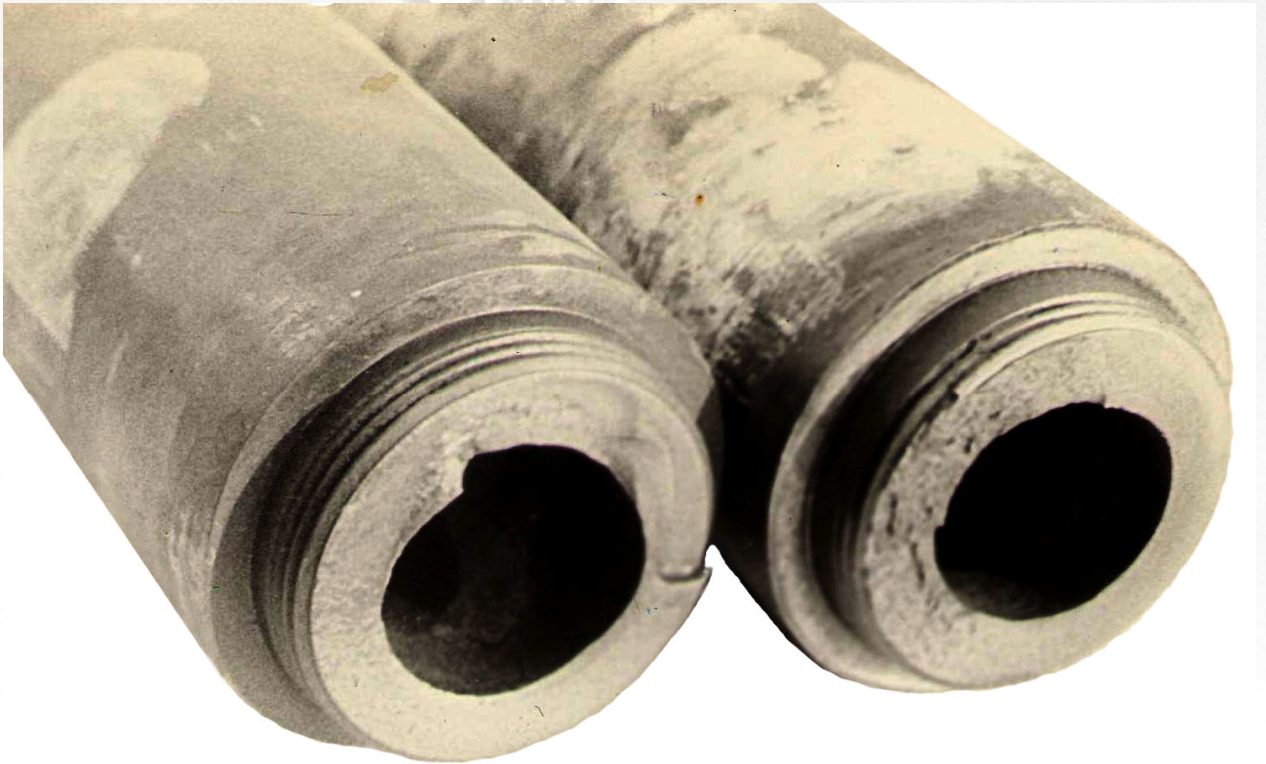


Рисунок 2.20 – Втомний злам обважнених бурильних труб діаметром 146 мм на стенді СИТУ при дії змінних напружень величиною 60 МПа. Структура матеріалу крупнозерниста. Добре простежується зона доламу, яка займає близько 25 % від загальної площі перерізу



Рисунок 2.21 – Втомний злам ОБТ на свердловинні № 20 - Спас Долинського УБР. У верхній частині чітко видно зону зародження втомних тріщин. Структура сталі мілко-зерниста. Зона доламу складає 25 % від загальної площі



Рисунок 2.22 – Пошкодження різьби ніпеля



Злами в трубній різьбі бурильних труб

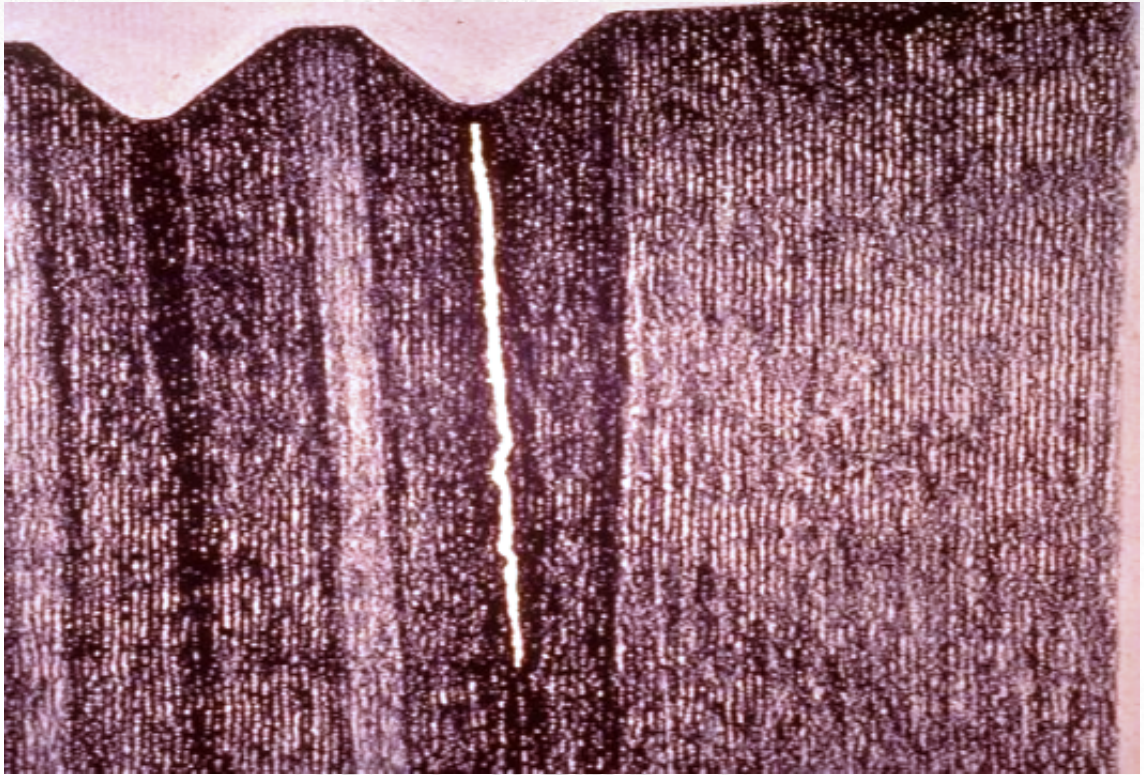


Рисунок 2.23 – Тріщина в різьбі внаслідок перенавантаження під час згвинчування



Рисунок 2.24 – Злам бурильної труби діаметром 114×10 мм групи міцності «Е» на стенді УКІ-7 по висадженій частині. В нижній правій частині явно виражені дві зони зародження втомних тріщин. У верхній частині розміщена зона розповсюдження тріщин. У лівій частині спостерігається зона доламу, яка характеризується гладкою поверхнею. Зона доламу складає 35 %



Рисунок 2.25 – Злам бурильної труби діаметром 114 мм групи міцності «Д» на стенді УКИ-7 у висадженій частині. У верхній лівій частині та знизу явно виражені зони зародження втомних тріщин. У лівій частині розташована їх зона розповсюдження. У верхній правій частині розташована зона доламу площею 25 %. Структура металу дрібнозерниста

2.3 Злами та пошкодження муфтової частини замка та тіла бурильних труб

Муфтова частина замкового з'єднання руйнується рідко, оскільки і тіло труби. Муфтова частина замкового з'єднання руйнується, як правило, в ОБТ великого діаметру (більше 3-121). У практиці буріння спостерігаються два види зламів по тілу труб. Один із них представляє собою поперечний злам тіла труби, який має втомний характер. Причинами, котрі призводять до концентрації напружень на окремих зонах поверхні труби, є різні пошкодження, направлені перпендикулярно вісі труби. До них відносять клейма, які наносяться на поверхню труб, поперечні риси, що виникають від дії клинів ротора, дефекту прокату на поверхні труб.

Інший вид зламу, більш рідкісний, представляє собою руйнацію труби у вигляді спіралі чи вздовж твірної.

Злами виникають і в бурильних трубах, виконаних шляхом контактностикового зварювання з'єднувального кінця (замкової частини) з трубою. Практика показала, що злами у даному типу труб відбуваються як по зварному шву, так і в зоні термічної дії шва. Це обумовлено виникненням значних внутрішніх залишкових напружень з колошовній зоні бурильної труби.

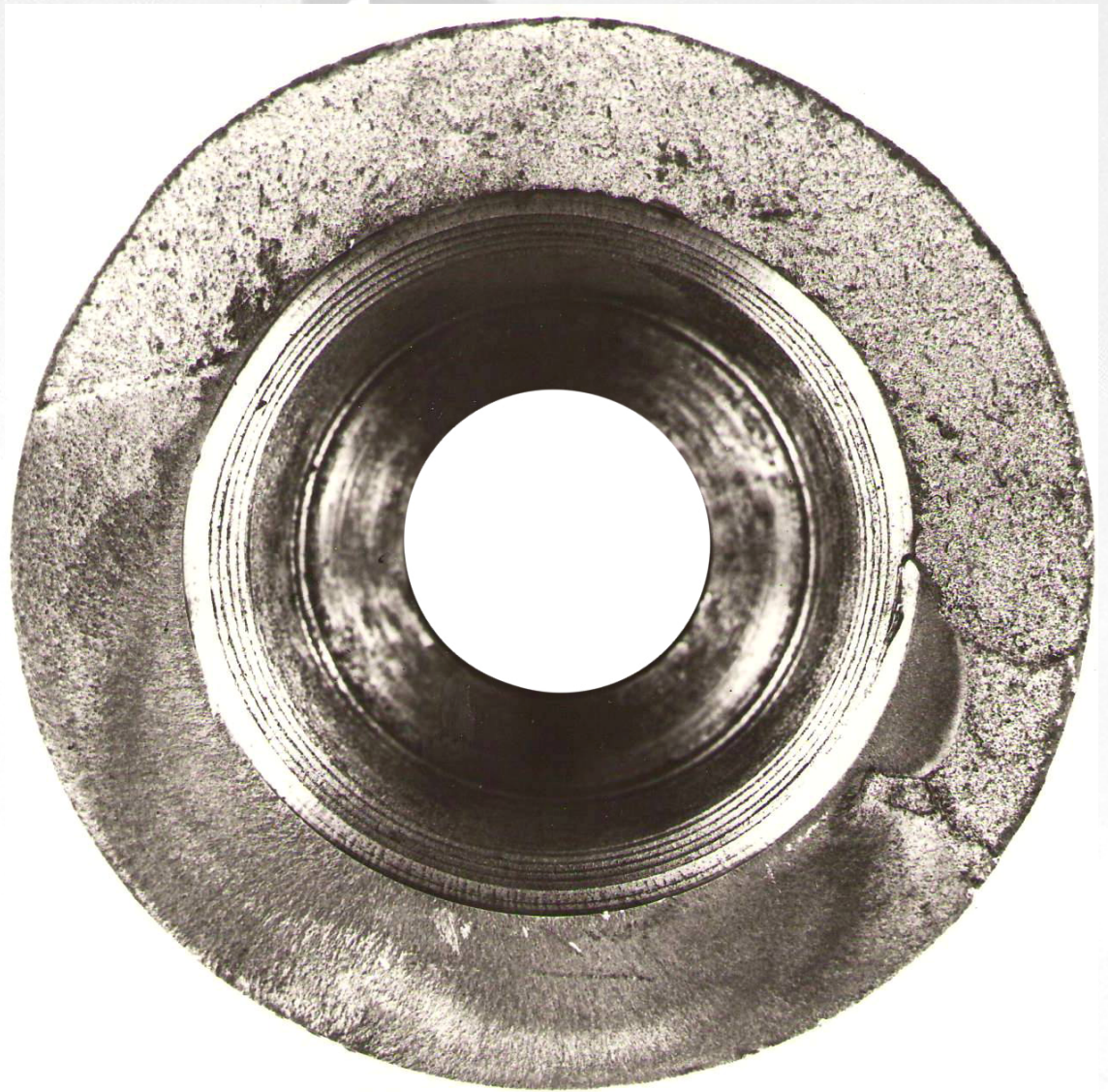


Рисунок 2.26 – Корозійно-втомний злам ОБТ в муфтовій частині на стенді УФМІ-200. Зародження тріщин виникло по великій площі (внизу і зліва). Потім різко пройшло руйнування металу. Це характерно для корозійно-втомного зламу. Зона доламу складає приблизно 60-65 % від загальної площі перерізу, що свідчить про великі напруження згину

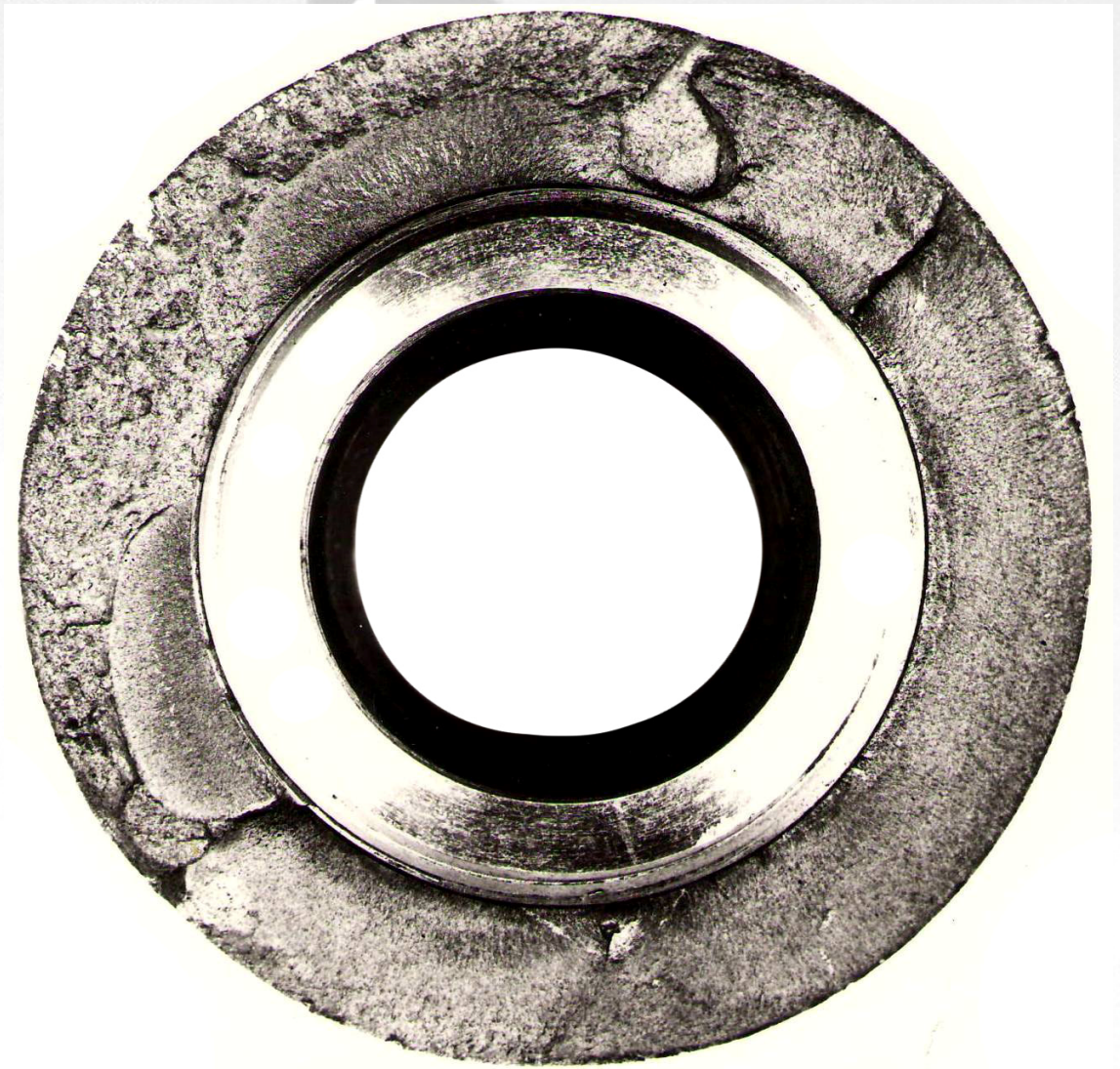


Рисунок 2.27 – Корозійно-втомна поломка ОБТ в муфтовій частині на стенді УФМІ-200. У верхній частині та ліворуч просліджується зона зародження втомних тріщин. З кожного боку від них видно зону розповсюдження. У нижній частині спостерігається зона доламу, яка займає майже 40 % від загальної площі перерізу. Структура металу дрібнозерниста.



Рисунок 2.28 – Пошкодження фаски муфти



Рисунок 2. 29 – Корозійно-втомний злам бурильної труби ТБПВ 114×10 Д у зварному шві. Руйнування виникло по краю графітового включення, що викликано впливом концентрації напружень

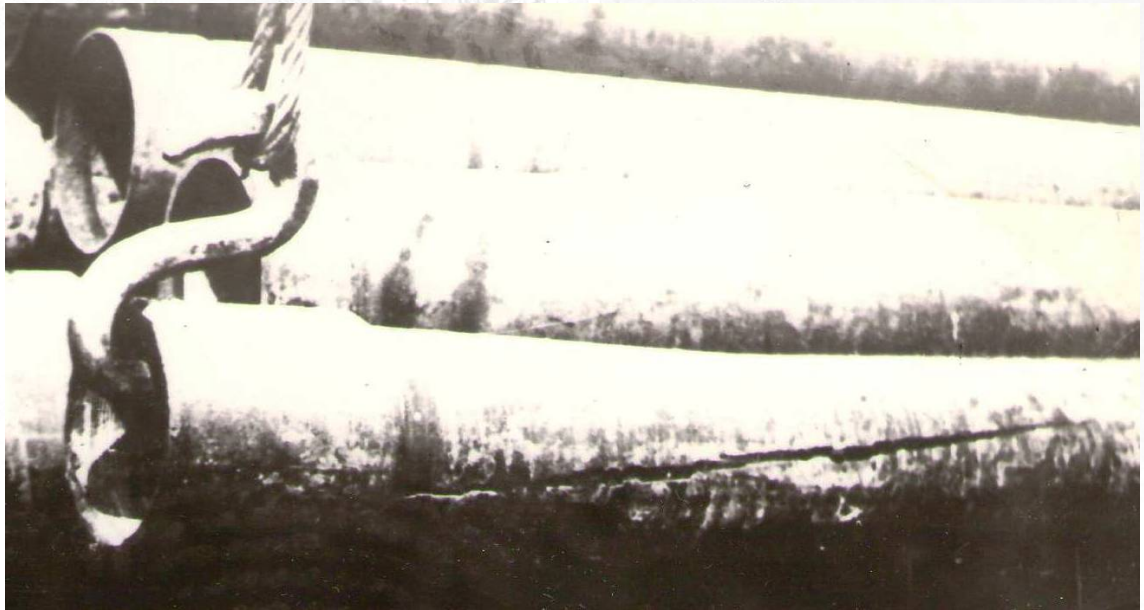


Рисунок 2.30 – Злам муфтової частини ОБТ вздовж твірної на буровій Делятин-22 (при бурінні роторним способом та продувкою вибою повітрям). ОБТ підняті із свердловини метчиком. Руйнування виникло внаслідок надлишкових радіальних навантажень



Рисунок 2.31 – Втомний злам геологорозвідувального бурильного замка 3-42 зі сталі 40ХН в місцях лисок під ключ після випробування на стенді ИМА-50. Спостерігаються сліди пластичної деформації. Злам свідчить про те, що різьба є міцніша, ніж лиски під ключ.

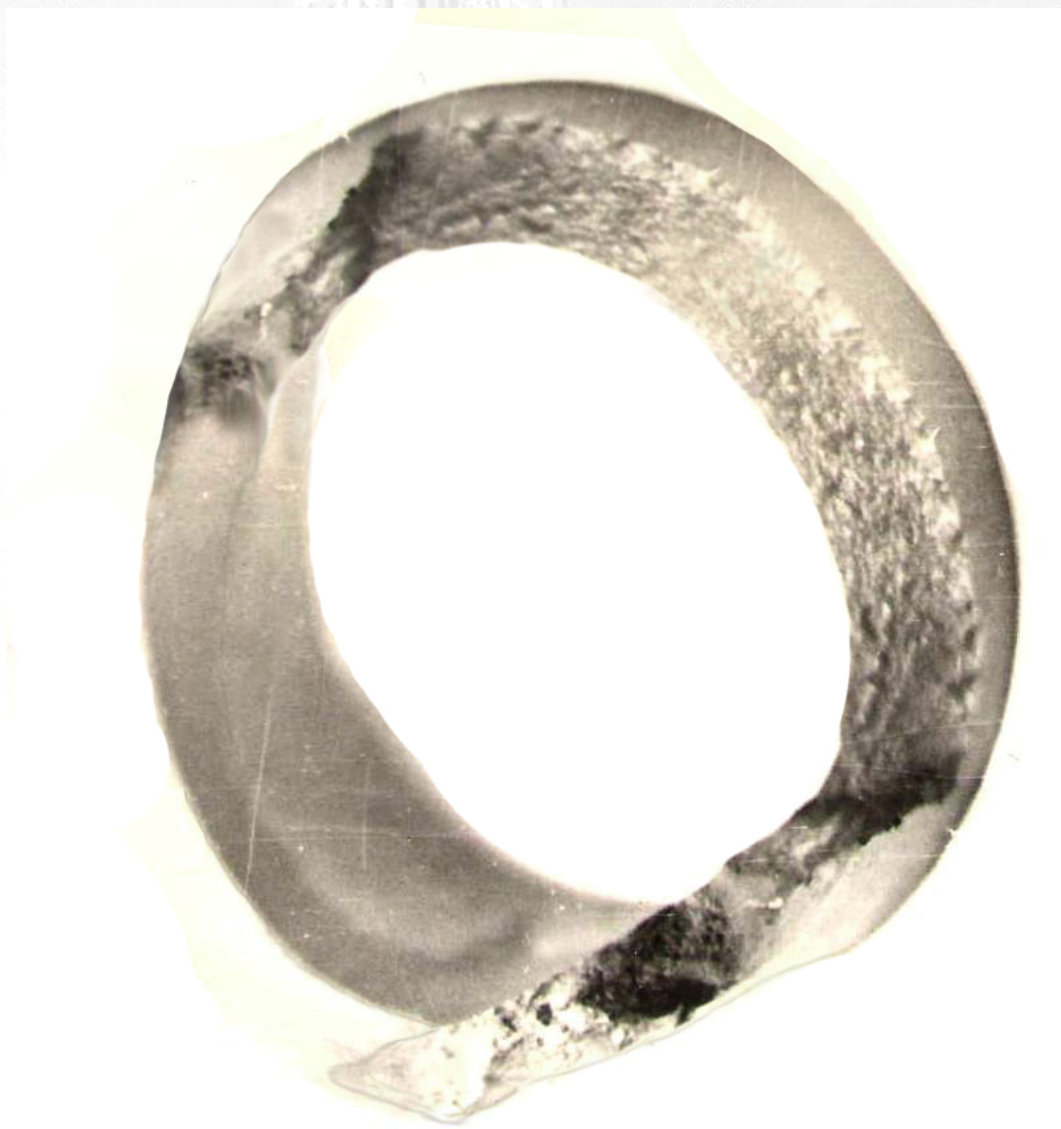


Рисунок 2.32 – Злам бурильної труби по тілу. Зародження тріщини виникло в лівій зоні труби. Після її поширення пройшло швидке руйнування матеріалу труби з доламом вздовж твірної

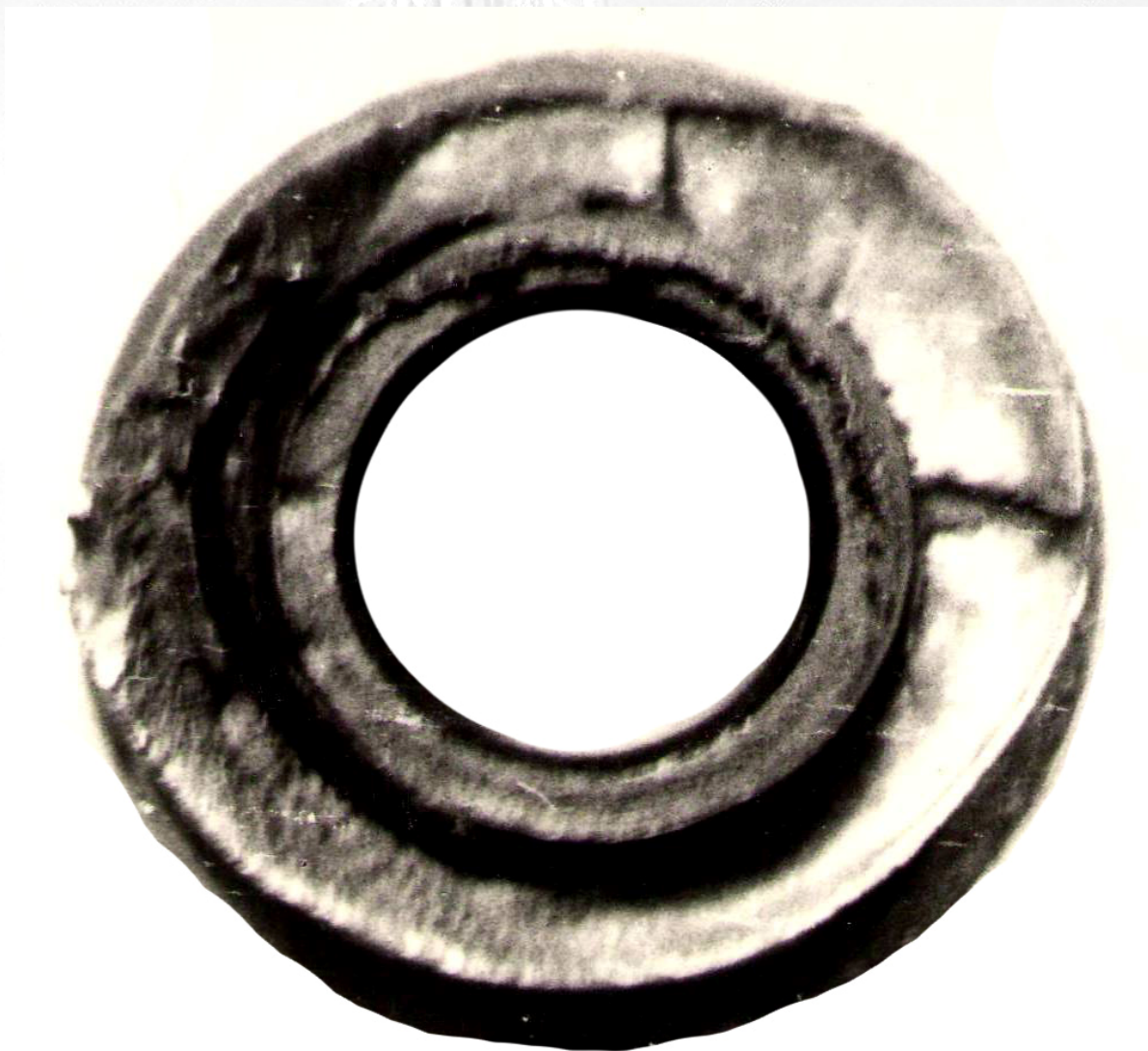


Рисунок 2.33 – Злам бурильної труби діаметром 50×5,5 мм у місці зварювання до бурильного замка. Випробування виконувались на стенді ИМА-50, спосіб зварювання – тертя. Тріщина зародилась та поширилась в місці термічного впливу зварного шва



Рисунок 2.34 – Корозійно-втомний злам бурильної труби ТБПВ 114×10 мм по зварному шву (стенд СИТУ). В лівій частині зламу явно виражена зона зародження втомних тріщин



Рисунок 2.35 – Рідкісний злам муфтової частини ОБТ вздовж твірної на свердловині під час буріння роторним способом та продувкою вибою повітрям. Руйнування виникло внаслідок надмірних радіальних напружень

Розмиви різних видів





Рисунок 2.36 - Типові розмиви бурильних труб

3 ВІДБРАКУВАННЯ ТРУБ

Згідно розробленого стандарту ДК «Укргазвидобування» відбракування бурильних труб потрібно вести, якщо при профілактичних перевірках на бурових і трубних базах виявлені:

- тріщини, промиті отвори, розшарування, ум'ятини та інші дефекти;
- приховані дефекти, виявлені дефектоскопією;
- протерті канавки на тілі труби, глибина яких перевищує 1 мм для труб товщиною стінки до 9,2 мм і 1,5 мм для труб товщиною стінки більше 9,2 мм;
- промиті і протерті канавки під муфтою замка на висадженій частині труби, глибина яких перевищує 3 мм;
- спрацювання зовнішньої поверхні бурильної труби по діаметру на 2 мм для всіх високоміцних труб і для труб групи міцності Д товщиною стінки до 9,2 мм і на 3 мм для труб групи міцності Д товщиною стінки більше 9,2 мм. При односторонньому спрацюванні вказані допуски зменшуються вдвічі ;
- кривизна труб, яка перевищує $1/2000$ довжини всієї труби (стріла прогину 0,5 мм на 1 м), а на кінцях труби ($1/3$ довжини труби) - $1/3000$ (стріла прогину 0,3 мм на 1 м) і також кривизна у вигляді спіралі або кривизна в декількох площинах;

- заокруглення трубного торця замкової муфти внаслідок зношення до такого стану, при якому ширина опорної площини буде менше 7 мм для труб діаметром 73 мм та 89 мм і менше 9 мм - для труб більшого діаметра;
- замкова різь зірвана, вищерблена, спрацьована або промита;
- упорні торці різьбових з'єднань при згвинчуванні не замикаються;
- величина допустимого спрацювання замкових різей перевищує величини наведені в таблиці 3.1;
- спрацювання замків вище допусків, відповідно до таблиці 3.2;

Допускається експлуатація бурильних труб із рівномірним зношенням замків більше допустимого для труб III класу при бурінні свердловин глибиною до 2500 м в неускладнених умовах. При цьому зношення не може перевищувати гранично допустиме для труб III класу більше ніж на 3 мм.

Таблиця 3.1 – Величини допустимого спрацювання замкової різі

Тип і розмір замка	Позначення замкової різі	Число ниток на довжину різі в 1 дюйм	Конусність	Форма профілю	Число обертів при згвинчуванні ніпеля з муфтою за класами			Відстань між упорним виступом ніпеля і муфти в момент посадки за класами, не менше, мм		
					I	II	III	I	II	III
ЗПВ-92	3-73	4	1:6	IV	5	4,3	3,3	31,8	27	21
ЗН-95	3-76	5	1:4	I	4,1	3,5	2,7	21	18	14
ЗПН-105	3-86	4	1:6	IV	5	4,3	3,3	31,8	27	21
ЗН-108	3-88	5	1:4	I	4,1	3,5	2,7	21	18	14
ЗПН-127	3-102	4	1:6	IV	5	4,3	3,3	31,8	27	21
ЗПВ-133	3-108	4	1:6	IV	5	4,3	3,3	31,8	27	21
ЗПН-155	3-133	4	1:6	IV	5	4,3	3,3	31,8	27	21
ЗПК-159	3-122	4	1:6	IV	5	4,3	3,3	31,8	27	21
ЗПК-162	3-133	4	1:6	IV	5	4,3	3,3	31,8	27	21
ЗПК-165	3-133	4	1:6	IV	5	4,3	3,3	31,8	27	21
ЗПК-168	3-133	4	1:6	IV	5	4,3	3,3	31,8	27	21
ЗУК-162	3-133	4	1:6	IV	5	4,3	3,3	31,8	27	21
ЗШК-178	3-147	4	1:6	III	6,2	5,3	4,1	39,4	33	26
ЗПК-190	3-147	4	1:6	III	6,2	5,3	4,1	39,4	33	26

Таблиця 3.2 – Класифікація бурильних труб за зношенням замків

Типорозмір бурильних труб	Тип і розмір замка	Тип замкової різі	Зовнішній діаметр замка при рівномірному зносі за класом, не менше, мм			Зовнішній діаметр замка при нерівномірному зносі за класом, не менше, мм			Мінімальна ширина герметизуючих торців різі, мм
			I	II	III	I	II	III	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТБПВ 73	ЗПВ-92	3-73	92 - 90,5	90,5-89	89-87	92-91	91-90,5	90,5-89,5	6,2
ТБВВК 73	ЗН-95	3-76	95 - 93,5	93,5-92	92-89	95-94	94-93,5	93,5-92	5,2
ТБПН 73	ЗПН-105	3-86	105-103,5	103,5-102	102-100	105-104	104-103,5	103,5-102,5	6,15
ТБВВК 89	ЗН-108	3-88	108-106,5	106,5-104,7	104,7-102	108-107	107-106,4	106,4-105	5,35
ТБПН 89	ЗПН 127	3-102	127-124,5	124,5-122	122-117	127-126	126-124,5	124,5-122	6,2
ТБПВ 102	ЗПВ-133	3-108	133-131,5	131,5-130	130-125	133-132	132-131	131-129	7,35
ТБПН 114	ЗПН-155	3-133	155-152,5	152,5-150,3	150,3-148	155-154	154-152,6	152,6-151,5	6,05
ТБПК 114	ЗПК - 159	3-122	159-154	154-149	149-140	159-156	156-150	150-143,5	7,2
ТБПК 127	ЗПК - 162	3-133	162-159	159-155	155-148	162-160	160-156	156-151,5	6,05
ТБПК 127	ЗПК - 165	3-133	165-159	159-155	155-148	165-160	160-156	156-151,5	6,05
ТБПК 127	ЗПК - 168	3-133	168-159	159-155	155-148	168-160	160-156	156-151,5	6,05
ТБВК 127	ЗУК - 162	3-133	162-159	159-155	155-148	162-160	160-156	156-151,5	6,05
ТБВК 140	ЗШК-178	3-147	178-175	175-172,6	172,6-167	178-177	177-175,3	175,3-172,5	8,25
ТБПК 140	ЗПК-190	3-147	190,5-175	175-172,6	172,6-167	190,5-177	177-175,3	175,3-172,5	8,25

Використана література

1. Сароян А.Е. Основы расчета бурильных колонн. Москва, Недра, 1971. - 175с.
2. Светлаков В.А., Макаров В.Н. О методах исследования процесса развития усталостных трещин при стендовых испытаниях бурильных труб // Куйбышев, Тр. Всесоюз. науч.-исслед. ин-та разработки и эксплуатации нефтепромысловых труб, 1979, вып.11. - С. 86-88.
3. Северинчик Н.А., Копей Б.В. Долговечность и надежность геологоразведочных бурильных труб. М., "Недра", 1979. - 176 с.
4. Копей Б.В. Исследование замковых резьбовых соединений бурильной колонны и создание оборудования для их упрочнения на трубных базах. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. М., МИНХ и ГП им. И. М. Губкина, 1979, 178 с. (рукопись)
5. Копей Б.В. Исследование замковых резьбовых соединений бурильной колонны и создание оборудования для их упрочнения на трубных базах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. М., МИНХ и ГП им. И. М. Губкина, 1979, - 28с.
6. Северинчик Н.А., Копей Б.В., Мигаль И.Г. Выносливость бурильных труб с высаженными концами повышенных групп прочности в коррозионной среде. "Нефтяное хозяйство", №3, 1980, с.19-21.
7. Копей Б.В. Исследование скоростей развития трещин коррозионной усталости в высокопрочных бурильных трубах. РНТС, ВНИИОЭНГ. Сер. "Коррозия и защита в нефтегазовой промышленности", №1, 1981, с.5-7.
8. Копей Б.В. Науково-технологічні методи комплексного підвищення ресурсу деталей свердловинного нафтогазового обладнання. Дисертація на здобуття наук. ступеня доктора техн наук. Івано- Франківськ, 1996 - 478 с.
9. Северинчик Н.А., Масник О.Т., Копей Б.В. Коррозия и коррозионная усталость подземного бурового оборудования. Львов, "Вища школа", издательство при Львовском госуниверситете, 1981, - 144с.
10. Баштанников Л.А., Копей Б.В. Прогнозирование остаточного ресурса бурильных труб с усталостными повреждениями резьбы. ЭИ ВНИИЭгазпрома, сер. "Геология, бурение и разработка газовых месторождений", 1982, №23, с. 4 -7.
11. Копей Б.В., Баштанников Л.А., Панасенко В.Я., Кутенец А.В. Определение причин усталостного разрушения УБТ по анализу поверхностей изломов. "Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений", №21, 1984, с.51-53.
12. Карпаш О.М., Крижанівський Є.І., Криничний П.Я., Мигаль І.Г., Рибчич І.Й., Зінчак Я.М. Неруйнівний контроль труб нафтового сортаменту. Івано-Франківськ.- 2001р., - 380 с.
13. Стандарт організації України. Свердловини на нафту і газ. Попередження та ліквідація аварій при бурінні. - 16 с.

14. Стандарт організації України. Свердловини на нафту і газ. Порядок експлуатації, зберігання, транспортування, відбракування і списання бурових труб. - 34 с.
15. Щербюк Н.Д., Газанчан Ю.И., Барышников А.И. Эксплуатация буровых труб и разрушение резьбовых соединений. // Нефтяная промышленность. Обзорная информация. Сер. Бурение. - М.: ВНИИОЭНГ, 1986. - Вып. 2. - 59 с.
16. Крижанівський Є.І., Копей Б.В. Прогнозування ресурсу бурової колони за параметрами корозійної втоми та швидкістю поширення втомних тріщин. В зб. Фізико-хімічна механіка матеріалів/ Під ред. В.В.Панасюка. – Львів: НАН України, ФМІ ім. Г.В.Карпенко, 2010 – с.409-426.

Наукове видання

АТЛАС зламів елементів бурильної колони

КОПЕЙ Богдан Володимирович
СИЗОНЕНКО Анатолій Вадимович

*Затверджено до друку Вченою радою Івано-Франківського
національного технічного університету нафти і газу*

Комп'ютерна верстка виконана авторами

Дизайн обкладинки виконаний *Шостаківським І. І.*

Видавництво Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу

вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна

тел. (03422) 42453, факс (03422) 42139,

<http://nung.edu.ua>, e-mail: public@nung.edu.ua

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців
ІФ № 18 від 12.03.2003 р.

Підписано до друку _____ Формат **60×84¹/16** Папір офсетний

Ум. друк. арк. _____ Тираж _____ прим. Замовл. № _____