

4. Покрывайло Н.А., Вайн О.Н. и др. Исследование упруговязких свойств полимерных растворов, снижающих сопротивление трения / В кн.: Пограничные слои в сложных условиях. – Новосибирск: ИТФ СО АН СССР, 1984. – С. 139-145.

стрес-коррозия. Причому при транспортуванні газового конденсату трубопроводом корозійне

5. Белкин И.М., Виноградов Г.В., Леонов А.И. Ротационные приборы. Измерения вязкости и физико-механических характеристик материалов. – М., 1968. – С. 41-185.

УДК 622.691/692

КОРОЗІЙНО-МЕХАНІЧНА ПОВЕДІНКА СТАЛІ ПРОМИСЛОВИХ ГАЗОПРОВІДІВ

А.Я.Лопушанський, Л.В.Палійчук, Л.Я.Побережний

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел.(03422) 42353
e-mail: rector@nung.edu.ua, poberezhny@nung.edu.ua

Изучено состояние промышленного трубопровода после длительного периода эксплуатации. Определены главные факторы, влияющие на характер и скорость прохождения процессов внутренней коррозии трубопроводов - наличие ощутимых механических напряжений, химический состав и движение коррозионной среды.

The state of pipeline after the continuance of operation is studied. Major factors are determined, influencing nature and rate of the passage of the processes of the internal corrosion of pipelines - presence of perceptible mechanical stresses, chemical composition and the motion of corrosive environment.

Енергетична незалежність України – один із пріоритетів розвитку її нафтогазового комплексу. Досягнення її неможливе без збільшення видобутку газу та газового конденсату та одночасного зменшення їх втрат на стадії транспортування промисловими трубопроводами від місця видобування до компресорних станцій (КС). Одна із основних причин таких втрат – вихід з ладу трубопроводів через корозійні ураження.

середовище рухається зі швидкістю транспортованого продукту, що, як відомо з літератури, може прискорити швидкість корозійних процесів до 8 разів внаслідок ускладнення пасивації поверхні трубопроводу через погіршення адсорбції пасивних продуктів корозії [1]. Відбувається змивання новоутвореної пасиваційної плівки транспортованим продуктом, і поверхня знову стає вразливою.

Вивчено стан промислового трубопроводу після тривалого періоду експлуатації. Виявлено, що при практично відсутніх корозійних ураженнях зовнішньої поверхні (рис. 1, г) внутрішня корозія практично зруйнувала трубу з середини (рис 1, а, б, в). Також легко помітити, що верхня частина зруйнована більше ніж нижня. На наш погляд, це зумовлено впливом механічного чинника, причому напружений стан неоднорідний.

Об'єктом досліджень вибрано безшовні сталеві труби товщиною стінки 17 мм, які використовуються для будівництва промислових трубопроводів.

Можна зробити висновок, що під дією ґрунтового масиву відбувався поступовий прогин трубопроводу. Верхня внутрішня його частина знаходилася в зоні розтягу, нижня – стиску. Це підтверджує і вигляд корозійних уражень центральної внутрішньої частини. Вона пошкоджена найменше, оскільки знаходиться близько нейтральної лінії, де вплив напружень найменший. Ну і нарешті, зовнішня частина практично неушкоджена.

Для дослідження корозійних процесів під напруженням нами використано розроблену раніше в ІФНТУНГ комп'ютеризовану установку КН-1 [2], створену на базі установки МВ-1К [3]. Випробовування зразків з матеріалу трубопроводів на повітрі та в рідких робочих середовищах проводили в режимі статичного навантаження чистим згином з автоматичною реєстрацією прогину зразка та зміни електродного потенціалу за допомогою ЕОМ, використовуючи 24-бітне аналого-цифрове перетворення.

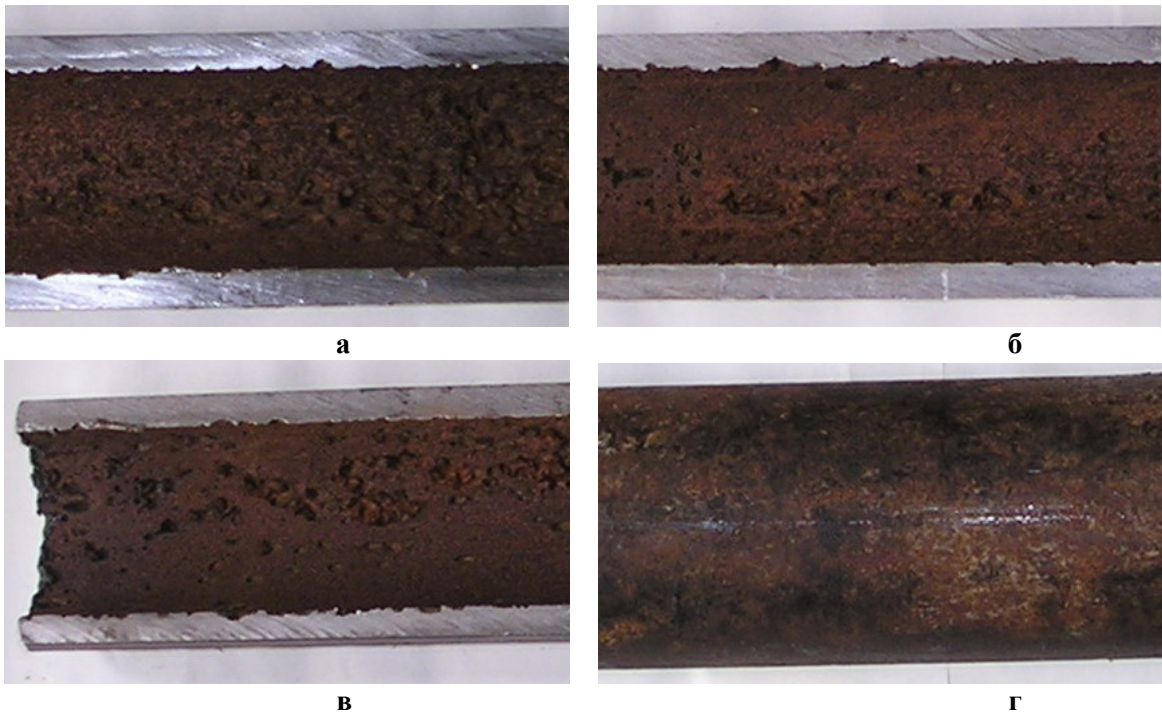
Отже, причина уражень — корозійна дія пластових вод, які потрапляють у трубопровід разом із газовим конденсатом, і пізніше — піддонної води, яка діє на шляху транспортування від місця видобутку до КС, підсилена механічним чинником, іншими словами — внутрішня

З метою якнайточнішого моделювання стрес-корозійних процесів нами проведено аналіз пластових вод та піддонної води на різних стадіях транспортування газового конденсату. На його основі вибрано 3 модельні середовища, які відповідають пластовій воді свердловини, піддонній на стадії транспортування і відбору на компресорній станції (табл. 1).

Тривала дія на метал трубопроводу навантажень та впливів у ґрунтовому масиві викликає різноманітні структурні зміни, в тому числі

деформацію та релаксацію напружень. Тому вивчення закономірностей зміни фізико-механічних властивостей матеріалу трубопроводу в

Експериментальні дослідження явища повзучості, результати яких останнім часом все більше використовуються в інженерних розра-



а – верхня внутрішня частина; б – нижня внутрішня частина; в – середня внутрішня частина; г – зовнішня поверхня

Рисунок 1 — Характер корозійних ушкоджень внутрішньої та зовнішньої поверхонь трубопроводу

Таблиця 1 — Склад модельних середовищ

Модельне середовище (МС)	Походження проби	рН	Концентрація, ммоль/л		
			SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	СГ
1	відбір на КС	6,2	2,8	4,8	4,0
2	пластова вода МПКГ-4	6,0	3,6	7,6	5,1
3	піддонна вода	6,1	7,5	5,3	5,1

процесі тривалої експлуатації дасть змогу точніше прогнозувати залишковий ресурс роботи наявних трубопроводів. В сучасних умовах, коли значна частина трубопроводів експлуатується 15-20 років і близька, за попередніми даними, до вичерпання свого ресурсу роботи, вивчення їх корозійно-механічної поведінки є актуальним науковим завданням [4].

Для побудови номінальних діаграм деформації використовували безпосереднє ступінчасте навантаження (розвантаження) зразка (рис. 2) чистим згином, коли зі зменшенням опірності зразка навантаження, що передається на нього, не зменшується [5, 6].

При збільшенні чи зменшенні навантаження на один ступінь номінальні напруження змінювалися на величину $\Delta\sigma = 20$ МПа за час $t_{н-р} = 1$ с. Час витримки на кожному ступеню становив $t_b = 19$ с, а сумарний час $\Delta t = t_{н-р} + t_b = 20$ с. Такий режим навантаження дає змогу врахувати відставання деформації від напруження в часі і поглиблено вивчати процеси деформаційного зміцнення та повзучості [7].

хунках та при оптимізації конструкцій трубопроводів, проводяться переважно при розтягу. В умовах неоднорідного напруженого стану при $T \leq 293$ К повзучість матеріалу промислових трубопроводів вивчена недостатньо, в основному теоретично, хоча відомо, що при зміні умов навантаження трубних сталей спостерігаються різноманітні деформаційні ефекти, а будь-яке теоретичне прогнозування можна вважати коректним тільки тоді, коли воно має експериментальне підтвердження.

Повзучість часто розглядають як повільну текучість металу. Як відомо, в основі теорії пластичного течіння лежить уявлення про поверхню текучості. В процесі статичного згину відбувається закономірне переміщення поверхні текучості, тобто її еволюція.

Характерні криві повзучості в координатах приріст повзучості $\Delta\varepsilon_p$ – час t зображено на рис. 3. Тривалість випробовувань на повітрі визначалася характером та кінетикою процесу у кожному окремому випадку, що дало змогу за відносно короткий час виконати серію експе-

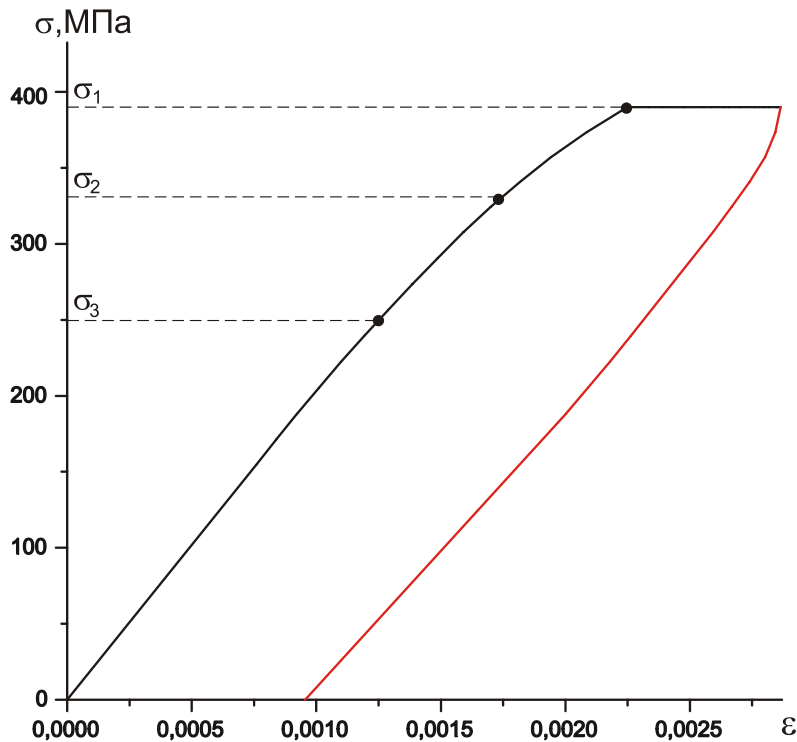


Рисунок 2 — Номінальна діаграма деформації зразків сталі трубопроводу на повітрі

Таблиця 2 — Фізико-механічні характеристики матеріалу трубопроводу у модельних середовищах

Характеристики матеріалу	Середовище			
	Повітря	МС1	МС2	МС3
Модуль Юнга $E \cdot 10^{-5}$, МПа	2,023	2,064	2,063	1,97
Границя текучості, МПа	250	245	245	245
Границя міцності, МПа	410	400	400	400

риментів та визначити параметри області низькотемпературної повзучості (ОНП).

Загальний приріст деформації $\Delta \epsilon$ за час t для даного діапазону напружень можна визначити за формулою

$$\Delta \epsilon = \Delta \epsilon_{пр} + \Delta \epsilon_{пл} + \Delta \epsilon_{п}$$

де: $\Delta \epsilon_{пр}$ та $\Delta \epsilon_{пл}$ – відповідно прирости пружної та пластичної деформації при досягненні заданого рівня напружень; $\Delta \epsilon_{п}$ – приріст повзучості.

Встановлено також, що повзучість основного металу у корозійно-активному середовищі, як і на повітрі, носить стадійний характер (рис. 4 – 6). Вплив середовища відчутний як на стадії неусталеної, так і на стадії усталеної повзучості. Як показали наші дослідження, найбільшу схильність до низькотемпературної корозійної повзучості сталь трубопроводу проявляє у МС2, найменшу – у МС3 (табл. 1)

Тривалість першої стадії більше залежить від величини номінальних напружень та менше – від хімічного складу середовища (рис. 4 – 6).

Вивчення залежностей приросту корозійної повзучості від величини номінальних напружень та хімічного складу середовища (рис. 7) дає підстави зробити висновок, що най-

більший їх синергічний вплив спостерігається МС2, найменший – у МС1.

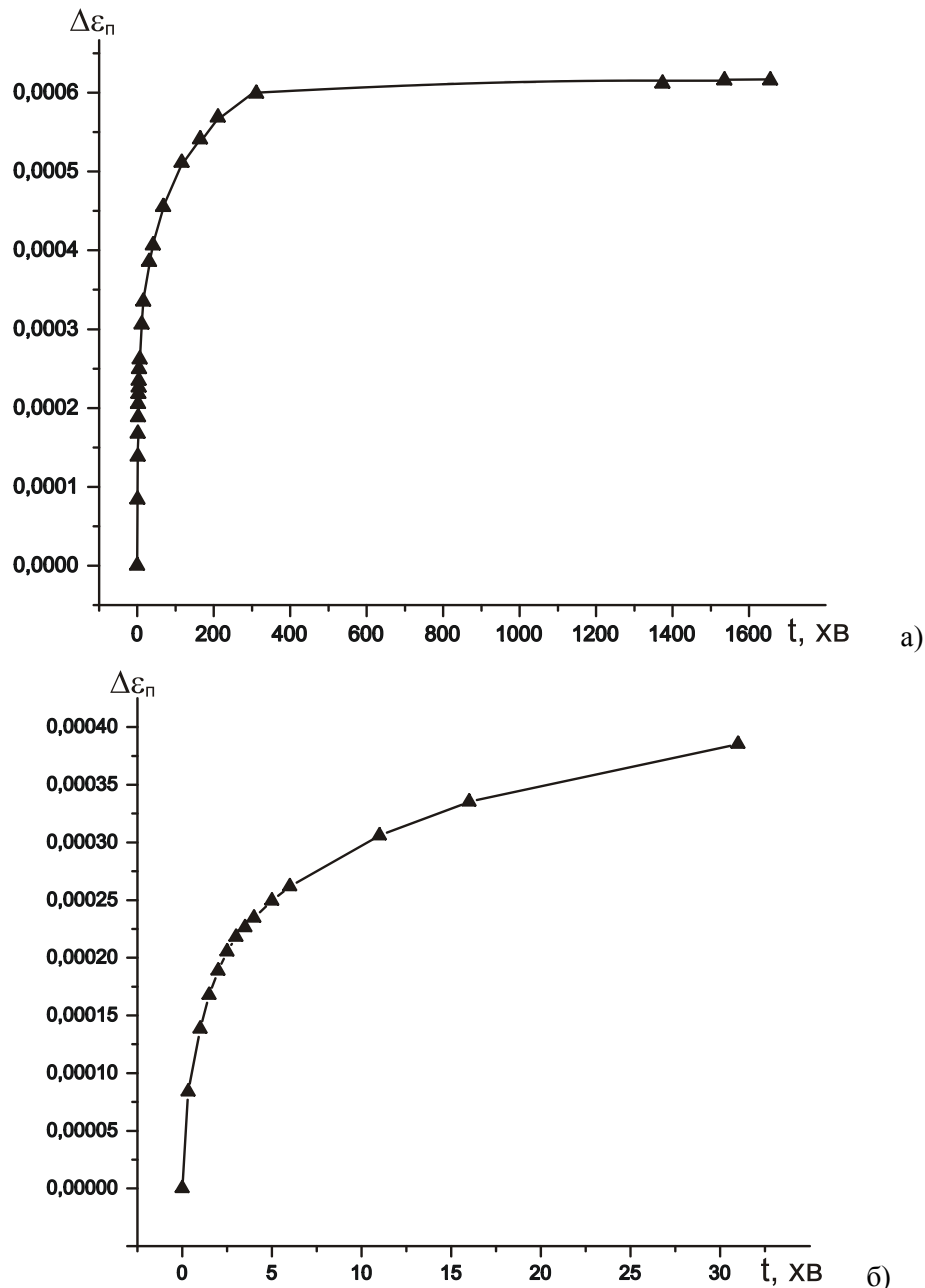
Гобто, найбільша небезпека втрати несучої здатності трубопроводу в процесі експлуатації є у МС2, яке відповідає пластовій воді свердловини (табл. 1).

З метою кращого вивчення хімізму процесу внутрішньої стрес-корозії сталі трубопроводу та визначення найбільш небезпечного з хімічної точки зору експлуатаційного середовища нами досліджено кінетику електродного потенціалу. Відомо, що чим нижчий потенціал металу та чим швидший процес розблагородження, тим більша ймовірність перебігу корозійних процесів і відповідно небезпека виникнення корозійних уражень.

Залежність електродного потенціалу зразків від хімічного складу середовища при різних номінальних напруженнях показана на рис. 8 – 10.

Як бачимо, тут теж проявляється синергічна дія корозійно-активного середовища та прикладених механічних напружень.

Щоб зробити висновок про агресивність кожного з середовищ, порівняємо швидкості розблагородження електродного потенціалу



а) загальна стадія; б) початкова стадія; $T = 293\text{ K}$; $\sigma = 390\text{ МПа}$

Рисунок 3 — Кінетика повзучості сталі трубопроводу на повітрі

сталі трубопроводу у них. З рис. 7-9 бачимо, що при $\sigma = 1,6 \sigma_{0,2}$ швидкість розблагородження у МС1 та МС2 практично рівна, з невеликою перевагою у МС2, у МС3 вона відчутно менша.

Тепер вивчимо вплив на процес розблагородження механічного чинника. Порівняємо кінетику електродного потенціалу при $\sigma = 1,6 \sigma_{0,2}$, $1,35 \sigma_{0,2}$ та $1,05 \sigma_{0,2}$. Бачимо, що зі зменшенням рівня номінальних напружень швидкість процесу розблагородження у МС2 практично незмінна, тоді як в МС3 та особливо в МС1 вона відчутно зменшується.

Отже, МС2 є найбільш небезпечним з хімічної точки зору середовищем, оскільки процес розблагородження у ньому контролюється корозійним чинником. Це означає, що навіть при

мінімальному рівні механічних напружень корозія буде проходити досить інтенсивно.

У МС1 спостерігаємо змішаний контроль із акцентом на механічний чинник. З хімічної точки зору це, умовно кажучи, найбезпечніше з наших середовищ.

У МС3 ситуація практично аналогічна, але саме розблагородження менш інтенсивне. За корозійною активністю воно займає проміжне місце.

Залежність стабілізаційного потенціалу сталі трубопроводу від її напружено-деформованого стану ілюструє рис. 11.

Для того, щоб перевірити зроблені висновки і визначити реальний ступінь небезпеки при експлуатації трубопроводу у кожному з трьох

МС, нами вивчено кінетику корозійних процесів в них і визначено швидкості корозії та зменшення товщини стінки труби. Відповідні криві представлено на рис. 12 – 13.

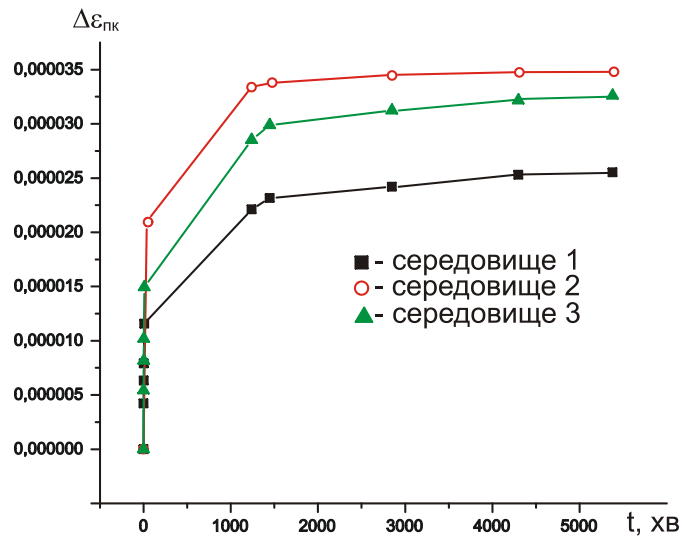


Рисунок 4 — Повзучість матеріалу трубопроводу при величині номінальних напружень 250 МПа

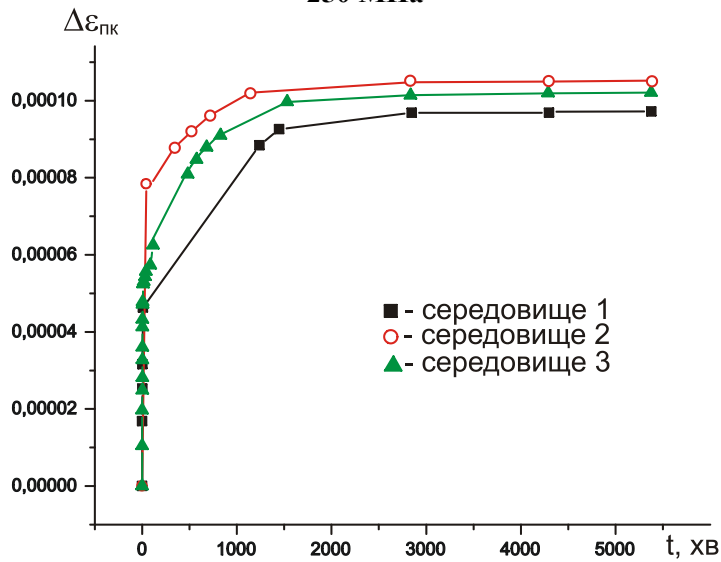


Рисунок 5 — Криві повзучості матеріалу трубопроводу при величині номінальних напружень 335 МПа

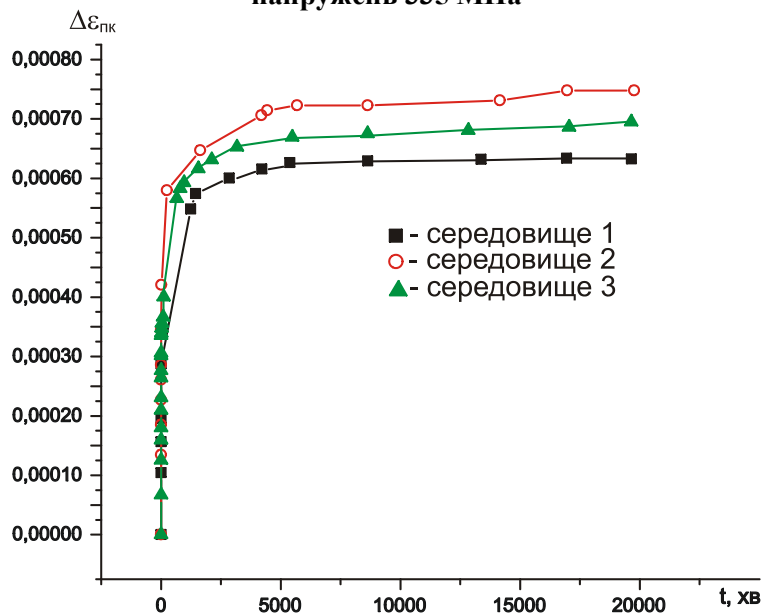


Рисунок 6 — Кінетика повзучості матеріалу трубопроводу при величині номінальних напружень 390 МПа

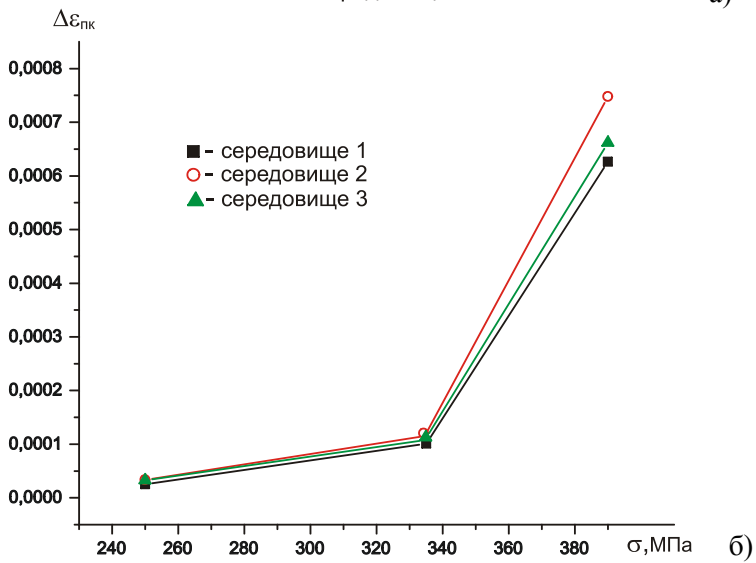
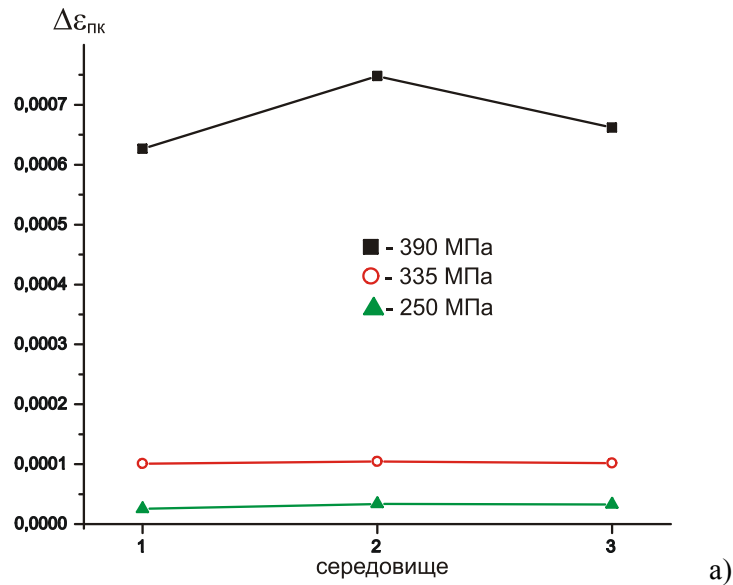


Рисунок 7 — Залежність приросту повзучості від рівня напружень (а) та хімічного складу середовища (б);
t = 5000 хв

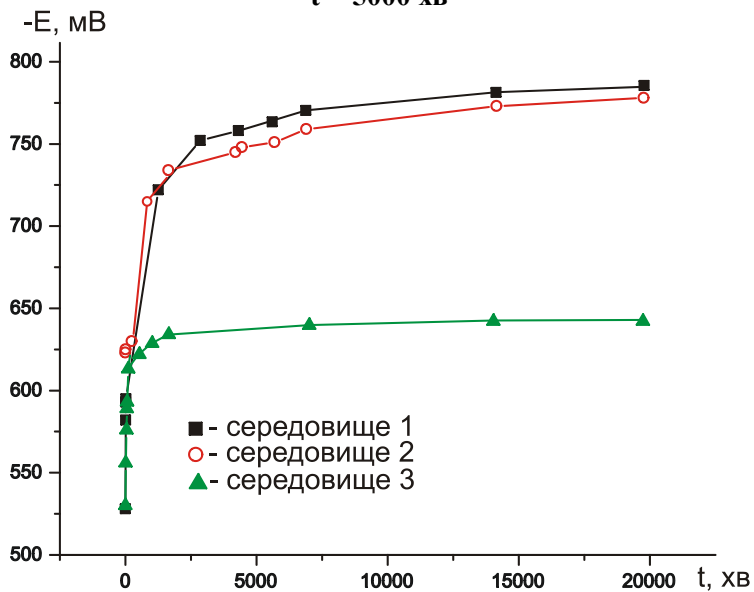


Рисунок 8 — Криві „потенціал-час” при $\sigma = 1,6 \sigma_{0,2}$ у модельних середовищах

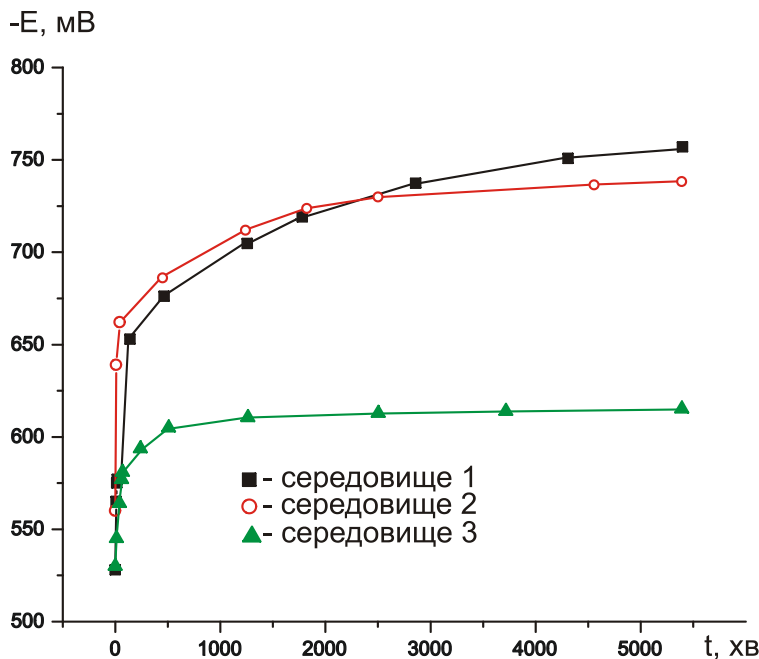


Рисунок 9 — Криві „потенціал-час” при $\sigma = 1,35 \sigma_{0,2}$ у модельних середовищах

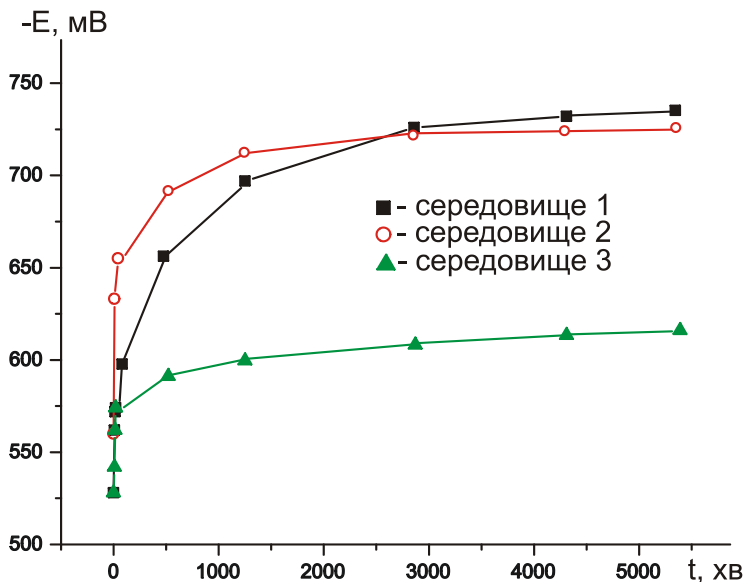


Рисунок 10 — Криві „потенціал-час” при $\sigma = 1,05 \sigma_{0,2}$ у модельних середовищах

Як ми і прогнозували, виходячи із кінетики потенціалу, найбільша швидкість спостерігається у МС2, найменша – у МС1. Низька швидкість корозії у останньому підтверджує наше припущення, що швидке зменшення електродного потенціалу у МС1, головним чином, пов’язане із процесами пластичного течіння у сталі трубопроводу, яке неминуче супроводжується утворенням ювенільних поверхонь та субмікротріщин, свіжоутворена поверхня яких має набагато нижчий потенціал, а також найбільшим відносним вмістом хлорид-іонів, які перешкоджають її швидкій пасивації.

Щодо зменшення товщини стінки трубопроводу, то тут бачимо (рис. 13), що навіть при мінімальному рівні напружень воно може сягати від 0,125 до 1,25 мм/рік залежно від хімічно-

го складу середовища та рівня номінальних напружень.

Залежності загальної швидкості корозії та зменшення товщини стінки трубопроводу від σ наведено на рис. 14 та 15.

Встановлено, що із збільшенням величини номінальних напружень від $1,05 \sigma_{0,2}$ до $1,6 \sigma_{0,2}$ збільшення загальної швидкості корозії у модельних середовищах може сягати 25 %.

Таким чином, механічним чинником ні в якому разі не можна нехтувати при розрахунку залишкового ресурсу наявних трубопроводів та проектуванні нових.

Необхідно також враховувати постійний інтенсивний рух корозійного середовища, при якому:

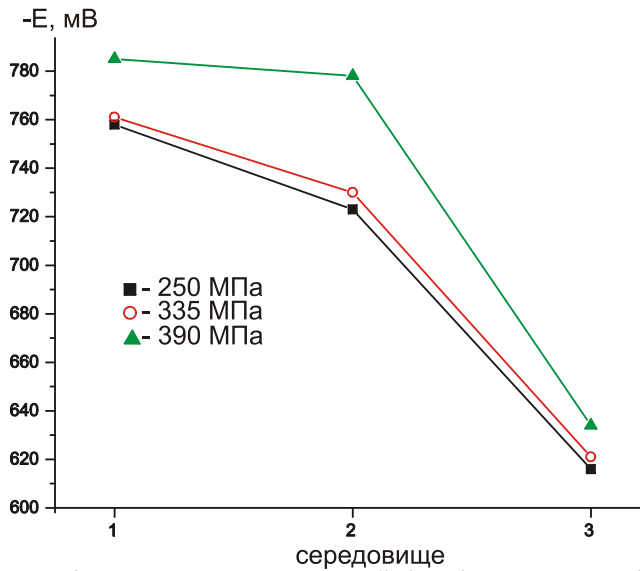


Рисунок 11 – Вплив механічного чинника на стабілізаційний потенціал сталі трубопроводу

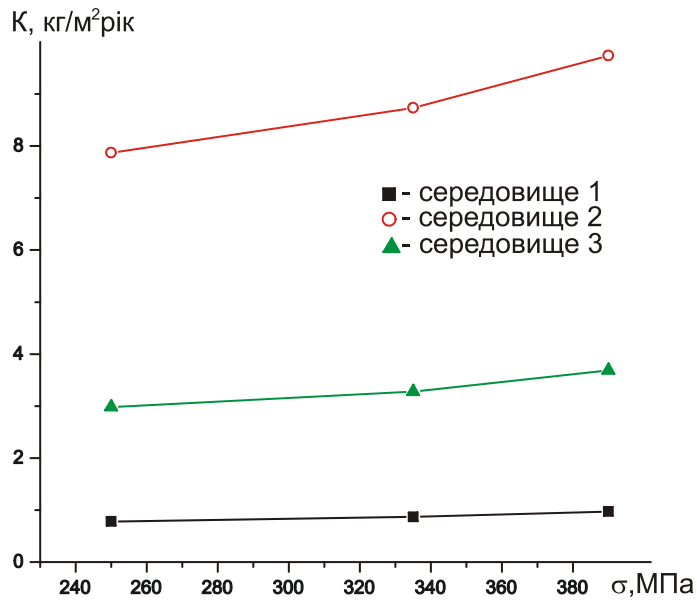


Рисунок 12 – Залежність швидкості корозії від хімічного складу середовища

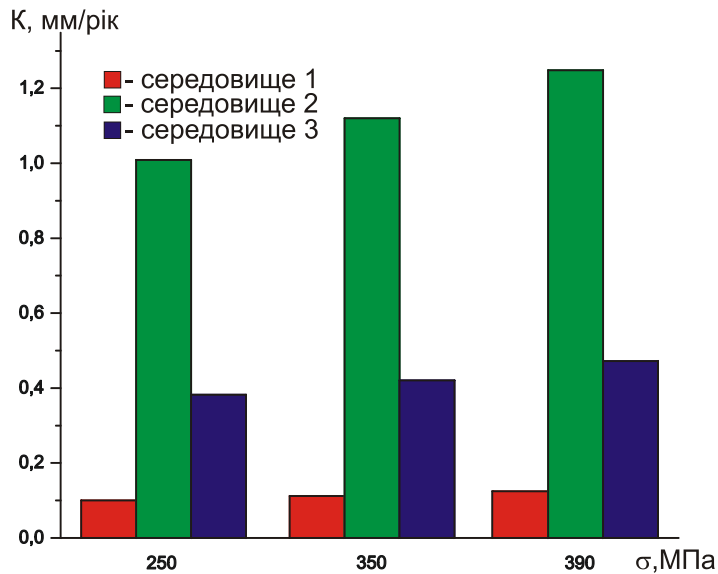


Рисунок 13 – Залежність зменшення товщини стінки трубопроводу від хімічного складу середовища

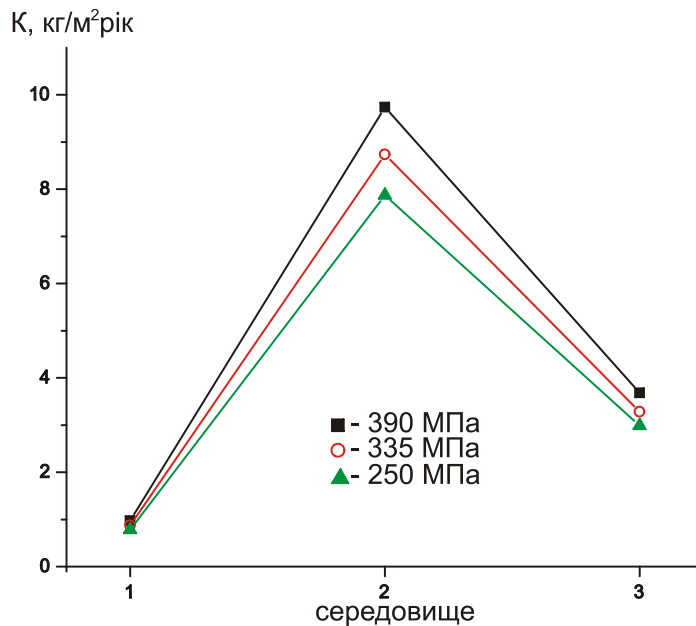


Рисунок 14 – Залежність зменшення товщини стінки трубопроводу від рівня номінальних напружень

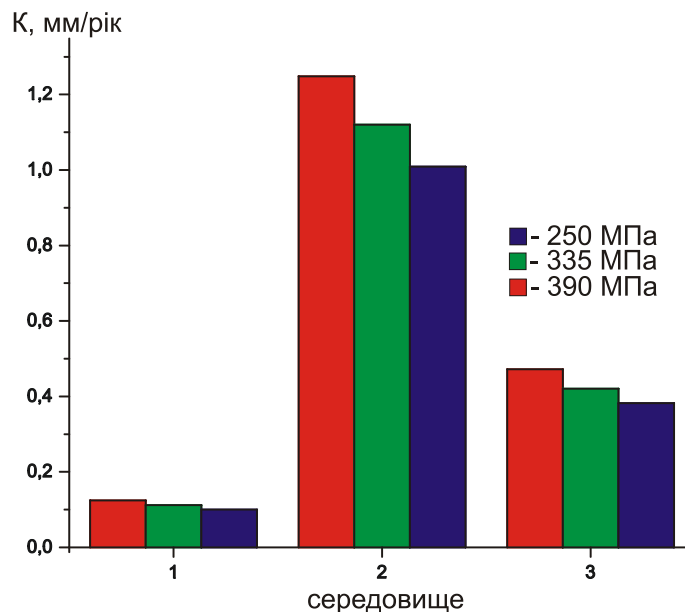


Рисунок 15 – Залежність зменшення товщини стінки трубопроводу від рівня номінальних напружень

- проходить постійне змивання нерозчинних продуктів корозії, тобто погіршується пасивація поверхні;

- проявляється схильність до локалізації корозійних процесів через те, що початково уражене місце не може пасивуватись, а тому постійно має менший потенціал від сусідніх неуражених ділянок;

- утворюється гальванічний елемент, у якому уражена ділянка стає анодом, а неуражена – катодом.

- швидкість локальної корозії може в 2–8 разів перевищувати загальну.

Враховуючи, що за несприятливих умов, які ми обов'язково повинні враховувати, механічний чинник та чинник руху середовища бу-

дуть взаємно підсилювати корозійні процеси, нескладно підрахувати, що швидкість локальної корозії і відповідно величина зменшення товщини стінки можуть збільшитися в 2,5 – 10 разів порівняно із наведеними на рис. 12-15.

Отримані нами результати дають змогу коректніше і точніше прогнозувати ресурс та залишковий ресурс промислових трубопроводів з урахуванням впливу механічного та корозійного чинників.

Підсумовуючи результати механічних та корозійно-механічних досліджень, можна зробити такі висновки.

1. Визначено основні чинники, які зумовлюють характер та швидкість перебігу процесів внутрішньої корозії трубопроводів, а саме:

наявність відчутних механічних напружень, хімічний склад та рух корозійного середовища.

2. Показано, що найбільш небезпечним в корозійному плані є МС2 (пластова вода), тобто найбільша ймовірність виходу з ладу трубопроводу існує на першій ділянці транспортування – в безпосередній близькості від свердловини.

3. Виявлено, що навіть в найбільш безпечному середовищі (МС1 (відбір на КС)) швидкість корозії досить значна, і зменшення товщини стінки з урахуванням локалізації процесу та може становити від 1 до 1,25 мм/рік.

Література

1. Тодт Ф. Коррозия и защита от коррозии: Пер. с нем. – М.-Л.: Химия, 1966. – 847 с.

2. Гончарук М.І., Крижанівський Є.І., Побережний Л.Я. Корозійно-механічна поведінка металу газопроводу // Науковий вісник Національного технічного університету нафти і газу. – 2003. – № 1(5). – С. 54-59.

3. Крижанівський Є.І., Побережний Л.Я., Ровінський В.А. Удосконалена автоматизована випробувальна система з ЕОМ для дослі-

более глубокого исследования сущности процессов, происходящих при изнашивании и определения коррозийно-механического руйнування // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2002. – Вип. 1 (12). – С. 292-294

4. Скрипник І. Д. Розробка методів оцінки деградації конструкційних матеріалів та їх довговічності в агресивному середовищі під тривалим статичним навантаженням: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 01.02.04 / НАН України, Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка. – Львів, 2000. – 39 с.

5. Соппротивление материалов деформированию и разрушению. Справочное пособие / Под ред. В.Т.Трошенко. – К.: Наук. думка, 1994. – 701 с.

6. Механическое поведение материалов при различных видах нагружения / В.Т.Трошенко, А.А.Лебедев, В.А.Стрижало, Г.В.Степанов, В.В.Кривенюк. – К.: Логос, 2000. – 571 с.

7. Бойл Дж., Спенс Дж. Анализ напряжений в конструкциях при ползучести. – М.: Мир, 1986. – 360 с.

УДК 621.91.02:621

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА АЛМАЗНЫХ БУРОВЫХ ДОЛОТ. 1. СВОЙСТВА, КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСОБЕННОСТИ РАССМАТРИВАЕМОЙ ПРОБЛЕМЫ

¹Н.А.Бондаренко, ²А.Н.Жуковский, ¹В.А.Мечник

¹ Институт сверхтвердых материалов им. В.Н.Бакуля НАН Украины,
Киев, ул. Автозаводская, 2, тел. (044) 4675625, e-mail: bond@ism.kiev.ua

² Институт математики НАН Украины,
Киев, ул. Терещенковская, 3, тел. (044) 2346322

Исследованы структурное состояние и основные свойства буровых вставок составов алмаз-твердый сплав ВК6 и алмаз-твердый сплав ВК6 с добавками CrB_2 – W_2B_5 , полученных методом горячего прессования. Показано, что износ композитов обусловлен сочетанием целого ряда факторов – химическим составом и предысторией входящих веществ, прочностью контакта алмаз-матрица, гомогенностью зеренной структуры, природой напряженного состояния в матрице и в окрестности алмаза, физико-химическими процессами происходящими при спекании, условиями взаимодействия рабочей поверхности с забоем скважины и формой профиля долота. Рассмотрены особенности постановки задачи износа долота с учетом специфики сверхтвердого композита и условий бурения.

The structure state and basic properties of the hot-pressed drilling bit inserts made of WC+6Co hard alloy matrix – diamond composite with and without CrB_2 – W_2B_5 additions have been investigated. It has been shown that wear of the composite is governed by a number of factors including chemistry and prehistory of components, strength of the diamond-matrix interface, homogeneity of granular structure, nature of stress state in the matrix and around the diamond grain, physical and chemical processes during the sintering, the well bottom – tool interaction conditions and the drilling bit profile. The peculiarities are considered of the drilling bit wear problem statement taking account of the specificity of super hard composites and drilling conditions.

1. Актуальность проблемы. Перспектива создания буровых долот из сверхтвердых композиционных алмазосодержащих материалов (СКАМ), совершенствование технологии, расширение областей их использования требует

деления превалирующих факторов, влияющих на их протекание. В связи с актуальностью данной проблемы начали проводиться систематические исследования изнашивания СКАМ и инструментов на их основе с целью установ-