

УДК 620.194.22

Л. І. НИРКОВА

АНАЛІЗ ВПЛИВУ КОМБІНАЦІЇ СТРЕС-КОРОЗІЙНИХ ЧИННИКІВ НА КОРОЗІЙНЕ РОЗТРИСКУВАННЯ ВІД НАПРУЖЕННЯ ТРУБНОЇ СТАЛІ ПРИ рН, БЛИЗЬКИХ ДО НЕЙТРАЛЬНИХ

Досліджено корозійно-механічні властивості трубної сталі типу X70 в умовах комбінації чинників, за яких можливо корозійне розтріскування від напруження (КРН). Встановлено, що при потенціалі корозії, накопичених напруженнях у присутності локального осередку корозії (ЛОК) трубна сталь проявляє схильність до КРН за змінного змочування, яке не проявляється при повному зануренні. Змінне змочування за потенціалу -1,0 В в деякому ступені може прискорювати процес КРН. Схильність до КРН сталі з накопиченим рівнем напружень та ЛОК однакова як при повному, так і при змінному змочуванні, що вказує на превалюючий вплив на процес КРН катодного потенціалу та ЛОК порівняно із змінним змочуванням.

Ключові слова: корозійне розтріскування від напруження, трубна сталь, потенціал, стрес-корозійні чинники.

Исследованы коррозионно-механические свойства трубной стали типа X70 в условиях комбинации факторов, вызывающих коррозионное растрескивание под напряжением (КРН). Установлено, что при потенциале коррозии, при накопленном уровне напряжений в присутствии локального очага коррозии (ЛОК) трубная сталь проявляет склонность к КРН при переменном смачивании, что не проявляется при полном погружении. Переменное смачивание при потенциале -1,0 В в некоторой степени способствует ускорению процесса КРН. Склонность к КРН стали с накопленным уровнем напряжений и ЛОК одинакова как при полном, так и при переменном смачивании, что указывает на превалирующее влияние на процесс КРН катодного потенциала и ЛОК по сравнению с переменным смачиванием.

Ключевые слова: коррозионное растрескивание под напряжением, трубная сталь, потенциал, стресс-коррозионные факторы.

Corrosion-mechanical properties of pipe steel X70 in model soil electrolyte (MSE) under influence of different combination of factors were investigated. It was established that factors which led to stress-corrosion cracking (SCC), are corrosion environment, applied loads (stretching and cyclic) and cathodic potential. The presence of local corrosion defect (LCD) and variable moistening may promote in some extent SCC process. For example, under variable moistening by MSE at corrosion potential the pipe steel specimens with accumulated cyclic stress and LCD demonstrate the inclination to SCC, which don't occur at full immersion. At applied cathodic potential -1,0 V both at full immersion and at variable moistening pipe steel specimens in the initial state, with accumulated cycle stress without LCD and with accumulated cycle stress and LCD show the inclination to SCC. It should be noted that inclination to SCC of pipe steel with accumulated cyclic stress and in the presence of LCD is practically identical both at full immersion and at variable moistening, that indicate on prevail influence of cathode potential and LCD over variable moistening.

Keywords: stress-corrosion cracking, pipe steel, potential, stress-corrosion factors

Вступ. Аналізуючи досвід експлуатації магістральних газопроводів (МГ), можна виділити три найбільш значущі причини їх руйнування: корозійний знос, втома, корозійне розтріскування від напруження (КРН). Корозійне розтріскування від напруження розвивається із зовнішньої поверхні труби, що знаходиться в умовах катодного захисту, під покривом, що відшарувалося, у присутності ґрунтових електролітів, які містять карбонати і бікарбонати, зовнішніх і внутрішніх механічних напружень, що виникають при експлуатації газопроводів і виробництві труб [1].

Досвід експлуатації МГ показує, що КРН розвиваються навіть при належному функціонуванні системи катодного захисту як на прямошовних, так і на спіральшовних трубах з плівковою та гумовобітумною ізоляцією, в місцях її дефектів і відшарувань. Стосовно МГ термін КРН використовують для опису руйнувань металу труб, що відбуваються внаслідок повільного розвитку тріщин у процесі тривалої експлуатації.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Чинниками КРН, яким приділяють увагу сучасні вітчизняні та закордонні дослідники, є: рН середовища [2, 3], стан захисного покриву [4, 5], значення потенціалу катодного захисту [6, 7], особливості мікроструктури [8, 9], технологія виготовлення труби [10], нерівноважні термодинамічні процеси під дією терморушійних сил [11, 12] тощо.

В роботі [13] розглянуто чинники, присутність яких сприяє стрес-корозійному розтріскуванню МГ, яким присвоєно рекомендовані вагові коефіцієнти, наприклад: стан захисного покриву – 0,25; рівень ґрунтових вод – 0,20; змінне змочування поверхневими та внутрішньогрунтовими водами – 0,20; напружено-деформований стан МГ на ділянці – 0,15; тип ґрунту – 0,1; корозійна агресивність ґрунту – 0,05; магнітні

аномалії, виявлені з поверхні землі – 0,05. Сума вагових коефіцієнтів перерахованих чинників дорівнює 1.

Як видно з цих даних стану захисного покриву, змінному змочуванню та напружено-деформованому стану відповідають найбільші вагові коефіцієнти, і, імовірно ці чинники можна вважати найбільш вагомими. Але слід відмітити, що в переліку відсутній катодний потенціал, який, як показав досвід експлуатації МГ, може суттєво впливати на механізм КРН. Наприклад, для трубної сталі типу X70 за катодної поляризації при рН, близьких до нейтрального, існує критичний діапазон потенціалів (від -730 мВ до -920 мВ (відносно стандартного каломельного електроду), в якому реакція анодного розчинення може перебігати за катодної поляризації: якщо поляризаційний потенціал знаходиться в цій області, КРН перебігає за сумісного впливу обох механізмів [14]. Звичайно процес КРН перебігає за сумісного впливу кількох чинників одночасно, тому робота, в якій досліджено різні комбінації стрес-корозійних чинників є актуальною

Ціль та задачі дослідження. Мета роботи полягала в дослідженні впливу комплексу стрес-корозійних чинників у різній їх комбінації на схильність трубної сталі до КРН та визначенні такої, при якій схильність найвища. Задача досліджень містилася в обґрунтуванні вибору стрес-корозійних чинників та аналізі їх впливу на КРН. Для досягнення сформульованої мети поставлено та виконано такі завдання:

– проаналізовано зовнішні та внутрішні чинники КРН;

– досліджено та оцінено схильність трубної сталі до КРН при різній комбінації цих чинників в лабораторних умовах в розчинах з рН, близькими до нейтральних.

© Л. І. Ниркова. 2017

Матеріали та методи досліджень схильності трубної сталі до КРН в лабораторних умовах. Дослідження проводили на зразках трубної сталі типу Х70, виготовлених з труби діаметром 1420 мм з товщиною стінки 15,7 мм такого хімічного складу (у ваг. %): 0,095 С, 1,39 Мн, 0,255 Si, 0,005 S, 0,017 Р, 0,032 Al, 0,04 Ni, 0,03 Мо, 0,004 Ti, 0,05 V, 0,027 Nb, 0,04 Cr. Механічні характеристики сталі: тимчасовий опір розриву $\sigma_b = 588$ МПа, границя текучості $\sigma_T = 441$ МПа.

Робочим розчином слугував модельний ґрунтовий електроліт (МГЕ) складу, г/л:

0,037 KCl + 0,559 NaHCO₃ + 0,008 CaCl₂ + 0,089г/л MgSO₄, рН 8,0, [18]

з додаванням буферного розчину у співвідношенні 9:1, рН 8,2. Буферний розчин готували на дистильованій воді згідно з [15] змішуванням в потрібному співвідношенні гідрофосфатів натрію і калію – $1/15$ М Na₂HPO₄·2H₂O та $1/15$ М KH₂PO₄.

Потенціал вимірювали відносно хлорсрібного електроду порівняння на потенціостаті ПИ-50. Порівняльні дослідження схильності до КРН проводили методом деформації з повільною швидкістю 10^{-6} м/с плоских зразків на розривній машині АИМА-5-1. Під час корозійно-механічних випробувань контролювали такі показники: подовження зразка ΔL , час до руйнування τ , площа перерізу зразка в місті руйнування

S , відносне звуужування Ψ ($\Psi = \frac{S_0 - S}{S_0}$, де S_0 і S –

площа поперечного перерізу зразка до та після випробувань, відповідно). Схильність сталі до КРН оцінювали за коефіцієнтом K (безрозмірна величина), яку обчислювали, як відношення відносного звуужування зразка під час випробувань у повітрі до відносного

звуужування у розчині – $K = \frac{\Psi_n}{\Psi_p}$. Вважали, якщо при

будь-якій комбінації чинників обчислене значення коефіцієнту $K \geq 1,6$ і в руйнуванні присутня крихка складова, сталь є схильною до КРН; якщо $K < 1,6$ і злам в'язкий – не схильна.

Результати аналізу стрес-корозійних чинників та лабораторних досліджень схильності трубної сталі типу Х70 до КРН при їх різній комбінації. Як було зазначено вище, КРН розвивається в умовах сумісної дії корозійно-активного середовища, активного

та пасивного захисту та напружень, що розтягують. Чинники, які залежать від марки трубної сталі, технології виробництва труби, рівня навантажень є внутрішніми; від умов пролягання МГ, агресивності ґрунтових вод, рівня потенціалу катодного захисту – зовнішніми.

Для газопроводів України характерним є КРН при рН, близьких до нейтральних. Найбільша кількість стрес-корозійних дефектів, як відомо з досвіду експлуатації МГ, утворюється при переходах через річки, в ярах, заболоченій місцевості та на ділянках зі змінним змочуванням. Для відтворення таких умов дослідження проводили при змінному змочуванні зразків розчином за схемою 10 хв у повітрі, 50 хв у розчині.

Вплив напружень на МГ під час експлуатації моделювали попереднім циклюванням зразків в повітрі в діапазоні граничних напружень від $0,4\sigma_T$ до $0,8\sigma_T$ з частотою 10 Гц впродовж 10^5 циклів. З досвіду експлуатації МГ також відомо, що стрес-корозійна тріщина починається від локальних корозійних дефектів, тому для прискорення її ініціювання та відтворення механізму локального анодного розчинення в лабораторних умовах на зразку трубної сталі моделювали локальний осередок корозії (далі ЛОК) V-подібної форми глибиною від 0,25 мм до 0,3 мм, який наносили на одну з поверхонь зразка механічним способом. Робили припущення, що стан зразка з накопиченими напруженнями та змодельованим ЛОК можна порівнювати зі станом експлуатованого МГ.

Вплив електрохімічного захисту моделювали наведенням потенціалу катодного захисту, який знаходився в діапазоні захисних поляризаційних потенціалів згідно з ДСТУ 4219 від -0,85 В до -1,15 В (відносно мідно-сульфатного електроду порівняння, що відповідає діапазону потенціалів від -0,75 В до -1,05 В відносно хлорсрібного).

Дослідження проводили за таких умов. Комбінацію внутрішніх чинників (хімічний склад сталі та технологія виробництва труби, рівень накопичених циклічних напружень, наявність локального осередка корозії) обирали однаковою. Варіювали зовнішні чинники: тривалість контакту із середовищем (повне занурення або змінне змочування) і значення потенціалу. Досліджено чотири комбінації чинників, які описано в табл. 1. Там же наведено результати корозійно-механічних випробувань зразків трубної сталі типу Х70 у повітрі та у розчині при цих комбінаціях чинників, фото зламу зразків – на рис. 1.

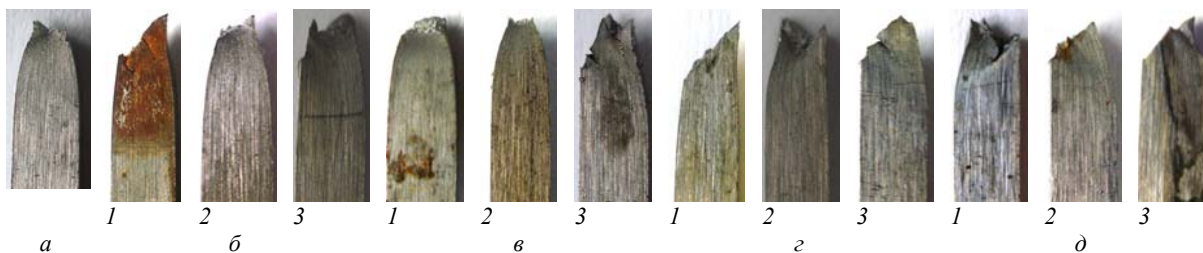
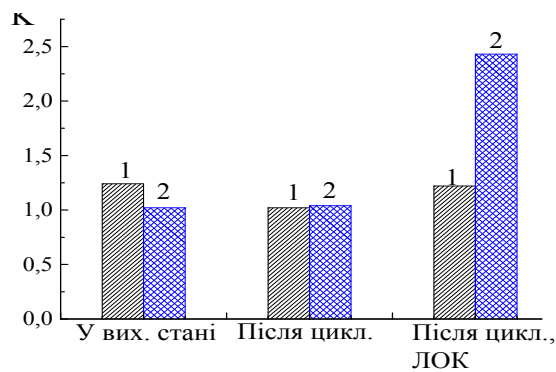


Рис. 1 – Фотографії зламу зразків трубної сталі типу Х70 у повітрі та у модельному ґрунтовому електроліті за різних потенціалів: а – у повітрі; б, в – при повному змочуванні розчином; г, д – при змінному змочуванні; б, в – за потенціалу корозії, г, д – за потенціалу -1,0 В; 1 – у вихідному стані; 2 – після циклювання, 3 – після циклювання з ЛОК

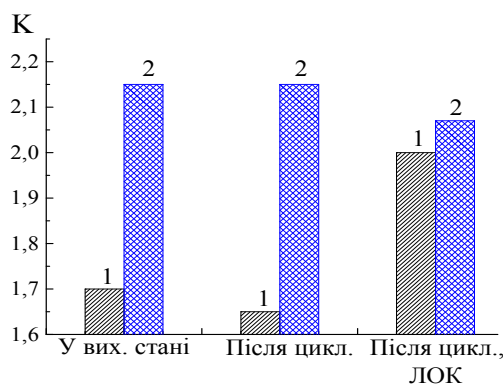
Таблиця 1 – Корозійно-механічні властивості зразків трубної сталі типу Х70 у повітрі та у розчині за різної комбінації стрес-корозійних чинників

Комплекс чинників	τ , год.	ΔL , м	S , мм ²	Ψ %	K	Характер руйнування
Вихідний стан, повітря	19,5	0,00582	3,97	56	-	В'язкий
Вихідний стан, розчин, E_k	18,3	0,00497	4,97	45	1,24	В'язкий
Циклювання, розчин, E_k	17,0	0,00466	4,02	55	1,02	В'язкий
Циклювання, ЛОК, розчин, E_k	10	0,00292	4,69	46	1,22	В'язкий
Вихідний стан, змінне змочування, E_k	21	0,00592	4,05	55	1,02	В'язкий
Циклювання, змінне змочування, E_k	19	0,0061	4,14	54	1,04	В'язкий
Циклювання, ЛОК, змінне змочування, E_k	9	0,00204	6,97	23	2,43	Крихкий, в'язкий долом
Вихідний стан, розчин, -1,0 В	18,0	0,00505	6,07	33	1,7	Крихкий, в'язкий долом
Циклювання, розчин, -1,0 В	17,0	0,00507	5,94	34	1,65	Крихкий, в'язкий долом
Циклювання, ЛОК, розчин, -1,0 В	2,5	0,00051	6,5	28	2,00	Крихкий, в'язкий долом
Вихідний стан, змінне змочування, -1,0 В	14,5	0,00426	6,67	26	2,15	Крихкий, в'язкий долом
Циклювання, змінне змочування, -1,0 В	16	0,00468	6,62	26	2,15	Крихкий, в'язкий долом
Циклювання, ЛОК, розчин, змінне змочування, -1,0 В	7,5	0,00262	6,53	28	2,00	Крихкий, в'язкий долом

Обговорення результатів досліджень схильності трубної сталі до КРН в умовах різної комбінації стрес-корозійних чинників. З аналізу отриманих даних видно, що при повному зануренні в розчин та потенціалі корозії (у вихідному стані, після циклювання та після циклювання з ЛОК) руйнування – в'язке (рис. 1, б, фото 1-3), відносне звужування становило 45 %, 55 % та 46 %, відповідно, оцінена ступінь схильності до КРН – 1,24, 1,02 та 1,22 (табл. 1, рис. 2, а), тобто за такої комбінації чинників трубна сталь виявилася не схильною до КРН.



а



б

Рис. 2 – Ступінь схильності до КРН трубної сталі типу Х70 за різних потенціалів: а – за потенціалу корозії; б – та за потенціалу -1,0 В; 1 – при повному зануренні у розчин, 2 – при змінному змочуванні

Слід відмітити, що за цих умов ні циклювання, ні сумісний вплив циклювання та ЛОК не привели до зміни характеру руйнування.

Присутність змінного змочування не сприяло зміні характеру руйнування зразків у вихідному стані та після циклювання (рис. 1, в, фото 1 і 2), яке було в'язким. За цих умов відносне звужування за цих умов становило 55 % та 54 %, відповідно, коефіцієнт схильності до КРН становив 1,02 і 1,04, як видно з табл. 1, рис. 2, а. Тільки для зразків після циклювання з ЛОК відмічене суттєве підвищення схильності до КРН, оцінено коефіцієнтом 2,43, чому відповідало крихке руйнування з в'язким долом, рис. 1, в (фото 3). Виходячи з отриманих даних можна припустити, якщо тривало експлуатований МГ знаходиться в умовах змінного змочування і на його стінці наявні локальні корозійні дефекти висока імовірність зародження та розвитку стрес-корозійної тріщини.

За наведення катодного потенціалу -1,0 В при повному зануренні в розчин для всіх зразків (у вихідному стані, після циклювання та після циклювання з ЛОК), спостерігали зміну характеру руйнування, порівняно з руйнуванням за потенціалу корозії: воно стало крихким з в'язким доломом, рис. 1, г (фото 1-3), що корелювало зі зменшенням відносного звужування до 28-34 % (табл. 1) та вказувало на збільшення частки крихкої складової в зламі. Коефіцієнт схильності до КРН збільшився і для цих умов дорівнював 1,7, 1,65 і 2,0, відповідно.

При змінному змочуванні, як і при повному зануренні, для всіх зразків (у вихідному стані, після циклювання та після циклювання з ЛОК), за потенціалу катодного захисту -1,0 В руйнування мало крихкий характер з в'язким доломом, рис. 1, д (фото 1-3). Відносне звужування становило 26 %, 26 % і 28 %. Відмічене підвищення коефіцієнту схильності до КРН порівняно із повним зануренням близько на 20 % для зразків у вихідному стані та після циклювання, відповідно, рис. 2, б. Ступінь схильності до КРН для зразка після циклювання з ЛОК не змінилася, що імовірно обумовлено тим, що потенціал катодного захисту та ЛОК інтенсивніше впливають на цей процес, ніж змінне змочування.

Висновки

1. Досліджено вплив різних комбінацій стрес-корозійних чинників на схильність трубної сталі типу Х70 до корозійного розтріскування від напруження. Встановлено, що при повному змочуванні за потенціалу корозії трубна сталь з накопиченим рівнем навантажень і локальним осередком корозії трубна не схильна до КРН. В умовах змінного змочування за таких самих умов трубна сталь проявляє схильність до КРН за змінного змочування, яке не проявляється при повному зануренні.

2. За наведеного потенціалу катодного захисту - 1,0 В, як при повному змочуванні, так і при змінному трубна сталь у вихідному стані, з накопиченим рівнем напружень без ЛОК і з накопиченим рівнем напружень та ЛОК схильна до КРН. Змінне змочування сприяє підвищенню схильності до КРН близько на 20 %. Ступінь схильності до КРН сталі з накопиченим рівнем напружень та ЛОК однакова як в умовах повного змочування, так і при змінному, що імовірно обумовлено тим, що потенціал катодного захисту та ЛОК інтенсивніше впливають на цей процес, ніж змінне змочування.

Подяки

Автор висловлює подяку співробітникам відділу № 28 «Технологія зварювання труб» Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України пров. інж. Мельничуку С.Л., інж. П кат. Дарагановій Н. О., м.н.с. Осадчук С. О. за участь в проведенні досліджень та обробленні результатів, зав. відділом, к.т.н. Рибаківу А. О. – в обговоренні отриманих результатів.

Список літератури:

1. Антонов, В. Г. Коррозионное растрескивание под напряжением труб магистральных газопроводов [Текст] / В. Г. Антонов, А. Г. Арабей, В. Н. Воронин, И. А. Долгов, М. М. Кантор, З. Кношински, Ю. П. Сурков. – М.: Наука, 2006. – 104 с.
2. Parkins, R. N. Transgranular stress corrosion cracking of high-pressure pipelines in contact with solutions of near neutral pH [Text] / R. N. Parkins, W. K. Blanchard, B. S. Delanty // Corrosion. – 1994. – Vol. 50, No. 5. – P. 394–408. doi: [10.5006/1.3294348](https://doi.org/10.5006/1.3294348)
3. Fu, A. Q. Characterization of corrosion of X70 pipeline steel in thin electrolyte layer under disbonded coating by scanning Kelvin probe [Text] / A. Q. Fu, X. Tang, Y. F. Cheng // Corrosion Science. – 2009. – Vol. 51, № 1. – P. 186–190. doi: [10.1016/j.corsci.2008.10.018](https://doi.org/10.1016/j.corsci.2008.10.018)
4. Глазов, Н. П., Влияние состояния изоляции трубопроводов на скорость их коррозионного разрушения [Текст] / Н. П. Глазов, Н. Н. Глазов, М. А. Башаев // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2009. – № 1. – С. 47–49.
5. Хижняков, В. И. Предупреждение выделения водорода при выборе потенциала катодной защиты подземных стальных трубопроводов [Текст] / В. И. Хижняков // Коррозия: материалы, защита. – 2009. – № 9. – С. 7–10.
6. Мазель, А. Г. Водород – фактор коррозійного растрескивання трубопроводов [Текст] / Мазель А. Г. // Строительство трубопроводов. – 1992. – № 9. – С. 23–26.
7. Asahi, H. Role of Microstructures on Stress Corrosion Cracking of Pipeline Steels in Carbonate-Bicarbonate Solution [Text] / H. Asahi, T. Kushida, M. Kimura, H. Fukai, S. Okano // Corrosion. – 1999. – Vol. 55, № 7. – P. 644–652. doi: [10.5006/1.3284018](https://doi.org/10.5006/1.3284018)
8. Chu, R. Microstructure Dependence of Stress Corrosion Cracking Initiation in X-65 Pipeline Steel Exposed to a Near-Neutral pH Soil Environment [Text] / W. Chen, S.-H. Wang, F. King, T. R. Jack, R. R. Fessler // Corrosion. – 2004. – Vol. 60, № 3. – P. 275–283. doi: [10.5006/1.3287732](https://doi.org/10.5006/1.3287732)

9. Kentish, P. Stress corrosion cracking of gas pipelines – Effect of surface roughness, orientations and flattening [Text] / P. Kentish // Corrosion Science. – 2007. – Vol. 49, № 6. – P. 2521–2533. doi: [10.1016/j.corsci.2006.12.014](https://doi.org/10.1016/j.corsci.2006.12.014)
10. Гаррис, Н. Активизация коррозионных процессов на магистральных газопроводах большого диаметра при импульсном изменении температуры [Электронный ресурс] / Н. Гаррис, Г. Аскаргов // Нефтегазовое дело. – 2006. – № 1. Режим доступа: http://ogbus.ru/authors/Garris/Garris_5.pdf
11. Гаррис, Н. А. Изменение теплофизических характеристик грунта вокруг газопровода большого диаметра как причина активизации коррозионных процессов [Текст] / Н. А. Гаррис, И. Г. Исмагилов, А. Н. Бахтегареева // Нефтегазовое дело. – 2010. – № 1. – Режим доступа: http://ogbus.ru/authors/Garris/Garris_6.pdf
12. СТО Газпром 2-2.3-173-2007 Инструкция по комплексному обследованию и диагностике магистральных газопроводов, подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://znaytovar.ru/gost/2/STO_Gazprom_2231732007_Instruk.html
13. Liu, Z. Y. Stress corrosion cracking behavior of X70 pipe steel in an acidic soil environment [Text] / Z. Y. Liu, X. G. Li, C. W. Du, G. L. Zhai Y. F. Cheng // Corrosion Science. – 2008. – Vol 50, № 8. – P. 2251–2257. doi: [10.1016/j.corsci.2008.05.011](https://doi.org/10.1016/j.corsci.2008.05.011)
14. Лурье, Ю. Ю. Справочник по аналитической химии [Текст] / Ю. Ю. Лурье. – М.: Химия. – 1971. – 456 с.

Bibliography (transliterated):

1. Antonov, V. G., Arabey, A. G., Voronin, V. N., Dolgov, I. A., Kantor, M. M., Knoshinski, Z., Surkov, Ju. P. (2006). Korrozionnoe rastreskivanie pod naprjazheniem trub magistral'nyh gazoprovodov. Moscow: Nauka, 104.
2. Parkins, R. N., Blanchard, W. K., Delanty, B. S. (1994). Transgranular stress corrosion cracking of high-pressure pipelines in contact with solutions of near neutral pH. Corrosion, 50 (5), 394–408. doi: [10.5006/1.3294348](https://doi.org/10.5006/1.3294348)
3. Fu, A. Q., Tang, X., Cheng, Y. F. (2009). Characterization of corrosion of X70 pipeline steel in thin electrolyte layer under disbonded coating by scanning Kelvin probe. Corrosion Science, 51 (1), 186–190. doi: [10.1016/j.corsci.2008.10.018](https://doi.org/10.1016/j.corsci.2008.10.018)
4. Glazov, N. P., Glazov, N. N., Bashaev, M. A. (2009). Vlijanie sostojanija izoljacji truboprovodov na skorost' ih korrozionnogo razrushenija. Truboprovodnyj transport: teorija i praktika, 1, 47–49.
5. Khyzhniakov, V. Y. (2009). Preduprezhdenye vydelenija vodoroda pry vybore potentsyala katodnoi zashchyty podzemnykh stalnykh truboprovodov. Korrozija: materyaly, zashchyta, 9, 7–10.
6. Mazel', A. Gh. (1992). Vodorod – faktor korrozionnogo rastreskivanyja truboprovodov. Stroitelstvo truboprovodov, 9, 23–26.
7. Asahi, H., Kushida, T., Kimura, M., Fukai, H., Okano, S. (1999). Role of Microstructures on Stress Corrosion Cracking of Pipeline Steels in Carbonate-Bicarbonate Solution. Corrosion, 55 (7), 644–652. doi: [10.5006/1.3284018](https://doi.org/10.5006/1.3284018)
8. Chu, R., Chen, W., Wang, S.-H., King, F., Jack, T. R., Fessler, R. R. (2004). Microstructure Dependence of Stress Corrosion Cracking Initiation in X-65 Pipeline Steel Exposed to a Near-Neutral pH Soil Environment. Corrosion, 60 (3), 275–283. doi: [10.5006/1.3287732](https://doi.org/10.5006/1.3287732)
9. Kentish, P. (2007). Stress corrosion cracking of gas pipelines – Effect of surface roughness, orientations and flattening. Corrosion Science, 49 (6), 2521–2533. doi: [10.1016/j.corsci.2006.12.014](https://doi.org/10.1016/j.corsci.2006.12.014)
10. Gharrys, N., Askarov, Gh. (2006). Aktyvyzacyja korrozionnykh processov na maghystal'nykh ghazoprovodakh bol'shogo diametra pry ympul'snom yzmenenyy temperatury Neftegazovoe delo, 1. Available at: http://ogbus.ru/authors/Garris/Garris_5.pdf
11. Gharrys, N. A., Ysmaghylov, Y. Gh., Bakhteghareeva, A. N. (2010). Yzmenenye teplofyzycheskykh kharakterystyk ghrunta vokrug ghazoprovoda bol'shogo diametra kak prychyna aktyvyzacyi korrozionnykh processov. Neftegazovoe delo, 1. Available at: http://ogbus.ru/authors/Garris/Garris_6.pdf
12. STO Ghazprom 2-2.3-173-2007. Ynstrukcyja po kompleksnomu obsledovanyju y dyagnostyke maghystal'nykh ghazoprovodov, podverzhennykh korrozionnomu rastreskivanyju pod naprjazheniem. Available at:

https://znaytovar.ru/gost/2/STO_Gazprom_2231732007_Instruk.html

13. Liu, Z. Y., Li, X. G., Du, C. W., Zhai, G. L., Cheng, Y. F. (2008). Stress corrosion cracking behavior of X70 pipe steel in an acidic

soil environment. Corrosion Science, 50 (8), 2251–2257. doi: [10.1016/j.corsci.2008.05.011](https://doi.org/10.1016/j.corsci.2008.05.011)

14. Lur'e, Ju. Ju. (1971). Spravochnik po analiticheskoj himii. Moscow: Himija. 456.

Надійшла (received) 19.04.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Аналіз впливу комбінації стрес-корозійних чинників на корозійне розтріскування від напруження трубної сталі при рН, близьких до нейтральних/ Л. І. Ниркова // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2017. – № 16(1238). – С.12–16. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459.

Анализ влияния комбинации стресс-коррозионных факторов на коррозионное растрескивание под напряжения трубой стали при рН, близких к нейтральным/ Л. И. Ныркова // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2017. – № 16(1238). – С. 12–16.– Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459.

Analysis of influence of stress-corrosion factors combination on stress-corrosion cracking of pipe steel at near neutral pH / L. Nyrkova // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 16 (1238).– P. 12–16.– Bibliogr.: 14. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ниркова Людмила Іванівна – кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник відділу № 28 «Технологія зварювання труб» Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України; вул. Казимира Малевича, 11, м. Київ-150, Україна, 03150, e-mail: lnyrkova@gmail.com

Ныркова Людмила Ивановна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник отдела № 28 «Технология сварки труб» Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины; ул. Казимира Малевича, 11, г. Киев, Украина, 03150, тел.: (044) 205-25-81, e-mail: lnyrkova@gmail.com

Lyudmila Nyrkova – PhD, senior staff scientist of Department No 28 «Technology of pipes welding» Electric Welding Institute named by E. O Paton NAS of Ukraine; Kazimir Malevich str., 11, Kyiv, Ukraine, 03150 Tel.: (044) 205-25-81, e-mail: lnyrkova@gmail.com