

## ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 620 178.620.181

### СТРУКТУРНІ ЗМІНИ МЕТАЛУ АНОДНИХ ЗАЗЕМЛЮВАЧІВ ВНАСЛІДОК ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ

Архипов О. Г., Ковальов Д. О., Усов Д. І., Любимова-Зінченко О. В.

### STRUCTURAL CHANGES OF METAL OF THE GROUNDING ANODES DUE TO OPERATIONAL DEGRADATION

Arkhyrov O. G., Kovalov D. O., Usov D. I., Liubymova-Zinchenko O. V.

*Проаналізовано структурні зміни металу труб анодних заземлювачів зі сталі Сталь 20, що експлуатувалися тривалий час в складі станцій катодного захисту трубопроводів. Для досліджень обрано сталеві труби Ду159 довжиною від 20 метрів, що експлуатувались протягом 1÷20,5 років як анод. Для виготовлення анодів використовувалися тіж самі труби газопроводу після 20 років експлуатації. Результати структурних змін дозволили визначити тенденції деградації сталевих анодних заземлювачів та намітити шляхи для подальших досліджень з метою подовження їх експлуатаційного ресурсу.*

**Ключевые слова:** деградація, анод, газопровід, мікроструктурні дослідження.

**1. Введення.** Сучасна газотранспортна система України відіграє важливу роль у міжнародній системі транспортування газу, що бере початок від Центральної Азії до країн Європейського союзу. Вона щороку забезпечує постачання десятків мільярдів природного газу як вітчизняним споживачам, так і споживачам 19 європейських держав. Вивченню питання експлуатаційної деградації металу труб газо-нафтопроводів приділяється велика увага [1-6].

Виходячи з важливості безпеки транспортування природного палива існуючою системою, залишається відкритим питання корозійного захисту трубопроводів на всіх етапах транспортування. Як правило, їх захист відбувається пасивними методами (протикорозійна ізоляція) в поєднанні з методами активного електрохімічного захисту – протекторного, катодного або дренажного.

Найбільш дієвим активним методом захисту газотрубопроводних систем від ґрунтової корозії та

блукуючих струмів є катодна поляризація за допомогою зовнішнього джерела напруги. В цьому випадку переважно корозійні процеси та руйнування металу протікають на анодних заземлювачах, які в багатьох випадках мають короткий експлуатаційний термін через швидку розчинність в різноманітних за складом ґрунтах. Цьому руйнівному фактору також сприяє деградація металу анодів через те, що в якості аноду, як правило, обирають експлуатовані труби, які мають певну ступінь деградаційної пошкодженості. Але в багатьох випадках аноди вимушено виводять з експлуатації через зростання електричного опору в системі: метал аноду-ґрунт, а в випадку використання коксової засипки зовні аноду в системі: метал аноду-кокс-засипка-ґрунт. На певний час експлуатацію можна подовжити шляхом збільшення напруження на аноді, але це викликає необґрунтовані економічні витрати за тривалої експлуатації станцій катодного захисту.

Мета роботи – дослідження зміни структури сталі марки Сталь 20 після тривалої експлуатації в якості анодних заземлювачів.

**2. Методика досліджень.** Вивчали зміну структурних характеристик металевих анодних заземлювачів, що знаходились в експлуатації як складова частина станції катодного захисту терміном від 1 до 20 років та труби газопроводів. Аноди виготовлялися зі сталевих труб Сталь 20 Ду159, що відпрацювала як трубопровід високого тиску 20,5 років. Спосіб закладання анодів вертикальний, глибина закладання до 20-30 метрів. Температура за якої експлуатувалися анодні заземлення знаходилися в інтервалі від +45° до -40°С. За час експлуатації на аноди подавалось

напруження в діапазоні  $(-0,95 \div -1,12)V$ . Зразки вирізались з анодів на глибині не більше 2 метрів від поверхні, напрямком волокон повздовжній.

Іспити на розтяг проводились на розривній машині ИМ – 4Р за ГОСТ1497-84 і ГОСТ 10006-80. Іспити на удар проводились методом Шарпі за ГОСТ 9454-78 на копрі МК-30а. Твердість зразків визначалась згідно ГОСТ 9012-59 і ГОСТ 23677-79 за допомогою твердоміра ТШ-2М.

Механічні характеристики труб аварійного запасу зі Сталі 20 (стан поставки) і після 20 років експлуатації (вихідний стан для експлуатації в якості анода) наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

**Механічні характеристики труб Ду159 зі сталі Сталь 20**

Характеристика	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	KCV MJ/m <sup>2</sup>	НВ
Труба аварійного запасу	474	292	35	65	1,23	241
Труба аноду на початок експлуатації	475	269	16	56	1,2	143

Металографічні дослідження зразків проводились на мікроскопі НЕОФОРТ-21, з послідуною обробкою результатів у програмі Ресурс С-7. Хімічний склад металу та домішок визначався приладом СПЕКТРОПОРТ.

Кожен результат відповідав середньому значенню п'яти замірів.

**3. Результати досліджень та їх обговорення.**

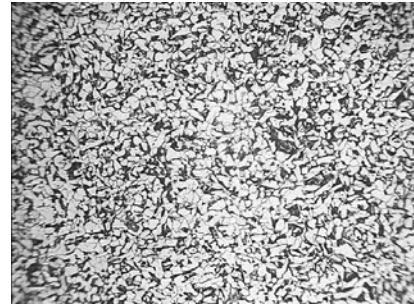
Хімічний склад металу анодів за весь термін експлуатації відповідає діючим вимогам до трубних сталей марки Сталь 20. Структура металу ферито-перлітна, перліт тонкопластинчастий. Метал труб забруднений неметалевими включеннями, переважно оксидами FeO, MnO, які різко окреслені і мають довільну форму та скловидні SiO<sub>2</sub>, що має витягнуту форму.

Враховуючи те, що аноди виготовляються з труб, що були в експлуатації близько 20 років, для порівняння і аналізу змін що відбулися були досліджені труби після 20 років експлуатації в складі газопроводу. Виявлено в'язкий характер зламу, неметалеві включення у вигляді оксидів точкових 1 бал і силікатів, що не деформуються 1 бал. Розмір зерна відповідає 7-8 балу. Форма перліту тонкопластинчаста і зерниста, перліт складає 35%, ферит 65%. По границях зерен відмічаються дисперсні карбіди (рис. 1). Мікротвердість складала 200 kg/mm<sup>2</sup>.

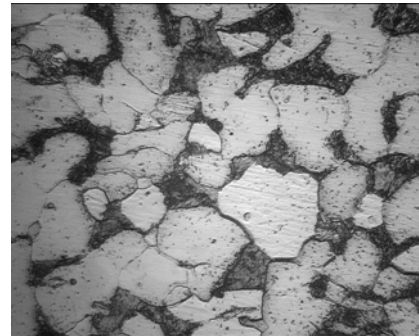
Аноди, що досліджувалися після 1 року експлуатації були явно з іншої партії поставки. Лише ці аноди мали бал зерна 9-10 за ГОСТ 5639-82, тоді як всі інші мали бал 7-8. Решта анодів були виготовлені з труб однієї партії поставки.



а

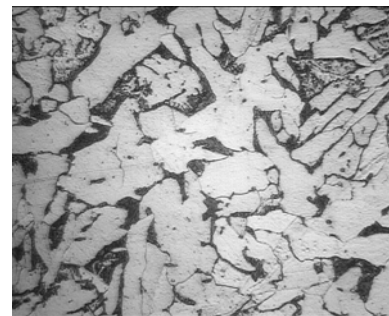


б

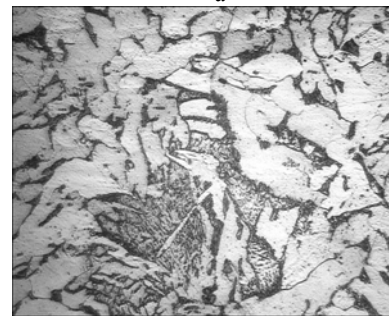


в

Рис. 1. Характер зламів зразків на ударну в'язкість після 20-ти років експлуатації в складі газопроводу (а) і мікроструктура зразка (б,  $\times 100$ ; в,  $\times 1000$ )



а

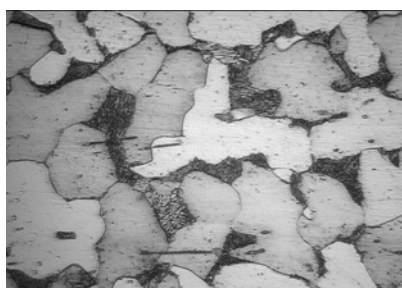


б

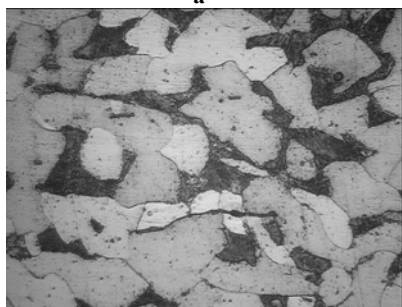
Рис. 2. Мікроструктура металу аноду після 1-го року експлуатації у поздовжньому перерізі (а,  $\times 1000$ ) і в поперечному перерізі (б,  $\times 1000$ )

Мікроструктура металу анода заземлення після 1-го року експлуатації ферито-перлітна. Виявлено загальну та виразкову корозію зразків глибиною зі зовнішньої поверхні до 1,1 mm; з внутрішньої – до 0,35 mm. Перліт тонкопластинчастий і зернистий. Мікроаналіз показав, метали труб забрудненні неметалевими включеннями: оксидами – 1-2 бали і сульфідами – 1 бал (рис. 2).

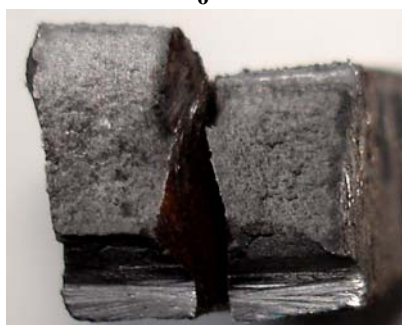
Злами зразків на ударну в'язкість металу аноду після 1-го року експлуатації мають дрібнокристалічний характер. Виявлено перліт зернистий переважно по границях зерен (рис. 3), мікротвердість складала 221 kg/mm<sup>2</sup>.



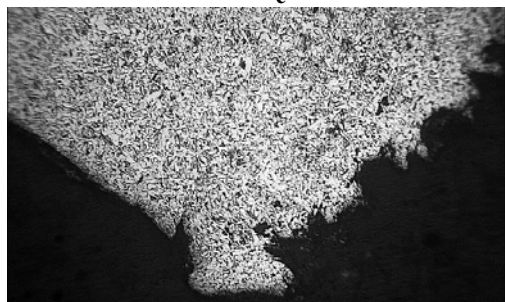
а



б



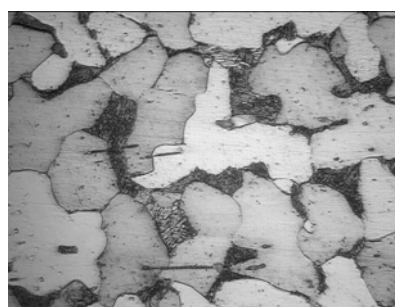
с



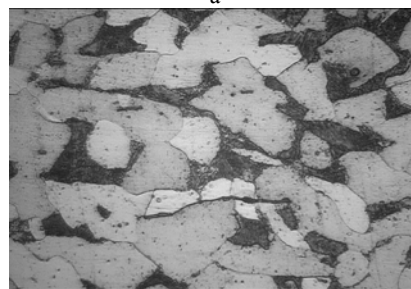
d

Рис. 3. Мікроструктура (а, б  $\times 1000$ ) і характер зламів зразків на ударну в'язкість металу аноду після 1-го року експлуатації (с) і лінія злому зразка (d,  $\times 100$ )

Під час мікроструктурних досліджень металу анода після десятирічної експлуатації виявлено ферито-перлітну структуру, спостерігається смугастість структурних складових, що дорівнює 1 балу за шкалою ЗБ ГОСТ5640-68. Перліт складає 30%, ферит 70%, тоді як на момент установки анодів співвідношення перліту і фериту було 35% і 65% відповідно. Характер ізлому після удару в'язкий. Виявлено загальну та виразкову корозію глибиною зі зовнішньої поверхні до 0,5 mm; з внутрішньої – до 0,9 mm. Перліт тонкопластинчастий (рис. 4). Мікротвердість дорівнювала 206 kg/mm<sup>2</sup>.



а



б

Рис. 4. Мікроструктура металу аноду після 10-ти років експлуатації у поздовжньому перерізі (а,  $\times 1000$ ) і в поперечному перерізі (б,  $\times 1000$ )

Злами зразків на ударну в'язкість металу аноду після 10-ти років експлуатації мають в'язкий характер руйнування (рис. 5).

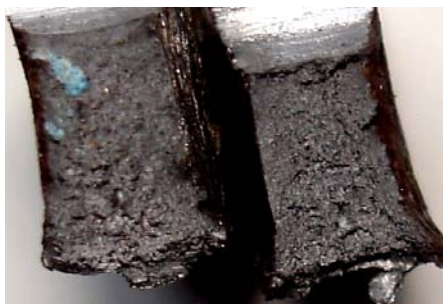
Макроаналіз труб анодів заземлення після року та 10-ти років експлуатації показав, що зовнішня і внутрішня поверхні вкриті шаром продуктів корозії, видно виразки корозійного походження різного діаметру.

В структурі зразків анодів заземлення, що пропрацювали 20 років в умовах катодного захисту виявлено забруднення неметалевими включеннями, переважно оксидів точкових 1 бал і силікатів 1 бал. Порівняно з анодами після 10 років експлуатації співвідношення між перлітом і феритом не змінилось і відповідно складало: перліт 30%, ферит 70%, але на границях зерен відмічаються прошарки цементиту. Мікротвердість складала 221 kg/mm<sup>2</sup>.

Характер зламів зразків на ударну в'язкість сухий волокнистий з центральною ділянкою кристалічної будови. Зовнішня і внутрішня поверхня металу піддані загальній і виразковій корозії. Глибина виразок зростає з часом експлуатації і через 20 років назвні труби складає



до 1 mm, а на внутрішній поверхні до 0,7 mm (рис. 6).

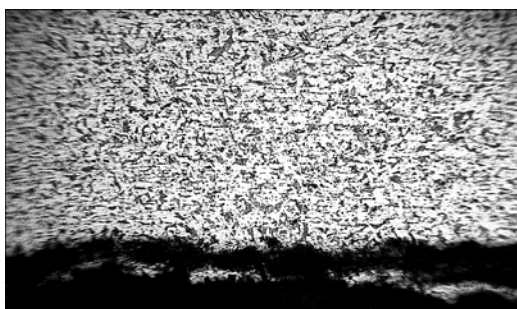


а

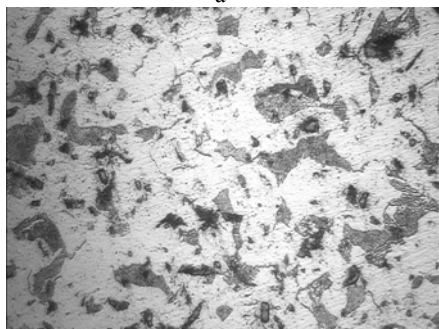


б

Рис. 5. Характер зламів зразків на ударну в'язкість металу аноду після 10-ти років експлуатації (а) і лінія злому зразка (б,  $\times 100$ )



а



б

Рис. 6. Мікроструктура металу аноду після 20 років експлуатації: корозійне ураження поверхні (а,  $\times 100$ ) і розклад перліту (б,  $\times 1000$ )

Корозія анодів не є головною задачею проведених досліджень. Головна увага приділена вивченню змін характеристик анодних заземлювачів на структурному рівні та виявленню їх експлуатаційної деградації, що відбулась під час

роботи на станції катодного захисту трубопроводів. Як відомо, метою анодних заземлювачів є корозійний захист металевих конструкцій за рахунок розчинності анодів в ґрунті. Але, чим вища здатність анода до розчинення, тим вищий ризик зростання його електричної опірності, що веде до подачі більшої напруги на аноди, а згодом до незапланованих економічних витрат. Такі витрати, як правило супроводжуються додатковим бурінням нових свердловин під анод, закладанням десятків метрів анодних трубопроводів у ґрунт. Тому, беручи до уваги результати досліджень глибинного кородування поверхонь сталевих анодних заземлювачів, а це від 0,5 mm до 1,1 mm – для зовнішньої поверхні і для внутрішньої – від 0,35 mm до 0,9 mm можна стверджувати, що поверхневі металеві втрати є стабільними і за тривалий час експлуатації анодів суттєвих змін не відбулось.

**4. Висновки.** Проведені дослідження показали, що за 20 років експлуатації анодів зі сталевих труб марки Сталь 20 Ду159 внаслідок експлуатаційної деградації відбулось розкладання перліту, а його кількість зменшилась з 35% до 30%. Причому за останні 10 років експлуатації в структурі металу відмічається утворення прошарків цементиту.

Відбулось окрихчення металу, про що свідчить зміна характеру ізлому при ударі з в'язкого на початку експлуатації на сухий волокнистий після 20 років експлуатації.

Виміри мікротвердості показали нечутливість цієї характеристики до оцінки деградації трубних сталей газопроводів.

#### Література

1. Окрихчення сталі магістрального нафтопроводу / О.Т. Цирюльник, Г.М. Никифорчин, О.І. Звірко, Д.Ю. Петрина // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2004. – № 2. – С.126–126. (Embrittlement of the steel of an oil-trunk pipeline / О. Т. Tsyruľnyk, Н. М. Nykyforchyn, О. І. Zvirko, D. Yu. Petryna // Materials Science. – 2004 – 40, №4. – Р. 302–304).
2. Експлуатаційна деградація механічних властивостей металу аміакопроводу /О.Г. Архипов, Ю.Я. Ніхаєнко, В.А. Борисенко, М.С. Хома, О.В. Любимова-Зінченко // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2013. – № 4. – С.97–102.
3. Горынин Н. В., Тимофеев Б. Т. Старение материалов оборудования атомных электростанций после проектного ресурса // Там же. – 2006. – № 2. – С. 13–27 (Gorynin I. V., Timofeev B. T. Aging of materials of the equipment of nuclear power plants after designed service life // Materials Science. – 2006.– 42, № 2. – Р. 155–169).
4. Nykyforchyn H.M., Kurzydłowski K.-J., Lunarska E. Hydrogen degradation of steels in long term service conditions // Environment-induced cracking of materials. Vol. 2: Prediction, industrial developments and evaluations / ed. by S. Shipilov – Elsevier, 2008. – Р. 349–361.
5. Environmentally assisted “in-bulk” steel degradation of long term service gas trunkline / Н. Nykyforchyn, E.

Lunarska, O. Tsyurulnyk et al. // Eng. Failure Analysis. – 2010. – 17. – P. 624-632.

6. Оцінка деградації сталей обладнання нафтопереробних і хімічних виробництв / О. Г. Архипов, О. В. Зінченко, Д. О. Ковальов [та ін.]// Металеві конструкції. – 2009. – № 2, Т.15.– С. 115–122.

#### References

1. Okrykchennia stali mahistralnoho naftoprovodu / O.T. Tsyurulnyk, H.M. Nykyforchyn, O.I. Zvirko, D.Iu. Petryna // Fiz.–khim. mekhanika materialiv. – 2004. – № 2. – S.126–126. (Embrittlement of the steel of an oil-trunk pipeline / O. T. Tsyurulnyk, H. M. Nykyforchyn, O. I. Zvirko, D. Yu. Petryna // Materials Science. – 2004 – 40, №4. – R. 302–304).
2. Ekspluatatsiina dehradatsiia mekhanichnykh vlastyvostei metalu amiakoprovidu /O.H. Arkhypov, Yu.Ia. Nikhaienko, V.A. Borysenko, M.S. Khoma, O.V. Liubymova-Zinchenko // Fiz.–khim. mekhanika materialiv. – 2013. – № 4. – S.97–102.
3. Ногынын N. V., Тумофеев B. T. Starenie materyalov oborudovaniya atomnykh elektrostantsyi posle proektnoho resursa // Tam zhe. – 2006. – № 2. – S. 13–27 (Gorynin I. V., Timofeev B. T. Aging of materials of the equipment of nuclear power plants after designed service life // Materials Science. – 2006.– 42, № 2. – R. 155–169).
4. Nykyforchyn H.M., Kurzydowski K.-J., Lunarska E. Hydrogen degradation of steels in long term service conditions // Environment-induced cracking of materials. Vol. 2: Prediction, industrial developments and evaluations / ed. by S. Shipilov – Elsevier, 2008. – P. 349–361.
5. Environmentally assisted “in-bulk” steel degradation of long term service gas trunkline / H. Nykyforchyn, E. Lunarska, O. Tsyurulnyk et al. // Eng. Failure Analysis. – 2010. – 17. – P. 624-632.
6. Otsinka dehradatsii staley obladnannia naftererobnykh i khimichnykh vyrobnytstv / O. H. Arkhypov, O. V. Zinchenko, D. O. Kovalov [ta in.]// Metalevi konstruktssii. – 2009. – № 2, T.15.– S. 115–122.

**Архипов А.Г., Ковалев Д.А., Усов Д.И., Любимова-Зинченко О.В.** Структурные изменения металла анодных заземлителей вследствие эксплуатационной деградации

*Проанализированы структурные изменения металла труб анодных заземлителей из стали Сталь 20, которые эксплуатировались длительное время в составе станций катодной защиты трубопроводов. Для исследований выбраны стальные трубы Ду159 длиной от 20 метров, которые эксплуатировались в течение 1 ÷ 20,5 лет как анод. Для изготовления анодов использовались те же самые трубы газопровода после 20 лет эксплуатации. Результаты структурных изменений позволили определить тенденции деградации стальных анодных заземлителей и наметить пути для дальнейших исследований с целью продления их эксплуатационного ресурса. Табл. 1, рис. 6 и 6 лит. источников.*

**Ключевые слова:** деградация, анод, газопровод, микроструктурные исследования.

**Arkhypov O.G., Kovalov D.O., Usov D.I., Liubymova-Zinchenko O.V.** Structural changes of metal of the grounding anodes due to operational degradation

*The changes of structure of the metal pipelines of the grounding anodes of 20 Steel after a long-term operation at The Cathodic Protection Stations of the gas pipelines are described. For research were selected the steel pipelines Ду 159 of length from 20 m which operated for 1÷20.5 years, as the anode. The anodes were made from the same gas pipelines after 20 years of operation. The results of changed structures allowed us to determine the tendency of degradation of the grounding anodes and identify ways for further research towards an extension of their resource.*

**Keywords:** degradation, anode, gas pipeline, micrographic investigation.

**Архипов О.Г.** – д.т.н., профессор кафедры «Машинознатства та обладнання промислових підприємств», Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля.

**Ковальов Д.О.** – к.т.н., доцент кафедри «Машинознатства та обладнання промислових підприємств», Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля.

**Усов Д.І.** - Северодонецьке лінійно-виробниче управління магістральних газопроводів.

**Любимова-Зінченко О.В.** - к.т.н., доцент кафедри «Загальної та фізичної хімії», Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля.

*Рецензент:* д.т.н., профессор **Суворін О. В.**

Стаття подана 09.06.2016