

УДК 6.620

DOI: 10.30838/J.PMNTM.2413.230419.19.288

ДЕГРАДАЦІЯ АНОДНИХ ЗАЗЕМЛЕНЬ ПІД ЧАС ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

АРХИПОВ О. Г.¹, *д. т. н., проф.*,
ЛЮБИМОВА–ЗІНЧЕНКО О. В.^{2*}, *к. т. н., доц.*,
УСОВ Д.³, *здобувач*

¹ Кафедра машинознавства та обладнання промислових підприємств, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, пр. Центральний 59-а, 93400, Северодонецьк, Україна, тел. +38(050)987-98-88

^{2*} Кафедра хімії та охорони праці, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, пр. Центральний 59-а, 93400, Северодонецьк, Україна, тел. +38(050)949-49-77, e-mail: aspirant-snu@i.ua

³ Кафедра машинознавства та обладнання промислових підприємств, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, пр. Центральний 59-а, 93400, Северодонецьк, Україна, тел. +38(099)755-20-78

Анотація. Електрохімічний захист катодною поляризацією разом з ізоляційним покриттям – на сьогоднішній день є найбільш ефективним із всіх методів боротьби з корозією. Суть електрохімічного захисту полягає в сповільненні корозійних процесів, переважно електрохімічних. Катодний захист – проводиться за допомогою постійного струму від зовнішнього джерела при якому об'єкт, який підлягає захисту приєднується до від'ємного полюсу станції катодного захисту (в якості катоду), а до позитивного полюсу приєднується жертвенний анод заземлення. Установка катодного захисту – це спорудження, що використовується для катодної поляризації трубопроводу зовнішнім струмом. За допомогою установок катодного захисту (УКЗ), яка поляризує трубопровід, корозійні процеси зводяться до мінімального значення або зовсім припиняються. Поверхня трубопроводу перебуває в захисті й не руйнується в агресивному середовищі протягом тривалого часу або руйнівні процеси зводяться до мінімальних значень. В нашій роботі досліджувались структурні зміни металу та обумовлені цим зміни механічних характеристик сталевого анодного заземлення, станції катодного захисту, які виготовлені з матеріалу Сталь20 Ду159.

Ключові слова: корозія; катодний захист; електрохімічні характеристики; ізолюючі покриття; анодне заземлення

ДЕГРАДАЦИЯ АНОДНЫХ ЗАЗЕМЛЕНИЙ ВО ВРЕМЯ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

АРХИПОВ О. Г.¹, *д. т. н., проф.*,
ЛЮБИМОВА–ЗІНЧЕНКО О. В.^{2*}, *к. т. н., доц.*,
УСОВ Д.³, *соискатель*

¹ Кафедра машиноведения и оборудования промышленных предприятий, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, пр. Центральный 59-а, 93400, Северодонецк, Украина, тел. +38(050)987-98-88

^{2*} Кафедра химии и охраны труда, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, пр. Центральный 59-а, 93400, Северодонецк, Украина, тел. +38(050)949-49-77, e-mail: aspirant-snu@i.ua

³ Кафедра машиноведения и оборудования промышленных предприятий, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, пр. Центральный 59-а, 93400, Северодонецк, Украина, тел. +38(099)755-20-78

Аннотация. Электрохимическая защита катодной поляризацией вместе с изоляционным покрытием - на сегодняшний день является наиболее эффективным из всех методов борьбы с коррозией. Суть электрохимической защиты заключается в замедлении коррозийных процессов, преимущественно электрохимических. Катодная защита – проводится с помощью постоянного тока от внешнего источника при котором объект, который подлежит защите присоединяется к отрицательному полюсу станции катодной защиты (в качестве катода), а к положительному полюсу присоединяется жертвенный анод заземления. Установка катодной защиты – это сооружение, которое используется для катодной поляризации трубопровода внешним током. С помощью установок катодной защиты (УКЗ), которая поляризует трубопровод, коррозийные процессы сводятся к минимальному значению или совсем прекращаются. Поверхность трубопровода находится в защите и не разрушается в агрессивной среде в течение длительного времени или разрушительные процессы сводятся к минимальным значениям. В нашей работе исследовались структурные изменения металла и обусловленные этим изменения механических характеристик стального анодного заземления, станции катодной защиты, изготовленной из материала Сталь20 Ду159.

Ключевые слова: коррозия; катодная защита; электрохимические характеристики; изолирующие покрытия; анодные заземления

DEGRADATION OF THE ANODIC GROUNDING DURING THE PROTRACTED EXPLOITATION

ARKHIPOV O.G.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
LYUBIMOVA–ZINCHENKO O.V.^{2*}, *Ass. Prof., Ph. D.*,
USOV D.³, *Postgraduate Student*

¹ Department of Theoretical Engineering and Industrial Enterprises, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 59-a, Centralniy ave., 93400, Severodonetsk, Ukraine, tel. тел. +38 (050) 987-98-88

^{2*} Department of Chemistry and Labor Protection, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 59-a, pr. Central., 93400, Severodonetsk, Ukraine, tel. +38 (050) 949-49-77, e-mail: aspirant-snu@i.ua

³ Department of Theoretical Engineering and Industrial Enterprises, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 59-a, pr. Central, 93400, Severodonetsk, Ukraine, tel. +38 (099) 755-20-78

Abstract. Electrochemical defense by cathode polarization together with isolating coverage – for today is most effective from all methods of fight against corrosion. Essence of electrochemical defense consists in deceleration of corrosive processes, mainly electrochemical. Cathode defense – conducted by means of direct-current from outsourcing at that object that is subject to defense joins negative to the pole of the station of cathode defense (in quality to the cathode), and the sacrificial anode of grounding joins in with a positive pole. Setting of cathode defense is building which is used for cathode polarization of pipeline by an external current. By settings of cathode defense (UKZ) which polarizes a pipeline, corrosive processes are taken to the minimum value or quite halted. A surface of pipeline is in defense and does not collapse in an aggressive environment during great while or destructive processes are taken to the minimum values. The structural changes of metal and changes of mechanical descriptions of the steel anodic grounding conditioned to these, stations of cathode defense, made from material of Stal'20 Du159, were investigated in our work.

Keywords: corrosion; cathode defense; electrochemical descriptions; insulating coverages; anodic grounding

Введення

Захист від корозії є актуальною проблемою нашого часу. Електрохімічний захист катодною поляризацією разом з ізоляційним покриттям – на сьогоднішній день є найбільш ефективним із всіх методів боротьби з корозією, за допомогою його корозійні процеси зводяться до мінімальних значень.

Катодні установки – споруди, що використовуються для катодної поляризації трубопроводу зовнішнім струмом, так званий активний захист. Пасивним захистом є ізоляційне покриття. Катодний захист проводиться за допомогою постійного струму від зовнішнього джерела, при цьому метал газопроводу приєднується до від'ємного полюсу (в якості катоду), а до додатного полюсу – електроди анодного заземлення, що використовуються як жертвенний матеріал. Одним з найголовніших питань, при спорудженні установок катодного захисту є правильність вибору анодного заземлення.

Анодні заземлювачі які використовуються для роботи установок катодного захисту мають різні технологічні властивості, режими роботи та строки експлуатації. Різняться також і способи закладання анодних заземлень:

1. Вертикальне закладання коли один електрод розташовується над іншим, загальна глибина таких електродів може сягати 10...60 м залежно від опору ґрунту та типу матеріалу анодного заземлення.

2. Горизонтальне закладання анодних заземлень, коли в одному котловані електроди розташовуються горизонтально поруч один біля одного, кількість

електродів залежить від типу закладаемого матеріалу та опору ґрунту.

Анодні заземлювачі які використовуються для роботи установок катодного захисту мають різні технологічні властивості, режими роботи та строки експлуатації. Витрати на їхнє закладання й наступну експлуатацію так само відрізняються.

Анодні заземлювачі, використовувані для монтажу й роботи катодного захисту виконуються з різного матеріалу: металеві (титано-манганові, феросилідні, чавунні, сталеві), і анодні заземлювачі без вмісту металу (електропровідна гума, графітові й графітопластові) та інші.

На найбільш корозійно-небезпечних ділянках трубопроводів широко використовуються:

1. Графітові електроди, швидкість розчинення графітових електродів 0,2...1,2 кг/(А*рік) з коксовою засипкою, 0,2...0,5 кг/(А* рік) без коксової засипки.

2. Феросилідні ЕФС-Б швидкість розчинення 0,12...0,2 кг/(А*рік) з коксовою засипкою, 0,2...0,6 кг/(А* рік) без коксової засипки.

3. Стальні анодні заземлення теж використовуються при роботі установок катодного захисту, швидкість їхнього розчинення складає 5 кг/(А*рік) з коксовою засипкою, 9...10 кг/(А*рік) без коксової засипки.

Великою перевагою сталевих анодних заземлень, є те що вони можуть виготовлятися з металевої труби, листів, двотаврових балок, швелерів та будь якого іншого сталюого лому.

Під час експлуатації анодного заземлення кількість споживаної електроенергії для різних типів анодних заземлювачів буде різнитись, що

пояснюється різним опором матеріалу і ґрунту де експлуатуються анодне заземлення.

Різними є і киснева перенапруга, графітові анодні заземлення мають більш високий потенціал і більш високу кисневу перенапругу в порівнянні з потенціалом кремнію або сталі, тому на розкладання графіту потрібно більше електроенергії ніж на ферросилід та сталь. Для роботи ферроселідних та сталевих анодних заземлювачів витрати електроенергії значно нижчі за рахунок меншого опору до розчинення і більш низької кисневої перенапруги.

Важливим фактором при виборі типу анодного заземлення є густина струму. Для якісного захисту від корозії сталевих трубопроводів густина струму анодного заземлення відіграє значну роль внаслідок неоднорідності ґрунту та різної якості ізоляційного покриття на сталевому трубопроводі. Густина струму в графітових електродах складає 8...30 А/м², в сталевих та ферросилідних 10...50А/м². Вартість різних типів анодних заземлень теж дуже різниться.

Мета роботи

Метою роботи було дослідження структурних змін металу сталевих анодних заземлень і обумовлених цим змін механічних та хімічних характеристик сталевих анодів станції катодного захисту.

Матеріал

В якості матеріалу для дослідження було вибрано аноди станції катодного захисту з матеріалу Сталь 20 поряд з якими було закладено активні речовини з різним хімічним складом.

Методика та результати

В роботі розглянуті дослідження зміни металу і обумовлених цим змінами механічних та електрохімічних характеристик сталевих анодів станції катодного захисту. Данні анодні заземлення виготовлені зі Сталі 20, поряд з якими були розташовані різні хімічно активні матеріали. З метою подовження ресурсу шляхом зменшення опору ґрунту було використано ряд речовин: аміачна селітра NH₄NO₃; аміачна селітра зі складом Na + K – 32,4 %, Ca + Mg – 19,2 %, амоній – 8,4 %, хлориди – 17,8 %, решта CO₃²⁻; кухонна сіль NaCl. Поряд з першим зразком закладено аміачну селітру NH₄NO₃, поряд з другим зразком закладено аміачну селітру в продукт зі складом Na + K – 32,4 %, Ca + Mg – 19,2 %, амоній – 8,4 %, хлориди – 17,8 %, решта CO₃²⁻, поряд з третім зразком закладено кухонну сіль NaCl, біля четвертого зразка активні речовини не закладались.

Довжина анодів складала 20 метрів, діаметр 159 мм, спосіб закладання вертикальний, глибина свердловин під анод дорівнює 22 метра. При укладанні анодів в свердловини використовувалась

коксова засипка як всередині, так і зовні. Відстань від точки дренажу дорівнює близько 100 метрів. Анодні заземлення працюють декількома групами заземлень зі сталі Сталь 20, режим роботи на станції катодного захисту складає 6 В і 14 А, захисний потенціал на трубі $U_{т-з} = -1,3В$. Термін експлуатації досліджених анодів 2 роки після закладання в них хімічно активних речовин «активаторів».

Іспити на розтяг проводились на розривній машині ІМ – 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. Металографія зразків проводилась на мікроскопі НЕОФОРТ-21, з послідуною обробкою результатів в програмі Ресурс С-7. Хімічний склад металу та домішок визначався приладом SPECTROPORT. Кожен результат відповідав середньому значенню п'яти замірів.

Дослідження були спрямовані на порівняння механічних і хімічних характеристик анодів із експлуатованих сталей, до та після закладання хімічно активних речовин «активаторів».

Результати досліджень

Хімічний склад металу анодних заземлень після експлуатації з хімічно активними речовинами відповідає діючим вимогам до трубних сталей марки Сталь 20. Дослідження на хімічний склад дозволили отримати наступні результати спектрального аналізу зразків (табл. 1).

Таблиця 1

Результати спектрального аналізу зразків / Results of spectral analysis of samples

№ з/п	Найменування	C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Ni, %
1	Зразок № 1	0,19	0,30	0,46	0,15	0,16
2	Зразок № 2	0,22	0,36	0,51	0,01	0,01
3	Зразок № 3	0,21	0,36	0,45	0,01	0,04
4	Зразок № 4	0,17	0,30	0,57	0,01	0,03
5	Сталь 20 згідно з ГОС1050-88	0,17–0,24	0,17–0,37	0,35–0,65	≤0,3	≤0,25

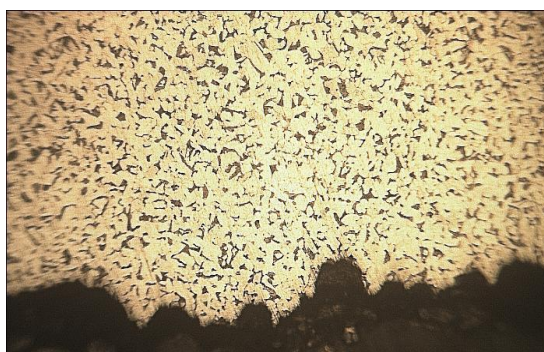
Зовнішня і внутрішня поверхня зразків анодного заземлення вкриті шаром продуктів корозії, глибина виразок на зовнішній поверхні анодних заземлень складає 0,5 мм на зразку № 2 (рис. 1 а), 1,5 мм на зразку № 1 та до 2 мм на зразку № 3 (рис. 1 б). На внутрішній поверхні анодного заземлення глибина виразок на 1, 2 та 3 зразках складає 0,8 мм (рис. 1 в). Корозійні процеси зразку № 4 на зовнішній поверхні мають нерівномірну структурно-вибіркову корозію (рис. 1 г), а з внутрішньої поверхні корозія має міжкристалічний характер, що зустрічається доволі рідко в вуглецевих сталях.



а



б (b)



в (c)



г (d)

Рис. 1. Корозійне ураження зовнішньої та внутрішньої поверхні (а)×100, (б)×100, (в)×100, (г)×100 / Fig. 1. The Corrosive defeat of external and internal surface (a) ×100, (b) ×100, (c) ×100, (d) ×100

Після тривалої експлуатації розмір зерна у всіх чотирьох зразках складає 7–8 балів згідно з

ГОСТ 5639-82. Метал труб забруднений неметалевими включеннями, переважно силікатами та оксидами FeO, SiO₂, що мають витягнуту форму. Відсотковий вміст перліт/ферит за час експлуатації сталевих анодних заземлень практично не змінився за шкалою 7 ГОСТ 8233, але на деяких зразках відмічається розкладання перліту на складові.

Результати механічних досліджень наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати механічних досліджень / Results of mechanical researches

№ п/п	Назва	σ_v , МПа	δ , %	Ψ , %	KCU, кгс·м/см ²	Твердість, НВ
1	Зразок № 1	522	22,0	67,3	11,9	156
2	Зразок № 2	480	25	70,0	24	143
3	Зразок № 3	500	22	68,0	25,3	143
4	Зразок № 4	482	33	59	20,1	137
5	Характеристики Сталь 20 за ГОСТ 550-75	≥431	≥21,0	≥50	≥7,8	≤156

Отримані дані дозволяють зробити висновок, що метал труб після тривалої експлуатації задовольняє діючим вимогам. Але слід відмітити, що відстежується погіршення характеристик міцності і пластичності, а зразок № 3, поряд з яким була закладена кухонна сіль, взагалі мав наскрізні каверни. Величина відносного видовження δ до закладання хімічно активних матеріалів та після закладання біля анодних заземлень хімічно активних матеріалів не змінилась, або зменшилась. Твердість поверхні виявилась мало чутливою характеристикою для оцінювання ступеня деградації, на що було звернено увагу і в інших роботах [5], винятком є зразок № 1, в даному зразку твердість металу порівняно з попередніми вимірами збільшилась на 9 %.

Ударна в'язкість зразка № 1, значно менша ніж у решти зразків. На думку деяких авторитетних вчених [1; 3], саме KCU найпершою відслідковує деградаційні процеси і є однією з найчутливіших характеристик. Можливо, в даному випадку це обумовлено саме дією аміачної селітри, що потребує додаткових тривалих досліджень.

Висновки

За час експлуатації досліджені анодні заземлення піддалися дії різних активних речовин, що дало змогу зменшити струмове навантаження за рахунок зменшення опору анодних заземлень. Було виявлено,

найбільш агресивно на анодні заземлення вплинула кухонна сіль NaCl, зразок поряд з яким вона була закладена має значне стоншення стінки металу та наскрізні пошкодження. Але ефективність таких анодів виявилась найбільшою. Хімічний склад сталевих анодних заземлень після закладання хімічно активних речовин не змінився. Структура металу у всіх зразках ферито-перлітна. На окремих шліфах простежується початок розкладання перліту.

Експлуатаційна деградація металу проявилась і в зростанні зерна металу.

Цими структурними змінами можна пояснити погіршення механічних характеристик. Твердість поверхні в більшій мірі виявилась не чутливою до деградації металу за винятком першого зразка, де вона збільшилась на 9 % порівняно з попередніми вимірами. Подальша робота має бути спрямована на оптимізацію кількості активних сполук і технологію їх закладання і грамотну експлуатацію.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Цирульник О. Т. Окрихчення сталі магістрального нафтопроводу / О.Т. Цирульник, Г. М. Никифорчин, О. І. Звірко, Д. Ю. Петрина // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2004. – № 2. – С. 126–126. (Embrittlement of the steel of an oil-trunk pipeline / О. Т. Tsyruľ'nyk, Н. М. Nykyforchyn, О. І. Zvirko, D. Yu. Petryna // Materials Science. – 2004. – 40, №4. – Pp. 302–304).
2. Архипов О. Г. Експлуатаційна деградація механічних властивостей металу аміакопроводу / О. Г. Архипов, Ю. Я. Ніхаєнко, В. А. Борисенко, М. С. Хома, О. В. Любимова–Зінченко // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2013. – № 4. – С. 97–102.
3. Nykyforchyn Н. М. Hydrogen. Degradation of steels in long term service conditions / Н. М. Nykyforchyn, К.-J. Kurzydłowski, E. Lunarska // Environment-induced cracking of materials. – Vol. 2 : Prediction, industrial developments and evaluations. – Elsevier, 2008. – Pp. 349–361.
4. Цирульник О. Електрохімічні показники експлуатаційної деградації сталей нафто- і газогонів / О.Цирульник, Г. Никифорчин, З. Слободян та ін. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2006. – № 5. – С. 284–289.
5. Деградація сталей в агресивних середовищах, залишковий ресурс обладнання і корозійний моніторинг : монографія / [О. Г. Архипов, В. А. Борисенко, М. С. Хома, О. В. Любимова–Зінченко]. – Сєверодонецьк : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2016. – 203 с.

REFERENCES

1. Tsyruľnyk O.T., Nykyforchyn H.M., Zvirko O.I. and Petryna D.Yu. *Okrykhchennia stali mahistralnoho naftoprovodu* [Embossing the steel main oil pipeline]. *Fiziko-khimichna mekhanika materialiv* [Physico-chemical mechanics of materials]. 2004, no. 2, pp. 126–126. (Tsyruľnyk O.T., Nykyforchyn H.M., Zvirko O.I., Petryna D.Yu. *Okrykhchennia stali mahistralnoho naftoprovodu* [Embrittlement of the steel of an oil-trunk pipelin]. *Materialoznavstvo* [Materials Science]. 2004, 40, no. 4, pp. 302–304). (in Ukrainian).
2. Arkhypov O.H., Nikhaienko Yu.Ya., Borysenko V.A., Khoma M.S. and Liubymova–Zinchenko O.V. *Ekspluatatsiina dehradatsiia mekhanichnykh vlastyvostei metalu amiakoprovidu* [Operational degradation of mechanical properties of metal ammonia pipelines]. *Fiziko-khimichna mekhanika materialiv* [Physico-chemical mechanics of materials]. 2013, no. 4, pp. 97–102. (in Ukrainian).
3. Nykyforchyn H.M., Kurzydłowski K.-J. and Lunarska E. Hydrogen. Degradation of steels in long term service conditions. *Environment-induced cracking of materials, vol. 2 : Prediction, industrial developments and evaluations*, Elsevier, 2008, pp. 349–361.
4. Tsyruľnyk O., Nykyforchyn H., Slobodian Z. And oth. *Elektrokhimichni pokaznyky ekspluatatsiinoi dehradatsii stalei nafto- i hazohoniv* [Electrochemical indicators of operational degradation of oil and gas stones]. *Fiziko-khimichna mekhanika materialiv* [Physico-chemical mechanics of materials]. 2006, no. 5, pp. 284–289. (in Ukrainian).
5. Arkhypov O.H., Borysenko V.A., Khoma M.S. and Liubymova–Zinchenko O.V. *Dehradatsiia stalei v ahresyvykh seredovyshchakh, zalyshkovyi resurs obladnannia i koroziinyi monitorynh* [Degradation of steels in aggressive environments, residual equipment life and corrosion monitoring]. *Sieverodonetsk : Vyd-vo SNU im. V. Dalia*, 2016, 203 p. (in Ukrainian).

Стаття рекомендована до публікації д-ром техн. наук, проф. Ю. І. Дубровим (Україна), д-ром техн. наук, доц. В. М. Волчуком (Україна).

Надійшла до редакції 05.04.2019.

Прийнята до друку 09.04.2019.