

УДК 620.193

ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ДЕГРАДАЦІЯ КОНСТРУКЦІЙНОЇ ОЩАДНОЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ

ЛЮБИМОВА-ЗИНЧЕНКО О.В.^{1*}, к.т.н., доц.,
ЗАЙКА Р.Г.² к.т.н., доц.

^{1*} Кафедра загальної та фізичної хімії, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, Технологічний інститут, пр. Радянський 59-а, м. Северодонецьк, 93400, 06452-2-89-95, 050-949-49-77, aspirant-snu@i.ua

² Кафедра загальної та фізичної хімії, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, Технологічний інститут, пр. Радянський 59-а, м. Северодонецьк

Анотація. Завдяки високим характеристикам міцності і пластичності при відносно невеликій ціні ошадно леговані сталі посідають в промисловості за використанням перше місце. Значна частина труб знаходиться в експлуатації тривалий час. Практично всі вітчизняні підприємства нафтопереробної і хімічної галузі експлуатуються протягом декількох десятиріч і наближаються до вичерпання свого ресурсу або вже його вичерпали. Враховуючи, що для певних видів обладнання саме корозійні пошкодження є в 90% випадків причиною аварій і зупинок, такий моніторинг суттєво підвищує безпеку експлуатації. Але поруч з корозійними процесами відбуваються і більш небезпечні процеси, що за останній час отримали назву експлуатаційна деградація металу.

Ключові слова: деградація перліту, мікропошкодження металу труб

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ДЕГРАДАЦИЯ КОНСТРУКЦИОННОЙ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

ЛЮБИМОВА-ЗИНЧЕНКО О.В.^{1*}, к.т.н., доц.,
ЗАЙКА Р.Г.² к.т.н., доц.

^{1*} Кафедра общей и физической химии, Восточноевропейский национальный университет им. В. Даля, Технологический институт, пр. Советский 59-а, г. Северодонецк, 93400, 06452-2-89-95, 050-949-49-77, aspirant-snu@i.ua

² Кафедра общей и физической химии, Восточноевропейский национальный университет им. В. Даля, Технологический институт, пр. Советский 59-а, г. Северодонецк

Аннотация. Благодаря высоким характеристикам прочности и пластичности при относительно небольшой цене ссудо легированные стали занимают в промышленности за использованием первое место. Значительная часть труб находится в эксплуатации длительное время. Практически все отечественные предприятия нефтеперерабатывающей и химической отрасли эксплуатируются в течение нескольких десятилетий и приближаются к исчерпанию своего ресурса или уже его исчерпали. Учитывая, что для определенных видов оборудования именно коррозионные повреждения есть в 90% случаев причиной аварий и остановок, такой мониторинг существенно повышает безопасность эксплуатации. Но рядом с коррозионными процессами происходят и более опасные процессы, что за последнее время получили название эксплуатационная деградация металла.

Ключевые слова: деградация перлита, микроповреждения металла труб

OPERATIONAL DEGRADATION OF STRUCTURAL NON- ECONOMICALLY ALLOYED STEEL

LIUBIMOVA-ZINCHENKO O.V.¹, Assos.prof., Ph.D.,
ZAIKA R.G.², Assos.prof., Ph.d.,

¹ *Department of General and Physical Chemistry, East Ukrainian National University n.a. V. Dal, Technological institute The Soviet 59th and Severodonetsk, 93400, 06452-2-89-95, 050-949-49-77, aspirant-snu@i.ua

² Department of General and Physical Chemistry, East Ukrainian National University n.a. V. Dal, Technological institute The Soviet 59th and Severodonetsk

Abstract. Due to the characteristics of high strength and ductility at relatively small cost savings alloyed steel industry occupy first place for use. Much of the pipes in use for a long time. Almost all domestic enterprises petroleum and chemical industry operated for several decades and are approaching exhaustion of the resource or it has run out. Whereas, for certain types of equipment it is corrosive damage in 90% of cases the cause of accidents and stops, such monitoring significantly enhances operational safety. But along with corrosion processes occur more dangerous processes recently called operational degradation metal.

Keywords: degradation of perlite, microdamage of metal pipes

Вступ. Завдяки високим характеристикам міцності і пластичності при відносно невеликій ціні оцадно леговані сталі посідають в промисловості за використанням перше місце. В майбутньому їх використання буде поширюватися. Значна частина труб знаходиться в експлуатації тривалий час. Практично всі вітчизняні підприємства нафтопереробної і хімічної галузі експлуатуються протягом декількох десятиріч і наближаються до вичерпання свого ресурсу або вже його вичерпали. Неритмічні поставки сировини і тривалі зупинки виробництв без належної консервації лише прискорюють процеси експлуатаційної деградації металу і зварних швів. Одним з дієвих методів запобігання аваріям є моніторинг стану металу, бажано в режимі реального часу. Наприклад, на хімічних підприємствах Німеччини корозійному моніторингу підлягає 70% обладнання [1]. Враховуючи, що для певних видів обладнання саме корозійні пошкодження є в 90% випадків причиною аварій і зупинок, такий моніторинг суттєво підвищує безпеку експлуатації. Але поруч з корозійними процесами відбуваються і більш небезпечні процеси, що за останній час отримали назву експлуатаційна деградація металу [2].

Деградація є небезпечний і незворотній процес, що триває безперервно з початку експлуатації. Особливо інтенсивно деградаційним процесам піддані частини обладнання що працюють за значних механічних навантажень в агресивному середовищі. На зараз дискусійним є питання вибору чутливих характеристик, що спроможні адекватно оцінювати ступінь деградації сталі. Згідно з літературними даними головним чинником деградації сталей магістральних трубопроводів є їх деформаційне старіння, в процесі якого як правило, підвищується міцність і знижується пластичність та ударна в'язкість. Проте, якщо тривалість експлуатації наближається приблизно до 20...30 років, у металі розвивається об'ємна пошкоджуваність, яка зумовлює низку особливостей у механічній поведінці матеріалу. В нафтопереробній і хімічній галузях виробництва надійність значною мірою залежить від корозійної активності технологічних середовищ і обумовлена процесами корозійно-втомного руйнування [3]. Крім середовища на ресурс впливають статичні і циклічні навантаження, яким піддається обладнання протягом запланованого часу, хімічний склад сталі, термічна і механічна обробка, температура експлуатації обладнання, наводнювання та ступінь деградації сталей [4, 5]. Внаслідок того, що більшість обладнання і трубопроводів вже

наближаються до вичерпання ресурсу або відпрацювали запланований термін, це створює умови для аварійних ситуацій. Тому важливою задачею є визначення тенденцій змін механічних характеристик і на основі отриманих результатів прогнозування залишкового ресурсу обладнання. Для конструкційних матеріалів найбільш важливими є механічні характеристики, часто саме вони визначають можливості і умови подальшого використання певного обладнання.

Досліджувалась сталь марки JIS G3458 STPA22, з якої були виготовлені труби системи пароутворення цеху синтетичного аміаку 1-Б ПрАТ "Северодонецьке об'єднання Азот". Сталь JIS G3458 STPA22 є конструкційною оцаднолегованою сталлю, яка використовується для виготовлення колекторів, пароперегрівачів, паропроводів, що довгостроково працюють за температур до 500 °С. За хімічним складом досліджувана сталь близька до вітчизняної сталі марки 15ХМ (ГОСТ 4543-71). Система пароутворення входить в блок парового риформінгу і призначена для отримання пари під тиском не більше 109 кгс/см² (надлишкового) з температурою 480-482 °С, необхідного для парової конденсаційної турбіни з регулюючим відбором пари, яка є приводом трикорпусного відцентрового компресора азотоводневої суміші. До моменту дослідження трубопровід знаходився в експлуатації 162904 години.

Метою роботи є дослідження структурних змін металу і обумовлених цим змін механічних характеристик. Для зразків з вихідної і деградованої сталі визначали характеристики міцності, робили металографічні і механічні дослідження. Досліджувались лише прямолінійні ділянки труб. При виготовленні зразків приймалися запобіжні заходи (охолодження, відповідні режими обробки), що виключають можливість зміни властивостей металу при нагріві або наклепів, які виникають в результаті механічної обробки.

Механічні дослідження на розтяг велись на стандартних зразках на машині Р-5М згідно з ГОСТ 1497-84 за температури 20 °С. Дослідження за підвищених температур проводились згідно з ГОСТ 9651-84. Установка для досліджень за підвищених температур складалася із машини на розтяг Р-5М, трубчастої пічі з поворотною направляючою, потенціомера з термпарою типу ТХА, автотрансформатора для регулювання температури в печі. Металографія зразків проводилась на мікроскопі НЕОФОРТ-21, з послідуною обробкою результатів в програмі Ресурс С-7. Хімічний склад

металу та домішок визначався приладом SPECTROPORT.

Результати досліджень та їх обговорення

Переважно дослідниками характеристики порівнюються лише з їх значеннями на момент початку експлуатації. Але за час тривалої експлуатації механічні характеристики можуть проявити різні тенденції до змін, тому необхідно проводити їх вимірювання з певною періодичністю і відстежувати тенденції їх змін протягом всієї експлуатації [6]. За вихідні значення бажано брати значення характеристик для металу труб з тієї ж партії поставки, що і досліджувані, але не бувшими в експлуатації (труби партії запасу). Часто це досить проблематично за тривалої експлуатації протягом

десятиріч. В ході досліджень сталі JIS G3458 STPA22 розглядалися зразки виготовленні з труб, що відпрацювали 70000, 108460 і 162904 годин. Характеристики на момент початку експлуатації вибирались на основі сертифікату заводу виробника.

Зовнішня і внутрішня поверхня за час експлуатації піддані загальній нерівномірній і виразковій корозії, спостерігається рихлення металу. Глибина виразок зростає з часом експлуатації, назвні труби складає до 2 мм. На внутрішній поверхні до 0,5 мм (рис. 1а).

Мікроструктура основного металу труб ферито-перлітна. Перліт тонко пластинчастий (рис. 1б).

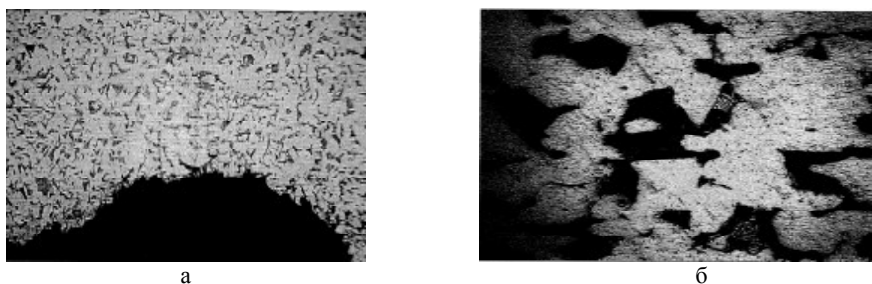


Рис.1 Корозійне ураження зовнішньої поверхні (а)×100 і мікроструктура сталі після тривалої експлуатації (б)×1000 / Fig.1 Corrosion outer surface of the lesion (s) × 100 and the microstructure of the steel after prolonged use (b) × 1000

Мікропошкодження металу труб і зварних з'єднань не виявлено. За результатами карбідного аналізу, з урахуванням результатів після 38880 годин експлуатації, з твердого розчину в карбіді перейшло 4,6%-7,9% хрому і молібдену. Металографічні дослідження металу вирізки проведені на шести мікрошліфах, вирізаних з двох котушок основного металу і на 9 макро- і мікрошліфів, вирізані із трьох

зварних з'єднань. Після експлуатації протягом 162904 годин виявлена сфероїзація і часткова коагуляція цементиту в матриці. Сфероїзація перліту відповідає 2 - 3 балу за шкалою Е ОСТ 34 - 70 - 690 - 96.

Для проведення іспитів на розтяг зразки виготовлялись з орієнтацією волокон паралельно поздовжній осі труби. Визначався комплексний показник $\sigma_{0,2}/\sigma_b$ (рис. 2).

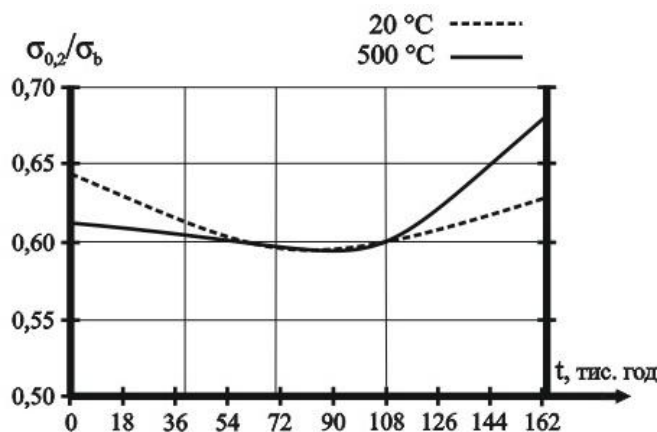


Рис. 2. Характеристика зміни комплексного показника $\sigma_{0,2}/\sigma_b$ / Fig. 2. Characteristic of complex index $\sigma_{0,2}/\sigma_b$

Встановлено, що за температури випробувань 20 °C і 500 °C на першому етапі експлуатації матеріал досліджуваної труби підлягав розміцненню, а другий етап навпаки характеризувався певним зміцненням сталі. Спільними для характеристики

міцності є їх зменшення на першому етапі експлуатації до 70000 годин роботи і певне зміцнення на кінцевій стадії експлуатації. Після 162904 годин експлуатації за температури випробувань 500 °C величина умовної границі

текучості $\sigma_{0,2}$ все одно на 2% більше в порівнянні зі значенням цієї ж величини на момент початку експлуатації.

Висновки. Встановлені закономірності змін характеристик міцності дозволяють прогнозувати їх довговічність. Визначені функціональні залежності змін в часі границі плинності $\sigma_{0,2}$, σ_b і комплексного показника $\sigma_{0,2}/\sigma_b$. Підтверджена висока чутливість границі плинності $\sigma_{0,2}$ до деградації перліту в конструкційних сталях [5]. Доведено раціональність використання комплексного показника $\sigma_{0,2}/\sigma_b$ для

оцінювання ступеня деградації сталей. В цілому результати проведеної роботи можуть бути корисними для оцінювання ступеня деградації металу обладнання і прогнозування залишкового ресурсу. Отримані дані підтверджують результати робіт інших дослідників [6] про тенденцію конструкційних матеріалів обладнання, що працює в умовах дії агресивного середовища до зміцнення протягом тривалої експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Крижанівський Є.І., Никифорчин Г.М. Особливості корозійно-водневої деградації сталей нафтогазопроводів і резервуарів зберігання нафти // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2011. – № 2. – С.11 – 20.
2. Механіка руйнування і міцність матеріалів / Під заг. ред. В.В. Панасюка. Т.10: Міцність та довговічність нафтогазового обладнання / Під ред. В.І. Похмурського, Є.І. Крижанівського. – Львів – Івано-Франківськ: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 2006. – 1193 с.
3. Похмурський В.І. Корозійна втома металів і сплавів / В.І. Похмурський, М.С. Хома. – Львів: Сполум, 2008. – 301 с.
4. Дослідження процесу старіння сталі 09Г2С / О.Г. Архипов, В.А. Борисенко, М.С. Хома [та ін.] // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2007. Ч.2. - №11. – С.24-30.
5. Архипов О.Г. Оцінка деградації сталей обладнання нафтопереробних і хімічних виробництв / О.Г. Архипов, О.В. Зінченко, Д.О. Ковальов [та ін.] // Металеві конструкції. – 2009. – Т.15, №2. – С.117-122.
6. Бугай Н.В. Работоспособность и долговечность металла энергетического оборудования / Бугай Н.В., Березина Т.Г., Трунин Н.И. – М.: Энергоиздат, 1994. – 214 с.

REFERENCES

1. Kryzhanivskyi E.I. and Nykyforchyn H.M. Specific features of hydrogen-induced corrosion degradation of steels of gas and oil pipelines and oil storage reservoirs // Materials Science. – 2011. – V. 47, № 2. – P. 127 – 138
2. Fracture mechanics and strength of materials / under total. Ed. VV Panasyuk. T.10: The strength and durability of natural gas equipment / Ed. Pokhmurskii VI, EI Kryzhanivskyi. – Lviv – Ivano-Frankivsk: Physico-Mechanical Institute. GV Karpenko NAS Ukraine, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 2006. – 1193 p.
3. Pokhmurskii VI Corrosion fatigue of metals and alloys / VI Pokhmurskii, MS Thomas. – Lviv, spol, 2008. – 301 p.
4. Study aging steel 09G2S / EG Arkhipov, VA Borisenko, MS Thomas [et al.] // Journal of East Ukrainian National University. Dal. – 2007. Part 2. – №11. – S. 24 – 30.
5. Arkhipov OG Evaluation of equipment degradation steel refining and chemical industries / EG Arkhipov, AV Zinchenko, DO Kovalev [et al.] // Metal structures. – 2009. – T.15, №2. – S.117 – 122.
6. Bull NV Rabotosposobnost Durability and power machinery equipment metal / Bull NV Berezyna T.H., Trunyn NI – M. : Energoizdat, 1994. – 214 p.

Статья рекомендована к публикации д-рами техн. наук, В.И. Большаковым и Д.В. Лаухиным (Украина)