

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛІ
ASTM A333 Grade 6 ПІСЛЯ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

О. Архипов, д. т. н., доц., О. Любимова-Зінченко, к. т. н., доц.,
В. Борисенко, к. т. н., Д. Близнюк

*Технологічний Інститут Східноукраїнського Національного
університету ім. Володимира Даля (м. Сєвєродонецьк)*

Вступ. Старіння і деградація сталей є небезпечний і незворотній процес, що триває безперервно з початку експлуатації обладнання і апаратури. Особливо цим негативним процесам піддані частини обладнання, що працюють за значних механічних навантажень в агресивному середовищі. На поточний момент дискусійним є питання вибору характеристик і показників, що спроможні адекватно оцінювати ступінь старіння і деградації сталі. Таке оцінювання можливе певними механічними характеристиками, аналізом структурних перетворень, що відбуваються в сталі і електрохімічними показниками.

Актуальною проблемою хімічних та нафтопереробних виробництв є вичерпання запланованого ресурсу обладнання. Поняття ресурсу обладнання взаємопов'язано з такою характеристикою як надійність. Надійність обладнання, що працює в корозійному середовищі забезпечується правильним вибором відповідних конструкційних матеріалів і контролем швидкості корозії при експлуатації обладнання, врахування змін механічних характеристик протягом експлуатації. В нафтопереробній і хімічній галузях виробництва надійність значною мірою залежить від корозійної активності технологічних середовищ і обумовлена процесами корозійно-втомного руйнування [1]. 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 та ступінь деградації сталей [2, 3]. 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 і інших характеристик експлуатованих сталей і на основі отриманих результатів прогнозувати залишковий ресурс обладнання. Для конструкційних матеріалів найбільш важливими є механічні характеристики, бо саме вони визначають можливості і умови подальшого використання певного обладнання.

Об'єктом досліджень була вибрана оцаднолегована сталь марки ASTM A333 Grade 6, з якої були виготовлені труби аміакопроводу Тольяті-Горлівка-Одеса, які відпрацювали за середньої робочої температури від 0 °С до +21,5 °С близько 262800 годин (30 років) в умовах транспортування рідкого аміаку.

Основи методичного підходу. Для зразків з вихідної і деградованої сталі визначалися характеристики міцності. З характеристик міцності визначалися границя текучості (умовна границя текучості $\sigma_{0,2}$) і границя міцності (тимчасовий опір σ_b), на основі отриманих результатів розраховувався комплексний показник $\sigma_{0,2}/\sigma_b$.

Вирізку заготовок з експлуатованої сталі проводили шляхом застосування кисневого різання, передбачаючи припуски на зону із зміненими властивостями при нагріві. При виготовленні зразків приймалися запобіжні заходи (охолодження, відповідні режими обробки), що виключають можливість зміни властивостей металу при нагріві або наклепі, які виникають в результаті механічної обробки.

Механічні дослідження на розтяг велись на стандартних зразках на машині Р-5 згідно з ГОСТ 1497-84 за температури 20 °С. Вимір геометричних характеристик проводили штангенциркулями, що відповідають ГОСТ 166-89, мікрометри відповідають вимогам ГОСТ 6507-90.

Статистичну обробку результатів випробувань проводили методом Ірвіна.

Досліджувались тільки прямолінійні ділянки труб, та ділянки, що містять гини працюють в суттєво відмінних умовах.

Результати досліджень та їх обговорення. Сталь ASTM A333 Grade 6 є конструкційною низькотемпературною ошаднолегованою сталлю, яка використовується для виготовлення трубопроводів, що працюють при низьких температурах. Хімічний склад сталі ASTM A333 Grade 6 в стані поставки приведений у таблиці 1.

Таблиця 1.

Хімічний склад сталі ASTM A333 Grade 6

C	Si	Mn	S	P
≤0,30	≤0,10	0,29-1,06	≤0,025	≤0,025

Після тривалої експлуатації хімічний склад труб відповідав вимогам для цієї сталі.

Механічні характеристики досліджувались після 140160 і 262800 годин експлуатації трубопроводу. Характеристики на момент початку експлуатації вибирались на основі паспортних даних. Дослідженню підлягали 5 труб, які мали наступні геометричні характеристики: труби №1, 2, 4-Ø323,8×17,4 мм; труба №3-Ø273×10,31 мм; труба №5-Ø317×17,4 мм. З усіх труб зразки виготовлялись з орієнтацією волокон паралельно поздовжній осі труби і визначалась умовна границя текучості $\sigma_{0,2}$ і визначався комплексний показник $\sigma_{0,2}/\sigma_b$ (рис. 1, 2, 4), а для труби №4 досліджувались зразки ще і з поперечним напрямком волокон (рис.3а). Крім того з труби №5 додатково були виготовлені зразки, що містили зварний шов (рис.3б).

Використання комплексного показника $\sigma_{0,2}/\sigma_b$ дозволяє певною мірою усунути недолік порівняння характеристик, що пов'язаний з відсутністю зразків виготовлених зі сталі з тієї ж партії поставки, але не бувшої в експлуатації. Крім того, для пластичних сталей цей показник може виявитись більш чутливим щодо виявлення змін механічних характеристик.

Установлено, що згідно з характером змін в часі умовної границі текучості $\sigma_{0,2}$, на першому етапі експлуатації матеріал труб №1,2,4,5 підлягав розміцненню, а другий етап навпаки характеризувався зміцненням сталі. Матеріал труби №3 проявив протягом експлуатації стійку тенденцію до розміцнення.

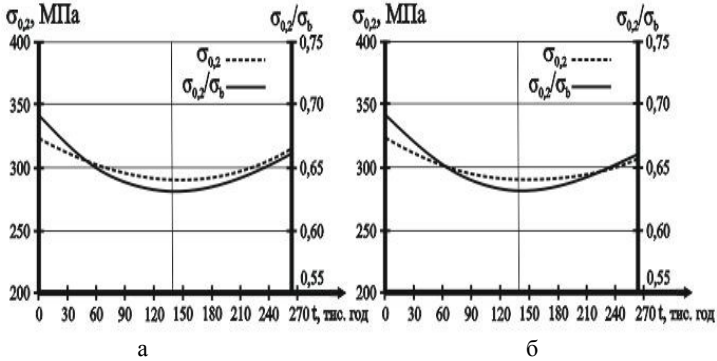


Рис. 1. Характеристика зміни умовної границі текучості і комплексного показника: а - труби №1, зразки поздовжні; б - труби №2, зразки поздовжні.

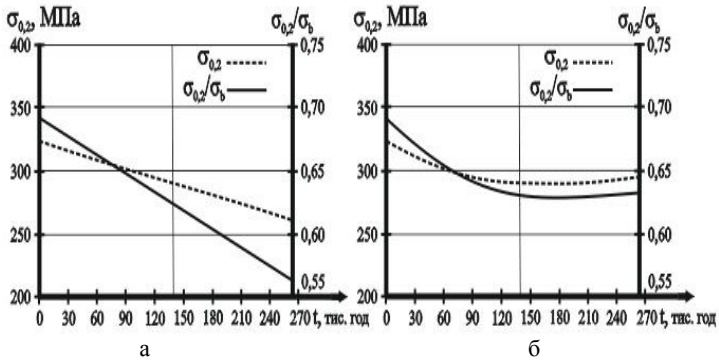


Рис. 2. Характеристика зміни умовної границі текучості і комплексного показника: а - труби №3, зразки поздовжні; б - труби №4, зразки поздовжні.

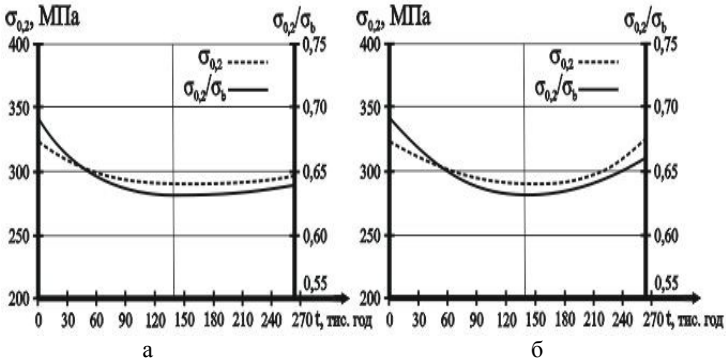


Рис. 3. Характеристика зміни умовної границі текучості і комплексного показника: а - труби №4, зразки поперечні; б - труби №5, зразки зі швом.

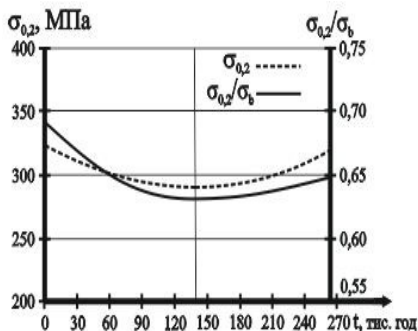


Рис. 4. Характеристика зміни умовної границі текучості і комплексного показника труби №5, зразки поздовжні.

Можливою причиною відмінностей характеристик труби №3 є її менші геометричні розміри і відмінне за інтенсивністю наводнювання сталі, що є предметом подальших досліджень.

В результаті обробки експериментальних даних встановлено, що зміна в часі умовної границі текучості $\sigma_{0,2}$ описується рівнянням:

$$\sigma_{0,2} = k - mt + nt^2,$$

де k, m, n – сталі величини;
 t – час, тис. год.

Значення величин k, m, n наведено в таблиці 2.

Таблиця 2.

Значення величин k, m, n для рівняння умовної границі текучості $\sigma_{0,2}$

	k	m	n
Труба №1, зразки поздовжні	326,3525	0,5780	0,00230
Труба №2, зразки поздовжні	327,7367	0,61416	0,00242
Труба №3, зразки поздовжні	335,4425	0,8192	0,00317
Труба №4, зразки поперечні	326,8850	0,6714	0,00263
Труба №4, зразки поздовжні	329,0660	0,6500	0,00256
Труба №5, зразки поздовжні	326,0150	0,5692	0,00227
Труба №5, зразки зі швом	320,8100	0,5094	0,00203

Комплексний показник $\sigma_{0,2}/\sigma_b$ змінюється в часі за наступною функціональною залежністю:

$$\sigma_{0,2}/\sigma_b = a + bt - ct^2,$$

де a, b, c – сталі величини;
 t – час, тис. год.

Значення величин a, b, c наведено в таблиці 3.

Значення величин a , b , c для рівняння комплексного показника $\sigma_{0,2}/\sigma_b$

	a	b	c
Труба №1, зразки поздовжні	0,7020	0,000866	0,00000346
Труба №2, зразки поздовжні	0,7020	0,000866	0,00000346
Труба №3, зразки поздовжні	0,7330	0,001552	0,00000583
Труба №4, зразки поперечні	0,7170	0,001283	0,00000495
Труба №4, зразки поздовжні	0,7190	0,001324	0,00000509
Труба №5, зразки поздовжні	0,7168	0,001258	0,00000485
Труба №5, зразки зі швом	0,7020	0,000866	0,00000346

ВИСНОВКИ

Отримані дані підтверджують результати робіт інших дослідників [4, 5, 6] про тенденцію конструкційних матеріалів обладнання, що працює в умовах дії агресивного середовища до зміцнення протягом тривалої експлуатації.

Підтверджена висока чутливість умовної границі текучості $\sigma_{0,2}$ до деградації конструкційних сталей [7].

Доведено раціональність використання комплексного показника $\sigma_{0,2}/\sigma_b$ для оцінювання ступеня деградації сталей.

Установлені функціональні залежності змін в часі умовної границі текучості $\sigma_{0,2}$ і комплексного показника $\sigma_{0,2}/\sigma_b$.

В цілому результати проведеної роботи можуть бути корисними для оцінювання ступеня деградації металу обладнання і прогнозування залишкового ресурсу.

Використана література

1. Похмурський В.І. Корозійна втома металів і сплавів / В.І. Похмурський, М.С. Хома. – Львів: Сполом, 2008. – 301 с.
2. 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.
3. 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.
4. Бугай Н.В. Работоспособность и долговечность металла энергетического оборудования / Бугай Н.В., Березина Т.Г., Трунин Н.И. – М.: Энергоиздат, 1994. – 214 с.
5. Горьнин Н.В. Старение материалов оборудования атомных электростанций после проектного ресурса / Н.В. Горьнин, Б.Т. Тимофеев // Фіз.- хім. механіка матеріалів. – 2006. - № 2. – С.13 – 27.
6. Никифорчин Г.М. Аномальный прояв високотемпературної деградації металу шву зварного з'єднання оцаднолегованої сталі / Г.М. Никифорчин, О.З. Студент, А.Д. Марков // Фіз. – хім. механіка матеріалів. – 2007. - № 1. – С. 73 – 80.
7. Кеннеди А.Д. Ползучесть и усталость в металах / М.: Металлургия, 1965. - 311 с.