

УДК 622.692.4

Тараєвський О. С.

ВПЛИВ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ НА ДЕФОРМАЦІЙНУ СТІЙКІСТЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Розрахунок на міцність магістральних трубопроводів проводиться за методом граничного стану, що визначається міцністю труб на розрив від дії статичних навантажень. При цьому не враховувалися неоднорідності розподілу напружень в стінці труби за рахунок дефектів, а також викликані відхиленнями перерізів труб від правильної геометричної форми за рахунок наявності зварного шва, зміщення кромки в ньому і овальності розтину в цілому [1, 2].

Однак практика експлуатації показує, що в багатьох випадках труби виходять з ладу в міру напруження циклів. Ці експлуатаційні розриви по своєму зовнішньому вигляду схожі на руйнування під дією внутрішнього тиску при статичному навантаженні до розриву. При цьому тріщини, як і при статичному розриві, утворюються в поздовжньому напрямку і, як правило, в зоні зварного з'єднання [3].

Статистичний аналіз механічних характеристик трубної сталі 17Г1С у вихідному стані проведено за результатами випробувань, наведеними у сертифікатах. Причиною подібних руйнувань є накопичення необоротних мікропластичних пошкоджень і розвиток вихідних мікродефектів, що призводять до появи і поширення втомних тріщин від повторних впливів внутрішнього тиску в окрихченому металі труби в процесі експлуатації трубопроводів.

У процесі експлуатації газотранспортного комплексу України, газопроводи піддаються статичним, циклічним, динамічним навантаженням та впливу корозійного середовища, одночасна дія якого веде до їх корозійно-втомного руйнування. Слід відмітити, що катодні й анодні ділянки на поверхні деформованого металу у корозійному середовищі не є стабільними, а можуть мінятися місцями у зв'язку із зміною електродних потенціалів під впливом деформації, а також у зв'язку з утворенням пасивуючих плівок і втомних тріщин, які є концентраторами напружень [4].

Усі причини виникнення нестационарних процесів можуть бути розділені на постійно діючі та імпульсні.

До першої групи слід віднести нестационарні процеси, викликані добовою нерівномірністю газоспоживання. Вони характеризуються періодичністю з періодом в одну добу і для транзитних газопроводів незначною амплітудою зміни технологічних параметрів. В основному для вимірювання добової нерівномірності газоспоживання використовується акумулююча здатність газопроводу, тому в більшості випадків ніяких керуючих впливів на систему не застосовується.

Імпульсні причини виникнення нестационарності газового потоку в газопроводі з технологічної точки зору можна поділити на дві групи. До першої слід віднести нестационарні процеси, викликані технологічними плановими впливами на систему (зміна технологічної схеми компресорної станції (КС), різні зміни в поступленні чи відборі газу із системи). Нестационарність потоку, викликана дією цих впливів, характеризується великою амплітудою зміни технологічних параметрів і значною тривалістю перехідного процесу. Однак, момент початку нестационарного процесу в цьому випадку здебільшого заздалегідь відомий, що дозволяє завчасно моделювати майбутній нестационарний процес та прийняти відповідні керуючі рішення. До другої групи відносяться нестационарні процеси, викликані аварійними ситуаціями на газопроводах (як на КС так і на лінійних дільницях).

Важливим етапом проведення досліджень є статистичний аналіз реальних режимів роботи магістральних газопроводів із пересіченим профілем траси, що дозволить встановити реальну картину руху газу в газопроводах, а також загальні характеристики технологічних

процесів. Реальні газопроводи працюють у нестационарному режимі. Однією із зовнішніх причин не стаціонарності роботи газопроводу є періодичне збурення від добових, місячних, а також річних коливань газоспоживання, які мають певну закономірність. Для оперативного диспетчерського керування, в основному, має значення облік коливання газоспоживання на протязі доби. Для проведення таких досліджень важливо встановити причину виникнення нестационарного процесу, яка у свою чергу в більшості випадків визначає характер його протікання [4, 5].

Деформаційна стійкість покриття визначається величиною внутрішньої напруги в полімерній оболонці триплексної системи, яка залежать від температури середовища і адгезійної міцності зчеплення. Ці закономірності, як чинники управління надійністю антикорозійного захисту, були також вивчені експериментальним шляхом.

Випробування виконувалися на трубах з полімерним покриттям при атмосферному зберіганні і виробництві зварювальних робіт. В процесі випробувань використовувалися методи оцінки внутрішньої напруги в покритті і адгезійної міцності покриття при відшаруванні від поверхні металу.

Метою роботи є встановлення ступеня впливу температури на зміну вказаних параметрів покриття труб.

Випробування проводилися при температурі навколишнього повітря від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ і температурі попереднього підігріву зварного стику від $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, результати випробувань представлені на рис. 1.

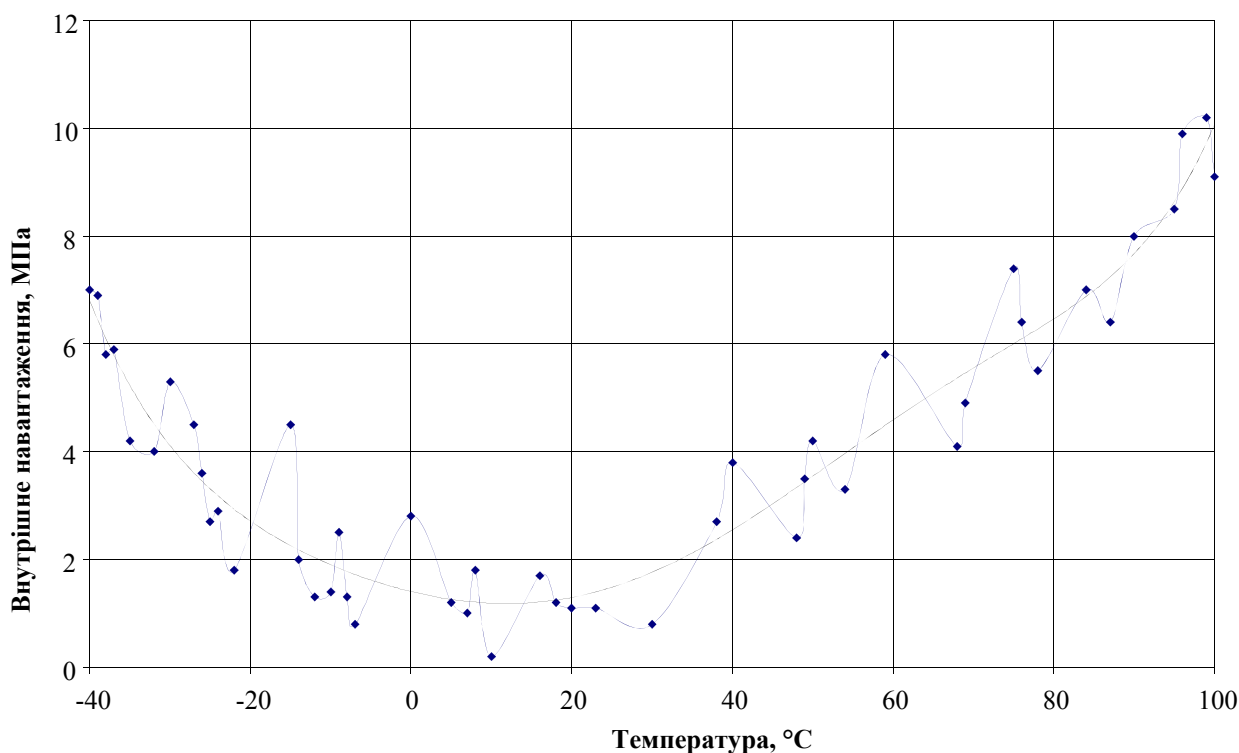


Рис. 1. Графічна залежність внутрішнього навантаження покриттів зварного з'єднання від температури

Представлена залежність внутрішньої напруги в покритті від температури випробувань і описується кубічним поліномом при показників дисперсії $R^2 = 0,9$.

$$\sigma_{\text{вн}} = 6 \cdot 10^{-11} \cdot T^6 - 1,09 \cdot 10^{-8} \cdot T^5 + 3 \cdot 10^{-7} \cdot T^4 + 6 \cdot 10^{-6} \cdot T^3 + 0,0014 \cdot T^2 - 0,036 \cdot T + 1,4049. \quad (1)$$

Взаємозв'язок між внутрішньою напругою полімерного шару і величиною його адгезії з металом представлена аналітично цей зв'язок виражається емпіричною залежністю при показнику дисперсії $R^2 = 0,9$:

$$\sigma_{вн} = -0,0814Ga + 8,72. \quad (2)$$

Як видно, залежність характеризується лінійністю, при якій величина внутрішньої напруги зменшується із зростанням значень адгезії. Якщо на графік нанести пунктирними лініями допустимі значення даних параметрів, то можна виділити область їх оптимальних значень. Ця область, вельми обмежена, а вихід за межі пояснюється безповоротністю процесу, оскільки він пов'язаний з усадкою полімерної оболонки і відшаровуванням її від поверхні труби.

Так, виходячи з виразів (1) і (2), можна підрахувати, що у міру зменшення температури навколишнього повітря від мінус 22 °С до мінус 40 °С відбувається збільшення внутрішньої напруги на кромці покриття в 2,1 рази (від 3,0 до 6,4 МПа) і зменшення адгезійної міцності зчеплення покриття з металом приблизно в 33 рази від допустимого значення (від 70 до 2,14 Н/см). Це означає, що в області негативних температур приріст величини внутрішньої напруги на одиницю зниження адгезійної міцності кратний приблизно 16.

В області впливу позитивних температур внутрішня напруга на кромці покриття збільшується при зварці із зростанням температури нагріву поверхні труби і із зменшенням відстані від зварного шва до кромки покриття від 3,0 МПа при $T = 48$ °С до 9,3 МПа при $T = 100$ °С, а адгезійна міцність покриття до металу зменшується від 70 Н/см до 12 Н/см.

Простий розрахунок показує, що в дослідженому температурному діапазоні параметр внутрішньої напруги зростає в 3,1 рази, а адгезійна міцність знижується при цьому в 5,83 рази. Інакше кажучи, приріст одиниці показника внутрішньої напруги пропорційний приблизно двократному зниженню адгезійної міцності. Порівнюючи ці два показники (16 і 2), бачимо, що темп зниження адгезійної міцності в області негативних температур (–22 ... +40 °С) в 8 разів інтенсивніше в порівнянні з областю позитивних температур (48–100 °С). Це – важливий практичний висновок.

Для збереження нормативної працездатності полімерного шару покриття майданчика складування необхідно облаштовувати теплозахисним укриттям, що забезпечує температуру зберігання виробів не нижче –20 °С у зимовий час; у літній час необхідно забезпечити радіаційне затінювання виробів для запобігання їх прогріванню сонячним випромінюванням понад 45 °С. У практичному сенсі цим двом умовам повинна відповідати єдина конструкція укриття з можливістю провітрювання внутрішнього об'єму в літній час.

Ці ж температурні обмеження в зимовий і в літній час необхідно дотримувати і при маніпулюванні виробами в процесі лінійного нарощування трубопроводу, укладання його в траншею і засипки ґрунтом. При цьому вибір глибини заставлення траншеї необхідно обґрунтувати теплотехнічним розрахунком.

Антикорозійне тришарове покриття труб в період до укладання їх в трасу в окремих випадках (до 10–15 % від загальної кількості труб) випробовує погіршення адгезійних характеристик в локальних областях, що виявляється у вигляді усадки кромки покриття в прикромкових зонах і утворення відшарувань з розвитком до 30 мм і більше.

Погіршення адгезійних характеристик покриття пов'язане з наступними впливаючими чинниками:

– атмосферною термоциклічною дією, що включає тривалу дію різко негативних температур, нагріваючи за рахунок прямого сонячного випромінювання, різкі перепади температур в умовах зберігання труб на тимчасових майданчиках;

– дією теплового поля зварки при виробництві монтажних робіт із застосуванням автоматичної зварки в умовах трубозварювальної бази, ручної дугової зварки в трасових умовах;
 – значним температурним перепадом (тепловий удар) при монтажі трубопроводу і ізоляції зварних стиків в умовах одночасної дії різко негативних температур і зовнішнього теплового поля.

При надземній прокладці труб з полімерним покриттям експлуатаційна температура виробу в межах $-20...+45$ °С забезпечується шаром теплової ізоляції, матеріал і товщина якого обґрунтовується також теплотехнічним розрахунком. При цьому, система теплозахисту повинна включати екрани, що радіаційно відображають, кількість яких в теплозахисному шарі визначається експериментально спеціальним дослідженням [5, 6].

ВИСНОВКИ

1. Поява і розвиток дефектності антикорозійного покриття, підтверджений результатами натурних спостережень, узгоджується з теплодеформаційною моделлю. З урахуванням краевого ефекту критична для адгезійної міцності напруга концентрується в краєвих крапках – при кромкових областях покриття.

З перевищенням критичної напруги при температурній дії відбувається необоротна зміна функціональних (адгезійних) властивостей внутрішнього і деформація зовнішнього шарів покриття.

2. Термодеформаційний цикл зміни якісних властивостей покриття в період до укладання труб в трасу є безперервний, взаємозв'язаний і взаємообумовлений процес, який, поетапно акумулюючи всі види температурної дії в окремих випадках, інтегрується в зародження і розвиток дефектності.

3. Практичне управління експлуатаційною надійністю антикорозійного покриття пов'язане з реалізацією наступних рекомендацій:

– запобіганням дії неприпустимих негативних температур при складському зберіганні труб з тришаровим антикорозійним покриттям в зимових умовах Крайньої Півночі;

– зниженням термічної дії зварки з обмеженням температури попереднього, супутнього і після зварного нагріву нижче 50 °С, зменшенням погонної енергії зварки, збільшенням відстані від кромки покриття до осі зварного шва більше 150 мм.

Реалізація цих рекомендацій приводить до суперечності із загальноприйнятими послідовностями і технологічними циклами будівництва і зварки нових магістральних трубопроводів. Вирішення цього протиріччя є важливим чинником забезпечення експлуатаційної стійкості антикорозійних полімерних покриттів газопровідних труб, що управляє, особливо в екстремальних температурних умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Карпенко Г. В. Прочность стали в коррозионной среде / Г. В. Карпенко. – М. : Машигиз, 1963. – 188 с.
2. Похмурський В. І. Корозійно-механічне руйнування зварних конструкцій / В. І. Похмурський, Р. К. Мелехов. – К. : Наукова думка, 1990. – 347 с.
3. Похмурський В. І. Коррозионная усталость металлов / В. І. Похмурський. – М. : Металлургия, 1985. – 207 с.
4. Крижанівський Є. І. Вплив наводнення на корозійно-механічні властивості зварних швів газопроводів / Є. І. Крижанівський, О. С. Тараєвський, Д. Ю. Петрина // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2005. – № 1 (14). – С. 25–29.
5. Крижанівський Є. І. Вплив нерівномірності газоспоживання на напружений стан трубопроводу / Є. І. Крижанівський, О. С. Тараєвський // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2004. – № 3 (12). – С. 31–34.
6. Крижанівський Є. І. Чутливість до водневої крихкості зварного з'єднання сталі 17Г1С магістрального газопроводу / О. Т. Цирульник, Є. І. Крижанівський, О. С. Тараєвський // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2004. – № 6. – С. 111–114.