

льним, що особливо актуально для металоконструкцій тривалої експлуатації. Ця проблема частково (в перспективі може бути вирішена повністю) завдяки застосуванню алгоритмів штучних нейронних мереж, що дозволяють проводити налаштування за умов мінімальної кількості (від 10) зразків із наперед визначеними механічними характеристиками;

4) однією із перспектив застосування приладу ФМХ-1 є контроль змін структури сталі. У зв'язку з цим також доцільно розглянути можливість проведення досліджень щодо визначення інших механічних характеристик, наприклад ударної в'язкості, відносного видовження;

5) потребує уваги питання метрологічного аналізу приладу з метою визначення похибки вимірювань границі текучості.

1. М.Н. Михеев, Э.С. Горкунов. Связь магнитных свойств со структурным состоянием вещества – физическая основа магнитного структурного ана-

лиза //Дефектоскопия. – 1981. – № 8. – С. 8-21. 2. А.В. Шарко. Современное состояние и перспективы развития акустических методов контроля прочностных свойств конструкционных материалов (обзор) //Дефектоскопия. – 1983. – № 5. – С. 72-87. 3. О.М. Карпаш, И.А. Молодецкий, М.О. Карпаш. Общий обзор методов оценки физико-механических характеристик металлов // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2004. – № 2. 4. Карпаш О.М., Молодецкий И.А., Кисиль И.С., Карпаш М.О. Новый подход до визначення фізико-механічних параметрів сталей неруйнівними методами //Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів: Зб. наук. праць. – 2004. – Вип. 9. – С. 80-86. 5. Карпаш М.О. Обґрунтування комплексного підходу до визначення фізико-механічних характеристик матеріалу металоконструкцій // Методи та прилади контролю якості. – 2004. – № 12. – С. 30-33.

УДК 620.193/197+620.179

КОНТРОЛЬ КОРОЗІЙНИХ ВТРАТ МЕТАЛУ НЕРУЙНІВНИМИ МЕТОДАМИ

© Рибіцький І.В., 2005

Науково-виробнича фірма "Зонд", м. Івано-Франківськ

Проаналізовані можливості контролю корозійних пошкоджень об'єктів довготривалої експлуатації. Розглянуті ультразвуковий, магнітний та радіографічний методи контролю корозійного зносу металоконструкцій.

В останні роки в Україні суттєво загострилась проблема нормативного забезпечення різних напрямків діяльності. Значною перешкодою на шляху її вирішення є, перш за все, відсутність єдиної україномовної термінологічної бази. Крім того, далось взнаки загальноприйняте використання російської мови для висвітлення технічних питань. Але якщо мовні бар'єри поволі долаються, то інша причина загострення проблеми – складність розроблення якісних нормативних документів – продовжує залишатись актуальною. Це обумовлено рядом причин [1].

Актуальність проблеми визначення залишкового ресурсу обладнання та металоконструкцій у нафтогазовій промисловості зумовлена значним терміном експлуатації та низьким рівнем поновлення існуючих фондів. Україна після розпаду СРСР отримала у спадщину розгалужену мережу металоконструкцій різноманітного призначення і на сьогоднішній день володіє найбільшою в Європі газотранспортною системою. Ця система включає 37 000 км газо-

проводів, 121 компресорну станцію з 800 газоперекручувальними агрегатами загальною потужністю 5,5 млн. кВт, 1324 газорозподільні станції, 13 підземних газосховищ з активною ємністю 43 млрд. м³ [1]. Більша частина цих споруд відпрацювала свій плановий ресурс на 60-70 % [2].

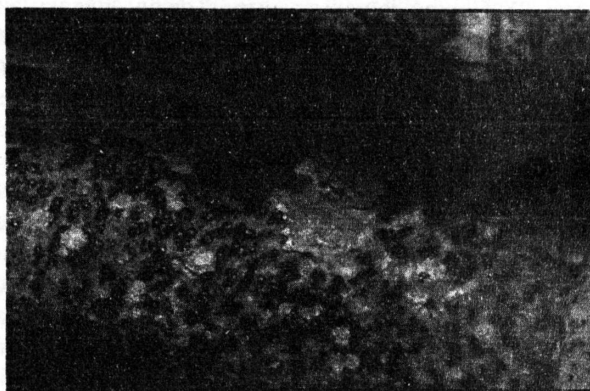
За статистичними даними, в Україні щорічні втрати металу, спричинені корозією (рис. 1), складають 12% від загальної маси металофонду, що відповідає втраті до 30% щорічного виробництва металу [3].

Старіння промислових металоконструкцій ускладнюється недостатнім рівнем їх поновлення і абсолютно невідповідним об'ємом заходів, що на даний час вживаються для їх реконструкції та ремонту. З аналізу ситуації, що склалася, випливає логічний висновок: необхідні ефективні заходи для визначення залишкового ресурсу наявного обладнання та продовження терміну його експлуатації при одночасному забезпеченні надійності.

З огляду на це, до пріоритетних напрямків слід віднести боротьбу з корозією та зменшенням наслідків її впливу.



а)



б)

Рис. 1. Корозія зовнішньої поверхні труби магістрального газопроводу (а) та НКТ (б)

На даний час для контролю наявності та ступеню корозії використовують [2]: візуальний контроль; інфрачервону спектроскопію; контроль корозійного середовища та контрольні отвори; визначання електричного опору, лінійної поляризації (поляризаційного опору), опору захисної плівки; гальвано- та потенціостатичний методи; неруйнівні (ультразвуковий, радіографічний, метод вихрових струмів) методи вимірювання товщини корозійного шару або залишкової товщини („живого” перерізу); методи вібруючого язичка, електромеханічного імпедансу, активації тонкого шару, акустичної емісії; вимірювання кількості виділеного водню, корозійної втрати маси контрольних зразків. Більшість з цих методів є допоміжними, всі вони, окрім неруйнівних, дозво-

ляють у поєднанні створити систему моніторингу за швидкістю корозії, починаючи від моменту введення об’єкта в експлуатацію, і в певний час дають можливість визначити інтегральне значення залишкової товщини в окремих точках. Їх основними недоліками є тривалий процес вимірювання, неможливість визначення реального значення глибини корозійного розшарування (або „живого” перерізу) у даний момент та проведення сканування трубопроводу.

Вирішення задачі визначення ступеня корозійного пошкодження металоконструкцій може бути знайдене шляхом використання різноманітних неруйнівних методів, які базуються на взаємодії з об’єктом контролю магнітного поля, електричного струму, рентгенівського чи ядерного проникаючого випромінювання, а також за допомогою високочастотних акустичних (ультразвукових) коливань. Кожен з цих методів зокрема або в поєднанні один з одним дають змогу створити систему (прилад), яка дозволяє виявити та оцінити кількісно втрату металу внаслідок корозії.

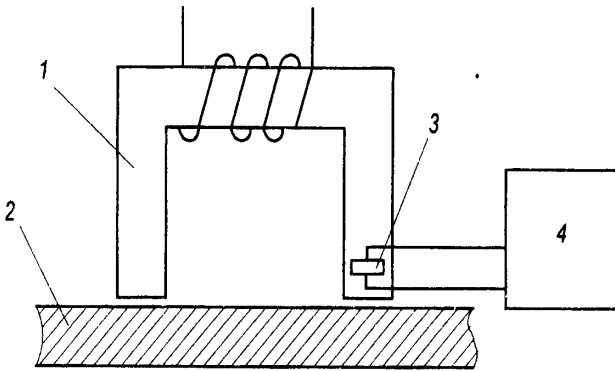
На даний час проблема визначення корозійного зносу металоконструкцій в основному вирішується шляхом визначення залишкової товщини, тому величину корозії отримують здебільшого як різницю між виконавчим значенням товщини металоконструкції та значенням товщини, отриманим при вимірюванні за допомогою товщиноміра.

Проведемо аналіз деяких методів та фізичних принципів визначення товщини металічних виробів.

Магнітні методи вимірювання товщини виробів з феромагнітних матеріалів у порівнянні з магнітними методами товщинометрії покриті одержали значно менше поширення. Це пояснюється складністю створення давачів з малою похибкою, особливо при вимірюванні великих товщин [2]. В основу методу покладено магнітостатичний принцип. Перетворювачі приладів являють собою двополюсні циліндричні магніти з перетворювачами Холла. У перетині магніти показані на рис. 2. За допомогою даного методу можна вимірювати товщини феромагнітних матеріалів від 0 мм до 3 мм із задовільною похибкою.

Використання конструкції перетворювача, яка дозволяє проводити вимірювання товщини методом магнітного моста, два плеча якого складають еталонна і контрольована труби, два інших — сердечник електромагніта, робить можливим значне розширення діапазону. У перемичці моста як вимірювальний елемент застосовують ферозонд.

Перевагами даного методу є відсутність контактної речовини, можливість контролю листів металу малої товщини, можливість проведення двостороннього вимірювання корозійних втрат при односторонньому доступі до поверхні контролю.



1 - електромагніт; 2- феромагнітна деталь; 3- перетворювач Холла; 4- вимірвальний пристрій

Рис. 2. Конструкція П-подібного електромагніту для магністатичного методу вимірювання товщини

До недоліків даного методу можна віднести значний вплив на результати вимірювань неоднорідності фізико-хімічних характеристик металоконструкції, зазору між електромагнітом та об'єктом контролю, стану поверхні контролю, необхідність використання еталонів для калібрування та вплив зовнішніх електромагнітних полів.

Радіохвильові методи дозволяють вимірювати і контролювати товщину діелектричного шару, одного діелектричного шару на іншому, діелектричного шару на металі і товщину металевого листа. Вимірювання можна проводити під час технологічного процесу виготовлення виробу, послідовно контролюючи товщину по всій поверхні чи в окремих точках і подаючи відповідні сигнали на виконавчі механізми [2].

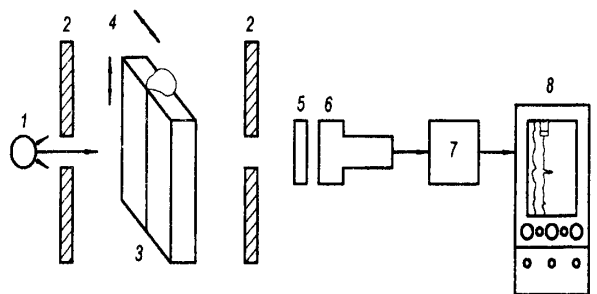
Даний спосіб вимірювання товщини забезпечує високу швидкість, що залежить тільки від засобів індикації, високу точність виміру (до долей відсотків), можливість дистанційного контролю, проведення вимірів при односторонньому (при вимірюванні товщини шару неферомагнітного покриття) і двосторонньому (при вимірюванні товщини металоконструкції) доступі до контрольованих поверхонь. Інформація про товщину може міститися в амплітуді, фазі, зсуві резонансної кривої, часі поширення імпульсу, положенні максимуму відбитої хвилі.

На даний час відомо кілька радіохвильових методів вимірювання товщини металевих листів, основні з яких пов'язані із застосуванням НВЧ-резонаторів напіввідкритого (квазізамкнутого) типу і випромінюючих пристроїв. Реалізація цих методів вимагає наявності доступу електромагнітної енергії до обох сторін металевого листа. У цих приладах використовується явище дзеркального відбивання

хвилі від металевої поверхні. У цьому випадку вимірювальна площа визначається самою металевою поверхнею, у якому б місці простору вона не знаходилася. Пов'язано це з тим, що на металі завжди встановлюється пучність струму і вузли напруги. Отже, при зсуві пластини зміщується просторовий розподіл поля. Для одержання однозначних результатів при визначенні відстані від приймача до поверхні металевої пластини приймач необхідно розташовувати в середині лінійної ділянки стоячої хвилі.

В основу радіаційного методу контролю товщини покладена здатність іонізуючого випромінювання проходити крізь об'єкт контролю. Крім того, класифікаційними ознаками є умови вимірювання (поглинання випромінювання і його зворотне розсіювання), вид використовуваного іонізуючого випромінювання і конструктивно-експлуатаційні особливості об'єкта контролю [4].

Суть методу полягає в наступному. Колімований пучок гальмівного або γ -випромінювання послідовно просвічує всі ділянки об'єкта контролю (рис. 3). Проникле через контрольовану ділянку випромінювання реєструється детектором, далі перетворюється в електричний сигнал, пропорційний інтенсивності випромінювання, що потрапляє на детектор. Електричний сигнал через підсилювач надходить на реєструючий пристрій. При зменшенні товщини або наявності дефектів у матеріалі (порожина) реєструючий пристрій показує зростання інтенсивності (потіку) випромінювання. Джерело випромінювання і детектор установлюють із протилежних сторін (робота в прямому пучку) контрольованого об'єкта й одночасно пересувають паралельно поверхні просвічуваного матеріалу і на однаковій відстані від нього.



1 - джерело випромінювання; 2 - коліматори; 3 - контрольований об'єкт; 4 - напрямок переміщення; 5 - сцинтиляційний кристал; 6 - фотоелектронний помножувач; 7 - підсилювач; 8 - реєструючий прилад

Рис. 3. Схема радіометричного контролю

За принципом виміру і способами реєстрації іонізуючих випромінювань товщинометрію можна віднести до різновиду радіометричного методу радіаційної дефектоскопії. Схема вимірювання товщини базується на ослабленні іонізуючого випромінювання. Промінь, що пройшов через вимірюваний матеріал, містить інформацію про товщину і реєструється детектором випромінювання. Електричний сигнал, пропорційний інтенсивності прониклого випромінювання, з детектора через підсилювач надходить на вимірювальний прилад, шкала якого градуйована в одиницях товщини вимірюваного матеріалу. Відмінності дефектоскопії від товщинометрії обумовлені тим, що товщину деталей можна виміряти при наявності еталонів, оскільки режим товщинометрії розрахований на абсолютні вимірювання.

Акустичні методи товщинометрії базуються на впливі середовища на пружні коливання, які збуджуються і поширюються в ньому. Фізико-механічні та геометричні характеристики об'єкта контролю змінюють час поширення, амплітуду, фазу ультразвукового імпульсу, який пройшов крізь виріб чи шар. За способом збудження пружних коливань розрізняють товщиноміри контактні, імерсійні і безконтактні.

Широке застосування отримали акустичні товщиноміри - луно-імпульсні [3], що дозволяють контроль виробу як із гладкими плоскопаралельними, так і з грубо обробленими, кородованими, еродованими, криволінійними і непаралельними поверхнями.

Інформативним параметром луно-імпульсних товщиномірів є час між зондуючим і одним з відбитих імпульсів або між двома луно-імпульсами. При цьому вимірювана товщина визначається за формулою [5]:

$$d = \frac{vt}{2}, \quad (1)$$

де t — час поширення ультразвукового імпульсу у виробі, v - швидкість поширення ультразвукового імпульсу у виробі.

Похибка вимірювання за допомогою луно-імпульсних товщиномірів викликана зміною товщини контактної поверхні; рівня сигналу; тривалості переднього фронту луно-імпульсу [5]. В останньому випадку похибка виникає в зв'язку з тим, що загасання ультразвукових коливань в акустичному тракті залежить від частоти. У першу чергу загасають високочастотні складові спектра імпульсу, що утворюють його передній фронт.

Похибка індикаторного пристрою, що залежить від класу точності, помилка настройки і виміру, зміна швидкості звуку внаслідок неоднорідності хімічного складу і властивості матеріалу, а також інші причини (зміна температури, розмірів п'єзоперетворювача (ПЕП) і виробу) також впливають на

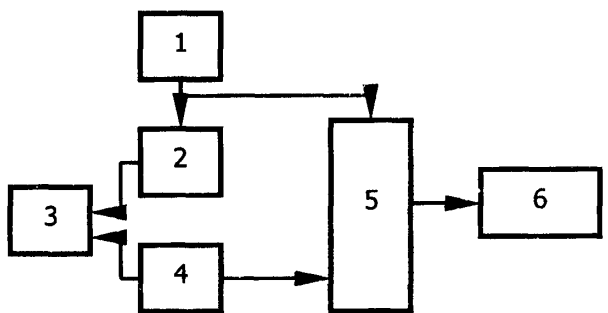
точність вимірів за допомогою луно-імпульсних товщиномірів.

Для вимірювання товщини стінок використовуються два способи, що розрізняються по області застосування, зі своїми спеціальними приладами і перетворювачами [2].

У першому способі використовуються широко-смугові ПЕП для одержання дуже короткого акустичного імпульсу. Час пробігу в цьому способі визначається по двох або більше відображеннях від протилежної стінки деталі (донної поверхні). Мінімальне вимірюване значення товщини виробу визначається частотою зондуючого імпульсу і буде тим менше, чим вища частота. Недолік способу полягає в тому, що вимірювання можливе у випадку, коли є серія луно-імпульсів від задньої стінки виробу, тому до стану поверхні контрольованого виробу висувають дуже високі вимоги.

Вимірювати товщину стінки з "грубими" поверхнями (наприклад, прокородованими) описаним способом не можна, тому що на нерівностях поверхні, корозійних виразках відбувається сильне розсіювання ультразвуку, що не дозволяє одержати інформативні багаторазові відображення.

У другому способі для виміру товщини використовується тільки перший відбитий імпульс. Цей спосіб не забезпечує точності попереднього, але він забезпечує вимірювання при поганій якості поверхні. Функціональна схема луно-імпульсного ультразвукового товщиноміру зображена на рис. 4.



1 – генератор синхроімпульсів; 2 - генератор імпульсів збудження; 3 – ПЕП; 4 - приймальний пристрій; 5 - вимірювальна схема; 6 – індикатор

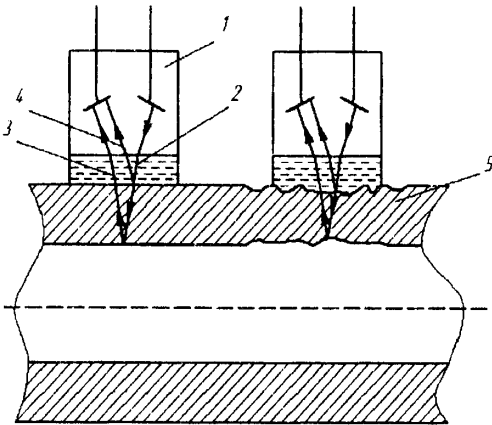
Рис. 4. Функціональна схема луно-імпульсного ультразвукового товщиноміра

Генератор синхроімпульсів, генератор імпульсів збудження, ПЕП і підсилювач, що входять до складу товщиноміра, виконують функції, аналогічні однойменним вузлам луно-імпульсного дефектоскопа.

Вимірювальна схема містить вимірювальний тригер, схему регульованої затримки синхроімпуль-

су, генератор заповнюючих імпульсів і схему співпадання. Правильного вибравши параметри апаратури можна проводити вимір товщини в діапазоні від 0,5 мм до 1 м з досить високою точністю.

На основі описаного способу НВФ „Зонд” розробила прилад для контролю корозійних втрат металоконструкцій – ультразвуковий корозиметр-товщиномір КТУ-1. Метод акустичного контролю корозійного зносу трубних виробів, на основі якого працює прилад, базується на тому, що ультразвукові коливання 2 (УЗК) від роздільно-сумішеного п'єзоперетворювача 1 (акустичного блока), розміщеного зовні над трубою (рис. 5), через шар контактної речовини (технічна вода без механічних домішок, мастило) направляється в зону контролю.



1 – роздільно суміщений ПЕП; 2 – зондуючий імпульс УЗК; 3 – УЗК відбиті від внутрішньої поверхні труби; 4 – УЗК відбиті від зовнішньої поверхні труби

Рис. 5. Схема контролю корозійного зносу та товщини трубних виробів

УЗК на границі розділу двох середовищ (вода-метал) зазнає часткового відбивання і заломлення, тобто промінь ультразвукових коливань 4, пройшовши через шар контактної рідини, відбивається від зовнішньої поверхні труби і, пройшовши зворотній шлях, попадає на ПЕП.

Заломлений промінь УЗК 3 пройшовши через тіло труби, відбивається від внутрішньої поверхні труби і поширюючись в зворотному напрямку через тіло труби і шар контактної речовини попадає на ПЕП. За часом проходження променя 3 в тілі металоконструкції можна судити про зміну товщини (внутрішня корозія), а за часом проходження променя 4 у воді можна судити про наявність корозійних втрат металу ззовні труби (зовнішня корозія).

Акустичний блок приладу завдяки особливій конструкції забезпечує рівномірне переміщення п'єзоелектричного перетворювача вздовж осі металоконструкції (труби) по її твірній, зберігаючи при цьому сталу відстань між ПЕП та твірною труби.

При переміщенні ПЕП по поверхні труби утворюється набір значень вимірів, з яких за допомогою програмного забезпечення отримується В-скан у персональному комп'ютері.

Перевагами даного методу є можливість одночасного вимірювання внутрішніх та зовнішніх корозійних втрат металу конструкції при односторонньому доступі, незалежність результатів вимірювання від намагніченості об'єкту контролю, впливу зовнішніх електромагнітних полів.

До недоліків методу можна віднести неможливість отримання луна-імпульсів від зовнішньої та внутрішньої поверхонь на ділянках зі значними корозійними пошкодженнями через те, що поверхні не є паралельними.

1. Горюхов Е.В., Корольов В.П. Диагностика и оценка остаточного ресурса строительных металлоконструкций в коррозионных средах// Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 1998. – №3. – С.57-59. 2. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник. В 2-х кн / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, В.Н. Филинов и др.; Под ред. В.В. Клюева. Кн. 1. М.: Машиностроение, 1995. – 448 с. 3. Белокур И. П., Коваленко В. А. Дефектоскопия материалов и изделий.— К.: Техніка, 1989. 192 с. 4. Румянцев С. В. Радиационная дефектоскопия. М.: Атомиздат, 1974, с. 509. 5. Чуйков С. П. Ручний ультразвуковий контроль якості промислової продукції. – К.: Інтерпрес ЛТД, 1995. – 178 с.