

ПИТОМИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ ОПІР ЯК ІНФОРМАТИВНИЙ ПАРАМЕТР ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНИХ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ДОВГОТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

О. М. КАРПАШ, Є. Р. ДОЦЕНКО, М. О. КАРПАШ, А. В. ВАСИЛИК

Здійснено обґрунтування шляхів визначення фактичних фізико-механічних характеристик із врахуванням структурного стану матеріалів металоконструкцій довготривалої експлуатації. Обґрунтовано вибір питомого електричного опору як інформативного параметра контролю структури конструкційних сталей. Проведено аналіз методів визначення питомого електричного опору сталей.

The paper gives a substantiation of the ways to determine the actual physico-mechanical properties allowing for the structural condition of materials in metal structures for long-term service. Selection of specific electric resistance as an informative parameter of structural steel structure is substantiated. Analysis of the methods of determination of specific electric resistance of steels is performed.

Забезпечення надійної та безпечної роботи металевих конструкцій у нафтовій та газовій промисловості з кожним роком стає все більш гострою проблемою внаслідок наступних причин: значні терміни експлуатації обладнання та економічні затрати на ліквідацію аварій та санкції за нанесені екологічні збитки, пов'язані з руйнуванням об'єктів. Зокрема, в Україні старіння металоконструкцій значно випереджає темпи технічного переоснащення. Основною причиною аварій та відмов на об'єктах нафтогазового комплексу, підприємствах хімічної промисловості та трубопровідному транспорті є механічні пошкодження та корозія.

Питання оцінки фактичного технічного стану металоконструкцій різного призначення стає особливо актуальним в умовах, коли постала гостра необхідність продовження терміну експлуатації об'єктів, що відпрацювали свій нормативний ресурс. Ресурс безпечної експлуатації металоконструкцій визначається в тому числі станом структури та фізико-механічними характеристиками (ФМХ) металу. Вплив корозійно-активних середовищ, коливання температури, робочих навантажень та напружень змінюють з плином часу структуру та властивості експлуатованого металу в порівнянні з їхніми вихідними характеристиками.

Досвід показує, що при тривалій експлуатації у кілька десятків років ФМХ матеріалів металоконструкцій змінюються в порівнянні зі своїми номінальними значеннями. Зокрема:

- показники міцності (твердість $HВ$, межі плинності σ_T , межі міцності σ_B збільшуються здебільшого на 10... 15 %;

- в'язко-пластичні показники (відносне видовження δ , відносне звуження ψ) зменшуються на 5... 7 %;

- показники опору крихкому руйнуванню (ударна в'язкість KCU , KCV та тріщиностійкість K_c) – на 15... 20 %.

Слід зазначити, що однією з найважливіших механічних характеристик матеріалів металоконструкцій є межа плинності σ_T .

Зміна ФМХ, як правило, обумовлена структурними змінами металу, внаслідок чого змінюються міцнісні властивості та знижується пластичність.

Метою даної роботи є пошук та обґрунтування шляхів визначення фактичних ФМХ із врахуванням мікроструктурного стану матеріалів металоконструкцій довготривалої експлуатації.

Проаналізуємо зв'язок мікроструктурного стану та ФМХ металоконструкцій на прикладі аналізу залежності межі плинності σ_T від структури сталей. Межа плинності залежить від структури і, перш за все, від розмірів зерен фериту. За допомогою положень теорії дислокацій можна проаналізувати цей зв'язок.

Так, межа плинності металу, який складається з однорідних зерен, описується рівнянням Петча-Холла-Лоу [1]:

$$\sigma_T = \sigma_0 + K_y d_\alpha^{-1/2}, \quad (1)$$

де σ_0 – напруження тертя (опір решітки твердого розчину руху дислокацій); K_y – коефіцієнт, що визначається енергією взаємодії дислокацій з межами зерен (майже однаковий для різних сталей); d_α – середній діаметр зерна.

Для даного рівняння справедливе твердження: якщо в об'ємі зерна структура незмінна, то міцність зростає при зменшенні розміру зерна. З іншого боку, відмінність меж плинності вуглецевої та низьколегової сталей, що мають різну струк-



туру, обумовлена, головним чином, напруженням тертя σ_0 .

Виникнення більш високих напружень пояснюється наявністю кремнію і марганцю в розчині. Введення 1 % кожного з цих елементів підвищує напруження тертя заліза на 84 і 32 МПа відповідно [2].

Міцнісні властивості, такі, як межа міцності та межа плинності найбільш поширених низьковуглецевих сталей з феритно-перлітною (дулексною) структурою, можна визначити за розміром зерна та кількістю перліту. При введенні різних легуючих елементів змінюються механічні властивості металів. Кремній зміцнює розчин, але збільшує розмір зерна фериту. Марганець підвищує межу плинності за рахунок зміцнення твердого розчину, подрібнення кількості перліту в мікроструктурі. Так, 1 % кремнію підвищує межу плинності на 78 МПа незалежно від кількості марганцю при феритно-перлітній структурі.

Загалом, міцнісні властивості низьковуглецевих феритно-перлітних сталей визначаються за формулами:

$$\sigma_B = 9,8 (30,5 + 2,8 \% \text{ Mn} + 8,44 \% \text{ Si} + 0,4 \times (\text{об'ємний \% перліту}) + 0,032 (d - 1/2)), \text{ МПа}; \quad (2)$$

$$\sigma_T = 9,8 (10,6 + 3,33 \% \text{ Mn} + 8,56 \% \text{ Si} + 0,071 (d - 1/2)), \text{ МПа}, \quad (3)$$

де d — величина зерна фериту.

Властивості сталі залежать також від кількості, дисперсності розподілу карбідів, що змінюються в широких межах залежно від режимів термооброблення, тривалості експлуатації та ін. Перехід легуючих елементів з твердого розчину в карбіди, коагуляція карбідів і зосередження їх по межах зерен, а також зміна тонкої структури обумовлюють зміну механічних характеристик [3].

Таким чином, структурні складові та параметри, які визначають тип структури (феритна, дулексна, аустенітна, мартенситна [4]), відповідно визначають напруження тертя σ_0 , значення якого є приблизно однаковим в межах однотипних структур. Це пояснює те, що найбільш тісні кореляційні зв'язки існують тільки в межах однотипних структур, в яких фазовий склад і тип структури однаковий, а змінюються лише кількісні чи розмірні співвідношення структурних складових.

Тому, в першу чергу, доцільно визначити яким чином змінився структурний стан матеріалу в процесі експлуатації, а потім з врахуванням структури визначити фактичні ФМХ металоконструкцій. Такий підхід дасть змогу більш достовірно оцінити технічний стан металевих об'єктів та більш точно прогнозувати його залишковий ресурс. Причому, з точки зору економії коштів і часу на контроль, найбільш доцільно визначити структуру та ФМХ матеріалу трубопроводів за допомогою застосування одних і тих інформативних

параметрів, без необхідності використання додаткових технічних засобів.

Оцінка структурного стану матеріалів металоконструкцій, особливо після довготривалої експлуатації, є важливим науково-технічним завданням, розв'язання якого дасть змогу оцінити фактичний технічний стан та продовжити термін їх служби. Необхідно розробити нові методи контролю структури сталей, причому найбільш економічно та технічно доцільно в даному випадку використовувати методи неруйнівного контролю [5].

Розглянемо основні фундаментальні характеристики сталей, які можуть змінюватись у процесі експлуатації і є структурно чутливими:

теплові — питома теплоємність, теплове розширення, теплопровідність;

електричні — питомий електричний опір;

магнітні — магнітна пружність, магнітна сприйнятливість, основна крива намагнічування, петля гістерезису, магнітні втрати, магнітна анізотропія;

комплексні ефекти — специфічні властивості, що ґрунтуються на ефектах зв'язаного стану і є причиною інших явищ: термоелектричні явища, магніострикція, ефект Холла та ін.

Зміну структурного стану визначають неруйнівними методами, фізичні основи яких полягають в аналізі взаємозв'язку фізичних полів з параметрами контрольованих матеріалів і виробів. На рис. 1 схематично показано відомі методи визначення структури та ФМХ сталей, прокласифіковані по типу фізичних полів.

При цьому такі відомі та широко вживані методи як рентгенівські, акустичні, методи електричного опору, тензометричні та ін. зайняли свої місця в цих п'ятьох видах.

Зазвичай, взаємозв'язок між механічними, фізичними та структурними властивостями матеріалів установлюють на підставі статистичних методів, які дозволяють обробляти великий обсяг інформації, отриманої під час тривалих досліджень.

Детальний аналіз відомих методів і підходів у теорії та практиці оцінки структури та ФМХ матеріалів металоконструкцій розглянуто в роботах [6–9]. В роботі [10] обґрунтовано вибір комплексу інформативних параметрів контролю ФМХ — твердість, теплопровідність та питомий електричний опір. Проте в даній роботі не було приділено належної уваги дослідженню структурної чутливості питомого електричного опору матеріалу металоконструкцій.

Обґрунтуємо вибір питомого електричного опору в якості інформативного параметра контролю структури. Відомо, що в залежності від величини кристалічних зерен змінюються фізичні властивості металу, зокрема електричні. Детально це було розглянуто Ф. Томпсоном на початку ХХ сторіччя. Вчений встановив залежність питомого електричного опору ρ від кількості кристалічних зерен в 1 см^3 для заліза. В 1923 р. Штейнберг, досліджуючи тонкі шари заліза і порівнюючи їх



Рис. 1. Класифікація методів оцінки структури та ФМХ сталей по типу фізичних полів

електропровідність з провідністю суцільних металів, дійшов висновку, що питомий опір заліза зростає із зменшенням величини зерен. Подальші дослідження багатьох науковців переконливо показали, що характер кристалічної будови впливає на значення електропровідності.

На рис. 2 зображено просту мікроскопічну модель протікання струму через метал, яка дає змогу зрозуміти природу питомого електричного опору та його залежність від структурного стану матеріалу.

Під дією зовнішнього електричного поля напруженістю E вільні електрони крім теплового руху набувають компоненту дрейфової швидкості. В ізотропному металі напрям густини струму j співпадає з напрямом зовнішнього поля. В цьому випадку електропровідність σ є скалярною величиною і визначається за формулою:

$$j = \sigma E \text{ [A/м}^2\text{]}. \quad (4)$$

Взаємозв'язок між електропровідністю та питомим електричним опором можна виразити співвідношенням

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \text{ [Ом}\cdot\text{м]}. \quad (5)$$

Зазначимо, що величини j та E є векторними, а ρ – скалярна.

Для більшості металів та сплавів σ , а відповідно і ρ – сталі величини. Якщо значення σ різне для різних напрямків вектора E , то матеріал називають анізотропним. Анізотропія металів та сплавів має місце також після різних видів фізичного впливу на матеріал (обробки, деформації, навантажень, зміни температури тощо). В цьому випадку провідник має нелінійну залежність $j(E)$.

Під час свого руху потік електронів зазнає опору, що зумовлений флуктуаціями теплових коливань атомів в решітці та її недосконаlostями, які намагаються погасити швидкість електрона, таким

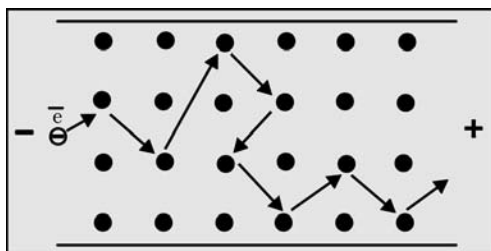


Рис. 2. Модель протікання струму в металі під дією прикладеної напруги

чином зменшуючи довжину пробігу останнього (рис. 2).

Для різних металів величина ρ в основному і визначається довжиною вільного пробігу електронів. Розглянемо фактори, що впливають на довжину вільного пробігу. Насамперед, значний вплив має температура провідника, оскільки з її підвищенням збільшуються коливання частин у вузлах кристалічної решітки, ймовірність зіткнення останніх з електронами збільшується, що призводить до зменшення рухливості носіїв і відповідно до збільшення ρ .

Наявність домішок в металах спотворюють кристалічну решітку і призводять до збільшення питомого опору. Атоми домішок, вакансії, дислокації, як правило, мають ефективний електричний заряд, що відрізняється від основних атомів металу, тому вони служать джерелом розсіяння електронів.

Згідно з правилом Маттісена–Флемінга, питомий електричний опір матеріалу можна представити у вигляді [11]:

$$\rho = \rho_{\text{реш}}(T) + \rho_{\text{деф}} + \rho_{\text{дом}}, \quad (6)$$

де $\rho_{\text{реш}}(T)$ – опір, що залежить від температури металу з ідеальною структурою; $\rho_{\text{деф}}$ – опір, зумовлений дефектами; $\rho_{\text{дом}}$ – вклад в опір домішок.

Питомий електричний опір провідника правильної геометричної форми з поперечним перерізом S та довжиною L визначається за формулою:

$$\rho = \frac{RS}{L}. \quad (7)$$

Зрозуміло, що питомий опір конструкційних сталей більший за питомий опір заліза, оскільки є сплавом заліза, вуглецю та легуючих елементів.

Значний вклад у величину питомого електричного опору сплавів вносять також міжфазні межі та області концентраційної неоднорідності. Загальні закономірності зміни електричних властивостей в залежності від структурного стану і хімічного складу сплавів встановлені Н. С. Курнаковим у вигляді діаграм будова – властивість [11].

Встановлено, що при збільшенні концентрації легуючого елемента питомий опір в неперервних твердих розчинах заміщення змінюється в загальному випадку за параболічним законом, в твердих розчинах впровадження – за лінійним законом, а у випадку гетерогенних структур відповідає лінійному закону, а його величина підпорядковується правилу адитивності питомого опору граничних фаз (якщо відношення між ними знаходиться в межах 0,75...1,25) у відповідності до їх концентрації по масі. У випадку утворення хімічних з'єднань в концентраційній області їх існування з'являється особлива або названа Курнаковим сингулярна точка. Якщо цього не трапиться, то такі фази, що виникають в даних сплавах, розглядаються як проміжні.

Більшість сталених виробів набувають необхідний комплекс ФМХ у результаті термічної обробки, яка включає найбільш розповсюджені операції — загартування, відпуск і відпал. ФМХ сталей в залежності від температури загартування найбільш суттєво змінюються в інтервалі від 700 до 820...850 °С, причому підвищення вмісту вуглецю призводить до збільшення питомого електричного опору (рис. 3) [12].

При збільшенні температури загартування до 800...850 °С питомий електричний опір ρ зростає, що зв'язано з підвищенням вмісту вуглецю в перенасиченому твердому розчині та появою певної кількості залишкового аустеніту. При температурах вище 800...1850 °С питомий опір практично не змінюється, оскільки при даних температурах загартування весь вуглець переходить в твердий розчин. Значення ρ при однаковому вмісті вуглецю для загартованої сталі значно вище, ніж для відпаленої. Чим більший вміст вуглецю, тим більша різниця питомих опорів відпаленої та загартованої сталі. Після відпалу структура сталі складається з фериту та цементиту $\alpha\text{-Fe} + \text{Fe}_3\text{C}$, в той час як після загартування вона, в основному, є пересиченим твердим розчином вуглецю в α -залізі (мартенсит), опір якого завжди більший, ніж в гетерогенній суміші.

Також на величину питомого електричного опору впливає наклеп сталей. Зокрема, наклеп для сталей 0,1 та 0,3 % спочатку може зменшувати електричний опір, а потім збільшувати. Падіння пояснюється зростаючою орієнтацією пластинчастого перліту, а підвищення — наклепом фериту. Воно тим більше, чим більше фериту і зникає при високому вмісті вуглецю [11].

Таким чином, можна стверджувати, що будь-які структурні перетворення та зміни в сталі однозначно впливають на величину питомого електричного опору, за величиною якого, крім того, можна оцінювати режим термічної обробки сталі під час її виготовлення.

Вимірювання питомого електричного опору в діапазоні 500...900 нОм·м в реальних умовах з необхідною точністю викликає певні труднощі. До методів вимірювання питомого електричного опору відносяться наступні [13]:

Безконтактні методи:

- крутного магнітного поля;
- вихрострумівий.

Контактні методи:

- одинарного моста;
- подвійного моста;
- потенціометричний;
- амперметра-вольтметра (чотирьохконтактний).

В методі крутного магнітного поля електропровідність визначають за величиною діючого на нього моменту сил, що вимірюється по куту закручування підвісу. Точність даного методу становить 1 %, однак для її досягнення вводять поправки на

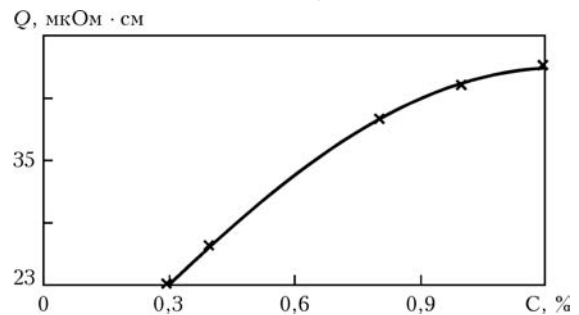


Рис. 3. Зміна електричного опору простих вуглецевих сталей в залежності від вмісту вуглецю після загартування від 850 °С

форму та самоіндукцію зразка, зміну магнітного стану феромагнетиків. На даний час цей метод широкого застосування не знайшов.

Електромагнітний (вихрострумівий) метод базується на аналізі зовнішнього електромагнітного поля з електромагнітним полем вихрострумівих струмів, що наводяться збуджуючою котушкою в електропровідному об'єкті контролю. ЕРС (або опір) вихрострумівого перетворювача (ВСП) залежить від багатьох параметрів об'єкта контролю, тобто інформація є багатопараметровою. Для феромагнітних матеріалів і виробів величина вихрових струмів залежить від трьох параметрів [14]: електропровідності σ , розмірів виробу та магнітної проникності μ .

Контроль електропровідності вихрострумівим методом здійснюється за допомогою накладного ВСП (рис. 4) [15].

Основною перевагою вихрострумівого контролю електропровідності є можливість здійснення вимірювання без контакту з об'єктом дослідження. Проте даному методу притаманні суттєві недоліки. З однієї сторони, ВСП дає змогу здійснити багатопараметровий контроль, проте, в той же час, необхідні спеціальні прийоми для розділення інформації про окремі параметри об'єкта. Тому при контролі вихрострумівим методом електропровідності вплив інших параметрів на сигнал ВСП стає на заваді, тому цей вплив необхідно зменшити.

На даний час існує кілька підходів щодо розділення інформації про окремі параметри контролю феромагнітних об'єктів, завдяки яким є змога виділити інформацію, що стосується власне питомої електропровідності [16, 17].

Розглянемо контактні методи вимірювання питомого електричного опору [13]. Мостові методи вимірювання електричного опору широко використовуються як для вимірювання малих, так і для вимірювання великих опорів, які різняться декількома порядками. Розрізняють простий (або одинарний) та подвійний електричні мости. Метод одинарного моста забезпечує задовільну точність при вимірюванні зрізців з відносно великим опором (>10 Ом), оскільки опір контактів і потенціальних струмопідводів до зрізця вносять свій вклад у вимірювану величину. Тому він практично

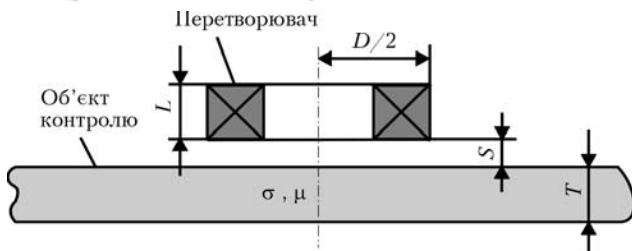


Рис. 4. Контроль електропровідності вихрострумним методом не використовується для вимірювання питомого опору сталей.

За допомогою методу подвійного моста та потенціометричного методу можна з високою точністю вимірювати малі значення опору (від $1 \cdot 10^{-6}$ до 1 Ом). Дані методи використовують, як правило, для визначення фазового складу металічних сплавів, зразки яких мають низький опір і відповідно невелика його зміна в процесі різних видів обробки.

При чотирьохконтактному електричному методі (метод амперметра-вольтметра) вимірювання питомого опору матеріалу полягає в наступному [18]. До об'єкта контролю приєднують чотири контакти вимірювальної схеми (рис. 5).

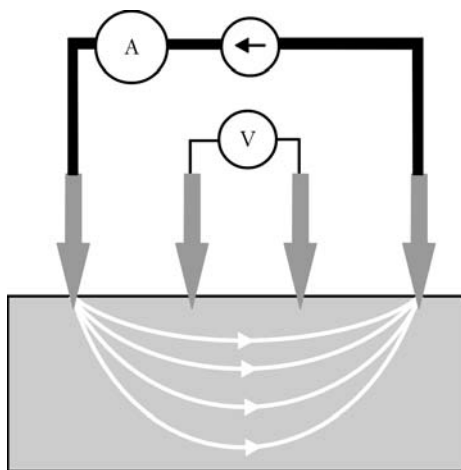


Рис. 5. Чотирьохконтактний метод вимірювання питомого електричного опору

Джерело постійного струму поширює в матеріалі струм I між двома крайніми контактами, який вимірюється амперметром. Одночасно за допомогою вольтметра вимірюють напругу U на ділянці досліджуваного матеріалу, що знаходиться між двома внутрішніми контактами.

При цьому величину питомого електричного опору визначають за формулою:

$$\rho = \frac{US}{I l}, \quad (8)$$

де U – виміряна напруга між двома внутрішніми контактами; S – площа поперечного перерізу контрольованого матеріалу; I – сила струму, який протікає в матеріалі; l – відстань між двома внутрішніми контактами.

Слід зазначити, що вираз для розрахунку питомого електричного опору (6) можна застосовувати тільки в тому випадку, якщо довжина об'єкта значно більша поперечного перерізу. В такому разі постійний струм розтікається по всьому об'єму взірця як в ширину, так і в глибину. В протилежному випадку необхідно вводити поправочний коефіцієнт, який залежить від форми, розмірів об'єкта контролю та взаємного розміщення контактів вимірювальної системи. Крім того, при огляді контактних методів не враховувались значення опору провідників та перехідного опору контактів, які повинні бути якомога меншими.

Висновки

Зв'язок структурного стану та ФМХ вказує на можливість контролювання міцнісних характеристик (наприклад, межі плинності) з врахуванням типу структури матеріалів металоконструкцій довготривалої експлуатації.

Аналіз методів контролю мікроструктурного стану показав, що в даний час найбільшого поширення набули магнітні методи структуроскопії, особливо контроль по коерцитивній силі [1]. Проте не існує чітких універсальних методик та підходів, покликаних вирішувати завдання структуроскопії з необхідною точністю. В роботі обґрунтовано вибір питомого електричного опору як інформативного параметра контролю структури матеріалів металоконструкцій.

Під час вимірювання питомого електроопору виникають певні труднощі технічного та методичного характеру. Головною проблемою є адаптація технічних засобів, які дають змогу вимірювати питомий електричний опір з необхідною точністю до реальних польових умов. Потенційний інтерес становлять вихрострумні методи вимірювання питомого електричного опору, проте область застосування приладів, що їх реалізують, обмежується здебільшого неферомагнітними металами. Перспективним є чотирьохконтактний метод вимірювання питомого електричного опору, однак при його реалізації необхідно мінімізувати вплив перехідного опору контактів.

З метою адаптації чотирьохконтактного методу вимірювання питомого електричного опору до реальних польових умов необхідно проаналізувати поширення постійного електричного струму в металевих об'єктах з різною формою та розмірами. Треба провести експериментальні дослідження на сталених зразках з метою встановлення величини опору від геометричних параметрів зразків та дослідження перехідного опору контактного з'єднання.

Дано обоснование путей определения фактических физико-механических свойств с учетом структурного состояния материалов металлоконструкций продолжительной эксплуатации. Обоснован выбор удельного электрического сопро-



тивления как информативного параметра контроля структуры конструкционных сталей. Проведен анализ методов определения удельного электрического сопротивления сталей.

1. *Буда Г. В., Ничитурук А. П.* Коэрцитиметрия в неразрушающем контроле // Дефектоскопия. — 2000. — № 10. — С. 3–28.
2. *Білокур І. П.* Основи дефектоскопії: Підручник. — Київ: Азимут-Україна, 2004. — 496 с.
3. *Буда Г. В., Камардин В. М.* Физическое обоснование контроля ударной вязкости проката из малоуглеродистых и низколегированных сталей магнитными методами // Дефектоскопия. — 1995. — № 10. — С. 3–31.
4. *Honeycombe R. W. K., Bhadeshia H. K. D. H.* Steels. Microstructure and Properties. — Elsevier Ltd, 2006. — 345 p.
5. *Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / В. В. Клоев, Ф. Р. Соснин, В. Н. Филинов и др. / Под ред. В. В. Клоева.* — М.: Машиностроение, 1995. — 448 с.
6. *Карнаш О. М., Молодецкий И. А., Карнаш М. О.* Обзор методов оценки физико-механических характеристик металлов // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2004. — № 2. — С. 18–22.
7. *Горкунов Э. С.* Магнитные приборы контроля структуры и механических свойств стальных и чугунных изделий (Обзор) // Дефектоскопия. — 1992. — № 10. — С. 3–36.
8. *Михеев М. Н., Горкунов Э. С.* Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля. — М.: Наука, 1993. — 252 с.
9. *Исследование возможности контроля механических свойств труб нефтяного сортамента неразрушающим методом / Е. Ю. Сажина, Н. Д. Почуев, Т. П. Царькова, О. В. Нестерова // Дефектоскопия.* — 1995. — № 2. — С. 82–88.
10. *Карнаш М. О.* Обґрунтування комплексного підходу до визначення фізико-механічних характеристик матеріалу

- металоконструкцій // Методи та прилади контролю якості. — 2004. — № 12. — С. 30–33.
11. *Лившиц Б. Г., Крапошин В. С., Липецкий Я. Л.* Физические свойства металлов и сплавов. — М.: Металлургия, 1980. — 320 с.
12. *Горкунов Э. С.* Взаимосвязь между магнитными, электрическими свойствами и структурным состоянием термически обработанных сталей — основа определения прочностных характеристик изделий неразрушающими методами. Методические рекомендации. — Свердловск: УЦ АН СССР, 1985.
13. *Журавлев Л. Г., Филатов В. И.* Физические методы исследования металлов и сплавов: Уч. пособие для студентов металлургических специальностей. — Челябинск: ЮУрГУ, 2004. — 157 с.
14. *Дорофеев А. Л., Ершов Р. Е.* Физические основы электромагнитной структуроскопии. — Новосибирск: Наука, 1985. — 180 с.
15. *Bowler N., Yongqiang H.* Electrical conductivity measurement of metal plates using broadband eddy-current and four-point methods // Measurement science & technology. — 2005. — 16, № 11. — P. 2193–2200.
16. *Чаплыгин В. И., Шокарев В. С., Мальцева Я. В.* Электромагнитный способ селективного контроля магнитной проницаемости и электропроводности ферромагнитных материалов: Материалы научн.-техн. конф. «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання». — Івано-Франківськ, ІФНТУНГ. — 1999. — С. 16–18.
17. *Сандовский В. А., Носальская Н. И.* Об измерении удельной электрической проводимости и магнитной проницаемости с использованием накладных вихретоковых преобразователей // Дефектоскопия. — 1991. — 12. — С. 44–48.
18. *Michael B. Heaney.* The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook, chapter Electrical Conductivity and Electrical Conductivity and Resistivity. — CRC Press LLC, 1999.

Ів.-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу

Надійшла до редакції
12.07.2008

КНИГИ И ПЛАКАТЫ ПО ДЕФЕКТΟΣКОПИИ — ПОЧТОЙ

1. *Краткое пособие по контролю качества сварных соединений, 2006 г., 316 с.*
2. *Магнитопорошковый контроль сварных соединений и деталей машин, 2002 г., 300 с*
3. *Ультразвуковой контроль. Дефектоскопы. Нормативные документы. Стандарты по УЗК, 2006 г., 221 с.*
4. *Пособие по радиографии сварных соединений, 2008 г., 312 с.*
5. *Учебно-методические плакаты по неразрушающему контролю*

С целью популяризации достижений в области неразрушающего контроля сварных соединений в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины разработан **комплект учебно-методических плакатов** по основным методам НК. Они посвящены таким наиболее актуальным задачам современной дефектоскопии: происхождение и обнаружение трещин в сварных швах; обнаружение дефектов в сварных швах изделий из пластмасс; использование УЗ волн дифракции для точного определения размеров трещин (метод TOFD); длинноволновой низкочастотный УЗ контроль протяженных инженерных сооружений; обнаружения растущих дефектов методом акустической эмиссии; компьютерная система цифровой обработки рентгенографических изображений; метод тангенциального просвечивания; технология комплексного НК труб для магистральных газопроводов; магнитометрический метод контроля напряженно-деформированного состояния ферромагнитных объектов; техническое обследование резервуаров трубопроводов нефтепродуктов и других жидкостей; определение размеров и форм несплошностей при УЗ контроле сварных соединений; визуализация массового поражения внутренней (недоступной) части конструкции мелкими дефектами; магнитопорошковая дефектоскопия; бесконтактный электромагнитно-акустический контроль сварных соединений; сравнение видимых, ультразвуковых и инфракрасных изображений для оценки состояния ответственных объектов; основные методы контроля толщины покрытий; вихретоковый контроль, новые технологические возможности; УЗ качества точечной сварки.

Учебно-методические плакаты (18 шт.) рассчитаны на слушателей центров подготовки специалистов и аттестационных центров по НК, а также могут быть использованы в качестве наглядных пособий в лабораториях НК на предприятиях.

По желанию Заказчика плакаты можно выполнить в следующих форматах: А2, А4.
Стоимость одного комплекта форматом А4 — 150,0 грн., А2 — 750,0 грн. с НДС.

Заявки направлять по адресу: УО НКТД, ул. Боженко, 11, Киев-150, ГСП, 03680 или по факсу: (044) 289-21-66