

УДК 620.179

ОБҐРУНТУВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПІДХОДУ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛУ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

© Карпаш М.О., 2004

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Здійснено обґрунтування комплексного підходу до визначення фізико-механічних характеристик сталей. Обґрунтовано вибір інформативних параметрів контролю: твердості, коефіцієнта теплопровідності та питомого електричного опору. Доведено доцільність використання алгоритмів нейронних мереж для апроксимації границі міцності сталей як функції вищезаданих трьох параметрів

В останні роки на державному рівні піднімається питання про стан техногенної безпеки в Україні. Яскравим доказом цьому служать протокол засідання Ради національної безпеки і оборони України від 11.11.2002 р. та Розпорядження Кабінету Міністрів України від 11.06.2003 р.

Спрацювання більшої частини обладнання та машин у вітчизняній промисловості перевищує 52% [1]. Лише на об'єктах базових галузей експлуатується понад 35 млн. т несучих металевих конструкцій, значна частина яких вичерпала свій ресурс. Основний акцент в [2] ставиться на забезпечення експлуатаційної надійності об'єктів довготривалої експлуатації, до яких відноситься бурове та нафтогазопромислове обладнання. Більшість нафто- та газопроводів в Україні експлуатуються понад 25 років. Основною причиною аварій та відмов на об'єктах нафтогазового комплексу, підприємствах хімічної промисловості та трубопроводному транспорті є механічні пошкодження і корозія [2].

Все це спричиняє до того, що в Україні щорічно виникає до 500 надзвичайних ситуацій техногенного характеру, які забирають життя людей, завдають збитків державі в середньому до 500 млн.грн. щорічно.

Вирішення задачі визначення фактичних фізико-механічних характеристик матеріалу металоконструкцій є важливою науково-технічною задачею, розв'язання якої дасть змогу оцінити фактичний технічний їх стан та надати підстави до продовження терміну їх служби. Найбільш економічно та технічно доцільно в даному випадку використати методи неруйнівного контролю.

Раніше [3,4] було проаналізовано сучасний стан наукових досліджень та розробок в напрямку неруйнівного визначення фізико-механічних характеристик конструкційних матеріалів, а також було запро-

поновано новий підхід, який базується на комплексному врахуванні кількох вимірних параметрів з використанням алгоритмів нейронних мереж.

Було показано, що використовуючи запропонований комплексний підхід, як інформативні параметри можна використати твердість, теплопровідність та питомий електричний опір досліджуваних сталей.

Метою даної роботи є обґрунтування раніше запропонованого комплексного підходу до визначення фізико-механічних характеристик металоконструкцій, яка може бути умовно поділена на дві задачі – обґрунтування вибору інформативних параметрів та обґрунтування можливості і доцільності використання алгоритмів нейронних мереж.

Спершу слід обґрунтувати вибір комплексу інформативних параметрів, адже саме вони визначають фізичну суть запропонованого підходу, в той час як метод обробки інформації може зазнавати змін.

Щодо першого інформативного параметра – твердості, то його обумовлена рядом нормативних документів [5,6], де вказано, що механічні характеристики сталей певних марок та груп міцності визначають за вимірними значеннями твердості. У вказаних нормативних документах вказується, що на основі значень твердості, отриманих в ході вимірювань безпосередньо на досліджуваних об'єктах, можна визначати границю міцності, границю текучості, відносні видовження та звуження, а також ударну в'язкість.

Згідно [6] виміряні значення твердості застосовуються для визначення границі міцності σ_s за формулою:

$$\sigma_s = k \cdot HB,$$

де HB – твердість за шкалою Брінеля, МПа; $k = 0,33 \div 0,36$ – коефіцієнт для сталей (якщо $HB > 1500$

МПа, $k = 0,345$; якщо $HB < 1500$ МПа, $k = 0,36$).

Методи визначення механічних характеристик на основі значень твердості рекомендується використовувати тільки для сталей Ст20, 15Х5М, 09Г2С, 12Х18Н10Т [3]. Крім того, в тому ж нормативному документі вказується, що при використанні цих методів розрахунку, слід враховувати той факт, що на основі значень твердості механічні характеристики можуть бути визначені тільки для конкретного (точкового) місця вимірювань твердості. А оскільки метал часто є неоднорідним по товщині, то в такому випадку ми матимемо і без того доволі приблизну інформацію про механічні властивості тільки поверхневого шару матеріалу. Хоча, з іншого боку, твердість також можна розглядати як показник режиму термообробки для визначених марок сталей за так званими „смугами гартувальності” [5]. Діапазон зміни твердості для сталей, які були об’єктом досліджень – від 180 до 310 НВ.

Питомий електричний опір сталей, згідно досліджень проведених вченими фізико-технічного інституту в Росії [6], по мірі збільшення температури загартування до 800-850 °С росте, що пов’язується із підвищенням вмісту вуглецю в перенасиченому твердому розчині і з появою певної кількості залишкового аустеніту. Разом з тим для ряду сталей питомий електричний опір по мірі збільшення температури відпуску монотонно знижується. Основними структурними змінами, які призводять до зниження питомого електричного опору, є процеси, пов’язані із виділенням вуглецю з α -твердого розчину, розпад залишкового аустеніту, зменшення внутрішніх напружень, а також процеси рекристалізації і процеси коагуляції карбідів. Підвищення вмісту вуглецю призводить до збільшення питомого електричного опору (рис. 1).

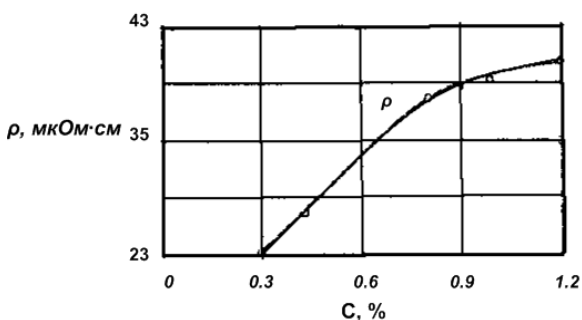


Рис. 1. Зміна електричного опору простих вуглецевих сталей в залежності від вмісту вуглецю після загартування від 850 °С

Питомий електричний опір слід віднести до структурно чутливих характеристик, врахування якої для визначення механічних характеристик сталей можна вважати обґрунтованим. Діапазон зміни значень питомого електричного опору для сталей, які

були об’єктом досліджень – від 570 до 850 нОм·м.

Значний інтерес представляє пояснення включення до переліку вимірюваних параметрів теплопровідності. На жаль, в літературі практично відсутні відомості про кореляційні залежності між тепловими та міцнісними характеристиками сталей. Це може пояснюватися складністю вимірювань теплових характеристик (і теплопровідності зокрема) в польових умовах. Однак, ми зробимо спробу пояснити існуючий кореляційний зв’язок між міцнісними та тепловими характеристиками сталей. Діапазон зміни значень коефіцієнта теплопровідності досліджуваних сталей - від 14,2 до 30,5 Вт/м·К.

Про теплові ефекти, яку супроводжують процеси деформації відомо [9]. Виділення тепла із зразка в процесі його експлуатації експериментально було вивчене ще Кельвіном в середині XIX століття. При пружній деформації розтягу спостерігається охолодження матеріалу, при пружному стиску – нагрів. Перехід в пластичну стадію процесу деформування супроводжується появою незворотних пластичних деформацій, виділенням та розсіянням енергії у вигляді тепла. Відомо також, що по розподілу температури на виділеній ділянці матеріалу, можна судити про поведінку найбільш чи найменш навантажених елементів твердого тіла [7].

Здається, що теплові ефекти при розтязі та стиску практично ніяк не пояснюють виявленої залежності між теплопровідністю та границею міцності [3, 4], якщо не використати доречний в даному випадку термодинамічний підхід [8].

Напружено-деформований стан твердого тіла (металоконструкції) при впливі на нього інших тіл можна розглядати з точки зору термодинаміки та кінетики як метастабільний [9]. Рано чи пізно тіло намагатиметься перейти в стійкий стан з найнижчим рівнем енергії. Це відбувається за рахунок перебудови його внутрішньої структури у відповідності з принципом Ле-Шательє [9].

Тобто процес експлуатації об’єкта можна розглядати як перехід із метастабільного в стійкий стан згідно принципу Ле-Шательє. Нагадаємо, що принцип Ле-Шательє-Брауна – це термодинамічний принцип, який характеризує вплив різних факторів на положення термодинамічної рівноваги: зовнішній вплив, що виводить систему із положення термодинамічної рівноваги, викликає в ній такі процеси, які намагаються послабити результат впливу [9]. Таким чином, можемо тепер пояснити взаємозв’язок теплопровідності та міцності: в ході експлуатації металоконструкція, перебуваючи в термодинамічно метастабільному стані із навколишнім середовищем та іншими об’єктами, механічно взаємодіє з ними (розтяг/стиск). При цих взаємодіях відбуваються явища поглинання або виділення тепла – порушується-

ся метастабільний стан і металоконострукція, як термодинамічна система прагне перейти в стійкий стан. Згідно принципу Ле-Шательє структура матеріалу при цьому змінюється таким чином, щоб мінімізувати теплові ефекти, а отже підвищити теплопровідність. Водночас, в процесі експлуатації міцність будь-якого матеріалу падає. Звідси висновок: при зниженні границі міцності матеріалу підвищується його теплопровідність. Далі буде подано підтвердження цьому поясненню на прикладі довідникових даних.

Перейдемо до розгляду питання про доцільність використання нейронних мереж в запропонованому підході. Необхідно показати, що з допомогою нейронних мереж можливо вирішувати задачу багачапараметрової апроксимації границі текучості як функції твердості, питомого електричного опору та теплопровідності. Для перевірки цього звернемося до тих же довідникових даних, які ми використовували для вибору інформативних параметрів.

Перевірку правильності роботи нейронних мереж будемо здійснювати у спосіб, аналогів якому автор не зміг відшукати в літературі. Спосіб може бути практично реалізований таким чином:

- побудова нейронної мережі відповідної складності (відповідна кількість шарів та нейронів в них);
- формування навчальної множини для тренування нейронної мережі (масив вхідних параметрів та вектор цільових вихідних значень);
- тренування нейронної мережі за вибраним методом;
- формування спеціальних тестових вхідних множин, які є видозміненими масивами вхідних даних, в яких вектор, що відповідає потрібному вхідному параметру замінюється вектором в якому задано рівномірний розподіл даного параметру в межах його реальних крайніх значень, а решта значень в масиві обнуляються;
- сформований тестовий набір подається на вхід нейронної мережі для розрахунку виходу;
- вихід мережі, який по розміру відповідатиме розміру зміненого вхідного вектора буде по суті набором значень функції кількох змінних від одного параметра;
- використовуючи змінений вхідний та розрахований нейронною мережею вихідний вектори можна використовувати для апроксимації функції, яка буде емпіричним законом зміни вихідного параметра від вхідного.

Очевидно, що дана методика дає можливість отримувати емпіричні залежності найрізноманітніших величин та параметрів, може відкрити нові можли-

вості для дослідження різних явищ та процесів за умов недостатності експериментальних даних.

Нами було проведено низку досліджень використовуючи вищевказану методику, в результаті чого було отримано ряд емпіричних залежностей границі міцності сталей від твердості, теплопровідності та питомого електричного опору. Для отримання цих залежностей використовувалось десять нейронних мереж різного рівня складності. Результуючі криві, отримані від різних нейронних мереж загалом повторювались. Нижче (рис. 2-4) приведені результуючі криві, отримані згідно вищевказаної методики, дійсні довідникові дані і їх лінійна апроксимація.

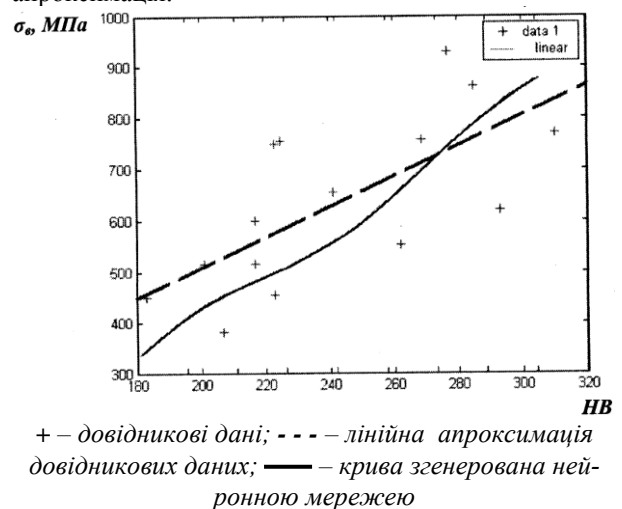


Рис. 2. Залежність границі міцності від твердості

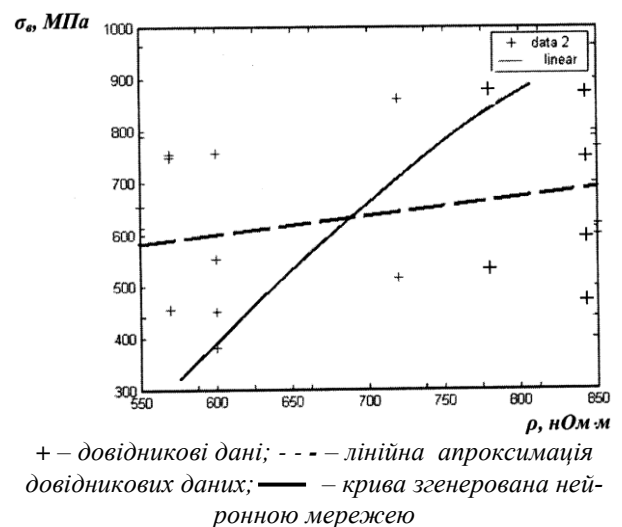
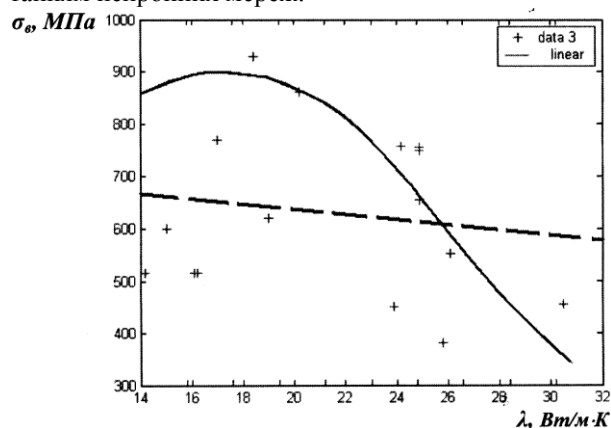


Рис. 3. Залежність границі міцності від питомого електричного опору

Із рис. 2-4 бачимо, що нейронні мережі тренуються коректно, оскільки згенеровані ними за-

лежності границі міцності від твердості, теплопровідності та питомого електричного опору узгоджуються із довідниковими даними, так само як і запропоноване теоретичне обґрунтування вибору вищевказаних інформативних параметрів.

В подальшому передбачається експериментально підтвердити виявлену залежність границі міцності від теплопровідності, яка викликає найбільший інтерес, а також технічно реалізувати запропонований метод контролю фізико-механічних характеристик матеріалу металоконструкцій з використанням нейронних мереж.



+ – довідникові дані; - - - лінійна апроксимація довідникових даних; — крива згенерована нейронною мережею

Рис. 4. Залежність границі міцності від теплопровідності

1. Карнаш О.М., Молодецький І.А., Карнаш М.О. Общій обзор методів оцінки фізико-механічних характеристик металів // *Техническая диагностика*

ка и неразрушающий контроль. – 2004. - № 2. - С. 18-22. 2. Карнаш О.М., Молодецький І.А., Кісіль І.С., Карнаш М.О. Новий підхід до визначення фізико-механічних характеристик сталей неруйнівними методами // *Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів: Зб. наук. праць.* – 2004. – Вип. 9. - С. 80-85. 3. НАОП 1.3.00-82.02-93 *Проведение работ по оценке остаточной работоспособности технологического оборудования нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических производств. Методические указания.* Госназдорохрантруда Украины, Киев, 1993. 4. СТП 320.00135390.069-2002 *Методика технічного діагностування для продовження терміну експлуатації відамортизованого обладання для видобутку нафти і газу. Система стандартів підприємства ВАТ „Укрнафта”.* 5. *Марочник сталей и сплавов.* Сорокин В.Г., Волосникова А.В., Вяткин С.А. и др.; Под общ. ред. Сорокина В.Г. – М.: Машиностроение, 1989. -640 с. 6. *Взаимосвязь между магнитными, электрическими свойствами и структурным состоянием термически обработанных сталей – основа определения прочностных характеристик изделий неразрушающими методами.* Методические рекомендации./Горкунов Э.С. – Свердловск: УЦ АН СССР, 1985. 7. Лукин Е.С., Иванов А.М., Вайнер Б.Г.. *Тепловизионные исследования в экспериментальной механике* // *Дефектоскопия.* – 2003. - № 6. - С. 70-77. 8. Беликов В.Т. *О термодинамической интерпретации эмпирического соотношения для долговечности твердых тел* // *Дефектоскопия.* – 1996. - № 1. - С. 96-102. 9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Статистическая физика.* – М.: Наука, 1964. – 567 с.