



УКРАЇНА

(19) UA (11) 87240 (13) C2
(51) МПК (2009)
G01N 25/02
G01N 11/00
G01N 33/20

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ НЕРУЙНІВНОГО ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛЕЙ

1

(21) а200802389
(22) 25.02.2008
(24) 25.06.2009
(46) 25.06.2009, Бюл.№ 12, 2009 р.
(72) КАРПАШ МАКСИМ ОЛЕГОВИЧ, ДОЦЕНКО
ЄВГЕН РОМАНОВИЧ, КАРПАШ ОЛЕГ МИХАЙЛО-
ВИЧ
(73) ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ
(56) UA, 75949, C2, 15.06.2006
SU, 1260790, A1, 30.09.1986
JP, 57029947, A, 18.02.1982
US, 6197130, B1, 06.03.2001

2

(57) Спосіб неруйнівного визначення механічних характеристик сталей, який включає вимірювання питомого електричного опору, твердості поверхневого шару сталі, коефіцієнта теплопровідності і визначення розрахункових значень механічних характеристик сталей, який **відрізняється** тим, що за значеннями добутку питомого електричного опору та коефіцієнта теплопровідності визначають належність контрольованої сталі до тої чи іншої структурної групи сталей, а потім за допомогою алгоритмів штучних нейронних мереж отримують розрахункові значення механічних характеристик сталей.

Винахід відноситься до неруйнівного контролю сталей, зокрема до контролю фізико-механічних характеристик сталей.

Відомий спосіб магнітного контролю механічних властивостей ферромагнітних виробів [1], який використовується для неруйнівного контролю твердості ферромагнітних виробів; при цьому підвищується точність контролю за рахунок зниження енерговитрат на контроль виробів - це досягається шляхом намагнічування виробу магнітним полем, вимірюванням магнітного параметру, в якості якого використовують коерцитивну силу або залишкову магнітну індукцію, по величині якої судять про досліджувані властивості. Проте цей спосіб придатний тільки для контролю ферромагнітних виробів, що значно обмежує його застосування. Недоліком є також і те, що коерцитивна сила і залишкова магнітна індукція є структурно чутливими анізотропними параметрами, що впливатиме на точність і достовірність результатів контролю цим способом. Цей спосіб відноситься до контролю тільки одного механічного параметра - твердості, по якому не завжди можливо судити про механічні характеристики матеріалу і який часто є характеристикою тільки поверхневого шару матеріалу.

Існує, також, неруйнівний спосіб визначення механічних властивостей сталі [2]. Спосіб включає визначення хімічного складу сталі, спеціальне вилиття зразка, а при його охолодженні,

вимірювання через певні проміжки часу температури і електричного опору його теплового центру, які використовують для побудови комплексної термограми. З врахуванням змін хімічного складу і параметрів кривих електроопору і температури складають рівняння регресії, за якими розраховують характеристики механічних властивостей. Недоліком даного способу є необхідність визначення хімічного складу, що зазвичай є дорогою і трудомісткою процедурою.

Найбільш близьким по технічній суті до запропонованого є неруйнівний спосіб визначення механічних властивостей сталі [3], який полягає у послідовному вимірюванні електричного опору, твердості поверхневого шару металу і коефіцієнта теплопровідності, а для отримання розрахункових значень механічних характеристик сталей використовують штучну нейронну мережу, яка служить апроксиматором механічної характеристики (межі міцності) як багатометричної функції комплексу згаданих параметрів. Недоліком даного способу є використання для тренування штучної нейронної мережі даних по марках сталей, які відносяться до різних типів структур, що призводить до неадекватності результатів розрахунку значень механічних характеристик.

Задача даного винаходу полягає у підвищенні точності визначення межі текучості як функції комплексу параметрів твердості, теплопровідності та питомого електричного опору шляхом вра-

(19) UA (11) 87240 (13) C2

хування належності матеріалу контрольованого об'єкта до тієї чи іншої структурної групи сталі.

Для вирішення поставленої задачі пропонується спосіб неруйнівного визначення механічних характеристик сталей контрольованого об'єкта, що полягає у вимірюванні питомого електричного опору, твердості поверхневого шару металу, коефіцієнту теплопровідності і визначенні розрахункових значень механічних характеристик, який відрізняється тим, що за значеннями добутку питомого електричного опору та коефіцієнту теплопровідності визначають належність матеріалу контрольованого об'єкта до тої чи іншої структурної групи сталі, а потім за допомогою алгоритмів штучних нейронних мереж отримують розрахункові значення механічних характеристик сталей.

Спосіб передбачає локальне послідовне вимірювання твердості, питомого електричного опору та коефіцієнта теплопровідності. Далі розраховують добуток значень питомого електричного опору та коефіцієнта теплопровідності. За цим значенням визначають належність матеріалу контрольованого об'єкта до структурної групи сталі. Для кожної структурної групи тренується нейронна мережа, придатна для розрахунку механічних характеристик (наприклад, межі текучості) тільки для цієї структурної групи.

Для перевірки запропонованого способу використані довідникові значення [4] для 142 іноземних марок сталей різних типів структур, які об'єднані в наступні групи:

1) аустенітно-дулексна структурна група (використано 114 марок сталей);

2) феритно-мартенситна структурна група (використано 28 марок сталей);

В межах кожної структурної групи для всіх марок сталей, було розраховано коефіцієнт K_i .

$$K_i = \rho_i \cdot \lambda_i$$

та розраховано середнє значення $K_{\text{сеп}}$ для двох структурних груп:

$$K_{\text{сеп}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n}$$

де ρ_i - питомий електричний опір i -ї марки сталі, Ом·м; λ_i - коефіцієнт теплопровідності i -ї марки сталі, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$; n - кількість марок сталей в структурній групі.

Результати розрахунку усередненого коефіцієнта $K_{\text{сеп}}$ наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати розрахунку коефіцієнта $K_{\text{сеп}}$

№	Структура група сталей	Значення коефіцієнта $K_{\text{сеп}} \cdot 10^{-6}$	Діапазон значень коефіцієнта $K_{\text{сеп}} \cdot 10^{-6}$
1	Аустенітно-дулексна	12,30	9,9-13,6
2	Мартенситно-феритна	15,45	13,7-18,0

З таблиці 1 видно, що значення коефіцієнта $K_{\text{сеп}}$ відрізняється для різних структурних груп сталей.

Враховуючи складний характер залежностей між вхідними параметрами та механічними характеристиками [5] пропонується використовувати алгоритми штучних нейронних мереж [6], які слугуватимуть апроксиматорами межі текучості як нелінійної багатопараметричної функції комплексу параметрів твердості, питомого електричного опору та коефіцієнта теплопровідності в межах кожної структурної групи. Алгоритми нейронних мереж передбачають процедуру так званого "навчання" і тестування правильності навчання, для чого з усіх марок сталей було сформовано три окремих набори тренувальних та тестових даних: 1-й набір включає в себе аустенітні та дулексні

сталі, що входять до першої структурної групи (кількість марок для тренування мережі - 90, для тестування - 5); 2-й набір включає в себе феритні та мартенситні сталі, що входять до другої структурної групи (кількість марок для тренування мережі - 37, для тестування - 3); 3-й набір включає в себе сталі всіх типів структур (кількість марок для тренування мережі - 127, для тестування - 8).

Числові дані восьми марок сталі, вибраних для тестування, не використовувались при навчанні і були невідомими для мережі - таким чином відбувалось моделювання процесу контролю.

Для перевірки можливості здійснення винаходу було виконані дослідження, результати яких представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати тестування натренованих нейронних мереж

Сталь		1	2	3	4	5	6	7	8	Похибка тестування	
										МПа	%
Набір даних	Дійсні значення межі текучості	275	310	485	280	450	275	350	560		
1-й	Реальні виходи нейронної мережі	271	313	492	283	430	-	-	-	7,4	3,52
2-й	Реальні виходи нейронної мережі	-	-	-	-	-	273	384	562	12,6	4,42
3-й	Реальні виходи нейронної мережі	276	316	483	273	379	328	345	478	28,3	9,92

З таблиці 2 видно, що точність визначення межі текучості для окремих структурних груп в 2-3 рази вища за точність визначення в групі, яка включає всі типи структур.

Аналіз результатів перевірки запропонованого способу на довідкових даних однозначно вказує на те, що запропонований спосіб визначення механічних характеристик сталей в межах груп із однаковою або схожою структурами дозволяє суттєво підвищити точність контролю.

Таким чином, на реальних значеннях фізичних і механічних характеристик ряду конструкційних сталей підтверджена можливість здійснення запропонованого винаходу.

Перелік посилань

1. Патент Росії №2051380 G01 N27/80.
2. Патент СРСР № 1260790 G 01N 25/02.
3. Патент. UA 75949 Україна, МІЖ G 01N 25/02. Спосіб неруйнівного контролю механічних характеристик сталей / Карпаш О.М., Карпаш М.О., Райтер П.М., Ващишак С.П. (Україна). - Опубл. 15.06.2006; Бюл. № 6, 2006.
4. <http://www.matweb.com>.
5. Карпаш М.О. Обґрунтування комплексного підходу до визначення фізико-механічних характеристик матеріалу металоконструкцій // Методи та прилади контролю якості. - 2004. - № 12. - С. 30-33.
6. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. - М.: Вильяме, 2006. - 1104 с.