

УДК 620.179

ХАРАКТЕР ЗВ'ЯЗКУ МІКРОСТРУКТУРИ З ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ СТАЛЕЙ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

В. Д. МИНДЮК, О. М. КАРПАШ, М. О. КАРПАШ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Встановлено найінформативніші параметри мікроструктурних змін матеріалів металоконструкцій, які взаємопов'язані з їх механічними та фізичними властивостями. Для визначення структурно- і фазочутливих характеристик матеріалів використано різні методи та засоби неруйнівного контролю. За комплексом фізико-механічних характеристик неруйнівного контролю встановлено оптимальну кількість параметрів контролю і характеристик мікроструктури.

Ключові слова: *мікроструктура, деградація, співвідношення фаз, умовний розмір зерна, неруйнівний контроль, фізико-механічні характеристики, структуроскопія.*

Одним із основних чинників, що визначає роботу і залишковий ресурс металоконструкцій тривалої експлуатації, є якість металу. Тому діагностика їх технічного стану повинна охоплювати не тільки оцінку їх цілісності, але й змін мікроструктури металу внаслідок експлуатаційних деградаційних процесів, які часто викликають деформації-руйнування, зародження і розвиток мікропошкоджень, що проявляється у відповідних змінах фізико-механічних властивостей матеріалу [1–3].

Щоб виявити незворотні мікроструктурні зміни у матеріалах, слід контролювати їх фізичні структурно- та фазочутливі властивості. Структурно-чутливі (електричні, акустичні, гальваномagnetні, термоелектричні, деякі magnetні (наприклад, коерцитивна сила), внутрішнє тертя) реагують на зміну ступеня спотвореності кристалічної ґратки, концентрацію домішкових атомів, порядок у розташуванні атомів компонентів, розмір зерна, появу частинок надмірної фази, зміну їх дисперсності тощо. За фазочутливими можна з високою точністю фіксувати зміну складу фаз і кількісного співвідношення між ними. До них насамперед слід віднести намагненість насичення.

Нижче, розвиваючи розпочаті дослідження [4], вивчили характер взаємозв'язку між фазо- і структурно-чутливими параметрами методів неруйнівного контролю із основними характеристиками мікроструктури сталей ферито-перлітного класу: співвідношенням між структурним і фазовим складниками, а також розміром зерен d . Зразки вирізали з труб магістральних трубопроводів, які демонтували під час ремонтів, з труб аварійних запасів, а також листового прокату різних марок низьковуглецевих сталей.

Відбрали 16 зразків конструкційних сталей (дев'ять – з металопрокату (з позначкою "П"), сім – з трубопровідних сталей (з позначкою "Т")) прямокутної форми розмірами 350×500 mm, очищених від бруду та корозії. Неруйнівним методом [5] визначали твердість НВ, індуктивний magnetний параметр I [6], коерцитивну силу H_c , теплопровідну характеристику T [7] та питомий електричний опір ρ . Для цього використовували динамічний твердомір ТД-32, експериментальну інформаційно-вимірвальну систему ІВС-І2 [8] для визначення параметра I ,

структуроскоп КРМ-Ц-К2М, інформаційно-вимірвальну систему ІВС ФМХ-1 [8] з нагрівальним блоком для встановлення характеристики T та мікроомметр БСЗ-010-2 зі спеціальним контактним механізмом. Щоб послабити вплив різних чинників (анізотропії матеріалу, шорсткості тощо) на результати вимірювань, кожен зразок ділили на шість зон і для кожної виконали десятикратні вимірювання всіма приладами.

Зразки для металографічних досліджень вирізали на спеціальному верстаті Q-80Z УРМО-80А, який автоматично підтримував задану швидкість різання від-різним абразивним кругом і інтенсивно охолоджував зразок, запобігаючи спотворенню мікроструктури металу. Далі їх шліфували і полірували на пристрої УШПО-1, використовуючи фетровий круг, змочений суспензією дистильованої води і дрібнодисперсного порошку оксиду алюмінію. Потім витримували у 5%-му спиртовому розчині пікринової кислоти [9]. Виділяли шари ближче до зовнішньої чи внутрішньої поверхонь зразка, а також розташовані в середній частині його товщини [10]. Кількісні параметри мікроструктури визначали за нормативним документом [11], застосовуючи програмний продукт ImageJ версії m1.45, результати усереднювали за вимірами в шести областях розміром $0,5 \text{ mm}^2$ на всій площині видимості знімка. Для визначення взаємозв'язку між параметрами мікроструктури і вибраними фізико-механічними інформативними характеристиками виконали графічний та кореляційний аналізи.

Результати експериментів усереднювали (табл. 1), а також будували залежності фізичних і механічних параметрів від характеристик мікроструктури (рис. 1 і 2).

Таблиця 1. Результати дослідження мікроструктури і вимірювання фізичних і механічних структурно-чутливих параметрів

№ зразка	d , μm	Перліт/ферит	НВ	H_c , A/cm	I , cond. un	T , cond. un	ρ , $\text{n}\Omega\cdot\text{m}$
1П	58,89	0,2	135	2,26	1785,8	6,08	178
2П	62,24	0,16	114,3	1,53	1950,5	5,82	198
3П	9,62	0,35	116	1,82	1997,2	5,95	267
4П	26,6	0,36	136,6	3,25	1853,5	4,557	329
5П	31,54	0,4	138,3	1,43	2156,6	6,738	165
6П	71,01	8,79	249,6	8,55	1532,4	5,369	350
7П	26,54	0,37	134,6	3,01	1629	5,87	141
8П	42,08	0,22	126,3	1,99	1975,3	5,849	172
9П	16,89	0,14	134	3,19	1839,8	4,929	272
10Т	35,12	0,34	149	3,92	1996,5	4,749	370
11Т	23,59	0,13	118,6	2,24	1846,5	5,207	264
12Т	13,6	0,36	151	3,8	1729,6	5,034	224
13Т	62,61	5,13	187	5,61	1561,8	5,764	380
14Т	56,14	5,91	198,3	5,3	1573,7	5,571	315
15Т	16,67	0,52	188,3	2,89	1684,2	6,223	198
16Т	12,79	0,26	203	3,14	1895,5	5,709	385

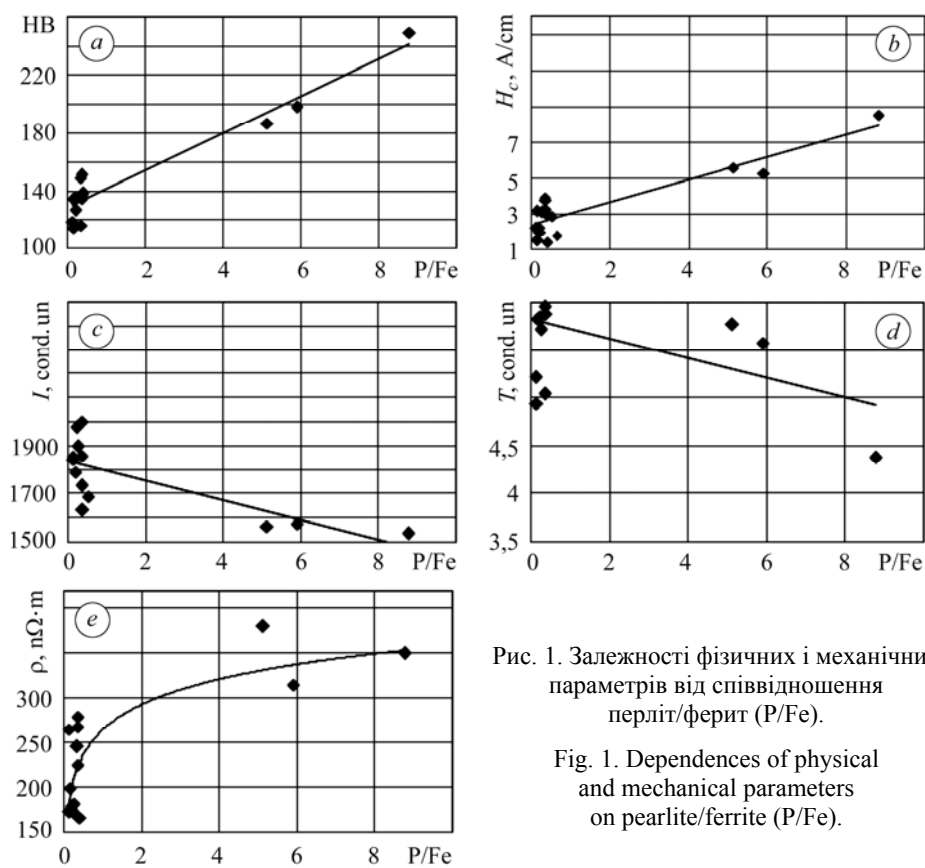


Рис. 1. Залежності фізичних і механічних параметрів від співвідношення перліт/ферит (P/Fe).

Fig. 1. Dependences of physical and mechanical parameters on pearlite/ferrite (P/Fe).

Виявлено добру кореляцію між фазоструктурним співвідношенням перліт/ферит і твердістю, коерцитивною силою та умовним магнетним індуктивним параметром (табл. 2; тут знак мінус свідчить про обернену залежність). Питомий електричний опір та теплопровідна характеристика слабо корелюють з фазоструктурним параметром через невисоку чутливість методів до структурних змін на мікрорівні і мають виражений інтегральний характер. Слід відмітити нелінійний характер зв'язку між параметрами структури і фізичними, тому доцільно для аналізу мікроструктурних змін використовувати їх в комплексі. Вибрані фізичні параметри і середній умовний розмір зерен корелюють слабо, тому оцінювати деградацію структури сталей феритного і перлітного класів за зміною розмірів зерен, коли вибрані методи і параметри неруйнівного контролю, недоцільно.

Таблиця 2. Коефіцієнти кореляції між параметрами мікроструктури і фізико-механічними характеристиками сталей ферито-перлітного класу

Параметр структури	НВ	H_c , A/cm	I , cond. un	T , cond. un	ρ , n Ω ·m
Перліт/ферит	0,7934	0,9033	-0,5782	-0,2311	0,3999
d , μm	0,3325	0,5018	-0,1917	-0,0504	-0,0313

Отже, зміна співвідношення фаз впливає на окремі фізичні властивості матеріалів, особливо – магнетні і електричні. Бал зерна в матеріалах конструкцій довготривалої експлуатації залишається практично незмінним і несуттєво змінює магнетні характеристики металу.

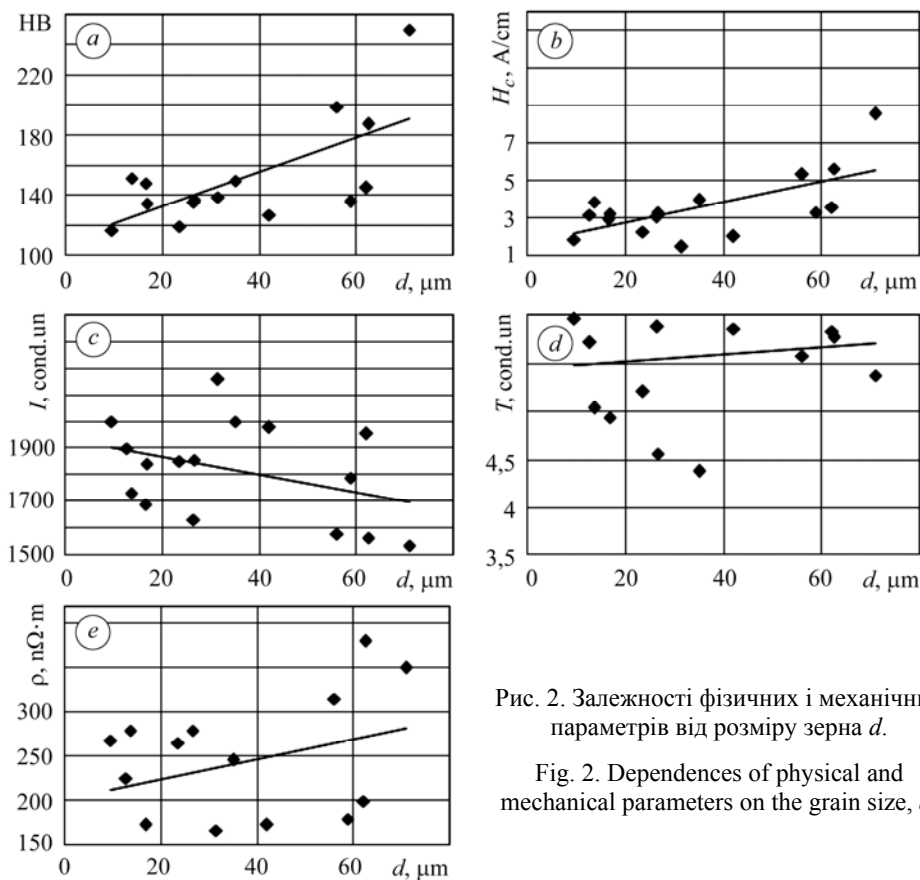


Рис. 2. Залежності фізичних і механічних параметрів від розміру зерна d .

Fig. 2. Dependences of physical and mechanical parameters on the grain size, d .

Тому оцінювати ступінь деградації мікроструктури слід за зміною співвідношення фаз та комплексом фізико-механічних характеристик. Експериментально визначено оптимальну кількість фізичних величин неруйнівної структуроскопії: твердість, коерцитивну силу і електромагнетний індуктивний параметр.

ВИСНОВКИ

Комплекс параметрів, зокрема твердість, коерцитивну силу і магнетний індукційний параметр, можна ефективно використовувати для визначення співвідношення перліт/ферит як ознаки мікроструктурного стану низьковуглецевих сталей. Для практичної реалізації лабораторних досліджень необхідно розробити методику, що регламентує порядок робіт, застосовуваних методів та засобів для опосередкованого визначення деградації мікроструктури матеріалів металоконструкції за встановленим комплексом інформативних параметрів неруйнівного контролю.

РЕЗЮМЕ. Установлены наиболее информативные параметры микроструктурных изменений материалов металлоконструкций, взаимосвязанные с их механическими и физическими характеристиками. Для определения структурно- и фазочувствительных параметров материалов использованы разные методы и средства неразрушающего контроля. Установлено оптимальное количество параметров неразрушающего контроля и характеристик микроструктуры за комплексом физико-механических параметров неразрушающего контроля.

SUMMARY. The most informative parameters of the metal construction materials microstructural changes, which are interrelated with the material mechanical and physical properties, are established. Experimental researches of the microstructure and phase-sensitive parameters of materials different nondestructive methods and facilities are used. The optimal

number of nondestructive testing parameters and microstructure characteristics by the complex physical and mechanical parameters of the non-destructive testing are established.

1. *Оцінка деградації сталей обладнання нафтопереробних і хімічних виробництв* / О. Г. Архипов, О. В. Зінченко, Д. О. Ковальов, Р. Г. Заїка // *Металеві конструкції*. – 2009. – **15**, № 2. – С. 115–122.
2. *Крижанівський Є. І., Никифорчин Г. М.* Особливості корозійно-водневої деградації сталей нафтогазопроводів і резервуарів зберігання нафти // *Фіз.-хім. механіка матеріалів*. – 2011. – **47**, № 2. – С. 11–20.
(*Kryzhanivskyi E. I. and Nykyforchyn H. M.* Specific features of hydrogen-induced corrosion degradation of steels of gas and oil pipelines and oil storage reservoirs // *Materials Science*. – 2011. – **47**, № 2. – P. 127–138.)
3. *Миндюк В. Д., Доценко Є. Р., Карпаш М. О.* Особливості деградації структури матеріалів металоконструкцій довготривалої експлуатації та оцінка можливості її діагностування в нафтогазовому комплексі // *Наук. вісник ІФНТУНГ*. – 2011. – № 2 (28). – С. 91–97.
4. *Карпаш О. М., Доценко Є. Р., Карпаш М. О.* Комплексний метод контролю фізико-механічних характеристик матеріалів металоконструкцій // *Фіз.-хім. механіка матеріалів*. – 2011. – **47**, № 5. – С. 40–47.
(*Karpash O. M., Dotsenko E. R., and Karpash M. O.* Complex method for checking physico-mechanical characteristics of materials of metalworks // *Materials Science*. – 2011. – **47**, № 5. – P. 613–620.)
5. *РД 12-411-01.* Инструкция по диагностированию технического состояния подземных стальных газопроводов. – М.: Госгортехнадзор России, 2001. – 50 с.
6. *Тацакович Н. Л., Карпаш О. М., Карпаш М. О.* Експериментальне дослідження можливості визначення ударної в'язкості неруйнівним методом // *Матеріали 14 Міжнар. наук.-техн. конф. "Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів" ("Леотест-2009")*, Славське, 16–21 лютого 2009 р. – Львів, 2009. – С. 75–76.
7. *Тацакович Н. Л.* Удосконалення методу технічної діагностики нафтогазопроводів: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Івано-Франківськ, 2010. – 16 с.
8. *Кісіль І. С., Карпаш М. О., Вацшиак І. Р.* Прилад для контролю фізико-механічних характеристик сталей ФМХ-1 // *Методи та прилади контролю якості*. – 2005. – № 14. – С. 77–80.
9. *Металловедение и термическая обработка стали: справ. изд. в 3-х т.* // *Методы испытаний и исследования* / Под ред. М. Л. Бернштейна, А. Г. Рахштадта. – М.: Металлургия, 1983. – 352 с.
10. *Оценка прочностного ресурса газопроводных труб с коррозионными повреждениями* / И. Н. Бирилло, А. Я. Яковлев, Ю. А. Теплинский и др. – М.: Изд. Центрилитнефтегаз, 2008. – 168 с.
11. *ГОСТ 5639-82.* Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 22 с.

Одержано 25.06.2013