

# ВПЛИВ НАВОДНЮВАННЯ НА ШВИДКІСТЬ ПОВЕРХНЕВИХ АКУСТИЧНИХ ХВИЛЬ В НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЯХ

В. Р. Скальський, О. М. Мокрий, П. П. Великий, П. М. Долішній, Я. Д. Толопко

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, м. Львів

The steel samples were plastic deformed and gas – phase hydrogenated. The spatial distribution of surface acoustic wave velocity in samples was measurement. It was found that plastic deformation causes velocity to decrease and hydrogenation to increases it. Influence of internal mechanical stresses on change of surface acoustic velocity under hydrogenation was considered.

Визначення впливу наводнювання на властивості металів є важливим з погляду оцінки стану різноманітних виробів та конструкцій [1]. Тому розвиток методів оцінювання змін властивостей металу під дією наводнювання є актуальним завданням.

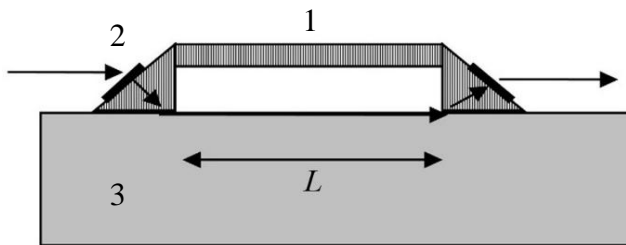
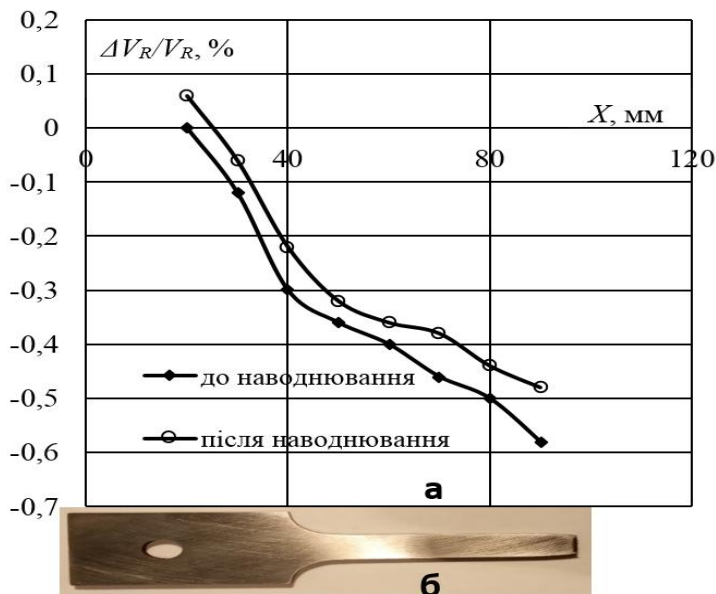


Рис. 1. Перетворювач для вимірювання швидкості ПАХ, 1 – перетворювач, 2 – п'єзoeлектрик, 3 – об'єкт контролю.

Ефективним методом оцінки стану металу, який піддається впливу водню, є визначення швидкості проходження акустичних хвиль [2]. Її величина визначається пружними постійними металу та його густиною [3] і в процесі наводнювання ці величини змінюються [4].

Серед різних типів хвиль перспективним є використання з метою діагностики поверхневих релейських хвиль (ПАХ). Вони є зручними для використання в неруйнівному контролі, оскільки їх можна збудити та прийняти на об'єктах контролю із складною формою поверхні.

Вони є зручними для використання в неруйнівному контролі,



Проведено дослідження розподілу по поверхні швидкості ПАХ в зразках із низьковуглецевої сталі, які були піддані різним ступеням пластичної деформації розтягу, а також наводненню з газової фази. Розмір робочої частини зразка становив  $7 \times 14 \times 110 \text{ мм}^3$ . Після деформації розтягом зразки шліфували і піддавали термічній обробці протягом 5 год за температури  $550 \text{ }^\circ\text{C}$ . Після цього їх наводнювали з газоподібної фази за тиску 1

МПа та температури  $550 \text{ }^\circ\text{C}$  протягом 4 год. Досліджували розподіл швидкості ПАХ до і після наводнення. Акустична хвиля поширювалась в напрямку паралельному розтягу зразка. Використовували контактний п'єзoeлектричний перетворювач, в якому є дві

призми для збудження та прийому ПАХ (рис. 1). Ці призми жорстко з'єднані для забезпечення постійної відстані між ними. Вимірювання швидкості проводилось аналогічно, як у праці [5]. Послідовно переміщаючи перетворювач по поверхні об'єкту

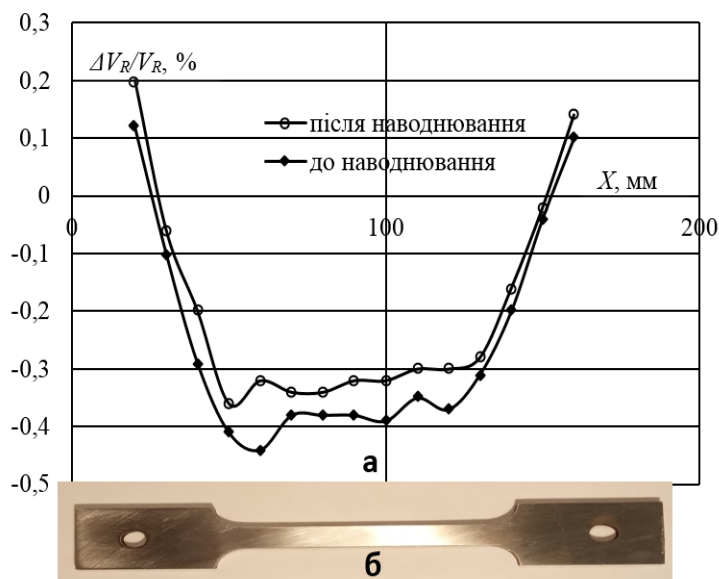


Рис. 3. Розподіл швидкості ПАХ в пластично деформованому зразку одновісним розтягом на величину 15 % до і після наводнювання (а) та загальний його вигляд (б).

перетворювача. Як бачимо, спостерігається зменшення величини швидкості ПАХ під дією пластичної деформації, яка становить 0,4 – 0,5 %. Крім того швидкість ПАХ після наводнювання зростає на величину ~ 0,06 – 0,1 %. В ділянках зразків, які піддані пластичній деформації розтягу спостерігається дещо більша зміна швидкості за наводнення порівняно із недеформованими ділянками.

Одним з можливих механізмів, який може спричинити збільшення швидкості ПАХ є вплив внутрішніх напружень [4, 6]. В основу розгляду механізму зміни швидкості ПАХ покладемо наявність стискальних напружень в металі спричинених воднем. Їх усереднений вплив представимо як дію деякого ефективного гідростатичного тиску. Відповідно такий тиск завдяки акустопружному ефекту призводить до зміни пружних модулів середовища. Крім того він спричинює і зміну густини металу, що також впливає на швидкість ПАХ. Проведемо оцінку величини цих впливів на швидкість ПАХ. Величину швидкості ПАХ можна представити [7]:

$$V_R \approx V_t \frac{0,72 - \frac{v_t^2}{v_l^2}}{0,75 - \frac{v_t^2}{v_l^2}}, \quad (1)$$

де  $V_R$  – швидкість поверхневої хвилі Релея,  $V_t$  – швидкість поперечної акустичної хвилі,  $V_l$  – швидкість повздовжньої акустичної хвилі. Швидкість повздовжньої і поперечної акустичних хвиль можна виразити через пружні модулі так [8]:

$$V_l = \sqrt{\frac{G(4G-E)}{\rho(3G-E)}}, \quad (2)$$

$$V_t = \sqrt{\frac{G}{\rho}}, \quad (3)$$

контролю і проводячи вимірювання, було знайдено розподіл швидкості ПАХ. Визначали усереднену швидкість ПАХ на інтервалі, що дорівнює базі вимірювання  $L$ . У нашому випадку ця величина становила 30 мм. Отримані результати показано на рис. 2 та 3. На рисунках також приведено загальний вигляд зразків. На рис. 2 показана залежність швидкості ПАХ в зразку матеріалу, який був розірваний внаслідок розтягу, а на рис. 3 – залежність для зразка матеріалу, який був пластично деформований розтягом на 15%. На графіках приведена координата розміщення центра бази вимірювань

де  $G$  – модуль зсуву,  $E$  – модуль Юнга,  $\rho$  – густина матеріалу. Під дією гідростатичного тиску пружні модулі зміняться внаслідок акустопружного ефекту згідно [8]:

$$G = G_0 + \frac{\partial G}{\partial P} P, \quad (4)$$

$$E = E_0 + \frac{\partial E}{\partial P} P, \quad (5)$$

де  $P$  – гідростатичний тиск. На основі значень величин для заліза  $\partial G/\partial P = 1,91$  та  $\partial E/\partial P = 5,17$  [8] можна розрахувати зміни величини швидкості ПАХ за рахунок зміни пружних постійних під дією внутрішніх напружень. Величину зміни густини металу під дією тиску можна знайти згідно виразу [9]:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{P}{K}, \quad (6)$$

де  $\Delta \rho$  – зміна густини під дією тиску,  $K$  – модуль об'ємної пружності. Вирази (1) – (6) дозволяють знайти внутрішній тиск, який спричиняє експериментально отриману зміну швидкості ПАХ. Приймаючи значення  $G_0 = 81,2$  ГПа,  $E_0 = 209,6$  ГПа, та  $K = 163,3$  ГПа [8], отримуємо для величин збільшення швидкості 0,06 – 0,1 % величину тиску в межах 40 – 68 МПа. Ця величина корелює з оцінками стискальних напружень в межах 80 – 90 МПа, приведених у праці [4]. Отже, можна зробити висновок, що внутрішні напруження цілком можуть спричинити зміну швидкості ПАХ, яка виникла внаслідок наводнювання низьколегованої сталі. Крім того, як показують проведені оцінки, основний вклад (80%) в збільшення швидкості відбувається за рахунок збільшення модуля зсуву  $G$ , а інша частина збільшення швидкості відбувається за рахунок зменшення густини.

Таким чином, на основі експериментальних досліджень і числових оцінок можна припустити, що акустопружний ефект, який призводить до зростання модуля зсуву  $G$  може бути одним з основних механізмів зміни швидкості ПАХ в низьковуглецевій сталі за наводнення з газової фази.

#### Література

1. Назарчук З.Т., Андрейків О.Є., Скальський В.Р. Оцінювання водневої деградації феромагнетиків у магнітному полі. Київ: Наукова думка, 2013. 271 с.
2. Черданцев Ю.П., Чернов И.П., Тюрин Ю.И. Методы исследования систем метал – водород. Томск: Изд – во. Томского политех. универ., 2008. 286 с.
3. Скальський В.Р., Сулим Г.Т. Основи акустичних методів неруйнівного контролю. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2010. 386 с.
4. Скальський В.Р., Назарчук З.Т., Гірний С.І. Вплив електролітично поглиненого водню на модуль Юнга конструкційної сталі. *Фізико – хімічна механіка матеріалів*. 2012. №4. С.68 – 75.
5. Скальський В.Р., Мокрий О.М. Вплив заглибин поверхні елементів конструкцій на вимірювання швидкості поверхневих акустичних хвиль. *Технічна діагностика і неруйнівний контроль*. 2018. №4. С.24 – 29.
6. Андрейків О.Є., Гембара О.В. Механіка руйнування та довговічність металевих матеріалів у водневмістних середовищах. Київ : Наукова думка, 2008. 344 с.
7. Поверхностные акустические волны / під ред. А. Олинера. Москва: Мир, 1981. 390 с.
8. Францевич И.Н., Воронов Ф.Ф., Бакута С.А. Упругие постоянные и модули упругости металлов и неметаллов. Справочник. Київ: Наукова Думка, 1982. 286 с.
9. Шутилов В.А. Основы физики ультразвука. Ленинград: Изд – во. Лен. универ., 1980. 280 с.