

*М. М. СЕМЕГЕН* аспірант, Івано-Франківський НТУНІГ

*З. П. ЛЮТАК*, канд. техн. наук, доцент, Івано-Франківський НТУНІГ

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НЕРІВНОСТЕЙ ПОВЕРХНІ ОБ'ЄКТА КОНТРОЛЮ НА ПОШИРЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ

Розглянуто та проаналізовано вплив нерівностей на границі розділу поверхні п'єзоперетворювача та об'єкта контролю, які впливають на точність та чутливість проведення контролю акустичним методом. Представлені експериментальні результати у вигляді графіка залежності між акустичним коефіцієнтом загасання ультразвукових хвиль, які поширюються в металі поверхня якого має різні ступені мікронерівностей.

Agencies of roughnesses on separation boundary line piezoelectric transducer and installation of check which one influence exactitude and responsivity of monitoring procedure by an acoustic method are observed and analysed. The observational results in an aspect of graphs of associations between acoustic attenuation coefficients of ultrasonic waves which one propagate in metal which one surface has different extents of asperities are introduced.

**Вступ.** При проведенні контролю матеріалів акустичним методом нерівності на їх поверхні впливають на точність контролю та його чутливість. Зменшення нерівностей у випадку, коли довжина ультразвукової хвилі співрозмірна з розмірами мікронерівностей на поверхні об'єкта контролю, то розсіювання від шорсткості поверхні має негативний вплив на отримані результати при проведенні неруйнівного контролю. Проте є можливим визначення критичної величини шорсткості поверхні, яка відповідає умові максимальної послаблюючої інтерференції хвиль в межах випромінюючого пучка. Ця умова визначається різницею в швидкостях поширення ультразвукових коливань в контактному шарі та в об'єкті контролю. Швидкість поширення ультразвукових коливань в металі завжди більша ніж в контактному шарі, так як основу його становить рідина. Ультразвукові хвилі, які генеруються п'єзоелектричним перетворювачем починають поширюватися з вершин мікронерівностей поверхні об'єкта контролю в область впадин мікронерівностей з більшою швидкістю ніж через контактний шар. Якщо між даними ультразвуковими хвилями утворюється зсув фаз рівний  $180^0$  або кратний  $180^0$ , то після поширення хвиль в тілі об'єкта контролю проходить процес максимального загасання коливань. Рефракція, дифракція, яка приводить до різниці фаз сигналу на поверхні об'єкта контролю змінюють його форму та діють на його модель в межах поширення через об'єкт контролю.

Теоретичні дослідження цього питання проводилось в роботах [1], [2] в яких показано застосування безконтактних методів, що використовуються для оцінки величини мікронерівностей на поверхні об'єкта контролю. В роботі [2] автор використовував два ортогонально поляризованих лазерних

променя для виведення мікронерівностей освітлюваної поверхні об'єкта контролю. Недоліком робіт є неможливість застосування результатів для оцінки матеріалу металевих конструкцій, що експлуатується. В праці [3] для дослідження мікронерівностей поверхні автор використовував рентгенівський метод. Проте дослідження даним методом в експлуатаційних умовах вимагає великих затрат засобів та часу. Автори роботи [4] використовуючи моделювання теоретично проаналізували проблему сигнальних перешкод зворотного розсіювання, яке генерується поверхнею об'єкта контролю з наявними мікронерівностями. Результати їх роботи показали, що попереднє розходження часу в ультразвуковому сигналі незалежне від тиску ультразвукового давача та його радіуса. Недоліком роботи є недостатність теоретичних та практичних результатів для його застосування при неруйнівному контролі. Метою даної роботи є експериментальне вивчення залежностей між акустичним коефіцієнтом загасання ультразвукових хвиль, які поширюються в металі поверхня якого має різні ступені мікронерівностей, так як це впливає на точність контролю.

**Основна частина.** Ультразвукова хвиля, яка поширюється через метал буде втрачати свою енергію внаслідок різних факторів. Найбільший вплив на загасання сигналу дає поширення ультразвуку через границю розділу поверхні п'єзоперетворювача та досліджуваної поверхні об'єкта контролю.

Така поверхня може впливати на зменшення амплітуди коливання, що в свою чергу приведе до змін параметрів ультразвукової хвилі. Внаслідок різних методів виробництва або виплавки сталі, змінюється їх хімічні та фізико-механічні характеристики, які впливають на втрату енергії ультразвукової хвилі при поширенні. Ці втрати відображаються на трьох основних етапах - при поширенні ультразвукової хвилі через дане середовище, адсорбуючому впливі середовища поширення та при розсіюванні коливної енергії. Дані втрати достатньо повно описані в роботах [5, 6].

Зосередимо увагу на загасанні ультразвукових хвиль, при їх поширенні в металах з різними степенями мікронерівностей. В загальному випадку загасання можна показати в наступній формі [7]:

$$F = F_0 e^{-\alpha L}, \quad (1)$$

де  $F$  - тиск ультразвукової хвилі в місці вимірювання;  $F_0$  - тиск ультразвукової хвилі, яка пройшла відстань  $L$  без врахування загасання;  $L$  - відстань, яку проходить ультразвукова хвиля;  $\alpha$  - коефіцієнт загасання.

Рівень відносного звукового тиску ультразвукової хвилі, яка поширюється становить:

$$P = 20 \lg \left( \frac{F_0}{F} \right). \quad (2)$$

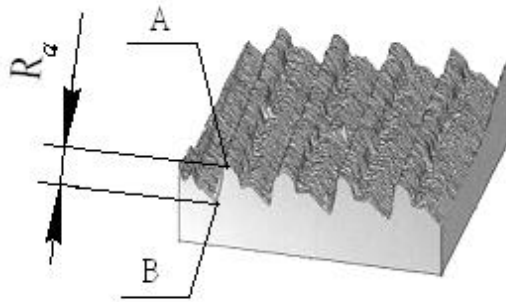
На рис. 1а та 1б зображено нерівності на поверхні трубної сталі в стані поставки, а також на рис. 1в та 1г відповідно зображено поверхневі нерівності після механічної обробки. Як видно з рисунків нерівності на поверхнях металу є різної величини.

Розглянемо поширення ультразвукової хвилі між точками *A* та *B* об'єкта контролю, що зображено на рисунку 1а. Втрата рівня звукового тиску для хвилі, яка поширюється між даними двома точками становить

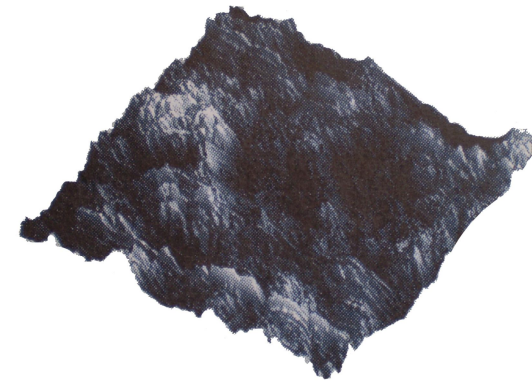
$$P_1 - P_2 = 20 \lg \left( \frac{F_1}{F_2} \right), \quad (3)$$

де  $P_1$  - рівень відносного звукового тиску ультразвукової хвилі, яка поширюється в точці *A*;  $P_2$  - рівень відносного звукового тиску ультразвукової хвилі, яка поширюється в точці *B*;  $F_1$  - тиск ультразвукової хвилі в точці *A*;  $F_2$  - тиск ультразвукової хвилі в точці *B*.

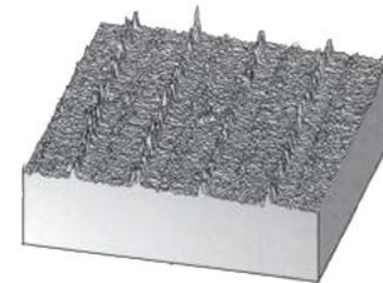
Дані точки *A* та *B* знаходяться на контактній поверхні. Точка *A* знаходиться на вершині мікронерівностей поверхні; точка *B* - вхід ультразвукової хвилі в об'єкт контролю, яка знаходиться на впадині мікронерівностей поверхні. Відстань між даними точками *A* та *B* і буде рівна висоті мікронерівностей поверхні об'єкта контролю,  $R_a$ .



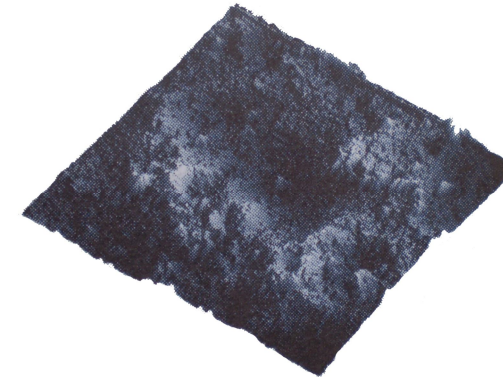
а)



б)



в)



г)

а) схематичне зображення мікронерівностей на поверхні трубної сталі, б) фактичне зображення мікронерівностей на поверхні трубної сталі, в) схематичне зображення мікронерівностей на поверхні трубної сталі після механічної обробки, г) фактичне зображення мікронерівностей на поверхні трубної сталі після механічної обробки

Рис. 1. Дослідження поверхневих нерівностей

Виходячи з рівнянь (1, 3), враховуючи, що загасання вимірюється в дБ можна записати, а також те, що

$$\alpha = \frac{10 \lg \left( \frac{F_1}{F_2} \right)}{L} \quad (4)$$

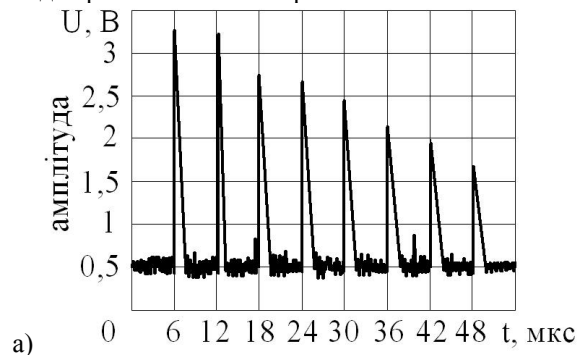
Дану форму рівняння (5) використовуємо при експериментальних дослідженнях коефіцієнта загасання по відношенню до величини мікронерівностей поверхні об'єкта контролю, вважаючи всі інші фактори впливу на коефіцієнт загасання незмінними.

Для проведення експериментальних досліджень були вибрані взірці в кількості 3 шт довжиною 120 мм, з різною висотою поверхневих нерівностей.

Дані взірці виготовлені з сталі 08Г2МФБ, яка використовується для виробництва прямошовних труб діаметром 1420 мм з товщиною стінки 20 мм. Шляхом механічної обробки взірцям надавалась різна висота мікронерівностей на поверхні, яка буде використовуватись для досліджень, а саме 5 мкм, 80 мкм та 160 мкм. На поверхнях взірців визначались параметри мікронерівностей за допомогою профілографа-профілометра мод. 252. Основний параметр, який визначався, це висота вершин мікронерівностей відносно впадин на поверхнях взірців. Ультразвукове дослідження проводилось луно-імпульсним методом з використанням поздовжніх ультразвукових хвиль використано п'єзоелектричний перетворювач з частотою 2,5 МГц (середній діаметр п'єзопластини 10 мм), за допомогою ультразвукового пристрою [8].

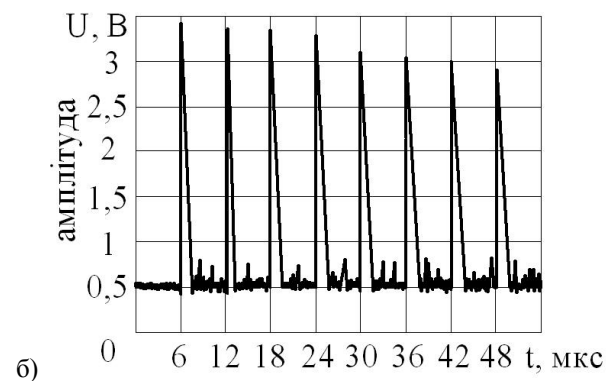
В якості контактної рідини використовувався тонкий шар епоксидної смоли, яка незначно впливає на втрати коливної енергії. Для всіх експериментів була збережена величина тиску давача на досліджувану поверхню в розмірі 5 Н.

Числові значення параметрів поверхневих нерівностей об'єкта контролю використовуються як змінні від яких буде залежати акустичний ультразвуковий коефіцієнт загасання. Рис. 2 ілюструє форму луно-сигналу, яка зареєстрована для різних станів поверхні.



а)

24



б)

а) форма луно-сигналів ультразвукових хвиль при дослідженні поверхневих нерівностей висотою 160 мкм, б) форма луно-сигналів ультразвукових хвиль при дослідженні поверхневих нерівностей висотою 5 мкм

Рис. 2. Форма луно-сигналів ультразвукових хвиль

Як видно із рис. 2, швидкість загасання амплітуди сигналу є більшою при більшій величині нерівностей досліджуваної поверхні. При проведенні експериментальних досліджень брався 4-й луно-сигнал оскільки сусідні луно-сигнали мають малу величину різниці амплітуд і є велика похибка їх визначення.

$$\alpha = \frac{10 \left[ \lg \left( \frac{F_1}{F_2} \right) - \lg(N) \right]}{L}, \quad (5)$$

де  $N$  - номер луно-сигналу.

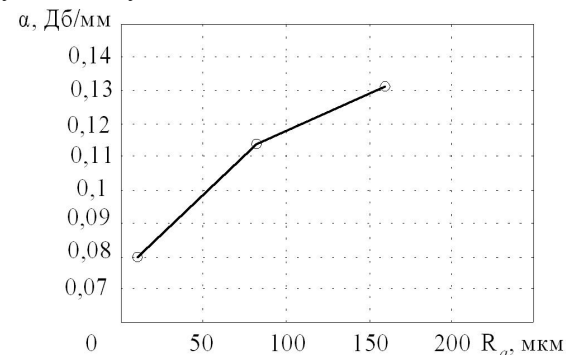


Рис. 3. Залежність коефіцієнта загасання ультразвукових хвиль від величини поверхневих мікронерівностей

25

Використовуючи результати механічної обробки (висоту мікронерівностей на поверхні взірців) та розрахункові коефіцієнти загасання  $\alpha$  визначені за допомогою рівняння (5) отримуємо графік залежностей  $\alpha = f(R_a)$ , який показано на рисунку 3.

**Аналіз.** Рис. 3 показує, що збільшення величини поверхневих мікронерівностей приводить до помітного збільшення коефіцієнта загасання ультразвукових хвиль. Таке явище може привести до великої втрати коливної енергії ультразвукової хвилі при передачі її через границю розділу поверхні п'єзоперетворювача та досліджуваної поверхні об'єкта контролю. Крім того, товщина контактного шару, який заповнює проміжок між поверхнею давача та поверхнею об'єкта контролю, збільшується при більшій величині нерівностей поверхні об'єкта контролю і навпаки. Внаслідок цього такий проміжок, як границя розділу поверхонь двох середовищ, є причиною додаткової втрати енергії звукової хвилі, яка передана до об'єкта контролю, що в свою чергу також збільшує коефіцієнт загасання.

**Висновки.** В роботі експериментально досліджений вплив границі розділу поверхні п'єзоперетворювача та досліджуваної поверхні об'єкта контролю по відношенню до коефіцієнта загасання ультразвукових хвиль. Встановлено, що за допомогою величини коефіцієнта загасання ультразвукових хвиль можна описувати та оцінювати рівень мікронерівностей на поверхні об'єкта контролю.

**Список літератури:** 1. *Krolkowski J., Szczepek J.* Assesment of tangential and normal stiffness of contact between rough surfaces usinhg ultrasonic method // *Wear*, 160ю - 1993. - p. 253 – 258. 2. *Hilton P. J.* Image surface roughness using correlated speckle grain pairs.// Report No. DICTA/IVCNZ97, Massey University, New Zealand. - Dec. 1997.- p. 349-354. 3. *Roberts S. G., Briggs, G. A. D.* Characterization of surface roughness and subsurface damage. // Final report on EPSRC, Oxford University. - Dec. 1996. 4. *Bilgen M., Rose J. H.* Focused Ultrasonic Probes and the Effects of Surface Roughness on Material Noise // *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation*, edited by D. O. Thompson and D. E. Chimenti (Plenum, NY), Vol. 13B. - 1993. - p. 1769- 1776. 5. *Russell M. D., Neal S. P., Boote E. J.* Experimental estimation of the longitudinal-wave backscatter coefficients for ultrasonic interrogation of weak scattering materials. // *J. Acoust. Soc. Am.* 93.- 1993. p. - 1267-1276. 6. *Nagy B., Adler L.* Surface roughness induced attenuation of reflected and transmitted ultrasonic waves // *J. Acoust. Soc. Am.* 82. - 1987. - p. 193-197. 7. *Білокур І. П.* Акустичний контроль. – К.: ІЗМН, 1997. – 224 с. 8. *Семенген М. М., Лютак З. П.* Визначення напружено-деформованого стану трубопроводів на ремонтних ділянках // *Методи та прилади контролю якості.* – 2008. – №21. – с. 43-47.