

ОЦІНКА РОЗМІРІВ КОРОЗІЙНИХ ВИРАЗОК ЗА КРИТЕРІЄМ ГЛАДКОСТІ ОБВІДНОЇ СИГНАЛУ СЕНСОРА ДИФУЗНОГО ВІДБИВАННЯ СВІТЛА

І. Б. Івасів

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України

E-mail: greg@ipm.lviv.ua

Запропоновано метод оцінювання розмірів точкових корозійних мікрodefektів металевих поверхонь на основі аналізу другої похідної сигналу призматичного сенсора дифузного відбивання світла, зокрема критеріїв гладкості, які базуються на нормах цієї похідної. Показано, що у діапазонах розмірів мікрodefektів 2...8 мкм та 6...12 мкм залежність запропонованих критеріїв від розміру близька до лінійної.

Ключові слова: *корозійні виразки, оцінювання розмірів, оптичний сенсор, дифузне відбивання світла, моделювання, сигнал, критерії гладкості.*

CORROSION POINTS SIZING BY SMOOTHNESS CRITERION FOR SIGNAL ENVELOPE OF LIGHT DIFFUSE REFLECTION SENSOR

I. B. Ivasiv

H. V. Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine

The method of sizing the corrosion point microdefects for metal surfaces is proposed on the base of the signal of the prismatic sensor of diffuse light reflection. Based on differential formulae the second derivatives of modelled signal are analysed. It is shown that these derivatives behaviour depends on the microdefects sizes more obviously. In particular, the several smoothness criteria based on the Euclidian, square Euclidian norms for the second derivatives as well as on the inversed norms are proposed. These criteria showed the unambiguous dependence on the size of corrosion microdefects and even near linear dependences within 2...8 μm subrange for the quadratic Euclidian norm criterion and within 6...12 μm subrange for the inverse Euclidian norm criterion.

Keywords: *corrosion points, sizing, optical sensor, diffuse light reflection, modelling, signal, smoothness criteria.*

Важливою задачею ранньої діагностики корозії поверхні металу є оцінка концентрації та середнього розміру корозійних виразок, які виникають внаслідок зосередження продуктів корозії в мікропорах поверхні. Оскільки розміри таких виразок/мікропор становлять декілька мікрон [1–4], то за малих концентрацій вони практично непомітні. Застосування ж методів мікроскопії, якими зазвичай досліджують подібні дефекти, в польових умовах без відбору зразків є технічно недоцільним.

Як інструмент для польових досліджень можна застосовувати сенсор дифузного відбивання світла, описаний раніше [5]. Зондування здійснюється крізь прозору підкладку, виконану у формі перевернутої призми, основа якої служить робочою поверхнею, а скісні грані – для вводу зондувального пучка світла та вимірювання кутової характеристики дифузного відбивання (рис. 1). Зондувальний пучок сформовано так, щоб він фокусувався на скісній (приймальній) грані призми, де розміщена фотолінійка. Натомість ширина пучка на робочій поверхні достатньо велика.

Перевагою такої оптичної схеми є отримання сигналу з репрезентативної ділянки поверхні без застосування дорогої техніки сканування. Крім того, вона дає змогу створити жорстку конструкцію кріплення оптичних елементів, що забезпечує достатньо надійну роботу сенсора у промислових та польових умовах.

© І. Б. Івасів, 2016

З іншого боку, формування сигналу великою ділянкою поверхні дає згладжені кутові характеристики дифузного відбивання світла, що ускладнює його інтерпретацію в задачах класифікації корозійних виразок за розмірами. Це вимагає глибшого аналізу і складніших алгоритмів інтерпретації отриманого сигналу.

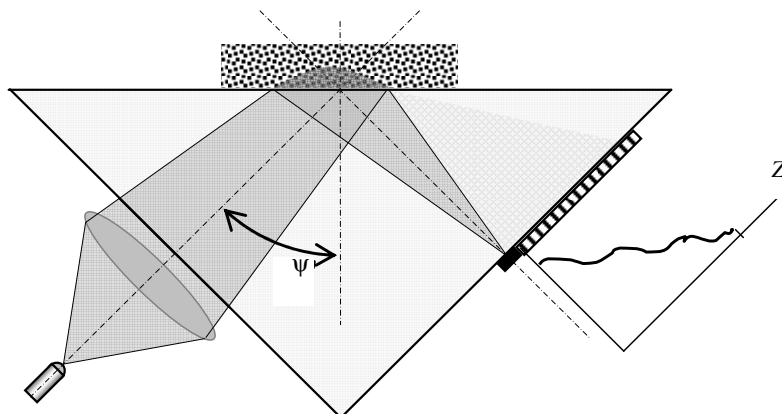


Рис. 1. Оптична конфігурація призматичного сенсора дифузного відбивання світла.

Моделювання сигналу сенсора для різних розмірів мікрodefektів. Нижче моделюємо сигнал призматичного сенсора дифузного відбивання світла та шукаємо критерії, за якими можна оцінити розміри корозійних виразок.

Сигнал сенсора $I_r(q)$ записували [6, 7] за допомогою функціонала

$$I_r(q) = \frac{1}{s_c} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \int_{-y_m(x)}^{y_m(x)} \sigma_s[\theta_{sr}(x, y, q), Q(x, y)] K_s(x, y, q) dx dy, \quad (1)$$

$$K_s(x, y, q) = i_i(x, y) f_s(x, y, q), \quad (2)$$

де q – лінійна координата світлочутливого елемента фотолінійки; s_c – площа світлочутливого елемента; $\sigma_s[\theta_{sr}, Q]$ – диференціальний переріз дифузного відбивання світла в напрямку світлочутливого елемента з координатою q для заданої елементарної ділянки досліджуваної поверхні з координатами (x, y) ; $\theta_{sr}(x, y, q)$ – кут дифузного відбивання відносно падаючого променя; $Q(x, y)$ – конфігураційний параметр досліджуваної поверхні для елементарної ділянки, залежний від розміру розсіювачів світла (корозійних виразок); $K_s(x, y, q)$ – незалежна від характеристик досліджуваного матеріалу апаратна функція сенсора, в яку входять “апаратна” функція для дифузно відбитих променів $f_s(x, y, q)$ та розподіл інтенсивності світла на активній ділянці робочої поверхні сенсора $i_i(x, y)$.

Корозійні виразки (часто червоного кольору) моделювали як щільні сферичні включення з оптичними параметрами, що відповідають частинкам міді (теж червоного кольору) з діаметрами 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12 мкм та комплексним показником заломлення $0,13 - 3,65i$ на довжині хвилі 0,65 мкм. Результат моделювання сигналу сенсора в площині падіння зондувального пучка показано на рис. 2 (діаметри включень 2, 3, 4, 6 мкм та 8, 9, 10, 11, 12 мкм). Нуль на осі абсцис відповідає точці падіння дзеркально відбитого від вільної робочої поверхні зондувального пучка на фотолінійку.

Як бачимо (рис. 2), сигнали сенсора занадто складні для прямої інтерпретації з точки зору оцінки розмірів корозійних мікрodefektів. Однак можна зауважити, що варіація сигналу зменшується зі збільшенням розмірів мікрodefektів.

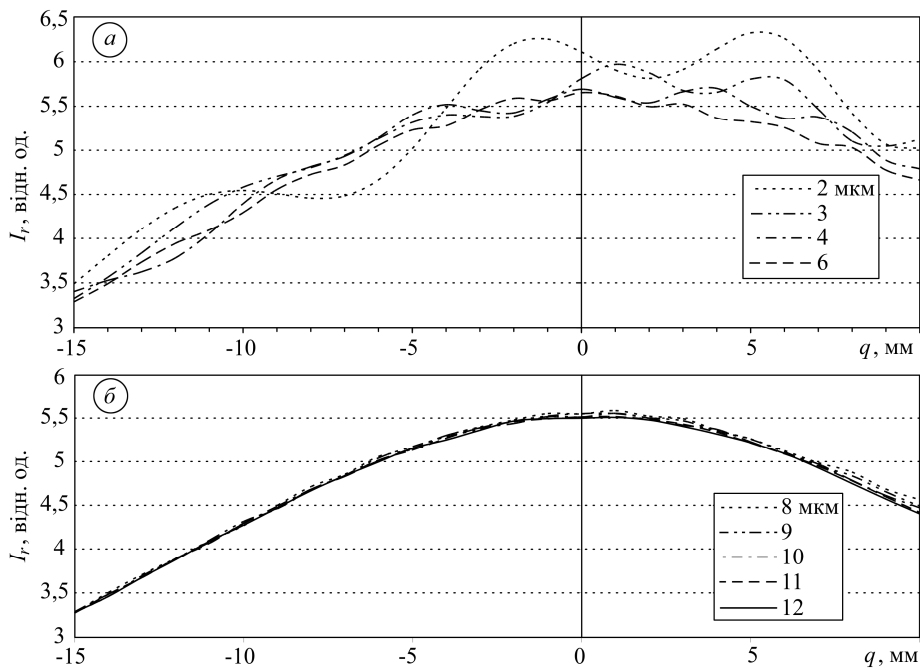


Рис. 2. Змодельований сигнал сенсора для сферичних включень з діаметрами 2, 3, 4 і 6 мкм (а) та 8, 9, 10, 11 і 12 мкм (б).

Критерії гладкості сигналу сенсора на основі другої похідної. Для дослідження цієї варіації запропоновано скористатися другою похідною обвідної сигналу, розрахованою за допомогою різницевої формул. Залежності значення другої похідної від розташування світлочутливого елемента на фотолінійці для різних розмірів корозійних мікрodefektів показані на рис. 3.

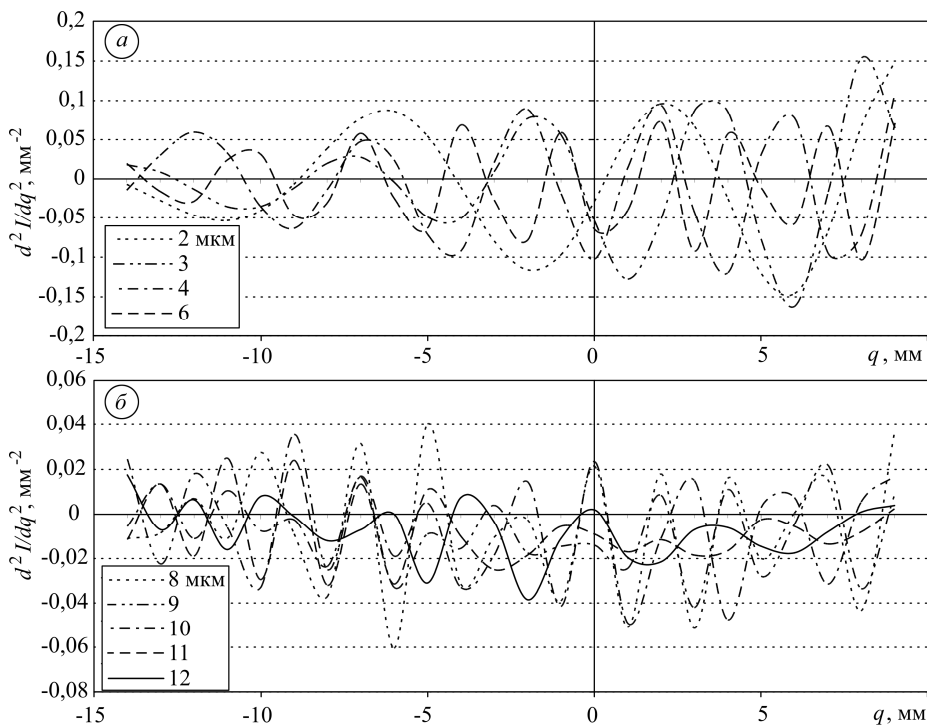


Рис. 3. Друга похідна обвідної сигналу сенсора для сферичних включень з діаметрами 2, 3, 4 і 6 мкм (а) та 8, 9, 10, 11 і 12 мкм (б).

Чітко видно, що друга похідна має осцилювальний характер, причому спостерігається тенденція до зменшення амплітуди і збільшення частоти осциляцій зі зростанням розмірів мікрodefektів.

У цій роботі зроблено спробу встановити критерії, що однозначно залежать від розмірів досліджуваних мікрodefektів. Зокрема, запропоновано застосовувати критерії гладкості функцій, які розраховують на основі евклідової та квадратичної евклідової норм для значень другої похідної обвідної сигналу сенсора, а також величин, обернених до вказаних норм

$$R_1 = \sqrt{\sum_i \left(\frac{d^2}{dq^2} I_r(q_i) \right)^2}, \quad (3)$$

$$R_2 = \sum_i \left(\frac{d^2}{dq^2} I_r(q_i) \right)^2, \quad (4)$$

$$S_1 = R_1^{-1}, \quad (5)$$

$$S_2 = R_2^{-1}. \quad (6)$$

Залежність критеріїв R_2 та S_1 від діаметрів d сферичних включень (корозійних мікрodefektів) показана на рис. 4.

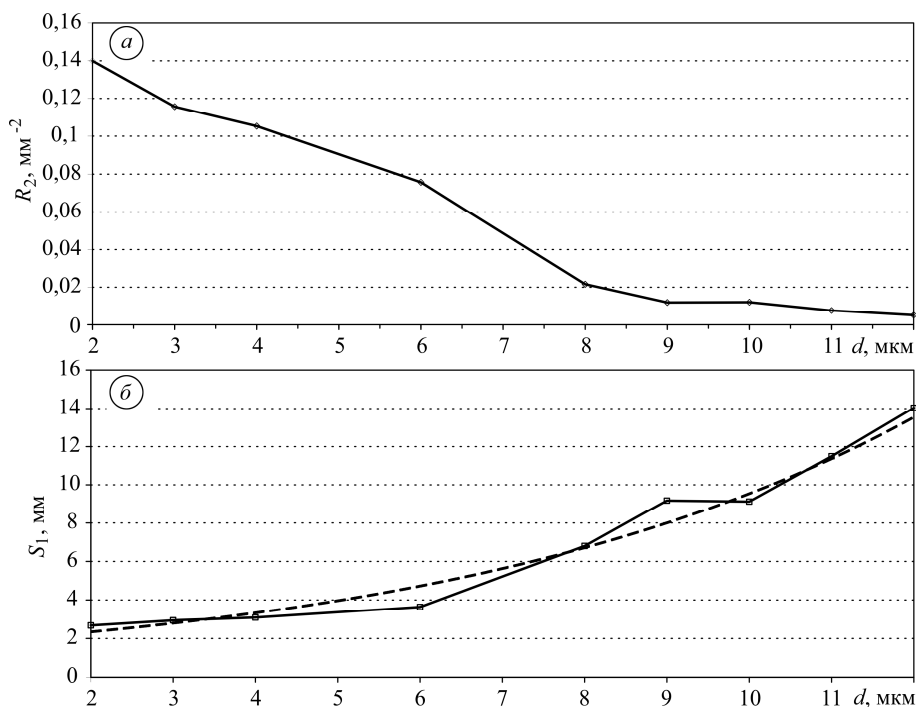


Рис. 4. Критерій R_2 (а) гладкості обвідної сигналу сенсора та критерій S_1 (б) з його експоненціальною апроксимацією (штрихова лінія).

Як можна побачити, вказані критерії достатньо однозначно залежать від розмірів мікрodefektів. Однак критерій R_2 краще застосовувати до мікрodefektів з діаметрами від 2 до 8 мкм (рис. 5а), а критерій S_1 – до мікрodefektів у діапазоні діаметрів 6...12 мкм (рис. 5б). У вказаних діапазонах залежність цих критеріїв від розмірів близька до лінійної.

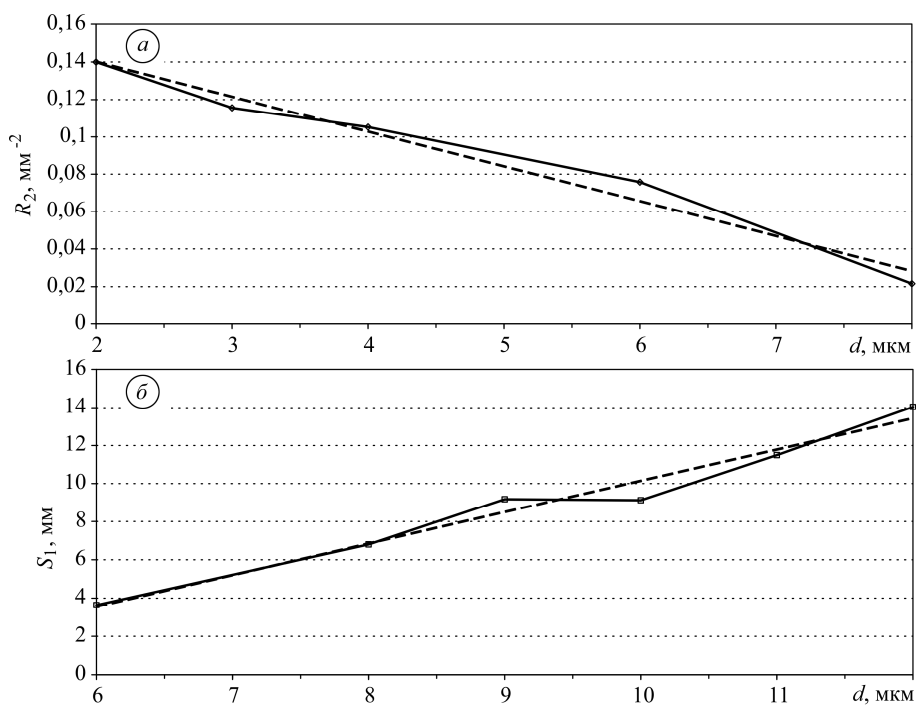


Рис. 5. Критерій R_2 (а) в діапазоні діаметрів сферичних включень 2...8 мкм і критерій S_1 (б) в діапазоні діаметрів сферичних включень 6...12 мкм та їх лінійні апроксимації (штрихові лінії).

Певним недоліком запропонованих критеріїв оцінки розмірів корозійних мікрodefектів є те, що варіації сигналів для діаметрів від 8 мкм і вище є дуже малими ($\sim 0,03...0,05$ відн. од.) порівняно з різницею між максимальним і мінімальним значеннями сигналу ($\sim 2,3$ відн. од.), що дуже ускладнює реальні вимірювання. Для частинок з діаметрами 2...6 мкм варіації сигналу становили 0,2...0,5 відн. од., тоді як різниця між максимальним і мінімальним значеннями сигналу ~ 3 відн. од. Дещо поліпшити ситуацію може те, що реальна фотолінійка має меншу довжину, ніж модельований діапазон координат світлочутливого елемента. Це призводить до суттєвого зменшення різниці між максимальним і мінімальним значеннями сигналу, що дає змогу підняти роздільну здатність сенсора за інтенсивністю дифузно відбитого світла. З іншого боку, це вимагає додаткового дослідження залежності вибраних критеріїв гладкості від розмірів мікрodefектів.

Іншим напрямком підвищення надійності класифікації мікрodefектів за розмірами є дослідження частотних характеристик другої похідної сигналу сенсора.

ВИСНОВКИ

Запропоновано оцінювати розмір корозійних мікрodefектів металевих поверхонь на основі аналізу другої похідної обвідної сигналу призматичного сенсора дифузного відбивання світла, зокрема критеріїв гладкості, які базуються на нормах цієї похідної.

Подальші дослідження слід спрямувати на розрахунок критеріїв гладкості сигналу для реальної (15-міліметрової) фотолінійки з вибором оптимального її розташування в сенсорі. Також перспективним є дослідження залежності частотної характеристики другої похідної обвідної сигналу сенсора від розмірів мікрodefектів з можливим встановленням критеріїв для оцінки їх розмірів.

1. *Поверхневі дефекти виробів із срібла* / А. М. Верховлюк, А. А. Безпалый, М. І. Науменко, М. П. Стародуб, О. П. Нога // Укр. хім. журнал. – 2009. – **75**, № 2. – С. 112–115.
2. *Структурна мікропошкоджуваність сталей парогонів ТЕС* / О. П. Осташ, А. І. Кондир, О. В. Вольдемаров, П. В. Гладиш, М. В. Куречко // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2009. – № 3. – С. 13–22.
3. *Microengineering of Metals and Ceramics. Part II: Special Replication Techniques, Automation, and Properties, Vol. 4.* / Н. Balthes, O. Brand, G. K. Fedder, Ch. Hierold, J. G. Korvink, O. Tabata, D. Löhe, J. Haußelt [Ed.]. – Weinheim: Wiley, 2005. – 306 p.
4. *Murphy T. F., Lindsley B. A., Schade C. T. A metallographic examination into fatigue-crack initiation and growth in ferrous PM materials* // Int. J. of Powder Metallurgy. – 2013. – **49** (4). – P. 23–34.
5. *Сенсор дифузного відбивання світла для раннього виявлення пошкоджень лакофарбових покривів* / Р. М. Джала, І. Б. Івасів, Л. Є. Червінка, О. О. Червінка // Відбір і обробка інформації. – 2015. – Вип. 22 (118). – С. 58–67.
6. *Івасів І. Б. Комп'ютерне моделювання сигналу компактного призматичного сенсора дифузного відбивання світла для аналізу характеристик аерозольних відкладень* // Системи контролю навколишнього середовища: Зб. наук. праць МГІ НАН України. – 2011. – Вип. 16. – С. 84–90.
7. *Івасів І. Б. Розподіл параметрів зондувального пучка на робочій поверхні компактного призматичного сенсора дифузного відбивання світла для аналізу характеристик аерозольних відкладень* // Системи контролю навколишнього середовища: Зб. наук. праць МГІ НАН України. – 2010. – Вип. 14. – С. 40–46.

Одержано 21.06.2016