

УДК 004.932

І. Б. Івасенко, В. М. Посувайло, М. Д. Клапків

## СЕГМЕНТАЦІЯ ПОР НА ЗОБРАЖЕННЯХ ОКСИДОКЕРАМІЧНИХ ПОКРИТТІВ

An approach to segmentation of surface defects of oxide ceramic coatings based on background smoothing and Otsu method is proposed and approved.

**Keywords:** *oxide ceramic coatings, pores, image processing, segmentation.*

Запропоновано та апробовано підхід до сегментації зображень поверхневих дефектів оксидокерамічних покриттів на основі вирівнювання фону та порогового методу Оцу.

**Ключові слова:** *оксидокерамічні покриття, пори, обробка зображень, сегментація.*

Задача розпізнавання дефектів (нечітких зображень) є актуальною в матеріалознавстві для аналізу кількості пор у керамічних та порошкових матеріалах, закритих та наскрізних пор у електролітичних та оксидокерамічних покриттях. Важливе значення має аналіз розмірів пор фільтрів та каталізаторів хімічних реакцій. За допомогою цього методу можна отримати важливу інформацію про розміри, склад, поруватість та їх зміну в процесі синтезу нанокompatитних, керамічних, металевих та порошкових матеріалів. Найбільш складним є завдання визначення розподілу пор за розмірами, які формуються в оксидокерамічних покриттях під час плазмоелектролітного синтезу. Оскільки покриття росте навколо іскрових розрядних каналів, формуючи кратери. Це приводить до формування поверхні зі складним рельєфом та великою кількістю різних за розміром пор [8]. Інформація про розміри дефектів є важливою як для вибору методів закриття пор, так і для підбору мастил у вузлах тертя [4].

Подібні дослідження проводили в роботі [3]. Автори визначали густину дефектів оксидокерамічного покриття на алюмінієвому сплаві BS Al-6082 за допомогою сканівного електронного мікроскопу. Синтез покриття відбувався в анодно-катодному режимі за густини струму  $10 \text{ A/dm}^2$  в фосфатно-лужному електроліті. Густина дефектів змінювалась від  $2 \cdot 10^9$  до  $1,2 \cdot 10^{10} \text{ m}^{-2}$  залежно від товщини покриття.

Метою роботи є сегментація та обчислення параметрів пор на зображеннях оксидокерамічних покриттів, отриманих на електронному мікроскопі. Для вирішення цих завдань необхідно вибрати параметри отримання зображень поверхні для аналізу, які б давали найбільш достовірну інформацію про об'єкт за їх найменшої кількості.

**Методики.** Досліджували оксидокерамічні покриття, сформовані на сплаві МА 18, оскільки вони мають найбільший розкид за розмірами та найбільшу кількість пор, порівняно з іншими покриттями отриманими на магнієвих сплавах [5], що приведе до ускладнення завдання. Оксидокерамічні покриття синтезували в електроліті складу  $3 \text{ g/l KOH} + 2 \text{ g/l}$  рідкого скла (р.с.) за густини катодного і анодного струмів  $20 \text{ A/dm}^2$  протягом 180 min.

Мікрофотографії поверхні зразка отримували на сканівному електронному мікроскопі EVO-40XVP за збільшення в  $\times 300$  та  $\times 500$  разів.

Суттєвою проблемою у процесі роботи із зображеннями оксидокерамічних покриттів є нерівномірність освітлення фону. Тому більшість методів сегментації, такі як порогова сегментація, методи виділення контурів, нарощування областей, водорозділу виявилися непридатними. Для усунення цього недоліку було

© І. Б. Івасенко, В. М. Посувайло, М. Д. Клапків

використано метод поліпшення якості зображень, який є модифікацією ретинекс-перетворень [1] і побудований на суперпозиції одномасштабних реалізацій ретинексу, які описують виразом

$$R(x, y) = \ln I(x, y) - \ln[F(x, y) * I(x, y)], \quad (1)$$

де  $I(x, y)$  – вхідне зображення;  $F(x, y)$  – функція околу (як правило, гаусівська);  $*$  – оператор згортки, а  $R(x, y)$  – результуюче зображення.

Суперпозиція полягає у використанні певного набору просторових констант для функцій околу, зокрема запропоновано лінійний вибір у логарифмічному масштабі [2]. Результати попередньої обробки зображень ілюструє рис. 1.

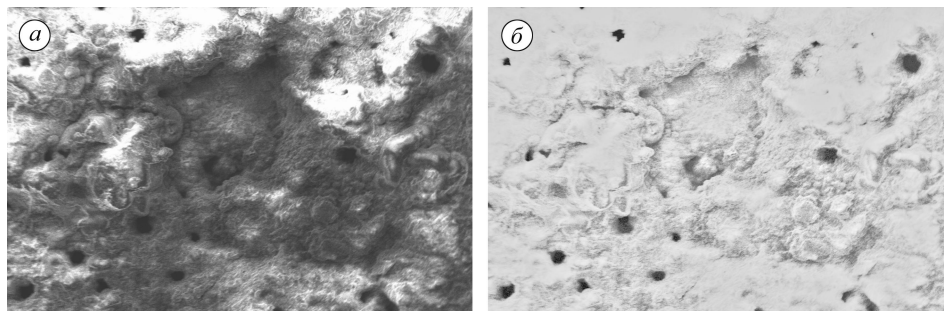


Рис. 1. Зображення оксидокерамічного покриття, отримане на сканівному електронному мікроскопі EVO-40XVP за збільшення в  $\times 500$  разів (а) та результат його покращання за методом [5] (б).

Така попередня обробка суттєво спрощує процедуру сегментації пор. Ми використали пороговий метод Ксу [7]. Автори виявили важливу властивість порогу Оцу, а саме: що поріг зміщується до компоненти з більшою дисперсією всередині класу. В нашому випадку більшу дисперсію має область фону. Після такої сегментації площа пор буде завищеною. Ксу запропонував спочатку обчислити поріг сегментації за методом Оцу для всього зображення, а потім – для пікселів з більшою дисперсією всередині класу. Нехай функція інтенсивності зображення набуває значень з діапазону  $[1, 2, \dots, L]$ ,  $p_i$  – ймовірність появи рівня сірого  $i$ ,  $n_i$  – кількість пікселів зображення з інтенсивністю  $i$ , а  $N$  – кількість пікселів зображення. Розділимо зображення порогом  $T$  на два класи  $\tilde{N}_0$  і  $\tilde{N}_1$ . Для порогу сегментації  $T$  обчислимо такі величини:

$$P_0(T) = \sum_{i=1}^T p_i, \quad P_1(T) = \sum_{i=T+1}^L p_i, \quad (2)$$

$$\mu_0(T) = \sum_{i=1}^T i \frac{p_i}{P_0(T)}, \quad \mu_1(T) = \sum_{i=T+1}^L i \frac{p_i}{P_1(T)}, \quad (3)$$

$$\sigma_0^2(T) = \sum_{i=1}^T (i - \mu_0(T))^2 \frac{p_i}{P_0(T)}, \quad \sigma_1^2(T) = \sum_{i=T+1}^L (i - \mu_1(T))^2 \frac{p_i}{P_1(T)}, \quad (4)$$

$$\sigma_b^2(T) = P_0(T)(\mu_0(T) - \mu)^2 + P_1(T)(\mu_1(T) - \mu)^2, \quad (5)$$

де  $P_0(T), P_1(T)$  – кумулятивні ймовірності;  $\mu_0(T), \mu_1(T)$  – середні значення;  $\sigma_0^2(T), \sigma_1^2(T)$  – дисперсії класів  $\tilde{N}_0$  і  $\tilde{N}_1$ .

Поріг за методом Оцу [6] знаходять так:

$$T = \arg \max_{1 \leq T < L} \{ \sigma_b^2(T) \}. \quad (6)$$

Метод Ксу полягає в обчисленні порогу сегментації  $T_1$  за методом Оцу для всього зображення, а потім в обчисленні порогу сегментації  $T_2$  для пікселів з діапазону  $[1, T_1]$ . Поріг  $T_2$  і буде порогом глобальної сегментації.

На рис. 2 наведено результати сегментації зображення оксидокерамічного покриття методом Ксу після вирівнювання фону (а) та без вирівнювання фону (б). Бачимо, що порогова сегментація зображення оксидокерамічного покриття без попередньої обробки є незадовільною.

Після сегментації зображень поверхні оксидокерамічного покриття на сплаві MA18, отриманих за збільшень в  $\times 300$  та  $\times 500$  разів, проведений розрахунок параметрів дефектів (див. таблицю), а саме: загальної кількості дефектів  $N_{ob}$ ; кількості дефектів з площею  $< 1E-11 \text{ m}^2$   $N_{ob}$ ,  $S_{ob} < 1E-11 \text{ m}^2$ ; загальної площі дефектів  $S_{ob}$ ; площі проаналізованої поверхні  $S_s$ ; густини об'єктів на одиницю площі поверхні  $N_{ob}/S_s$ ; відношення площі дефектів до площі поверхні  $S_{ob}/S_s$ ; площі дефектів мінімального  $S_{ob \text{ min}}$ ; максимального  $S_{ob \text{ max}}$  та середнього розміру  $S_{ob \text{ mean}}$ .

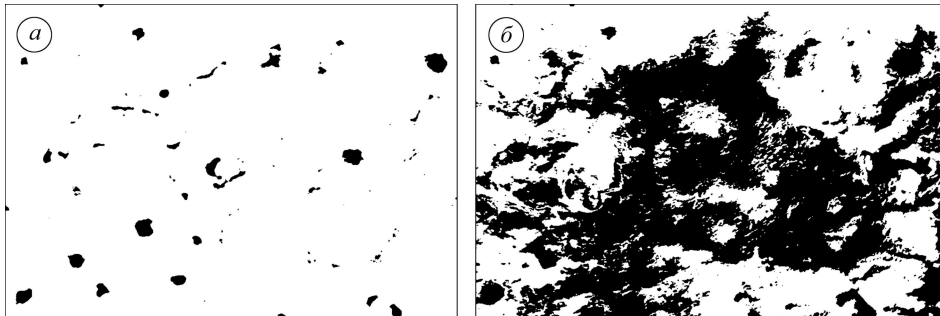


Рис. 2. Результати сегментації зображення оксидокерамічного покриття після вирівнювання фону (а) та без вирівнювання фону (б).

#### Параметри поверхневих дефектів

	Параметри дефектів <sup>1</sup>	Параметри дефектів <sup>2</sup>	Параметри дефектів <sup>1</sup>	Параметри дефектів <sup>2</sup>
	збільшення $\times 300$		збільшення $\times 500$	
$N_{ob}$	1033	9480	2792	2835
$N_{ob}, S_{ob} < 1E-11 \text{ m}^2$	708	9038	2604	2597
$S_{ob}, \text{ m}^2$	1,332E-8	2,04E-8	7,926E-9	9,900E-9
$S_s, \text{ m}^2$	7,174E-7	7,104E-7	4,386E-7	4,351E-7
$N_{ob}/S_s, 1/\text{m}^2$	1,440E9	1,334E10	6,365E9	6,516E9
$S_{ob}/S_s$	0,019	0,029	0,018	0,023
$S_{ob \text{ min}}, \text{ m}^2$	1,479E-13	1,479E-13	5,285E-14	5,285E-14
$S_{ob \text{ max}}, \text{ m}^2$	4,772E-10	2,204E-10	2,723E-10	1,611E-10
$S_{ob \text{ mean}}, \text{ m}^2$	1,289E-11	2,151E-12	2,839E-12	3,492E-12

Примітка: <sup>1</sup> – виділення дефектів оператором; <sup>2</sup> – автоматично.

Розподіл поверхневих дефектів оксидокерамічного покриття на сплаві MA18, визначений за різних збільшень, наведений на рис. 3.

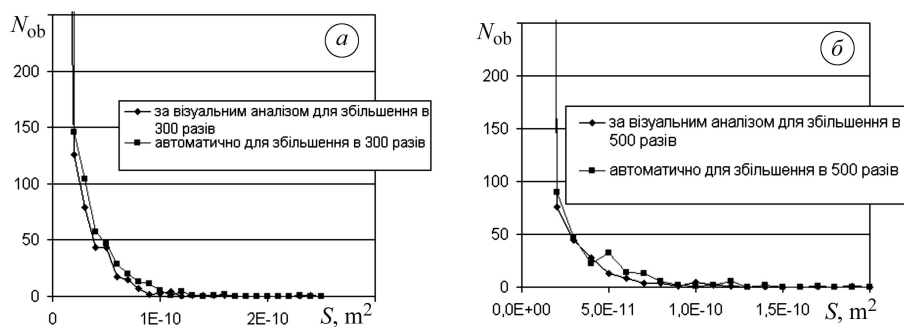


Рис. 3. Розподіл поверхневих дефектів за їх площею ( $1\text{E-}11 \text{ m}^2 < S_{ob} < 3\text{E-}10 \text{ m}^2$ ) за збільшення  $\times 300$  (а) та  $\times 500$  (б).

Кількість поверхневих дефектів великого розміру (див. рис. 3) за обох збільшень є майже рівною. Але за великого збільшення поверхні – площі мінімальних дефектів  $S_{ob \text{ min}}$  є в 2 рази меншими, ніж за меншого збільшення, хоча загальна кількість дефектів та кількість дефектів площею  $< 1\text{E-}11 \text{ m}^2$ , за збільшення  $\times 300$ , майже в 4 рази більша, ніж за великого збільшення. Це призводить до завищених в 1,5 рази значень співвідношень площі дефектів до загальної площі зразка  $S_{ob}/S_s$  порівняно з результатами, отриманими за великого збільшення, як оператором, так і автоматично.

Результати [3] добре корелюють з отриманими нами.

## ВИСНОВКИ

Запропоновано підхід до сегментації поверхневих дефектів оксидокерамічних покриттів на основі вирівнювання фону. Простежено ефективність та достовірність сегментації у процесі обчислення розподілу поверхневих дефектів.

1. Боцян В. В. Удосконалення підходів до застосування теорії ретинексу // XXII відкрита наук.-техн. конф. молодих науковців і спеціалістів Фіз.-мех. ін-ту ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів 26–28 жовтня 2011 р. ФМІ НАН України. – Львів. – 2011. – С. 167–170.
2. Івасенко І. Б., Боцян В. В., Воробель Р. А. Виділення контурів субзерен на зображеннях сталі 2,25Cr–1Mo з використанням методу водорозділу викидів // Відбір і обробка інформації. – 2012. – Вип. 36 (112). – С. 98–102.
3. Curran J. A., Clyne T. W. Thermo-physical properties of plasma electrolytic oxide coatings on aluminium // Surface and Coating Technology. – 2005. – **199**. – P. 168–176.
4. Porosity and corrosion properties of electrolyte plasma coatings on magnesium alloys / W. Dietzel, M. Klapkiv, H. Nykyforchyn, V. Posuvailo, C. Blawert // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2004. – № 5. – С. 13–17.
5. Jobson D. J., Rahman Z., Woodell G. A. Properties and performance of a center/surround retinex // IEEE Transaction on Image Processing. – 1997. – **6**, № 3. – P. 451–462.
6. Otsu N. A threshold selection method from gray level histograms // IEEE Trans. Systems Man Cybernet. – 1979. – **9**. – P. 62–66.
7. Characteristic analysis of Otsu threshold and its applications / X. Xu, S. Xu, L. Jin, E. Song // Pattern Recognition Letters. – 2011. – **32**. – P. 956–961.
8. Klapkiv M. D. Simulation of synthesis of oxide-ceramic coatings in discharge channels of a metal-electrolyte system // Materials Science. – 1999. – **35**. – P. 279–282.

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка  
НАН України, Львів;  
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

Одержано  
22.01.2013