

# СЕГМЕНТАЦІЯ НАПІВТОНОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ МІКРОСТРУКТУРИ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІКИ РОСТУ КАВІТАЦІЙНИХ ТРІЩИН

R.Я. Косаревич, Б.П. Русин

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України,  
79601, м. Львів, вул. Наукова, 5, тел.: (0322) 65-45-30, e-mail: kosarevych@ipm.lviv.ua

**Анотація** У роботі розглядається проблема сегментації напівтонових зображень поверхні фрагмента матеріалу, пошкодженої кавітаційними тріщинами з метою визначення їх кількості та розмірів. Спочатку на зображені вибираються точки, які з високою вірогідністю належать тріщинам, далі на основі запропонованого критерію до цих точок приєднуються інші точки зображення. На сегментованому зображені проводиться фільтрація лінійних сегментів, які відповідають шліфам матеріалу.

## 1. ВСТУП

Багато із виникаючих проблем в матеріалознавстві сьогодні можуть бути вирішені лише з використанням автоматизованих засобів накопичення, переробки і видачі інформації про матеріали. Основним об'єктом в структурних методах дослідження матеріалів є зображення, отримані мікроскопом, на яких достатньо добре розпізнаються конструктивні елементи матеріалу. Так при визначенні міцності матеріалів важливе значення має обчислення на ділянці матеріалу кількості і розмірів кавітаційних тріщин (Рис.1). Загалом ці визначення проводяться на основі візуального аналізу фотографій. Якщо автоматизувати ці дослідження, тобто проводити обробку цифрових зображень дослідних зразків, то без сумніву вдасться зменшити вплив суб'ективних чинників і суттєво скоротити часові затрати.

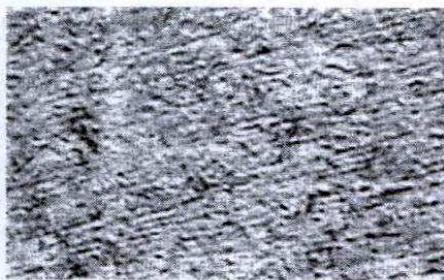


Рис.1 Вихідне зображення

## 2. ПРОБЛЕМАТИКА

Під час візуальних досліджень зображень мікроструктури матеріалів критичною є яскравість їх елементів. Чим більше вони темніші тим ймовірніше, що вони відображають тріщину, при цьому величина цих деталей не відіграє особливого значення, оскільки тріщина може бути дуже малою. Тріщина є

кавітавійною, тобто внаслідок мікrogідроудару і може з'явитись як вздовж так і поперек текстури зображення. Сама текстура і шліфи, що утворюються внаслідок обробки зразка відіграють роль шумів оскільки спотворюють ділянки зображення, де розташована тріщина. Для аналізу зразка матеріалу необхідно провести обчислення довжин тріщин декілька раз протягом часу досліджень і встановити тим самим динаміку їх росту.

Для вирішення даної задачі необхідно сегментувати цифрове зображення, тобто розділити на фон і власне тріщини. Як відомо проблема сегментації зображення може роз'язуватись різними підходами, а саме за допомогою встановлення порогу, виділення контурів, нарощування областей та ін.

## 3. СЕГМЕНТАЦІЯ

Методи вибору порогу [1,2] базуються на припущені, що суміжні точки зображення, чий рівень яскравості лежить в заданих межах, належать до одного класу. За допомогою цих методів можна отримати добре результати сегментації зображень, які включають дві компоненти. Оскільки такі методи повністю ігнорують інформацію про просторові зв'язки зображення, вони є неефективними для зображень із розмитими краями об'єктів, а також для зображень, які потрібно сегментувати на більшу кількість компонент. В нашому випадку встановлення порогу призводить до виділення великої кількості хибних об'єктів (Рис.2).

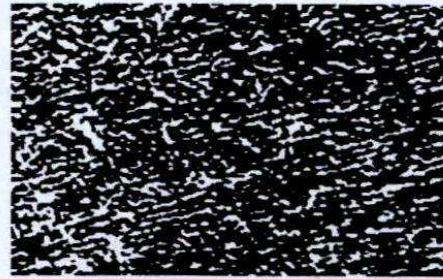


Рис.2 Сегментоване зображення за допомогою вибору порогу

Виділення контурів на зображені грунтуються на стрімкій зміні значення яскравості на межі між двома областями [3,4,5]. Детектори

країв, що використовуються при цьому або прості оператори типу Собеля, Робертса, або більш складні, такі як Канні оператор. Але результатом детекторів краю, в більшості випадків, не є чітка замкнена лінія, а деяка сукупність точок, яка містить розриви і надлишкові точки (Рис.3). Тому після застосування таких детекторів необхідна додаткова обробка, яка включає прослідковування контурів, заповнення розривів, потоншення ліній, що вимагає додаткових затрат часу. Цих часових затрат можна уникнути якщо інтегрувати підходи на основі виділення контурів і нарощування областей.

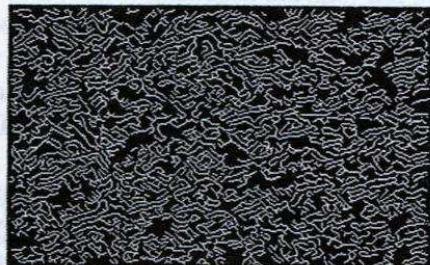


Рис.3 Виділення контурів

Методи, що полягають у нарощуванні областей [6,7,8] використовують припущення, що суміжні піксели, які належать одній області мають подібні візуальні характеристики такі як рівень напівтону, колір, текстуру. Ефективність цього підходу сильно залежить від вибраного критерію однорідності. На відміну від вибору параметрів однорідності техніка нарощування початкових областей (НПО) обмежується кількістю цих областей. Задавши їх кількість методи НПО намагаються знайти таку сегментацію зображення на області, при якій кожна звязана компонента області містить одну з початкових областей.

Вибір того чи іншого підходу до сегментації зображення диктується апріорною інформацією про об'єкти дослідження. Серед згаданих вище підходів методи НПО можуть дати найбільш задовільні результати, оскільки вихідні зображення є малоконтрасними і необхідно проводити їх локальний аналіз.

Як вже вказувалось методи НПО полягають у виборі наперед заданої кількості, початкових областей  $S_1, \dots, S_n$ , які можуть бути точками і приєднання до цих початкових областей інших точок зображення на основі деякого критерію. Кількість початкових областей може визначатися, наприклад, кількістю об'єктів, які потрібно виділити на зображенні.

### 3.1 Вибір початкових точок

В нашому випадку, коли кількість тріщин на зображені наперед не відома, початкові точки будуть вибиратись, виходячи із значень їх яскравостей, за декілька етапів. Спочатку, оскільки відомо, що тріщинам відповідають темніші ділянки зображення, вибираються точки рівень яскравості яких менший за середній рівень зображення і в околі розміром  $3 \times 3$  яких всі точки мають більшу або таку ж

яскравість. На основі середнього рівня яскравості, відібраних на попередньому кроці точок, відкидаються ті, значення яких більше. Крім того для відбору точок використовується різниця значень середніх яскравостей двох різних за розмірами околів  $O_1$  та  $O_2$ , центри яких розташовані в одній і тій же точці (Рис.4). Якщо різниця цих значень менша за деякий поріг, то ця точка відкидається. За поріг вибирається значення дисперсії елементів меншого околу  $O_2$ . Критерій відбору виражається як  $A(i,j) \in S \Leftrightarrow C(O_1(A(i,j)), O_2(A(i,j))) > \sigma(O_2(A(i,j)))$ , де  $A(i,j)$  – точка відібрана на першому  $n$  етапі,  $S = \bigcup_{i=1}^n S_i, \sigma(\cdot)$  - середньоквадратичне відхилення елементів околу.

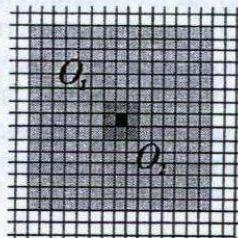


Рис.4 Околи аналізу відібраних точок

Діапазон значень величин тріщин є наперед відомим, тому розмір околів  $O_1$  та  $O_2$  вибирається так щоб розмір більшого був співмірним з величиною тріщини. Використання такого критерію можна пояснити наступним чином. Якщо центр обох околів  $O_1$  та  $O_2$  припадає на область, де розташована тріщина, то різниця середніх рівнів яскравості буде більшою за рахунок того, що в квадратному околі  $O_1$  більша частина пікселів буде мати яскравість вищу ніж яскравість елементів тріщини. В той же час в околі  $O_2$  всі елементи будуть належати тріщині і середнє значення буде малим. Якщо ж центр околів припадає на область, в якій немає тріщини, то середні значення яскравості в обох околах будуть приблизно одинаковими і їх різниця буде меншою за поріг. Значення порогу є змінним оскільки рівень яскравості елементів не є сталим для різних тріщин.

### 3.2. Критерій приєднання точок

Кожній з початкових точок присвоюється деяке число, мітка – її порядковий номер. На рис.5 для тестового зображення показано вибір початкових точок.



Рис. 5 Приклад виділення початкових точок

Після вибору початкових точок необхідно задати критерій приєднання до них інших точок зображення. Запропонований нами критерій також

базується на використанні двох околів різних розмірів. За цим критерієм кожній точці  $B(i,j)$  з  $3 \times 3$  околу початкової точки  $A(i,j)$  присвоюється її мітка, якщо різниця значень їх яскравостей менша ніж різниця середніх значень яскравостей двох околів з центром у цій точці.

$$\Leftrightarrow |br(B(i,j)) - br(A(i,j))| < C(O_3(B(i,j)), O_4(B(i,j)))$$

, де  $m(B(i,j))$  – мітка точки  $B(i,j)$ ,  $br(B(i,j))$  – яскравість в точці  $B(i,j)$ . В цьому випадку розміри околів  $O_3$  та  $O_4$  вибираються так, щоб не перевищували розмір тріщини. Такий критерій дозволяє ефективно відбирати точки оскільки для тих, що поблизу початкової і належать тріщині різниця яскравостей невелика так як і для середніх значень в околах  $O_3$  та  $O_4$ , а для точок які розташовані на краях тріщини різниця їх яскравостей із яскравістю початкової точки зростає але в той же час зростає і різниця середніх значень, оскільки околи містять більше точок із вищим значенням яскравості. У випадку коли точка не належить тріщині різниця яскравостей буде більшою за різницю середніх рівнів в околах, оскільки за межами тріщини ці рівні будуть приблизно однаковими для околів  $O_3$  та  $O_4$ .

### **3.3. Формування зв'язних множин міток**

Результатом двох вищеописаних етапів сегментації є присвоєння окремим точкам зображення міток. Можливий випадок, як видно на рис.5, коли для одного об'єкта визначається декілька початкових точок, що мають різні мітки. Тому наступним кроком є присвоєння всім точкам, що належать одному об'єкту одакової мітки. Ми виходимо з того, що тріщина - об'єкт, для елементів якого властива невелика дисперсія яскравостей (критерій НПО). Тому навіть у випадку, коли для одного об'єкта є декілька початкових точок, за вибраним критерієм приєднані точки мають формувати звязну множину. Отже вибираючи по черзі початкові точки об'єкта, і перенумеруючи для всіх приєднаних до неї їх 4-ох або 8-ми суміжних сусідів, ми всім точкам об'єкта присвоємо однакову мітку (Рис. 6).

Рис. 6 Присвоєння міток: (а) початкові мітки, (б) результат перенумерації за критерієм зв'язності

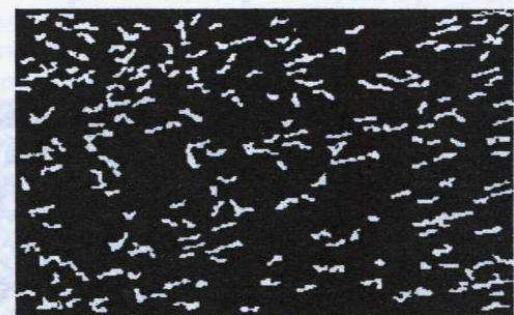
### **3.4. Фільтрація лінійних сегментів**

Приєднання однакових міток елементам на основі їх зв'язності дозволяє сформувати множини, які відповідають тріщинам на зображені. Як вже вказувалось на зображені присутні також текстура матеріалу і шліфи, як наслідок обробки матеріалу. Яскравість елементів зображення, що відповідають шліфам, дуже близька до яскравості тріщини, а свою форму вони подібні до прямолінійних сегментів розташованих під одним кутом для цілого зображення. Завдяки своїм ознакам шліфи можуть спотворити загальну інформацію про кількість тріщин дослідного зразка, тому необхідне їх вилучення з вже сегментованого зображення.

Для цього можна скористатись максимальною відстанню між точками множини і прямою, що з'єднує дві найбільш віддалені точки множини як критерієм фільтрації (Рис. 7) [9]. Якщо максимальна відстань не перевищує заданий поріг, то вважається, що ця множина лінійний сегмент. Вибір правильного порогу в цьому випадку є важливим, бо як легко зауважити з рис.8 лише за таким критерієм можна відкинути значну кількість об'єктів, які хоч і мають форму близьку до лінійного сегмента, але не є шліфами.



Рис.7 Фільтрація лінійних сегментів



a)



б) Рис.8. Фільтрація лінійних сегментів з використанням різних порогів:

Тому у цьому випадку слід враховувати також відомості про орієнтацію шліфів на зображені.

## 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Як вже вказувалось на початку, сегментація зображення кавітаційних тріщин проводиться з метою визначення динаміки росту. На сегментованому зображенні підраховувались кількості кавітаційних тріщин (ККТ) трьох діапазонів довжин:  $0\text{--}3 \cdot 10^{-6}\text{м.}$ ,  $3\text{--}5 \cdot 10^{-6}\text{м.}$  та  $5\text{--}10 \cdot 10^{-6}\text{м.}$ . Довжина тріщини апроксимувалась величиною, що є сумою відстані між двома найбільш віддаленими точками множини та максимальною серед відстаней точок множини до цієї прямої. На рис.9 і рис. 9е показано результати підрахунків ККТ для одного зразка з різним часом експозиції рис.9а та рис.9б. Отримані результати добре узгоджуються з реальними спостереженнями.

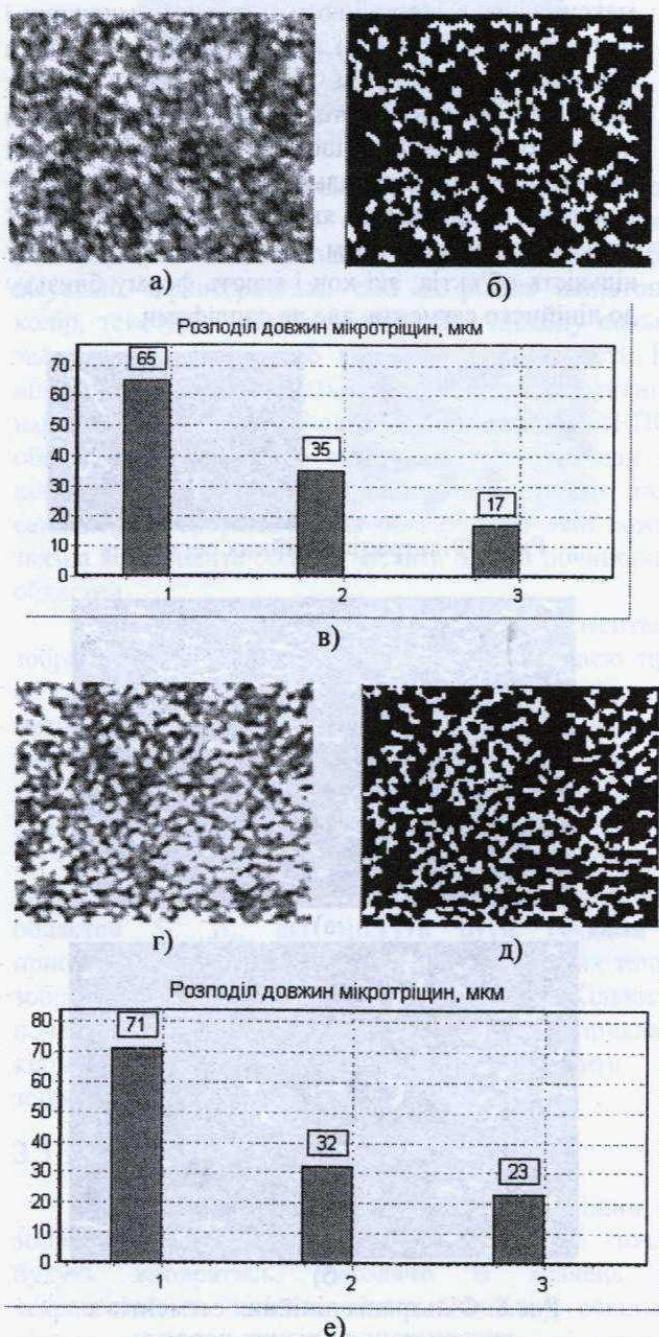


Рис. 9 Результати визначення довжин мікротріщин

## ВИСНОВКИ

Адаптація відомих та розробка нових методів обробки зображень дозволяють покращити достовірність та скоротити часові затрати при аналізі просторово - часової структури матеріалів.

Запропоновані критерії виділення початкових областей та приєднання суміжних точок дозволяють ефективно проводити виділення кавітаційних тріщин на напівтонових зображеннях мікроструктури матеріалів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. H.D. Cheng, C.H. Chen, H.H. Chiu and Huijuan Xu *Fuzzy homogeneity approach to multilevel thresholding* // IEEE Trans. on Image Processing. - No 7. - 1998. - P. 1084-1088.
2. Francis H.Y. Chan, F.K. Lam, and Hui Zhu *Adaptive thresholding by variation method* // IEEE Trans. on Image Processing. - No 7. - 1998. - P. 468-474.
3. Chao Han, Thomas S. Hatsuhami, Jeng-Neng Hwang *A fast minimal path active contour model* // IEEE Trans. on Image Processing. - No.6. - 2001. - P. 865-872.
4. Andrew P. Paplinski *Directional filtering in edge detection* // IEEE Trans. on Image Processing. - No. 4. - 1998. - P. 611-615.
5. S. Ando *Image field categorization and edge/corner detection from gradient covariance* / IEEE Trans. on PAMI. - No.2. - 2000. - P. 179-190.
6. J. Fan, K.Y. Yau, Ahmed K. Elmagarmid Walid G. Aref *Automatic image segmentation by integrating color-edge extraction and seeded region growing* // IEEE Trans. on Image Processing. - No.10. - 2001. - P. 1454-1466.
7. Andre Bleau, L. J. Leon *Watershed-based segmentation and region merging* // Comp. Vision and Imag. Underst. - 2000. - P. 317-370.
8. F. Moscheni, S. Bhattacharjee, Murat Kunt *Spatiotemporal segmentation based on region merging* // IEEE Trans. on PAMI. - No.9. - 1998. - P. 897-915.
9. Teh C.H. and Chin R.T., *On the detection of dominant points on digital curves* // IEEE Trans. PAMI. - 1989. - No. 8. - P. 859-872