

**УДК 621.181**

**Ігор Коноваленко, к.т.н., доц., Павло Марущак, д.т.н., проф.**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

## **РОЗПІЗНАВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІДОКРЕМЛЕНИХ ЯМОК В'ЯЗКОГО ВІДРИВУ ТА ЇХ КОНГЛОМЕРАТІВ**

Запропоновано метод кількісного аналізу параметрів ямок в'язкого відриву та їх конгломератів на фрактографічному зображенні. Обчислено поля розподілу коефіцієнта кореляції аналізованих ділянок зображення із розпізнаванням ділянок «ямка-фон». Оцінено особливості застосування розробленого методу сегментації для ямок різної фізичної природи.

Ключові слова: аналіз зображень, ямки відриву, фрактодіагностування.

**Igor Konovalenko, Pavlo Maruschak**

## **RECOGNITION AND DEFINITION OF PARAMETERS OF SEPARATED DIMPLES OF DUCTILE TEARING AND THEIR CONGLOMERATES**

The method of quantitative analysis of parameters of dimples of ductile tearing and their conglomerates in a fractographic image is proposed. Fields of distribution of the correlation coefficient of the analyzed image areas are calculated with the recognition of "dimple-background" areas.

Keywords: image analysis, dimples of ductile tearing, failure analysis.

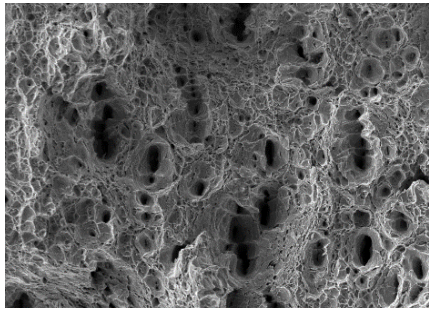
Фрактографічні дослідження є основою визначення причин руйнування матеріалів і конструкцій з використанням електронної мікроскопії. Достовірне виявлення ділянок локалізації деформацій, аналіз механізмів формування дефектів є типовими завданнями, що виникають при цьому. Загалом таким метод досліджень останнім часом називають фрактодіагностуванням. Його основою є неруйнівні оптико-цифрові методи, які ґрунтуються на ідентифікації морфологічних об'єктів на поверхнях зламів, описі їх кількості, форми, площі та ін. [1,2]. За умов статичного розтягу, повзучості на поверхнях руйнування матеріалів виникають ямки. Їх форма, розмір, глибина є важливими кількісними параметрами, за якими можна відтворити кінетику деформування та руйнування матеріалів, або натурних конструкцій. В низці наукових праць [1,2] була доведена можливість використання автоматизованих методів для їх дослідження. Разом з тим, для різних матеріалів, форма, розміри та морфологія мок можуть відрізнятися.

У зв'язку з цим, актуальним є розроблення дієвих автоматизованих методів аналізу поверхонь руйнування матеріалів.

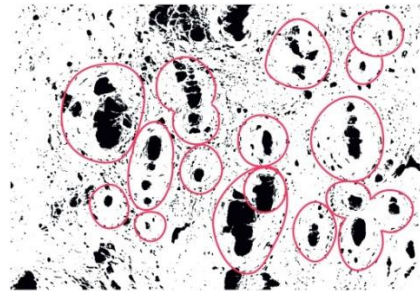
**Алгоритм обробки зображення.** В даній роботі запропоновано алгоритм, що ґрунтується на обчисленні поля розподілу коефіцієнта кореляції. Його можна застосовувати для зображень із вираженою неоднорідністю об'єктів аналізу і фону. В якості таких об'єктів виступали ямки відриву на фрактографічних зображеннях зразків сталі 17Г1С-У. Призматичні зразки із центральним отвором піддавали статичному розтягу до руйнування із побудовою повної діаграми деформування, після чого на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106И, одержано серію фрактографічних зображень поверхні руйнування, рис. 1а.

Локалізацію зон ямок відриву на зображеннях виконано з застосуванням алгоритму, базовими кроками якого є операції розрахунку поля розподілу коефіцієнта кореляції ділянок зображення та гаусівське фільтрування. Це дозволило виокремити на зображенні зони ямок відриву, видалити з розгляду дрібні об'єкти та об'єднати близькі

суміжні фрагменти одного об'єкта. Граничне перетворення є кінцевим кроком, який дозволяє відділити зони з високою кореляцією (у них локалізовані шукані об'єкти) від зон з низькою кореляцією (їм відповідає фон), рис. 1б.



а



б

Рис. 1. Фрактографічне – а та бінаризоване зображення – б в'язкого руйнування сталі 17Г1С-У з позначеними конгломератами ямок

Ямки, виявлені на поверхні зразка, виникли внаслідок злиття локальних пошкоджень (мікропор), їх коалесценції за нормальним, зсувним та позацентровим механізмами. Різним умовам об'єднання мікропорожнин відповідали різні за формою ямки:

- округлі – утворені за рівновісного розтягу (схема нормального відриву);
- параболічні (однапрявлені) - за позацентрового розтягу;
- параболічні (різнонапрявлені) – внаслідок дотичних напружень, та коалесценції мікропор за механізмом зсуву.

Переважну більшість (понад 90 %), на аналізованих зображеннях, становлять округлі ямки в'язкого відриву. Інші типи зустрічаються на окремих ділянках фрактограм як наслідок локальних механізмів руйнування, притаманних цим зонам. На поверхні руйнування сталі 17Г1С виявлено два принципово відмінні типи округлих ямок:

- глибокі ямки (та їх конгломерати), у яких візуально не видно дна (ЯНД), які утворились шляхом локалізації деформацій в околі кількох об'єднаних дефектів, які об'єдналися у макропору подовгастої форми. На нашу думку, вони пов'язані з наявністю у структурі сталі 17Г1С-У досить великих неметалевих включень, зокрема сульфідів марганцю, навколо яких локалізується та розвивається деформаційний процес. Після руйнування вона перетворилась на глибоку ямку, дно якої розташовано надто глибоко й візуально не видиме;

- ямки з видимим дном (ЯВД) – це ямки, дно яких добре видно, вони як правило оточують ЯНД, або декорують їх краї, утворюючи конгломерати ямок різного розміру округлої форми. Рельєф зламів на ділянках таких конгломератів практично однаковий – дрібні неглибокі з чітким окантуванням ямки округлої форми чергуються з великими.

### Література

1. Computer analysis of characteristic elements of fractographic images / R.Ya. Kosarevych, O.Z. Student, L. M. Svirs'ka, B. P. Rusyn, H. M. Nykyforchyn // Mat. Sci. – 2013. – Vol. 48. – P. 474-481.
2. Bastidas-Rodriguez M.X., Prieto-Ortiz F.A., Espejo E. Fractographic classification in metallic materials by using computer vision // Eng. Fail. Analysis. – 2016. – Vol. 59. – P. 237-252.