

УДК 62-405: 539.5: 53.08

Штофель О.О., канд. техн. наук, доцент, с.н.с.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України

Головко В.В., докт. техн. наук

v_golovko@ukr.net

Короленко Д.Ю., аспірант

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, danilkorlenko@gmail.com

МЕТОД ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ОРІЄНТАЦІЇ СТРУКТУРНИХ КОМПОНЕНТІВ

Одним з найбільш важливих показників якості металу є його мікроструктура. Для аналізу мікроструктури застосовують різні металографічні дослідження [1], які вимагають великого часового і людського ресурсу. Під час дослідження структурних складових мікроструктури визначаються такі показники якості як: загальний вміст неметалевих включень, щільність розподілу включень в розмірному діапазоні, загальна протяжність границь зерен (кристалітів), щільність розподілу дислокацій на границях зерен, щільність розподілу пластин фериту з коефіцієнтом форми, а також щільність розподілу міжзеренних границь з певним кутом разорієнтації.

Питанням даної роботи є саме аналіз орієнтації структурних компонентів, таких як зерен (кристалітів). Для визначення кута разорієнтації на міжзеренних границях зазвичай застосовується EBSD (Electron backscatter diffraction) метод. EBSD – це метод дифракції зворотно розсіяних електронів, який дає змогу визначати кути разорієнтації міжсусідніми зернами. Цей метод може подавати дані у вигляді масиву кутів і розмірів, прямих і зворотних полюсних фігур і безлічі інших видів корисної інформації, а також виявити межі й субкордони зерен. Він відомий також як дифракція Кікучі, і вперше був розроблений Аламом у 1954 р., коли він отримав кілька дифракційних картин і назвав їх «ширококутні відбиті картини Кікучі» на знак визнання відповідного явища, описаного Кікучі в 1920-ті роки. Однак ці дослідження не знаходили застосування до 1970-х, поки Венабл зі співавторами не використав EBSD у металургійній мікрокристалографії, відкривши шлях для ширшого застосування методу в матеріалознавстві [2,3]. Значні технічні досягнення останніх 10 років зробили EBSD ідеальним методом швидкого аналізу мікроструктур кристалічних матеріалів [4]. Слід відзначити, що цей метод потребує спеціального програмного забезпечення і не може бути реалізованим на поширених у вітчизняних металознавчих лабораторіях оптичних та електронних мікроскопах.

На даний момент, коли в Україні постає проблема із пошуком металографічного обладнання з встановленим EBSD детектором, нами запропоновано комп'ютерний метод, за допомогою якого можна ідентифікувати кути орієнтації і разорієнтації зерен (кристалітів). Для цього необхідно лише отримати якісне зображення структури (рис. 1а) і проаналізувати його через програмний код (рис. 1б), написаний на мові Python [5].

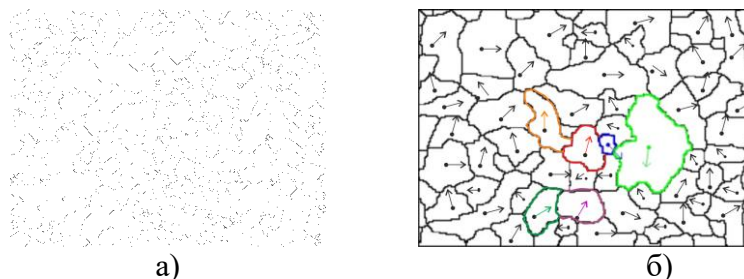


Рис. 1. Вхідні і вихідні дані до питання аналізу а) бінаризована структура б) аналіз структури

Допустимі межі разорієнтації зерен у металевих структурах залежать від конкретного матеріалу, умов його експлуатації та технології виготовлення. Існують ключові показники разорієнтації зерен:

- мала разорієнтація (до 2–5°). Характерна для субзерен усередині одного зерна. Впливає на накопичення пластичної деформації.
- середня разорієнтація (5–15°). Вказує на активні процеси рекристалізації. Може бути допустимою в деяких конструкційних матеріалах.
- висока разорієнтація (>15°). Вважається межею між субзеренами та повноцінними зернами. Надмірна разорієнтація може

Для інструментальних сталей контроль орієнтації може варіюватися в межах 10–30° залежно від вимог до зносостійкості. Точні значення норм встановлюються відповідно до стандартів ISO 13067, ISO 643[6].

Отримані дані можуть бути подані у вигляді гістограми розподілу (рис.2).

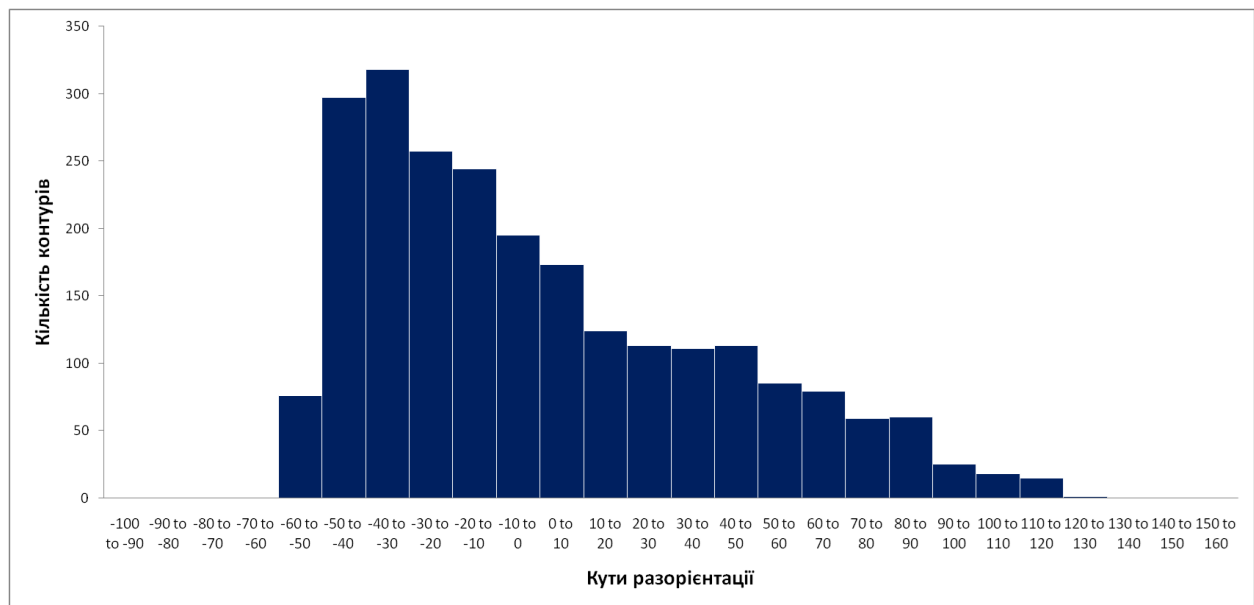


Рис. 2 – Гістограма розподілу кутів раз орієнтації.

Отже, методом комп'ютерного аналізу можна швидко отримати дані щодо орієнтації і разорієнтації зерен (кристалітів) маючи лише фотографію мікроструктури.

Список посилань

1. Холявко В. В. Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів [текст]: навчальний посібник для студентів галузі знань 13 – Механічна інженерія спеціальності 132 – Матеріалознавство денної та заочної форм навчання / В. В. Холявко, І. А. Владимирський, О. О. Жабинська. – Київ: Центр учбової літератури, 2016. – 156 с.
2. Trimby P.W. Prior D.J. and Wheeler J. Grain boundary hierarchy development in a quartz mylonite, *J. Structural Geol.*, 20, 1998, pp.917-935.
3. Valcke S.L.A., Pennock G.M., Drury M.R. and DeBesser J.H.P. Electron backscattered diffraction as a tool to quantify subgrains in deformed calcite, *J. Microscopy*, 224, 2006, pp.264-276.
4. К. А. Yushchenko, А. V. Zviagintseva, G. B. Belyaev, M. O. Chervyakov, I. R. Volosatov, M. Yu. Kakhovskiy, and Yu. V. Oliynyk, Energy Parameters of Formation of Cracks at Multiple-Pass Welding of Alloys of Ni—Cr—Fe Alloying Systems, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, 38, No. 11: 1513—1526 (2016) (in Russian), DOI: 10.15407/mfint.38.11.1513.
5. Holovko, V., Stofel, O., & Korolenko, D. (2025). Fractal Analysis Method of Structural Components Orientation. *International Journal of Recent Innovations in Academic Research*, 9(2), 130–138. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15266778> <https://zenodo.org/records/15266778>
6. ISO. Електронний ресурс: <https://cdn.standards.iteh.ai>