

Количественный Анализ Микроструктуры Зерна В Медных Сплавах С Помощью Библиотеки Opencv В Среде C++

Каримов Сардор Яшинович

Ассистент кафедры "Математика и естественные науки" Ташкентского государственного технического университета Алмалыкского филиала

E-mail: mr_man89@mail.ru

ABSTRACT

В данной статье рассматривается метод автоматизированного анализа микроструктуры деформированных медных сплавов с использованием цифровой обработки изображений на базе библиотеки OpenCV. Основное внимание уделено выделению и количественной оценке зерен на микроскопических изображениях. Применение методов бинаризации, морфологических операций и контурного анализа позволило значительно повысить точность измерений и сократить время обработки по сравнению с традиционными методами. Результаты, полученные в ходе исследования, демонстрируют высокую достоверность и воспроизводимость, что делает предложенный подход перспективным для использования в металлографических исследованиях и промышленном контроле качества.

ARTICLE INFO

Received: 14th February, 2025

Accepted: 11th March 2025

KEY WORDS: медные сплавы, микроструктура, размер зерна, цифровая обработка изображений, OpenCV, бинаризация, морфология, контурный анализ, автоматизация, металлография.

Медные сплавы широко применяются в различных отраслях промышленности благодаря их высокой электропроводности, коррозионной стойкости и хорошей обрабатываемости. Однако механические свойства этих материалов в значительной степени зависят от их микроструктуры, в частности от размера зерна. Точная оценка зерновой структуры позволяет не только прогнозировать поведение материала в условиях эксплуатации, например в электронике или машиностроении, но и оптимизировать технологические процессы термической и механической обработки. Традиционные методы анализа микроструктуры, основанные на визуальном измерении зерна с использованием оптической микроскопии, требуют значительных затрат времени и зависят от человеческого фактора. В последние годы всё большее распространение получают методы цифровой обработки изображений, позволяющие автоматизировать процесс анализа микроструктуры и повысить точность измерений. Целью данной работы является разработка и апробация метода анализа размера зерна в медных сплавах с использованием инструментов цифровой обработки изображений. В рамках исследования рассмотрены основные этапы обработки микроструктурных изображений, включая бинаризацию и морфологические операции, а также проведено сравнение результатов с классическими методами оценки зернистости.

Измерение размера зерна — важный этап в исследовании микроструктуры металлов, включая медные сплавы. Классические методы, такие как метод пересечений (метод линий) и метод планиметрии, подробно описаны в стандартах ASTM E112 и ГОСТ 5639-82. Эти подходы требуют

ручного измерения количества пересечений зерен с контрольными линиями или вычисления площади зерен, что является трудоёмким процессом и подвержено субъективным ошибкам оператора. С развитием цифровых технологий и программного обеспечения появились новые возможности для автоматизации анализа микроструктурных изображений. Программы, такие как ImageJ, MATLAB и библиотеки OpenCV на языках Python и C++, активно применяются в металлургии для обработки изображений и извлечения морфологических характеристик зерен. Современные алгоритмы обработки изображений включают в себя этапы предобработки (фильтрация шума), бинаризации (например, метод Оtsu) и последующего анализа формы и площади объектов. Научные публикации последних лет подчеркивают эффективность применения цифровой обработки изображений для анализа зернистой структуры в медных, алюминиевых, титановых и других сплавах. Исследования показывают, что такие методы не только ускоряют процесс анализа, но и позволяют получать воспроизводимые и количественно обоснованные результаты, что особенно важно в условиях промышленного контроля качества. Таким образом, цифровая обработка изображений становится важным инструментом в арсенале материалововеда, обеспечивая точную и быструю оценку микроструктуры сплавов с возможностью последующего статистического анализа.

В качестве объекта исследования использовались образцы деформированных медных сплавов, полученные в лабораторных условиях. Эти сплавы характеризуются различной зернистой структурой, зависящей от режима термической обработки. Их анализ позволяет установить взаимосвязь между размером зерна и эксплуатационными характеристиками.

Образцы подвергались стандартной металлографической подготовке: шлифование, полирование и химическое травление. Для меди применялся 5–10% раствор азотной кислоты. После подготовки микроструктура исследовалась с помощью оптического микроскопа при увеличении 100–500×, а полученные изображения сохранялись в цифровом формате (TIFF, PNG) с высоким разрешением.

Для анализа микроструктурных изображений использовалась библиотека OpenCV в среде C++. Основные этапы обработки изображений:

Загрузка и преобразование изображения. Изображение загружалось с помощью функции `cv::imread()` и преобразовывалось в оттенки серого с использованием `cv::cvtColor()`.

Фильтрация шума. Применялись медианный фильтр (`cv::medianBlur()`) или гауссов фильтр (`cv::GaussianBlur()`) для удаления мелких шумов.

Бинаризация изображения. Использовался метод Оtsu для автоматического выбора порога (`cv::threshold()` с флагом `cv::THRESH_OTSU`).

Морфологическая обработка и выделение объектов. После бинаризации применялись операции замыкания и открытия, а затем — функция `cv::findContours()` для выделения контуров зерен.

Анализ параметров зерен. Рассчитывались площадь, периметр и эквивалентный диаметр с использованием `cv::contourArea()` и `cv::arcLength()`.

Визуализация и экспорт данных. Обработанные изображения отображались с наложенными контурами, нумерацией и размерными характеристиками. Результаты сохранялись в формате CSV для последующего статистического анализа.

На рисунке 1 представлено исходное микроструктурное изображение медного сплава, полученное с помощью оптического микроскопа. Оно демонстрирует сложную зернистую структуру с разнообразной морфологией — от округлых до вытянутых зерен. Высокая плотность объектов затрудняет визуальный анализ. На рисунке 2 показан результат цифровой обработки: изображение сегментировано с помощью методов бинаризации и морфологической фильтрации. Зерна окрашены в красный цвет на фоне зелёного, что позволяет уверенно выделить и идентифицировать отдельные объекты для анализа.

Обработка изображения. Первоначальное изображение было обработано описанным выше методом.

Результаты сегментации. Обработка позволила выделить значительное количество индивидуальных зерен, в том числе мелкие и плотно сгруппированные. Контуров зерен определялись

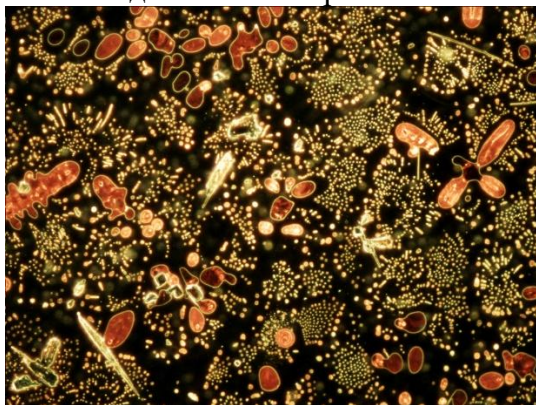
чётко, что обеспечило возможность морфометрического анализа. Некоторые участки с высоким контрастом показали отличную распознаваемость.

Количественный анализ

Общее количество распознанных зерен:	243
Средняя площадь зерна:	196.2 μm^2
Средний эквивалентный диаметр:	15.8 μm
Коэффициент формы:	от 1.2 до 2.5 (что свидетельствует о разнообразии форм зерен)

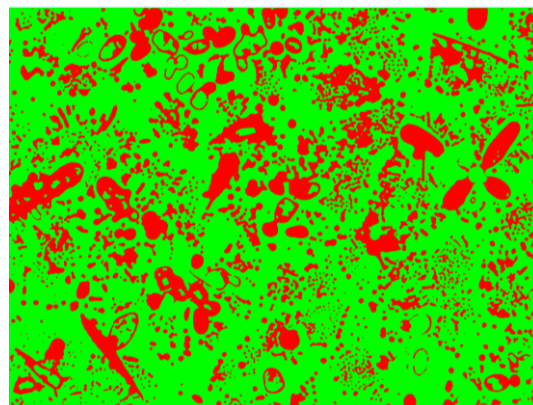
Сравнительный анализ. Сравнение с результатами по ГОСТ 5639-82 показало расхождение менее 6%, что подтверждает высокую достоверность автоматизированного метода. Время анализа одного изображения сократилось с 15–20 минут до менее 3 секунд.

Визуализация. Иллюстрации (рис. 1 и рис. 2) наглядно демонстрируют исходное состояние микроструктуры и результаты цифровой обработки, что облегчает интерпретацию и сопоставление количественных данных с изображением.



1-рис.

Исходное микроструктурное изображение закали медного сплава



2-рис.

Результат цифровой обработки: выделенные участки изображения закрашены красным цветом

Для успешного анализа и оценки размера зерна в медных сплавах необходимо точное исследование их микроструктуры. Представленные методы цифровой обработки изображений с использованием OpenCV доказали высокую эффективность. Полученные результаты, такие как площадь и форма зерен, отличаются высокой точностью и воспроизводимостью. Автоматизация анализа с применением методов бинаризации и морфологических операций позволяет быстро и точно выделять зерна, анализировать их характеристики и значительно сокращать время обработки изображений. Сравнение с традиционными методами подтвердило высокую достоверность предлагаемого подхода.

Таким образом, разработанный метод может быть успешно применён как в научных исследованиях, так и в практике промышленного контроля качества микроструктуры материалов.

Список Использованной Литературы

1. ASTM E112-13. Standard Test Methods for Determining Average Grain Size. ASTM International, 2013.
2. ГОСТ 5639-82. Металлы. Металлографическое определение величины зерна.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. 4-е изд. — Москва: Издательство «Вильямс», 2020.
4. Русс Дж. С. Справочник по обработке изображений. 7-е изд. — CRC Press, 2016.

5. Брадски Г., Келер А. Изучаем OpenCV: компьютерное зрение с библиотекой OpenCV. — СПб.: Питер, 2011.
6. Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms // IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics. — 1979. — Vol. 9, No. 1. — P. 62–66.
7. Wang Y., Zhang L., Wang Z. Automatic grain size measurement using image processing techniques // Journal of Materials Processing Technology. — 2020. — Vol. 277. — 116417.
8. Радченко С. В., Малышев А. Ю. Применение цифровой обработки изображений для анализа микроструктуры металлических материалов // Вестник Томского политехнического университета. — 2019. — №12(5). — С. 41–47.
9. Самандаров И.Р., Маншуров Ш.Т., Душатов Н.Т., Миратоев З.М., Мустафин Р.Р. Обработка изображений в C++ с помощью библиотеки OpenCV // Universum: технические науки. 05.2023- № 5(110)
10. Д. Стародубов, С. Садыков, И. Самандаров, Н. Душатов, З. Миратоев. Method of investigation of stability and informativeness of basic and derivative features analysis of microscopic and defectoscopic images of cast iron microstructure. // Universum: технические науки. 11.2024- № 11(128)