

**ОПТОЭЛЕКТРОННАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУБСТРУКТУРНЫХ И ОРИЕНТАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ, СОПРОВОЖДАЮЩИХ ПЛАСТИЧЕСКУЮ ДЕФОРМАЦИЮ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

**Бадиян Е.Е., Тонкопряд А.Г., Шеховцов О.В., Шуринов Р.В.**  
 Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина  
 г. Харьков, Украина, E-mail: evgeny.e.badiyan@univer.kharkov.ua

Структурная, субструктурная и ориентационная неоднородность является одним из основных факторов, определяющих физические, и в большей степени механические, свойства кристаллических материалов. Таким образом, проблема определения структурной и ориентационной неоднородности кристаллических образцов представляется достаточно важной и актуальной. Известные многочисленные, как правило, дифракционные методы, например, наиболее известный [1], позволяют решать эту проблему только для небольшой области исследуемого образца по сравнению с его размерами и не позволяют *in situ* проследить за структурными и ориентационными изменениями, происходящими в исследуемых образцах в процессе внешнего воздействия. Разработанная оптоэлектронная методика [2–4] исследования ориентационной и структурной неоднородности поверхности кристаллических образцов позволяет решить эту проблему.

Основой разработанной методики является обнаруженный авторами эффект дифракции белого света на квазипериодическом рельефе [2,3], возникающем на поверхности кристаллических материалов в результате их химического травления с целью выявления границ зерен.

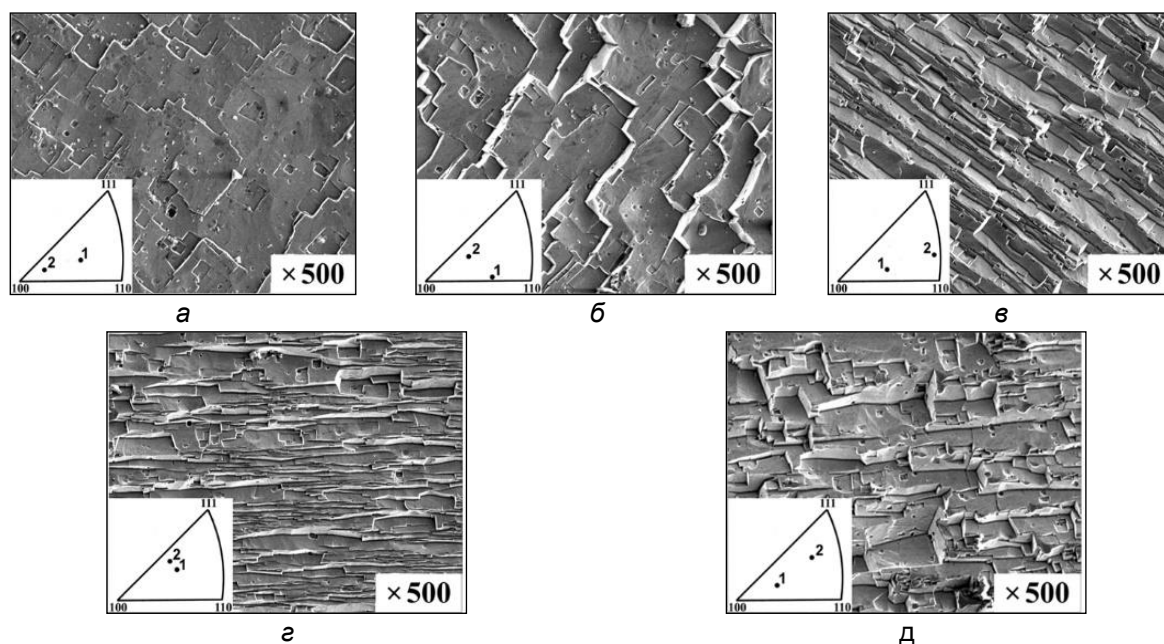


Рисунок 1 – Квазипериодический рельеф, возникающий на поверхности различным образом ориентированных зерен поликристаллического образца алюминия после химического травления. В основном стереографическом треугольнике приведены кристаллографическая ориентация этих зерен относительно нормали к поверхности зерна (1) и направления растяжения (2)

При травлении полированного поликристаллического образца можно обнаружить не только границы зерен в виде тонкой линии, но и на поверхности различным образом ориентированных зерен анизотропный квазипериодический рельеф в виде канавок травления. Экспериментально показано, что характер этого рельефа однозначно определяется кристаллографической ориентацией зерна. На рисунке 1 в качестве примера приведены микрофотографии такого рельефа, полученные с помощью растрового электронного микроскопа JEOLJSM-840 для поверхности различным

образом ориентированных зерен поликристаллического образца алюминия. Показано, что взаимодействие белого света с таким рельефом приводит к его аномальному рассеянию (квазидифракции) и при определенном выборе и взаимном расположении образца, источника света и регистрирующего устройства (рис.2), представляющего собой WEB-камеру, соединенную с компьютером, можно получить цветное изображение поверхности образца (цветовую ориентационную карту), где оттенок цвета в цветовом пространстве RGB любого участка поверхности образца однозначно определяется его кристаллографической ориентацией.

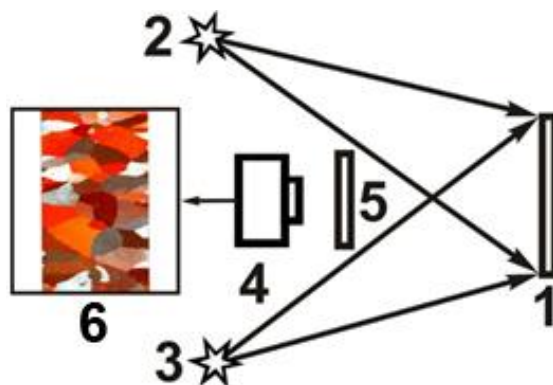


Рисунок 2 – Схема регистрации цветowych ориентационных карт: 1 – образец; 2, 3 – источники белого света; 4 – WEB-камера; 5 – система линз, 6 – цветовая ориентационная карта (ЦОК)

Обнаруженный эффект позволяет получать информацию о субструктурных и ориентационных изменениях, сопровождающих пластическую деформацию поликристаллического образца одновременно для всех составляющих его зерен с периодом  $\sim 0,01$  с.

Следует отметить, что цветовая ориентационная карта поверхности поликристаллического образца алюминия, регистрируется в аддитивном цветовом пространстве RGB, содержащем 16,7 млн. оттенков цвета и представляющем собой комбинацию оттенков трех основных цветов – красного (R), зеленого (G) и синего (B). Число оттенков для каждого из указанных цветов составляет 256. Такое большое количество оттенков цвета в цветовом пространстве RGB не всегда позволяет визуализировать области поверхности образца с определённой кристаллографической ориентацией.

Экспериментально показано, что для визуализации ориентационной и субструктурной неоднородности с целью увеличения углового и линейного разрешения цветное изображение поверхности образца можно рассматривать последовательно и независимо в оттенках красного, зеленого, синего или серого цвета, состоящего из оттенков вышеуказанных цветов в одинаковых пропорциях [4].

Такое представление цветовой ориентационной карты поверхности образца, позволяет, во-первых, установить соответствие между оттенком цвета изображения любой области поверхности образца и ее кристаллографической ориентацией; во-вторых, визуализировать участки поверхности образца с различной кристаллографической ориентацией; в-третьих, определять количественные характеристики субструктурной и ориентационной неоднородности и их изменение *in situ* в процессе пластической деформации образца. Параметром, характеризующим кристаллографическую ориентацию области поверхности образца, является номер оттенка  $n$  цветового изображения этой области из 256 возможных оттенков красного, зеленого, синего или серого цветов, а размер субзерна – область изображения поверхности зерна с одинаковыми оттенками цвета.

В качестве примера на рисунке 3 приведены результаты обработки цифрового изображения поверхности одного из зерен поликристаллического образца алюминия в оттенках красного цвета до деформирования образца (а) и после деформирования (б) на 26% в виде графиков, где по оси ординат отложен размер субзерна ( $l$ ), а по оси абсцисс – условная кристаллографическая ориентация ( $n$ ).

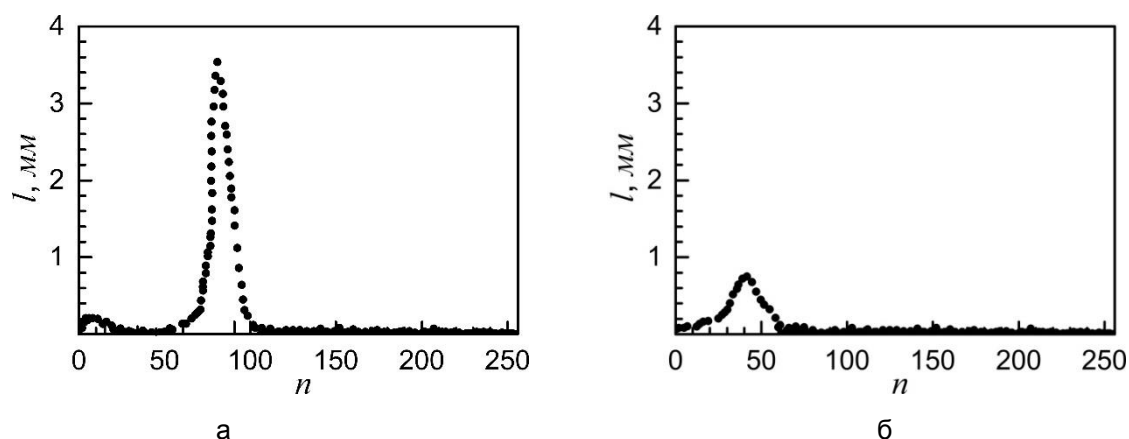


Рисунок 3 – Распределение субзерен на поверхности зерна по их размеру  $l$  условной кристаллографической ориентации (оттенку цвета)  $n$ : а – до деформирования; б – после его деформирования на 26% для одного из зерен поликристаллического образца алюминия

При использовании для регистрации цветowych ориентационных карт WEB камеры CreativePCCAM 300 линейное разрешение методики составляет  $\approx 5$  мкм, а угловое – не превышает  $10''$ .

#### Список литературы:

1. Даниленко В. Н., Миронов С. Ю., Беляков А. Н., Жиляев А. П. Применение EBSD анализа в физическом материаловедении // "Заводская лаборатория. Диагностика материалов" – 2012. Т. 78, – № 02, – с. 28 –46.
2. Badiyan E. E., Tonkopyrad A. G., Shehovtsov O. V., Shorinov R. V, Zetova T. R. Optical Technique for the In Situ Study of Orientation and Structure Changes Accompanied the Plastic Deformation of Polycrystalline Specimens of Aluminum // Inorganic Materials. – 2011. – №15. – P. 1663 – 1666.
3. Патент 93021 Україна, МПК G01N 21/00, G01N 21/17, G01N 33/20. Спосіб визначення кристало-графічно ї орієнтації зеренна поверхні полікристалічного зразка / Бадіян Є. Ю., Тонкопряд А. Г., Шеховцов О. В., Шурінов Р. В., Зетова Т. Р.; Заяв. і патентовласник ХНУ імені В. Н. Каразіна. – № а 2010 02923; заявл. 15.03.10; опубл. 27.12.10, Бюл. №24.
4. Патент 104249 України, МПК (2013.01), G01N 21/00, G01N 33/20 (2006.1). Спосіб візуалізації орієнтаційної неоднорідності та морфології поверхні монокристала або окремих зерен полікристала / Бадіян Є. Ю., Тонкопряд А. Г., Шеховцов О. В., Шурінов Р. В., Зетова Т. Р., Казачкова К. С.; Заяв. і патентовласник ХНУ імені В. Н. Каразіна. – № а 2012 14845; заявл. 24.12.12.; опубл. 10.01.14, Бюл. №1.