

**НОВЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ  
СУБСТРУКТУРНЫХ И ОРИЕНТАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ, СОПРОВОЖДАЮЩИХ  
ПЛАСТИЧЕСКУЮ ДЕФОРМАЦИЮ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ**

**Бадиян Е.Е., Тонкопряд А.Г., Шуринов Р.В., Дергачева А.В.**  
*Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина  
г. Харьков, Украина, [Evgeny.E.Badiyan@univer.kharkov.ua](mailto:Evgeny.E.Badiyan@univer.kharkov.ua)*

Хорошо известно, что механические свойства поликристаллических материалов и закономерность их пластической деформации зависят от структурной, субструктурной и ориентационной неоднородности, которая всегда имеет место в исследуемых образцах. Таким образом, проблема определения характеристик этой неоднородности и определение ее влияния на механические характеристики поликристаллических образцов представляется достаточно важной и актуальной. Известным является и тот факт, что характеристики субструктурной и ориентационной неоднородности меняются в процессе деформирования и это также сказывается, в конечном итоге, на механических характеристиках деформируемых поликристаллов.

Для изучения проблемы самосогласования изменений характеристик субзеренной структуры необходимы методики, позволяющие не только определять параметры субструктуры деформированных образцов, но и их изменения в процессе деформирования в любых областях образца вплоть до его разрушения.

В [1, 2] приведена оптоэлектронная методика регистрации *in situ* цветовых ориентационных карт от всей поверхности исследуемого образца в процессе его деформирования. Основой этой методики является обнаруженный авторами эффект дифракции белого света на квазипериодическом рельефе поверхности образца, возникающем в результате химического травления. Эффект дифракции проявляется в цветовом изображении поверхности образца при его регистрации с помощью WEB - камеры и компьютера.

Экспериментально показано [2], что цветовое изображение в цветовом пространстве RGB различных областей поверхности образца при одних и тех же условиях регистрации находятся в однозначном соответствии с их кристаллографической ориентацией. Это дает возможность по цветовым оттенкам изображения отдельных областей поверхности образца определить их размеры и кристаллографическую ориентацию.

Основным недостатком этого метода является невозможность визуально идентифицировать субзерна по цветовому оттенку их изображения из-за большого числа оттенков в цветовом пространстве RGB.

Ниже приводится описание высокоразрешающей методики выявления субзеренной структуры по цветовым ориентационным картам (ЦОК), исключающей этот недостаток.

Предлагаемая методика позволяет проследить *in situ* за изменением субзеренной и ориентационной неоднородности поликристаллических образцов в процессе их деформирования одновременно в любой области поверхности образца. Линейное разрешение этой методики составляет  $\approx 1$  мкм, а угловое – не превышает 5 секунд [3].

Методика содержит два этапа. На первом этапе цветовые ориентационные карты, полученные от исследуемой поверхности образца, последовательно регистрируются в оттенках красного (R), зеленого (G), синего (B) или серого цветов, каждый из которых содержит 255 оттенков.

Такое количество оттенков цвета позволяет, во-первых, получить распределение субзерен по размерам и кристаллографической ориентации и, во-вторых, визуализировать субзерна на поверхности образца (зерна).

На рис. 1 в качестве примера приведены цветовая ориентационная карта поверхности одного из зерен поликристаллического образца алюминия, полученная в оттенках серого цвета (а), и распределение областей изображения поверхности с одним и тем же оттенком серого цвета  $n$  по их площади  $S_n$  и величине  $n$ , характеризующей кристаллографическую ориентацию, полученное с помощью специальной компьютерной программы (б).

Другими словами, рис. 1, б представляет собой распределение субзерен по размерам (площади)  $S_n$  и условной кристаллографической ориентации  $n$ .

На цветовой ориентационной карте (рис. 1, а) визуально не различимы оттенки серого цвета, характеризующие ориентационную неоднородность этого зерна, а рис 1, б достаточно наглядно иллюстрирует субструктурную и ориентационную неоднородность поверхности зерна. Распределение, приведенное на этом рисунке, позволяет определить минимальный, максимальный и средний размер субзерен. Очень важным является возможность определения спектра условной разориентации  $\Delta n$ . Проведенные экспериментальные исследования закономерностей изменения характеристик субзеренной структуры в отдельных зернах поликристаллических образцах алюминия в процессе его деформирования показали, что спектр разориентаций субзерен оказывается наиболее чувствительным к величине деформации.

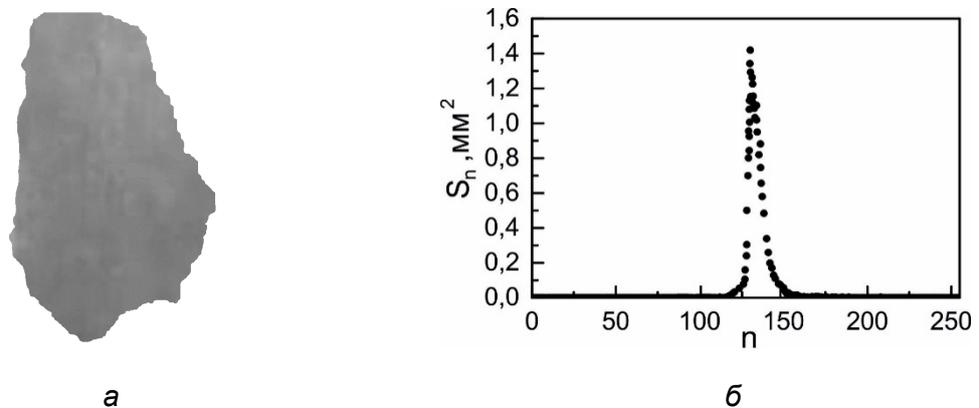


Рисунок 1 - Цветовая ориентационная карта от поверхности одного из зёрен хорошо отожжённого поликристалла алюминия (а) и кривая, характеризующая распределение на поверхности зерна субзерен по размеру (площади)  $S_n$  и кристаллографической ориентации  $n$  (б).

На рис. 2 приведены кривые распределения  $S_n = f(n)$ , полученные для одного из зёрен поликристаллического образца алюминия в процессе его деформирования. Из этого рисунка видно, как в процессе деформирования образца изменяются спектр разориентации субзерен и другие характеристики субзеренной структуры.

Для визуализации субзеренной структуры на поверхности зерна и, при необходимости, определения углов условной разориентации соседних субзерен используется второй этап метода визуализации. Он заключается в замене неразличимых оттенков серого цвета на цветовой ориентационной карте (рис. 3, а) на визуально различимые субзерна, подобранные из цветового пространства RGB. На рис. 3, б приведено цветное изображение поверхности исследуемого зерна после такой замены оттенков цвета.

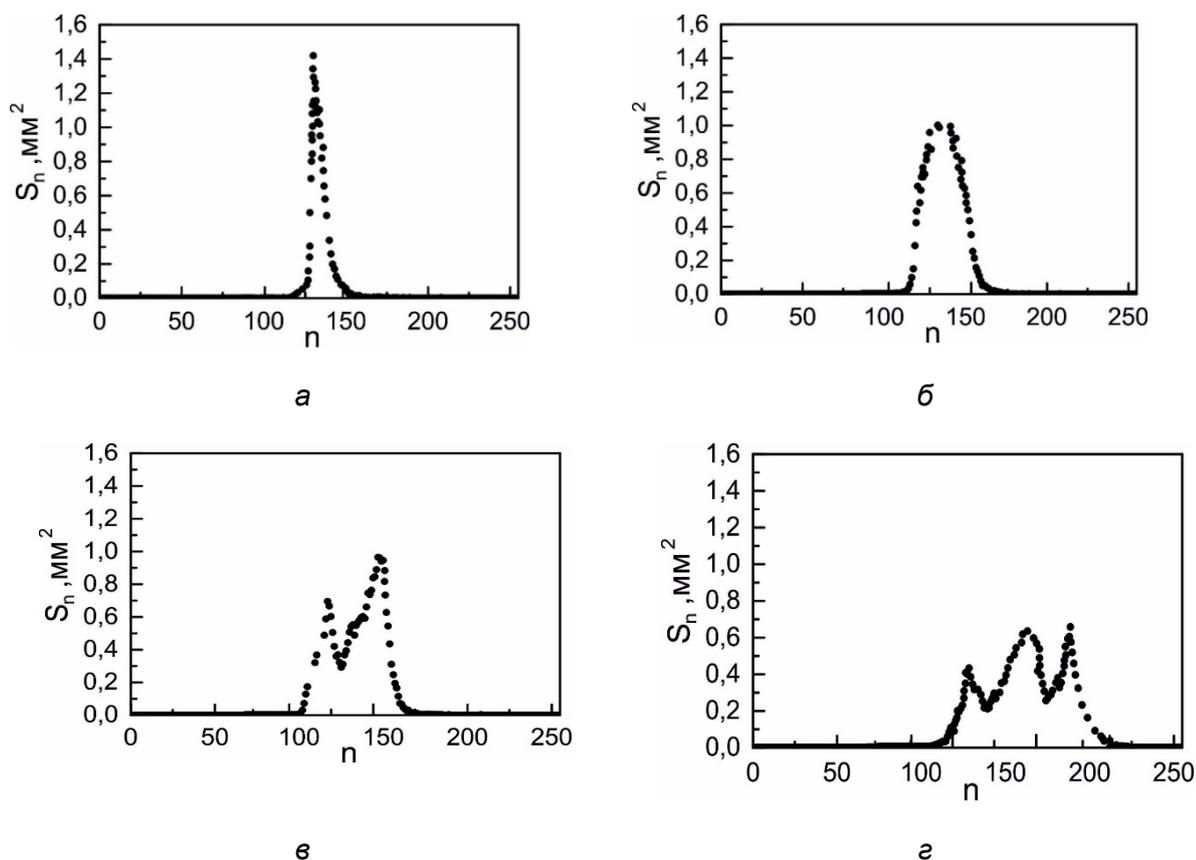


Рисунок 2 - Изменение распределения  $S_n = f(n)$  для зерна, представленного на рис. 1, а, в процессе пластического деформирования:  $\varepsilon = 0\%$  (а);  $\varepsilon = 5\%$  (б);  $\varepsilon = 12\%$  (в);  $\varepsilon = 20\%$  (г).

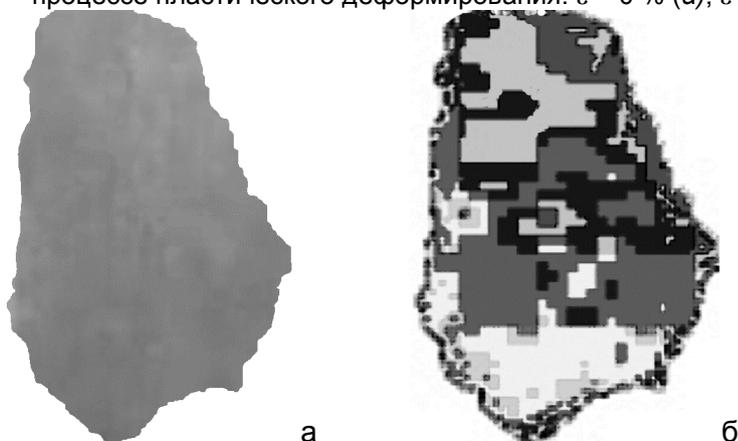


Рисунок 3 - Цветовое изображение поверхности исследуемого зерна до деформирования образца (а) и после визуализации на ней субзеренной структуры (б).

#### Литература

- 1.Е.Е. Badiyan, A.G. Tonkopryad, O.V. Shehovtsov, R.V. Shorinov, T.R. Zetova. 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.
- 2.Бадиян Е.Е., Тонкопряд А.Г., Шеховцов О.В., Шуринов Р.В., Зетова Т.Р. Оптическая методика исследования *in situ* ориентационных и структурных изменений, сопровождающих пластическую деформацию поликристаллических образцов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2010. – Т. 76. – № 8. – С. 34 – 38.
- 3.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 / Бадіяні Є.Ю., Тонкопряд А.Г., Шеховцов О.В., Шуринов 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.