

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ДИСЛОКАЦИОННОГО СКОЛЬЖЕНИЯ *IN SITU* В ПРОЦЕССЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ АЛЮМИНИЯ

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

Хорошо известно, что одной из мод пластической деформации является сдвиговая, которая реализуется за счет дислокационного скольжения. Она характеризуется процессами возникновения и движения дислокаций. Как результат этого, на поверхности деформируемого образца возникает рельеф в виде следов скольжения. Процесс возникновения, последующего формирования и развития этого рельефа является важнейшим для описания пластической деформации.

Вполне очевидно, что характер возникновения и развития дислокационного скольжения в отдельных зернах поликристаллического образца должен зависеть от их кристаллографической ориентации относительно оси растяжения, типа границ зерен и их разориентации.

Таким образом, для исследования закономерностей развития пластической деформации поликристалла с учетом согласования её в соседних зернах и определения возможных механизмов этого согласования необходимы экспериментальные исследования, позволяющие следить за возникновением и развитием скольжения *in situ* в процессе деформирования образца одновременно во всех его зернах и их частях вплоть до разрушения образца.

Известные многочисленные современные методы, например, [1, 2], не позволяют решать эту проблему.

В [3] описана методика, позволяющая проследить за возникновением и развитием деформационного рельефа *in situ* в процессе деформации поликристаллического образца одновременно в различных областях его поверхности. Основой методики является обнаруженный авторами эффект дифракции лазерного излучения на квазипериодическом деформационном рельефе из линий скольжения.

На рис. 1 приведена микрофотография квазипериодической структуры, возникшей на полированной поверхности одного из зёрен поликристаллического образца алюминия после его деформирования в условиях одноосного растяжения при комнатной температуре на 7,5%, а на рис. 2 – дифракционная картина, полученная в результате дифракции лазерного излучения (He-Ne лазер, $\lambda = 0,63$ мкм) на этой квазипериодической структуре.

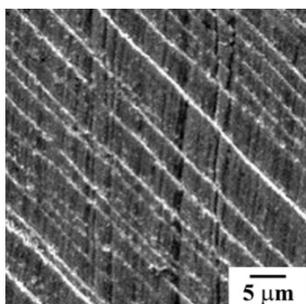


Рисунок 1 - Микрофотография квазипериодической структуры деформационного рельефа, возникшей на полированной поверхности одного из зёрен поликристалла алюминия после его деформирования на 7,5%. Получена с помощью растрового микроскопа JEOL GSM-840.

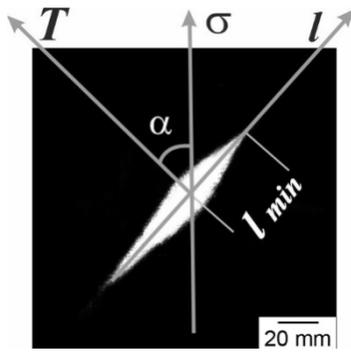
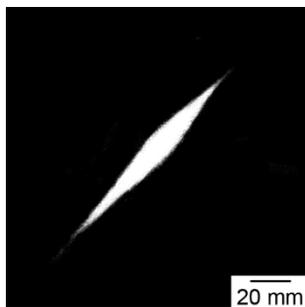


Рисунок 2- Дифракционная картина, полученная в результате дифракции лазерного излучения (He-Ne лазер, $\lambda = 0,63$ мкм) на квазипериодической структуре, приведенной на рис. 1, где l – направление дифракции; σ – направление растяжения образца; T – направление линий скольжения на поверхности образца.

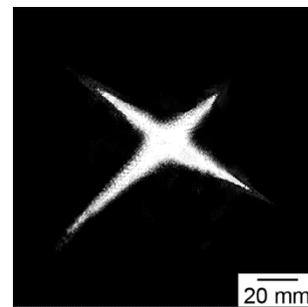
Как видно из рисунка 1, квазипериодичность структуры отличается двумя основными параметрами – непостоянством периода (расстояния между линиями скольжения) и искривлением линий скольжения, составляющих эту структуру. Легко показать, что первый фактор всегда приводит к размытию дифракционных рефлексов в направлении дифракции l , а второй – к расширению дифракционного рефлекса в направлении, перпендикулярном направлению дифракции. При возникновении дополнительных линий скольжения, уменьшающих период их расположения, происходит увеличение дифракционного рефлекса в направлении l .

По дифракционной картине можно определить минимальное расстояние между линиями скольжения [3] $d_{\min} \sim 1/l_{\min}$, изменение направления скольжения $\Delta\alpha$ по отношению к оси растяжения образца σ , возникновение и развитие скольжения по всем действующим системам скольжения в зерне и др..

Так, на рис. 3 приведены дифракционные картины, свидетельствующие о том, что в процессе деформирования образца число систем скольжения в одном из зерен, обеспечивающих развитие пластической деформация, изменяется.



а



б

Рисунок 3 - Картины рассеяния пучка лазера от поверхности одного из зерен поликристаллического образца алюминия, полученные в процессе деформирования:

а – $\epsilon = 5\%$ (скольжение протекает по одной системе скольжения);

б – $\epsilon = 12,5\%$ (скольжение протекает по двум системам скольжения).

На рис. 4 приведены отдельные фотографии картин дифракции, характеризующие развитие скольжения в центральной части одного из зерен поликристаллического образца алюминия в процессе деформирования. Результаты обработки этих дифракционных картин (рис. 5, а) показывают, что заметное скольжение в этой области зерна обнаруживается при деформации $\epsilon \approx 2\%$. На этом же рисунке для сравнения приведена кривая б, характеризующая развитие скольжения вблизи границы зерна. Возникновение скольжения в этой области зерна становится заметным с помощью лазерной методики на более поздних стадиях пластического деформирования (при $\epsilon \approx 10\%$).

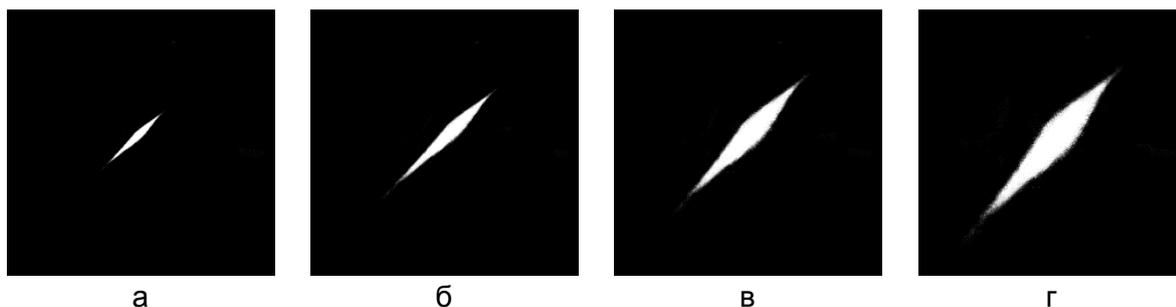


Рисунок 4 - Картины рассеяния лазерного пучка на деформационном рельефе, возникающем на полированной поверхности образца при его деформировании на: $\varepsilon = 2\%$ (а); $\varepsilon = 10\%$ (б); $\varepsilon = 18\%$ (в); $\varepsilon = 31\%$ (г).

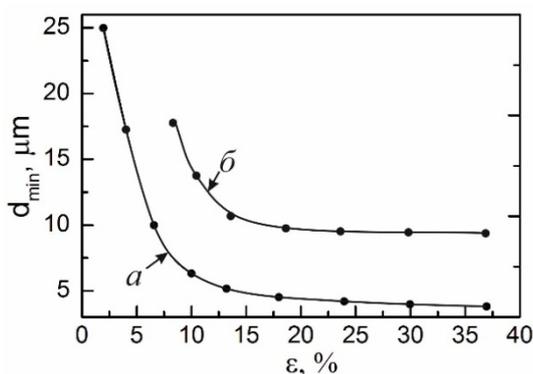


Рисунок 5 - Изменение расстояния между ближайшими линиями скольжения от степени деформации поликристаллического образца алюминия с благоприятной ориентацией зерна для скольжения в центральной части (а) и вблизи границы (б).

Полученный результат свидетельствует о различном характере возникновения и развития скольжения в центральной части зерна и вблизи границы зерна. В центральной части зерна возникновение скольжения происходит на более ранних стадиях пластической деформации, чем это имеет место вблизи границы зерна.

Ещё один из результатов, полученных с помощью лазерной методики – это обнаруженные две схемы согласования пластической деформации скольжением соседних зерен. По одной из схем – это согласование обусловлено изменением направления скольжения вблизи границы зерен только в одном из зерен. Вторая схема согласования скольжения в соседних зернах предусматривает изменение направления скольжения вблизи границы зерна одновременно в двух зернах.

Полученные результаты далеко не исчерпывают возможность лазерной методики для исследования возникновения и развития скольжения дислокаций в процессе пластической деформации кристаллических материалов.

Список литературы:

1. Даниленко В. Н., Миронов С. Ю., Беляков А. Н., Жилиев А. П. Применение EBSD анализа в физическом материаловедении (обзор) // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, № 2. – 2012. – Т. 78. – С. 28-46.
2. Adams B. L. Orientation imaging: the emergence of a new microscopy/ B. L. Adams, S. I. Wright, K. Kunze // Metal. Trans. A. – 1993. – Vol. 24. – P. 819-831.
3. Badiyan E. E., Tonkopyrad A. G., Shekhovtsov O. V., Shurinov R. V., Zetova T. R., Kazachkova K. S.. Investigation of origination and development of the surface deformation relief of crystalline materials by laser radiation // Functional Materials. – 2015.– V. 22, № 3. – p. 395 – 401.