

## МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ [001]-МОНОКРИСТАЛЛОВ С БОКОВЫМИ ГРАНЯМИ {001} В {110}

Сопрунов Д. В.

Научный руководитель Алфёрова Е. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
alferova@tpu.ru

Изучение поликристаллов посредством экспериментальных исследований и математического моделирования сопряжено с рядом трудностей, которые существенно усложняют толкование полученных результатов. Поэтому для выявления и детального изучения механизмов и закономерностей пластической деформации целесообразно использование модельных объектов, например, монокристаллов. Полученные на монокристаллах результаты, бесспорно, имеют немалую фундаментальную и практическую ценность.

Результаты, представленные в работе получены на монокристаллах никеля, выращенных по методу Бриджмена. Деформирование сжатием проводили на испытательной машине Instron ElektroPuls E10000 со скоростью  $1.4 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$  при комнатной температуре. Картину деформационного рельефа исследовали на оптическом микроскопе Leica DM 2500P. Параметры деформационного рельефа определяли на конфокальном микроскопе Olympus OLS4100.

Структурным уровнем деформационного рельефа минимального масштаба можно назвать зону сдвига. Она присуща всем кристаллическим твердым телам, в которых деформация осуществляется движением дислокаций в плоскости скольжения. На поверхности моно- и поликристаллов это проявляется образованием следов скольжения. Несмотря на большое количество работ, посвященных изучению картины скольжения, остается много не решенных вопросов, основным из которых является вопрос об организации деформации в системах параллельных плоскостей скольжения. Например, автором с коллегами ранее было показано, что в зависимости от кристаллографической ориентации октаэдрическое скольжение на поверхности может проявляться в виде следов скольжения и сдвига (первичная фрагментация), мезо- и макрополос деформации (вторичная фрагментация) [1-3].

В настоящей работе рассмотрение процесса деформации в параллельных октаэдрических плоскостях было проведено на примере монокристаллов никеля с осью сжатия [001] для случаев {110} и {100} боковых граней. Несмотря на одинаковую ось сжатия и равное количество действующих систем сдвига картина деформационного рельефа в этих двух случаях отличается (рис. 1). Следует отметить, что в [001]-монокристаллах никеля с боковыми гранями {110} возможно появление макрополос, которые имеют

аккомодационный характер [4]. В работе [5] указывается на появление макрополос деформации, которые представляют собой макропачки активно действующих плоскостей скольжения, а не о макрополосах, подобных макрополосам характерным для никеля.

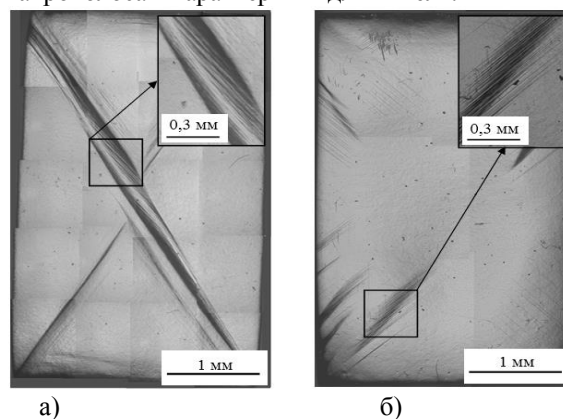


Рис. 1. Деформационный рельеф в [001]-монокристаллах никеля с боковыми гранями {110} (а) и {100} (б), после  $\epsilon = 0,09$

В монокристаллах алюминия аналогичной ориентации приспособление деформации осуществляется массовым поперечным скольжением по границам доменов, которое хорошо различимо уже при оптическом увеличении.

В [001]-монокристаллах никеля с боковыми гранями {100} отмечается возникновение образований подобных макрополосам. Образования такого рода появляются не всегда, и при этом их характер отличается от макрополос наблюдаемых в монокристаллах с боковыми гранями {110}. На рис. 1, а показана внутренняя структура аккомодационных макрополос, формирующихся на боковой грани (110), рис. 1, б – образований подобных макрополосам, характерных для кубических боковых граней.

Из показанных фотографий видно, что внутренняя структура указанных элементов деформационного рельефа отличается. Для случая боковой грани (100) наблюдается очень плотная группа следов сдвига, которая может быть классифицирована как пачка плоскостей скольжения, а не как макрополоса. Для выявления способа формирования элементов рельефа были проведены исследования с помощью конфокальной микроскопии, на рис. 2 представлены профили аккомодационной макрополосы (рис. 2, а) и пачки скольжения

(рис. 2, б).

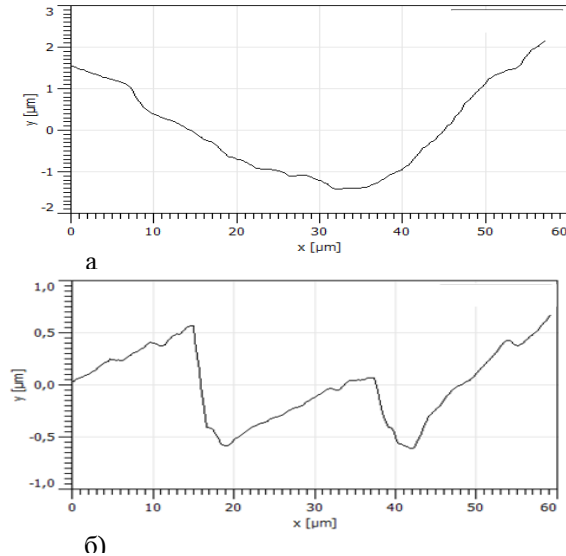


Рис. 2. Профиль аккомодационной макрополосы грань  $\{110\}$   $\epsilon = 39\%$  (а) и пачки следов грани  $\{100\}$ ,  $\epsilon = 22\%$  (б)

Рассмотрение полученных профилей позволяет заметить, что перепад рельефа для аккомодационной полосы составляет около 3 мкм, в то время как в пачке – около 1 мкм, при этом в пачке профиль более «волнистый». Оценка степени рельефности поверхности посредством безразмерного параметра ( $Sp$ ), который показывает отношение фактической площади поверхности к площади ее горизонтальной проекции показала, что  $Sp = 1,05$  для аккомодационной полосы и  $Sp = 2,7$  для пачки следов.

Вместе с тем, и в том и в другом случае профиль образован отдельными ступеньками сдвига. Следовательно, базовый способ образования структурных элементов рельефа различного типа одинаков.

Интересно сравнить как способ организации деформации на макроуровне влияет на степень неоднородности деформации. Подробно экспериментальные результаты по этому вопросу изложены в работе [6]. Здесь же кратко отметим, что значения неоднородности деформации несколько выше для случая боковых граней  $\{110\}$  по сравнению с гранями  $\{100\}$  (по компоненте  $\epsilon_y$  1,23 против 1,94; по компоненте  $\epsilon_z$  1,08 против 1,38; по компоненте  $\epsilon_x$  значения практически равны – 1,77). Как правило, более высокие значения неоднородности деформации характерны для доменов, попадающих или на границу разных схем главных напряжений, или в приторцевые области, т.е. в случае реализации схемы всестороннего сжатия. В случае реализации схемы одноосного сжатия в центральной области монокристаллов значения среднего квадратического отклонения для монокристаллов с разными боковыми гранями близки. Сравнение монокристаллов с разными боковыми гранями в

областях с одинаковой схемой напряженного состояния свидетельствует о несколько большей внутридоменной неоднородности в монокристаллах с боковыми гранями  $\{110\}$  по сравнению с боковыми гранями  $\{100\}$ .

Измерения локальной деформации подтвердили установленный ранее факт, что макрополосы в  $[001]$ -монокристаллах с боковыми гранями  $\{110\}$  имеют аккомодационный характер. В месте образования макрополосы неоднородность деформации ниже по сравнению с другими доменами, попадающими не только в аналогичную схему напряженного состояния, но и по сравнению с доменом, работающим в схеме одноосного сжатия.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-32-60007 мол\_а\_дк.

#### Список использованных источников

1. Лычагин Д.В., Алферова Е.А., Шаехов Р.В., Лычагин А.Д., Старенченко В.А. Неоднородность деформации в монокристаллах никеля с разной иерархией структурных элементов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2007. – Т. 4. – № 2. – С. 26-35.
2. Alferova E. A., Lychagin D.V. Characterization of Deformation Pattern Structure Elements Generated in Uniaxial Compression of Nickel Single Crystals //, Applied Mechanics and Materials – 2013. – Vol. 379, P. 66-70.
3. Алферова Е.А., Лычагин А.Д., Лычагин Д.В., Старенченко В.А. Неоднородность деформации монокристаллов никеля с разной кристаллогеометрической установкой // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2012. – Т. 9. – № 2. – С. 218-224.
4. Лычагин Д.В., Алферова Е.А. Причины развития неоднородной пластической деформации ГЦК-монокристаллов, деформированных сжатием // Деформация и разрушение материалов. – 2010. – №10. – С. 1-10.
5. Лычагин Д.В., Теплякова Л.А., Шаехов Р.В., Конева Н.А., Козлов Э.В. Эволюция деформационного рельефа монокристаллов алюминия с ориентацией оси сжатия  $[001]$  // Физическая мезомеханика. – 2003. – Т.6. – №3. – С.75-83.
6. Лычагин Д.В., Алферова Е.А., Голосова Т.Н., Лычагин А.Д., Старенченко В.А. Роль октаэдрического скольжения в организации деформации ГЦК-монокристаллов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения – 2010. – Т.7. - №1. – С.106-111.