

УДК 539.375

СПЕЦИФИКА ДВОЙНИКОВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ ВИСМУТА ПРИ ЛОКАЛЬНОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ ИХ ПОВЕРХНОСТИ (111) КОНИЧЕСКИМ ИНДЕНТОРОМ

О. М. ОСТРИКОВ, В. В. ВЛАШЕВИЧ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Ключевые слова: механическое двойникование, монокристалл висмута, конический индентор.

Введение

Исследования процессов возникновения двойников и связанных с ними трещин дают ценные сведения о природе материала, его долговечности и прочности [1]–[5]. Анализ и прогноз на прочность монокристаллов висмута при локальном деформировании его поверхности является актуальной научной задачей.

Целью работы является исследование механического двойникования в монокристалле висмута при воздействии на его поверхность (111) коническим индентором с нагрузкой около 2–5 кгс/мм².

Методика эксперимента

Монокристаллы висмута (Vi) выращены в лабораторных условиях, горизонтальным методом Бриджмена. Для экспериментального исследования монокристаллы Vi раскалывали вдоль плоскости спайности (111). Деформирование поверхности (111) монокристалла выполнялось медным индентором, имеющим конусную форму. Исследования проводились в условиях воздействия на поверхность (111) нагрузок около 2–5 кгс/мм². Анализ деформированной области поверхности монокристалла Vi изучался методом оптической микроскопии.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлена остаточная деформационная картина возле отпечатка конического индентора на поверхности (111) монокристалла висмута при высокой нагрузке на индентор. Отпечаток имеет округлую форму. От него в указанном направлении исходят двойниковые прослойки (рис. 1). Это результат воздействия на поверхность монокристалла висмута сверхвысокой сосредоточенной нагрузки. Вокруг отпечатка рассмотрим три области зарождения и развития двойников: I – ромбическая решетка пересечения двойников; II – область двойниковой прослойки; III – область со множеством двойниковых прослоек (см. рис. 1). Более подробно эти области представлены на рис. 2–4.

На рис. 2 показано скопление двойников, пересекающих друг друга (рис. 2, стрелки 2–6) и не исходящих от отпечатка I (рис. 2). В данном ансамбле наблюдаются линзовидные двойники как с некогерентными (рис. 2, стрелки 2, 3, 5, 6), так и когерентными границами 4 (рис. 2). Рядом с двойником 2 на нижней границе наблюдаются параллельные полосы скольжения δ , исходящие от отпечатка I. Из-за большой локализации полос скольжения δ нижняя граница двойника 2 имеет вогнутость [2],

обусловленную высокими деформационными напряжениями, вызванными встречным двойником 10. Также на искривление границ двойника влияют концентраторы напряжений, которые способны отталкивать и притягивать двойникующие дислокации [3].

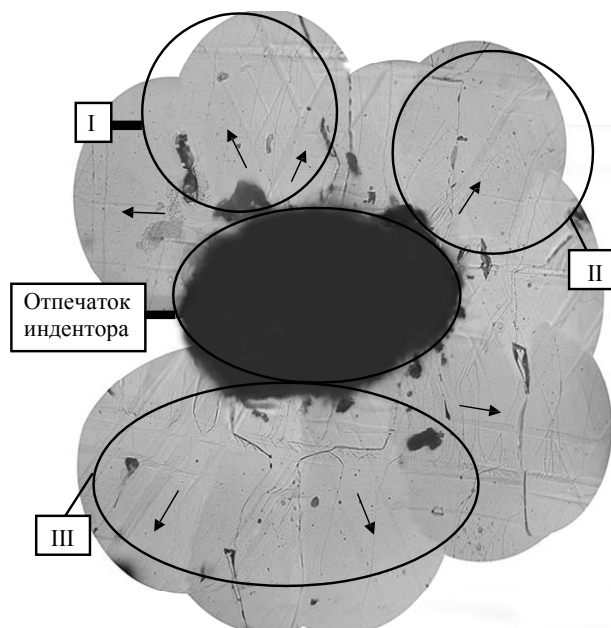


Рис. 1. Ландшафт возле отпечатка на поверхности (111) монокристалла висмута ($\times 5$)

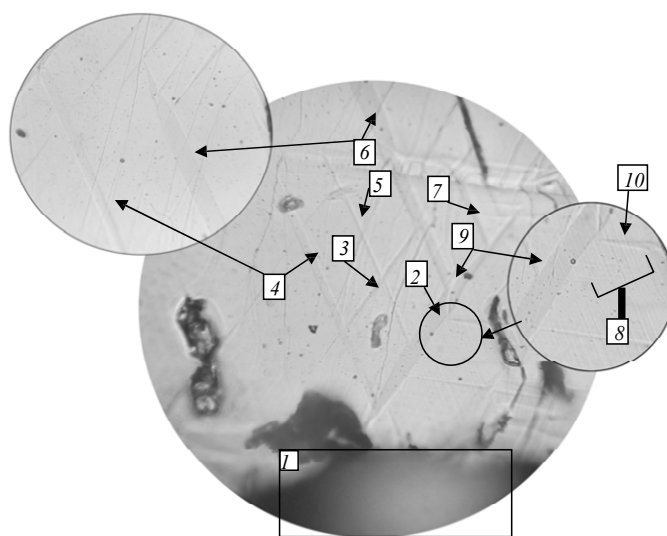


Рис. 2. Ромбическая решетка двойников ($\times 10$)

Отметим, что линзовидный двойник 2 на рис. 2 поглощает двойники 4–7, препятствуя двойникованию по другую свою сторону. Такое поглощение показывает, что двойник 2 является непреодолимым препятствием для совокупности двойников 4–7 [4]. Линзовидный двойник 2 содержит в своем теле двойник 9 другого кристаллографического направления. Развитие двойника 9 вызвано сверхвысокими касательными напряжениями; примеры таких вторичных двойников описывались [5], где учитывался фактор Шмида, влияющий на степень активности системы двойникования и скольжения в двойнике.

Тонкий двойник 3 (рис. 2), пересекающий двойники 4–6, в совокупности с двойником 2 образует ромбовидную сетку. Искривление границ двойников 4 и 5 говорит о том, что двойники 4 и 5 не являются непреодолимыми препятствиями для двойника 3.

На рис. 3 представляет интерес прямоугольная область 2, включающая в себя двойниковую прослойку, исходящую от отпечатка 1. Она имеет участки как с когерентными, так и некогерентными границами. Несдвойникованные области, показанные стрелками 3, говорят о том, что двойникующие дислокации преодолели препятствия в виде стопоров и дефектов.

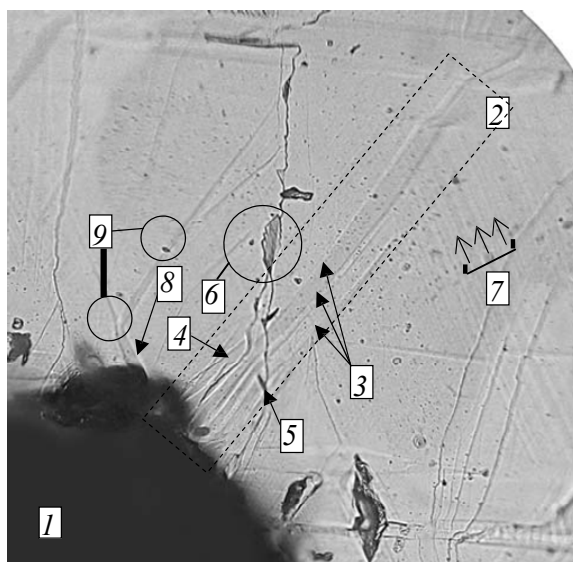


Рис. 3. Двойниковая прослойка с трещинами у отпечатка ($\times 10$)

В теле двойниковой прослойки 2 наблюдаются исходящие от отпечатка 1 трещины 4 и 5. При взаимодействии двойниковой прослойки 2 и трещин 4, 5 наблюдается искривление границ ансамбля двойников 3. Такие некогерентные края двойниковой прослойки 2 говорят о высоких деформирующих напряжениях, локализованных в области 6, где наблюдается взаимодействие трещин 4, 5 со структурными неровностями [2]. Местные напряжения представлены полосами скольжения 7.

У двойника 8 в результате взаимодействия двойникующих дислокаций с препятствиями произошло ветвление (области 9). В данном случае такие препятствия выступают в качестве источников двойникующих дислокаций [3].

На рис. 4 представлена картина со множеством двойниковых прослоек 2–4, взаимно пересекающих друг друга. В прослойках наблюдается вторичное двойникование [5] и множественное раздвойникование. В области 2 (рис. 4) наблюдается пересечение вторичных двойниковых прослоек 2_b и 2_a [4], имеющих особенности в своей структуре. Пересечение двойниковых прослоек 3 говорит о частичном торможении одних прослоек другими [4]. От отпечатка индентора 1 и в области пересечения двойниковых прослоек 4 находятся трещины 5. Ветвление трещины 6 у области пересечения двойниковых прослоек 4 говорит о наличии дефектов в окрестностях трещины и действии высокого напряженного состояния, создаваемого пересечением двойниковых прослоек.

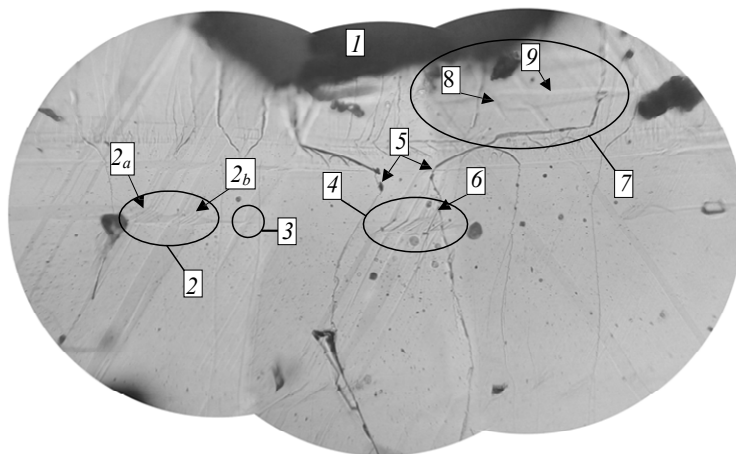


Рис. 4. Область со множеством двойниковых прослоек ($\times 10$)

Интересна область 7 (рис. 4), где из-за сосредоточения высоких деформирующих напряжений у отпечатка индентора наблюдается ветвление двойников. При детальном анализе видно, что дочерний двойник 9 намного шире и длиннее, чем материнский двойник 8. Такая картина встречается довольно редко и зависит от уровня напряжений у границы материнского двойника.

Заключение

Таким образом, методом оптической микроскопии были исследованы особенности двойникования монокристаллов висмута при воздействии сверхвысоких нагрузок на поверхность (111). Образование ромбовидной сетки двойников вдали от отпечатка индентора говорит о том, что у индентора существует поле остаточных напряжений и структурных изменений, которые вызваны пластической деформацией при индентировании. В теле двойника обнаружены способствующие разрушению монокристалла трещины.

Литература

1. Гуткин, М. Ю. Дефекты и механизмы пластичности в наноструктурных и некристаллических материалах / М. Ю. Гуткин, И. А. Овидько. – М. : Янус, 2000. – 149 с.
2. Остриков, О. М. Механика двойникования твердых тел : монография / О. М. Остриков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 301 с.
3. Остриков, О. М. Механизмы формоизменения клиновидных двойников в локально деформируемых ионноимплантированных монокристаллах висмута / О. М. Остриков // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2006. – № 4. – С. 8–22.
4. Классен-Неклюдова, М. В. Механическое двойникование кристаллов / М. В. Классен-Неклюдова. – М. : Изд-во АН СССР, 1960. – 261 с.
5. Федоров, В. А. Дислокационные механизмы разрушения двойникующихся металлов / В. А. Федоров, Ю. И. Тялин, В. А. Тялина. – М. : Машиностроение, 2004. – 336 с.
6. Остриков, О. М. Некоторые особенности формы клиновидных двойников в монокристаллах висмута, деформированных сосредоточенной нагрузкой / О. М. Остриков // Физика металлов и металловедение. – 2000. – Т. 90, № 1. – С. 91–95.
7. Остриков, О. М. Ветвление клиновидных двойников в монокристаллах висмута, деформированных сосредоточенной нагрузкой / О. М. Остриков // Физика металлов и металловедение. – 1999. – Т. 87, № 1. – С. 94–96.