

УДК 539.375

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ МИКРОДВОЙНИКОВ И МИКРОТРЕЩИН ДРУГ С ДРУГОМ И МИКРОВКЛЮЧЕНИЯМИ ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ МОНОКРИСТАЛЛОВ ВИСМУТА

О. М. Остриков

кандидат физико-математических наук, доцент

Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого

Методом оптической микроскопии в монокристалле висмута, деформированным одноосным сжатием, впервые обнаружены новые явления при взаимодействии механических двойников друг с другом, с микровключениями и трещинами. Установлено ветвление вершины двойника, формирование сетки пересекающихся двойников и излом трещины при ее взаимодействии с двойником.

Ключевые слова: механический двойник, трещина, монокристалл висмута.

Дефекты кристаллической решетки оказывают существенное влияние на процесс механического двойникования [1–5]. Особенности формы двойников наблюдаются при их взаимодействии с пластически деформированными областями, полосами сдвига или включениями, размер которых соизмерим, или превышает, ширину двойников. Вся многогранность форм проявления механического двойникования при различных условиях деформирования двойникующегося материала в настоящее время еще не изучена. Имеются результаты экспериментальных исследований [1–5] по изучению особенностей формообразования двойников, их ветвления, зарождения вдали от концентратора напряжений и т. д.

Двойниковые границы являются концентраторами больших внутренних напряжений. Это приводит к тому, что двойникование является инициатором зарождения разрушения [6]. С другой стороны, двойниковые границы являются препятствиями для развития трещин, и изучение взаимодействия трещин с двойниками, с точки зрения поиска методов торможения разрушения, представляется актуальным [6; 7].

Целью данной работы стало изучение особенностей механического микродвойникования и зарождения разрушения в монокристаллах висмута при наличии в них микроскопических включений в случае одноосного сжатия образца.

На рис. 1 показана область монокристалла висмута с микроразмерными дефектами на его поверхности (111). Стрелкой 1 обозначен двойник, у которого при взаимодействии с пластической зоной проявилось ветвление кончика, т. е. у вершины которого появилась ветвь в виде микродвойника другого крис-

таллографического направления. Данный двойник направлен к области вероятной концентрации напряжений у включения.

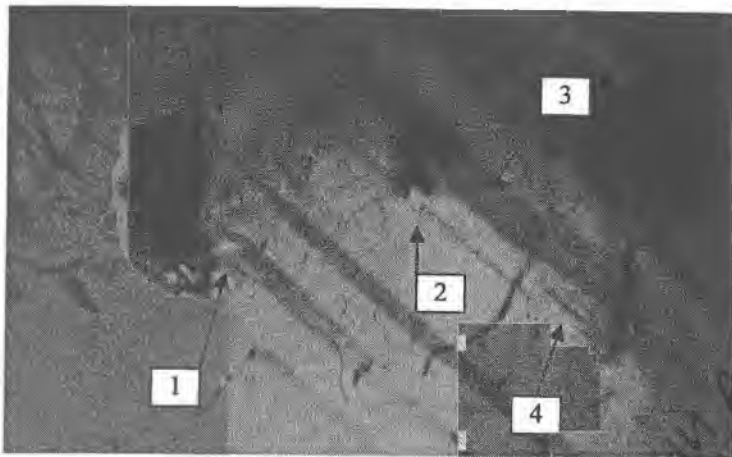


Рис. 1 – Взаимодействие механических двойников с пластическими зонами в монокристаллах *Bi* ($\times 100$). Стрелки: 1 – ветвление кончика двойника в поле напряжений пластической зоны; 2 – разделение пластической зоной двойника на две части; 3 – двойник, имеющий ширину, соизмеримую с геометрическим размером включения; 4 – сдвойникованная область между двумя полосами сдвига

Наблюдавшееся ранее в [1] ветвление двойников не было связано с ветвлением их вершины. Поэтому отмеченное на рис. 1 стрелкой 1 явление наблюдается и описывается впервые. Вершина трещины часто является областью зарождения трещин [6], поэтому изучение новых особенностей поведения вершин двойников представляется полезным в плане прогнозирования связанного с двойникованием разрушения.

Стрелкой 2 отмечен случай видимого на поверхности (111) монокристалла висмута разделения двойника на две части в результате взаимодействия его с включением. При этом под включением в отдалении от поверхности данный двойник может быть цельным с областью раздвойникования, обусловленной напряжениями включения (рис. 2). Выше включения на рис. 1 расположился двойник, отмеченный стрелкой 3 и имеющий ширину, соизмеримую с размером включения. Форма данного двойника претерпела искривление в результате огибания границами рассматриваемого включения.

На рис. 1 стрелкой 4 отмечена сдвойникованная область между двумя полосами сдвига. Наблюдается группа параллельных двойников разной ширины, но равной длины. Вероятно, причиной появления данных двойников стал отмеченный стрелкой 3 двойник относительно большой ширины, разделившийся после взаимодействия с полосами сдвига на группу двойников меньшей ширины (см. рис. 1, стрелка 4). Схематически этот процесс изображен на рис. 3, из которого видно, что равенство длины двойников обусловлено тем, что полосы сдвига для них являются непреодолимыми препятствиями.

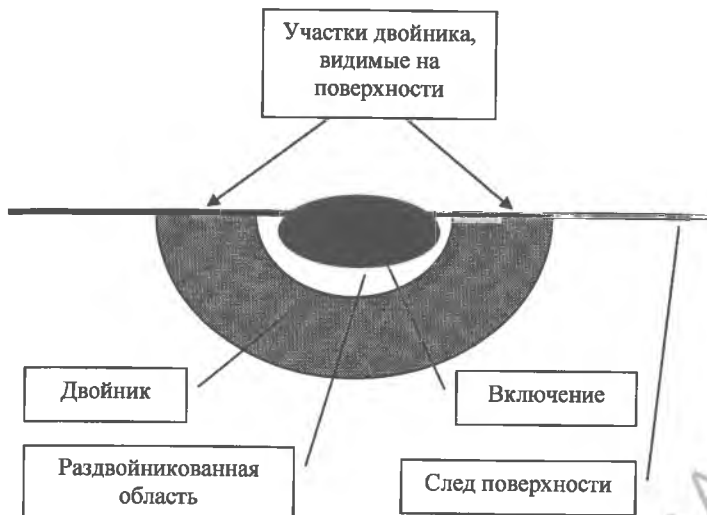


Рис. 2 – Схематическое изображение обусловленного напряжениями включения частичного раздвоения

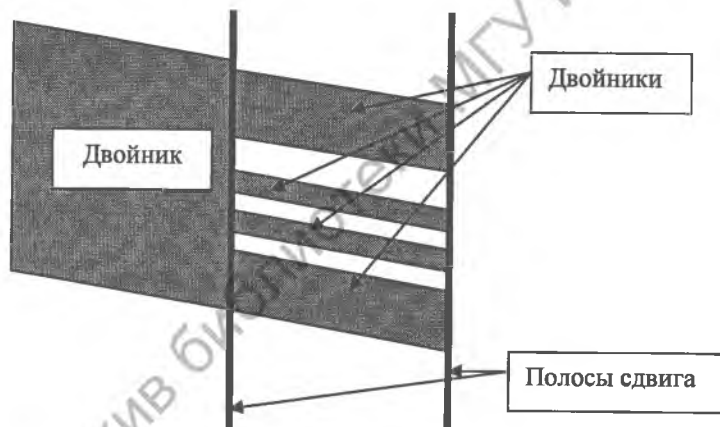


Рис. 3 – Схематическое изображение сдвоенной области между полосами сдвига

На рис. 4 представлены группы пересекающихся двойников двух различных кристаллографических направлений двойникования. Картина пересечения двойников на поверхности (111) монокристалла висмута имеет вид сплетения.

Отличительной особенностью взаимодействия двойников друг с другом в этом случае является то, что после пересечения динамического двойника со статическим двойником другого кристаллографического направления ширина развивавшегося двойника уменьшается порой более чем в два раза. При этом тело статического двойника искривляется в результате ротационного сдвига, связанного со свойственным для двойникования поворотом кристаллической решетки.



Рис. 4 – Ансамбль сплетенных двойников в монокристалле висмута (x100)

Наблюдалось и полное торможение статическим двойником динамического двойника. Участки отдельных двойников приобретали серповидную форму. После прохождения динамическим двойником статического двойника первый разделялся на два параллельных двойника одного кристаллографического направления. При этом ширина таких двойников, как правило, значительно меньше, чем ширина динамического двойника до столкновения со статическим двойником. Имело место и разделение вершины динамического двойника на две еще до пересечения со статическим двойником.

На рис. 5 стрелкой отмечен результат взаимодействия трещины с двойником после локального раздвойнивания. В области взаимодействия трещины с ранее существовавшим двойником наблюдается излом трещины. Это указывает на наличие энергетических затрат для трещины на преодоление такого препятствия, как двойниковая прослойка. Как видно из рис. 5, величина излома трещины после раздвойнивания превышает ширину трещины в области ее взаимодействия с двойником.

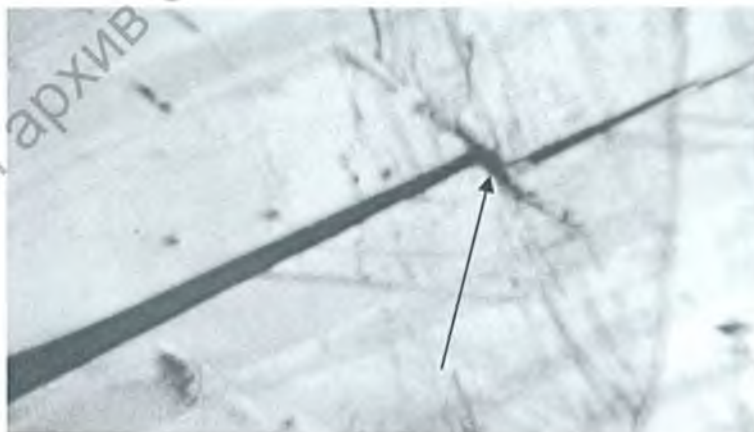


Рис. 5 – Излом трещины в монокристалле висмута (x100)

При высоком уровне внешних напряжений, инициировавших раздвоение, в области излома трещины наблюдается зарождение вторичного разрушения в направлении, перпендикулярном направлению развития трещины. На рис. 5 это проявляется в том, что ширина излома трещины почти в два раза превышает ширину двух частей трещины в области ее излома.

Таким образом, обнаружен ряд особенностей взаимодействия двойников друг с другом, двойников с микровключениями и трещин с механическими двойниками. Впервые наблюдалось ветвление вершины механического двойника, формирование сетки из пересекающихся двойников, излом трещины с ростом новой трещины в месте излома первой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **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.
2. **Остриков, О. М.** Особенности двойникования монокристаллов висмута, облученных ионами тантала / О. М. Остриков // Физика металлов и металловедение. – 2000. – Т. 89, № 6. – С. 99–103.
3. **Остриков, О. М.** Нанодвойникование монокристаллов висмута / О. М. Остриков // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2002. – № 3. – С. 51–52.
4. **Остриков, О. М.** Особенности зарождения клиновидных двойников у отпечатка пирамиды Виккерса на поверхности (111) монокристаллов висмута / О. М. Остриков // Материаловедение. – 2002. – № 1. – С. 17–20.
5. **Остриков, О. М.** Закономерности слияния двойников в монокристаллах висмута / О. М. Остриков // Физика металлов и металловедение. – 2012. – Т. 113, № 8. – С. 846–852.
6. **Финкель, В. М.** Разрушение кристаллов при механическом двойниковании / В. М. Финкель, В. А. Федоров, А. П. Королев. – Ростов-на-Дону : Издательство Ростовского университета, 1990. – 172 с.
7. Влияние двойников на зарождение трещин в Fe+3,25%Si при интенсивном сопутствующем скольжении / В. М. Финкель [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 1979. – Т. 48, № 2. – С. 415–423.

Поступила в редакцию 06.02.2017 г.

Контакты: omostrikov@mail.ru (Остриков Олег Михайлович)

Ostrikov O. CHARACTERISTICS OF INTERACTION OF MECHANICAL MICROTWINS AND MICROCRACKS WITH EACH OTHER AND MICROINCLUSIONS DURING AXIAL COMPRESSION OF BISMUTH SINGLE CRYSTALS.

The method of optical microscopy in a bismuth single crystal deformed by uniaxial compression has enabled to reveal new phenomena in the interaction of mechanical twins with each other and with microinclusions and cracks. Branching of the twin vertex, formation of the grid of intersecting twins and fracture of the crack during its interaction with the twin are established.

Keywords: mechanical twin, crack, bismuth single crystal.