

05

Новые каналы реализации механического двойникования

© В.С. Савенко

Мозырский государственный педагогический институт

Поступило в Редакцию 27 августа 1997 г.

Впервые обнаружено и объяснено зарождение двойников на границах двойникового клина в монокристаллах висмута при деформировании их поверхности сосредоточенной нагрузкой.

Несмотря на то, что двойникование относится к основным видам деформирования кристаллов, в отличие от скольжения данный вид пластической деформации изучен недостаточно полно. Об этом свидетельствует незначительное число публикаций, посвященных двойникованию. В то же время экспериментальные работы по изучению двойникования дают основания полагать эти исследования целесообразными, что подтверждается открытиями все новых явлений, протекающих при данном виде пластической деформации. Например, в работах [1–3] установлена интенсификация дислокационных процессов при двойниковании кристаллов в условиях пропускания через них импульсов электрического тока большой плотности (порядка сотен A/mm^2). В [4] двойникование монокристаллов висмута исследовалось при суперпозиции электрического и магнитного полей, прикладываемых к образцу. При этом отмечалось значительное увеличение двойникового объема материала по сравнению с протеканием процесса пластической деформации двойникования в отсутствие внешних энергетических воздействий. В связи с этим появляется принципиальная возможность управления пластической деформацией двойникованием в условиях внешних энергетических воздействий.

В данной работе было обнаружено, что интенсивная стимуляция дислокационных процессов при двойниковании кристаллов внешними энергетическими воздействиями, а также в некоторых случаях при их отсутствии, ведет к появлению новых каналов реализации пластической деформации кристаллов двойникованием, что проявляется в так называемом "ветвлении двойников".

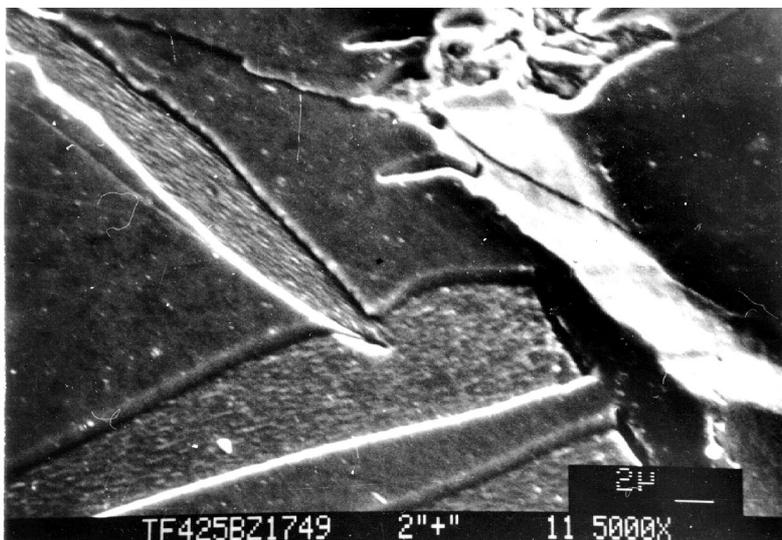


Рис. 1. Зарождение двойника на двойниковой границе с малой степенью когерентности.

При деформировании плоскости спайности (111) монокристалла висмута сосредоточенной нагрузкой, в качестве которой обычно [1–4] используется алмазная пирамидка стандартного микротвердомера ПМТ-3, сравнительно легко можно получить ансамбль клиновидных двойников типа $\{101\}\langle 001\rangle$ (рис. 1), состоящий из 5–8 двойников, которые обычно зарождаются на дислокационных скоплениях. Исследование двойников производилось электроноскопическим методом.

В работах [5–6] показано, что релаксация внутренних напряжений осуществляется только за счет развития скольжения, например, в областях кристалла, прилегающих к двойниковым границам. Однако в данной работе обнаружено, что релаксация внутренних напряжений в монокристаллах висмута, деформированных сосредоточенной нагрузкой, может осуществляться в результате появления и развития двойников, причем двойники возникают не только на скоплениях полных дислокаций, но и на границах двойниковых прослоек, то есть на скоплениях двойнивающих дислокаций (рис. 1–3).

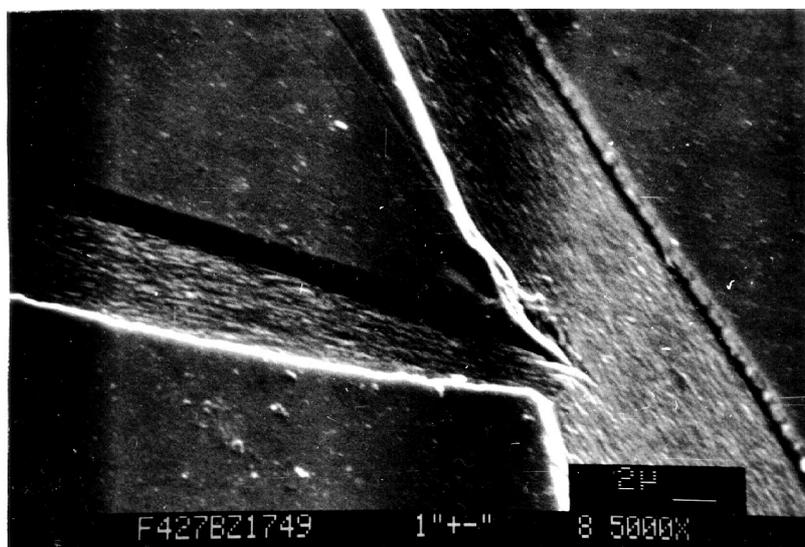


Рис. 2. Ветвление двойника у стопора.

В отсутствии внешних энергетических воздействий "ветвящиеся" двойники чаще зарождаются на двойниковых границах с малой степенью когерентности (рис. 1). Искривление двойниковых границ вызвано избыточной концентрацией на них двойнивающих дислокаций. Повышенная плотность дислокаций на двойниковой границе ведет к локализации на ней внутренних напряжений, источниками которых являются двойнивающие дислокации. При этом в местах скопления дислокаций могут возникать напряжения сравнимые по величине с порогом возникновения клиновидного двойника. Релаксация данных напряжений происходит через зарождение на двойниковой границе нового двойника, который развивается в новом энергетически выгодном направлении (рис. 1).

Отметим, что в монокристалле висмута при деформировании плоскости спайности (11) сосредоточенной нагрузкой двойники могут развиваться в трех направлениях $[101]$, $[\bar{1}01]$, $[10\bar{1}]$ (фактор Шмида 0.48). Поэтому если "материнский" двойник развивался в направлении $[101]$, то "дочерний" двойник может развиваться только в направлении $[\bar{1}01]$ или $[10\bar{1}]$.

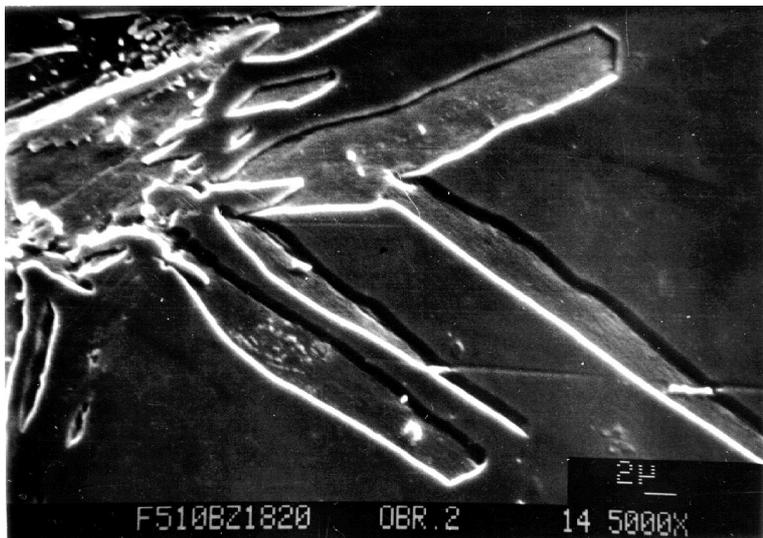


Рис. 3. Ветвление двойника в результате наличия препятствия на пути трансляции двойникоующих дислокаций.

Причиной избыточной концентрации частичных двойникоующих дислокаций на определенных участках двойниковых границ могут служить стопоры в виде неоднородностей структуры кристаллической решетки, либо в виде скопления полных дислокаций (рис. 2). В последнем случае "дочерний" двойник может возникнуть в результате расщепления полных дислокаций на частичные двойникоующие.

На рис. 3 показан случай, когда ветвление двойника произошло в результате наличия препятствия на пути трансляции двойникоующих дислокаций. Об этом свидетельствует затупленный вид вершины двойника. Для объяснения данного случая воспользуемся картиной полей напряжений у клиновидного двойника (рис. 4), которая получена в предположении того, что двойниковая граница состоит из полных [7–9], а не из частичных дислокаций. Поля напряжений вокруг скопления таких дислокаций имеющего вид клина можно рассчитать

по формуле:

$$\sigma_{xy} = \frac{Gb}{2\pi(1-\nu)} \left\{ \sum_{n=0}^{N_1} \frac{(x+nd)[(x+nd)^2 - (y+nh)^2]}{[(x+nd)^2 + (y+nh)^2]^2} + \sum_{n=1}^{N_2} \frac{(x+nd)[(x+nd)^2 - (y-nh)^2]}{[(x+nd)^2 + (y-nh)^2]^2} \right\}, \quad (1)$$

где σ_{xy} — скалывающие напряжения [10], b — модуль вектора Бюргера, G — модуль сдвига, ν — коэффициент Пуассона, n — индекс суммирования, N_1 и N_2 — число дислокаций на двойниковых границах. В нашем случае при компьютерном построении кривых, представленных на рис. 4, было принято $N_1 = N_2 = 10$.

Из рис. 4 видно, что напряжения увеличиваются с приближением к двойниковой границе, более того у вершины двойника они имеют такой же порядок, что и у непосредственной близости двойниковой

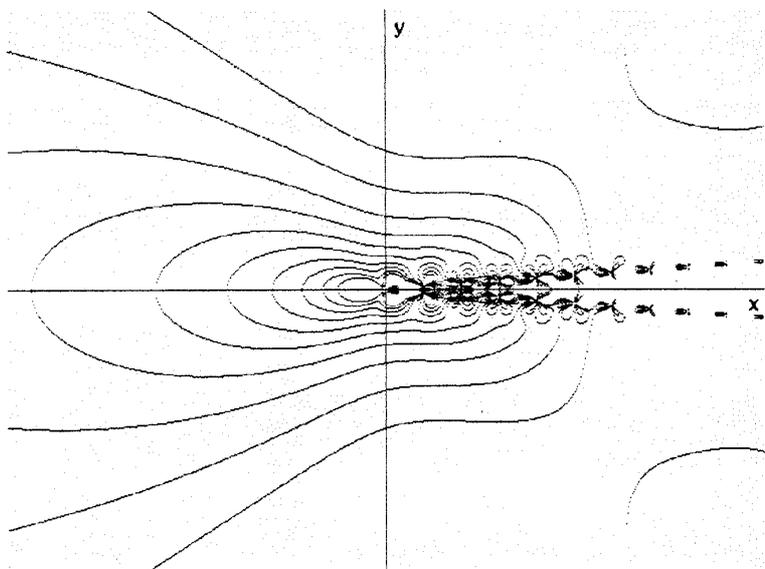


Рис. 4. Поля напряжений у клиновидного двойника.

границы, но на расстоянии в два-три раза большем. В результате при наличии стопоров на пути движения клиновидного двойника, происходит перераспределение напряжений у его вершины таким образом, что величина их проекций на новое направление двойникования становится сравнимой с пороговым значением возникновения двойника.

Стимулировать дислокационные процессы при двойниковании кристаллов можно путем пропускания через них импульсов электрического тока [1–5]. С ростом плотности тока в импульсе усиливаются процессы генерирования двойникующих дислокаций. При этом коллектив движущихся по двойниковым границам двойникующих дислокаций может взаимодействовать с препятствием не только с образованием нового двойника, но и преодолевать сопротивление застопорившихся дислокаций с образованием второй вершины.

Стимуляцию импульсами электрического тока ветвления двойников можно также объяснить повышением внутренних напряжений в кристалле за счет реализации пинч-эффекта. В результате появления дополнительных напряжений в кристалле повышается вероятность появления второй вершины двойника.

Таким образом, с помощью электроноскопического метода исследования и метода компьютерного построения полей напряжений вокруг клиновидного двойника установлено, что релаксация внутренних напряжений в монокристаллах висмута может происходить путем реализации двойникования за счет ветвления двойников. Причем, новая вершина двойника зарождается не на полных дислокациях, а на частичных двойникующихся.

Автор выражает благодарность аспиранту О.М. Острикову за проявленный интерес к работе, расчет полей напряжений у клиновидного двойника и обсуждение результатов.

Список литературы

- [1] Савенко В.С., Цедрик М.С. // Известия АН БССР. Сер. физ.-мат. наук. 1980. № 1. С. 105–108.
- [2] Башмаков В.И., Савенко В.С. // Известия вузов. Физика. 1980. № 7. С. 29–33.
- [3] Савенко В.С. В сб. Физические свойства газов и твердых тел. Минск, 1978. С. 129–135.

- [4] Савенко В.С., Пинчук А.И., Понарядов В.В., Злотник В.Б. // Вестник БГУ. 1995. Сер. 1. № 2. С. 27–30.
- [5] Савенко В.С., Спицын В.И., Троицкий О.А. // ДАН СССР. 1985. Т. 283. № 5. С. 1181–1183.
- [6] Роцупкин А.М., Батаронов И.Л. // Известия вузов. Физика. 1996. № 3. С. 57–65.
- [7] Косевич А.М., Бойко В.С. // УФН. 1971. Т. 104. В. 2. С. 201–254.
- [8] Савенко В.С., Остриков О.М. // Известия АНБ. Сер. физ.-мат. наук. 1997. Деп. в ВИНТИ, № 327-В97.
- [9] Савенко В.С., Остриков О.М. // Тез. докл. IV Международной конференции "Действие электромагнитных полей на пластичность и прочность материалов", Воронеж, 1996, с. 20.
- [10] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. Т. VII, М. 1987. 248 с.