

УДК 548.24

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛИСИНТЕТИЧЕСКИХ ДВОЙНИКОВ

О. М. ОСТРИКОВ

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

При деформировании двойникующихся монокристаллов, в случае высокого значения ориентационного фактора Шмида для развития двойникования [1], двойники, как правило, возникают группами. Единичные двойники легче удается получить в кристалле лишь при воздействии на него сосредоточенной нагрузкой. Группы двойников одного кристаллографического направления объединены под термином полисинтетического двойника [2]. Изучение эволюции полисинтетических двойников под действием внешних напряжений и в результате предварительной энергетической обработки монокристаллов является важной научной и практической задачей. Это связано с тем, что двойникование относится к основному каналу пластической деформации кристаллов [1], [2] и знание его поведения в тех или иных условиях деформирования материалов позволит целенаправленно управлять их свойствами посредством воздействия на процессы зарождения и развития двойников.

Систематическое исследование полисинтетического двойникования невозможно без его классификации как по взаимному расположению в полисинтетическом двойнике отдельных двойников, так и по их форме. Такая классификация позволит четко определить направление эволюции полисинтетических двойников при деформировании двойникующихся материалов, выявить влияние на закономерности эволюции предварительной энергетической обработки.

Разработка такой удобной для физического анализа классификации полисинтетических двойников и стала целью данной работы.

Как уже отчасти отмечалось, для ведения физического анализа закономерностей развития полисинтетических двойников удобно провести их классификацию как по степени нарушения периодичности во взаимном расположении двойников друг относительно друга, так и по форме границ отдельных двойников, входящих в состав полисинтетического двойника.

На рис. 1 представлена схема для классификации полисинтетических двойников по их взаимному расположению друг относительно друга (обозначим ее как группу A). В этой классификации будем учитывать наличие нарушения периодичности во взаимном расположении двойников в результате отсутствия в полисинтетическом двойнике одного или нескольких двойников (такой случай будем обозначать числом n_1 , причем, численное значение n_1 указывает на количество отсутствующих двойников) либо за счет наличия дополнительных двойников, находящихся в области между двойниками полисинтетического двойника (n_2). Числами n_3 и n_4 учтем наличие в полисинтетических двойниках двойников других кристаллографических направлений, не параллельных направлению развития двойников в полисинтетических двойниках (рис. 1). Причем, двойники, обозначаемые n_3 и n_4 , также не являются параллельными. В результате в общем виде получим следующую запись группы A , учитывающую указанные выше параметры полисинтетических двойников:

$$AN(n_1n_2n_3n_4). \quad (1)$$

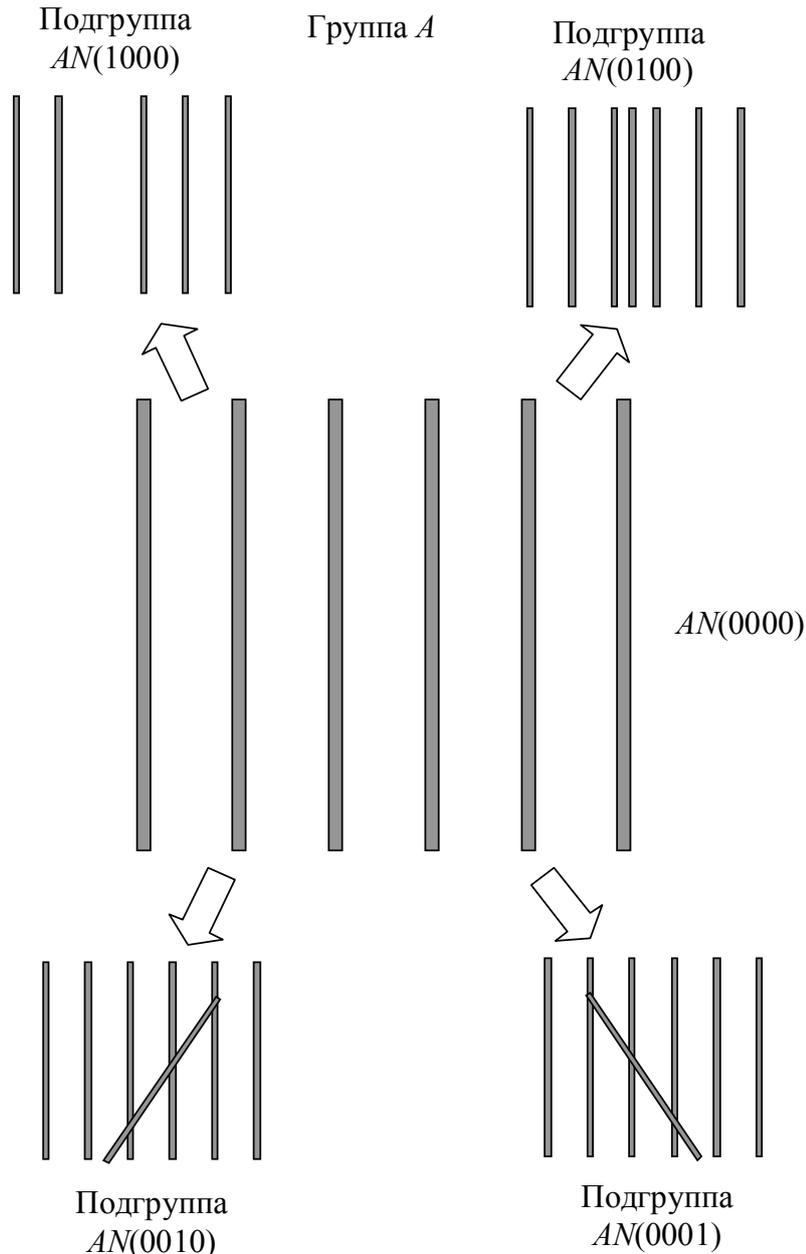


Рис. 1. Схематическое изображение классификации полисинтетических двойников по их взаимному расположению друг относительно друга

Здесь N – число двойников в полисинтетическом двойнике. При $n_i > 0$ в (1) от-
мечается количество соответствующих отклонений от идеального расположения
друг относительно друга двойников в полисинтетическом двойнике. При $n_i = 0$ под-
разумевается отсутствие соответствующего нарушения. Под идеальным расположе-
нием будем подразумевать такое расположение двойников в полисинтетическом
двойнике, когда при одинаковой их ширине (h) расстояние между ними (H) сохра-
няется в каждой периодичности отдельных двойников в полисинтетическом двойнике
(рис. 1). Для идеального случая справедлива запись $AN(0000)$. Примеры использо-
вания (1) для описания различных подгрупп двойников представлены на рис. 1. За-
пись $A10(2320)$, например, означает, что в полисинтетическом двойнике, занимаю-
щем область, принадлежащую десяти равноудаленным друг от друга двойникам, от-

существует два двойника, три двойника находятся в междвойниковом пространстве, имеется два параллельных двойника с направлением двойникования отличным от направления двойникования двойников полисинтетического двойника. Иллюстрация данного случая представлена на рис. 2.

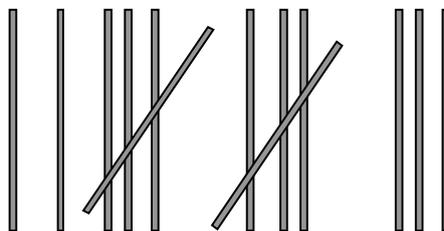


Рис. 2. Полисинтетический двойник группы $AN(2320)$

На рис. 3 показаны полисинтетические двойники, у которых параметр H изменяется по гармоническому закону. При этом в записи $A^{\cos T}$ параметр T определяет период. В общем случае для полисинтетических двойников рассматриваемого типа по аналогии с (1) можно записать:

$$A^{\cos T} N(n_1 n_2 n_3 n_4) \tag{2}$$

В монокристаллах висмута часто наблюдается ветвление двойников [3], входящих в состав полисинтетического двойника (рис. 4). При этом двойники иного кристаллографического направления зарождаются на границах двойников полисинтетического двойника, что схоже с двойниками группы $AN(00n_3 n_4)$. Отличие заключается в том, что двойники группы $AN(00n_3 n_4)$ не зарождаются на двойниковых границах. Наличие в полисинтетических двойниках ветвящихся двойников можно описать аббревиатурой типа

$$AN(n_1 n_2 n_3 n_4) \mathcal{V}(m_1 m_2), \tag{3}$$

где m_1 и m_2 определяют кристаллографию ветвящихся двойников. Для этого в случае, например, монокристаллов висмута достаточно двух чисел [3], так как каждое из них включает два параллельных, но противоположно направленных кристаллографических направлений двойникования. В монокристаллах висмута три таких противоположно направленных кристаллографических направлений двойникования. Одно из них принадлежит материнским двойникам полисинтетического двойника, а два – ветвящимся двойникам.

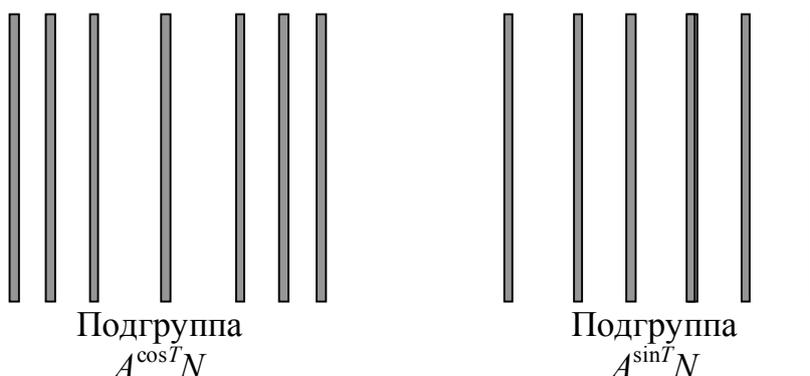


Рис. 3. Подгруппы A с гармоническим изменением параметра H

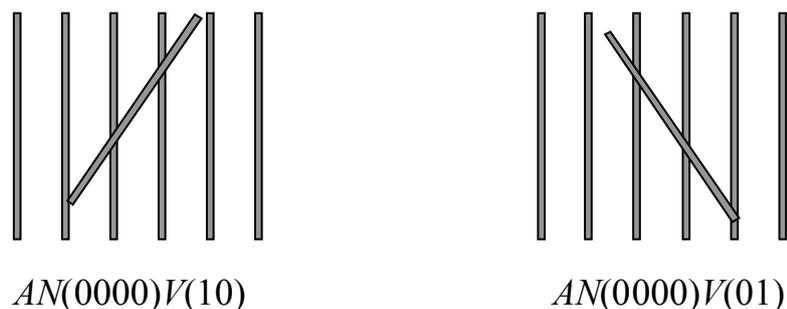


Рис. 4. Ветвление двойников в полисинтетических двойниках

Из формы границ двойников полисинтетического двойника также можно сформировать группы. Наиболее часто встречается искривление двойниковых границ в виде их выпуклости или вогнутости. На рис. 5 представлены варианты двойников с такой формой границ. Обозначим такую подгруппу двойников буквой F и тогда для нее можно записать

$$AN(n_1 n_2 n_3 n_4)F(n : \pm R1, m : \pm R2), \quad (4)$$

где n и m – среднее число выпуклостей или вогнутостей на правых и левых двойниковых границах, соответственно; $R1$ и $R2$ – их средние радиусы; знак плюс или минус указывает на направление изгиба двойниковой границы: «+» – выпуклость, «-» – вогнутость.

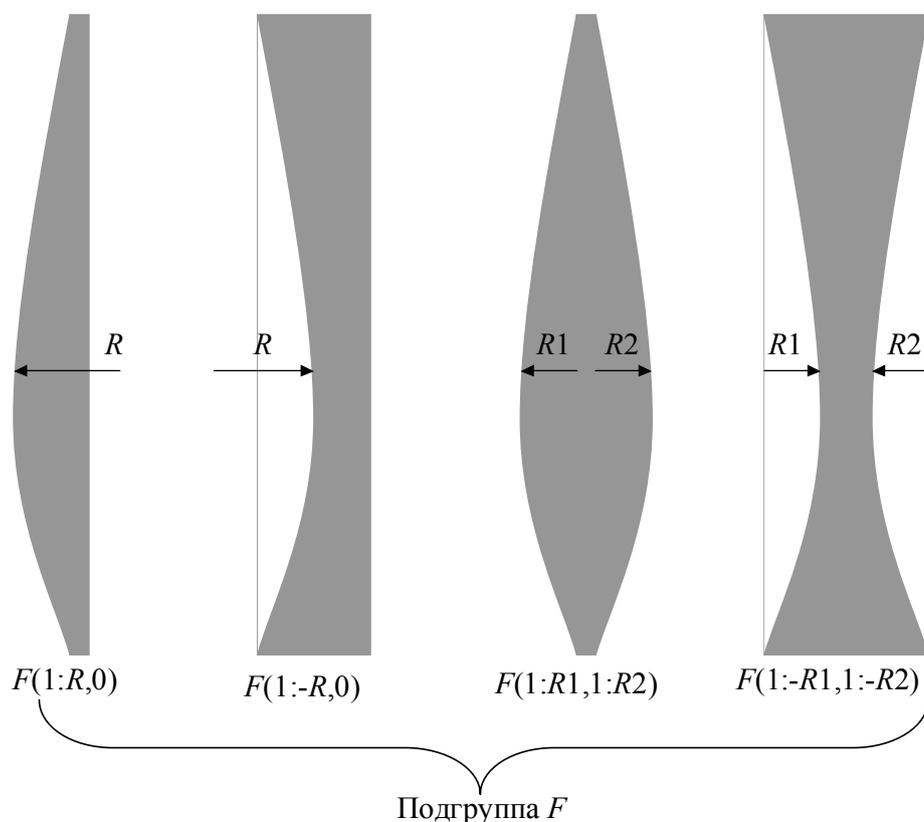


Рис. 5. Классификация двойников по выпуклости или вогнутости их границ

Аналогично для двойников с несдвойникованными внутри их областями (рис. 6) можно записать

$$AN(n_1n_2n_3n_4)D(k_1k_2k_3), \quad (5)$$

где k_1 обозначает наличие несдвойникованных областей внутри двойника вдали от его вершин; k_2 и k_3 указывают на наличие таких областей у вершин двойника (рис. 6).

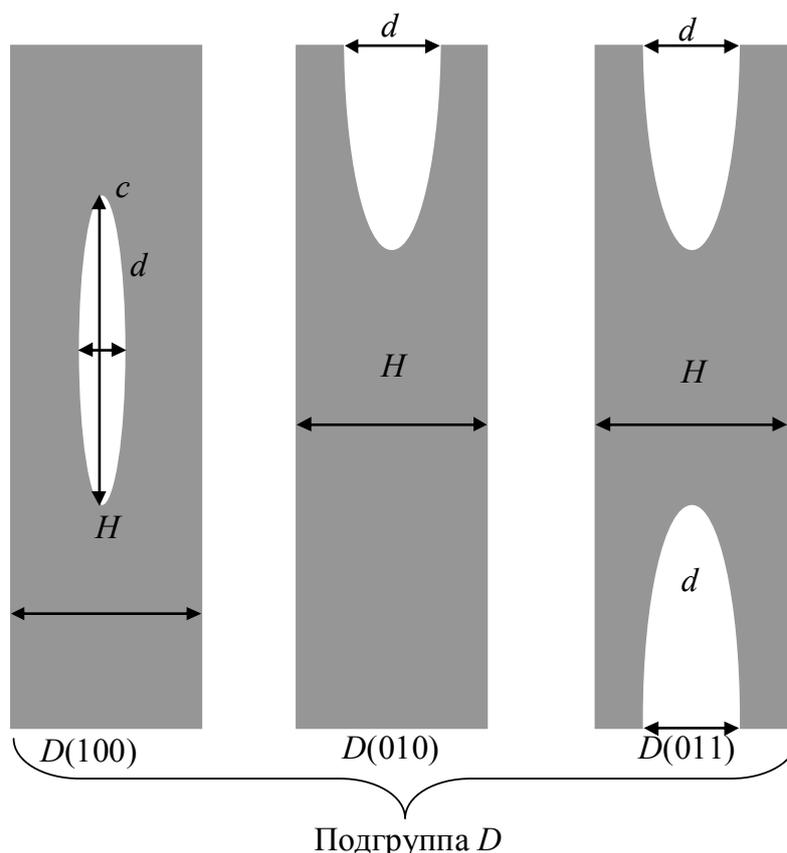


Рис. 6. Подгруппа двойников с несдвойникованными внутри их областями

На рис. 7 показаны микрофотоснимки некоторых групп полисинтетических двойников. Двойник в полисинтетическом двойнике, указанный на рис. 7, а стрелкой, имеет несдвойникованную область внутри. На рис. 7, б показано пересечение полисинтетического двойника двойником другого кристаллографического направления. Такая ситуация, показанная на рис. 7, в, привела к изменению формы двойника в полисинтетическом двойнике. Интересна ситуация, представленная на рис. 7, г, где несдвойникованная область внутри двойника расположена ближе к одной из границ двойника. Это указывает на то, что несдвойникованные области внутри двойника могут формироваться не только в результате огибания двойниковой прослойкой в процессе ее развития некоторого препятствия, но и в результате слияния двух параллельных двойников.

Следует отметить, что с увеличением интенсивности деформирования или в результате энергетической обработки возможны переходы полисинтетических двойников из одной группы в другую. В качестве примера приведем фрагмент эволюции полисинтетического двойника, формируемого при увеличении интенсивности сжа-

тия монокристалла висмута в направлении, благоприятном для развития двойникова с точки зрения ориентационного фактора Шмида:

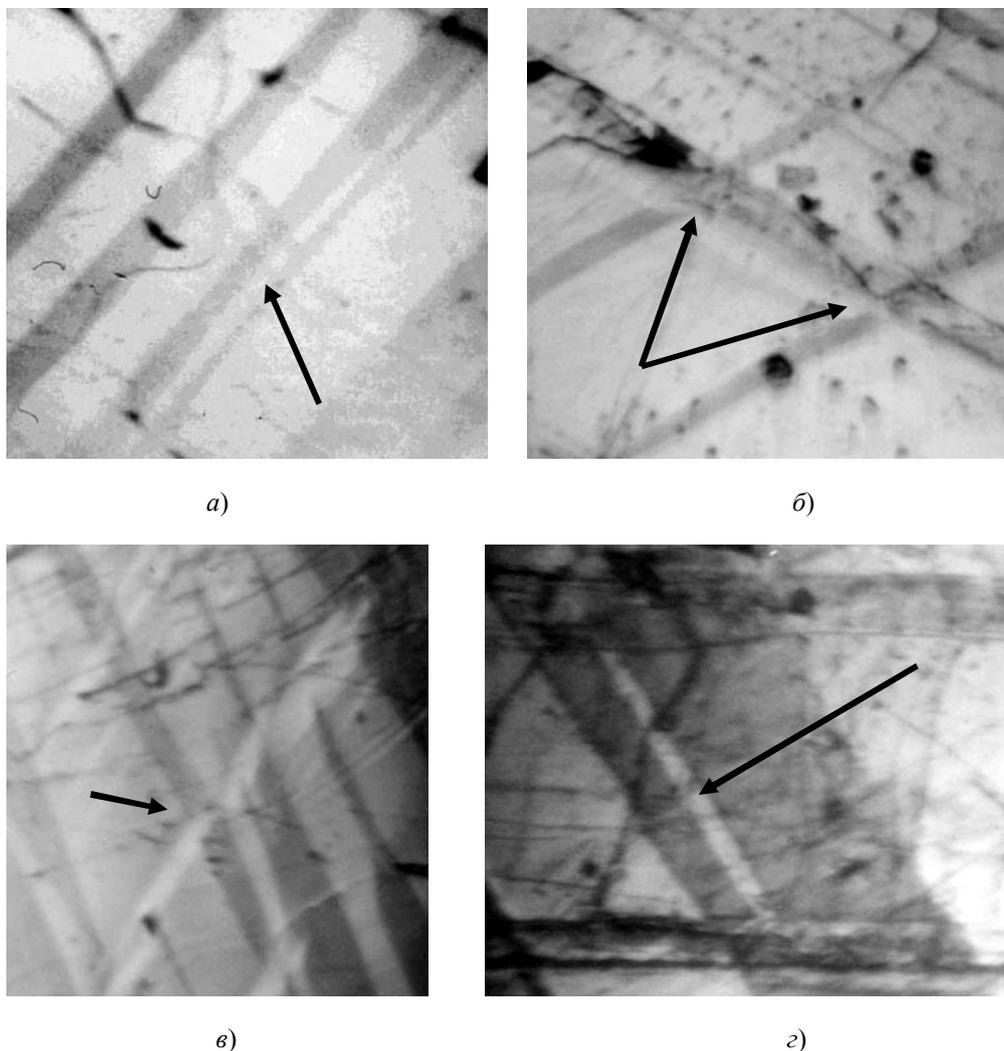
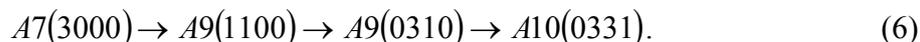


Рис. 7. Фрагменты полисинтетических двойников различных групп: *a* – $D(010)$; *б* – $AN(0010)$; *в* – $AN(0010)D(010)$; *з* – $D(100)$

Эта формула говорит о том, что при малых деформациях полисинтетический двойник состоял из семи двойников, в периодической структуре которого отсутствовало три двойника. С ростом интенсивности сжатия в полисинтетическом двойнике появились еще два двойника (общее число двойников в полисинтетическом двойнике стало равным девяти), две свободные позиции заняты двойниками, в результате чего число отсутствующих двойников в полисинтетическом снизилось до одного и появился двойник в междвойниковом пространстве. Таким образом, с ростом усилия сжатия растет общее число двойников в полисинтетическом двойнике. Дальнейшее увеличение степени деформации приводит к исчезновению свободных областей в полисинтетическом двойнике и увеличению числа двойников в междвойниковом пространстве до трех. Более того, появился двойник иного кристаллографического направления. И на последнем этапе эволюции в заданном интервале усилий деформирования монокристалла полисинтетический двойник состоит из десяти двойников, число свободных областей и число двойников в междвойниковом пространстве

остаётся прежним, но появляются три дополнительных двойника иных кристаллографических направлений.

Запись (6) определяет эволюцию полисинтетического двойника только по взаимному расположению друг относительно друга отдельных, входящих в его состав, двойников. Аналогичным образом разработанная в данной работе классификация позволяет проследить и эволюцию форм отдельных двойников полисинтетического двойника в зависимости от условий деформирования.

Таким образом, впервые предложена классификация полисинтетических двойников как по степени нарушения периодичности во взаимном расположении двойников друг относительно друга, так и по форме границ отдельных двойников, входящих в состав полисинтетического двойника. Это позволило рассматривать переходы полисинтетических двойников из одной классификационной группы в другую в зависимости от условий деформирования монокристаллов, что упрощает физический анализ деформационной картины монокристаллов при их полисинтетическом двойниковании.

Работа поддержана ФФИ Республики Беларусь (грант Ф05М-009).

Литература

1. Полухин, П. И. Физические основы пластической деформации / П. И. Полухин, С. С. Горелик, В. К. Воронцов. – Москва : Металлургия, 1982. – 584 с.
2. Классен-Неклюдова, М. В. Механическое двойникование кристаллов / М. В. Классен-Неклюдова. – Москва : АН СССР, 1960. – 262 с.
3. Остриков, О. М. Ветвление клиновидных двойников в монокристаллах висмута, деформированных сосредоточенной нагрузкой / О. М. Остриков // Физика металлов и материаловедение. – 1999. – Т. 87, № 1. – С. 94–96.

Получено 12.01.2006 г.