

Симанович Н.М., Остриков О.М., Кульгейко М.П.

## ВЛИЯНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ СКРАЙБИРОВАНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ МЕХАНИЧЕСКОГО ДВОЙНИКОВАНИЯ НА ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДВОЙНИКОВЫХ АНСАМБЛЕЙ В МОНОКРИСТАЛЛЕ ВИСМУТА

**Введение.** Результаты исследования зарождения и развития деформационных двойников, возникающих в условиях скрайбирования поверхности индентором [1, 2], свидетельствуют о наличии особенностей формирования двойниковых ансамблей в области границ царапины, образованной движущимся индентором. Картина двойникования при скрайбировании отличается большей многофакторностью и, следовательно, большей неопределенностью по сравнению с образованием двойников при вдавливании индентора [3, 4].

Установлены некоторые количественные закономерности двойникования при скрайбировании в зависимости от нагрузки на индентор и длины пути скрайбирования [2]. В данных условиях нагружения деформационная картина складывается как результат образования двойников у отпечатка индентора при его опускании, генерации двойников вдоль границ царапины при скрайбировании и двойников в области отпечатка индентора при его остановке. Наиболее значительные особенности двойникования наблюдаются у границ царапины с учетом воздействия генерации двойников, прилегающих областей деформации [1].

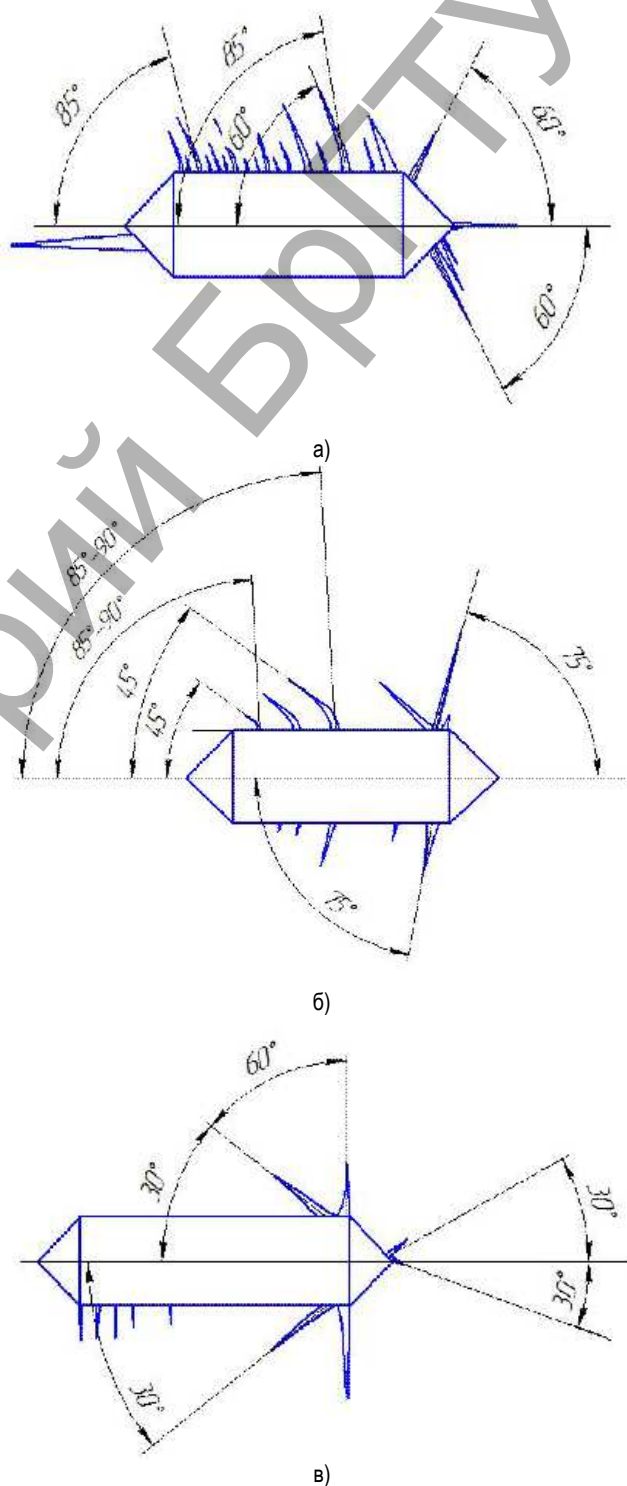
**Цель работы** – исследование особенностей образования двойников в монокристалле висмута в зависимости от направления скрайбирования его поверхности (111) относительно кристаллографических направлений механического двойникования.

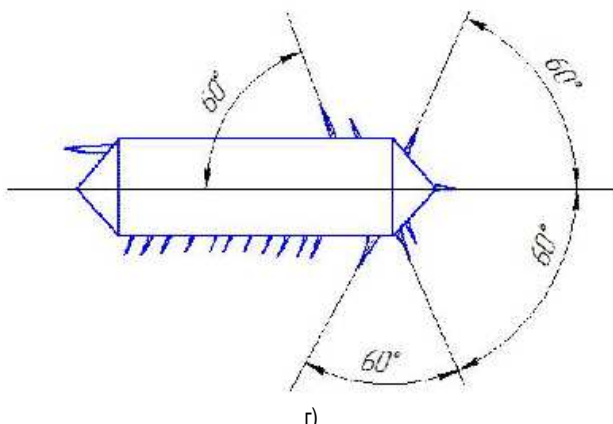
**Методика эксперимента.** Исследования проводились на монокристаллах висмута, выращенных горизонтальным методом Бриджмена. Образцы получали раскалыванием выращенных монокристаллов вдоль плоскости спайности (111). В качестве индентора использовалась алмазная пирамида Виккерса микротвердомера ПМТ-3. Исследования проводились в условиях последовательного воздействия на конденсированную систему комбинированной нагрузкой: вначале вдавливанием индентора нагрузкой  $P = 0.1, 0.2$  и  $0.3$  Н, а затем скрайбированием в направлении ребра пирамиды. Скрайбирование осуществляли длиной  $L_c = 50, 100$  и  $150$  мкм под углом  $\alpha = 0^\circ, 15^\circ$  и  $30^\circ$  относительно выделенного направления двойникования. Геометрия, форма и расположение двойников и сопутствующая им деформационная картина изучалась методом оптической микроскопии. Аналогично [1] анализ двойниковых ансамблей выполняли с выделением трех областей образования и развития двойников: область отпечатка при опускании индентора; область вдоль границ царапины; область остановки индентора.

**Результаты и их обсуждение.** На рис. 1 представлены результаты исследования образования двойников при различных направлениях скрайбирования в виде типовых схем расположения двойниковых ансамблей, сформированных при царапании поверхности монокристалла под углом  $\alpha = 0^\circ, 15^\circ$  и  $30^\circ$  относительно выбранного направления двойникования с различной нагрузкой вдавливания индентора. В области опускания индентора угловое расположение двойников закономерно отражает кристаллографию двойникования монокристалла висмута. Направление двойников во всех вариантах скрайбирования образует сетку с углом  $60^\circ$ . При этом для скрайбирования при  $\alpha = 0^\circ$ , двойники расположены вдоль царапины под углом  $60^\circ$  к оси царапины (рис. 1, а, г).

При скрайбировании под углами  $\alpha = 15^\circ$  и  $\alpha = 30^\circ$  по отношению к направлению движения индентора базовая сетка двойниковых ансамблей повернута на углы  $15^\circ$  и  $30^\circ$ , соответственно (рис. 1, б, в).

Симанович Н.М., Остриков О.М., Кульгейко М.П., учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», e-mail: oostrikov@mail.ru.  
Беларусь, 246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.





г)

а –  $\alpha = 0^\circ$ ,  $P = 0,3$  Н; б –  $\alpha = 15^\circ$ ,  $P = 0,2$  Н;

в –  $\alpha = 30^\circ$ ,  $P = 0,1$  Н; г –  $\alpha = 0^\circ$ ,  $P = 0,1$  Н

**Рисунок 1** – Картина образования двойников ансамблей при различных условиях скрайбирования (направление скрайбирования – влево)

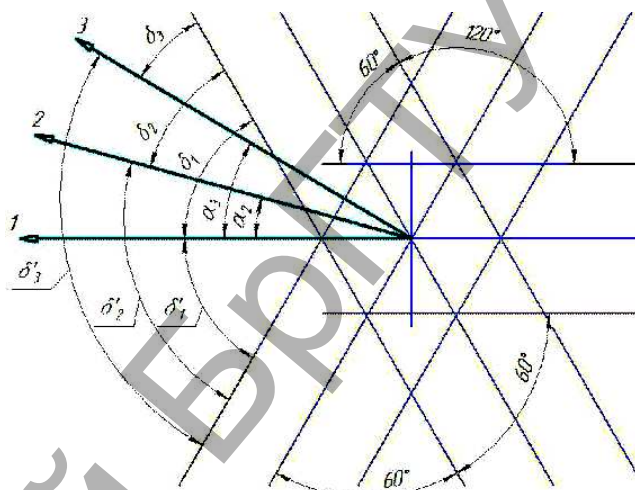
Здесь необходимо обратить внимание на двойники, расположенные в самом начале царапины. Очевидно, что источник зарождения двойников в этой области – деформация нормального к поверхности (111) вдавливания индентора, а не деформация скрайбирования. При перемещении же индентора происходит деформирование устья находящихся на пути скрайбирования образовавшихся при вдавливании индентора двойников. Это активирует генерацию новых двойникообразующих дислокаций, способствующих подрастанию двойников. Этот процесс аналогичен образованию двойников при повторном деформировании индентором [5]. Подтверждением этому являются размерные характеристики этих двойников. Они превышают характеристики двойников, расположенных у границ царапины далее по ходу скрайбирования.

Кристаллографические направления двойникования в монокристалле висмута можно представить как сетку двойников, ориентированных друг по отношению к другу под углом  $60^\circ$  (рис. 2). При скрайбировании под углом  $\alpha_1 = 30^\circ$  (направление 1) двойники располагаются под углами  $\delta_1 = \delta'_1 = 60^\circ$  к оси царапины (см. рис. 1, а, г). При скрайбировании при  $\alpha_2 = 15^\circ$  (направление 2) и  $\alpha_3 = 30^\circ$  (направление 3) базовая сетка двойников ансамблей повернута на угол  $15^\circ$  и  $30^\circ$ , соответственно, т. е. при скрайбировании с  $\alpha_2 = 15^\circ$  двойники расположены под углом  $\delta_2 = 45^\circ$  и  $\delta_2' = 75^\circ$  к оси царапины (см. рис. 1, б). А при  $\alpha_3 = 30^\circ$  – направления двойников к оси царапины образуют углы  $\delta_3 = 30^\circ$  и  $\delta_3' = 90^\circ$  (см. рис. 1, в). То есть в целом базовая сетка двойников ансамблей остается инвариантной по отношению к направлению скрайбирования и определяется только параметрами кристаллической решетки монокристалла висмута.

Характерной особенностью двойникования при скрайбировании является образование серповидных двойников вдоль границ царапины [1]. Такая форма двойников образуется, преимущественно, при больших поперечных размерах царапины, т. е. когда скрайбирование осуществляется при большой глубине вдавливания индентора. В данной серии экспериментов такая форма двойников наблюдается при увеличении нагрузки на индентор от 0,1 Н (рис. 1, в, г) до 0,2 Н (рис. 1, б) и 0,3 Н (рис. 1, а).

Искривление двойников обусловлено особенностями напряженно-деформированного состояния вдоль границ царапины, созданного движущимся индентором. Перемещающийся под большой нагрузкой индентор вызывает в кристалле механические напряжения, под действием которых происходит пластическая деформация монокристалла висмута у границ царапины. Данная пластическая деформация приводит к искривлению плоскостей двойникования. Поэтому зарождение двойникообразующих дислокаций и их распространение в области, прилегающей к границам царапины, происходит в условиях

искаженной кристаллической решетки, приводя к искривлению двойника, придающему ему серповидную форму. Очевидно, что направление распространения двойникообразующих дислокаций в этой области отклоняется от расположения сетки двойниковых ансамблей в недеформированной области кристалла. Так, на рис. 1, а представлена картина, где устье серповидных двойников у границы царапины по отношению к направлению скрайбирования имеет направление около  $\sim 85^\circ$ , а не  $60^\circ$ , как при малых нагрузках на индентор, когда искажения кристаллической решетки незначительны.



1 –  $\alpha_1 = 0^\circ$ ; 2 –  $\alpha_2 = 15^\circ$ ; 3 –  $\alpha_3 = 30^\circ$ ;  $\delta$  – направление скрайбирования в выбранной за базовую сетке двойников: 1 –  $\delta_1 = \delta'_1 = 60^\circ$ ; 2 –  $\delta_2 = 45^\circ$ ,  $\delta_2' = 75^\circ$ ; 3 –  $\delta_3 = 30^\circ$ ,  $\delta_3' = 90^\circ$

**Рисунок 2** – Сетка двойников при скрайбировании поверхности (111) монокристалла висмута:  $\alpha$  – направление скрайбирования

На рис. 1, б, при направлении скрайбирования по отношению к базовой сетке двойников  $45^\circ$ , угол направления серповидных двойников у устья по отношению к направлению движения индентора составил  $85^\circ - 90^\circ$ .

О причине образования серповидных двойников, связанной с искривлением плоскостей двойникования, в условиях скрайбирования при высоких нагрузках на индентор свидетельствует также картина двойникования, представленная на рис. 1, г. На этом рисунке показана схема расположения двойников при скрайбировании с внедрением индентора с относительно небольшой нагрузкой,  $P = 0,1$  Н. Как следствие, царапина имеет небольшую ширину. Образование царапины происходит с меньшими напряжениями и вызывает незначительную деформацию кристаллической решетки в прилегающей к движущемуся индентору области кристалла. Поэтому при базовой сетке двойников с углом  $60^\circ$  ( $\alpha_1 = 0^\circ$ ), в области зарождения траектория движения двойникообразующих дислокаций незначительно отклоняется от данного направления и двойники у устья образуют угол  $65-70^\circ$  к направлению скрайбирования (рис. 1, г). А при скрайбировании с углом  $\alpha_3 = 30^\circ$  по отношению к выбранному направлению двойникования и  $P = 0,1$  Н заметного искривления двойников вообще не наблюдается, и они располагаются по направлениям базовой сетки двойникования, т. е. под углом  $90^\circ$  к оси царапины (рис. 1, в).

**Заключение.** Таким образом, анализ результатов исследования механического двойникования при скрайбировании позволяет сделать следующие выводы:

1. При скрайбировании монокристалла висмута формируются двойниковые ансамбли, которые в соответствии с кристаллографией двойникования образуют базовую сетку двойников с углом  $60^\circ$ , инвариантную к направлению скрайбирования.
2. Изменение направления скрайбирования приводит к формированию базовой сетки двойниковых ансамблей, повернутой на соответствующий угол к оси царапины. Например, при угле

- скрайбирования  $\alpha_{2,3} = 15^\circ$  и  $30^\circ$  двойники базовой сетки расположены под углами  $\delta_2 = 45^\circ, 75^\circ$  и  $\delta_3 = 30^\circ, 90^\circ$  соответственно.
- С увеличением глубины внедрения индентора возрастают механические напряжения у царапины и как следствие, увеличивается деформация и искажение кристаллической решетки вдоль границ царапины. В результате угловое направление двойников у устья отличается от расположения базовой сетки двойниковых ансамблей недеформированной области кристалла.
  - В начале царапины наблюдаются двойники, первоначально образованные от нормального к поверхности (111) монокристалла висмута внедрения индентора и подрастающие в результате деформации у устья при скрайбировании.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Кульгейко, Н.М. Особенности двойникования монокристалла висмута при скрайбировании его поверхности (111) индентором Виккерса / Н.М. Кульгейко, О.М. Остриков // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2015. – № 2(61). – С. 42–50.

- Кульгейко, Н.М. Закономерности образования двойников у границ царапины при скрайбировании поверхности (111) монокристалла висмута индентором Виккерса / Н.М. Кульгейко, О.М. Остриков // Веснік Магілёўскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.А. Куляшова. – 2016. – № 1(47). – С. 74–81.
- Савенко, В.С. Двойникование монокристаллов висмута, облученных ионами бора / В.С. Савенко, В.В. Углов, О.М. Остриков, А.П. Ходоскин // Письма в журнал технической физики. – 1998. – Т. 24, № 8. – С. 1–9.
- Савенко, В.С. Влияние импульсов электрического тока на двойникование монокристаллов висмута, облученных ионами углерода / В.С. Савенко, В.В. Углов, О.М. Остриков, А.П. Ходоскин // Физика металлов и металловедение. – 1998. – Т. 85, № 5. – С. 96–105.
- Камышанченко, Н.В. Исследование динамики двойникования в титане ВТ1-0 методом акустической эмиссии / Н.В. Камышанченко, И.С. Никулин, М.С. Кунгурцев // Перспективные материалы. – 2010. – № 5. – С. 93–98.

Материал поступил в редакцию 10.10.2017

#### SIMANOVICH N.M., OSTRIKOV O.M., KULGEYKO M.P. Influence of the direction of a skraybirovaniye of rather crystallographic directions of a mechanical dvoynikovaniye on features of formation of twinning ensembles in a monocrystal

Article is devoted to a research of features of formation of twinning ensembles in a bismuth monocrystal when scrubbing. Crystals of bismuth are widely applied in electronics to creation of various devices. At the same time the dvoynikovaniye has significant effect on properties of a crystal and a possibility of his use. Therefore studying of regularities of emergence of twinning ensembles and their characteristics is important for forecasting of properties and applicability of crystals.

УДК 629.123: 665.61

**Дронченко В.А.**

## ПОЛУЧЕНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ЭМУЛЬСИИ НА ОСНОВЕ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ И ЕЕ УТИЛИЗАЦИЯ

**Введение.** В жидких отходах ремонтного предприятия содержатся моторные и трансмиссионные масла, консистентные смазки, топливные фракции, смазочно-охлаждающие и промывочные жидкости и др. [1]. Доля масел в нефтесодержащей составляющей отходов составляет 94 % [1]. Состояние их сбора и утилизации следует признать неудовлетворительным. Так, в Республике Беларусь ежегодно потребляется около 100 тысяч тонн автомобильных и промышленных масел [2]. Количество отходов, образующихся в результате использования масел, составляет 80–85 % от их первоначального объема. Ежегодно предприятиями страны собирается и перерабатывается (без учета сжигания, как правило, энергозатратного) всего 8,3 тысяч тонн отработанных масел, что составляет менее 10 % от потребления [2]. Между тем, мировой сбор отработанных масел составляет 15 млн т/год [1] (около 50 % производства свежих).

Накопление различные нефтесодержащих отходов (НСО) на машиностроительных и ремонтных предприятиях во многом объясняется теми требованиями, которые предъявляются к отработанным нефтепродуктам, предназначенным для регенерации, очистки и использованию взамен или наряду с другими нефтепродуктами [3]. Так, согласно [3] смеси отработанных нефтепродуктов, сдаваемые организациям нефтепродуктообеспечения, должны иметь массовую долю механических примесей не более 1 %, воды – не более 2 %, кроме того в них должны отсутствовать загрязнения. Для выполнения требований ГОСТ 21046-86 необходимо наличие на предприятии дорогостоящего специализированного оборудования. Это, в свою очередь, в сочетании с большими расходами на транспортировку к местам централизованной приемки, для большинства предприятий

делает сбор экономически нецелесообразным. Для таких предприятий перспективным является поиск способов применения отработанных НСО непосредственно на предприятии либо на предприятиях данного региона, причем желательно с минимальными затратами на очистку и переработку.

Одним из возможных способов такого применения является получение эмульсий и на основе отработанных НСО с помощью ударных волн, возникающих при работе пневматического излучателя, с последующим использованием их в качестве добавки к основному топливу котельных установок. В этом случае вода, входящая в состав эмульсии на основе НСО, будет не недостатком, а фактором, способствующим снижению выбросов вредных веществ в атмосферу при работе котельных установок. Серьезной проблемой для применения этого способа является получение эмульсии с требуемой стабильностью.

**Цель работы** – исключить загрязнение почвы и водного бассейна нефтесодержащими отходами участка разборки и очистки технологического оборудования и уменьшить массу вредных выбросов котельных в воздушный бассейн.

**Материалы, оборудование и методы.** Объектом исследования являются НСО участка по разборке и очистке технологического оборудования и его деталей; процессы их эмульгирования и сжигания. Нефтесодержащая часть отходов включает (% объема): масла моторные 65–90, масла трансмиссионные 6–10; топливные фракции 2–6, консистентные смазки 1–2 и содержащие масла отработанные растворы технических моющих средств. Согласно [4], все они могут быть использованы в качестве компонента топлива (таблица 1).

**Дронченко Владимир Александрович**, старший преподаватель кафедры технологии и оборудования машиностроительного производства УО «Полоцкий государственный университет», e-mail: v.dronchenko@psu.by.  
Беларусь, ПГУ, 211440, г. Новополоцк Витебской обл., ул. Блохина, 29.