

УДК [621.7.015:620.191.35]:679.822

А. В. Волошин, Л. А. Литвинов, Е. В. Слюнин (г. Харьков)

Влияние кристаллографической ориентации на шероховатость поверхности сапфира при алмазной обработке

Изучено влияние кристаллографической ориентации сапфира и его отжига на шероховатость поверхности при алмазном шлифовании и полировании.

Ключевые слова: сапфир, шлифование, полирование, отжиг, шероховатость поверхности, кристаллографическая ориентация.

Существующие технологии алмазно-абразивной обработки сапфира являются трудоемкими, поэтому затраты на получение требуемого качества поверхности составляют значительную часть стоимости детали [1]. Одной из главных задач обработки сапфира является удаление нарушенного дефектного слоя и получение необходимого качества поверхности [2]. Для достижения низкой шероховатости, а также исключения стадии финишной обработки для некоторых типов изделий, необходимо проведение более детальных исследований, в частности, исследования влияния кристаллографической ориентации на состояние обработанной поверхности.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследования проводили на плоскопараллельных образцах размером $3 \times 4 \times 40$ мм, вырезанных из сапфира с ориентацией исследуемых плоскостей (0001), $\{10\bar{1}0\}$, $\{11\bar{2}0\}$ и $\{10\bar{1}2\}$. Параметры шероховатости поверхности после различных видов обработки измеряли профилометром-профилографом TR-200. Образцы последовательно обрабатывали закрепленным абразивом АС зернистостью 100/80, 80/63, 63/50, а затем полировали алмазными микропорошками АСМ зернистостью 28/20, 10/7, 3/2 в свободном состоянии. Шлифованные и полированные образцы отжигали в течение 4 ч при 1850 °С в вакууме.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В связи с анизотропией сапфира различные кристаллографические плоскости обрабатываются по-разному, что, соответственно, сказывается на состоянии поверхности после обработки [3, 4]. Так, параметр шероховатости шлифованной поверхности в плоскости $\{11\bar{2}0\}$ меньше, чем плоскости базиса (0001), что особенно заметно при обработке закрепленным абразивом АС 100/80 (рис. 1). Наблюдаемые различия в состоянии поверхности плоскости базиса и призмы, по-видимому, обусловлены тем, что плоскостями скола в сапфире являются плоскости призмы. В процессе шлифования на поверхности создается слой сплошной трещиноватости, а из этого слоя по образовавшимся трещинам выкрашиваются частицы. Важным параметром, влияющим на шероховатость поверхности, является угол между направлением распро-

странения трещины и поверхностью образца. При обработке плоскости базиса трещины образуются под большим ($\sim 80\text{--}110^\circ$) углом к поверхности обработки, для плоскостей призмы этот угол существенно меньше ($\sim 5\text{--}40^\circ$). В первом случае образуются глубокие каверны, во втором – существенно менее глубокие и широкие, что способствует уменьшению шероховатости.

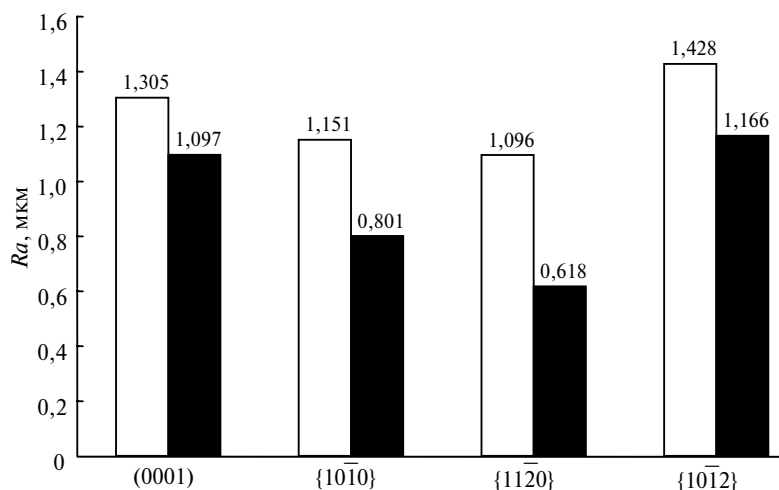


Рис. 1. Влияние кристаллографической ориентации сапфира на шероховатость его поверхности при шлифовании закрепленными зернами алмазного шлифпорошка зернистостью 100/80 (до (□) и после (■) отжига в вакууме).

Для полированных поверхностей сапфира наблюдается обратная картина – максимальная шероховатость в плоскости $\{11\bar{2}0\}$, минимальная – в плоскости $\{10\bar{1}2\}$ (рис. 2). Шероховатость полированных поверхностей сапфира коррелирует с микротвердостью соответствующих плоскостей. Так, в направлении $\langle 10\bar{1}2 \rangle$ кристалла микротвердость и сопротивление сверлению максимальные [5].

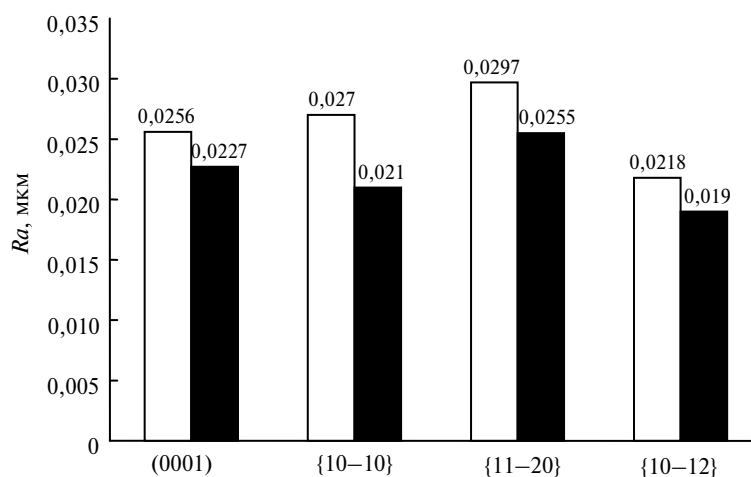


Рис. 2. Влияние кристаллографической ориентации сапфира на шероховатость его поверхности при полировании алмазными микропорошками в свободном состоянии зернистостью 10/7 (до (□) и после (■) отжига в вакууме).

Сравнение профилограмм поверхности $\{11\bar{2}0\}$ образцов до и после отжига показывает существенное различие их по характеру и величине микронеровностей (рис. 3). Для образцов, шлифованных закрепленным абразивом (АС 100/80), средняя величина микронеровностей профиля $Ra \approx 1$ мкм. Высокотемпературный отжиг снижает шероховатость поверхности в 2 раза ($Ra \approx 0,5$ мкм).

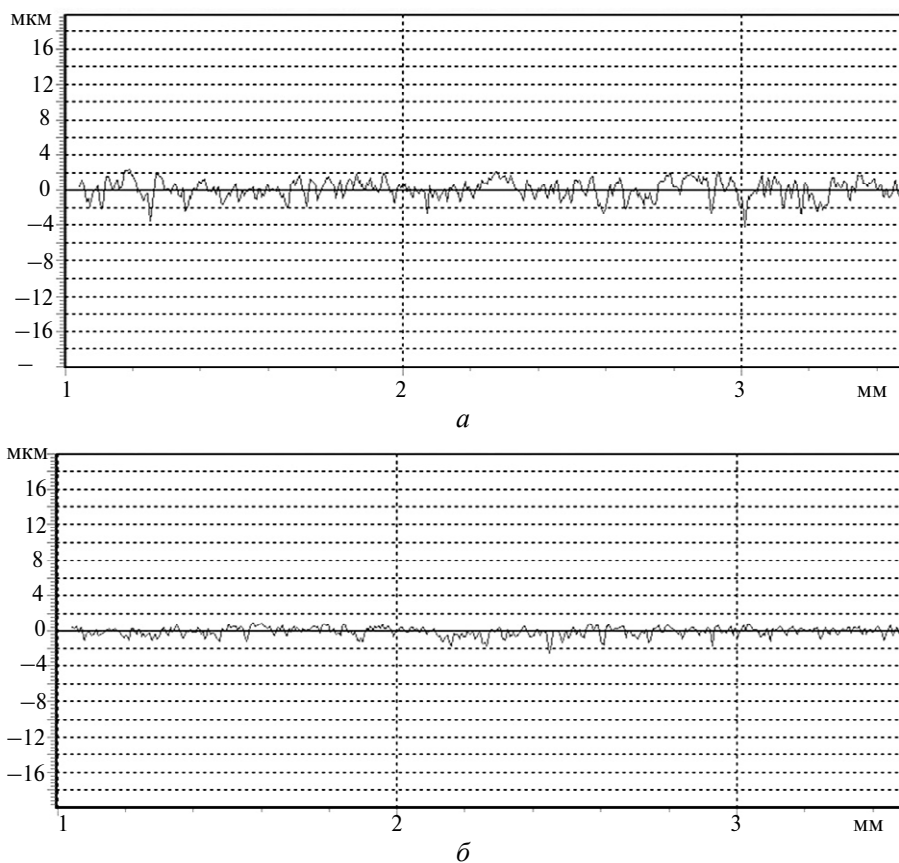


Рис. 3. Типичные профилограммы поверхности сапфира в плоскости $\{11\bar{2}0\}$, обработанной закрепленным абразивом (АС 100/80) до (а) и после (б) отжига при температуре 1850 °С в течение 4 ч; $Ra \approx 1$ (а) и 0,6 (б) мкм.

Термообработка шлифованных образцов существенно улучшает качество поверхности вследствие рекристаллизации дефектного приповерхностного слоя и испарения загрязняющих этот слой включений [6–8]. При этом уменьшается высота неровностей, увеличивается среднее расстояние между ними (рис. 4), повышается класс обработки, параметр шероховатости Ra уменьшается на 15–45 % (см. рис. 1).

При термообработке полированной поверхности параметр шероховатости уменьшается на 12–22 % (см. рис. 2).

При более высокой (~ 2000 °С) температуре отжига для полированных образцов наблюдается иная картина. Хотя плотность дислокаций на поверхности оказывается равной объемной плотности и практически полностью исчезает слой с повышенной плотностью дислокаций, шероховатость поверхно-

сти увеличивается. Из-за термического травления поверхности ухудшаются оптические свойства [3].

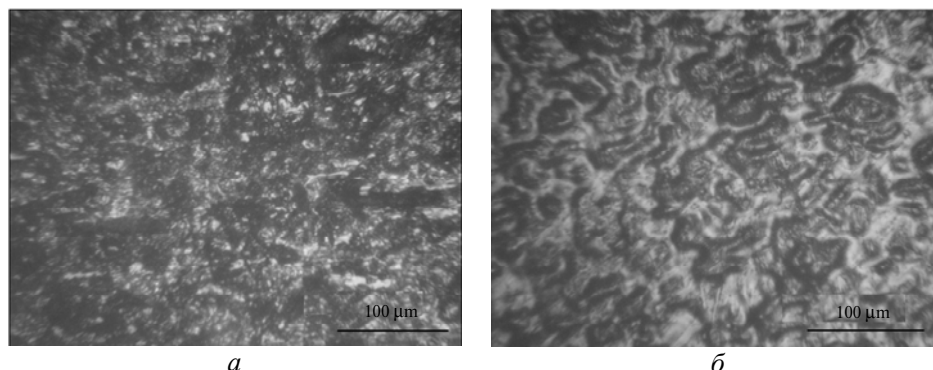


Рис. 4. Микроснимки шлифованной (АС 100/80) поверхности сапфира до (а) и после (б) отжига.

Таким образом, максимальный эффект достигается вакуумным отжигом изделий из сапфира с шероховатостью поверхности $Ra \geq 1$ мкм.

ВЫВОДЫ

При прочих равных условиях параметр шероховатости Ra поверхности сапфира при обработке зависит от кристаллографической ориентации обрабатываемых граней. Минимальный параметр шероховатости для шлифованных поверхностей наблюдается в плоскости $(11\bar{2}0)$, для полированных – в плоскости $(10\bar{1}2)$.

Отжиг в вакууме уменьшает шероховатость шлифованных образцов на 15–45 %, а полированных на 12–22 % по сравнению с исходным состоянием.

Вивчено вплив кристаллографічної орієнтації сапфіру та його відпалу на шорсткість поверхні при алмазному шліфуванні та поліруванні.

Ключові слова: сапфір, шліфування, полірування, відпал, шорсткість поверхні, кристаллографічна орієнтація.

The influences of the crystallographic features and thermal treatment on the roughness of the sapphire surface with a diamond grinding and polishing are studied.

Keywords: sapphire, grinding, polishing, annealing, surface roughness, crystallographic orientation.

1. *Рогов В. В., Рублев Н. Д., Троян А. В., Попельнюк В. Н.* Развитие технологии прецизионной обработки функциональных поверхностей оптических и электронных деталей из синтетического монокорунда (сапфира) // *Сверхтв. материалы.* – 2002. – № 5. – С. 83.
2. *Kaltaev Kh. Sh-ogly, Sidelnicova N. S., Danco A. Ya. et al.* Thermochemical etching of sapphire in CO + H₂ gas atmosphere // *Functional Materials.* – 2010. – 17, N 3. – P. 395–400.
3. *Волошин А. В., Литвинов Л. А., Островская Е. Л. и др.* Влияние кристаллографической ориентации на трибологические характеристики монокристаллов корунда // *Материалы электронной техники.* – 2004. – № 1. – С. 16–19.
4. *Добровинская Е. Р., Литвинов Л. А., Пищик В. В.* Энциклопедия сапфира. – Харьков: Ин-т монокристаллов НАНУ. – 2004. – 510 с.
5. *Голубь Б. И.* Синтетический корунд и его применение в промышленности: обзор зарубежной техники. – М., 1961. – 7 с.

6. *Добровинская Е. Р., Литвинов Л. А., Рубинов Ю. А.* Влияние термического и механического воздействия на свойства сапфирового полого волновода волновых ИК-лазеров // Оптико-механическая промышленность. – 1991. – № 7. – С. 32–34.
7. *Довгань М. Е., Зайцева В. И., Шахнович М. И.* Влияние способа полировки на состояние поверхности и прозрачность монокристаллического корунда // Физика и химия обработки материалов. – 1976. – № 4. – С. 146–148.
8. *Кривонос Е. В.* Влияние условий отжига на оптические и механические характеристики монокристаллов корунда: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Харьков, 1989. – 20 с.

Ин-т монокристаллов НТК
“Институт монокристаллов” НАН Украины

Поступила 12.07.11