

Письма в редакцию

УДК 548.52:679.822

П. В. Коневский*, **Р. Е. Бродский**,
Л. А. Литвинов (г. Харьков)
**kopamas@gmail.com*

Ударная фрагментация сапфира

Методом ударного разрушения испытаны образцы отожженного в вакууме сапфира, упрочненного сапфира и стекла марки Gorilla Glass. Установлено, что размеры образовавшихся осколков образцов из сапфира в 10–100 раз больше осколков стекла при одинаковой энергии удара.

Ключевые слова: сапфир, разрушение, фрагментация, прочность.

ВВЕДЕНИЕ

Монокристаллы сапфира сочетают высокую прозрачность в видимом диапазоне со стойкостью к механическим нагрузкам и абразивному износу [1]. Альтернативные материалы – стекло, шпинель $MgAl_2O_4$ и $AlON$ – уступают сапфиру по износостойкости или прозрачности в видимом диапазоне [2]. Одной из характеристик механических свойств материала является ударная прочность. Ударная фрагментация представляет собой разрушение материала одним ударом с заданной энергией и является этапом ряда технологических процессов и методов испытаний. В настоящее время для защиты экранов устройств широко используется упрочненное стекло марки Gorilla Glass, которое обладает большей прочностью на изгиб по сравнению с сапфиром и меньшей твердостью по Виккерсу – 6,5 ГПа (твердость сапфира – 22 ГПа), однако ударостойкость этого стекла не определена.

Целью данной работы было количественное сравнение ударной прочности сапфира, упрочненного сапфира и стекла.

ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Сапфировые стержни были выращены методом Степанова из сырья HP:DA[®], а затем отожжены в вакууме, часть упрочнена отжигом в H_2 при температуре 1700 °С по методике, разработанной для изготовления прозрачной брони [3]. Сырье для выращивания синтезируется плазменным методом при температуре порядка 10 000 °С и не содержит ОН-групп, поэтому кристаллы, выращенные из него, характеризуются более высокими прочностными свой-

ствами. Образцы имели одинаковую плотность структурных дефектов (плотность вакансий и малоугловые границы), так как были вырезаны из одного кристалла. Для экспериментов использовали сапфировые диски диаметром 4,4 мм и толщиной 1,2 мм. Базисная плоскость (0001) была параллельна плоскости диска. Для сравнения было выбрано наиболее прочное стекло марки Gorilla Glass.

Образцы разрушали на ударной установке копрового типа (рис. 1). Масса груза – 3,3 кг, высоту падения груза регулировали. Была выбрана высота падения ударника, равная 18 см, так как при такой высоте действующая на образец сапфира нагрузка разрушала его на фрагменты, имеющие широкий диапазон масс. При меньшей нагрузке (высота падения груза – 12 см) образцы разрушались на 2–5 фрагментов, а при большей (30 см) – на большое количество мелких осколков, которые нельзя было взвесить на аналитических весах, но можно было определить их массу методом фотографирования на предметном стекле.

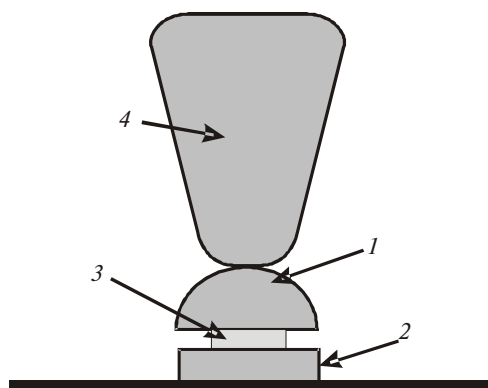


Рис. 1. Схема установки для дробления образцов: 1 – ударник; 2 – наковальня; 3 – кристалл; 4 – груз.

При разрушении между двумя металлическими пластинами образцы нагружаются не по всей поверхности, а в случайных точках прикосновения. Для повышения равномерности нагрузки образцы помещали в капсулу из полиэтилена. Полиэтилен заполнял объем между плоскостями ударников и образцом. В результате при той же нагрузке сапфир не разрушался или разрушался на 4–6 крупных осколков, а характер разрушения стекла не изменился. Разрушение стекла марки Gorilla

Glass подобно сапфиру (на 30–80 осколков) происходило только лишь после уменьшения высоты падения груза с 18 до 3 см.

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Осколки рассыпали по предметному стеклу и фотографировали. Затем определяли площадь их изображения на снимках и по этой площади подсчитывали массу осколка. Площади изображений (в пикселях) подсчитывали программно. По нанесенным на стекле меткам было определено разрешение снимков: 48 пикселей на миллиметр. Таким образом были измерены площади проекций осколков на стекло (в мм^2). Метод фотографирования [4] позволяет измерить осколки со значительно меньшей массой, чем та, которую позволяет зарегистрировать точность аналитических весов. Приведем оценку нижней границы диапазона масс осколков, измеренных методом фотографирования. На фото регистрируются осколки, площадь изображения которых составляет единицы пикселей. Возьмем для определенности 10 пкс. Такая площадь на фото соответствует площади проекции осколка на стекло, равной $\sim 4,36 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2$ и, считая форму осколка близкой к кубической, получим, что объем его составляет $\sim 2,875 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^3$, а масса – $1,15 \cdot 10^{-3} \text{ мг}$. Эта масса в 100 раз меньше той,

что доступна для взвешивания с приемлемой точностью на аналитических весах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В эксперименте использовали одинаковые по размеру образцы из сапфира после отжига в вакууме, упрочненного сапфира и образцы, изготовленные из стекла марки Gorilla Glass.

Распределение осколков по размеру (рис. 2) показало, что максимум распределения осколков стекла марки Gorilla Glass смещен в сторону мелкогабаритной части, т. е. образец разрушается на мельчайшие части (рис. 3), и это полностью соответствует поведению закаленного стекла при разрушении. Также наблюдается наибольшее количество осколков размером $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^{-2}$. При той же энергии удара сапфир благодаря намного большей энергии связи между атомами разрушался на в 10–100 раз большие осколки, и их количество было в десятки раз меньше, т. е. стойкость к удару даже упрочненного стекла несоизмерима со стойкостью сапфира.

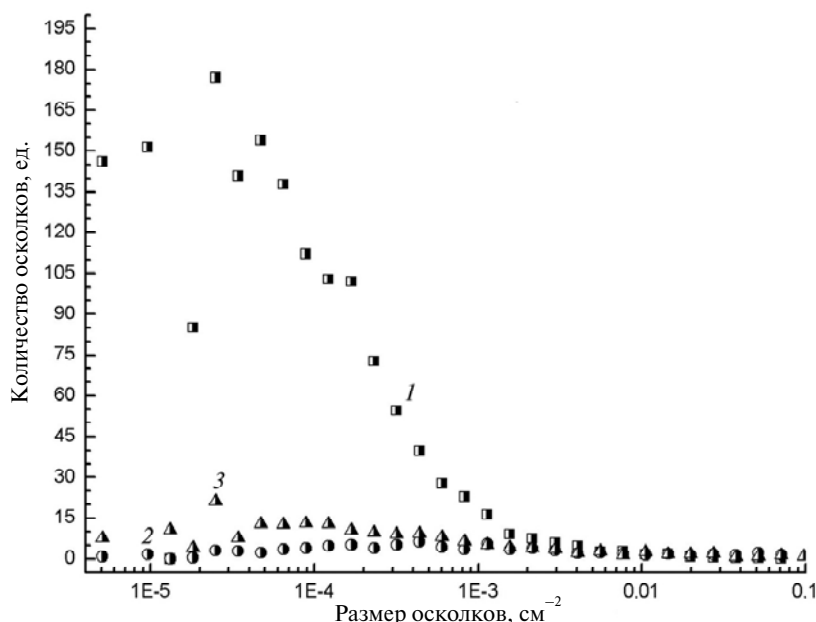


Рис. 2. Распределение осколков по размеру: 1 – стекло марки Gorilla Glass; 2 – упрочненный сапфир; 3 – сапфир после отжига в вакууме.

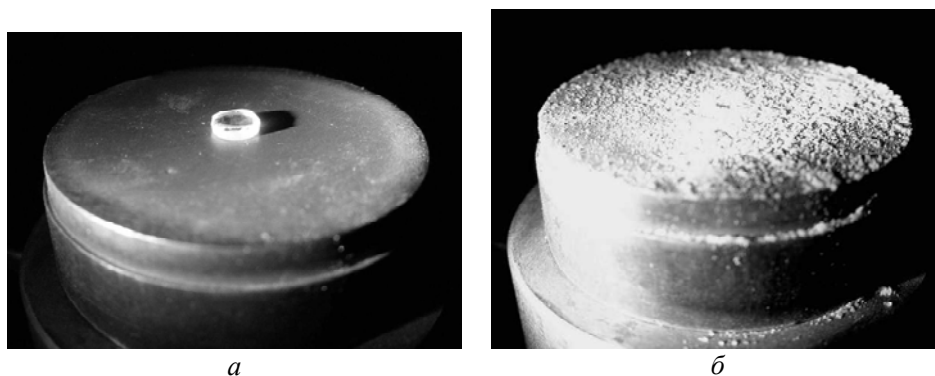


Рис. 3. Образец марки Gorilla Glass до (а) и после (б) фрагментации.

Если критерием ударной прочности считать количество образующихся осколков и принять ударную прочность упрочненного сапфира за 100 %, то ударная прочность отожженного в вакууме сапфира – 63 %, а упрочненного стекла марки Gorilla Glass – 7,5 %.

Методом ударного руйнування випробувано зразки відпаленого у вакуумі сапфіру, зміцненого сапфіру і скла марки Gorilla Glass. Встановлено, що розміри осколків зразків сапфіру, що утворилися, в 10–100 разів більше осколків скла при однаковій енергії удару.

Ключові слова: сапфір, руйнування, фрагментація, міцність.

By impact fracture tested samples sapphire annealed in vacuum, hardened sapphire and glass brand Gorilla Glass. It has been established that the size of the fragments formed from sapphire samples 10–100 times more glass shards at the same energy impact.

Keywords: sapphire, destruction, fragmentation, strength.

1. Dobrovinskaya E., Lytvynov L., Pischik V. Sapphire in science and engineering. – Kharkiv: STC “Institute for Single Crystals”, 2007. – 480 p.
2. Harris D. C., Johnson L. F., Seaver R. et al. Optical and thermal properties of spinel with revised (increased) absorption at 4 to 5 μm wavelengths and comparison with sapphire // Opt. Eng. – 2013. – **52**, art. 087113.
3. NATO SfP project No. 981770. Light weight and transparent armours. Duration: 2005–2009.
4. Бродский Р. Е., Коневский П. В., Сафронов Р. И. Распределение осколков сапфира при ударной фрагментации // Funct. Mater. – 2011. – **18**, N 2. – P. 200–205.

Ин-т монокристаллов НАН Украины

Поступило 10.06.14