

©БНТУ

**ТЕХНОЛОГИЯ РАСПИЛИВАНИЯ ТВЕРДЫХ И СВЕРХТВЕРДЫХ КРИСТАЛЛОВ  
ПРИ СООБЩЕНИИ ЗАГОТОВКЕ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ**

**Д. А. ЯМНАЯ, М. Г. КИСЕЛЕВ**

The traditional method of mechanical sawing has certain drawbacks connected with low productivity of the process and insufficiently high quality of table surfaces of sawn workpieces. In research the industrial sawing unit applied to separate diamond is used. This unit is equipped with special vibrotransmission which transfers periodic circular two-dimensional movement to a workpiece. It is experimentally proved that it is possible to significantly raise intensity of

sawing of the workpiece and to provide significant decrease in roughness values of the parameter Ra of the processed surface in comparison with the values received in traditional operating conditions by transferring periodic two-dimensional circular movement to the workpiece with a trajectory similar to an ellipse

Ключевые слова: монокристаллы, распиливание, технология, колебания, интенсивность

Распиливание монокристаллов алмаза при производстве из них бриллиантов и других изделий выполняется с целью рационального использования дорогостоящего сырья. К этой операции предъявляются следующие основные требования. Во-первых, необходимо обеспечить высокую производительность процесса при минимальных потерях алмазного сырья, а во-вторых – высокое качество поверхности площадок распиленных полуфабрикатов с целью минимизации потерь алмазного сырья на последующей операции их подшлифовки.

Недостатками традиционного способа распиливания монокристаллов алмаза являются весьма низкая производительность процесса и невысокое качество поверхности площадок распиленных полуфабрикатов. В этой связи совершенствование технологии распиливания монокристаллов алмаза с целью устранения указанных недостатков представляет актуальную задачу для алмазообрабатывающего производства.

Одно из перспективных направлений ее решения связано с применением в процессе распиливания вынужденных колебаний, обеспечивающих виброударный режим взаимодействия инструмента (распиловочного диска) с обрабатываемой алмазной заготовкой. В предшествующих исследованиях [1, 2] с помощью центробежного вибратора заготовке сообщалось одномерное колебательное движение, направленное перпендикулярно торцевой (режущей) поверхности распиловочного диска. В результате процесс распиливания протекает в условиях периодического, дискретного, ударного взаимодействия заготовки с торцевой поверхностью диска, благодаря которому обеспечивается повышение интенсивности ее распиливания. Следует подчеркнуть, что в этом случае реализуются условия прямого, центрального удара контактирующих поверхностей, в то время как при их косом соударении становится возможным влиять на процесс распиливания не только величиной ударного импульса, но и направлением его действия относительно поверхности диска. Очевидно, такие условия распиливания могут быть обеспечены путем придания заготовке двухмерного циркуляционного движения, совершающегося в плоскости распиливания по замкнутой траектории. Изменяя вид и параметры траектории, можно целенаправленно влиять на условия и режим виброударного взаимодействия заготовки с поверхностью распиловочного диска. Однако в литературных источниках отсутствуют сведения, отражающие эффективность применения такой технологической схемы обработки с целью повышения интенсивности и качества распиливания заготовок из твердых и сверхтвёрдых материалов.

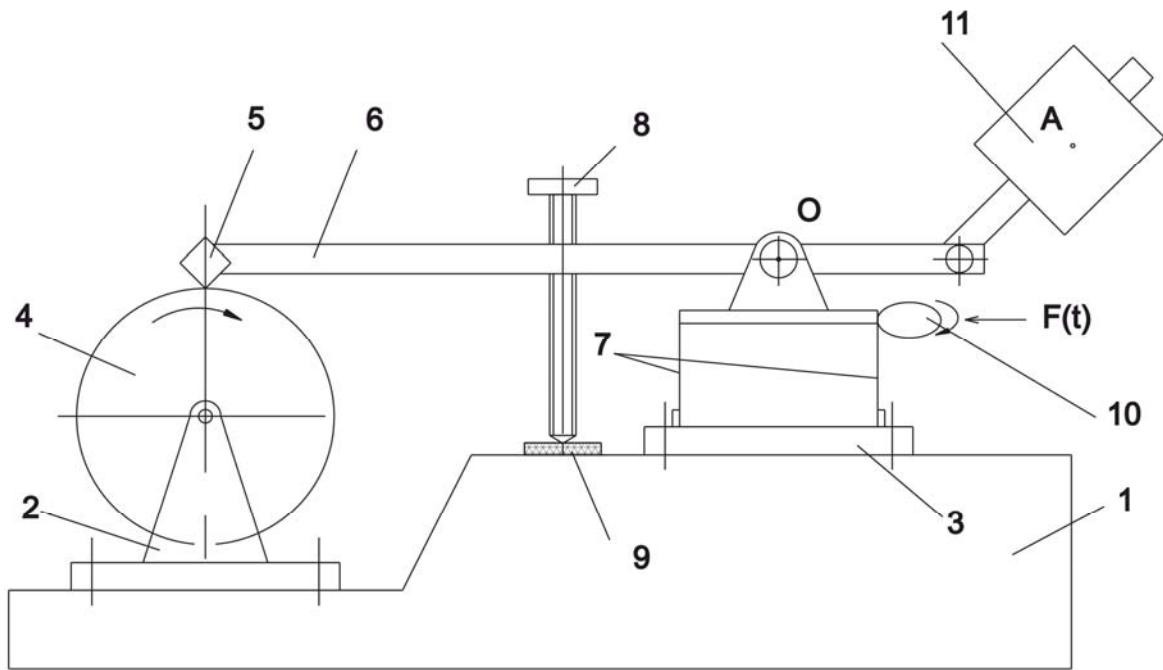
В этой связи цель данных исследований состояла в количественной оценке влияния сообщаемого заготовке двухмерного циркуляционного движения на интенсивность ее распиливания и качество обработанной поверхности.

В экспериментах используется промышленная распиловочная секция станка ШП-2, применяемая для разделения монокристаллов алмаза на части (полуфабрикаты), которая оснащена специальным вибромотором, придающим заготовке периодическое циркуляционное двухмерное движение (рисунок 1).

Она состоит из массивной чугунной плиты 1, на которой закреплены две пары стоек 2 и 3. В паре стоек 2 устанавливается шпиндель с закрепленным на нем распиловочным диском 4. Вращение шпинделя с частотой  $10000 \text{ мин}^{-1}$  передается от вала асинхронного электродвигателя с помощью плоскоременной передачи. В паре стоек 3 смонтирован узел опоры рычага 5 (стрель), обеспечивающий его качание с минимальным трением. На одном конце стрель в специальном приспособлении закреплен обрабатываемый кристалл алмаза 6, а на другом – смонтирован узел противовеса, включающий поворотный рычаг 7, на котором установлен груз 8.

Статическое усилие прижатия обрабатываемой заготовки к торцевой поверхности распиловочного диска обеспечивается путем придания стреле неуравновешенного состояния за счет соответствующего изменения положения груза на поворотном рычаге. В рабочем положении стрела поддерживается с помощью регулировочного винта 9, который опирается на резиновую прокладку 10, благодаря чему достигается плавное изменение усилия прижатия заготовки к торцевой поверхности распиловочного диска. По мере увеличения глубины пропила, винт периодически выворачивается, чем обеспечивается врезная подача в процессе распиливания.

Принципиальное отличие данной конструкции распиловочной секции от традиционной состоит в том, что узел качания стрель (пара стоек 3) установлен на плоских пружинах 11, образующих параллелограммный подвес, допускающий перемещение оси качания стрельы вдоль горизонтальной оси. Для сообщения этому узлу вынужденных колебаний применен механический (эксцентриковый) вибратор 12 с приводом от электродвигателя постоянного тока (на рисунке 2 он не показан).



*Rис. 1.* Принципиальная схема модернизированной распиловочной секции, примененной в исследованиях

Таким образом данная установка позволяет производить распиливание традиционным методом и с вибрациями.

Предварительно с помощью цифровой фотокамеры, работающей в режиме киносъемки (с последующей разбивкой фильма на 25 кадров в секунду) экспериментально определены траектории движения точки, принадлежащей заготовке, при сообщении узлу качания стрелы вынужденных синусоидальных колебаний частотой 6,6 Гц и амплитудой 6 мм при различных положениях центра тяжести узла противовеса относительно оси качания стрелы.

Установлено, что в результате сообщения узлу качания стрелы вынужденных колебаний точка, принадлежащая заготовке, перемещается в плоскости распиливания по замкнутой траектории с образованием фигур Лиссажу, то есть совершает периодическое циркуляционное движение.

Методика выполнения измерений заключалась в следующем: на модернизированной распиловочной секции (рисунок 1) при сообщении узлу качания стрелы вынужденных синусоидальных колебаний частотой 6,6 Гц и амплитудой 6 мм при одном положении центра тяжести узла противовеса относительно оси качания стрелы (точка, принадлежащая заготовке описывает эллипс) распиливались образцы материалов размера 5×5×10 мм: яшма с твердостью по шкале Мооса 6,5; кварцевое закаленное стекло – 7; корунд – 9.

После разделения образцов на полуфабрикаты определялись фактическая площадь распиливания и, зная время, интенсивность распиливания по следующей формуле:

$$i = \frac{S}{t}, \text{ (мм}^2 / \text{мин}), \quad (1)$$

где  $S$  – фактическая площадь распиливания;  $t$  – время распиливания.

На рисунке 2 представлена гистограмма, демонстрирующая интенсивность распиливания традиционным способом и путем сообщения узлу качания стрелы периодического циркуляционного движения.

На рисунке 2 представлена диаграмма зависимости интенсивности распиливания образцов при их обработке в обычных условиях и с применением колебаний.

Из представленных данных следует, что во всех случаях сообщение заготовке периодического циркуляционного движения позволяет существенно повысить интенсивность ее распиливания по сравнению с обработкой в обычных условиях. При этом по мере увеличения твердости обрабатываемого материала степень влияния этого движения на повышение интенсивности распиливания возрастает. Так для корунда ее значение увеличилось в 3,9 раза, для стекла – в 3,1 раза и для яшмы – в 2,5 раза. Наличие такой закономерности позволяет прогнозировать достаточно высокую эффективность применения исследуемого способа обработки для интенсификации процесса распиливания монокристаллов алмаза (10 единиц твердости по шкале Мооса).

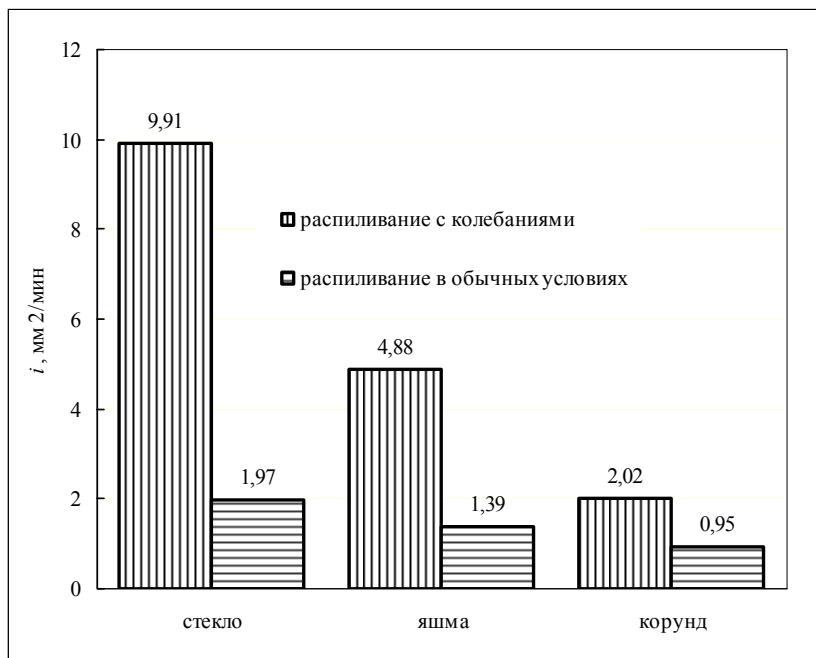


Рис. 2. Значения интенсивности распиливания образцов при их обработке в обычных условиях и с колебаниями

С целью количественной оценки степени влияния сообщаемого образцу периодического циркуляционного движения на повышение интенсивности его распиливания, используется коэффициент эффективности (рисунок 3), значение которого вычисляется по формуле:

$$\mathcal{E} = \left(1 - \frac{i}{i_k}\right) \cdot 100\%, \quad (2)$$

где  $i$  и  $i_k$  – соответственно, интенсивность распиливания в обычных условиях и с колебаниями.

В ходе выполнения экспериментов с помощью профилометра-профилографа «Taylor Hobson» измерялась шероховатость распиленной поверхности образцов в направлении перпендикулярном направлению следов обработки на ней, т.е. перпендикулярно вектору окружности скорости распиловочного диска. На рисунке 4 представлены значения параметра  $R_a$  шероховатости распиленной поверхности образцов, полученные при обработке по традиционной технологии и при сообщении им периодического циркуляционного движения.

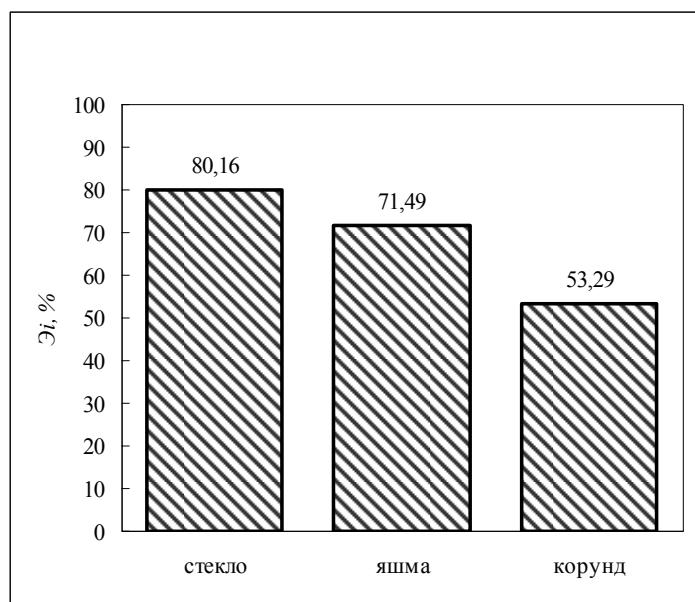


Рис. 3. Значения коэффициентов эффективности влияния колебаний на повышение интенсивности распиливания образцов

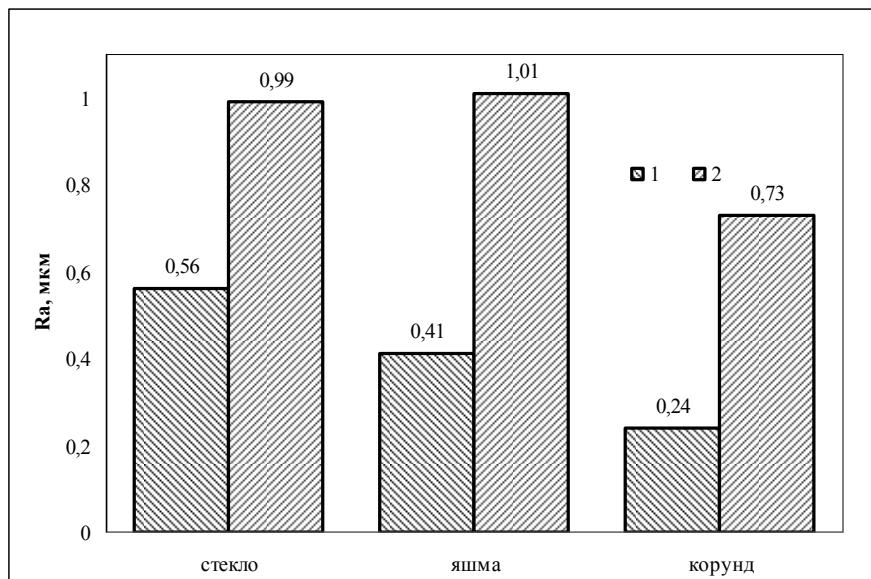


Рис. 4. Значение параметра  $R_a$  шероховатости распиленной поверхности образцов при их обработке в обычных условиях (2) и при сообщении им периодического циркуляционного движения (1)

Из анализа этих данных следует, что при распиливании образцов из всех исследуемых материалов сообщение им периодического циркуляционного движения приводит к существенному снижению значения параметра  $R_a$  шероховатости обработанной поверхности по сравнению с его величиной, полученной в традиционных условиях выполнения операции. В обоих случаях с увеличением твердости обрабатываемого материала значение параметра  $R_a$  шероховатости распиленной поверхности уменьшается. При этом наибольшее снижение параметра  $R_a$  под действие циркуляционного движения заготовки наблюдается при распиливании корундового образца (в 3 раза), меньшее при распиливании яшмы (в 2,4 раза) и еще меньшее – при распиливании стекла (в 1,9 раза).

Обобщая результаты выполненных исследований, можно сформулировать следующие **выводы**:

- Предложена и разработана конструкция колебательной системы узла качания стрелы распиловочной секции с использованием упругого параллелограммного подвеса и электромеханического привода, позволяющая придать заготовке двухмерное, совершающее в плоскости ее распиливания, циркуляционное движение, параметрами которого, можно целенаправленно управлять путем изменения как условий возбуждения колебательной системы, так и ее упруго-инерционных характеристик.
- На основе разработанной колебательной системы проведена модернизация распиловочной секции станка ШП-2, позволяющая осуществлять операцию распиливания, как по традиционной технологии, так и при сообщении заготовке двухмерного циркуляционного движения, совершаемого ею в плоскости распиливания.
- Разработана методика проведения сравнительных экспериментальных исследований по количественной оценке влияния сообщаемого обрабатываемому образцу (ящма, стекло, корунд) периодического циркуляционного движения на изменение в сравнении с обычными условиями обработки, интенсивности распиливания и качества поверхности распиленных заготовок.

На основе полученных экспериментальных данных установлено, что сообщение образцу периодического циркуляционного движения с траекторией близкой к эллипсу во всех случаях позволяет существенно повысить интенсивность его распиливания в сравнении с обработкой в обычных условиях. При этом с увеличением твердости обрабатываемого материала степень влияния этого движения на повышение интенсивности распиливания возрастает. Так, для корунда (9 единиц по шкале Мооса) ее значение увеличилось в 3,9 раза, для стекла (7,5 единиц твердости) – в 3,1 раза и для яшмы (7 единиц твердости) – в 2,5 раза.

Установлено, что при распиливании образцов из всех исследуемых материалов сообщение им периодического циркуляционного движения обеспечивает существенное снижение значения параметра  $R_a$  шероховатости обработанной поверхности по сравнению с его величиной, полученной в традиционных условиях выполнения операции. При этом наибольшее снижение параметра  $R_a$  под действием циркуляционного движения заготовки наблюдается при распиливании образца из корунда (в 3 раза), меньшее – при распиливании образца из яшмы (в 2,4 раза) и еще меньшее – при распиливании образца из стекла (в 1,9 раза).

### **Литература**

1. Киселев М.Г., Дроздов А.В. Влияние режимов виброударного распиливания сверхтвердых материалов на режущую способность и износостойкость шаржированных алмазами распиловочных дисков// Порошковая металлургия: Респ. межвед. сб. науч. тр. Мн. 2008. Вып. 31. С. 151–155.
2. Дроздов А.В. Повышение производительности и качества распиливания сверхтвердых кристаллов путем сообщения заготовке вынужденных колебаний// Автореф. дис. канд. техн. наук. Мн. 2005. 21 С.