

## **МЕТОДИКИ И СРЕДСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВУХМЕРНОГО ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ДВИЖЕНИЯ ЗАГОТОВКИ ПРИ ЕЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С РАСПИЛОВОЧНЫМ ДИСКОМ**

*Киселев М.Г., Дроздов А.В., Ямная Д.А.*

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

*Представлена методика для определения параметров двумерного циркуляционного движения распиливаемой заготовки, включая форму траектории и направление циркуляционного движения. Дано описание методики и аппаратных средств для измерения времени контактного взаимодействия режущего инструмента и обрабатываемой заготовки в условиях ее периодического циркуляционного движения. (E-mail: dav7@tut.by)*

**Ключевые слова:** распиливание, траектория движения, контактное взаимодействие.

### **Введение**

Для разделения монокристаллов алмаза на части (полуфабрикаты) при переработке в бриллианты, а также в изделия технического назначения (инструменты, подложки) повсеместно используется операция их механического распиливания. Объясняется это тем, что в сравнении с другими высокопроизводительными способами разделения монокристаллов алмаза (электроннолучевая и лазерная обработка) она при своей простоте выполнения обеспечивает наименьший процент безвозвратных потерь дорогостоящего сырья, что для алмазобрабатывающего производства имеет приоритетное значение.

Недостатком операции механического распиливания монокристаллов алмаза является ее низкая производительность, а также относительно невысокое качество поверхности площадок распиленных полуфабрикатов. Наличие на ней однонаправленных рисок (следов обработки) приводит к возрастанию безвозвратных потерь алмаза в результате их удаления на последующей операции шлифования площадок распиленных полуфабрикатов [1].

### **Пути повышения производительности и качества распиливания монокристаллов алмаза**

Как показали результаты экспериментальных исследований [2], указанные недостатки в

значительной степени можно устранить путем сообщения обрабатываемой заготовке в процессе ее распиливания двумерного периодического циркуляционного движения. Для осуществления такого способа распиливания авторами была произведена модернизация промышленной распиловочной секции станка модели ШП-2, принципиальная схема которой представлена на рисунке 1.

Она состоит из основания 1, на котором смонтированы две стойки 2 и 3. В стойке 2 на обратных центрах установлен шпиндель с распиловочным диском 4, вращению которого сообщается от электродвигателя посредством плоскоременной передачи (на рисунке привод не показан). В стойке 3 на опорах установлен качающийся рычаг (стрела) 5. На одном его конце в оправке закрепляется обрабатываемая заготовка 6, на другом – поворотный рычаг 7, на котором установлен противовес 8. За счет придания стреле неуравновешенного состояния заготовка прижимается к режущей поверхности распиловочного диска 4. В рабочем положении стрела поддерживается с помощью регулировочного винта 9, опирающегося на резиновую прокладку 10. В процессе распиливания винт 9 периодически выворачивается, чем обеспечивается врезная подача заготовки.

От промышленной модернизированной распиловочной секции отличается тем, что узел качания стрелы (стойка 3) установлен на плоских пружинах 11, образующих параллелограммный подвес, допускающий перемещение

этого узла вдоль горизонтальной оси. С помощью электромеханического вибратора (вращающийся кулачок 12) узлу качания стрелы сообщаются вынужденные колебания, в результате чего заготовка совершает двухмерное компланарное периодическое движение по замкнутой траектории [3]. При этом вид получаемой траектории и ее параметры зависят от упругоинерционных характеристик колебательной системы и условий ее воз-

буждения. Поэтому для экспериментального исследования закономерностей влияния такого движения заготовки на протекание процесса ее распиливания при различных режимах обработки в первую очередь необходимо установить связь между ними и параметрами получаемого двухмерного циркуляционного движения заготовки в процессе ее взаимодействия с распиловочным диском.

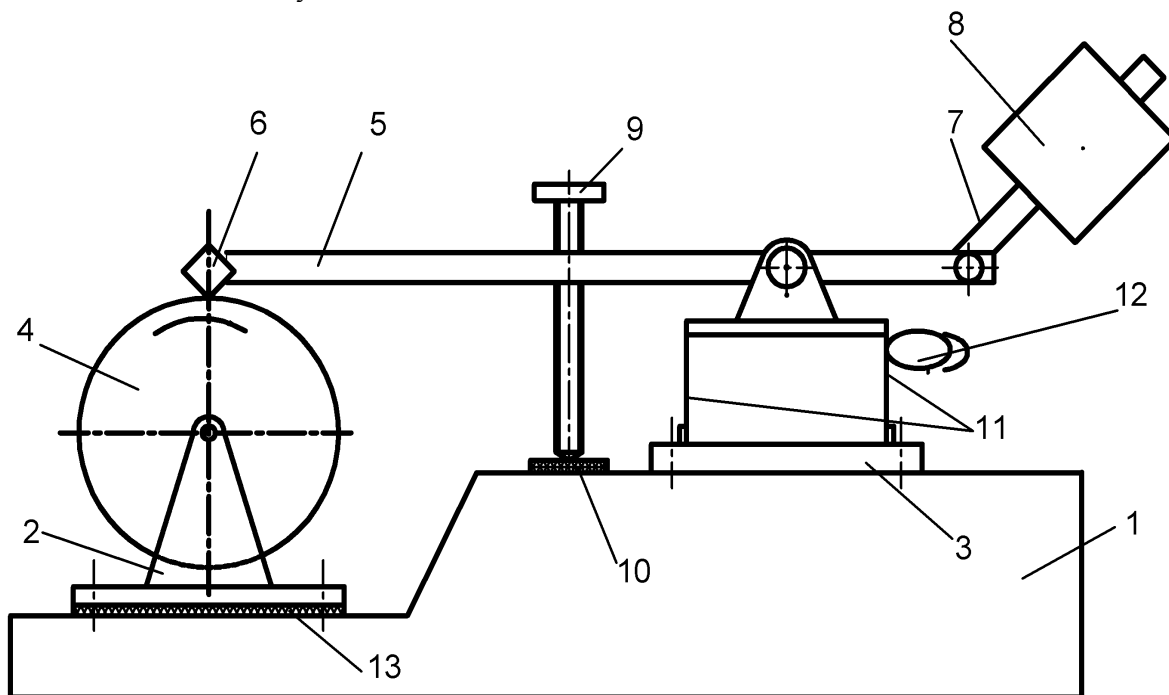


Рисунок 1 – Принципиальная схема модернизированной промышленной распиловочной секции станка модели ШП-2: 1 – основание; 2 – передняя пара стоек; 3 – задняя пара стоек; 4 – распиловочный диск; 5 – стрела; 6 – заготовка; 7 – поворотный рычаг; 8 – противовес; 9 – регулировочный винт; 10 – упругая прокладка; 11 – плоские пружины; 12 – вращающийся кулачок

Цель данной работы заключалась в разработке методик и создании аппаратных средств, позволяющих определять (фиксировать) траекторию движения заготовки, измерять ее параметры, а также оценивать временные и частотные характеристики контактного взаимодействия заготовки с режущей поверхностью распиловочного диска.

### Методика и средства определения траектории движения заготовки и измерения ее параметров

При решении этих задач в первую очередь необходимо выбрать метод, позволяющий с достаточной для технологического использова-

ния точностью определять траекторию движения заготовки и измерять ее параметры. Исходными данными для этого выбора являются характеристики измеряемого параметра, в частности диапазон изменения колебательных смещений заготовки и частота ее периодического циркуляционного движения. В нашем случае при изменении амплитуды вынужденных колебаний от 2 до 5 мм и их частоты от 2 до 5 Гц диапазон измерения колебательных смещений заготовки находится в пределах 2–10 мм, а частоты ее периодического циркуляционного движения от 2–10 Гц. Таким образом, подлежащие измерению параметры двухмерного периодического циркуляционного движения заготовки характеризуются зна-

чительной величиной линейных перемещений при низкой частоте следования их циклов, но с изменяющейся в зависимости от условий возбуждения траекторией этого движения.

Очевидно, что наиболее простым, надежным и универсальным методом измерения этих параметров является метод, основанный на визуализации траектории движения заготовки. При этом, несмотря на значительную величину колебательных смещений заготовки и низкую частоту ее циклического движения, использование контактных методов для визуализации траектории ее движения неприемлемо в силу неизбежной реакции регистрирующего средства на параметры движения заготовки.

Исходя из этого, авторами использован бесконтактный способ, основанный на фиксации траектории движения светящейся точки, принадлежащей заготовке, совершающей двумерное периодическое циркуляционное движение. Для его реализации в отверстие на свободном конце цилиндрической оправки 1 (рисунок 2), на противоположном конце которой закреплена заготовка, устанавливается светодиод 2. С помощью диафрагмы 3 с проходным отверстием диаметром 0,5 мм на торцевой поверхности оправки можно наблюдать светящуюся точку 3 (рисунок 2), которую можно рассматривать как, принадлежащую заготовке 5.

Фиксирование траектории движения этой точки осуществлялось на ПЗС матрице цифровой фотокамеры, работающей в двух режимах: непрерывной киносъемки с частотой 25 кадров в секунду и в режиме фотографирования с приоритетом выдержки 1/20 с. В первом случае траектория движения заготовки и его направление определялись путем последовательного (покадрового) фиксирования положения светящейся точки относительно принятой системы координат, во втором – получали замкнутую фигуру, соответствующую траектории периодического циркуляционного движения заготовки. Для фиксирования координатных осей на получаемых снимках предварительно за счет регулировки опор штатива с закрепленной на нем видеокамерой последняя устанавливается в положение, при котором нижняя линия кадра совпадает с горизонтальной осью, а тогда перпендикулярная ей линия кадра определяет положение вертикальной координатной оси. Для определения масштаба координатных осей в данном случае использовался известный диа-

метр распиловочного диска (80 мм), изображение которого фиксируется в процессе съемки.

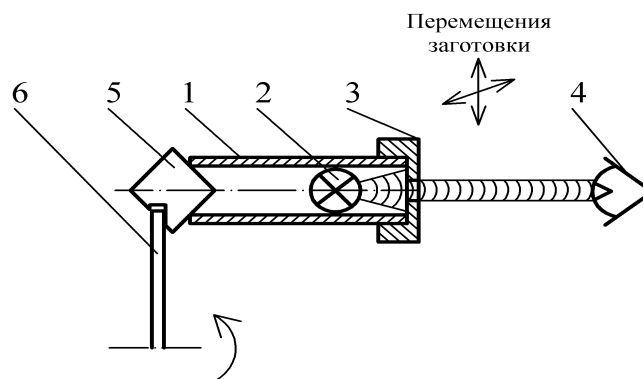


Рисунок 2 – Схема, примененная для визуализации траектории движения распиливаемой заготовки: 1 – оправка; 2 – светодиод; 3 – диафрагма; 4 – наблюдатель; 5 – распиливаемая заготовка; 6 – распиловочный диск

В качестве примера на рисунке 3 представлены результаты измерений параметров двумерного циркуляционного движения обрабатываемой заготовки, полученные с использованием предложенной методики и соответствующих аппаратных средств.

На рисунке 3 показаны схемы траекторий движения заготовки, полученные путем обработки фотографий с помощью графического редактора Adobe Photoshop, соответствующие различным частотам возбуждения колебательной системы распиловочной секции. Из них видно, что по мере увеличения этой частоты траектория движения заготовки изменяется, что четко фиксируется на полученных фотографиях.

Путем последующей обработки зафиксированных траекторий вычисляются их параметры за исключением направления циркуляционного движения заготовки. Для его определения используются результаты последовательного покадрового представления перемещения светящейся точки, полученного в режиме видеосъемки.

#### **Методика и средства определения временных и частотных параметров контактного взаимодействия заготовки с распиловочным диском**

Для измерения указанных параметров модернизированная распиловочная секция была дополнительно оснащена специальным устройством, электрическая схема которого показана на рисунке 4.

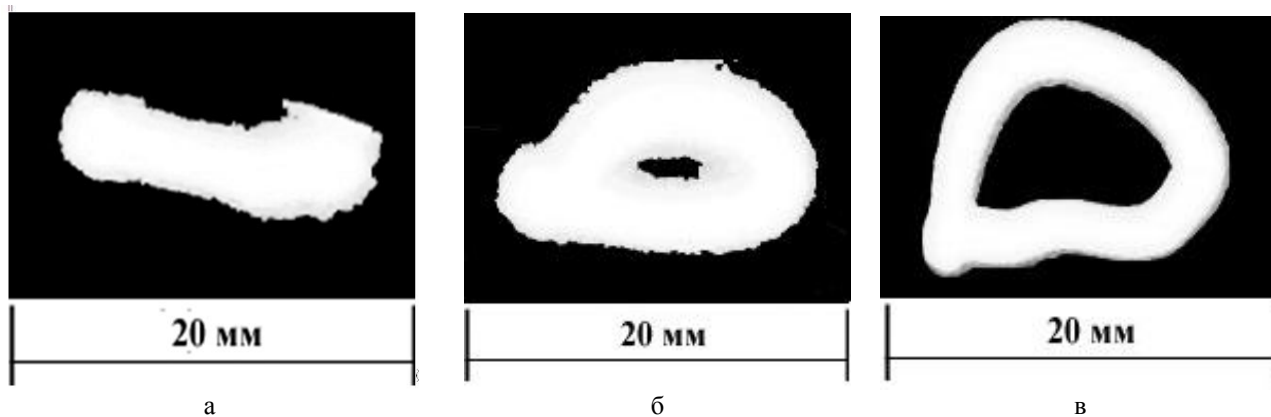


Рисунок 3 – Схемы формы траекторий движения светящейся точки на торцевой поверхности оправки, фиксируемых в режиме фотосъемки в режиме приоритета выдержки при различных частотах вынуждающей силы: а –  $f_{в} = 2$  Гц; б –  $f_{в} = 2,8$  Гц; в –  $f_{в} = 3,6$  Гц

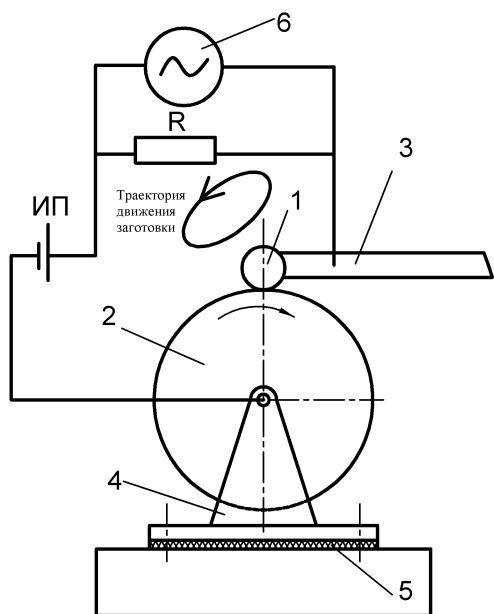
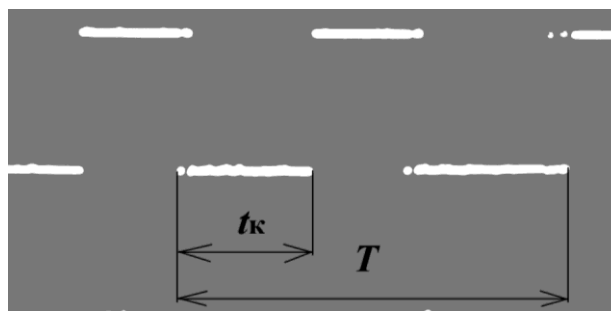
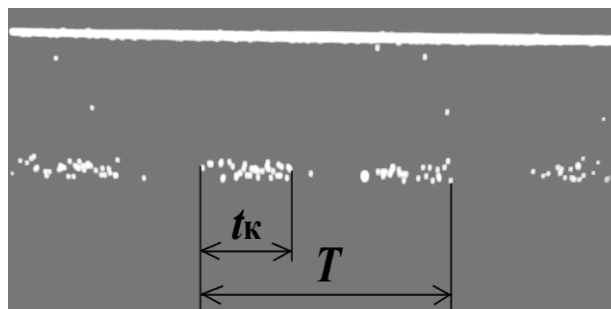


Рисунок 4 – Электрическая схема устройства, примененного для измерения временных и частотных параметров контактного взаимодействия заготовки с распиловочным диском: 1 – стальная оправка; 2 – стальной диск; 3 – стрела; 4 – стойка; 5 – диэлектрическая прокладка; 6 – запоминающий осциллограф; 7 – форма реализуемой при измерении траектории; ИП – источник питания постоянного тока;  $R$  – активное сопротивление

В качестве примера на рисунке 5 представлены фотографии осциллограмм, полученные при контактном взаимодействии оправки с поверхностью неподвижного диска (рисунок 5а) и при его вращении (рисунок 5б).



а



б

Рисунок 5 – Примеры осциллограмм, полученных при взаимодействии оправки с поверхностью неподвижного (а) и вращающегося (б) диска:  $t_k$  – продолжительность контакта;  $T$  – период циркуляционного движения

В последнем случае на осциллограмме продолжительность контактного взаимодействия характеризуется наличием на этом участке высокочастотных колебаний, так называемого «дребезга», обусловленных относи-

тельным перемещением поверхностей, т.е. наличием скользящего электрического контакта. По результатам расшифровки полученных осциллограмм определяется продолжительность контактного взаимодействия поверхностей  $t_k$  и периода циркуляционного движения  $T$ .

### **Заключение**

1. Разработана методика и созданы аппаратные средства для фиксирования на ПЗС матрице цифровой кинокамеры перемещения во времени светящейся точки, принадлежащей обрабатываемой заготовке, позволяющие определять параметры ее двухмерного циркуляционного движения непосредственно в процессе распиливания, включая его траекторию и ее параметры, а также направление циркуляционного движения заготовки.

2. Разработана методика и созданы аппаратные средства для фиксирования и измерения продолжительности замыкания электрической цепи, образованной совершающей двухмерное циркуляционное движение металлической оправкой (заготовкой) и стальным (распиловочным) диском, позволяющие измерять время их контактного взаимодействия и период циркуляционного движения заготовки.

3. Разработанные методики и созданные аппаратные средства позволяют получить новые экспериментальные данные, отражающие влияние размеров элементов модернизированной

распиловочной секции, ее упругоинерционных характеристик, условий ее возбуждения и режимов обработки на параметры двухмерного циркуляционного движения заготовки, наличие которых имеет первостепенное значение для совершенствования технологии распиливания твердых и сверхтвердых кристаллов, включая монокристаллы алмаза. Результаты работы могут быть использованы также при изучении различных колебательных процессов в механических системах, в частности для экспериментального определения и измерения параметров движения звеньев виброударных систем.

### **Список использованных источников**

1. *Киселев, М.Г.* Технология распиливания монокристаллов алмаза. Учебно-методическое пособие / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, А.А. Новиков. – Минск, 2006. – 120 с.
2. *Киселев, М.Г.* Повышение интенсивности и качества распиливания твердых сверхтвердых материалов путем сообщения заготовке двухмерного циркуляционного движения / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, Д.А. Ямная // Вестник БНТУ. – 2011. – № 5. – С. 36–40.
3. *Киселев, М.Г.* Установка для распиливания монокристаллов алмаза при сообщении заготовке периодического циркуляционного движения / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, Д.А. Ямная // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2011. – № 2. – С. 3–9.

---

Kiselev M.G., Drozdov A.V., Yamnaja D.A.

### **The procedure and hardware of a preparation movement trajectory definition and time and frequency parameters of its interaction with a sawing disk at the message to it of two-dimensional periodic circulating movement**

The procedure for parameters definition of sawing preparations two-dimensional circulating movement, including the form of a trajectory and a direction of circulating movement is submitted. The procedure and hardware description for time measurement of the cutting tool and processable preparation contact interaction in conditions of its periodic circulating movement is given. (E-mail: dav7@tut.by)

**Key words:** sawing, motion path, contact interaction.

*Поступила в редакцию 12.01.2012.*