

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦИРКУЛЯЦИОННОГО КОЛЕБАНИЯ ЗАГОТОВКИ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ МЕХАНИЧЕСКОГО РАСПИЛИВАНИЯ

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

УО «Белорусский национальный технический университет»

Минск, Беларусь, dav7@lut.by

Распиливание монокристаллов алмаза – ключевой этап в технологическом процессе обработки алмазов в бриллианты, во многом определяющий массу, а соответственно и стоимость будущего изделия [1]. Для выполнения данной операции необходимо применение специального станочного оборудования – распиловочных секций мод. ШП-2.

На рисунке 1 представлена технологическая схема операции распиливания монокристаллов алмаза, положенная в основу работы распиловочных секций указанного станка.

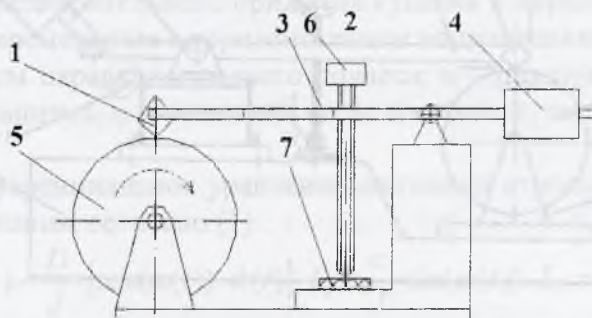


Рис. 1. Технологическая схема процесса распиливания кристаллов алмаза

Обрабатываемая заготовка 1 закрепляется на одном конце качающегося относительно опоры 2 рычага (стрелы) 3. На втором его конце установлен подвижный противовес 4, с помощью которого создается необходимое статическое усилие прижима заготовки к торцевой поверхности вращающегося распиловочного диска 5. В рабочем положении стрела поддерживается с помощью регулировочного винта 6, опирающегося на упругую прокладку 7. В процессе распиливания, по мере заглубления режущей кромки инструмента в алмазную заготовку, винт 6 периодически выворачивается, чем обеспечивается их силовое нагружение в ходе выполнения операции. Таким образом, традиционная технологическая схема распиливания монокристаллов алмаза простая, вместе с тем, она характеризуется низкой производительностью выполнения операции и невысоким качеством поверхностей распиленных полуфабрикатов.

С целью повышения производительности и качества распиливания монокристаллов алмаза в работах [2] обрабатываемой заготовке сообщались вынужденные колебания, создаваемые с помощью центробежного вибратора и направленные перпендикулярно торцевой (режущей) поверхности распиловочного диска (инструмента). Однако низкий частотный диапазон (до 100 Гц), малый ресурс работы центробежного вибратора, а также невозможность изменения характера колебательных смещений заготовки относительно режущей кромки инструмента, не позволило широко распространиться предложенному методу распиливания.

Для устранения указанных недостатков авторами предложено сообщать периодическое циркуляционное движение заготовки относительно кромки распиловочного диска в процессе её распиливания. Согласно [3], для создания такого движения

необходимо обеспечить сложение двух одномерных синусоидальных компланарных (то есть совершающихся в одной плоскости) колебаний с равными или находящимися в рациональном отношении частотами.

На рисунке 2 представлена принципиальная схема модернизированной распиловочной секции. В ней на станине 1 установлены передняя 2 и задняя 3 пары стоек. В передней паре стоек 2 вращается распиловочный диск 4. Кристалл 5 закрепляется на стреле 6, установленной в задней паре стоек 3, которые связаны со станиной 1 с помощью пары плоских пружин 7, образующих параллелограммный подвес, допускающий перемещение стоек 3 вдоль горизонтали. Стрела поддерживается в рабочем положении регулировочным винтом 8, с вилкой на его конце, в проушине которой смонтирован ролик 9, опирающийся на упругую прокладку 10. Перемещение стоек 3 обеспечивается кулачком 11, закрепленным на выходном валу привода (на чертеже не показан). Для создания рабочего давления на кристалл 5 на стреле 6 с помощью качающегося рычага 12 установлен регулируемый противовес 13.

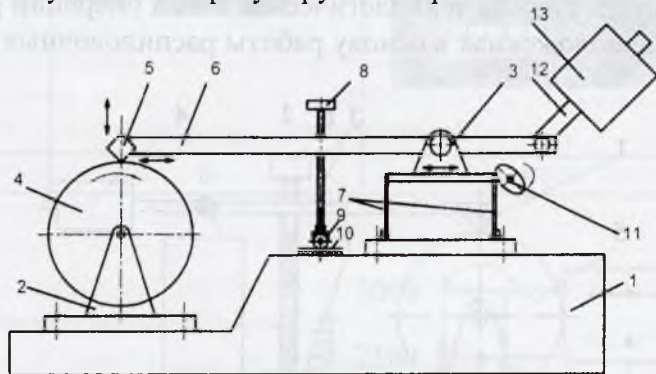


Рис. 2. Принципиальная схема распиловочной секции, обеспечивающей периодическое циркуляционное движение заготовки

При работе кулачка 11 заготовка совершает горизонтальное колебательное движение. За счет того, что центр тяжести противовеса 13 расположен выше оси качения стрелы 6 инерционные силы, действующие на него, создают переменный вращающий момент, вызывающий колебательные смещения заготовки по дуге окружности. В результате заготовка совершает колебательное движение в вертикальном направлении с частотой, равной частоте вынужденных горизонтальных перемещений. Для теоретического обоснования возможности реализации подобного движения авторами была предложена расчетная схема для математического описания движения заготовки при ее распиливании, представленная на рисунке 3.

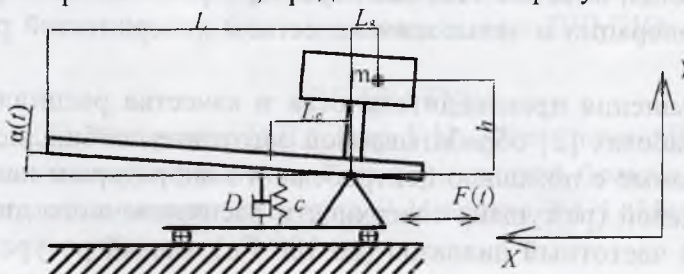


Рис. 3. Расчетная схема для математического описания движения заготовки при ее распиливании с возбуждением колебаний циркуляционного типа

Система представляет собой абсолютно жесткую невесомую распиловочную стрелы, имеющую возможность поворота относительно оси ее качания, установленной на шариковых направляющих, допускающих перемещение без трения всей системы относительно основания. Массу стрелы с противовесом считаем сосредоточенной в точке, как показано на рисунке 3, на расстоянии h , относительно оси качания стрелы. Изменение положения стрелы относительно горизонтали фиксируется углом $\alpha(t)$ между образующей стрелы и горизонтальной линией, проходящей через ее ось вращения. Вращению стрелы препятствует упругая пружина с коэффициентом пропорциональности c , а также демпфер колебаний с коэффициентом пропорциональности D , расположенные на расстоянии L_c от оси вращения стрелы.

Для упрощения расчетов, заменим действие кулачкового механизма на пружинный параллелограмм, перемещением стрелы в направлении оси X выражаемой формулой

$$x(t) = \frac{F_{\text{но}} + F_a \cdot \cos(\omega \cdot t + \pi - \varphi)}{m \cdot (\omega_0^2 - \omega^2)}, \quad (1)$$

где $F_{\text{ст}}$ – величина предварительного прижатия кулачка к параллелограммному подвесу; F_a – амплитуда перемещения в горизонтальном направлении; m – массы системы; ω_0 – собственная частоты параллелограммного подвеса; ω – циклическая частота вращения кулачкового механизма. φ – смещение фазы колебаний, зависящая от начального положения кулачка.

Составим дифференциальное уравнение движения стрелы в условиях ее перемещения вдоль основания, согласно (1).

$$\ddot{\alpha}(t) - \frac{D}{J} \cdot [\cos(\alpha(t)) \cdot \dot{\alpha}(t)] \cdot L_c - \frac{c}{J} \cdot \sin(\alpha(t)) \cdot L_c = M_{\text{вп}}, \quad (2)$$

где J – момент инерции стрелы относительно оси качания; $M_{\text{вп}} = m \cdot h \cdot \ddot{x}(t)$ – возникающий со стороны противовеса при перемещении системы вдоль основания вращающий стрелу момент.

Тогда перемещение конца стрелы вдоль оси Y будет выражаться формулой

$$y(t) = L \cdot \sin(\alpha(t) + \alpha_0), \quad (3)$$

где L – длина стрелы, $\alpha_0 = \arcsin\left(\frac{m \cdot g \cdot L_g}{c \cdot L_c}\right)$ – угол равновесного положения стрелы,

L_g – расстояние вдоль оси X от центра масс системы до оси качания стрелы.

В результате численного решения уравнения (2) получена траектория движения конца стрелы, график которой приведен на рисунке 4.

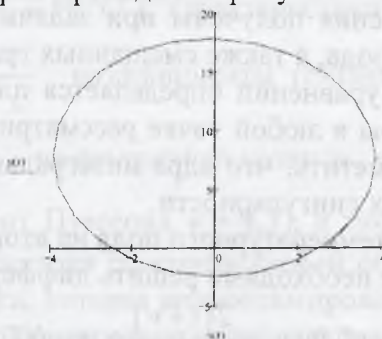


Рис. 4. Расчетная траектория движения конца стрелы расчетной модели

Из приведенного рисунка видно, что предлагаемая схема позволяет обеспечить циркуляционное движение обрабатываемой заготовки в процессе ее распиливания.