

Рисунок 5 – Диаграмма зависимости параметра Ra шероховатости распиленной поверхности образцов при их обработке в обычных условиях и при сообщении узлу подвеса стрелы вынужденных колебаний частотой 4 Гц

Из них следует, что применение в процессе обработки вынужденных колебаний позволяет существенно повысить качество распиленной поверхности образцов. Так, в результате их действия значение параметра Ra шероховатости распиленной поверхности образцов снизилось по сравнению с обработкой в обычных условия для стекла в 1,61; для нефрита – в 3,7 и для яшмы – в

3,25 раза. Причем с увеличением твердости обрабатываемого материала степень влияния колебаний на повышение качества распиленной поверхности образцов возрастает. Это позволяет прогнозировать еще более высокую эффективность их влияния на повышение качества распиленных поверхностей при обработке сверхтвердых материалов.

1. Епифанов, В.И. Технология обработки алмазов в бриллианты / В.И. Епифанов, А.Я. Лесина, Л.В. Зыков; под ред. В.И. Епифанова. – М.: Высш. шк., 1987. – 335 с.
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.
3. Киселев, М.Г. Повышение интенсивности и качества распиливания твердых сверхтвердых материалов путем сообщения заготовке двумерного циркуляционного движения / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, Д.А. Ямная // Вестник БНТУ. – 2011. – № 5. – С. 36–40.

УДК 62-531.7

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И РАСПИЛИВАЕМОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ЕЕ ЦИРКУЛЯЦИОННОМ ДВИЖЕНИИ

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

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Операция распиливания сверхтвердых материалов широко применяется на многих технологических операциях получения заготовок из сверхтвердых материалов, включая монокристаллы алмаза. Основными требованиями, предъявляемыми к данной операции являются высокая производительность и хорошее качество распиленной поверхности. Для решения первой задачи авторами [1] предложено сообщать обрабатываемой заготовке двумерное циркуляционное движение относительно режущего инструмента, что обеспечивает повышение уровня ударно-фрикционного взаимодействия распиливаемых образцов с режущим инструментом. Однако для комплексного обоснования разработанного способа важно оценить влияние такого движения заготовки на качество распиливаемой поверхности, которое во многом определяется степенью проявления полирующего эффекта, возникающего при взаимодействии распиленных участков заготовки с боковыми сторонами распиловочного диска. Чем больше путь их относительного перемещения, тем сильнее сглаживаются микронеровности, сформированные на участке взаимодействия торце-

вой поверхности диска и зоны пропила заготовки. При этом указанный путь скольжения в данной точке заготовки определяться как произведение скорости перемещения данной точки относительно вращающегося распиловочного диска на время контакта точки с боковой поверхностью режущего инструмента. Поэтому в работе стояла задача оценить характер изменения скорости движения точек на поверхности распиливаемой заготовки, движущейся по циркуляционной траектории относительно вращающегося распиловочного диска.

С этой целью использовалась схема распиливания (рисунок 1). Распиловочный диск 2, представлялся как окружность с центром в точке O с координатами (0, 0) и радиусом $R = 38$ мм, а обрабатываемый кристалл 1 моделировался квадратом со стороной $a = 5$ мм, ориентированным на ребро относительно торцевой поверхности диска 2 на расстоянии $L = 40$ мм от центра диска до ближайшей к нему точки A заготовки.

При циркуляционном распиливании каждая точка заготовки, включая A, перемещается по эллиптической траектории с размерами ее

большой и малой осей соответственно w и h . Оценим путь скольжения точки А, как первой начинающей взаимодействие с боковой поверхностью инструмента. При традиционном распиливании данная величина будет определяться из уравнения

$$L(t) = \omega t(R - S_{\text{д\aa}} t) = \omega R t - \frac{\sqrt{2}a}{t_{\text{д\aa}}} t^2,$$

где ω – частота вращения диска, мин-1;

$S_{\text{д\aa}} = \frac{\sqrt{2}a}{t_{\text{д\aa}}}$ – радиальная подача заготовки на

распиловочный диск, мм/мин;

$t_{\text{д\aa}}$ – время распиливания заготовки, с.

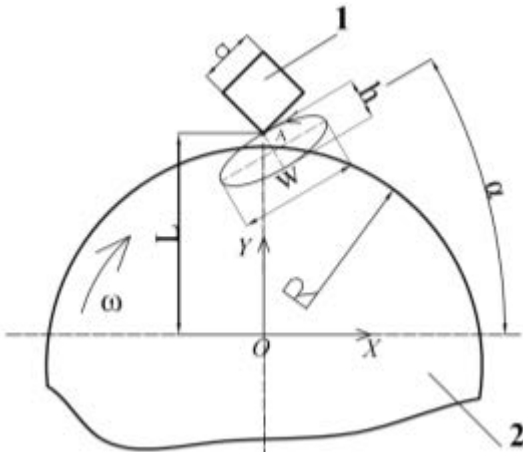


Рисунок 1 – Схема для математического моделирования процесса распиливания кристаллов сверхтвёрдых материалов:

- 1 – обрабатываемый кристалл;
- 2 – распиловочный диск

При движении точки А по эллиптической траектории ее координаты вычислялись с помощью программы MathCAD согласно уравнениям

$$\begin{cases} x_j = w \cos(j \frac{\pi}{180}) + x_0 \\ y_j = h \sin(j \frac{\pi}{180}) + y_0 \end{cases},$$

где x_0, y_0 – координаты начального положение точки А, совпадающие в центром эллиптической траектории и определяемые как

$$x_0 = 0, y_0 = R.$$

$j = \text{от } 0 \text{ до } 360$ – текущий угол наклона радиус-вектора в градусах.

Одновременно вычислялся угол β_j наклона касательной к эллипсу в каждой точке с координатами x_j и y_j , который одновременно являлся углом наклона к оси OX скорости движения точки по данной траектории.

Для переноса и поворота траектории векторы X и Y перемножались на ряд матриц направляющих косинусов, а значение угла β_j на-

клона касательной увеличивались на угол α поворота эллиптической траектории

$$\beta_j = \begin{cases} \arctg(x_j h^2 / y_j w^2) \text{ \aa } y_j \neq 0; \\ 90^\circ \text{ \aa } y_j = 0 \text{ \aa } j=0; \\ -90^\circ \text{ \aa } y_j = 0 \text{ \aa } j \neq 0; \end{cases}$$

В случае распиливания заготовка опускается к центру распиловочного диска и одновременно при этом совершает циркуляционное движение. Результирующая траектория движения точки А заготовки относительно распиловочного диска приведена на рисунке 2.

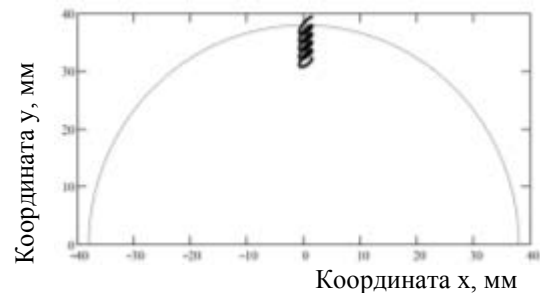


Рисунок 2 – Циркуляционная траектория движения точки А при распиливании заготовки

Для учета такого движения к каждой координате Y (второй столбец матрицы Resh) вычиталась поправка Δ_j вычисляемая по формуле

$$\Delta_j = R - \frac{\sqrt{2}aj}{360 \cdot t_{\text{д\aa}} \cdot f},$$

\aa $j=0 \dots 360 \cdot (t_{\text{д\aa}} \cdot f)$, f – частота движения точки по циркуляционной траектории (в расчета принималась равной 5 Гц). Использование такой поправки позволяло учесть перемещение заготовки к центру режущего инструмента при условии, что полное распиливание осуществится за время $t_{\text{рас}} = 300$ секунд.

В результате расчета получена матрица, содержащая координаты перемещения в пространстве точки А за время ее полного распиливания. После такой обработки определялась величина скорости перемещения точки А по циркуляционной траектории на каждом ее участке в соответствии с формулой

$$V_j = \frac{\sqrt{(x_{j+1} - x_j)^2 + (y_{j+1} - y_j)^2}}{\Delta t},$$

где $\Delta t = \frac{1}{360 \cdot f}$ время прохождения точки в течение одной итерации.

Одновременно на каждом участке результирующего движения точки А определялась линейная скорость вращения $V_{\text{кр}}$ распиловочного

инструмента и угол γ ее наклона к оси ОХ. Для этого использовались следующие формулы

$$\gamma_j = 90^\circ - \arctg\left(\frac{y'_j}{x'_j}\right),$$

$$V_{\dot{\epsilon}_{\delta j}} = \omega \sqrt{x_j'^2 + y_j'^2}.$$

Результирующая относительная скорость определялась как

$$\vec{V}_{\dot{\epsilon}_{\delta j}} = \vec{V}_{\dot{\epsilon}_{\delta}} + \vec{V},$$

или в скалярной форме для каждого участка заготовки

$$V_{\dot{\epsilon}_{\delta j}} = \sqrt{V_j^2 + V_{\dot{\epsilon}_{\delta j}}^2 + 2V_j V_{\dot{\epsilon}_{\delta j}} \cos(\beta_j + \gamma_j)}.$$

При этом основное влияние на полирующий эффект оказывает вертикальная составляющая скорости скольжения, так как топография поверхности на участке взаимодействия торцевой поверхности режущего инструмента и участком пропила заготовки характеризуется наличием однонаправленных рисок, параллельных оси ОХ (рисунок 1). Сглаживание таких микронеровностей как раз и осуществляется вертикальной составляющей скорости относительного скольжения, вычисляемой для каждого участка сформированной траектории движения как по формуле

$$V_{\dot{\epsilon}_{\delta j}} = V_{\dot{\epsilon}_{\delta j}} \sin(\beta_j + \gamma_j).$$

УДК 530.182

К ПРОБЛЕМЕ ИНТЕГРИРУЕМОСТИ НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ

Князев М.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Вопрос об интегрируемости нелинейных уравнений в частных производных уже многие годы привлекает внимание исследователей [1]. Актуальность данного вопроса обусловлена тем, что нелинейные модели явлений и процессов в самых различных областях приобретают все возрастающее значение. Среди них особо выделяются так называемые существенно нелинейные модели, нелинейные уравнения движения которых допускают решения типа солитонов или солитоноподобных объектов. Использование существенно нелинейных моделей позволяет описать принципиально новые закономерности поведения изучаемых систем. Однако до настоящего времени строгий математический критерий интегрируемости таких уравнений отсутствует.

Нелинейное уравнение в частных производных считается интегрируемым, если для него можно построить не только решение в виде одиночного солитона (или антисолитона), но и решения, произвольного порядка, представляющее собой связанное состояние произвольного числа солитонов и/или антисолитонов. В этом случае

На рисунке 3 показано разложение в спектр Фурье данной составляющей в пределах одного цикла циркуляционного движения.

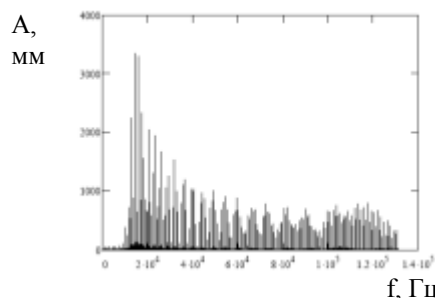


Рисунок 3 – Разложение в спектр Фурье вертикальной составляющей скорости скольжения

Как видно в изменении вертикальной составляющей присутствует широкий спектр частот. Это позволяет судить об эффективном сглаживании микронеровностей в широком диапазоне частот вращения режущего инструмента.

1. 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.

для системы, описываемой интегрируемым уравнением, существует бесчисленное множество законов сохранения, соответствующих каждому из решений [2].

В качестве возможного критерия интегрируемости предлагались различные условия: наличие преобразований Бэклунда, критерий Пенлеве, интегрируемость по Хироте, условия симметрии, представление с использованием интегрального уравнения и ряд других. Наиболее распространенным и широко используемым в настоящее время является критерий интегрируемости, согласно которому нелинейное уравнение в частных производных будет интегрируемым, если для него существует пара операторов Лакса. Однако ни один из предложенных критериев не является универсальным, каждый из них имеет ограниченную область применения [3, 4].

Важной особенностью интегрируемых нелинейных уравнений является выполнение условия энергетического баланса между механизмами протекания различных процессов, учитываемых в таких уравнениях. Например, дисперсия всегда