

где  $K_{тк}$  – коэффициент теплоотвода, характеризующий интенсивность отвода теплоты в шлифовальный круг и являющийся комплексной теплофизической характеристикой круга,

$$K_{тк} = \delta \cdot \sqrt{(\lambda \cdot c \cdot \gamma)_к}, \quad \delta = S_к / S_d,$$

$$A = \frac{2,35}{T_{пл}} \cdot \sqrt{\frac{L}{\pi \cdot V_{кр}}}, \quad q_0 = \frac{T_{пл}}{2} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot (\lambda \cdot c \cdot \gamma)_д}{\tau}},$$

$$Q_c = 0,85 \times 10^{-12} \cdot T_{пл} \cdot c_d \cdot \gamma_d \cdot K_{ро} \cdot V_{кр} \cdot P_r / L.$$

Поскольку  $S_x$  существенно зависит от радиальной силы  $P_r$ , то коэффициент теплоотвода шлифовального круга следует характеризовать параметрами модели  $K_{тк} = f(P_r)$ . Если значение  $K_{ро}$  определено заранее, то при реализации эксперимента по определению  $K_{тк}$  следует записывать только зависимость температуры поверхности от времени при различных значениях радиальной силы. Время каждого опыта составляет 10...20 с. Необходимые для расчета  $K_{тк}$  значения теплофизических показателей материала образца приведены в [2].

Таким образом, для оценки рабочих свойств шлифовального круга предлагаются два новых показателя: обобщенный коэффициент режущей способности и коэффициент теплоотвода, а также методика их определения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Махаринский Е. И. Технологические основы управления процессом шлифования. – М.: СНИО СССР, 1990. – 52 с.
2. Сипайлов В. А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. – М.: Машиностроение, 1078. – 166 с.
3. Яцерицын П. И., Цокур А.К., Еременко М. Л. Тепловые явления при шлифовании и свойства обработанных поверхностей. – Мн.: Наука и техника, 1973. – 184 с.

УДК 621.9.048.6

Н.Т. Минченя, В.Г. Куптель

### ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОПТИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ГЕНЕРАТОРА ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ ВИБРАЦИОННОГО ТОЧЕНИЯ

*Белорусская государственная политехническая академия  
Минск, Беларусь*

Повышение эффективности процесса резания нержавеющей, жаропрочных сплавов и других труднообрабатываемых материалов требует изыскания новых методов и

средств. Процесс пластической деформации срезаемого слоя за линией среза, а также интенсивность изнашивания инструмента существенно зависят от условий взаимодействия рабочих поверхностей инструмента и обрабатываемой заготовки, которые можно изменять путем возбуждения в системе СПИД вынужденных высокочастотных колебаний малой амплитуды. Эти колебания могут вызывать в системе СПИД дополнительные циклические перемещения контактных поверхностей инструмента относительно заготовки и приводить к периодическому повороту векторов сил резания на передних и задних поверхностях и значительному уменьшению сопротивления сходу стружки и облегчению процесса стружкообразования [1, 2].

Многочисленные устройства для наложения высокочастотных колебаний на инструмент не нашли широкого применения в производстве из-за громоздкости, сложности настройки на достижение требуемого эффекта, низких режимов резания, большой требуемой мощности привода.

В процессе обработки с наложением высокочастотных колебаний вследствие износа инструмента и других технологических факторов, приводящих к увеличению акустических потерь, резонансный режим работы системы нарушается, уменьшается амплитуда колебаний режущей кромки реза, что приводит к полному отсутствию эффекта от наложения акустических колебаний. Правильный расчет узлов акустического преобразователя и тщательность их изготовления в значительной степени определяют работоспособность системы.

При распространении волны происходит перенос энергии от источника к режущей кромке реза. Полная средняя энергия элемента объема среды

$$\bar{E}_{\text{ноя}} = \rho A^2 \omega \frac{V_{\text{об}}}{2}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность среды;  $A$  – амплитуда волны;  $\omega$  – круговая частота;  $V_{\text{об}}$  – объем элемента среды.

От плотности энергии в акустической волне зависит интенсивность  $I$ , т. е. энергия, проходящая через единичную площадку, расположенную перпендикулярно распространению волны.

$$I = \bar{E}_{\text{ноя}} \cdot c = \rho c \omega^2 \frac{A^2}{2}, \quad (2)$$

где  $c$  – скорость распространения волны в материале реза.

Акустическая волна сопровождается потерями энергии, вследствие чего амплитуда волны уменьшается.

$$A_x = A_0 e^{-\alpha x}, \quad (3)$$

где  $A_x$  – амплитуда смещения частиц в контролируемой точке;  $A_0$  – амплитуда смещения частиц в нулевой точке.

Учитывая выражение (2), получаем

$$I_x = I_0 e^{-\alpha x}, \quad (4)$$

где  $I_x$  – интенсивность волны в контролируемой точке;  $I_0$  – интенсивность волны в нулевой точке.

При известных  $A_{x_1}$  и  $A_{x_2}$  или  $I_{x_1}$  и  $I_{x_2}$  в точках  $x_1$  и  $x_2$  получим коэффициент затухания

$$\alpha = \frac{1}{x_2 - x_1} \ln \frac{A_{x_1}}{A_{x_2}} = \frac{1}{2(x_2 - x_1)} \ln \frac{I_{x_1}}{I_{x_2}}. \quad (5)$$

Таким образом, при выбранной выходной электрической мощности генератора эффективность обработки зависит от количества энергии, сообщаемой вершине режущего инструмента. Количество энергии можно определить согласно (2), если известна амплитуда колебаний.

Для определения амплитуды колебаний известны различные методы и средства [2]. Они предназначены в основном для лабораторных измерений, а для обеспечения режима вибрационного резания необходимо непрерывно контролировать амплитуду колебаний вершины резца или участка резца, амплитуда колебаний которого функционально связана с амплитудой вершины резца. С этой целью разработан бесконтактный индуктивный трансформаторный преобразователь (БИТП), применение которого в вибрационной системе резания позволит посредством обратной связи автоматически поддерживать заданный уровень амплитуды колебаний вершины резца.

Для экспериментальной оценки мощности генератора, требуемой для обеспечения заданной амплитуды акустических колебаний вершины резца под нагрузкой, разработан стенд (рис. 1). Посредством зажимающих накладок 4 и 5 резец 1 закреплен в сечениях с нулевой амплитудой. Нагрузка на его вершину создается цилиндрической прорезной пружиной 7 со встроенным внутрь индуктивным преобразователем, предназначенным для преобразования упругой деформации пружины в электрический сигнал с помощью электронного блока 10. Деформация пружины создается перемещением винта 9 относительно корпуса 8. Зависимость величины электрического сигнала на выходе электронного блока 10 от нагрузки, создаваемой при деформации цилиндрической прорезной пружины 7 представлена на рис. 2. Для контроля амплитуды акустической волны, распространяющейся вдоль оси резца, в точке, удаленной от узла, вблизи сечения, где находится режущая кромка, установлен БИТП 6. При подключении акустического преобразователя 2 к генератору 3 в резец вводятся высокочастотные колебания. При этом зазор между поверхностью резца 1 и БИТП 6 изменяется с частотой волны, распространяющейся вдоль резца. Изменения зазора приводят к изменению параметров БИТП, которые преобразуются в электрический сигнал. На выходе БИТП получаем модулированное ультразвуковыми колебаниями на-

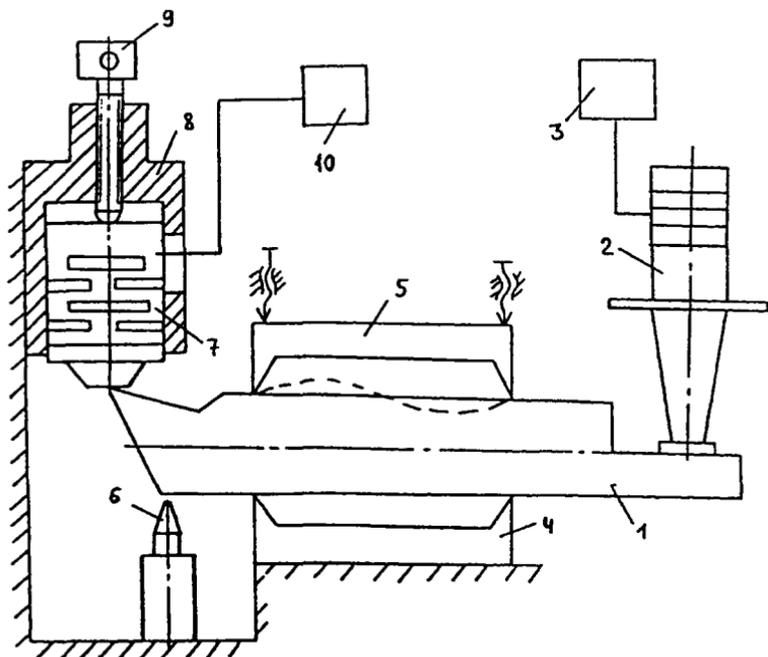


Рис. 1. Схема измерительного стенда

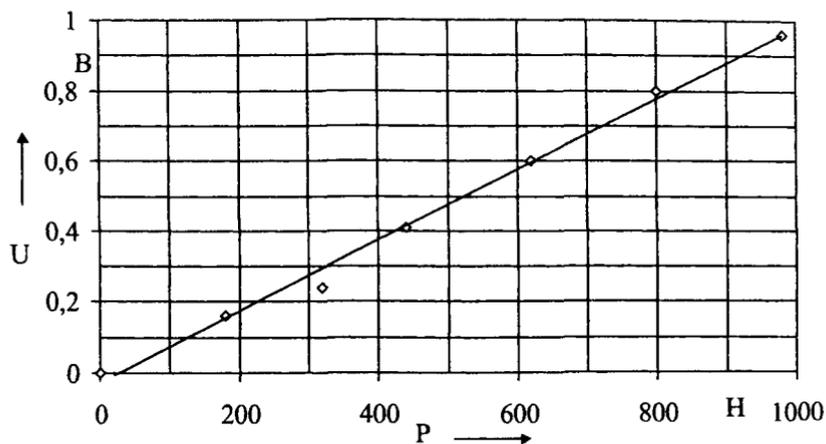


Рис. 2. Зависимость величины электрического сигнала на выходе электронного блока от приложенной нагрузки

пряжение несущей частоты 200 кГц, которое усиливается усилителем переменного тока и выпрямляется демодулятором. Затем отфильтровывается несущая частота, и сигнал пропорциональный амплитуде колебаний регистрируется на экране электронно-лучевого осциллографа.

Получены зависимости амплитуды колебаний режущей кромки резца от нагрузки при различной мощности генератора. При мощности генератора 25 Вт увеличение нагрузки более 400 Н уменьшает амплитуду колебаний (рис. 3) и при нагрузке в 1000 Н амплитуда уменьшается до 1 мкм. При 50 Вт и начальной амплитуде 4 мкм нагрузка в 1000 Н уменьшает амплитуду на 1,5 мкм. Это связано с уменьшением добротности акустической системы. Чтобы восстановить потери, необходимо увеличивать мощность акустического преобразователя.

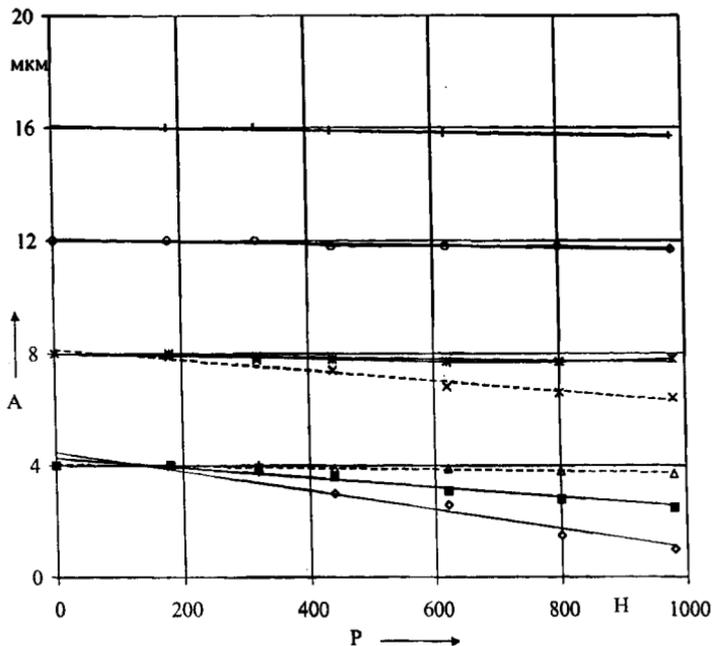


Рис. 3. Зависимость амплитуды колебаний вершины режущей кромки инструмента от приложенной нагрузки (◊ - 25 Вт; ■ - 50 Вт; △ - 100 Вт; × - 100 Вт; \* - 200 Вт; ○ - 400 Вт; + - 400 Вт)

Начиная со 100 Вт начальная амплитуда в 4 мкм практически не уменьшается во всем диапазоне нагрузок. При амплитудах от 8 до 16 мкм наиболее оптимальной для поддержания режима вибрационного резания является мощность 400 Вт.

Таким образом, при правильном определении узловых точек для крепления резца, настройке ультразвукового преобразователя в резонанс и контроле амплитуды колебаний резца в точке, находящейся между узлами колебаний, можно при небольших мощностях создавать и посредством обратной связи поддерживать амплитуду колебаний режущей кромки резца, а следовательно и режим вибрационного резания. Разработанная оснастка и измерительные устройства позволяют проводить нагруженные и контроль амплитуды колебаний инструмента при любой схеме ввода акустических колебаний.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Марков А.И. Ультразвуковое резание труднообрабатываемых материалов.— М.: Машиностроение, 1968.— 367 с. 2. Кумабэ Д. Вибрационное резание.— М.: Машиностроение, 1985.— 424 с.

УДК 621.9.02.001

М. И. Михайлов

### МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОФИЛЯ ФРЕЗЫ С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРА ВИНТОВОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого  
Гомель, Беларусь*

На качество поверхности детали влияет не только высота остаточных гребешков шероховатости, но и характер их распределения на поверхности [1–3].

При синтезе общих схем обработки возникают задачи выбора рациональной формы инструмента. Для сложной поверхности существует множество решений данной задачи. Поэтому практический интерес представляет установление влияния характера кинематической поверхности детали на формообразующую кромку инструмента.

Решение этой задачи требует начального определения значения кинематической погрешности. Для этого образующую локального участка кинематической поверхности описываем векторным многочленом [4–7]

$$r = r(t) = p_0 + tp_1 + t^2p_2 + t^3p_3 \quad (0 \leq t \leq 1). \quad (1)$$

Векторные коэффициенты  $p_0, p_1, p_2, p_3$  определяем по известным граничным условиям

$$r(0) = r_0, \quad r(1) = r_1, \quad r'(0) = T_0, \quad r'(1) = T_1. \quad (2)$$