

РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЛУБИННОГО ШЛИФОВАНИЯ

*Витебский государственный технологический университет
Витебск, Беларусь*

Задачей из аспектов предварительной оптимизации процесса шлифования является выбор шлифовального круга, важнейшими свойствами которого являются режущая способность и тепловая активность. Рабочими характеристиками обычного (многопроходного или многооборотного) шлифования, которыми пользуются для оптимизации показателей рабочего цикла [1], являются коэффициент режущей способности K_p , показатели теплового ограничения производительности (глубина бесприжогового шлифования a_x и коэффициент тепловой активности b) и параметры модели затупления шлифовального круга. Однако показатель K_p не пригоден для глубинного шлифования, так как в этом случае сила P_y не характеризует уровень полного давления в зоне шлифования (глубины внедрения абразивных зерен). Необходимо также учесть скорость шлифования. Поэтому в качестве новой характеристики режущих свойств шлифовального круга при глубинном и обычном шлифовании предлагается принять отношение объема материала $V_{уд}$, удаленного единицей площади рабочей поверхности шлифовального круга, к среднему радиальному давлению p_c в зоне шлифования.

Рассмотрим случай вышлифовки канавки кругом прямого профиля.

За время τ при глубинном шлифовании канавки глубиной a и шириной B со скоростью продольной подачи $S_{пр}$ удаляется объем $V = a \cdot B \cdot S_{пр} \cdot \tau$. За это же время в работе принимает участие площадь шлифовального круга $F = 0,001 \cdot B \cdot V_{кр} \cdot \tau$, где $V_{кр}$ рабочая скорость круга. Тогда отношение ($\text{мм}^3/\text{мм}^2$):

$$V_{уд} = 10^3 \cdot a \cdot S_{пр} / V_{кр}, \quad (1)$$

Среднее давление в зоне шлифования (контакта шлифовального круга с заготовкой) определяется выражением ($\text{кН}/\text{мм}^2$):

$$p_c = P_r / (B \cdot L), \quad (2)$$

где P_r – радиальная сила шлифования; L – длина дуги контакта.

В предположении, что давление p в зоне шлифования пропорционально текущему значению угла ψ (рис. 1), найдено выражение для вычисления значения угла μ отклонения радиальной силы от вертикальной оси.

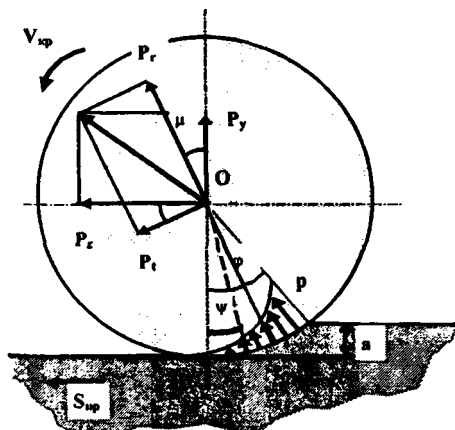


Рис. 1. Схема плоского глубинного шлифования

получена модель для вычисления обобщенного коэффициента режущей способности K_{po} в случае плоского глубинного шлифования кругом формы ПП ($\text{мм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{кН})$):

$$K_{po} = 10^3 \cdot \frac{a \cdot S_{up} \cdot B \cdot D}{V_{sp}} \cdot \frac{\text{arctg} \sqrt{a/(D-a)}}{P_y \cdot \cos \mu + P_x \cdot \sin \mu}, \quad (4)$$

где D – диаметр шлифовального круга, P_y и P_x – проекции силы шлифования на соответствующие оси.

Для случая многопроходного шлифования с малыми значениями глубины, когда угол $\mu \rightarrow 0$, согласно модели (4) и определению коэффициента режущей способности K_p , можно записать:

$$K_{po} = 10^3 \cdot K_p \cdot \sqrt{a \cdot D} / V_{sp}. \quad (5)$$

Значение K_{po} для разных сочетаний характеристик шлифовального круга и обрабатываемого материала можно экспериментально определять с помощью приспособления, схема которого показана на рис. 2. В том случае, когда образец шлифуется в течение времени τ , значение K_{po} определяется по зависимости:

$$K_{po} = 10^3 \cdot \frac{B \cdot h \cdot L^2}{V_{sp} \cdot P_r \cdot \tau}, \quad (6)$$

где h – линейный сьем материала образца за время τ , P_r – сила прижима образца к шлифовальному кругу, которую обеспечивают грузы 4.

$$\text{tg} \mu = \lim_{i \rightarrow N} \frac{\sum_{i=1}^N i \cdot \sin[(2i-1) \cdot \varphi / 2N]}{\sum_{i=1}^N i \cdot \cos[(2i-1) \cdot \varphi / 2N]},$$

где N – число дискрет, на которые разбит угол контакта φ .

Численным моделированием установлено, что значение μ с высокой степенью точности можно вычислять по следующей простой модели

$$\mu = 0,98 \cdot \sqrt{2 \cdot a / D}. \quad (3)$$

На основании схемы сил, показанной на рис. 1, и с учетом моделей (1) и (2),

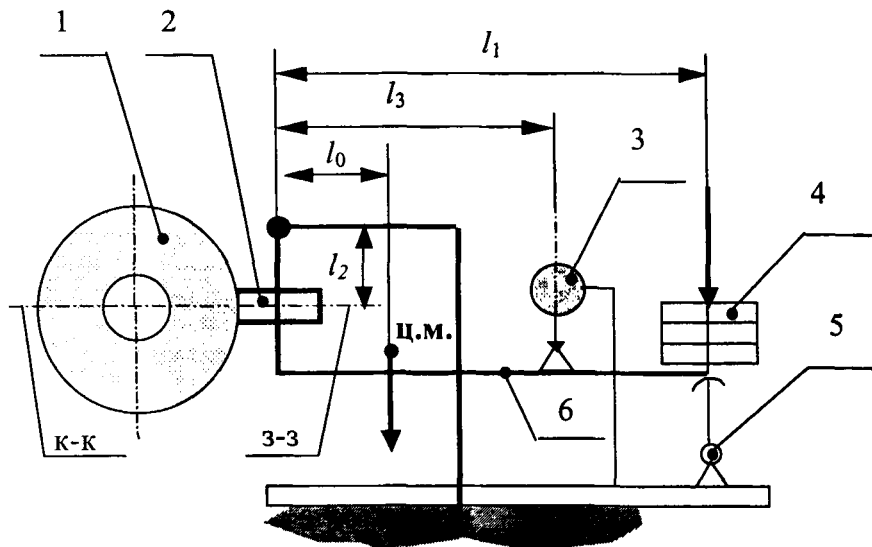


Рис. 2. Схема установки для определения K_{po} и $K_{тк}$.

1 – испытуемый шлифовальный круг; 2 – шлифуемый образец материала; 3 – индикатор съема; 4 – грузы; 5 – откидной упор; 6 – рычаг; l_1, l_2, l_3, l_0 – плечи, используемые в расчетах

Приспособление, схема которого показана на рис. 2, можно использовать и для определения комплексного показателя $K_{тк}$ (условного коэффициента), позволяющего выбирать круг по его тепловой активности. Для этого следует применять образец, который представляет собой полусинтетическую термопару, что позволяет непрерывно измерять температуру шлифуемой поверхности образца T_0 .

Шлифуемый образец (в виде стержня прямоугольного сечения) представляем как полубесконечный, для которого определено граничное условие второго рода. В работе [2] получено следующее уравнение для вычисления температуры T_{II} на торце полубесконечного стержня, где действует источник тепла с плотностью q_0 :

$$T_{II} = \frac{2 \cdot q_0}{\lambda_0} \cdot \sqrt{\frac{\omega_0 \cdot \tau}{\pi}}, \quad (7)$$

где λ_0 – теплопроводность материала образца (заготовки), Вт/м·град; ω_0 – коэффициент температуропроводности образца, м²/с; τ – время действия источника, с.

Так как ширина стержня много меньше диаметра круга, то температурное поле круга можно описать уравнением теплопроводности для движущегося со скоростью $V_{ш}$ теплового источника, для которого применимо граничное условие второго рода

($q_n = \text{const}$). При большой скорости источника, температура впереди источника и на его передней границе, равна первоначальной температуре тела ($T_0=0$). Внутри источника она быстро повышается и достигает своего максимума на его задней кромке. Для этого максимума выполняется [3]:

$$T_k = \frac{2 \cdot q_k \cdot \sqrt{L}}{\sqrt{\pi \cdot \lambda_k \cdot c_k \cdot \gamma_k \cdot V_{кр}}}, \quad (8)$$

где L – длина дуги контакта (ширина стержня), м; λ_k – теплопроводность круга, c_k – теплоёмкость круга, Дж/кг·град; γ_k – плотность, кг/м³.

В общем случае уравнение теплового баланса записывается следующим образом:

$$Q_{y,кр} + Q_{y,дет} + Q_{y,струж} + Q_{y,сож} = Q_y, \quad (9)$$

где $Q_{y,кр}$, $Q_{y,дет}$, $Q_{y,струж}$, $Q_{y,сож}$ – удельное количество теплоты (или тепловой поток), уходящее соответственно круг, деталь, стружку и СОЖ; Q_y – общее количество теплоты, выделившиеся в процессе резания, Дж/с.

Из (9) исключаем $Q_{y,сож}$, так как доля теплоты, поступающей в СОЖ (или (и) в атмосферу) попадает в нее не непосредственно из зоны контакта, а с поверхности нагретого металла уже после того, как шлифовальный круг прошел это место.

Тогда перепишем (9) как:

$$Q_{y,кр} + Q_{y,дет} = Q_y - Q_{y,струж}. \quad (10)$$

Здесь $Q_y = q \cdot S$, где q – плотность теплового потока, S – площадь, через которую передается теплота, м². $Q_{y,струж} = c_d \cdot m_c \cdot T_c$, где m_c – масса стружки, снимаемой за единицу времени, кг/с, T_c – температура стружки, °С. Уравнение (10) примет вид:

$$q_d \cdot S_d + q_k \cdot S_k = N_{эфф} - 10^{-9} \cdot c_d \cdot \gamma_d \cdot h \cdot S_d \cdot T_c / \tau, \quad (11)$$

где q_d , q_k – тепловые потоки, определяемые из (7) и (8), Дж/с·м²; $N_{эфф}$ – эффективная мощность шлифования, Вт; $S_d = B \cdot L$ – площадь, через которую теплота переходит в деталь (B – ширина контакта, L – длина дуги контакта); S_k – эффективная площадь контакта абразивных зерен с деталью, h – величина съема металла за время τ , мм.

В первом приближении можно считать, что T_c и T_k не зависят от режимов шлифования, а определяются температурой плавления шлифуемого материала $T_{пл}$. Тогда из [3] $T_n = T_k = 0,85 \cdot T_{пл}$.

В итоге получим выражение для некоторого показателя, отражающего совокупность теплофизических характеристик шлифовального круга:

$$K_{тк} = A \cdot \left(\frac{N_{эфф} - Q_c}{B \cdot L} - q_0 \right), \quad (12)$$

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