

А.Ф. РАБ, Ф.В. НОВИКОВ, Н.И. ДУБИНА
(Харьковский политехнический институт)

АЛГОРИТМ КИНЕМАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ШЛИФОВАНИЯ

При исследовании процесса абразивного шлифования и разработке рекомендаций по назначению оптимальных режимов шлифования возникает сложная задача по установлению взаимосвязи параметров режима шлифования, характеристик круга и изделия с основными показателями процесса: производительностью и качеству обработанной поверхности. Многообразие зависимых факторов, которые необходимо учитывать, затрудняет экспериментальное решение такой задачи. Проведение однофакторных экспериментов позволяет выявить влияние только отдельных параметров на технологические параметры процесса шлифования. Многофакторное планирование эксперимента, которое получило в последние годы широкое применение в области исследования процессов резания, учитывает совокупное влияние изучаемых факторов и позволяет разработать математическую модель процесса. Однако область применения такой модели ограничивается исследованным диапазоном изменения параметров процесса, и ее построение вызывает значительные затруднения в связи с проведением большого числа экспериментов. Поставленная задача может быть решена аналитически, путем разработки кинематической модели процесса шлифования, основанной на вероятностном представлении взаимодействия режущих зерен круга с обрабатываемым материалом.

В данной статье приведены зависимости кинематических параметров процесса, производительности, шероховатости и точности обработанной поверхности от максимальной глубины внедрения зерен в обрабатываемый материал, предложена методика выбора оптимальных параметров режима шлифования.

Несмотря на беспорядочное расположение зерен на рабочей поверхности круга, разнообразие их геометрической формы, размеров и ориентации [1-3], процесс удаления припуска и формообразование поверхности при шлифовании имеет строгое аналитическое описание и полностью определяется линией полного съема металла, которая представляет собой границу завершения диспергирования режущими зернами металла, подводимого в зону резания рабочей поверхности круга (рис. 1).

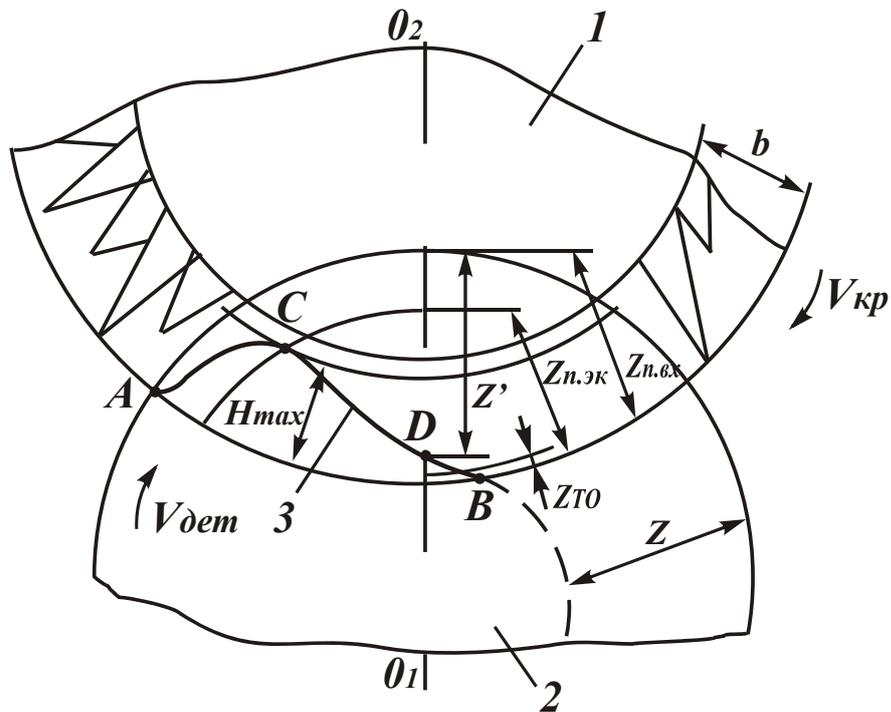


Рис. 1. Расчетная схема круглого продольного шлифования: 1 – круг; 2 – изделие; 3 – линия полного съема металла.

По аналогии с обработкой лезвийными инструментами при шлифовании линия полного съема металла характеризует поверхность резания, которая всегда располагается в слое зерен, имеет сложную экстремальную конфигурацию.

Для математического описания кинематики процесса шлифования достаточно знать характерные точки линии полного съема металла:

А – точку сопряжения обрабатываемой поверхности с поверхностью резания при шлифовании. Перенос точки А радиуса O_1A на осевую плоскость шлифования позволяет определить параметр $Z_{п.вх}$, численно равный фактической глубине шлифования;

В – точку сопряжения поверхности резания с обработанной поверхностью. Она позволяет определить параметр Z_{T0} – максимальную высоту микронеровности обработанной поверхности. Для этого необходимо радиусом O_1B точку В перенести на осевую плоскость шлифования;

С – точку, характеризующую уровень максимального внедрения металла в слой зерен H_{max} . Горизонтальное положение точки С устанавливается пересечением элементарного экстремального слоя, определяемого координатой $Z_{п.экт}$ с уровнем H_{max} ;

Д – точку пересечения линии полного съема металла с осевой плоскостью шлифования. Она характеризуется параметром Z_{T1} , равным толщине неснятого

металла при прохождении изделием первой половины угла поворота. Z_{Ti} используется для определения величины снятого металла $Z' = Z_{n.ox} - Z_{Ti}$ за первую половину угла поворота и точности обработки.

Конфигурация линии полного съема металла обусловлена изменением двух параметров – H_{max} и Z . Так как Z является независимой переменной, а H_{max} может изменяться в зависимости от основных параметров процесса шлифования в пределах от 0 до b , то H_{max} является главным параметром, позволяющим определять все остальные характерные точки линии полного съема металла. Этот параметр должен быть положен в основу разработки алгоритма расчета оптимальных параметров режима шлифования.

Исходя из условия $H_{max} = \mu \cdot b$, где $\mu = 0 \dots 1$ – коэффициент, учитывающий степень внедрения металла в рабочую поверхность круга; b – максимальная высота выступания зерен над связкой, и зависимости (10) [2], получаем выражение, связывающее все параметры процесса шлифования:

$$V_{изд} = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot k \cdot V_{кр}}{9 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}} \cdot \left[\frac{(\mu \cdot b)^3}{4 \cdot \sqrt{Z_n}} + \sum_{i=0}^{n-2} Z_i^{5/2} \right], \quad (1)$$

где 2γ – угол при вершине режущего зерна; k – поверхностная концентрация зерен, шт./см²; $V_{изд}$, $V_{кр}$ – скорости изделия и круга, м/мин; R_1 , R_2 – радиусы изделия и круга, мм.

В формуле (1) k и b в неявном виде содержат характеристики круга – зернистость и концентрацию зерен. Выразим k и b через средневзвешенную зернистость \bar{X} и концентрацию круга m по формулам [3]:

$$k = \frac{3 \cdot m \cdot (1 - \varepsilon)}{200 \cdot \pi \cdot \bar{X}^2}, \quad (2)$$

$$b = (1 - \varepsilon) \cdot \bar{X}, \quad (3)$$

где $(1 - \varepsilon)$ – коэффициент, характеризующий величину выступания зерна над связкой. Обычно в расчетах он принимается 0,3.

После подстановки формул (2) и (3) в выражение (1) получим

$$V_{изд} = \frac{\sqrt{2} \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{кр}}{300 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \cdot \bar{X}^3} \cdot \left[\frac{\mu^3 \cdot (1 - \varepsilon)^3 \cdot \bar{X}^3}{4 \cdot \sqrt{Z_n}} + \sum_{i=0}^{n-2} Z_i^{5/2} \right]. \quad (4)$$

Зависимость (4) получена для различных значений μ при условии, что

$$B_1 = 2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot \frac{S_{np}}{V_{изд}} = const, \quad \text{где } B_1 \text{ – продольная подача, мм/об.}; S_{np} \text{ – продольная}$$

подача, м/мин (рис. 2,а). Увеличение μ позволяет повысить $V_{изд}$.

Для выбора конкретных параметров режима шлифования необходимо исходить из обеспечения требуемой шероховатости поверхности и точности размера при максимально возможной производительности процесса. По ранее разработанной методике [3] были рассчитаны значения Z_{T0} и построена зависимость максимальной высоты микронеровностей $Z_{T0} = R_{max}$ и точности размера Δp от Z для различных μ (рис. 2,б,г). Точность размера Δp определяется по зависимости

$$\Delta p = \frac{K_{ш} \cdot \sigma}{c} \cdot \frac{Q}{V_{кр}}, \quad (5)$$

где $K_{ш}$ – коэффициент шлифования; σ – условное напряжение резания при шлифовании, Н/мм²; c – приведенная жесткость СПИД, Н/мм; Q – производительность процесса шлифования, мм³/мин.

Графически зависимость производительности Q от Z (рис. 2,в) построена по формуле $Q = B_1 \cdot V_{изд} \cdot Z$ и формуле (4) (рис. 2,а).

Задавшись значениями Z_{T0} и Δp , установленными чертежом обрабатываемого изделия, определим параметры режима шлифования: $V_{изд}$, Z и S_{np} , $V_{кр}$ для конкретных характеристик кругов, изделия.

Для этого по значениям Z_{T0} и Δp (рис. 2,б,г) находим множество сочетаний μ , Z , из которых выбираем значение Z , равное заданному припуску, и соответствующее ему значения μ_1 и μ_2 для точности и шероховатости. Из выбранных μ_1 и μ_2 принимается меньшее, обеспечивающее выполнение как требуемой точности, так и шероховатости.

Такой порядок назначения Z и μ исходит из возможности съема припуска за один проход, т.е. максимальной производительности. В случае ограничения теплонапряженности процесса шлифования съем припуска необходимо проводить за несколько проходов n с глубиной шлифования $Z = \delta / n$. Все параметры определяются по аналогичной схеме.

По известным Z , μ определяется значение $V_{изд}$ (рис. 2,а).

С помощью ЭВМ получены зависимости для различных зернистостей кругов. Отсутствие в зависимости (4) взаимосвязи факторов γ , m , $V_{кр}$, R_1 и R_2 поз-

волеет учесть их влияние на $\bar{V}_{изд} = V_{изд} \cdot \psi$ поправочным коэффициентом ψ , определяемым по формуле

$$\psi = \frac{\psi_1 \cdot \psi_2 \cdot \psi_3}{\psi_4}, \quad (6)$$

где $\psi_1 = \frac{tg\gamma'}{tg\gamma}$; $\psi_2 = \frac{m'}{m}$; $\psi_3 = \frac{V'_{кр}}{V_{кр}}$; $\psi_4 = \frac{\sqrt{\frac{1}{R'_1} + \frac{1}{R'_2}}}{\sqrt{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}}$; m' ; $V'_{кр}$; R'_1 ; R'_2 – переменные

факторы, отличные от базовых, для которых построены графические зависимости (рис. 2, а, б, в).

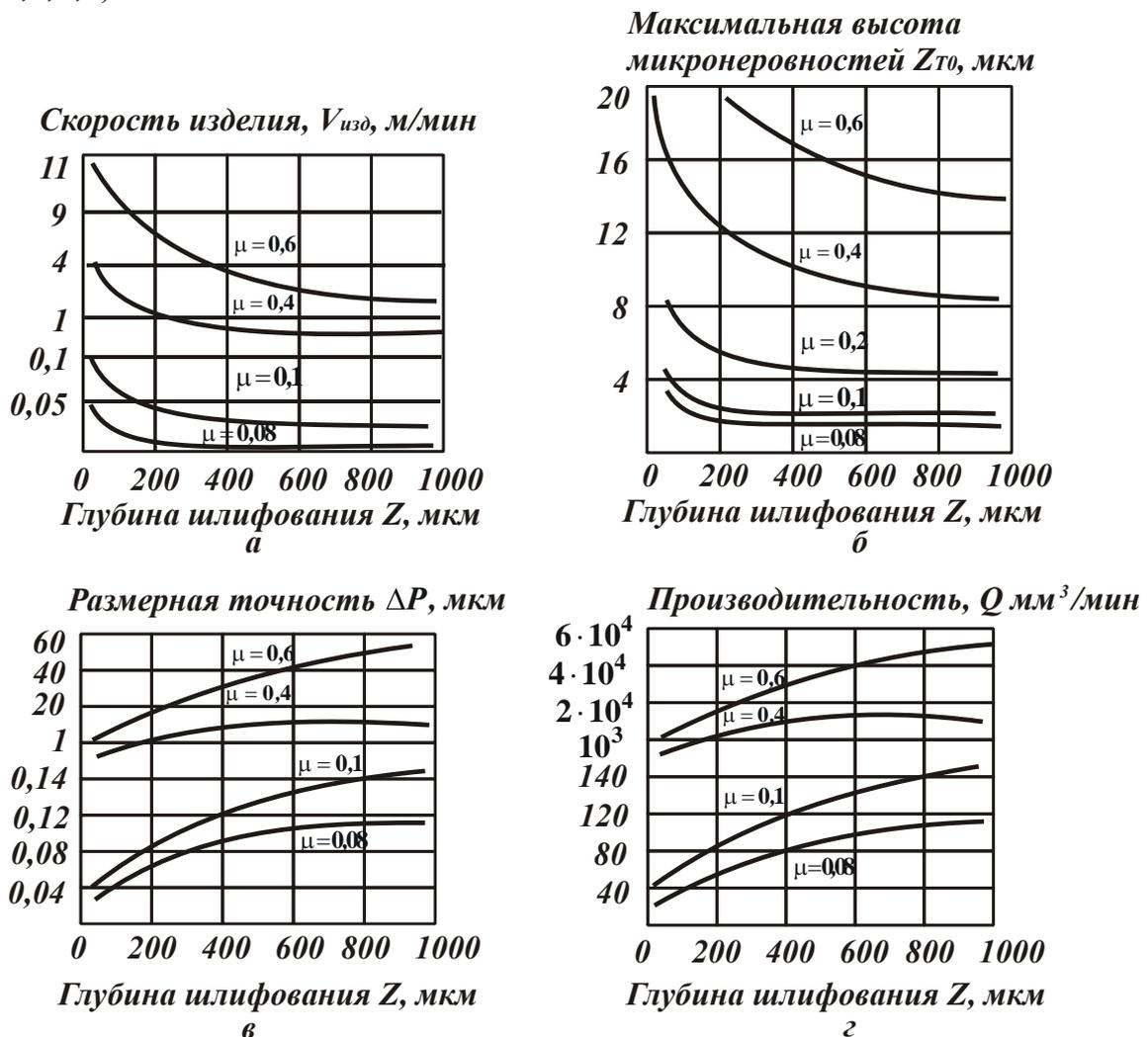


Рис. 2. Зависимости скорости изделия $V_{изд}$ (а), максимальной высоты микронеровностей Z_{T0} (б), размерной точности Δp (в), производительности Q (г) от глубины шлифования Z (исходные данные: $2\gamma=90^0$; $k=100\%$; $\bar{X}=180$ мкм; $R_1=50$ мм; $R_2=100$ мм; $\varepsilon=0,7$; $V_{кр}=30$ м/с; $B_1=20$ мм/об.; $K_{ш}=3$; $\sigma=15,0$ МПа; $c=5000$ Дин/мм)

Таким образом, зависимость (4) представлена произведением невязаных факторов γ , m , $V_{кр}$, R_1 , R_2 , изменения которых учитываются коэффициентом ψ , и взаимосвязанных факторов ε , μ , Z представить которые наиболее целесообразно в виде графиков. Такая структура построения нормативов выбора параметров режима шлифования позволяет комбинировать номограммы, увязывающие Z_{T0} , Z , μ , $V_{изд}$, S_{np} , Q с табличными поправочными коэффициентами для различных γ , m , $V_{кр}$, R_1 , R_2 .

При глубинном шлифовании, когда $Z > \mu \cdot b = \mu \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \bar{X}$, зависимость (4) может быть упрощена ($Z_n \rightarrow Z$; $\sum_{i=0}^{n-2} Z_i^{5/2} \rightarrow 0$):

$$V_{изд} = \frac{tg\gamma \cdot m \cdot V_{кр}}{600 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}} \cdot \left[\frac{\mu^3 \cdot (1 - \varepsilon)^3}{\sqrt{2} \cdot Z} \right]. \quad (7)$$

Выражение для определения производительности процесса примет вид:

$$Q = B_1 \cdot V_{изд} \cdot Z = \frac{tg\gamma \cdot m \cdot V_{кр} \cdot B_1}{\sqrt{2} \cdot 600 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}} \cdot \mu^3 \cdot (1 - \varepsilon)^3 \cdot \sqrt{Z}. \quad (8)$$

Анализируя выражение (8), можно сделать важный вывод: производительность глубинного шлифования при выполнении условия $\mu = const$ не зависит от зернистости круга. Однако это не означает, что и предельная кинематическая производительность шлифования $Q(\mu = 1)$ не зависит от зернистости. В этом случае предельная Q определяется значением ε , которое зависит от прочности удержания зерен в связке и, следовательно, от зернистости круга и находится экспериментальным путем.

Исследуя выражение для определения шероховатости обработанной поверхности при глубинном шлифовании, получаем зависимость Z_{T0} от зернистости:

$$Z_{T0} = b \cdot \sqrt[5]{\frac{b}{16 \cdot Z}}. \quad (9)$$

Таким образом, применительно к глубинному шлифованию расчет основных параметров процесса можно производить аналитически по простым формулам, не прибегая к численным методам. Для этого необходимо $V_{изд}$ и Q выразить через Z_{T0} и Δp соответственно.

Предложенный алгоритм расчета параметров режима шлифования позволяет построить однофакторные зависимости Q , Z_{T_0} , Δp силы резания от любого параметра процесса шлифования. Это значительно сокращает объем экспериментов, ограничив их исследованием только факторов, не учтенных формулами (4), (5), (9), например, связки круга, марки алмазных зерен, СОЖ и т.д., которые могут быть учтены коэффициентом ε .

Рассмотренный алгоритм кинематического расчета оптимальных параметров режима шлифования может служить основой для разработки нормативов режимов шлифования.

Пристатейный библиографический список

1. Раб А.Ф., Новиков Ф.В. Относительная полнота профиля рабочей поверхности круга из СТМ. – В кн.: Резание и инструмент. Харьков, 1980, вып. 24, с. 41-47.

2. Раб А.Ф., Новиков Ф.В. Оптимизация процесса круглого продольного шлифования по кинематической производительности. – В кн.: Резание и инструмент. Харьков, 1981, вып. 26, с. 37-41.

3. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справочник / Под ред. А.Н. Резникова. М., 1977, 390 с.