

ШЕРОХОВАТОСТЬ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ОБРАБОТКИ ПРИ МНОГОПРОХОДНОМ ШЛИФОВАНИИ

Новиков Ф. В., докт. техн. наук, Якимов А.В., док. техн. наук
(Харьковский государственный экономический университет,
Одесский Национальный политехнический университет)

Приведена методика расчета шероховатости обработки при шлифовании. Установлена связь шероховатости с производительности обработки, обоснованы пути повышения эффективности шлифования.

Шлифование – основной метод финишной обработки материалов. Его существенным недостатком является относительно низкая производительность обработки. Одним из ограничивающих факторов повышения производительности обработки является шероховатость обрабатываемых поверхностей. В особой мере это относится к схеме многопроходного шлифования, осуществляемого с небольшими глубинами резания.

Проблеме повышения производительности с учетом ограничений по шероховатости обработки в научно-технической литературе уделено большое внимание [1,2,3]. Однако, имеющиеся решения получены экспериментальным путем для частных условий обработки. Отсутствуют общие теоретические решения, основанные на математическом представлении процесса шлифования.

В наших работах [4, 5 и др.] произведен расчет шероховатости обработки при многопроходном шлифовании с учетом вероятной характера участия зерен в резании. Однако, он оказался достаточно сложным, требующим применения численных методов. Поэтому, с методической точки зрения важно получить упрощенное решение, позволяющее оценить шероховатость обработки при многопроходном шлифовании.

Целью настоящей работы является разработка упрощенной математической модели формирования шероховатости поверхности при многопроходном шлифовании (без учета вероятностного характера участия зерен круга в резании) и на ее основе определения эффективных путей повышения производительности обработки для заданной шероховатости обработки.

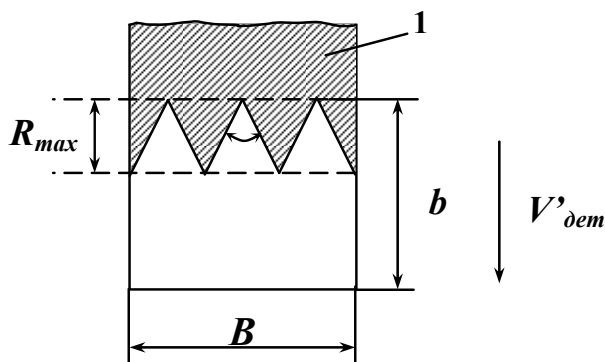


Рис. 1. Расчетная схема:
1 – обрабатываемая деталь.

Для этого рассмотрим закономерности образования микрогеометрии поверхности прямолинейного неподвижного образца 1 в процессе его абразивной обработки, рис. 1. Спроецируем все режущие зёрна, расположенные на участке абразивного инструмента длиной L , на вертикальную плоскость 1, имитирующую положение обрабатываемого образца. Примем, что рабочая часть зерна имеет конусообразную форму с углом при вершине 2γ , а все зёрна выступают над уровнем поверхности инструмента на одинаковую высоту b . Предположим, что вершины спроецированных на плоскость 1 зёрен в горизонтальном направлении равноудалены друг от друга

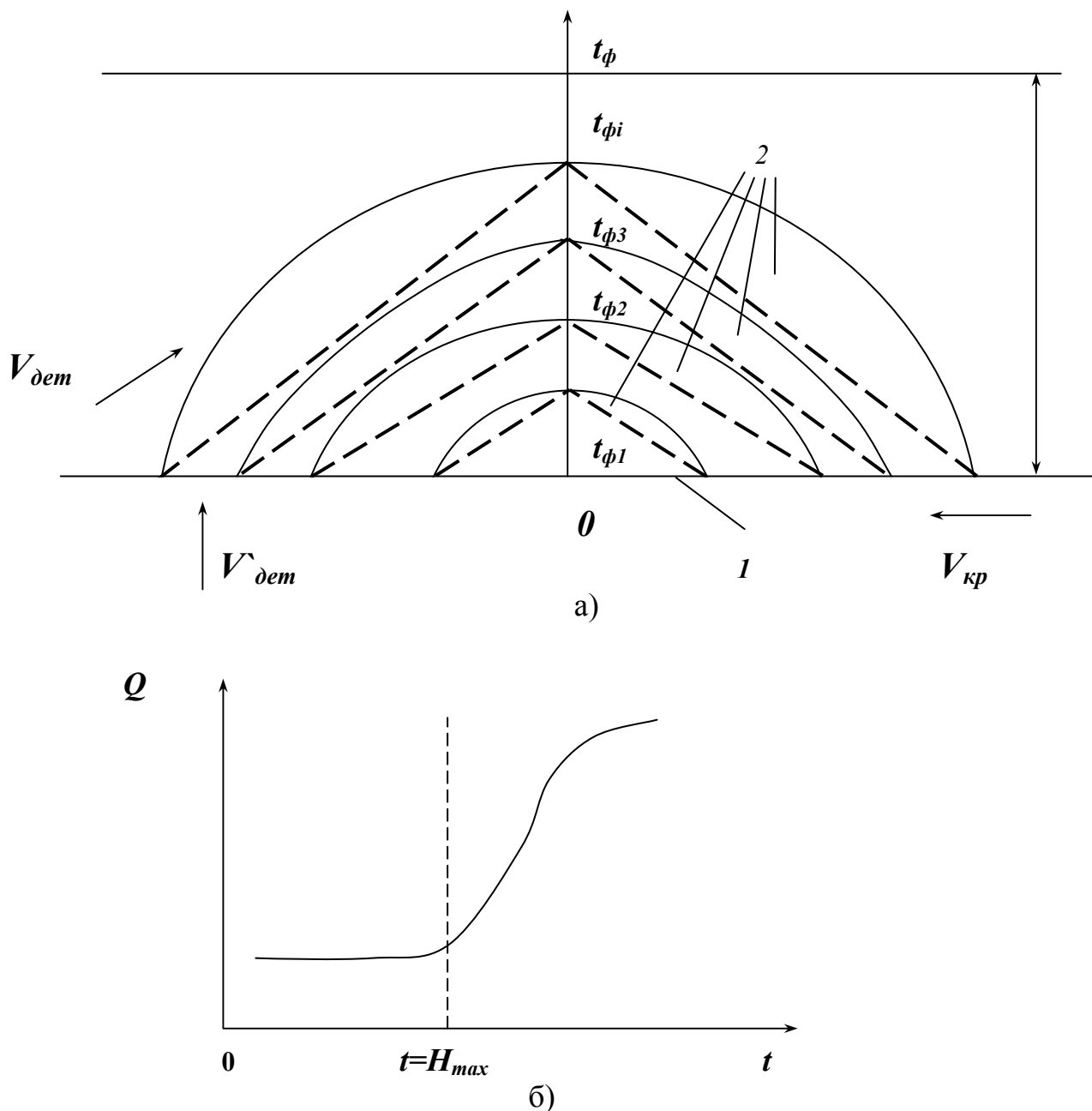


Рис.2. Расчетная схема многопроходного шлифования (а) и зависимость Q от t при фиксированной площади поперечного сечения среза отдельным зерном (б): 1 – наружная поверхность; 2 – положение оболочки (слоя) снимаемого припуска.

друга (рис. 1), тогда справедливо геометрическое условие

$$2 \cdot R_{max} \cdot tg\gamma \cdot n = B, \quad (1)$$

где R_{max} – максимальная высота проекций зёрен на плоскость 1, условно равная максимальной высоте микронеровностей обработанной поверхности (параметру шероховатости обработки R_{max}), м;

B – ширина рабочей части абразивного инструмента, м;

$n = k \cdot B \cdot L$ – количество зёрен, расположенных на участке инструмента длиной L ;

k – поверхностная концентрация зерен на рабочей поверхности инструмента, шт/м².

При круглом наружном многопроходном шлифовании снимаемый припуск представим пакетом бесконечно тонких оболочек (слоёв), входящих в рабочую поверхность круга под разными углами (рис.2,а). За время контакта фиксированного сечения (точки A) наружного слоя с рабочей поверхностью круга, с ним проконтактирует n_1 зёрен. При втором проходе фактическая глубина шлифования t увеличиться в 2 раза. Следовательно, с элементарным слоем снимаемого припуска проконтактирует другое количество n_2 зёрен. При третьем проходе фактическая глубина шлифования станет равной $3t$ и с элементарным слоем проконтактирует n_3 зёрен и т. д.

Суммарное число зёрен $n = n_1 + n_2 + n_3 \dots$ определим следующим образом.

При первом проходе:

$$n_1 = k \cdot B \cdot V_{кр} \cdot \tau \cdot \frac{t}{b} = k \cdot B \cdot V_{кр} \cdot \frac{t_{\phi 1}}{b} \cdot \frac{2 \cdot t_{\phi 1}}{V'_{дет}}, \quad (2)$$

где $\tau = \frac{2 \cdot t_{\phi 1}}{V'_{дет}}$ – время контакта фиксированной точки A элементарного

слоя с рабочей поверхностью круга, равная времени перемещения слоя по нормали к кругу со скоростью $V'_{дет}$ на величину $2t$ (время входа и выхода слоя с рабочей поверхности круга);

$$V'_{дет} = \sqrt{\frac{2 \cdot t_{\phi 1}}{R_{кр}}}; \quad t_{\phi 1} \text{ — фактическая глубина шлифования.}$$

Отношение $\frac{t_{\phi 1}}{b}$ определяет количество рабочих зёрен по высоте их режущего рельефа круга (b – максимальная высота выступания зёрен над уровнем связки). При втором проходе:

$$n_2 = k \cdot B \cdot V_{кр} \cdot \frac{t_{\phi 2}}{b} \cdot \frac{2 \cdot t_{\phi 2}}{V'_{дет}}, \quad (3)$$

где $t_{\phi 2} = 2 \cdot t$ – фактическая глубина шлифования при втором проходе.

При третьем проходе:

$$n_3 = k \cdot B \cdot V_{кр} \cdot \frac{t_{\phi 3}}{b} \cdot \frac{2 \cdot t_{\phi 3}}{V'_{дем}}, \quad (4)$$

где $t_{\phi 3} = 2 \cdot t$ – фактическая глубина шлифования при третьем проходе.

Суммарное число зёрен n равно

$$\begin{aligned} n = n_1 + n_2 + n_3 \dots &= k \cdot B \cdot V_{кр} \cdot \frac{2}{b \cdot V_{дем}} \cdot \sqrt{\frac{R_{кр}}{2}} \cdot (t_1 + t_2 + t_3 \dots) = \\ &= k \cdot B \cdot V_{кр} \cdot \frac{1}{b \cdot V_{дем}} \cdot \sqrt{2 \cdot R_{кр}} \cdot t^{1.5} \cdot (1 + 2^{1.5} + 3^{1.5} + \dots) \end{aligned} \quad (5)$$

Сумму ряда $\Sigma = (1^{1.5} + 2^{1.5} + 3^{1.5} + \dots) = (1 + 2,83 + 5,2 \dots)$ приближённо можно рассматривать как сумму арифметической прогрессии:

$$\Sigma = \frac{(1 + i^{1.5})}{2} \cdot i, \quad (6)$$

где $i = 1; 2; 3$ и т. д.

Считая, что $i^{1.5} > 1$, упростим (6)

$$\Sigma = 0,5 \cdot i^2 \quad (7)$$

Количество проходов круга i до момента формирования параметра шероховатости R_{max} равно

$$i = \frac{R_{max}}{t} \quad (8)$$

Тогда n с учётом (7) и (8) определяется

$$n = k \cdot B \cdot V_{кр} \cdot \frac{1}{b \cdot V_{дем}} \cdot \sqrt{2 \cdot R_{кр}} \cdot \frac{R_{max}^{2.5}}{2 \cdot t} \quad (9)$$

Используя условие (1) получим расчётную зависимость для определения параметра R_{max}

$$R_{max} = \left(\frac{b \cdot V_{дем} \cdot t}{tg\gamma \cdot k \cdot V_{кр} \cdot \sqrt{D_{кр}}} \right)^{0.29}, \quad (10)$$

где $D_{кр} = 2 \cdot R_{кр}$ – диаметр круга.

Для сравнения получим зависимость для определения параметра R_{max} в условиях однопроходного (глубинного) шлифования. Координата элементарной оболочки, определяющей условия формирования параметра R_{max} , равна $t_1 = R_{max}$, ($t_2 = t_3 = \dots = 0$), т.е. сумма ряда $\Sigma = 1$. Тогда, с учетом преобразованной зависимости (6) и условия (1) параметр R_{max} выразится

$$R_{max} = \left(\frac{b \cdot V_{дем}}{tg\gamma \cdot k \cdot V_{кр} \cdot \sqrt{D_{кр}}} \right)^{0.4} \quad (11)$$

Зависимость (10) отличается от аналогичной зависимостью (11) тем, что в неё входит глубина шлифования t . Следовательно, при многопро-

ходном шлифовании (в отличие от однопроходного глубинного шлифования) с увеличением глубины шлифования t параметр шероховатости обработки R_{max} увеличивается. С учётом $Q=B \cdot V_{dem} \cdot t$ зависимость (10) примет вид

$$R_{max} = \left(\frac{b \cdot Q}{tg\gamma \cdot k \cdot B \cdot V_{кр} \cdot \sqrt{D_{кр}}} \right)^{0.29} . \quad (12)$$

Параметр R_{max} тем больше, чем больше производительность обработки Q . Преобразуем зависимость (11)

$$R_{max} = \left(\frac{b \cdot Q}{tg\gamma \cdot k \cdot B \cdot V_{кр} \cdot t \cdot \sqrt{D_{кр}}} \right)^{0.4} . \quad (13)$$

При $Q=const$ с увеличением глубины шлифования t параметр шероховатости обработки R_{max} уменьшается, что свидетельствует об эффективности глубинного шлифования. Между параметром R_{max} и максимальной (приведенной) толщиной среза H_{max} существует связь [4]

$$R_{max} = 5 \sqrt[5]{\frac{H_{max}^6}{4t}} . \quad (14)$$

Подставим (14) в (13)

$$H_{max} = \left(\frac{b \cdot Q}{tg\gamma \cdot k \cdot B \cdot V_{кр} \cdot \sqrt{t \cdot D_{кр}}} \right)^{0.33} . \quad (15)$$

Полученные зависимости (10) и (11) согласуются с аналогичными зависимостями, установленными нами с учётом вероятности участия зёрен в резании [5], рис.2,б. При $t < R_{max} \cong H_{max}$ производительность обработки Q почти не зависит от t , при $t > R_{max} \cong H_{max}$ – увеличивается с увеличением t .

Выразим поверхностную концентрацию круга k и максимальную высоту выступания зёрен над уровнем связки через зернистость круга \bar{x} и объёмную концентрацию круга m с учетом зависимостей проф. Резникова А.Н. [6]

$$R_{max} = \left(\frac{200\pi \cdot \bar{x} \cdot Q}{3 \cdot tg\gamma \cdot m \cdot B \cdot V_{кр} \cdot \sqrt{D_{кр}}} \right)^{0.29} . \quad (16)$$

Как видим, наибольшее влияние на R_{max} оказывает зернистость круга \bar{x} . Параметры Q , m , B , $V_{кр}$ влияют на R_{max} в одинаковой степени.

Таким образом, теоретически обоснованы пути повышения производительности шлифования с учетом ограничений по шероховатости обработки. Они состоят в увеличении числа одновременно работающих зерен круга за счет увеличения параметров m , B , $V_{кр}$, $D_{кр}$ и уменьшения \bar{x} . При глубинном шлифовании механизм формирования шероховатости поверхности иной – параметр шероховатости R_{max} не зависит от глубины шлифования, что является

важным условием интенсификации процесса шлифования. Исходя из этого, в дальнейших исследованиях важно более глубоко изучить физические условия перехода от многопроходного шлифования к глубинному и выявить на их основе закономерности, связанные с возможностью повышения производительности при заданной шероховатости обработки.

Список литературы

1. Маслов Е.Н. Теория шлифования металлов. – М.: Машиностроение, 1974. – 319 с.
2. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. – М.: Машиностроение, 1974. – 280 с.
3. Захаренко И.П. Основы алмазной обработки твердосплавного инструмента. – К.: Наук. думка, 1981. – 300 с.
4. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования. – Автореф. дис...докт. техн. наук. – Одесса, 1995. – 36с.
5. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С.Серов, А.А.Якимов – Одесса: ОГПУ, 1999.-450с.
6. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник / Под ред.проф. А.Н. Резникова.- М.: Машиностроение, 1977. – 390с.

Анотація

Шорсткість і продуктивність обробки при багатопрохідному шліфуванні

Приведено методичку розрахунку шорсткості обробки при шліфуванні. Установлено зв'язок шорсткості з продуктивності обробки, обґрунтовані шляхи підвищення ефективності шліфування.

Abstract

Roughness and processing capacity at multipass grinding

The technique of calculation of a roughness of processing is adduced at grinding. The communication of a roughness from processing capacity is established, the pathes increase of efficiency of grinding are justified.