

Кинематические схемы формирования шероховатости поверхности при шлифовании

Дитиненко С.А. (г. Харьков, Украина)

В работе приведена математическая модель формирования шероховатости поверхности при шлифовании. Показана связь шероховатости поверхности с максимальной толщиной среза при шлифовании

В роботі наведено математичну модель формоутворення шорсткості поверхні при шліфуванні. Показано зв'язок шорсткості поверхні із максимальною товщиною зрізу при шліфуванні.

При изготовлении твердосплавных инструментов на операциях шлифования и заточки используется достаточно большое количество кинематических схем шлифования, обусловленных различными кинематическими движениями круга и обрабатываемого инструмента, характером контакта круга с инструментом, геометрической формой обрабатываемых поверхностей и так далее. Это требует знания технологических возможностей различных кинематических схем шлифования, чтобы правильно выбирать оптимальные условия обработки, проектировать оптимальные технологические процессы обработки, обеспечивая требования по качеству, точности, производительности и экономичности обработки.

Отличительными особенностями изготовления твердосплавных инструментов для авиационного производства являются повышенные требования к шероховатости обрабатываемых поверхностей ($R_a \approx 0,1$ мкм). Поэтому при разработке технологических процессов обработки твердосплавных инструментов необходимо знать в первую очередь возможности различных кинематических схем шлифования с точки зрения обеспечения шероховатости обработки.

Вопросы формирования шероховатости обработки при шлифовании в научно-технической литературе описаны достаточно полно [1-5]. Однако, в опубликованных работах нет четкого деления кинематических схем шлифования на группы, принципиально отличающихся характером формирования шероховатости поверхности. Цель работы – провести классификацию кинематических схем формирования шероховатости поверхности при шлифовании и получить расчетные зависимости для определения параметров шероховатости поверхности.

В основу работы положены важные теоретические результаты, полученные в исследованиях [6,7].

Рассмотрим случай шлифования прямолинейного образца бесконечно малой толщины, расположенного перпендикулярно направлению вращения круга со скоростью $V_{кр}$, рис.1. Очевидно, существуют три принципиальные схемы шлифования образца. Первая схема основана на том, что образец дви-

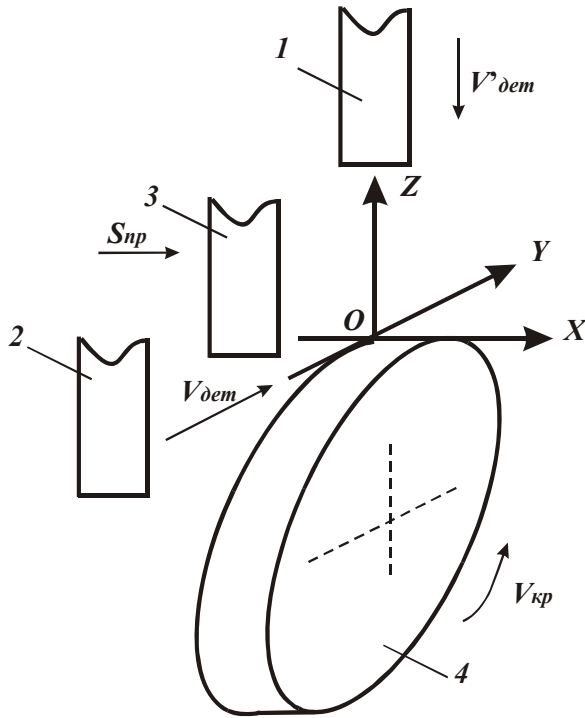


Рис. 1. Три принципиальные схемы формирования шероховатости поверхности при шлифовании: 1, 2, 3 – положения обрабатываемого образца, 4 – шлифовальный круг.

жется по нормали к поверхности круга со скоростью V'_{det} (в направлении оси OZ). Вторая схема основана на том, что образец движется в направлении оси OY со скоростью V_{det} . Согласно третьей схеме, образец движется в направлении оси OX со скоростью S_{np} .

Как показано в работе [8], в общем случае параметр шероховатости обработки R_{max} описывается аналитической зависимостью

$$R_{max} = \sqrt{\frac{100 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3}{3 \cdot \text{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{kp} \cdot \tau}}, \quad (1)$$

где \bar{X} - зернистость алмазного круга, м; m - объемная концентрация зерен круга; $2 \cdot \gamma$ - угол при вершине конусообразной режущей части зерна; τ - время формирования шероховатости обрабатываемой поверхности, с.

Исходя из данной зависимости, многообразие кинематических схем шлифования отличается временем формирования шероховатости поверхности τ . Чем больше τ , тем меньше параметр шероховатости R_{max} и эффективнее процесс обработки.

Не трудно видеть, что для первой рассмотренной схемы шлифования:

$$\tau = \frac{R_{max}}{V'_{det}}. \quad (2)$$

Для второй схемы шлифования:

$$\tau = \frac{l}{V_{det}}, \quad (3)$$

где l - длина отрезка на круге AB (рис. 2), определяющего параметр шероховатости R_{max} .

Расчет длины l производится следующим образом:

$$R - R_{max} = \sqrt{R^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2},$$

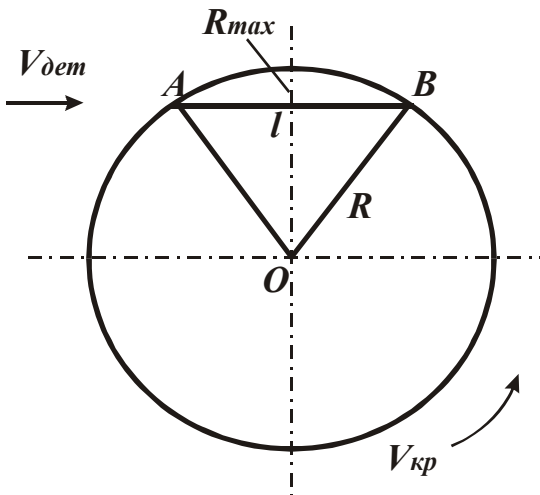


Рис. 2. Расчетная схема.

откуда

$$l = 2 \cdot \sqrt{D_{кр} \cdot R_{max}}, \quad (4)$$

где $R, D_{кр}$ - соответственно радиус и диаметр круга, м.

Для третьей схемы шлифования:

$$\tau = \frac{B}{S_{np}}, \quad (5)$$

где B - ширина круга, м.

Из приведенных зависимостей следует, что для заданных значений R_{max} и τ справедливы соотношения: $R_{max} < 2 \cdot \sqrt{D_{кр} \cdot R_{max}} < B$ и соответственно $V'_{дет} < V_{дет} < S_{np}$. Например, для $R_{max} = 1$ мкм, $D_{кр} = 400$ мм, $B = 20$ мм, имеем: $0,001$ мм $< 0,7$ мм < 20 мм и соответственно $V'_{дет} < 7 \cdot 10^2 \cdot V'_{дет} < 2 \cdot 10^4 \cdot V'_{дет}$.

Как видим, наибольшая скорость движения образца достигается при шлифовании по третьей схеме, а наименьшая - при шлифовании по первой схеме, что свидетельствует об эффективности применения третьей схемы.

При одинаковом значении скоростей $V'_{дет}, V_{дет}, S_{np}$ наибольшее значение времени τ достигается для третьей схемы, а наименьшее - для первой схемы. Следовательно, наименьшую шероховатость обработки можно получить при шлифовании по третьей схеме, а наибольшую - при шлифовании по первой схеме.

Подставляя зависимости (2), (3), (4) и (5) в зависимость (1), получим:

$$R_{max1} = \bar{X} \cdot 3 \sqrt{\frac{100 \cdot \pi}{3 \cdot \text{tg} \gamma \cdot m} \cdot \frac{V'_{дет}}{V_{кр}}}, \quad (6)$$

$$R_{max2} = \bar{X} \cdot 5 \sqrt{\left(\frac{100 \cdot \pi}{3 \cdot \text{tg} \gamma \cdot m} \cdot \frac{V_{дет}}{V_{кр}} \right)^2 \cdot \frac{\bar{X}}{4 \cdot D_{кр}}}, \quad (7)$$

$$R_{max3} = \sqrt{\frac{100 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot S_{np}}{3 \cdot \text{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{кр} \cdot B}}. \quad (8)$$

Рассмотренные три принципиальные схемы определяют все многообразие кинематических схем шлифования, используемых на практике при обработке плоских и цилиндрических поверхностей деталей. В табл. 1 приведена классификация данных схем.

Таблица 1

Схема 1	Шлифование плоских поверхностей торцом или периферией круга с непрерывной радиальной подачей $V'_{дет}$.
Схема 2	1. Шлифование периферией круга:

	<ul style="list-style-type: none"> - плоское шлифование, - круглое наружное и внутреннее врезное шлифование, - круглое наружное и внутреннее продольное шлифование, - вышлифовка пазов и канавок. <p>2. Шлифование торцом круга:</p> <ul style="list-style-type: none"> - круглое наружное шлифование при асимметричном расположении круга относительно диаметра детали.
Схема 3	<p>1. Шлифование плоских (широких и узких) поверхностей торцом круга с продольной подачей S_{np} (в т.ч. заточка инструментов) на станках с прямоугольным столом.</p> <p>2. Шлифование плоских поверхностей торцом круга на станках с вращающимся столом.</p> <p>3. Круглое наружное врезное и продольное шлифование торцом круга при его асимметричном расположении относительно диаметра детали.</p> <p>4. Круглое наружное и внутреннее продольное шлифование периферией круга с большой продольной подачей S_{np} (осцилляцией круга).</p>

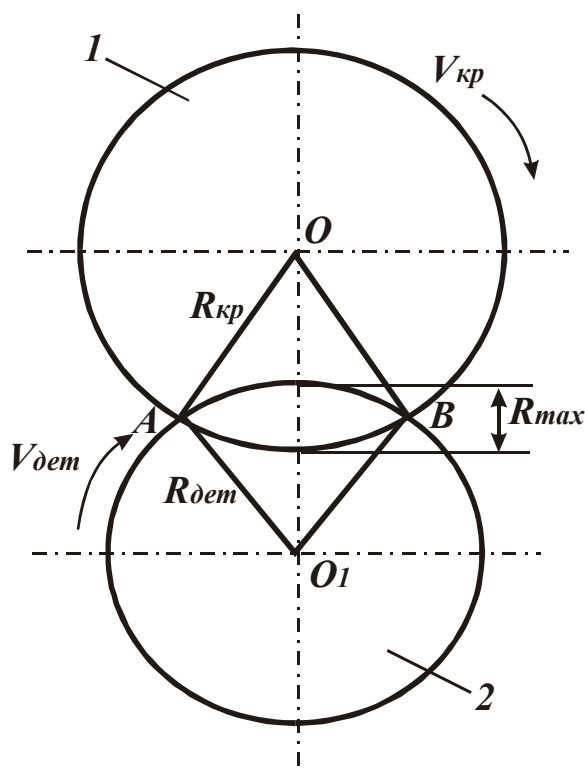


Рис. 3. Расчетная схема круглого наружного шлифования: 1 – круг; 2 – деталь.

Длина l при круглом наружном шлифовании периферией круга определяется по зависимости, приведенной в работе [6] и полученной из расчетной схемы, показанной на рис. 3:

$$l = 2 \cdot \sqrt{\frac{R_{max}}{\frac{1}{D_{кр}} + \frac{1}{D_{дет}}}}, \quad (9)$$

где $D_{кр}$, $D_{дет}$ – соответственно диаметры круга и детали, м.

При $D_{дет} \rightarrow \infty$ приходим к схеме плоского шлифования и зависимость (9) принимает вид зависимости (4). При отрицательном значении $D_{дет}$ приходим к схеме круглого внутреннего шлифования. Соответственно зависимость (9) принимает вид:

$$l = 2 \cdot \sqrt{\frac{R_{max}}{\frac{1}{D_{кр}} - \frac{1}{D_{дет}}}}. \quad (10)$$

В этом случае знаменатель уменьшается, а длина l увеличивается. Следовательно, наибольшая длина l достигается при круглом внутреннем шлифовании, а наименьшая – при круглом наружном шлифовании. Плоское шлифование занимает промежуточное положение.

Параметр шероховатости обработки R_{max} с учетом зависимостей (1), (3) и (9) описывается

$$R_{max_2} = \bar{X} \cdot 5 \sqrt{\left(\frac{100 \cdot \pi}{3 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot m} \cdot \frac{V_{\text{дет}}}{V_{\text{кр}}} \right)^2 \cdot \frac{\bar{X}}{4} \cdot \left(\frac{1}{D_{\text{кр}}} + \frac{1}{D_{\text{дет}}} \right)}. \quad (11)$$

При одних и тех же условиях обработки параметр R_{max} будет больше при круглом наружном шлифовании и меньше при плоском и внутреннем шлифовании.

При круглом наружном шлифовании торцом круга (при его симметричном положении относительно диаметра обрабатываемой детали) справедливо условие: $D_{\text{кр}} \rightarrow \infty$. Тогда зависимость (9) примет вид

$$l = 2 \cdot \sqrt{D_{\text{дет}} \cdot R_{max}}. \quad (12)$$

В данном случае длина l меньше, чем при круглом наружном шлифовании периферией круга. Соответственно меньше и параметр шероховатости обработки R_{max} .

Воспользуемся аналитической зависимостью (1) для определения максимальной толщины среза $a_{z_{max}}$ отдельным зерном при шлифовании по рассмотренным выше 3-м принципиальным схемам.

Не трудно видеть, что при шлифовании по первой схеме (обрабатываемый образец движется со скоростью $V'_{\text{дет}}$ по оси OZ, рис. 1) максимальная толщина среза $a_{z_{max}}$ равна параметру R_{max} , то есть $a_{z_{max}} = R_{max}$. Тогда, с учетом зависимости (1), имеем

$$a_{z_{max}} = \bar{X} \cdot 3 \sqrt{\frac{100 \cdot \pi}{3 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot m} \cdot \frac{V'_{\text{дет}}}{V_{\text{кр}}}}. \quad (13)$$

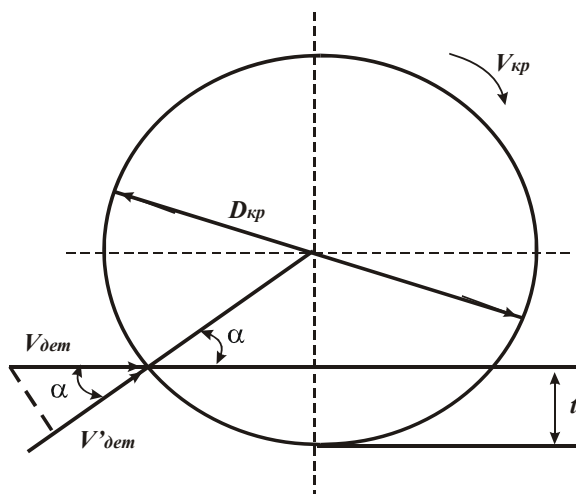


Рис. 4. Расчетная схема плоского шлифования.

При шлифовании по второй схеме максимальную толщину среза $a_{z_{max}}$ определим из расчетной схемы, которая для удобства анализа представлена в виде, показанном на рис. 4. По сути, пришли к схеме плоского шлифования с глубиной шлифования t и скоростью детали $V_{\text{дет}}$. Максимальная толщина среза $a_{z_{max}}$ равна:

$$a_{z_{max}} = \tau \cdot V'_{\text{дет}}, \quad (14)$$

где τ - время, за которое обрабатываемый материал переместится вглубь рабочей поверхности круга (по нормали) на величину $a_{z_{max}}$; $V'_{\text{дем}}$ - скорость перемещения обрабатываемого материала по нормали к рабочей поверхности круга.

Между скоростями $V'_{\text{дем}}$ и $V_{\text{дем}}$ существует связь:

$$V'_{\text{дем}} = V_{\text{дем}} \cdot \cos \alpha, \quad (15)$$

где α - угол между векторами скоростей $V'_{\text{дем}}$ и $V_{\text{дем}}$.

Угол α определим из расчетной схемы, рис. 4:

$$\cos \alpha = 2 \cdot \sqrt{\frac{t}{D_{\text{кр}}}}. \quad (16)$$

Тогда время τ опишется зависимостью

$$\tau = \frac{a_{z_{max}}}{2 \cdot V_{\text{дем}}} \cdot \sqrt{\frac{D_{\text{кр}}}{t}}. \quad (17)$$

Параметр $a_{z_{max}}$ определяется аналогично параметру шероховатости обработки R_{max} , описываемому зависимостью (1). Принимая $a_{z_{max}} = R_{max}$, зависимость (1) с учетом зависимости (17), выразится

$$a_{z_{max}} = \bar{X} \cdot 3 \sqrt{\frac{200 \cdot \pi}{3 \cdot \text{tg} \gamma \cdot m} \cdot \frac{V_{\text{дем}}}{V_{\text{кр}}} \cdot \sqrt{\frac{t}{D_{\text{кр}}}}}. \quad (18)$$

В отличие от зависимости (7) для определения параметра шероховатости R_{max} , в зависимость (18) входит глубина шлифования t . С ее увеличением максимальная толщина среза $a_{z_{max}}$ увеличивается.

Отношение $a_{z_{max}} / R_{max}$ определяется отношением $t / a_{z_{max}}$:

$$\frac{a_{z_{max}}}{R_{max}} = 1,8 \cdot 5 \sqrt{\frac{t}{a_{z_{max}}}}. \quad (19)$$

Так как $t / a_{z_{max}} > 1$, то при шлифовании по второй схеме справедливо $a_{z_{max}} / R_{max} > 1$ (при шлифовании по первой схеме $a_{z_{max}} = R_{max}$). Следовательно, при шлифовании по второй схеме при заданном значении $a_{z_{max}}$ можно добиться уменьшения параметра шероховатости обработки R_{max} , что свидетельствует об эффективности ее применения.

Преобразуя зависимость (19), имеем

$$R_{max} = \frac{a_{z_{max}}}{1,8} \cdot 5 \sqrt{\frac{a_{z_{max}}}{t}}. \quad (20)$$

Как видим, с увеличением максимальной толщины среза $a_{z_{max}}$ параметр R_{max} увеличивается более чем по линейной зависимости.

Из зависимости (20) следует важный практический вывод: при условии $a_{z_{max}} = const$ добиться уменьшения параметра R_{max} можно увеличением глубины шлифования t , то есть применением глубинного шлифования. Это хорошо согласуется с известными экспериментальными данными [6,7].

При плоском шлифовании торцом круга толщина среза изменяется по закону изменения параметра шероховатости R_{max} . В начале обработки параметр $a_{z_{max}}$ принимает наибольшее значение, равное $a_{z_{max1}}$, а в конце обработки – наименьшее значение $a_{z_{max2}} = R_{max}$. Следовательно, $a_{z_{max1}} > R_{max}$. Чем больше различие значений $a_{z_{max1}}$ и R_{max} , тем выше эффективность шлифования. Основным фактором повышения эффективности обработки является увеличение ширины рабочей части круга B .

Таким образом, в работе раскрыты закономерности формирования шероховатости поверхности для различных кинематических схем шлифования. В дальнейшем требуется произвести экспериментальную оценку полученных теоретических решений.

Литература

1. Абразивно-алмазная обработка материалов: Справочник / Под ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с.
2. Королев А.В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке. – Изд-во Саратов. ун-та, 1975. – 212 с.
3. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. - Изд-во Саратов. ун-та, 1979. – 232 с.
4. Евсеев Д.Г., Сальников А.Н. Физические основы процесса шлифования. - Изд-во Саратов. ун-та, 1978. – 128 с.
5. Островский В.И. Теоретические основы процесса шлифования. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. – 139 с.
6. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования. – Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Одесса, 1995. – 36 с.
7. 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. – 450 с.
8. Новиков Ф.В., Ткаченко В.П. Кинематика формообразования торцевой поверхности вращающегося кольца при шлифовании. – Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. – Труды 7-й Межд. научн. - техн. конф., 27-28 мая 2003 г. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2003. – С. 29-33.