

Исследование процессов механической обработки материалов и разработка прогрессивных способов их реализации

УДК 621.923

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЕДИНИЧНЫХ СРЕЗОВ ПРИ ПЛОСКОМ ШЛИФОВАНИИ С ВИБРАЦИЯМИ С УЧЕТОМ РАЗНОВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЗЕРЕН

Азарова Н.В.

(ДонНТУ, Донецк, Украина)

Определение выходных технологических показателей шлифования с помощью математических моделей позволяет значительно уменьшить трудоемкость поиска оптимальных режимов и является актуальной задачей. Одним из факторов, оказывающих влияние на эффективность процесса шлифования, являются параметры единичных срезов, которые, как известно, определяют силы, возникающие на единичном зерне, и температуру в зоне резания.

В настоящее время шлифование с вибрациями исследовано, в основном, в направлении виброустойчивости конструкций станков и их узлов [1], влияния вибраций на характер распределения в пространстве режущих элементов шлифовального круга [2] и изменение электрического сопротивления межэлектродного промежутка при алмазно-электроэрозионном шлифовании [3], а также в направлении интенсификации шлифования методом приложения к детали ультразвуковых колебаний внешнего источника [4] или путем создания направленных эффектов вибрации и прецессии в зоне обработки [5]. Вместе с тем сведения о влиянии вибраций и разновысотности зерен на параметры единичных срезов в литературе отсутствуют, что требует дополнительных исследований.

Целью работы является получение зависимостей для определения параметров единичных срезов при плоском шлифовании с вибрациями с учетом разновысотного положения зерен.

Выведем формулы для нахождения максимальной толщины и длины запытообразного среза, приняв за траекторию абразивного зерна в месте контакта с поверхностью детали окружность (рис. 1).

В процессе обработки рабочая поверхность шлифовального круга радиуса R_0 перемещается со скоростью V_k , а его центр движется со скоростью детали V_d в направлении, противоположном перемещению детали (обращенное движение). Положение зерен на поверхности круга в сечении плоскостью, перпендикулярной оси, опишем центральными углами между последовательно расположенными зернами α_i , рад, и величиной разновысотности зерен ΔR_i , мм, относительно наиболее выступающего зерна, вершина которого отстоит от центра круга на расстояние R_0 , мм. В этом случае положение вершины i -го зерна определяется радиусом R_i , мм, который вычисляется по формуле

$$R_i = R_0 - \Delta R_i.$$

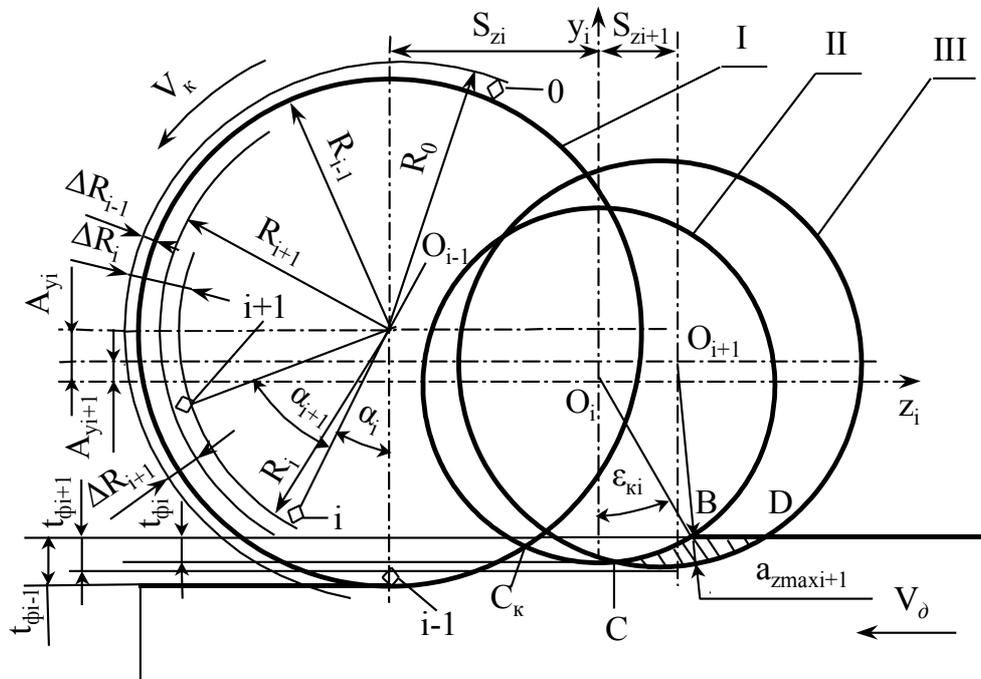
За время поворота круга на угол α_i между последовательно контактирующими $(i - 1)$ -ым и i -ым зернами, движение которых происходит по траекториям I и II соответственно, центр круга переместится в горизонтальном направлении на расстояние

$$S_{z_i} = \frac{V_d R_i}{60 V_k} \alpha_i. \quad (1)$$

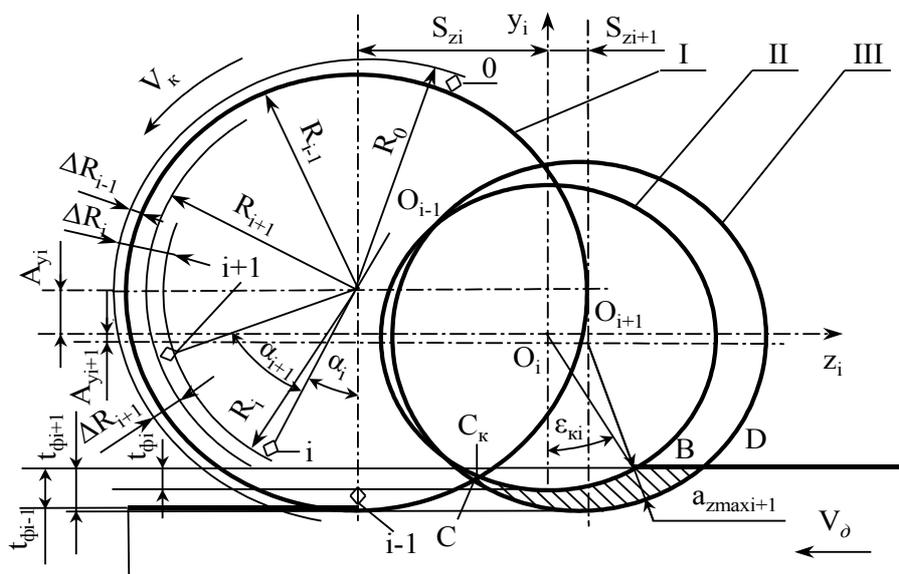
В то же время под влиянием колебаний с амплитудой A и частотой f центр шлифовального круга переместится в вертикальном направлении на величину

$$A_{y_i} = A \sin \frac{2\pi f R_i}{1000 V_k} \alpha_i. \quad (2)$$

Таким образом, центр круга из положения O_{i-1} переместится в положение O_i .



а



б

Рис. 1. Схема для определения параметров запытообразного среза при плоском шлифовании с вибрациями на базе упрощенной траектории – окружности – с учетом разновысотного положения зерен:

а – точка C находится на траектории II; б – точка C находится на траектории III

За время поворота круга на угол α_{i+1} между i -ым и $(i+1)$ -ым зернами, движущимся по траекториям II и III соответственно, центр шлифовального круга переместится в горизонтальном направлении на расстояние $S_{z_{i+1}}$ и в вертикальном направлении на величину $A_{y_{i+1}}$, которые определяются по формулам, аналогичным (1) и (2). При этом центр круга из положения O_i попадет в положение O_{i+1} .

Максимальная толщина среза $a_{z_{\max_{i+1}}}$ измеряется по нормали к траектории зерна $i+1$, которая проходит через точку B выхода зерна i из обрабатываемого материала, а длина среза L_{i+1} равна длине дуги CD .

Максимальную толщину и длину запытообразного среза определим, используя уравнение траекторий I, II, III и уравнение поверхности детали в системе координат $y_i O_i z_i$.

Уравнение траектории I в системе координат $y_i O_i z_i$ имеет вид

$$(y + A_{y_i})^2 + (z + S_{z_i})^2 = R_{i-1}^2. \quad (3)$$

Уравнение траектории II в этой же системе координат имеет вид

$$y^2 + z^2 = R_i^2. \quad (4)$$

Уравнение траектории III

$$(y - A_{y_{i+1}})^2 + (z - S_{z_{i+1}})^2 = R_{i+1}^2. \quad (5)$$

Уравнение поверхности детали

$$y = -R_i + t\phi_i. \quad (6)$$

Координаты точки B выхода i -го зерна из обрабатываемого материала найдем, решив совместно уравнения (4) и (6). Точка B имеет координаты

$$(-R_i + t\phi_i; \sqrt{(2R_i - t\phi_i)t\phi_i}).$$

Координаты точки C входа $(i+1)$ -го зерна в обрабатываемый материал зависят от ее положения на траекториях зерен i и $i+1$.

Если точка C лежит на дуге $C_k B$, принадлежащей траектории II (см. рис. 1,а), то ее координаты получим, решив совместно уравнения (4) и (5):

$$\left(\frac{cA_{y_{i+1}} - dS_{z_{i+1}}}{2(A_{y_{i+1}}^2 + S_{z_{i+1}}^2)}, \frac{cS_{z_{i+1}} + dA_{y_{i+1}}}{2(A_{y_{i+1}} + S_{z_{i+1}})} \right),$$

где

$$c = R_i^2 - R_{i+1}^2 + A_{y_{i+1}}^2 + S_{z_{i+1}}^2, \quad d = \sqrt{4R_i^2(A_{y_{i+1}}^2 + S_{z_{i+1}}^2) - c^2}.$$

В противном случае (см. рис. 1,б) точка C лежит на траектории I и ее координаты найдем, решив совместно уравнения (3) и (5):

$$\left(\frac{-c''(A_{y_i} + A_{y_{i+1}}) - d''(S_{z_i} + S_{z_{i+1}})}{2((A_{y_i} + A_{y_{i+1}})^2 + (S_{z_i} + S_{z_{i+1}})^2)}, \frac{-c''(S_{z_i} + S_{z_{i+1}}) + d''(A_{y_i} + A_{y_{i+1}})}{2((A_{y_i} + A_{y_{i+1}})^2 + (S_{z_i} + S_{z_{i+1}})^2)} \right),$$

где

$$c'' = -R_{i-1}^2 + A_{y_i}^2 + S_{z_i}^2 + R_{i+1}^2 - A_{y_{i+1}}^2 - S_{z_{i+1}}^2,$$

$$d'' = \sqrt{4R_{i+1}^2((A_{y_i} + A_{y_{i+1}})^2 + (S_{z_i} + S_{z_{i+1}})^2) - (c'')^2 - 4(A_{y_{i+1}}(A_{y_i} + A_{y_{i+1}}) + S_{z_{i+1}}(S_{z_i} + S_{z_{i+1}}))^2 - 4c''(A_{y_{i+1}}(A_{y_i} + A_{y_{i+1}}) + S_{z_{i+1}}(S_{z_i} + S_{z_{i+1}})) - 2(A_{y_{i+1}}(S_{z_i} + S_{z_{i+1}}) - S_{z_{i+1}}(A_{y_i} + A_{y_{i+1}}))}.$$

Принадлежность точки C дуге $C_\kappa B$ траектории Π можно определить, сравнив соответствующие координаты точек C и C_κ .

Координаты точки D выхода $(i+1)$ -го зерна из обрабатываемого материала найдем, решив совместно уравнения (5) и (6), описывающие соответственно траекторию Π и поверхность детали. Точка D имеет координаты

$$\left(-R_i + t\phi_i; S_{z_{i+1}} + \sqrt{R_{i+1}^2 - (R_i - t\phi_i + A_{y_{i+1}})^2} \right).$$

В системе координат $y_i O_i z_i$ положение центра круга O_{i+1} задается координатами $(A_{y_{i+1}}; S_{z_{i+1}})$.

Максимальная толщина запятообразного среза определяется следующим образом (см. рис. 1):

$$a_{z_{\max_{i+1}}} = R_{i+1} - O_{\kappa_{i+1}} B,$$

где

$$O_{\kappa_{i+1}} B = \sqrt{\left((-R_i + t\phi_i) - A_{y_{i+1}} \right)^2 + \left(\sqrt{(2R_i - t\phi_i) \cdot t\phi_i} - S_{z_{i+1}} \right)^2}.$$

После преобразований получим

$$a_{z_{\max_{i+1}}} = R_{i+1} - \sqrt{R_i^2 + A_{y_{i+1}}^2 + S_{z_{i+1}}^2 + 2A_{y_{i+1}}(R_i - t\phi_i) - 2S_{z_{i+1}}\sqrt{(2R_i - t\phi_i) \cdot t\phi_i}}. \quad (7)$$

Длина запятообразного среза равна длине дуги CD (см. рис. 1):

$$L_{i+1} = R_{i+1} \arccos \left(1 - \frac{CD^2}{2R_{i+1}^2} \right),$$

где при положении точки C на траектории Π (см. рис. 1, а)

$$CD^2 = \left(-R_i + t\phi_i - \frac{cA_{y_{i+1}} - dS_{z_{i+1}}}{2(A_{y_{i+1}}^2 + S_{z_{i+1}}^2)} \right)^2 + \left(S_{z_{i+1}} + \sqrt{R_{i+1}^2 - (R_i - t\phi_i + A_{y_{i+1}})^2} - \right.$$

$$\left. - \frac{cS_{z_{i+1}} + dA_{y_{i+1}}}{2(A_{y_{i+1}}^2 + S_{z_{i+1}}^2)} \right)^2,$$

а при положении точки C на траектории I (см. рис. 1, б)

$$CD^2 = \left(-R_i + t\phi_i - \frac{-c''(A_{y_i} + A_{y_{i+1}}) - d''(S_{z_i} + S_{z_{i+1}})}{2((A_{y_i} + A_{y_{i+1}})^2 + (S_{z_i} + S_{z_{i+1}})^2)} \right)^2 + \left(S_{z_{i+1}} + \sqrt{R_{i+1}^2 - (R_i - t\phi_i + A_{y_{i+1}})^2} - \frac{-c''(S_{z_i} + S_{z_{i+1}}) - d''(A_{y_i} + A_{y_{i+1}})}{2((A_{y_i} + A_{y_{i+1}})^2 + (S_{z_i} + S_{z_{i+1}})^2)} \right)^2.$$

Введя обозначения $a = R_i - t\phi_i$, $b = \sqrt{R_{i+1}^2 - (R_i - t\phi_i + A_{y_{i+1}})^2}$ и выполнив необходимые преобразования, получим формулы для определения длины запятообразного среза в каждом из рассмотренных случаев.

Если точка C находится на траектории II, то

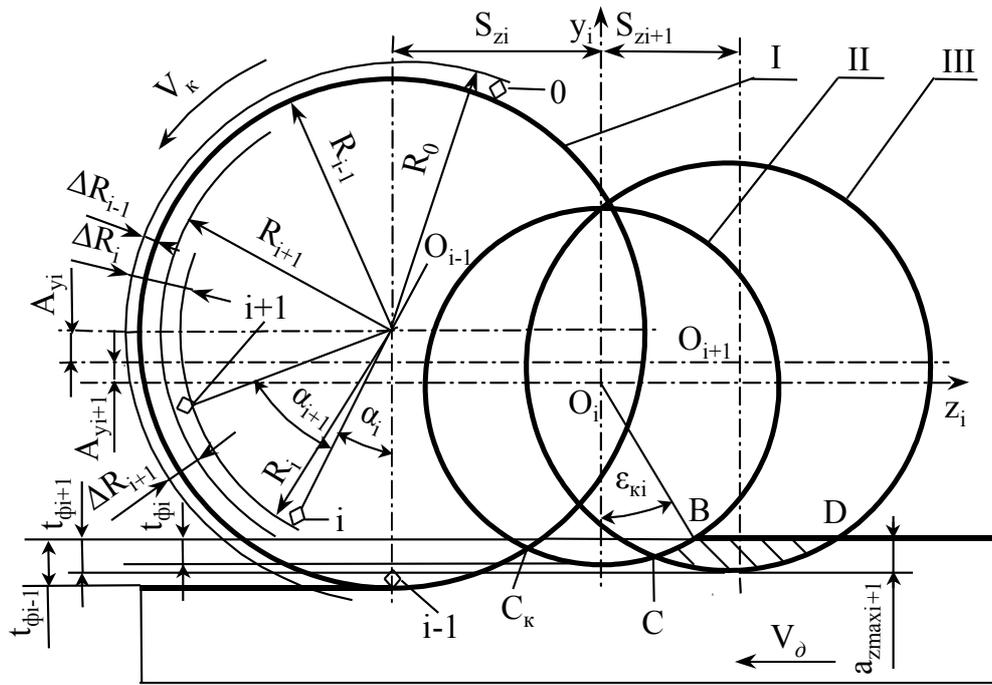
$$L_{i+1} = R_{i+1} \arccos \left(1 - \frac{1}{2R_{i+1}^2} (a^2 + (S_{z_{i+1}} + b)^2 + R_i^2 + \frac{(aA_{y_{i+1}} - (S_{z_{i+1}} + b)S_{z_{i+1}})c - (aS_{z_{i+1}} + (S_{z_{i+1}} + b)A_{y_{i+1}})d}{A_{y_{i+1}}^2 + S_{z_{i+1}}^2}) \right). \quad (8)$$

Если точка C находится на траектории I, то

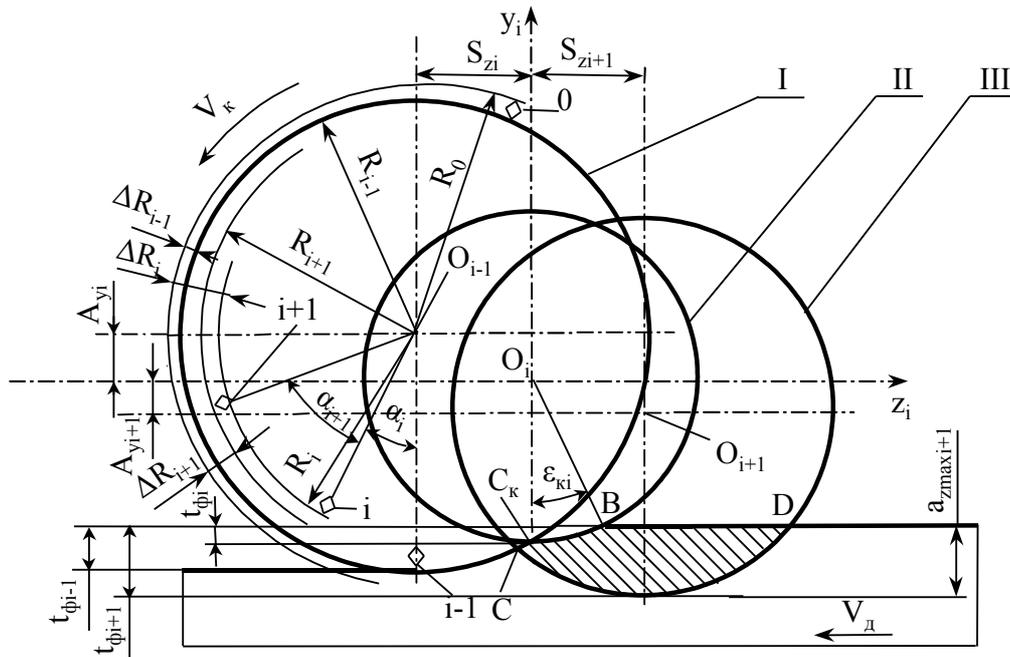
$$L_{i+1} = R_{i+1} \arccos \left(1 - \frac{1}{2R_{i+1}^2} \left(a^2 + (S_{z_{i+1}} + b)^2 + \frac{(c'')^2 + (d'')^2}{4((A_{y_i} + A_{y_{i+1}})^2 + (S_{z_i} + S_{z_{i+1}})^2)} + \frac{- (a(A_{y_i} + A_{y_{i+1}}) - (S_{z_i} + S_{z_{i+1}} + b)(S_{z_i} + S_{z_{i+1}}))c''}{(A_{y_i} + A_{y_{i+1}})^2 + (S_{z_i} + S_{z_{i+1}})^2} + \frac{- (a(S_{z_i} + S_{z_{i+1}}) + (S_{z_i} + S_{z_{i+1}} + b)(A_{y_i} + A_{y_{i+1}}))d''}{(A_{y_i} + A_{y_{i+1}})^2 + (S_{z_i} + S_{z_{i+1}})^2} \right) \right). \quad (9)$$

Формулы (7) и (8) или (9) позволяют определить максимальную толщину и длину запятообразного среза при плоском шлифовании с вибрациями с учетом разновысотного положения зерен.

Зависимости для определения толщины и длины среза промежуточной формы выводятся аналогично (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Схема для определения параметров среза промежуточной формы при плоском шлифовании с вибрациями на базе упрощенной траектории – окружности – с учетом разновысотного положения зерен

а – точка C находится на траектории II; б – точка C находится на траектории III

Толщина среза промежуточной формы находится следующим образом:

$$a_{z_{i+1}} = t_{\phi_{i+1}} = R_{i+1} - R_i + t_{\phi_i} - A_{y_{i+1}} = \Delta R_i - \Delta R_{i+1} + t_{\phi_i} - A_{y_{i+1}}. \quad (10)$$

Предлагаемая методика расчета параметров единичных срезов с учетом разновысотности зерен и вибраций позволяет создать математическую модель процесса врезного шлифования с целью определения количества контактирующих зерен и параметров срезов, которые ими удаляются.

Список литературы: 1. Кудинов В.А., Камышев А.И., Хлебанов Е.В. Динамический расчет плоскошлифовальных станков с помощью ЭВМ // Станки и инструмент. – 1974. – № 11. – С. 12-31. 2. Шейко М.Н. Влияние биения круга на структуру его «кинематического» поверхностного слоя //Сверхтвердые материалы. – 1991. – № 3. – С. 44-47. 3. Голубев И.В. Круглое наружное шлифование со стабилизацией режущей способности токопроводящего инструмента электрическими разрядами: Дис... канд. техн. наук: 05.03.01. – М., 1985. – 269 с. 4. Пилипенко О.М., Полонський Л.Г. Деякі аспекти інтенсифікації шліфування газотермічних покриттів // Вісник ЖІТІ. – 2000. – № 13 / Технічні науки. – С. 14-17. 5. Шепелев А.О. Інтенсифікація процесів шліфування інструментальних матеріалів кругами із синтетичних алмазів і кубічного нітриду бора: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.03.01. – Харків, 2002. – 36 с.

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОДИНИЧНИХ ЗРІЗІВ ПРИ ПЛОСКОМУ ШЛІФУВАННІ З ВІБРАЦІЯМИ З УРАХУВАННЯМ РІЗНОВИСОТНОГО ПОЛОЖЕННЯ ЗЕРЕН

Азарова Н.В.

Виведено формули для визначення товщини і довжини одиничних зрізів комоподібної, проміжної і сегментоподібної форм при плоскому шліфуванні з вібраціями з урахуванням різновисотного положення зерен.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЕДИНИЧНЫХ СРЕЗОВ ПРИ ПЛОСКОМ ШЛИФОВАНИИ С ВИБРАЦИЯМИ С УЧЕТОМ РАЗНОВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЗЕРЕН

Азарова Н.В.

Выведены формулы для определения толщины и длины единичных срезов запятообразной, промежуточной и сегментообразной форм при плоском шлифовании с вибрациями с учетом разновысотного положения зерен.

CALCULATION OF PARAMETERS OF UNIT CUTS OF SURFACE GRINDING WITH VIBRATIONS TAKING INTO ACCOUNT THE DIFFERENCE OF GRAINS ALTITUDE

Azarova N.V.

The formulas for calculation of thickness and length of comma-shaped, interval-shaped and segment-shaped cuts taking into account the vibrations of grinding wheel axis and difference of grains altitude are deduced.