

Эксплуатационные испытания данного алмазного инструмента при обработке твердосплавных поверхностей показали повышение производительности на 20-30 %, снижение расхода алмазного сырья на 30-50 %, уменьшение сил резания и тепловыделения на 30-60 %, что обуславливается, на наш взгляд, как оптимальным структурно-топографическим расположением алмазных зерен по рабочей поверхности инструмента и повышением числа зерен, активно участвующих в работе резания, так и созданием за счет прерывистого контакта с обрабатываемой поверхностью благоприятных условий стружкообразования и стружкоотвода, снижения интенсивности тепловыделения в зоне резания, благоприятных условий для подачи СОЖ, а также значительного повышения вентиляционной способности круга и интенсивного удаления продуктов обработки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Филонов И.П., Климович Ф.Ф., Козерук А.С. Управление формообразованием прецизионных поверхностей деталей машин и приборов.- Мн.: ДизайнПРО, 1995.- 208 с.
2. Филатов Ю.Д., Рогов В.В., Бурман Л.Л. Влияние конструкции инструмента на его работоспособность при плоском шлифовании// Синтетические алмазы. - 1979.-Вып.3. - С. 26 -32.
3. Орлов П.Н. Технологическое обеспечение качества деталей методами доводки. - М.: Машиностроение, 1988. - 384 с.

УДК 621.923

**А.В. Мяслевич, Е.И. Махаринский**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ГЛУБИННОМ ШЛИФОВАНИИ КАНАВОК**

*Витебский государственный технологический университет  
Витебск, Беларусь*

Составляющие силы шлифования являются количественными показателями эксплуатации абразивного инструмента [1] и ограничениями при оптимизации процесса шлифования. Поэтому их определение является важной производственно-экономической задачей на стадии проектирования операций шлифования. Глубинное шлифование, как новый прогрессивный вид обработки, начали внедрять на производстве сравнительно недавно, с появлением на мировом рынке кругов на основе новых сверхтвёрдых материалов. В связи с этим в данной работе предлагается общий метод определения составляющих сил при обработке фасонных канавок методом глубинного шлифования.

Составляющие  $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$  предлагается рассматривать как суммы множества проекций элементарных сил резания на элементарных кругах (микрочругах), на которые можно

разбить рабочую поверхность шлифовального круга (рис. 1).

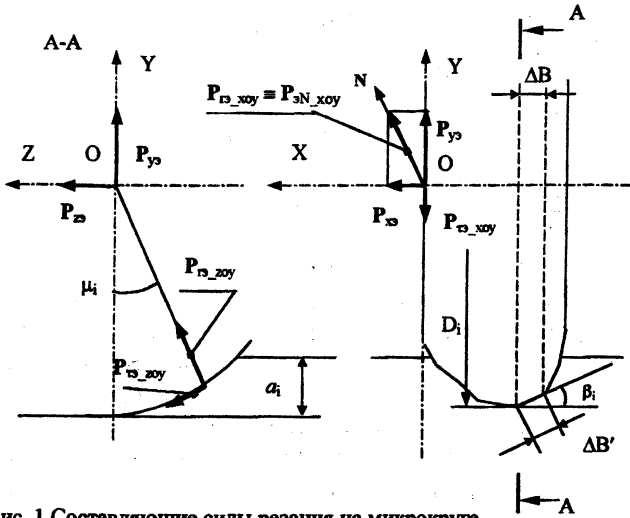


Рис. 1. Составляющие силы резания на микрократе

Шлифовальный круг любого профиля шириной  $B$  можно представить множеством одноугловых микрократов с углом  $\beta$  и постоянной длиной образующей  $\Delta B' = \Delta B / \cos \beta$  где  $\Delta B$  – ширина микрократа. При этом в общем случае все три составляющие  $P_{эx}$ ,  $P_{эy}$ ,  $P_{эz}$ , не равны нулю.

Для их определения необходимо использовать связь между составляющими силы резания и показателями режима шлифования. В работе [2] для оценки режущих свойств шлифовального круга в условиях глубинного шлифования был предложен обобщенный коэффициент режущей способности  $K_{po}$ , который равен отношению объема материала, удаленного единицей площади рабочей поверхности шлифовального круга (удельная производительность), к среднему радиальному давлению в зоне контакта. Для элементарного круга можно записать (см. рис. 1):

$$P_{эN} = Q_{yэ} \cdot \Delta S / K_{po}, \quad (1)$$

где  $P_{эN}$  – проекция радиальной составляющей силы резания для микрократа на нормаль к образующей конуса, кН;  $Q_{yэ}$  – удельная производительность одним микрократом,  $\text{мм}^3/\text{м}^2$ ;  $\Delta S$  – площадь контакта для микрократа,  $\text{м}^2$ .

Из (1), раскрыв показатели  $Q_{yэ}$  и  $\Delta S$ , получим:

$$\Delta P_{эN} = 60 \cdot [a_i \cdot s \cdot L_i / (D_i \cdot \pi \cdot n \cdot K_{po})] \Delta B' \quad (2)$$

где  $a_i$ ,  $L_i$ ,  $D_i$  – соответственно глубина, длина дуги контакта, диаметр  $i$ -ого микрократа;  $s$  – продольная подача;  $n$  – частота вращения шлифовального круга.

Тогда, суммируя, получим выражения для составляющих силы резания на шлифовальном круге:

$$\begin{cases} P_x = \sum_{i=1}^N [\sin \beta_i] \Delta P_{3N} ; \\ P_y = \sum_{i=1}^N [\cos \beta_i \cdot \cos \mu_i - \sin \mu_i / K] \Delta P_{3N} ; \\ P_z = \sum_{i=1}^N [\cos \beta_i \cdot \sin \mu_i + \cos \mu_i / K] \Delta P_{3N} , \end{cases} \quad (3)$$

где  $N$  – число микрокругов;  $\beta_i$  – угол текущего микрокруга;  $\mu_i$  – угол вектора проекции радиальной составляющей силы резания для микрокруга на плоскость  $ZOY$  ( $P_{r_{3,zy}}$ ). Этот угол характеризует распределение давления по дуге контакта. Выдвинута гипотеза о том, что радиальная сила прямо пропорциональна угловой координате точки приложения этой силы, что связано с движением абразивных зерен относительно заготовки при большой дуге контакта. С учётом того, что величина  $\Delta B'$  достаточно мала:  $\mu_i = 0.97843 \cdot \sqrt{(2a_i / D_i)}$  [2];  $K$  – коэффициент, определяемый как отношение радиальной и тангенциальной составляющих силы резания для микрокруга. Коэффициент  $K$  в первом приближении можно считать равным данному отношению для единичного зерна, которое определялось как теоретически, так и экспериментально различными исследователями. В работе [3] для глубинного шлифования  $P_r/P_t \in (3 \dots 6)$  в зависимости от материала заготовки. Кроме того  $K$  можно определить на установке для  $K_{po}$  [2].  $K$  не зависит от показателей режима шлифования, входящих в формулу (2).

Для схем шлифования канавок с продольной подачей, направление которой перпендикулярно вектору угловой скорости вращения круга, уравнения (3) примут вид:

$$\begin{cases} P_x = \int_0^B [\sin \beta_x] dP_{3N} ; \\ P_y = \int_0^B [\cos \beta_x \cdot \cos \mu_x - \sin \mu_x / K] dP_{3N} ; \\ P_z = \int_0^B [\cos \beta_x \cdot \sin \mu_x + \cos \mu_x / K] dP_{3N} , \end{cases} \quad (4)$$

где  $\beta_x$  – угол наклона касательной в точке профиля на текущем уровне  $x$ ;  $\mu_x$  характеризует распределение давления по дуге контакта в соответствии с принятой гипотезой [2];  $dP_{3N} = 60 \cdot [a_x \cdot s \cdot L_x / (D_x \cdot \pi \cdot n \cdot K_{po})] dx$

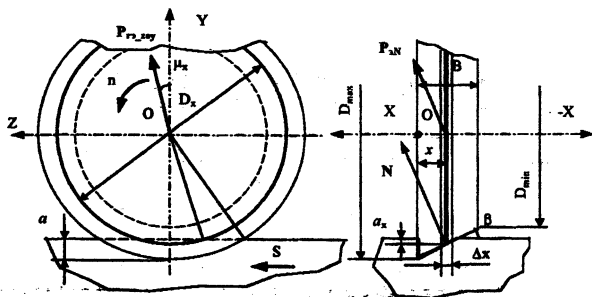


Рис.2. Расчетная схема при глубинном шлифовании одноугловым кругом

Составляющие  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$  по формулам (4) можно рассчитать методами численного интегрирования. Разработана программа, по которой составляющие  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$  были определены для возможных значений показателей режима глубинного шлифования. Для вышлифовки канавки одноугловым кругом (рис.2), когда  $\beta_x = \beta = \text{const}$ , составлена многофакторная регрессионная модель, позволяющая определить значения сил без использования (4):

$$P_i = \frac{s^2 \cdot K_{\text{пол}}}{K_{\text{по}}} \cdot F \cdot \left( b_{0i} + b_{1i} \cdot \beta + b_{2i} \cdot \frac{a}{D_{\text{max}}} + b_{3i} \cdot \beta \cdot \frac{a}{D_{\text{max}}} \right), \quad (5)$$

где  $i = x, y, z$ , а  $P_i$  соответственно  $P_x, P_y, P_z$ ;  $K_{\text{пол}} = 0.005$ ;  $F = a^2 / 2 \text{tg} \beta$  для случая, когда ширина контактной поверхности круга равна ширине круга (зона А на рис. 3),  $F = B \cdot (2a - B \cdot \text{tg} \beta)$  для случая, когда ширина контактной рабочей поверхности круга меньше ширины круга (зона В);  $a$  – глубина шлифования;  $D_{\text{max}}$  – максимальный диаметр круга,  $b_{0i}$ ,  $b_{1i}$ ,  $b_{2i}$ ,  $b_{3i}$  – коэффициенты, приведенные в табл. 1, 2.

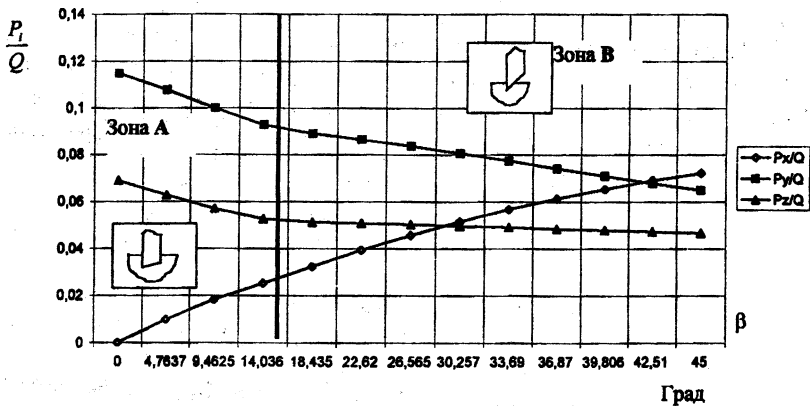
Таблица 1

Коэффициенты модели (5). Зона А

		$b_{ik} \cdot 10^{-4}$			
i	k	0	1	2	3
x	0		9.075	0	275.400
y		3.345-K+1339.260	-0.388-K-15.086	572.675-K+5610.780	-0.040-K-26.530
z		-64.867-K+566.660	-0.508-K-8.634	-642.850-K+17012.400	-0.909-K-72.777

Коэффициенты модели (5). Зона В

$b_{ij} \cdot 10^{-4}$					
i	k	0	1	2	3
x	0		6.309	0	419.600
y		1.473·K+389.092	-0.083·K-1.946	326.500·K+26777.000	4.269·K-293.483
z		-21.558·K+182.244	0.021·K+0.110	-1377.850·K+2.086	-0.875·K-71.301

Рис. 3. Удельные  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$  при  $\alpha=3$  мм,  $K=3$ 

## ЛИТЕРАТУРА

1. Островский В. И. Оптимизация условий эксплуатации абразивного инструмента: Обзор. – М.: НИИмаш, 1984. – 56 с.
2. Махаринский Е.И., Масилевич А.В. Рабочие характеристики глубинного шлифования // Машиностроение. – 2001. – Вып. 17. – С. 38-42.
3. Оптимизация технологии глубинного шлифования // С.С. Силин, Б.Н. Леонов, В.А. Хрульков и др. - М. : Машиностроение, 1989. – 120 с.