

УДК 621.923

Ф. В. НОВИКОВ, Б. С. СЕРОВ, Г. В. НОВИКОВ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ
С УЧЕТОМ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО РЕЛЬЕФА КРУГА**

В существующих методах расчетов сил резания при шлифовании, как правило, режущий рельеф алмазного круга рассматривается исходным и неизменным, не зависящим от режимов

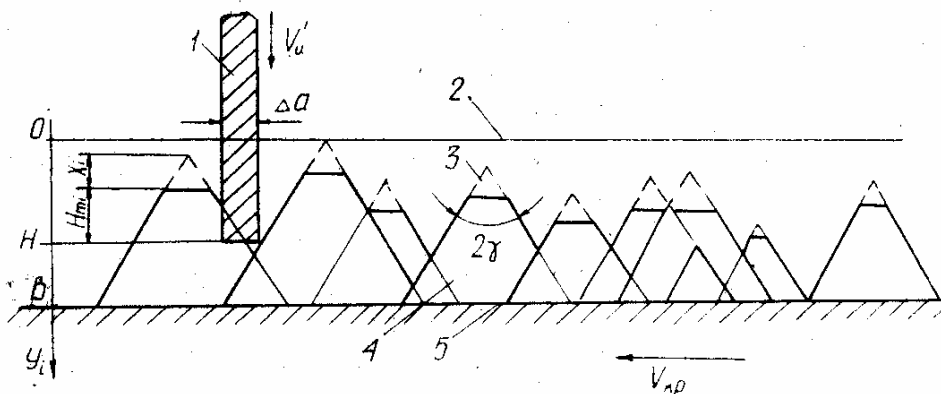


Рис. 1

шлифования, характеристик круга и изделия. Однако в реальном процессе шлифования такое не наблюдается. Многочисленными исследованиями [1, 2] установлено, что рельеф круга определяется условиями обработки и оказывает решающее влияние на эффективность шлифования. Поэтому учет параметров

стабилизированного рельефа позволяет более правильно подойти к расчету сил резания и выявить предпочтительные направления снижения энергоемкости шлифования. Необходимость решения данной задачи диктуется практикой круглого продольного шлифования твердосплавных и других труднообрабатываемых материалов, где силы резания значительны и ограничивают, главным образом, возможность интенсификации шлифования.

На рис. 1 показана расчетная схема врезного шлифования прямолинейного образца бесконечно малой толщины Δa , движущегося по нормали к рабочей поверхности круга с постоянной скоростью V_n . Здесь 1 — образец; 2 — уровень вершин максимально выступающих зерен; 3 — изношенная часть зерна; 4 — зерно; 5 — уровень связки.

Предположим, что металл, подводимый в зону резания, полностью снимается на уровне H , отсчитываемом от вершины неизношенного зерна, максимально выступающего над связкой. Возникающая при шлифовании сила резания определяется суммой единичных сил от зерен, одновременно участвующих в съеме металла:

$$N = KV\Delta a\psi \frac{H}{b},$$

где K — поверхностная концентрация зерен на круге, шт./мм²; V — ширина образца, мм; b — максимальная высота выступающих зерен над связкой, мм; ψ — коэффициент, учитывающий кинематическую вероятность участия зерен в резании, $\psi = 1/3$.

Первоначально силу трения металла со связкой в расчетах учитывать не будем. Принимая исходным (после правки) равномерный закон распределения вершин зерен над связкой

$$f(y_i) = 1/H,$$

проектируем зерна на плоскость образца. В результате взаимодействия каждое зерно срежет металл и оставит свою полную проекцию на плоскости.

Тангенциальную составляющую силы резания, действующую на отдельное зерно, определим по формуле

$$F_i = [\sigma]_i S_i,$$

где $[\sigma]_i$ — условное напряжение резания; $[\sigma]_i = A/H_{m_i}$. Отметим, что A — параметр, учитывающий прочностные свойства обрабатываемого металла; H_{m_i} — толщина среза, мм; $n = 1,0 \div 1,8$; S_i — площадь среза,

$$S_i = \text{tg } \gamma (y_2^2 - x_1^2) = \text{tg } \gamma y_i^2 (1 - \eta^2) \text{ мм}^2;$$

x_i — линейный износ зерна, мм; η — коэффициент износа максимально выступающего зерна до его объемного разрушения или вываливания из связки [3], $\eta = x/H$.

После подстановки параметров $[\sigma]_i$, S_i в выражение для F_i с учетом

$$H_{m_i} = (1 - \eta) y_i$$

имеем

$$F_i = \frac{\operatorname{tg} \gamma A (1 - \eta^2) y_i^2}{(1 - \eta)^n} \quad (1)$$

Отсюда следует, что единичная сила F_i значительно зависит от показателя n . Если $n > 2$, то с увеличением толщины среза H_{m_i} сила F_i уменьшается, для $n_i < 2$ — увеличивается. Последний случай более объективно отражает закономерности реального шлифования. Поэтому в расчетах необходимо принимать $n < 2$.

Тангенциальную составляющую силы резания от работы N зерен установим интегрированием F_i в пределах $0 < y_i < H$ (рис. 1):

$$dN_i = N f(y_i) dy_i;$$

$$F_{\text{танг}} = \int_0^N F_i dN_i = \frac{\operatorname{tg} \gamma BKA \Delta a \psi (1 - \eta^2) H^{3-n}}{(3-n) b (1 - \eta)^n}, \quad (2)$$

где $f(y_i) = 1/H$.

Параметр H определяется так [3]:

$$H = \sqrt[3]{\frac{9bV'_и}{\operatorname{tg} \gamma KV_{\text{кр}} (1 - \eta^2)}}, \quad (3)$$

где $V_{\text{кр}}$ — скорость круга, мм/с.

После подстановки зависимости (3) в уравнение (2) и некоторых преобразований имеем

$$F_{\text{танг}} = \frac{\operatorname{tg} \gamma KBA \Delta a \psi (1 + \eta)^n}{(3-n)(1 - \eta^2) \frac{2}{3} nb} \left(\frac{9bV'_и}{\operatorname{tg} \gamma KV_{\text{кр}}} \right)^{\frac{3-n}{n}}. \quad (4)$$

Зависимость (4) связывает силу резания с режимом шлифования, характеристиками круга и изделия, а также с износом режущих зерен, определяемым коэффициентом η . Для исходного рельефа $\eta = 0$, с увеличением износа зерен η возрастает.

Анализ зависимости (4) показывает, что при одинаковой заданной интенсивности съема металла $V'_и$ в период приработки круга сила $F_{\text{танг}}$ всегда меньше силы при установившемся процессе шлифования, который характеризуется более высоким

значением η . Учитывая, что η может изменяться от 0 до 0,9, сила резания $F_{\text{танг}}$ с течением времени шлифования может возрасти в 10 и более раз при $n=1,7$.

В момент стабилизации рельефа круга сила резания на максимально выступающем зерне достигает предельного значения P , $F_{\text{танг}}$ принимает наибольшее значение. Для стабилизированного рельефа коэффициент η находим из зависимости (3) в результате замены

$$K = \frac{3m(1-\epsilon)}{200\pi \bar{X}^2}; \quad b = x(1-\epsilon),$$

где m — объемная концентрация зерен, %; \bar{X} — зернистость круга, мм; $(1-\epsilon)$ — коэффициент, учитывающий прочность удержания зерен в связке. Параметр H с учетом формулы $[\sigma] = \frac{A}{H_{\text{макс}}^n}$ и решения уравнения (3) определяется так:

$$H = \frac{P}{A} \left(\frac{600\pi \bar{X}^3 V_u'}{mV_{\text{кр}} P^2} \right)^{\frac{n-1}{2n-1}}. \quad (5)$$

Решая совместно уравнения (3), (5), получаем

$$(1-\eta^2) = \left(\frac{A}{P} \right)^{\frac{3}{2n-1}} \left(\frac{600\pi \bar{X}^3 V_u'}{mV_{\text{кр}}} \right)^{\frac{2-n}{2n-1}}. \quad (6)$$

Зависимость (4), где $\text{tg } \gamma = 1$, $\psi = \frac{1}{3}$, с учетом уравнения (6) после несложных преобразований примет вид

$$F_{\text{танг}} = \frac{3AB\Delta a V_u'}{(3-n)V_{\text{кр}}} \left(\frac{mV_{\text{кр}} P^2}{600\pi \bar{X}^3 V_u' A^2} \right)^{\frac{n}{2n-1}}. \quad (7)$$

Выражение (7) получено для бесконечно тонкого обрабатываемого образца. Для круглого продольного шлифования расчетную схему (рис. 2) представим в виде пакета бесконечно тонких цилиндрических оболочек [5], которые под разными углами, а следовательно, и с различными радиальными скоростями

$$V_n' = V_n \sqrt{2t_{\tau} \rho}$$

входят в рабочую поверхность круга. Здесь t_{τ} — координаты текущей оболочки;

$$\rho = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2},$$

где R_1, R_2 — радиусы изделия и круга, мм; 1 — круг; 2 — уровень связки; 3 — зерна; 4 — уровень вершин максимально выступающих зерен; 5 — изделие; 6 — элементарные оболочки счи-

маемого припуска. Металл с таких оболочек полностью снимается на уровне H_T . Для периферийной оболочки он минимален и уменьшается по мере удаления оболочки от наружного диаметра изделия.

При определении тангенциальной составляющей силы резания продольного шлифования необходимо просуммировать си-

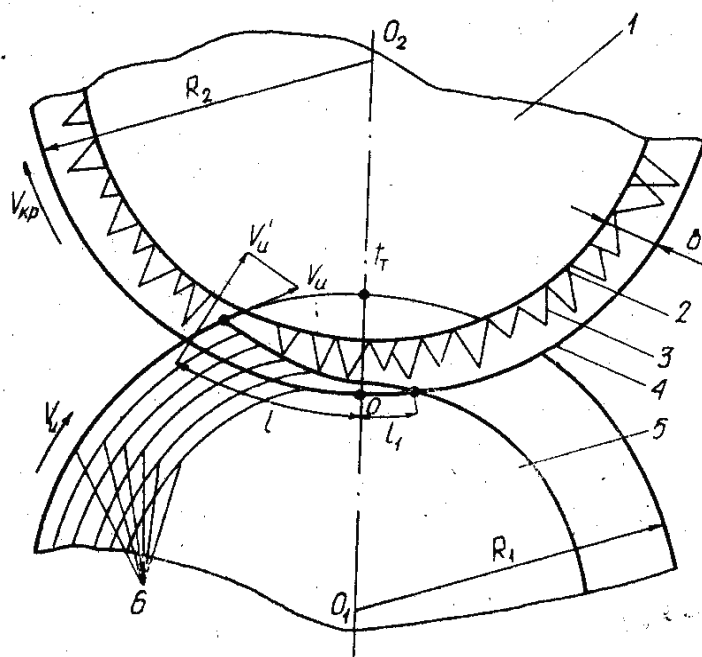


Рис. 2

лы резания для всех оболочек, расположенных в пределах длины дуги контакта круга с изделием

$$0 < dl = \Delta a < l.$$

Для глубинного шлифования длина l_1 значительно меньше l и поэтому ее в расчетах можно не учитывать.

После интегрирования зависимости (7) в пределах $0 < t_T < t$ с учетом

$$l_T = \sqrt{2t_T/\rho}, \quad dl_T = \sqrt{1/2\rho t_T} dt_T$$

получаем

$$F_{\text{танг}} = \frac{3ABV'_n t}{(3-n)(1-n/6)V_{\text{кр}}} \left(\frac{mV_{\text{кр}} P^2}{600\pi X^2 V_n \sqrt{2t\rho} A^2} \right)^{\left(\frac{n}{2n-1}\right)}. \quad (8)$$

Если $n=1,7$, характер изменения зависимости (8) совпадает с экспериментальными результатами, изложенными в работе [4].

В таблице приведены значения $F_{\text{танг}}$, рассчитанные для шлифования твердого сплава ВК15 совместно со сталью кругом

1А1 300×25×75 АС6 200/160-100 %-МВ1 при следующих условиях обработки: $V_{кр} = 35$ м/с; $R_1 = 60$ мм; $R_2 = 150$ мм; $B = 22,5$ мм/об; $m = 100$; $\bar{X} = 0,2$ мм; $P = 7,7$ Н. Параметр A установлен расчетно-экспериментальным путем по шероховатости обработанной поверхности и равен 1,42. Для других обрабаты-

ваемых материалов A определяется из соотношения их физико-механических свойств.

Полученная зависимость позволяет найти силы резания для различных режимов шлифования, характеристик кругов и изделия с учетом параметров стабилизированного рельефа.

V_a м мин	t мм/ход			
	0,05	0,1	0,3	0,5
1	72,8	114,7	234,3	326,6
2	89,6	141,3	287,5	402,1
4	108,7	173,9	355,2	—
6	124,5	196,3	—	—

Экспериментальные исследования при таком решении задачи можно значительно сохранить и свести к определению физических параметров, которые не поддаются расчету. Зная базовые значения этих параметров, несложно определять силы резания в широком диапазоне изменения режимов шлифования, характеристик кругов и обрабатываемых материалов.

Список литературы: 1. Основы алмазного шлифования/М. Ф. Семко, А. И. Грабченко, А. Ф. Раб и др. — К.: Техніка, 1978. — 192 с. 2. Попов С. А., Малевский Н. П., Терещенко Л. М. Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов. — М.: Машиностроение, 1977. — 263 с. 3. Новиков Ф. А. Кинематика образования режущего рельефа алмазного круга в процессе шлифования. — В кн.: Контактные процессы при больших пластических деформациях. X., 1982, с. 37—43. 4. Сошников С. А., Раб А. Ф. Исследование силовых и энергетических характеристик глубинного алмазного шлифования. — В кн.: Контактные процессы при больших пластических деформациях. X., 1982, с. 61—66. 5. Новиков Ф. В., Гуцаленко Ю. Г. Шероховатость обработанной поверхности при глубинном шлифовании. Совершенствование процессов абразивно-алмазной и упрочняющей технологии в машиностроении. — Тр. Перм. политехн. ин-та, 1983, с. 52—57

Поступила в редколлегию 12.01.84