

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ПОДЖИМА ОБРАЗЦА К КРУГУ, ОГРАНИЧЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ПОРОГА ГРАФИТИЗАЦИИ АЛМАЗНЫХ ЗЕРЕН

Матюха П.Г., Стрелков В.Б.
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Увеличение производительности алмазного шлифования твердых сплавов является важной проблемой машиностроения. Производительность процесса шлифования зависит от многих показателей, одним из которых является режущая способность алмазного круга. В настоящее время высокая производительность шлифования обеспечивается с помощью алмазных кругов на металлической связке. Это обусловлено тем, что алмаз обладает наивысшей твердостью и наибольшим модулем упругости из всех известных режущих материалов. Теплопроводность алмаза также значительно выше, чем у других инструментальных материалов, а коэффициент линейного расширения в 5-10 раз меньше, что обуславливает высокую стойкость алмаза при тепловых нагрузках до 800-1200° С. Превышение этих температур приводит к графитизации [1], и к последующему разрушению алмаза [2]. Существуют также рекомендации [3], согласно которым алмазный инструмент при температуре свыше 700° С применять нецелесообразно, вследствие начала окисления алмазных зерен.

Температура на зерне определяется схемой обработки, физикомеханическими и теплофизическими свойствами обрабатываемого материала и силами резания.

Для обеспечения минимальной себестоимости обработки шлифование необходимо осуществлять на оптимальных режимах, которые в настоящее время определяются экспериментально с помощью трудоемких многофакторных экспериментов.

Целью статьи является разработка методики расчета максимально допустимой силы поджима образца к кругу при шлифовании по упругой схеме, обеспечивающей максимальную производительность шлифования твердых сплавов по критерию температуры порога графитизации алмазных зерен.

Определим максимальную силу на единичном зерне, при которой графитизация алмаза будет отсутствовать. При определении допустимой силы резания, воспользуемся методикой [4], позволяющей определить температуру на контактной поверхности алмазных зерен, трансформировав её в размерности системы СИ, для плоского врезного алмазного шлифования периферией круга (рис. 1).

Температура на зерне возникает вследствие превращения механической работы в теплоту, которая поступает в зерно со стороны площадки контакта его с поверхностью резания на заготовке и частично отводится через поверхность соприкосновения зерна с металлической связкой и остальной массой круга. Чтобы определить температуру на площадке контакта зерна, применим формулу для плоского источника интенсивностью q , действующего в течение времени τ на торце стержня ограниченной длины h и произвольной формы сечения [4].

При теплофизическом анализе ограничимся расчетом, выполненным применительно к зернам наиболее вероятного размера, представив каждое из них моделью в виде цилиндра (рис.2) с диаметром основания d , и высотой h . Высоту цилиндра h примем равной диаметру основания.

Геометрические параметры цилиндрической модели зерна определим из условия равенства объемов шаровой модели $V_{ш}$ и цилиндрической модели $V_{ц}$.

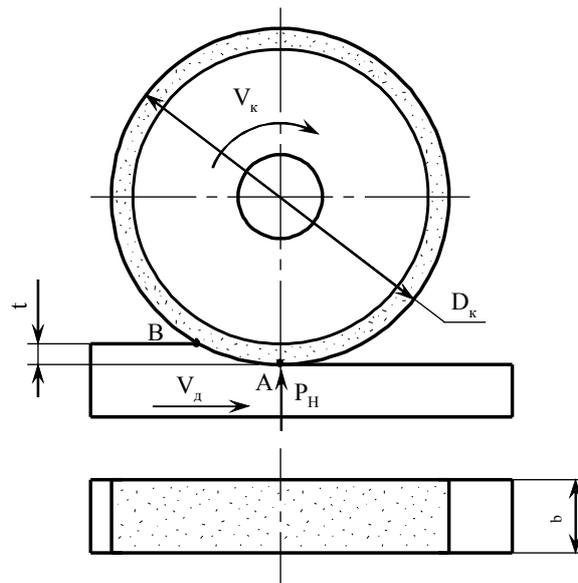


Рис. 1. Схема плоского врезного шлифования по упругой схеме, кинематически аналогичной жесткой.

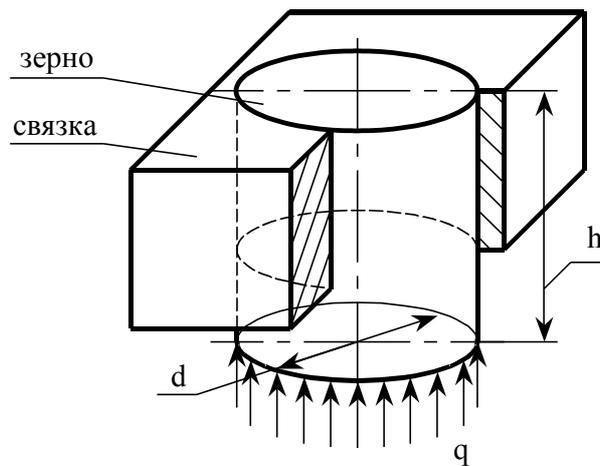


Рис. 2. Тепловая модель к расчету температуры на алмазном зерне

Объем шаровой модели зерна $V_{ш}$ равен

$$V_{ш} = \frac{\pi d_{ш}^3}{6}, \quad (1)$$

где $d_{ш}$ – диаметр шаровой модели зерна.

Диаметр шаровой модели зерна найдем по рекомендациям работы [5]:

$$d_{ш} = \frac{6090}{\sqrt[3]{N_z^3}}, \quad (2)$$

где N_z – число зерен в одном карате [6].

Объем цилиндрической модели зерна

$$V_y = \frac{\pi d_y^2}{4} h. \quad (3)$$

Здесь d_y – диаметр основания цилиндрической модели зерна,
 h – высота цилиндрической модели.

Из формулы (3), с учетом равенства диаметра и высоты основания цилиндрической модели, диаметр цилиндра будет равен

$$d_y = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_y}{\pi}}. \quad (4)$$

Подставив в (4) значение объема шаровой модели зерна $V_{ш}$ из (1), получим:

$$d_y = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot d_{ш}^3}{6}}. \quad (5)$$

Формула для определения максимально допустимой силы P_z на единичном зерне, при которой графитизация алмаза будет отсутствовать ($T_{дон} = 0,95T_{cp}$), полученная с использованием методики, изложенной в работе [4], имеет вид

$$P_z = \frac{0,95T_{cp} \cdot (\lambda_1 + 2,25 \cdot \lambda \cdot A^* \sqrt{F_0}) \cdot \pi \cdot d^2}{4,95A^* \cdot \sqrt{\omega_1 V_k l}}, \text{ Н.} \quad (6)$$

где T_{cp} – температура, при которой начинается графитизация алмаза;

λ_1 – коэффициент теплопроводности алмаза;

λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала;

F_0 – безразмерное время контакта зерна с кругом, представленное с помощью критерия Фурье;

d – диаметр основания цилиндрической модели зерна;

ω_1 – коэффициент температуропроводности алмаза;

V_k – скорость круга;

l – длина контакта зерна с деталью;

A^* – выражение, определяемое по формуле:

$$A^* = A_1 - \frac{8 \cdot \lambda_k \cdot F_0}{\ln 4h/d\lambda_1} \cdot \frac{A_{cp}}{1 + \frac{8 \cdot \lambda_k \cdot F_0}{\ln 4h/d\lambda_1}}.$$

Здесь A_{cp} – функция, учитывающая среднюю температуру рабочего и не рабочего торца зерна,

$$A_{cp} = \frac{A_1 + A_2}{2},$$

где A_1 – безразмерная функция, учитывающая температуру рабочего торца зерна;

A_2 – безразмерная функция, учитывающая температуру нерабочего торца зерна.

λ_k – коэффициент теплопроводности связки круга.

F_0 – безразмерное время контакта зерна с кругом.

Безразмерное время контакта зерна с кругом представлено с помощью критерия Фурье, который для тепловых явлений при шлифовании имеет вид:

$$F_0 = \frac{\omega_1 \cdot l}{V_k \cdot d^2}.$$

Среднюю силу на алмазных зернах, участвующих в работе, найдем разделив максимальную силу на зерне P_z , определенную по формуле (6) на коэффициент неравномерности нагрузки на зернах δ . Тогда

$$\bar{P}_z = \frac{0,95T_{zp} \cdot (\lambda_1 + 2,25 \cdot \lambda \cdot A^* \sqrt{F_0}) \cdot \pi \cdot d^2}{4,95A^* \cdot \delta \cdot \sqrt{\omega_1 V}}, \text{ Н.} \quad (7)$$

Сила резания на шлифовальном круге представляет произведение средней силы на единичном зерне на количество зерен, одновременно находящихся в контакте с поверхностью детали.

Количество режущих зерен на единице поверхности круга n_p найдем по формуле [5]:

$$n_p = \frac{1}{S_{з.н}^2} \cdot F(a_z), \text{ шт/м}^2, \quad (8)$$

где $S_{з.н}$ – расстояние между зернами на поверхности круга, м;

a_z – толщина среза единичным зерном, мкм;

$F(a_z)$ – вероятность попадания вершин зерен в интервал величиной a_z .

Толщина единичного среза a_z определяется по формуле:

$$a_z = a_{z \max} + R_z.$$

Здесь $a_{z \max}$ – максимальная толщина среза запятообразной формы, мкм; R_z – высота неровностей профиля на поверхности резания, мкм.

При шлифовании твердых сплавов параметр шероховатости поверхности резания R_z определим по аналогичному параметру на поверхности резания при обработке пластичных материалов [5] с помощью поправочного коэффициента κ_{cp} (табл. 1) [7].

Таблица 1. Значения коэффициента, отражающего отношение параметров шероховатостей, сформированных при обработке твердых сплавов и инструментальной стали

Сравниваемые материалы		Значения коэффициента κ_{cp} при скорости продольного хода V_{cm} , м/мин
Р6М5Ф3	ВК6	0,91
	ВК8	0,94
	ВК15	0,97

Высоту микронеровностей поверхности резания R_z для пластичных материалов, к которым относится сталь Р6М5Ф3, рассчитывали по специальной программе, приведенной в работе [5].

С учетом количества режущих зерен на единице поверхности круга, общая сила на шлифовальном круге P_{zk} будет равна

$$P_{zk} = \bar{P}_z \cdot n_p \cdot b \cdot l, \text{ Н,} \quad (9)$$

где b – ширина шлифования, м;

l – длина дуги контакта, м.

Подставив в формулу (9) значение \bar{P}_z из (7) и n_p из (8) получим величину тангенциальной составляющей силы резания P_{zk} на шлифовальном круге, ограниченную температурой порога графитизации зерен

$$P_{zк} = \frac{0,95 \cdot T_{зр} \cdot (\lambda_1 + 2,25 \cdot \lambda \cdot A^* \cdot \sqrt{F_0}) \cdot \pi \cdot n_p \cdot d^2 \cdot \sqrt{l} \cdot b}{4,52 \cdot A^* \cdot \delta \cdot \sqrt{\omega_1 \cdot V}}, \text{ Н.} \quad (10)$$

Максимально допустимую силу поджима образца к кругу определим воспользовавшись коэффициентом шлифования, представляющим собой отношение тангенциальной составляющей силы резания к радиальной составляющей

$$k_{ш} = \frac{P_{zк}}{P_{ук}}. \quad (11)$$

Тогда из формулы (11) получим:

$$P_{ук} = P_{zк} / k_{ш}, \text{ Н.} \quad (12)$$

При шлифовании по упругой схеме сила поджима образца к поверхности круга равна радиальной составляющей силы резания, т.е. $P_n = P_{ук}$ (см. рис. 1).

Для расчета силы поджима образца к РПК, ограниченной температурой порога графитизации алмазов, разработана программа на ПЭВМ.

Пример. Рассчитать максимально-допустимую силу поджима образца к РПК при шлифовании твердого сплава ВК8 по упругой схеме, кругом марки АС6 100/80-4-М2-01 по температуре порога графитизации алмазных зерен для следующих условий обработки: скорость круга $V_k = 35$ м/с, скорость детали $V_d = 6$ м/мин, глубина резания $t_\phi = 15$ мкм. Геометрические параметры круга и образца: радиус круга $R_k = 125 \cdot 10^{-3}$ м, высота круга $b_k = 15 \cdot 10^{-3}$ м; ширина образца $b = 12 \cdot 10^{-3}$ м. Параметры алмазных зерен: относительная концентрация алмазов $K = 100$, %, угол заострения зерна $\varepsilon = 91$ град, радиус закругления вершины зерна $r = 6,69$, мкм, число зерен в одном карате $N_z = 100000$ шт, коэффициент контактирования $K_k = 0,44$, расстояние между зернами на поверхности круга $S_{zn} = 0,37$ мм, параметры распределения разновысотности Вейбулла $m = 1,69$, $x_0 = 269$; значение свободного члена регрессии и коэффициента регрессии для расчёта $\kappa_\delta - \alpha = 14,32$, $\beta = 0,112$. Состав алмазосносного слоя: медь – 60 %, олово – 15 %, алмазы – 25 %. Теплофизические свойства компонентов алмазосносного слоя круга и образца: коэффициент теплопроводности алмаза $\lambda_{ка} = 530$ Вт/м·град, коэффициент теплопроводности меди $\lambda_{ку} = 361$ Вт/м·град, коэффициент теплопроводности олова $\lambda_{ко} = 58,41$ Вт/м·град, коэффициент теплопроводности ВК8 $\lambda_{кмс} = 54,4$ Вт/м·град, коэффициент теплопроводности алмаза $\omega_1 = 0,000083$ м²/с. Температура графитизации алмазных зерен $T_{зр} = 775^\circ$ С. Силовые параметры: коэффициент неравномерности нагрузки зерен $\delta = 1,5$; коэффициент шлифования $k_{ш} = 0,4$. Шероховатость поверхности резания $Rz = 11$ мкм; коэффициент $\kappa_{зр} = 0,94$.

В результате расчета по разработанной программе определена допустимая сила поджима образца к кругу, исключающая графитизацию алмазных зерен, которая равна 67 Н.

Предложенная методика будет использована для расчета режимов шлифования при обработке твердых сплавов по упругой схеме.

Список литературы: 1. Палей М.М. и др. Технология шлифования и заточки режущего инструмента / М.М.Полей, Л.Г.Дибнер, М.Д.Флид. – М.: Машиностроение, 1988. – 288 с. 2. Киселева П.Н. Технические алмазы. М.: Недра, 1964. – 156 с. 3. Маслов Е.Н. Тория шлифования материалов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с. 4. Резников А.Н. Теплофизика резания. М.: Машиностроение, 1969. – 288 с. 5. Матюха П.Г. Научные основы стабилизации выходных показателей алмазного шлифования с помощью управ-

ляющих воздействий на рабочую поверхность круга: Автореф. дис.... докт. техн. наук: 05.03.01 / ХГПУ – Харьков 1996. – 48 с. 6. Бакуль В.Н. Число зерен в одном карате – одна из важнейших характеристик алмазного порошка //Синтетические алмазы, 1976. – Вып.4. – С. 22-27. 7. Матюха П.Г., Цокур В.П., Стрелков В.Б Исследование влияния марки обрабатываемого материала на параметр шероховатости обработанной поверхности/ Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Междунар. сб. науч. трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2003. – Вып. 24. – С. 98-103.

ВИЗНАЧЕННЯ СИЛИ ПІДТИСКУ ЗРАЗКА ДО КРУГА,
ОБМЕЖЕНОЇ ТЕМПЕРАТУРОЮ ПОРОГА ГРАФІТИЗАЦІЇ
АЛМАЗНИХ ЗЕРЕН

Матюха П.Г., Стрелков В.Б.

У статті запропонована методика визначення і виконаний розрахунок максимально припустимої сили підтиску зразка із твердого сплаву ВК8 до поверхні алмазного круга АС6 100/80-4М2-01, яка виключає графітизацію зерен при шліфуванні за пружною схемою. Отримані дані використовуються для призначення сили підтиску зразка до РПК при шліфуванні за гнучкою схемою.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ПОДЖИМА ОБРАЗЦА К КРУГУ,
ОГРАНИЧЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ПОРОГА ГРАФИТИЗАЦИИ
АЛМАЗНЫХ ЗЁРЕН

Матюха П.Г., Стрелков В.Б.

В статье предложена методика определения и выполнен расчёт максимально допустимой силы поджима образца из твердого сплава ВК8 к поверхности алмазного круга АС6 100/80-4-М2-01, исключаящую графитизацию зерен при шлифовании по упругой схеме. Полученные данные используются для назначения силы поджима заготовки к РПК при шлифовании по упругой схеме.

DETERMINATION OF HOLD-DOWN PRESSURE OF A SAMPLE PIECE
AGAINST A WHEEL WITH ONE RESTRICTED BY THE TEMPERATURE
OF A DIAMOND GRAINS GRAPHITIZATION

Matjuha P.G., Strelkov V.B.

In the paper the technique of determination of tolerable hold-down pressure of a sample piece of hard alloy ВК8 against a diamond wheel АС6 100/80-4-М2-01 is proposed for grinding by elastic setup with pressure restricted by the temperature graphitization threshold. This limiting pressure is calculated. The obtained data are used for specification of the hold-down pressure of a workpiece against a WWS at grinding by elastic setup.