

УДК.621.93

В. И. Свиричев, доктор технических наук, профессор;
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
В. К. Флегентов, кандидат технических наук, директор департамента производства;
И. В. Подборнов, кандидат технических наук, заместитель директора по подготовке производства;
ЗАО «Новомет-Пермь»
А. В. Трубицын, аспирант, инженер-технолог ЗАО «Новомет-Пермь»
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНОГО СТРОЕНИЯ ВЫСОКОТВЕРДОГО Порошкового материала на силы резания при бесцентровом наружном шлифовании

Рассмотрена методика учета влияния структурного строения высокотвердого порошкового материала в задаче расчета силы резания при наружном бесцентровом шлифовании. Получено аналитическое выражение для расчета силы, дан пример расчета.

Ключевые слова: высокотвердый материал «Релит», бесцентровое шлифование, сила резания

Для деталей подшипников скольжения в качестве пар трения используются композиционные материалы на основе карбидов вольфрама, получаемые методом порошковой металлургии. Одним из основных методов обработки твердосплавных деталей является шлифование.

Шлифование – процесс массового скоростного резания поверхностных слоев твердого материала большим числом мельчайших шлифующих зерен, сцементированных и сформированных связкой инструмента.

Недостаток сведений по физико-механическим свойствам твердосплавного порошкового композиционного материала делает невозможным подбор инструмента и параметров режима резания на основе справочной литературы. Материалы на основе зерен карбидов вольфрама обладают износостойкостью в абразивной среде на уровне твердого сплава ВК8 (материал «Релит» представляет собой равномерно распределенные в медной связке зерна повышенной микротвердости 1 500...2 500 HV при твердости медной связки 250...300 HV). Кроме того, они обладают значительно лучшими пластическими характеристиками, абсолютно нечувствительны к ударным нагрузкам и вибрации.

Важнейшей задачей для обеспечения выходных параметров обработки являются стабилизация динамических параметров процесса шлифования, нахождение зависимостей между управляемыми кинематическими параметрами процесса и динамически изменяющимися контактными явлениями.

Одной из основных функциональных характеристик при шлифовании, как и при любом другом виде механической обработки, является сила резания P (рис. 1). С увеличением силы резания возрастают отжатие элементов системы СПИД, возрастает интенсивность износа абразивного инструмента, температура в зоне резания, увеличивается шероховатость обрабатываемой детали и снижается точность обработки. Сила P является результирующей величиной, составляющими которой являются: P_y – нормальная, необходима для внедрения абразивных зерен круга в материал детали; P_z – тангенциальная – для взаимного перемещения режущего круга и детали в процес-

се обработки; P_x – осевая – для перемещения детали вдоль оси обработки. Стабильностью силы резания P обеспечивает спокойный, безвибрационный процесс обработки деталей, а от осевой составляющей P_x зависит постоянство скорости продольной подачи $V_{пр}$, а следовательно, непрерывность потока при партионной обработке деталей и качество поверхностного слоя.

Процесс бесцентрового шлифования следует рассматривать как процесс резания множеством абразивных зерен, расположенных на периферии круга. При этом, если условно разбить весь абразивный круг множеством плоскостей проходящих через ось вращения круга (рис. 2) и расположенных так, чтобы расстояние между плоскостями на периферии равнялось среднему расстоянию между зёрнами круга, то процесс резания на длине отрезка, образованного пересечением одной из секущих плоскостей и периферией круга, можно рассматривать как процесс резания одним обобщенным резцом с прямолинейной режущей кромкой шириной B [1].

Расчет тангенциальной составляющей P_z сил резания в данной постановке осуществляется по формуле [2]:

$$P_z = 0,185 \cdot H_V \cdot t^{1,5+n} \cdot B \cdot d_a^{-(0,5+n)} \frac{K_b}{K_\delta} \frac{V_D \cdot \psi(\zeta, \eta, \gamma)}{\sqrt{(V_K + V_D)^2 + V_{пр}^2}}, \quad (1)$$

где H_V – твердость обрабатываемого материала по Викерсу; t – глубина шлифования; d_a – характерный размер абразивного зерна инструмента; $n = 1,0 \dots 2,5$ (для электрокорундовых кругов на керамической связке $n = 1,5$, для эльборовых и карбидокремниевых на керамической связке $n = 1$); K_b – коэффициент формы вершины зерна; K_δ – параметр, зависящий от объемного строения стандартного абразивного инструмента и условий правки его рабочей поверхности; V_K – скорость абразивного резания; V_D – скорость детали; $V_{пр}$ – продольная скорость детали;

$\psi(\zeta, \eta, \gamma) = \frac{\zeta^2 + 2 \cdot \zeta \cdot \sin \gamma + 1}{\zeta \cdot \cos \gamma} \frac{\zeta \cdot \cos(\eta + \gamma)}{\zeta \cdot \cos(\eta + \gamma) - \sin \eta}$; ζ – усадка стружки; η – угол трения скольжения; γ – передний угол единичного резца.

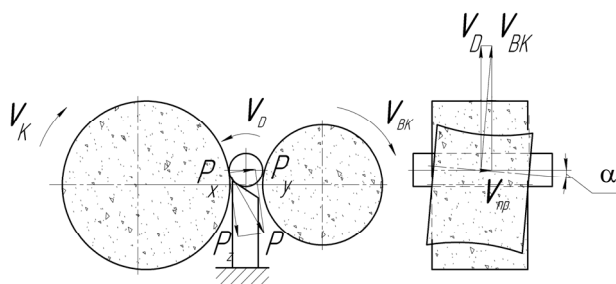


Рис. 1. Схема бесцентрового шлифования

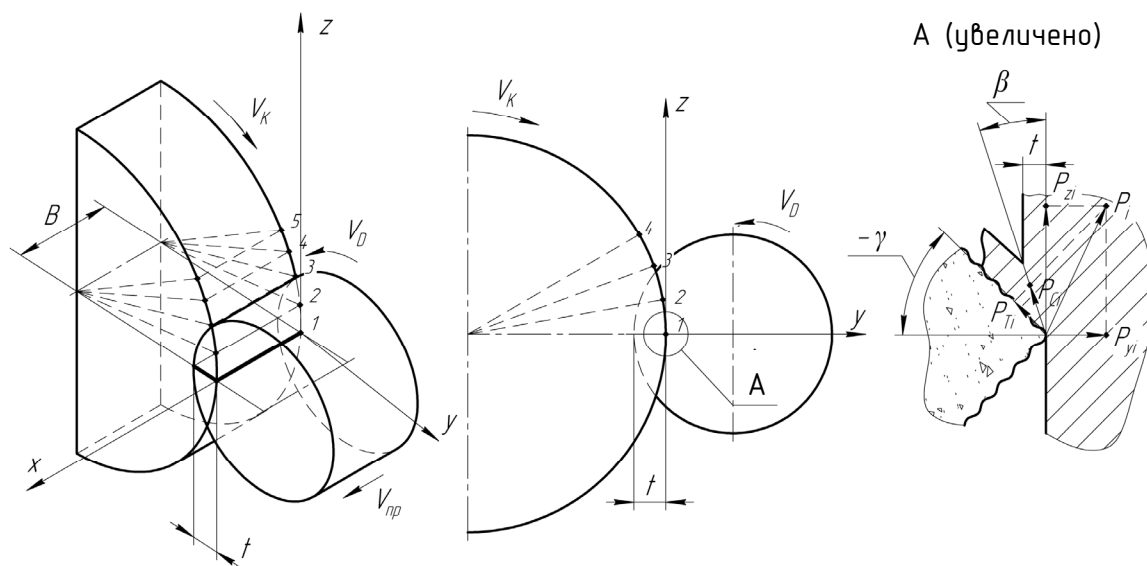


Рис. 2. Схема формирования режущей кромки обобщенного резца

Величина H_V , входящая в формулу (1) расчета силы резания P_z , не может быть представлена в явном виде, так как в справочной литературе нет физических характеристик описанного композиционного материала. В этом случае величину H_V можно заменить некой приведенной микротвердостью составляющих ее компонентов. Для определения приведенной микротвердости воспользуемся формулой

$$H_{Vnp} = \sum_{i=1}^n \Delta_i \left/ \sum_{i=1}^n \frac{\Delta_i}{H_i} \right., \quad (2)$$

где H_{np} – приведенная микротвердость материала; H_i – микротвердость i -го элемента; n – количество элементов многокомпонентного материала; Δ_i – размер i -го элемента по линии среза.

Материал «Релит» двухкомпонентный: зерна – карбид вольфрама, связка – медь. Предполагая, что все зерна карбидов вольфрама имеют средний статистический размер и равно распределены в объеме материала «Релит», для определения Δ_i воспользуемся схемой (рис. 3).

Из рисунка видно, что размеры составляющих элементов Δ_i , в плоскости среза, будут изменяться при изменении глубины шлифования t , а следовательно, и приведенная твердость тоже. Найдем зависимость изменения приведенной твердости материала от глубины шлифования:

$$H_{Vnp}(t) = \frac{\Delta_1(t) + \Delta_2(t)}{\frac{\Delta_1(t)}{H_{V1}} + \frac{\Delta_2(t)}{H_{V2}}}, \quad (3)$$

$$\left(\frac{\Delta_1}{2} \right)^2 = r^2 - (r - t)^2 \Rightarrow \Delta_1 = 2\sqrt{2rt - t^2};$$

$$\Delta_2 = R - \Delta_1 = R - 2\sqrt{2rt - t^2},$$

где r – средний статистический радиус зерна карбида вольфрама; R – среднее статистическое расстояние между центрами зерен карбидов вольфрама; H_{V1} – микротвердость карбидов вольфрама; H_{V2} – микротвердость меди.

Подставив выражения для Δ_1 и Δ_2 в (3), после преобразований, получим окончательное выражение для приведенной твердости двухкомпонентного композиционного материала:

$$H_{Vnp}(t) = \frac{H_{V1} \cdot H_{V2} \cdot R}{H_{V1} \cdot R - 2\sqrt{2rt - t^2} (H_{V1} - H_{V2})}. \quad (4)$$

Формула (4) описывает зависимость приведенной твердости двухкомпонентного композиционного материала от глубины шлифования, размеров карбидов и их взаимного расположения (рис. 4).

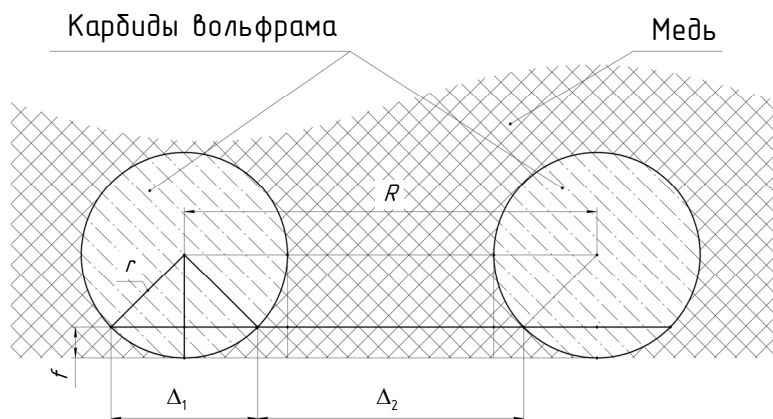
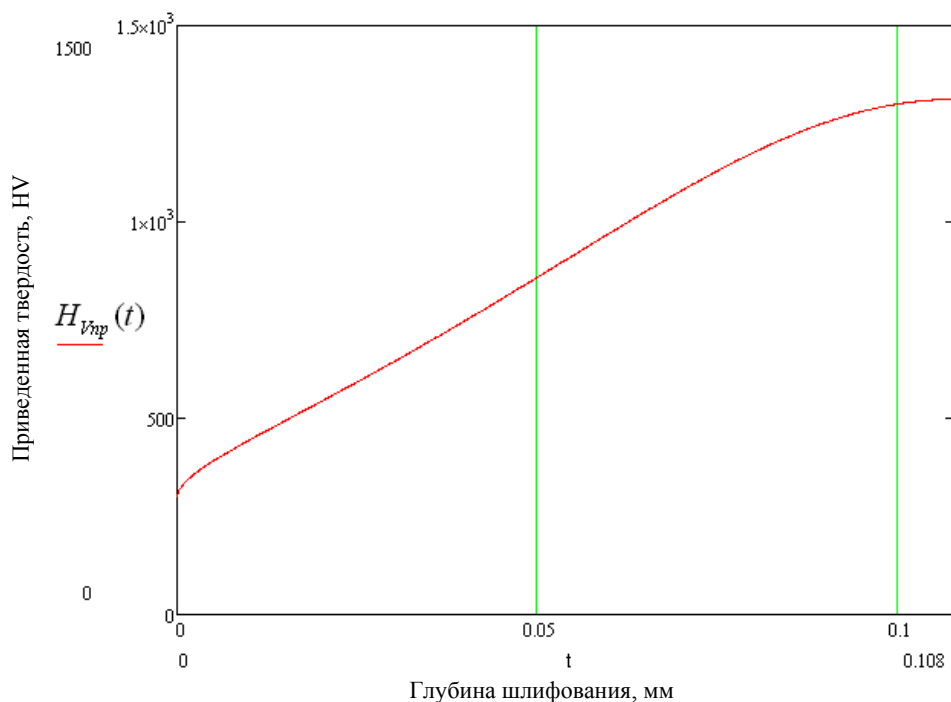


Рис. 3. Схема определения приведенной микротвердости

Рис. 4. Зависимость приведенной твердости от глубины шлифования:
 $H_{V1} = 2000 \text{ HV}$; $H_{V2} = 300 \text{ HV}$; $r = 0,108 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $R = 0,237 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

Подставив (4) в (1), получим выражение для расчета силы резания P_z двухкомпонентного композиционного материала:

$$P_z = \frac{0,185 \cdot R \cdot H_{V1} \cdot H_{V2} \cdot t^{1,5+n}}{H_{V1} \cdot R - 2(H_{V1} - H_{V2})\sqrt{2rt - t^2}} \frac{K_b}{K_\delta} \times \frac{S \cdot d_a^{-(0,5+n)} \cdot V_D \cdot \psi(\zeta, \eta, \gamma)}{\sqrt{(V_K + V_D)^2 + V_{np}^2}}, \quad (5)$$

где S — ширина детали.

При скоростях, характерных для процесса шлифования, усадка стружки ζ слабо зависит от скорости резания и будет равна примерно 1,5. Тогда

$$\psi(\zeta, \eta, \gamma) = \psi(1,5; \eta; \gamma) \approx \frac{6 \cdot \cos(\eta + \gamma)(1 + \sin \gamma)}{\cos \gamma [3 \cos(\eta + \gamma) - 2 \sin \eta]}. \quad (6)$$

Скорость продольной подачи детали V_{np} , при бесцентровом шлифовании, определяется скоростью детали и углом разворота оси ведущего круга и может быть найдена из выражений (рис. 1):

$$V_D = V_{BK} \cdot \cos \alpha, \quad V_{np} = V_D \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (7)$$

где V_{BK} — скорость ведущего круга.

С учетом (6) и (7) формула (5) примет окончательный вид:

$$P_z = \frac{0,185 \cdot R \cdot H_{V1} \cdot H_{V2} \cdot t^{1,5+n}}{H_{V1} \cdot R - 2(H_{V1} - H_{V2})\sqrt{2rt - t^2}} \frac{K_b}{K_\delta} \times \frac{S \cdot d_a^{-(0,5+n)} \cdot V_D}{\sqrt{(V_K + V_D)^2 + (V_D \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2}} \frac{6 \cdot \cos(\eta + \gamma)(1 + \sin \gamma)}{\cos \gamma [3 \cos(\eta + \gamma) - 2 \sin \eta]}. \quad (8)$$

$$P_z = \frac{0,185 \cdot R \cdot H_{V1} \cdot H_{V2} \cdot t^{1,5+n}}{H_{V1} \cdot R - 2(H_{V1} - H_{V2})\sqrt{2rt - t^2}} \frac{K_b}{K_\delta} \times$$

$$\times \frac{S \cdot d_a^{-(0,5+n)} \cdot V_D}{\sqrt{(V_K + V_D)^2 + (V_D \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2}} \frac{6 \cdot \cos(\eta + \gamma)(1 + \sin \gamma)}{\cos \gamma [3 \cos(\eta + \gamma) - 2 \sin \eta]}.$$

Рассмотрим пример расчета составляющих силы резания при следующих режимах бесцентрового шлифования:

Круг – 1 500×150×305 54C F46 N7 V35A: $D = 0,5$ м, $d_a = 0,4 \cdot 10^{-3}$ м, $|\gamma| = 0,96$ рад, $n = 1$, $K_b = 2$, $K_\delta = 0,0156$, $\operatorname{tg} \eta = 0,2$.

Деталь: $d = 30 \cdot 10^{-3}$ м, $S = 35 \cdot 10^{-3}$ м, $H_{V1} = 200 \cdot 10^6$ Н/м²,

$H_{V2} = 30 \cdot 10^6$ Н/м², $r = 0,108 \cdot 10^{-3}$ м, $R = 0,237 \cdot 10^{-3}$ м.

Режимы шлифования: $t = 0,05 \cdot 10^{-3}$ м, $V_D = 1,56$ м/с, $V_K = 35$ м/с, $\alpha = 4^\circ \approx 0,0698$ рад.

После подстановки указанных условий шлифования в (8) получим:

$$P_Z = 63,7 \text{ Н}, P_Y = P_Z \operatorname{tg}(\gamma + \eta) = 155,4 \text{ Н}.$$

Выводы

1. Получена аналитическая зависимость для расчета составляющей P_Z силы резания двухкомпонентного композиционного материала.

2. Дан пример расчета составляющих силы резания P_Z .

Библиографические ссылки

1. Евсеев Д. Г., Сальников А. Н. Физические основы процесса шлифования. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1978. – 128 с.

2. Свирицев В. И., Флегентов В. К., Подборнов И. В. Аналитическое описание и расчет сил резания при бесцентровом наружном шлифовании // Вестн. ПГТУ. Механика и технология материалов и конструкций. – 2002. – № 5. – С. 180–187.

V. I. Svirshchev, DSc in Engineering, Professor, Perm National Research Polytechnic University

V. K. Flegentov, PhD in Engineering, Production Director, CJSC "Novomet-Perm"

I. V. Podbornov, PhD in Engineering, Deputy Director of Production Preparation, CJSC "Novomet-Perm"

A. V. Trubitsyn, Post-graduate, process engineer, CJSC "Novomet-Perm", Perm National Research Polytechnic University

Influence of structural composition of very hard powder material on cutting force in centerless external grinding

The paper considers the method of accounting the influence of structural composition of a very hard powder material within the problem of calculating the cutting forces at external centerless grinding. The analytical expression for force calculation is obtained, the calculation example is given.

Keywords: very hard material "Relit", centerless grinding, cutting force

Получено: 12.11.12

УДК 531.7; 534.1.08; 620.17.08

В. В. Тарасов, доктор технических наук, профессор;

Институт механики Уральского отделения РАН

С. Ю. Лоханина, инженер по метрологии

Удмуртский государственный университет

Л. А. Игнатенкова, руководитель;

Центр метрологии и сертификации «Сертимет»

Уральского отделения РАН, Екатеринбург

Ю. В. Пузанов, кандидат технических наук, доцент

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ГАЛЬВАНОПОКРЫТИЙ ПРИ АБРАЗИВНОМ ИЗНАШИВАНИИ

Исследованы особенности реализации способа испытаний покрытий на износостойкость в условиях абразивного изнашивания при оценке свойств различных гальванических покрытий. Определены СКО результатов, полученных в условиях внутрилабораторной прецизионности. Выявлено влияние на полученные значения некоторых технологических аспектов, связанных с нанесением покрытий.

Ключевые слова: износостойкость, гальваническое покрытие, абразивное изнашивание, испытание, образцы, машина трения

Важной задачей машиностроения является повышение износостойкости конструкционных материалов, для решения которой широко используются разнообразные гальванические покрытия. Технология их нанесения характеризуется сравнительной простотой и реализуется на доступном оборудовании [1–3].

Эксплуатация машин и механизмов практически всегда в том или ином виде сопровождается абразивным изнашиванием, существенно влияющим на долговечность отдельных элементов, узлов и изделия в целом. Для испытаний материалов в условиях абразивного изнашивания известны различные способы