

Список литературы: 1. Машиностроение. Энциклопедия. Технология сборки в машиностроении. Т.Ш-5 / А.А. Гусев и др. / Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. -М.: Машиностроение, 2001. -640 с., ил. 2. Суслов А.Г. и др. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений. -М.: Машиностроение, 2006.-448 с. 3. Божидарнік В.В., Григор'єва Н.С., Шабайкович В.А. Автоматичне складання виробів: Навч. посібник, -Луцьк, „Надстир'я", 2005. -386 с. 4. Васильев А.С и др. Направленное формирование свойств изделий машиностроения / Под ред. А.И.Кондакова. -М.: Машиностроение, 2005. -352 с. 5. Качество машин: Справочник, в 2 т./А.Г.Суслов и др. Под общей ред. А.Г.Суслова. -М.: Машиностроение, 1995.-430 с. 6. Суслов А.Г., Дальский А.М. Научные основы технологии машиностроения. -М.: Машиностроение, 2002. -640 с., ил. 7. Божидарнік В.В., Григор'єва Н.С., Шабайкович В.А. Технологія виготовлення деталей виробів: Навч. посібник, -Луцьк, „Надстир'я", 2006. -612с., ил.

Сдано в редакцию 23.05.07

ВЕКТОРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА ПРИ ОБРАБОТКЕ

Гусев В.В. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

In paper the description of grinding wheel-working surface in view of stereo logy and vector field is considered. The offered approach to the description allows generalizing the description of structure of working surface of various wheels for different grinding setup.

Постановка проблемы. На формирование качественных показателей поверхностного слоя деталей из керамики при алмазной обработке значительное влияние оказывает состояние рабочей поверхности алмазного круга (РПК) [1]. К параметрам, описывающим исходную микрогеометрию алмазного круга, относятся: форма алмазного зерна, количество вершин зерен на единице площади рабочей поверхности и плотность распределения зерен по высоте. У кругов на металлических связках процесс саморегулирования рабочего профиля наблюдается на протяжении некоторого времени после правки, а затем может происходить постепенное сглаживание рельефа или образование рабочего профиля круга, который соответствует установившемуся процессу взаимного разрушения обрабатываемой и режущей поверхностей. Рабочая поверхность круга в процессе удаления материала припуска претерпевает изменения, происходит приспособляемость взаимодействующих поверхностей [2]. Будем рассматривать лишь аспекты топографической приспособляемости круга, включающей изменения разновысотности, относительной опорной площади топографии рабочей поверхности круга. Установление основных закономерностей, связывающих геометрические и физические параметры рельефа режущей поверхности с параметрами процесса резания позволяет перейти к нормированию и контролю основных характеристик рельефа.

Целью работы является установление основных закономерностей, описывающих геометрические параметры рельефа режущей поверхности и их изменение при работе шлифовального круга.

Основное содержание работы. Для удобства математического описания зерно описывают телом вращения. Разнообразие предлагаемых моделей зерен обусловлено задачами, которые решают авторы с помощью этих моделей. При рассмотрении механизма разрушения зерна используют модель зерна в виде усеченного конуса или

призмы [1,3]. Она также используется при определении сил трения в зоне контакта инструмент-заготовка. Зерно представляют в виде сферы при определении числа зерен в единице объема или на единице рабочей поверхности круга [1]. Для моделирования образования микрорельефа используют эллипсоид вращения или конус с округленной вершиной [1,4]. Погрешности определения объемов зерен при моделировании их в виде бипараболоида и эллипсоида вращения лежат в одинаковых пределах (не более 32%). В модели зерна в виде бипараболоида вращения при переходе к другой зернистости и марке алмаза изменяют параметры модели [5]. Применение модели зерна в виде бипараболоида тем более справедливо при условии, что высота рабочей поверхности Δu меньше наибольшей полуоси зерна.

Примем в первом приближении, что наибольшая ось зерна перпендикулярна поверхности связки, а его форма описывается бипараболоидом вращения. Сделаем допущение, что связка шлифовального круга (ШК) расположена на одном уровне. Пусть вершина зерна находится на расстоянии u от наружной поверхности круга. В поперечном сечении зерно описывается изменение ширины зерна (b_z) от его высоты

$$b_z = C_b(\tau) \cdot u^{m_z}, \quad (1)$$

где $C_b(\tau)$ и m_z – эмпирические коэффициенты.

Как показали результаты наших исследований, при обработке различного вида керамики для неизменной зернистости круга показатель степени m_z может быть принят постоянным, а в процессе шлифования изменяется $C_b(\tau)$. Эти результаты совпадают с результатами работы [6], полученными при обработке твердого сплава.

В этом случае в сечении рабочей поверхности круга на расстоянии c ($c > u$) от наружной поверхности круга площадь зерна $S_{злон}(u)$ определится как

$$S_{злон}(u) = \pi \cdot C_b(\tau)^2 \cdot (c - u)^{2 \cdot m_z}. \quad (2)$$

Рабочая поверхность ШК в статике, ограниченная радиусами круга R , $R-\Delta u$ и его высотой h , определяет некоторую область D в трехмерном евклидовом пространстве. Положение вершины зерна на РПК определяется случайным вектором определенном в этой области трехмерного пространства круга $D \vec{R} \in D$. Полной характеристикой системы случайных величин может служить ее плотность распределения. Установлено [1,4], что рабочая поверхность круга однородна в различных направлениях. При этом выполняются два условия: ординарность расположения вершин зерен и отсутствие их взаимодействия. Ординарность означает, что алмазные зерна в пространстве появляются поодиночке. Отсутствие взаимодействия означает, что вероятность попадания того или иного числа зерен в пространственную фигуру не зависит от того, сколько зерен попало в любую другую непересекающуюся с ней фигуру. В связи с этим принимают число зерен на единице рабочей поверхности круга n_z постоянным для всей ее глубины Δu . С другой стороны, поле зерен на рабочей поверхности круга не является однородным, так как число зерен (их вершин) попадающих в пространственную фигуру зависит от того, на каком уровне по координате u эта фигура находится.

В этом случае такое поле не однородно. Роль интенсивности поля выполняет плотность $f(u)$ распределения вершин зерен по глубине РПК. Так как распределение зерен по высоте описывается распределением Вейбулла с плотностью $f(u)$ [7], то математическое ожидание величины площади, занимаемой зернами на единице рабочей поверхности круга в сечении, расположенном от наружной поверхности круга на расстоянии c , определится из зависимости

$$A_c(c) = n_3 \int_0^c S_{знопн}(u) f(u) du = \pi \cdot n_3 \cdot C_b^2 \int_0^c (c-u)^{2m} \cdot f(u) du \quad (3)$$

Используя полученную зависимость 3, можно определить математическое ожидание относительной опорной площади рабочей поверхности круга $\eta_{РПК}$ для любого расстояния от наружной поверхности круга в пределах глубины РПК ($0 \leq c \leq \Delta u$). На рис. 1 б (кривая 2) показано изменение $\eta_{РПК}$ круга 1А1 250x20x3x76 АС-6 160/125 – 4 - М2-01 после электроэрозионной правки ($\Delta u = 110 \text{ мкм}$), для которого исходные данные для расчета были получены методом профилографирования. Относительная опорная площадь рабочей поверхности изменяется от 0 до 0,23 у связки. Полученные значения несколько превышают величину относительной опорной площади профиля РПК $\eta_{РПК} = 0,25 \times \Delta u / \bar{d}_3$, предложенную в работе [3] для расчета числа алмазных зерен на

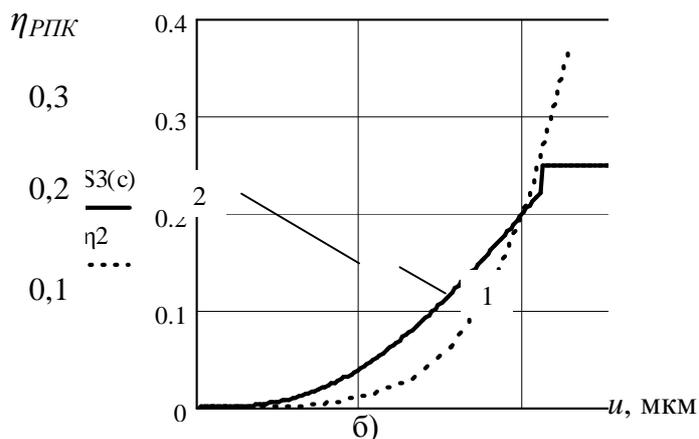
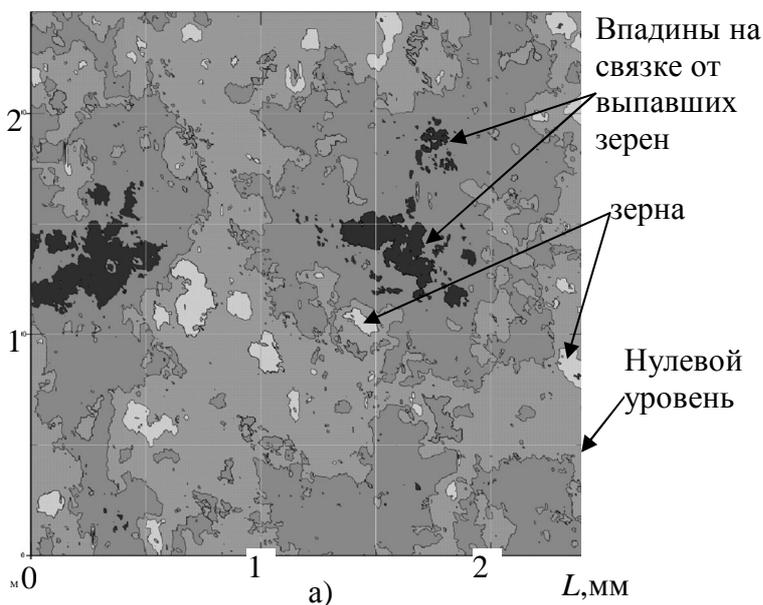


Рис. 1. Топография (а) и относительная опорная площадь профиля рабочей поверхности круга $\eta_{РПК}$ (б), полученные по данным лазерного сканирования на приборе “Perthomer S8P” (1) и расчетом (2) алмазного круга 1А1 250x20x3x76 АС-6 160/125 – 4 - М2-01

при расчете изменения профиля частично разрушенных при обработке алмазных зерен

поверхности круга при концентрации алмазов 100%.

Для проверки предложенной зависимости (3) были использована топография рабочей поверхности этого же шлифовального круга (рис. 1. а), полученная по данным лазерного сканирования на приборе “Perthomer S8P”. На топографии поверхности хорошо видны впадины от выпавших зерен и выступающие участки РПК. К сожалению, метод лазерного сканирования поверхности не позволяет выделить на рабочей поверхности круга алмазные зерна.

Была построена относительная опорная площадь профиля РПК по топографии (кривая 1, рис. 1, б), На рисунке 1, б видно хорошее качественное и количественное совпадение относительных опорных поверхностей профиля РПК, полученных по топографии и расчетным путем по зависимости (3). Различие между относительными опорными кривыми связано, по всей видимости, с неучетом

и наличием макропрофиля круга. Таким образом, полученную зависимость (3) можно использовать для анализа состояния рабочей поверхности круга.

В соответствии с одним из фундаментальных соотношений стереологии (принципом Кавальери-Акера-Глаголева [8]) отношение суммарной площади плоских площадок – сечений алмазных зерен к общей площади секущих плоскостей $A_c(c)$ (относительная опорная поверхность) будет равно отношению суммарного объема алмазных частиц к объему образца, т.е. объемной доле алмазных зерен ($V(c)$). Объемная концентрация алмазов (при 100%) в круге составляет 0,25 [1,2]. Величина относительной опорной площади алмазных зерен у связки не может превышать указанного значения. Объем, занимаемый зернами на рабочей поверхности круга, возрастает от минимального значения у наружной поверхности к значению немногим меньшим объемной концентрации зерен в связке. Таким образом, еще раз подтверждается возможность использования принципов стереологии при анализе рабочей поверхности ШК.

Случайное поле алмазных зерен на РПК обладает свойствами однородности и изотропности [1,4], т.е. профили любых нормальных сечений РПК имеют одинаковые статистические характеристики. Для оценки рабочей части профиля используют математическое ожидание числа зерен на единице длины круга и математическое ожидание относительной опорной длины профиля зерен на произвольном уровне (c). В соответствии с принципом Кавальери-Акера-Глаголева отношение суммарной длины отрезков, отсекаемых зернами, к общей длине базовой линии $L(c)$ равно $L(c)=A_c(c)$. Таким образом, скалярная характеристика поля ШК характеризует и вероятностную суммарную ширину зерен на данном уровне c . Каждому уровню рабочей поверхности круга, определяемой координатой u в нормальной системе цилиндрических координат, соответствует определенная относительная опорная площадь поверхности алмазных зерен $A_c(c)$ (3). Таким образом, в каждой области рабочей поверхности круга установлена скалярная величина, которая определяет поле скалярной величины. Через каждую точку поля проходит единственная поверхность уровня поля, принимающая значения от 0 до 0,25.

Для нормальной системы цилиндрических координат φ, u, z полный дифференциал поля

$$dA_c = \frac{\partial A_c}{\partial \varphi} d\varphi + \frac{\partial A_c}{\partial z} dz + \frac{\partial A_c}{\partial u} du = \text{grad}A_c \cdot dR_d, \quad (4)$$

где dR_d дифференциал радиус вектора $R_d = i(R - u) \cos \varphi + j(R - u) \sin \varphi + kz$ текущей точки РПК.

Таким образом, градиент поля режущей поверхности круга

$$\text{grad}A_c = (i \cos \varphi + j \sin \varphi) \frac{\partial A_c}{\partial u} + (-i \sin \varphi + j \cos \varphi) \frac{\partial A_c}{\partial \varphi} + k \frac{\partial A_c}{\partial z} = \nabla A_c. \quad (5)$$

Градиент поля направлен по нормали к поверхности уровня ШК в сторону быстрого увеличения скалярной функции и равен производной по направлению u . Зная градиент скалярной функции в данной точке, можно определить изменение функции при переходе от рассматриваемой точки к любой другой в ее окрестности (рис.2). При износе ШК разновысотности вершин зерен уменьшаются, что приводит к уменьшению градиента скалярной характеристики рабочей поверхности круга. Скорость изменения градиента характеристики ШК определяет его прирабатываемость под определенные условия работы.

При шлифовании круг вращается и поступательно перемещается относительно обрабатываемой заготовки. Вектор скорости \vec{V} произвольной точки РПК складывается из скорости поступательного перемещения круга \vec{V}_n и скорости $\omega \times (R-u)$, обусловленной

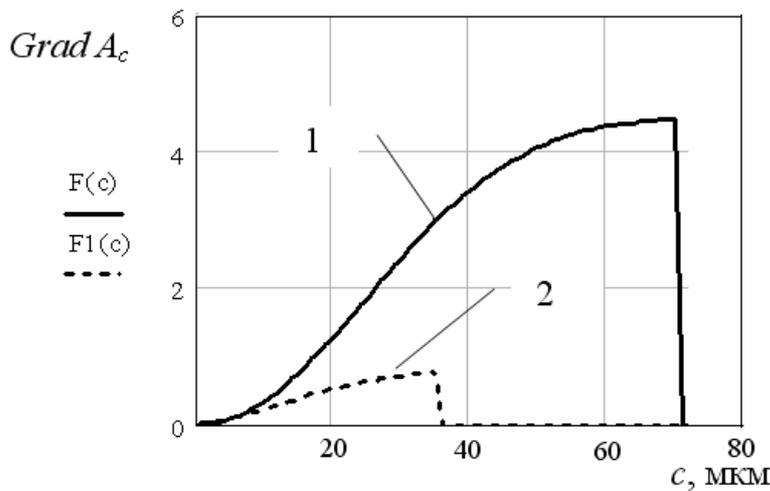


Рис. 2. Расчетные зависимости ожидания градиента относительной опорной площади рабочей поверхности круга 1A1 250x16x32 AC6-4-M2-01-125/100, расположенной от наружной поверхности круга в пределах глубины РПК:

- 1 – после правки $n_3=20,6$ шт/мм²; $\Delta u=70$ мкм; $C_b=9,5$;
- 2 – после удаления 22 см³/мм Al_2O_3 (Гп) $n_3=17$ шт/мм²; $\Delta u=35$ мкм; $C_b=14$

его вращением с мгновенной угловой скоростью ω вокруг оси. Таким образом, при шлифовании имеем векторное поле перемещения вершин алмазных зерен. Так как $\Delta u \ll R$, то для всех вершин зерен скорость фактически не зависит от координаты u . Кроме того, $V_n \ll \omega R$, поэтому будем считать в первом приближении скорость постоянной для всего рабочего слоя. Таким образом, при работе алмазные зерна рабочей поверхности круга можно рассматривать как векторное поле.

Скалярной характеристикой поля является возможная ширина сечения среза для зерна. Если вектор скорости произвольной точки РПК круга умножить на скалярную функцию A_c поля ШК, получим векторную характеристику поля круга при обработке $\vec{B}_K = A_c \cdot \vec{V}$. Ротация поля ШК определяется по зависимости

$$rot(\vec{B}_K) = rot(A_c \cdot \vec{V}) = A_c \cdot rot \vec{V} = 2 \cdot A_c \cdot \vec{\omega}. \quad (6)$$

Траектории, по которым перемещаются точки поля, являются векторными линиями. Вектор поля касается в каждой точке траектории рабочих элементов круга. Дивергенция потока поля рабочих элементов круга (алмазных зерен), если предположить отсутствие изменений в его рабочей поверхности, равна нулю $Div(\vec{V} \cdot A_c) = 0$. Поток поля рабочих элементов круга через любую замкнутую поверхность, если только эту поверхность можно стянуть в точку, не пересекая границ поля, также равен нулю. Таким образом, мы имеем случайное соленоидальное векторное поле. Циркуляция поля ШК \vec{B}_K вдоль линии контакта произвольной площадки на заготовке с кругом характеризует возможности инструмента по удалению материала припуска вдоль этой линии.

Выводы. Таким образом, распределение вершин зерен на рабочей поверхности круга можно рассматривать как нестационарное поле. Каждому уровню рабочей поверхности круга соответствует определенная скалярная величина, которая характеризует относительную опорную площадь поверхности алмазных зерен, объемную долю алмазных зерен и определяет возможность в удалении материала припуска инструментом на этом уровне. Предложенный подход к описанию ШК

позволяет обобщить описание различных кругов и схем с позиций стереологии и векторного поля.

Список литературы: 1. Байкалов А.К. Введение в теорию шлифования материалов. – Киев: Наукова думка, 1978. – 207с. 2. Федорович В.О. Розробка наукових основ та способів практичної реалізації управління пристосованістю при алмазному шліфуванні надтвердих матеріалів: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.03.01 / Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – Харків, 2002. – 33с. 3. Мишнаевский Л.Л. Износ шлифовальных кругов. – Киев: Наукова думка, 1982. – 192с. 4. Королев А.В., Новоселов Ю.К. Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки. Часть 1. Состояние рабочей поверхности инструмента. – Саратов: изд-во Саратовского университета, 1987. – 160с. 5. Байков А.В. Моделирование алмазных зерен для инструмента с ориентированным их расположением // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Сборник научных трудов. – Донецк: ДонГТУ, 1997. – Вып. №4. – С.12-18. 6. Полтавец В.В., Матюха П.Г. Модель зерна на рабочей поверхности круга при алмазном шлифовании // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сборник научн. трудов. – Донецк: ДонГТУ, 2000. – Вып.13. – С.94-98. 7. Гусев В.В., Калафатова Л.П. Вплив стану робочої поверхні алмазного інструмента на процес шліфування крихких неметалевих матеріалів // Вісник ЖДТУ - №2 (26). – 2003. – С.49-54. 8. Чернявский К.С. Стереология в металловедении – М.: Металлургия, 1977. – 480с.

Сдано в редакцию 28.05.07

КОМПЛЕКСНОЕ ВЛИЯНИЕ СМАЗКИ НА ТЕХНИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ ПЕРЕДАЧ ЗАЦЕПЛЕНИЕМ

Гутыря С.С., Мотулько Б.В. (Одес. нац. политехн. ун-т, г. Одесса, Украина)

Basing on the analysis of correlative influences the oil characteristic parameters and conditions of the load transmission in gears were realized. The dimensionless parametrical complexes, that mean the similarity criteria of the investigated process, were determined. The special stand on base of the roller friction machines were designed for simulation of the complexes indicated and for the investigation of their displaying in the dynamic loaded lubricated contact of the gearing elements.

Многокритериальная и объективная оценка технического уровня современных конструкций передач зацеплением достигается использованием необходимой и достаточной системы физически-информативных показателей качества, формируемой кибернетическими методами [1]. Для решения задач локальной оптимизации основных компонентов конструкции в качестве критериальных могут использоваться комплексные и единичные показатели качества, отвечающие требованиям независимости по предпочтению для потребителя, достаточной информативности и чувствительности, временной состоятельности и управляемости. В условиях непрерывного повышения уровня передаваемых мощностей и стабилизации показателя удельной массы для приводов машин решение проблемы оптимального подбора смазочных материалов по критериям работоспособности зубчатых и червячных передач является одним из наиболее эффективных направлений для дальнейшего технического