

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ ТОРЦОВ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ

Сердобинцев Ю.П., Харьков М.Ю., Наззал А.С.

ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Россия (400005, г.Волгоград, пр. Ленина, 28), app@vstu.ru

Керамические материалы находят широкое применение в промышленности. Рассмотрен процесс алмазного шлифования. Выявлена совокупность параметров, которые однозначно характеризуют процесс алмазного шлифования. Режущая способность круга представлена как функция от других величин, выбранных для описания процесса алмазного шлифования. Используя π -теорему теории подобия были найдены два безразмерных комплекса $\pi_1 = q/HV$ и $\pi_2 = Q/V \cdot F$. Была выявлена взаимосвязь между найденными числами подобия $\pi_1 = q/HV$ и $\pi_2 = Q/V \cdot F$. Описан способ нахождения эффективной площади контакта алмазного круга с заготовкой. Разработана математическая модель алмазного шлифования керамических материалов. Показаны преимущества найденной математической модели алмазного шлифования керамических материалов. Найденная математическая модель позволит усовершенствовать методики выбора режимов шлифования керамических материалов.

Ключевые слова: керамические материалы, шлифование, алмазный круг, режимы обработки, теорема подобия, анализ размерностей, математическая модель.

MODELLING PROCESS OF CERAMIC BEARINGS DIAMOND FACE GRINDING

Serdobintsev Y.P., Kharkov M.Y., Nazzal A.S.

FSBEI HPE Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia (400005, Volgograd, Lenin Avenue 28), app@vstu.ru

Ceramic materials find a wide industrial application. The process of diamond grinding is reviewed. The whole range of parameters that characterize diamond grinding process unambiguously is revealed. The cutting power of diamond wheel is presented as function from other variabilities that are selected to describe of process of diamond grinding. Using the π -theorem from the similarity theory there are found two dimensionless groups $\pi_1 = q/HV$ and $\pi_2 = Q/V \cdot F$. There is identified an interrelation between the found numbers of similarity $\pi_1 = q/HV$ and $\pi_2 = Q/V \cdot F$. The selection method for an effective contact area of the diamond wheel with the workpiece is described. The corresponding mathematical model for diamond grinding of ceramic materials is developed. Also the are specified advantages the presented mathematical model of ceramic materials diamond grinding. The described mathematical model enables to improve the selection method of grinding modes specifically for the ceramic materials.

Keywords: ceramic materials, grinding, diamond wheel, processing modes, similarity theorem, dimension analysis, mathematical model.

Керамические материалы широко применяются в приборостроении, ядерной энергетике, ракетной и аэрокосмической технике, химической промышленности и машиностроении, например газотурбинные установки, гироскопы, режущий инструмент, броневая защита военной техники, тепловая защита головных частей ракет и космических кораблей, футеровка реакторов и различные элементы пар трения. Керамические материалы обладают высокими жаро- и кислотостойкостью, износостойкостью, твердостью, малой плотностью и др.

В последнее время исследованиям в сфере изготовления и обработки керамических материалов уделяется все большее внимание. Ведущее место в мире занимает японская керамическая промышленность. Открываются центры по разработке и исследованию

керамических материалов, например, центр конструкционной керамики в Пенсильванском университете в США. В России открыты государственные предприятия и центры, например, ФГУП "ОНГШ "Технология" ГНЦ РФ (г. Обнинск) по разработке конструкционной керамики из нитрида и карбида кремния, нитрида бора, оксида алюминия, диоксида циркония, различных композиций и применению ее при изготовлении космических аппаратов, ракет-носителей, самолетов и др. техники. Научно-производственная фирма ИРИТО (г. Москва) производит изделия из карбида кремния. ООО ВИРИАЛ (Санкт-Петербург) производит машиностроительную износостойкую керамику на основе модифицированного карбида кремния, композиционные материалы на основе стекло - и углеродных волокон. [5]

Керамические материалы при спекании имеют достаточно большую усадку. При черновом шлифовании керамических заготовок снимаемый слой составляет от десятых долей до нескольких миллиметров. Основная задача чистового шлифования заключается в придании заготовки определенной геометрической формы и снятии дефектного слоя, образовавшегося при черновой обработке. Далее следует доводка, которая обеспечивает необходимое качество поверхности.

Для получения высококачественных поверхностей деталей из керамических материалов используется, в основном, шлифование алмазными кругами. Процесс съема керамического материала отличается от процесса шлифования металлов. При обработке шлифованием керамических материалов на поверхности появляются трещины, проникающие на некоторую глубину. Эти трещины пересекаются между собой, создавая механически ослабленный слой, который легко разрушается при дальнейшем воздействии абразива. Шлифование керамических материалов осложняется их склонностью к растрескиванию, отсутствию пластичности, высокой твердостью, низкой стойкостью к тепловым ударам и т.д.

Для обработки плоских керамических заготовок широко применяется универсальное плоскошлифовальное оборудование. При изготовлении деталей из хрупких высокотвердых материалов на таком оборудовании возникает ряд существенных проблем: сквозное растрескивание заготовок, большой процент брака из-за невыполнения жестких требований к точности размеров, шероховатости поверхностей, неэкономичный расход дефицитных материалов, невысокая производительность технологий и т.п. [5].

В настоящее время режимы шлифования керамических материалов выбираются в соответствии с рекомендациями, предложенными в работах Н. В. Никиткова, А. В. Балыкова и других ученых. Разработка высокоэффективных методов механической обработки

керамических материалов является одной из сложнейших задач современного машиностроения.

Рассмотрим процесс алмазного шлифования с помощью анализа размерностей. В качестве основных единиц используем по международной системе единиц (СИ) измерения массы M [кг], длины L [м] и времени T [сек]. Для описания состояния механической системы найдем уравнения движения и величины входящие в эти уравнения. Выявим совокупность параметров, которые однозначно характеризуют процесс алмазного шлифования. С помощью этих переменных в процессе анализа размерностей получим безразмерные комплексы.

Цель анализа размерностей - дать некоторые сведения о соотношениях, существующих между измеримыми величинами, связанными с различными явлениями. Преимущество метода в его быстроте, он избавляет от необходимости производить полный анализ задачи, нет надобности, например, выписывать уравнения движения механической системы. С другой стороны, анализ размерностей дает далеко не все сведения, которые могут быть получены при детальном рассмотрении [1].

В совокупность переменных входят величины, характеризующие геометрические и некоторые качественные параметры шлифовального круга и факторы режима обработки – скорость шлифования V и давление круга на заготовку q .

Скорость шлифования V и давление круга на заготовку q однозначно определяют состояние системы. величиной, характеризующей геометрические и некоторые качественные параметры алмазного шлифовального круга, является эффективная площадь контакта F шлифовального круга с обрабатываемой заготовкой. Эффективную площадь F представим как площадь сечения режущих алмазных зерен плоскостью перпендикулярной оси вращения шлифовального круга на высоте $0,15W$ от режущей кромки, где W – зернистость алмазного порошка (рисунок 1). Примем форму единичного алмазного зерна за октаэдр, диагональ которого равна зернистости W , а длина ребра равна $\frac{W}{\sqrt{2}}$. При благоприятном режиме шлифования деталь не контактирует со связкой алмазного шлифовального круга, а режущее зерно внедряется в обрабатываемый материал на 0,2-0,4 выступающей части. С учетом глубины заделки зерна в связку равной не более $0,5W$, глубина внедрения зерна в обрабатываемый материал 0,1-0,2 W (в среднем $0,15W$). Площадь сечения единичного зерна на высоте $0,15W$ является площадью контакта зерна с обрабатываемой заготовкой.

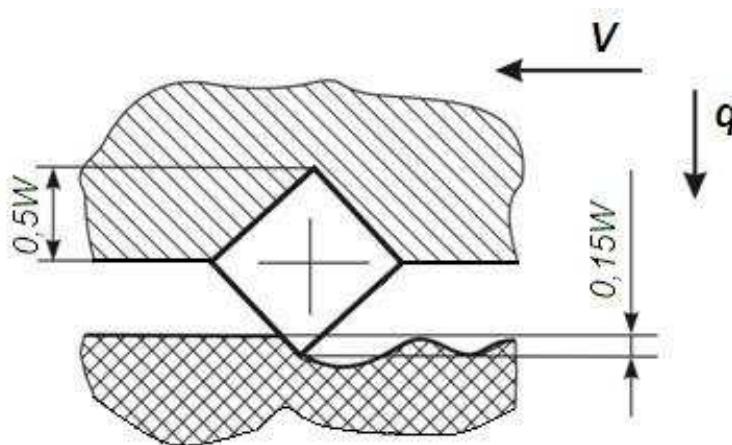


Рисунок 1 – Внедрения единичного зерна в обрабатываемый материал.

Эффективная площадь F зависит от фактической площади контакта алмазного шлифовального круга с заготовкой, зернистости W и концентрации C применяемого алмазного порошка.

Применение эффективной площади контакта шлифовального круга с обрабатываемой заготовкой F , зависящей от указанных выше переменных, позволяет применять результаты моделирования на алмазные шлифовальные круги широкого диапазона диаметров, формы, зернистости и концентрации алмазов.

В качестве переменной, характеризующей диспергирование керамического материала в ходе процесса алмазного шлифования, примем режущую способность шлифовального круга Q . Так же необходимо учесть микротвердость HV обрабатываемого керамического материала.

Процесс алмазного шлифования керамических материалов кругами с заданными маркой, концентрацией алмазов и связкой достаточно полно можно описать следующими физическими величинами: скорость шлифования V , давление круга на заготовку q , эффективная площадь контакта F , режущая способность круга Q , твердость обрабатываемого материала HV . Все эти величины или являются заданными, как твердость обрабатываемого материала HV , или легко определяются, как q и Q , и рассчитываются, как V и F .

Запишем выбранные определяющие физические величины в таблицу и укажем формулы размерности.

Таблица 1

Физические величины, характеризующие процесс алмазного шлифования и формулы их размерности

Физическая величина	Символ	Формула размерности
Скорость шлифования	V	LT^{-1}
Режущая способность круга	Q	L^3T^{-1}
Давление круга на заготовку	q	$ML^{-1}T^{-2}$
Эффективная площадь контакта круга с обрабатываемой деталью	F	L^2
Твердость	HV	$ML^{-1}T^{-2}$

Режущая способность круга Q является основным фактором, влияющий на процесс диспергирования керамического материала при алмазном шлифовании. Представим режущую способность круга Q как функцию от других величин, выбранных для описания процесса алмазного шлифования:

$$Q=f(V, q, F, HV) \quad (1)$$

Следуя π -теореме теории подобия найдем безразмерные степенные комплексы. Теорема утверждает, что если имеется зависимость между n физическими величинами, не меняющая своего вида при изменении масштабов единиц в некотором классе систем единиц, то она эквивалентна зависимости между меньшим числом $p=n-k$ безразмерных величин, где k — наибольшее число величин с независимыми размерностями среди исходных n величин. π -теорема позволяет установить общую структуру зависимости, вытекающую только лишь из требования инвариантности физической зависимости при изменении масштабов единиц, даже если конкретный вид зависимости между исходными величинами неизвестен [9].

Определим безразмерные степенные комплексы, используя метод Релея [1] для решения размерных систем.

Предположим, существует соотношение:

$$Q = f(V^a, q^b, F^c, HV^d) \quad (2)$$

Запишем формулу (2) используя размерности этих величин:

$$L^3T^{-1} = f[(LT^{-1})^a, (ML^{-1}T^{-2})^b, (L^2)^c, (ML^{-1}T^{-2})^d] \quad (3)$$

Составим соотношения для показателей степени, при выполнении которых уравнение (3) будет однородным по размерностям:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Для } M: \quad 0=b+d; \\ \text{Для } L: \quad 3=a-b+2c-d; \\ \text{Для } T: \quad -1=-a-2b-2d; \end{array} \right\}$$

Решив данную систему уравнений, получим:

$$\begin{cases} b = -d, \\ c = 1, \\ a = 1. \end{cases}$$

Подставим найденные значения показателей степеней в исходное уравнение (2), получаем:

$$Q = f(V, q^b, F, HV^{-b})$$

или

$$\frac{Q}{V \cdot F} = f\left(\left[\frac{q}{HV}\right]^b\right) \quad (4)$$

Из (4) получаем безразмерные комплексы:

$$\pi_1 = q/HV \quad (5)$$

и

$$\pi_2 = Q/V \cdot F \quad (6)$$

Для описания процесса алмазного шлифования керамических материалов шлифовальным кругом с определенными размерами круга, маркой и концентрацией алмазного порошка достаточно выявить зависимость между найденными числами подобия $\pi_1 = q/HV$ и $\pi_2 = Q/V \cdot F$.

Для упрощения модели $\frac{Q}{V \cdot F} = f\left(\left[\frac{q}{HV}\right]^b\right)$, пользуясь предложенной Ю. Н. Полянчиковым, Е. М. Фроловым и Д. С. Ключиковым методологией построения и анализа регрессионных моделей [7], получим регрессию.

Коэффициенты уравнения регрессии b и a можно определить по методу наименьших квадратов по следующим формулам:

$$a = \frac{n(\sum_{i=1}^n xy) - (\sum_{i=1}^n x)(\sum_{i=1}^n y)}{n(\sum_{i=1}^n x^2) - (\sum_{i=1}^n x)^2}, \quad (7)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y - a \sum_{i=1}^n x}{n}, \quad (8)$$

где y – значение функции отклика в i -м опыте; x – значение фактора в i -м опыте; n – число опытов.

Главным преимуществом данной математической модели является, то, что она дает возможность оценить влияние факторов режима обработки – скорости шлифования V и давления круга на заготовку q , а также их взаимовлияния на основные параметры процесса алмазного шлифования керамических материалов. Найденная математическая модель позволяет построить методику проведения экспериментов для определения рациональных

режимов алмазного шлифования торцов керамических подшипников. Найденные рациональные режимы алмазного шлифования керамических материалов позволят увеличить долговечность и надежность керамических подшипников.

Список литературы

1. Бриджмен П. В. Анализ размерностей (2-е издание). Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 148 с.
2. Ваксер Д.Б. Алмазная обработка технической керамики / Д.Б. Ваксер, Н.В. Никитков и др. - Л.: Машиностроение, 1976. - 160 с.
3. Гаршин А.П. Машиностроительная керамика/ А.П. Гаршин, В.М. Гропянов, Г.П. Зайцев, С.С. Семенов. - СПб: Изд-во СПбГТУ, 1997. - 726 с.
4. Горелов В.А. Разработка методов и средств эффективного выбора режимов резания труднообрабатываемых материалов на основе термосиловых характеристик процессов. Диссертация д.т.н. – Москва. 2007. - 384 с.
5. Колодяжный А. Ю. Повышение эффективности операций плоского шлифования и доводки заготовок из высоко твердой керамики: Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук.- СПб.. 2004. – 249 с.
6. Никитков Н.В. Решение проблемы изготовления высококачественных плоскостных деталей из керамики: Дисс. на соискание ученой степени доктора техн. наук.- Л..1990. - 577с.
7. Полянчиков Ю. Н., Фролов Е. М., Ключиков Д. С. Построение и анализ регрессионных моделей по экспериментальным данным // СТИН. – 2014. №3. – С. 2-4.
8. Сердобинцев Ю. П., Схиртладзе А. Г. Моделирование и исследование сопряжений деталей технологического оборудования. 1-е изд.: М.: Сатурн-С, 2005. – 353 с.
9. Пи-теорема [Электронный ресурс]. – URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Пи-теорема> (дата обращения: 20.04.2014)
10. Сердобинцев Ю.П., Харьков М.Ю., Наззал А.С. Обзор и анализ применения керамических материалов в различных отраслях промышленности // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/115-12085> (дата обращения: 14.02.2014).

Рецензенты:

Бурлаченко О.В., д.т.н, профессор, проректор по учебно-воспитательной работе Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета, заведующий кафедрой «Технологии строительных производств» ВолгГАСУ, г. Волгоград.

Труханов В.М., д.т.н., профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов»,
Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград.