

УДК 621.923

А.И. ДОЛМАТОВ, М.А. КУРИН, С.Н. НИЖНИК, А.П. ПЕТРЕНКО

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "ХАИ"

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ АКТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ РЕЖУЩЕГО АБРАЗИВНОГО ЗЕРНА

Сформулирована проблема необходимости нахождения площади активной поверхности режущего зерна, под которой понимается поверхность контакта единичного зерна с обрабатываемой поверхностью и стружкой. На основании разработанной концептуальной модели абразивного зерна и с использованием способа построения эллипса по большей его оси получена зависимость для нахождения площади активной поверхности режущего абразивного зерна. Установлено, что использование полученной зависимости позволит разработать универсальный подход к получению аналитических зависимостей для расчета функциональных характеристик процесса при различных схемах шлифования.

Ключевые слова: абразивное зерно, поверхность контакта, концептуальная модель зерна, поверхность эллипсоида, площадь поверхности.

Введение

Развитие современных технологий в авиационной промышленности происходит в условиях появления новых машиностроительных материалов, таких как коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы на никелевой и титановой основе. Эти материалы отличаются низкой обрабатываемостью и практически не поддаются обработке лезвийным инструментом, а одним из немногочисленных эффективных методов их обработки является шлифование [1-4].

Сложность физико-механических и физико-химических явлений, протекающих в зоне контакта абразивного круга и обрабатываемой детали, вызывает необходимость в разработке математической модели, начиная с исследований, посвященных формализации абразивного инструмента [5].

Таким образом, исследования, посвященные повышению эффективности процесса шлифования деталей авиационных двигателей, являются актуальными и заслуживают внимания.

1. Формулирование проблемы

В зоне контакта абразивного зерна с поверхностным слоем обрабатываемого материала возникает целый комплекс контактных процессов, который вызывает изменение химического состава и механических свойств поверхностей контакта и оказывает влияние на интенсивность изнашивания инструмента, а также качество и надежность шлифованных деталей [6]. В связи с этим возникает необходимость в нахождении площади активной поверхности режущего зерна, под которой мы будем понимать

поверхность контакта единичного зерна с обрабатываемой поверхностью и стружкой.

2. Решение проблемы

Анализ существующих моделей геометрической формы абразивных зерен позволил разработать концептуальную модель абразивного зерна [5], суть которой состоит в том, что единичное абразивное зерно представляет собой эквивалент, отображающий все режущие свойства абразивного круга. А само зерно в первом приближении можно описать эллипсоидом вращения.

Таким образом, задача нахождения площади активной поверхности зерна сводится к нахождению площади участка поверхности эллипсоида вращения. Но площадь поверхности эллипсоида невозможно выразить при помощи простейших функций. Следовательно, необходимо представить абразивное зерно таким образом, чтобы оно удовлетворяло требованиям концептуальной модели и было удобно для математического описания.

Общеизвестен способ построения эллипса по большей его оси путем деления окружности на шесть равных частей (рис.1). Полученный таким образом эллипс можно представить в виде четырех окружностей: двух с радиусом $R = GH$ и двух с радиусом $r = FH$.

Выразим значение этих радиусов через большую ось эллипса. Рассмотрим трапецию $BGDC$.

Примем $OB = OG = \frac{d_1}{2} = x$ – половина большой оси эллипса, тогда исходя из того, что $GC = CD = BD = x$, получаем, что $AB = \frac{3}{2}x$.

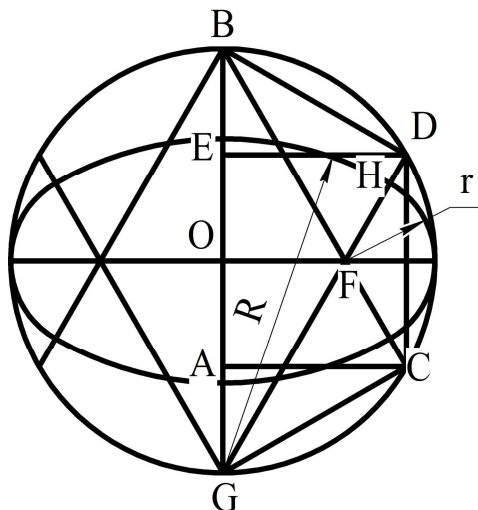


Рис. 1. Способ построения эллипса по большей оси

Рассмотрим $\triangle BDE$,

$$ED = \sqrt{BD^2 - EB^2} = \frac{\sqrt{3}}{2} x,$$

но $ED = AC$. Так как $\triangle ABC \sim \triangle OBF$, то

$$OF = \frac{AC \cdot OB}{AB} = \frac{x}{\sqrt{3}}.$$

Таким образом, $r = FH = \frac{(\sqrt{3}-1)}{\sqrt{3}} x$.

Из $\triangle ABC$, находим что

$$BC = \sqrt{AC^2 + AB^2} = \sqrt{3}x.$$

$$\triangle ABC \sim \triangle OBF \Rightarrow BF = \frac{BC \cdot OF}{AC} = \frac{2}{\sqrt{3}} x.$$

Следовательно,

$$R = GH = BF + r = \frac{(1 + \sqrt{3})}{\sqrt{3}} x.$$

Найдем отношение осей построенного эллипса.

Малая ось эллипса:

$$d_2 = d_1 - 2(d_1 - R) = \frac{2}{\sqrt{3}} x,$$

тогда получим

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0,58.$$

Отношения осей построенного эллипса находится в пределах отношения осей эллипса, описывающего контуры среднестатистического абразивного зерна. Действительно, полученный результат хорошо согласуется с проведенными ранее исследованиями зарубежных и отечественных ученых. Так, согласно данным работ [7, 8] значительное количество измерений, выполненное в КПИ (Киевский политехнический институт) и за рубежом показывают,

что между площадью сечения зерна и площадью круга, проведенного через наибольший размер этого сечения, существует практически постоянное соотношение 0,5 - 0,6. Это позволяет использовать нашу модель для описания абразивных зерен и нахождения площади активного участка поверхности.

Примем допущение, что в процессе обработки абразивное зерно внедряется на глубину, не превышающую радиус при вершине. Это позволяет нам считать, что активный участок поверхности будет представлять собой сферический сегмент, площадь которого можно вычислить по формуле:

$$S_O = S_{az} + S_{\Delta\gamma}, \tag{1}$$

где S_{az} – площадь поверхности зерна, которая зависит от глубины его внедрения;

$S_{\Delta\gamma}$ – площадь поверхности зерна, которая зависит от изменения угла ориентации.

Абразивное зерно контактирует лишь передней поверхностью с обрабатываемым материалом, тогда с учетом зависимости для определения площади сферического сегмента получим:

$$S_{az} = \pi R a_{[z]}, \tag{2}$$

где R – радиус при вершине зерна,

$a_{[z]}$ – максимальная величина припуска снимаемого режущим зерном.

Рассмотрим схематическое изображение части активной поверхности зерна, которая зависит от изменения угла ориентации $\Delta\gamma$ (рис.2).

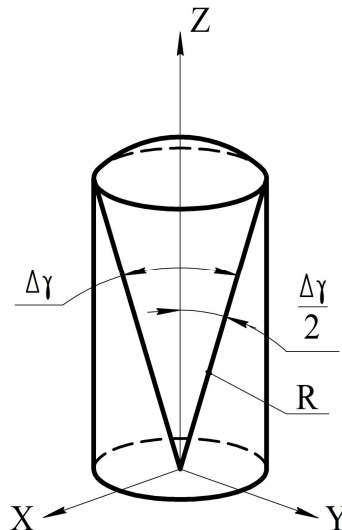


Рис. 2. Схематическое изображение части активной поверхности абразивного зерна

Известно, что площадь куска поверхности определяется по формуле:

$$S = \iint_D \sqrt{1 + \rho^2 + q^2} d\sigma, \quad (3)$$

где ρ, q – частные производные функции $z(x, y)$:

$$\rho = \frac{\partial z}{\partial x}; q = \frac{\partial z}{\partial y};$$

$d\sigma$ – элемент области D – проекции сферической поверхности на плоскость XOY : $z = f(x, y)$ – уравнение данной поверхности.

Так как $z = \sqrt{R^2 - x^2 - y^2}$, получаем:

$$\rho = \frac{\partial z}{\partial x} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1 \cdot (-2x)}{\sqrt{R^2 - x^2 - y^2}} = -\frac{x}{\sqrt{R^2 - x^2 - y^2}},$$

$$q = \frac{\partial z}{\partial y} = -\frac{y}{\sqrt{R^2 - x^2 - y^2}}.$$

После преобразования формулы (3) имеем:

$$S = \iint_D \frac{R d\sigma}{\sqrt{R^2 - x^2 - y^2}}. \quad (4)$$

Область D ограничена окружностью $x^2 + y^2 = \rho^2$, где $\rho = R \sin \frac{\Delta\gamma}{2}$.

Выражая двойной интеграл (4) через полярные координаты, получаем:

$$\begin{aligned} S &= \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\rho} \frac{R \cdot r \cdot dr}{\sqrt{R^2 - r^2}} = 2\pi R \cdot \frac{1}{2} \int_0^{\rho} \frac{dr^2}{\sqrt{R^2 - r^2}} = \\ &= -\pi R \int_0^{\rho} \frac{d(R^2 - r^2)}{\sqrt{R^2 - r^2}} = 2\pi R \cdot \left(R - \sqrt{R^2 - \rho^2} \right). \end{aligned}$$

Заменяя ρ на $R \sin \frac{\Delta\gamma}{2}$ с учетом зависимостей

(1), (2) получим:

$$S_{\circ} = \pi R \cdot \left(a[z] + 2R \left(1 - \cos \frac{\Delta\gamma}{2} \right) \right).$$

В зависимости от ориентации зерна в качестве R необходимо брать r_3 или R_3 .

Использование полученной зависимости для расчета активной поверхности режущего зерна позволит обосновать универсальный подход к расчетам сил резания, температуры и устойчивости процесса при различных схемах шлифования.

Заключение

На основе разработанной ранее концептуальной модели абразивного зерна получена зависимость для нахождения площади активной поверхности режущего абразивного зерна, использование которой позволит разработать универсальный подход к получению аналитических зависимостей для расчета функциональных характеристик процесса при различных схемах шлифования.

Литература

1. Изготовление деталей газотурбинных двигателей из титановых сплавов [Текст]: моногр. / В.А. Богуслаев, А.И. Долматов, П.Д. Жеманюк и др. – Запорожье: Дека, 1997. – 276 с.
2. Крымов, В.В. Производство лопаток газотурбинных двигателей [Текст] / В.В. Крымов, Ю.С. Елисеев, К.И. Зудин; под ред. В.В. Крымова. – М.: Машиностроение: Машиностроение-Полет, 2002. – 376 с.

3. Полетаев, В.А. Глубинное шлифование лопаток турбин [Текст]: моногр. / В.А. Полетаев, Д.И. Волков. – М.: Машиностроение, 2009. – 272 с.
4. Маслов, Е.Н. Теория шлифования материалов [Текст]: моногр. / Е.Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
5. Долматов, А.И. К вопросу формализации абразивного инструмента при получении аналитических зависимостей для расчета функциональных характеристик процесса шлифования [Текст] / А.И. Долматов, С.Н. Нижник, М.А. Курин // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2011. – №2(79). – С. 31 – 35.
6. Курин, М.А. Исследование технологии планетарного глубинного шлифования плоских поверхностей деталей авиационных двигателей: дис. ... канд. техн. наук: 05.07.02; защищена 13.05.11; утв. 10.11.11 / Курин Максим Александрович. – Х., 2011. – 179 с.
7. Резников, А.Н. Абразивная и алмазная обработка материалов [Текст]: справ. / А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с.
8. Резников, А.Н. Теплофизика резания [Текст]: моногр. / А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1969. – 288 с.

Поступила в редакцию 21.11.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф., заместитель директора А.Я. Мовшович, НПО «Оснастка», Харьков.

ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩІ АКТИВНОЇ ПОВЕРХНІ РІЗУЧОГО АБРАЗИВНОГО ЗЕРНА

А.І. Долматов, М.О. Курін, С.М. Нижник, А.П. Петренко

Сформульована проблема необхідності знаходження площі активної поверхні різального зерна, під якою розуміється поверхня контакту одиничного зерна з поверхнею, що обробляється та стружкою. На основі розробленої концептуальної моделі абразивного зерна і з використанням способу побудови еліпса по більшій його осі, отримана залежність для знаходження площі активної поверхні різального абразивного зерна. Встановлено, що використання отриманої залежності дозволить розробити універсальний підхід до отримання аналітичних залежностей для розрахунку функціональних характеристик процесу при різних схемах шліфування.

Ключові слова: абразивне зерно, поверхня контакту, концептуальна модель зерна, поверхня еліпсоїда, площа поверхні.

DEFINITION ACTIVE SURFACE AREA OF CUTTING ABRASIVE GRAIN

A.I. Dolmatov, M.A. Kurin, S.N. Nyzhnyk, A.P. Petrenko

The problem of necessity of finding of the area of an active surface of cutting grain which is being understood as a surface of contact of individual grain with a processing surface and chips is formulated. On the basis of developed conceptual model of abrasive grain and with use of a way of creation of an ellipse on its bigger axis, dependence for finding of the area of an active surface of cutting abrasive grain is received. It is established that use of the received dependence will allow developing a universal approach to obtaining analytical dependences for calculation of functional characteristics of process at various schemes of grinding.

Key words: abrasive grain, contact surface, conceptual model of grain, surface of ellipsoid, surface area.

Долматов Анатолій Іванович – д-р техн. наук, професор, професор кафедри виробництва авіаційних двигателів, Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харьков, Україна.

Курин Максим Александрович – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедри виробництва авіаційних двигателів, Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харьков, Україна, e-mail: kurin_83@mail.ru.

Нижник Сергей Николаевич – старший преподаватель кафедри виробництва авіаційних двигателів, Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харьков, Україна.

Петренко Анатолий Петрович – канд. техн. наук, доцент кафедри виробництва авіаційних двигателів, Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харьков, Україна.