

УДК 621.923

С.Н. НИЖНИК

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ОРИЕНТАЦИИ РЕЖУЩЕГО ЗЕРНА ОТНОСИТЕЛЬНО ВЕКТОРА СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ ПРИ КРУГЛОМ НАРУЖНОМ И ВНУТРЕННЕМ ШЛИФОВАНИИ

На интенсивность и характер протекания контактных процессов существенное влияние оказывают такие кинематические и геометрические параметры формообразования как: положение зерна и его ориентация в процессе шлифования. Сформулирована проблема необходимости исследования изменения величины и направления абсолютной скорости резания абразивного зерна, а также угла ориентации режущего зерна относительно скорости резания. Получены выражения, которые позволяют определить изменение величины скорости резания и её изменения в пределах угла контакта абразивного зерна с обрабатываемой поверхностью детали. Проведенные исследования дают возможность прогнозировать эффективность использования абразивного инструмента при круглом наружном и внутреннем шлифовании поверхностей деталей.

Ключевые слова: износ зерен, скорость резания, угол ориентации, вершина зерна, абразивное зерно, прогнозирование, поверхность детали.

Введение

Развитие современного авиадвигателестроения происходит в условиях широчайшего внедрения деталей из коррозионно-стойких, высоко- и жаропрочных материалов и сплавов.

Данные материалы наряду с высокими прочностными характеристиками, определяющими долговечность изделий, которые работают в условиях высоких температур при знакопеременных циклических нагрузках, отличаются низкой обрабатываемостью [1, 2]. Эти материалы практически не поддаются обработке резанием (среднее значение коэффициента обрабатываемости по отношению к стали 45 составляет 0,2 – 0,3). Одним из возможных методов обработки рассматриваемых материалов является шлифование. Таким образом, исследования, посвященные повышению эффективности процесса шлифования деталей авиационных двигателей, являются актуальными и заслуживают внимания.

1. Формулирование проблемы

Шлифование таких труднообрабатываемых материалов как нержавеющие, жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы, а также титановых сплавов, широко применяемых в авиадвигателестроении, сопровождается интенсивным адгезионным и химическим износом абразивных зерен [4].

Характерной особенностью шлифования является то, что абсолютная скорость движения абразивного зерна в процессе обработки изменяется как

по величине так и по направлению [3, 5, 6], что способствует вовлечению в процесс резания не затупленных вершин зерен, а, следовательно, позволяет более эффективно использовать абразивный инструмент.

Таким образом, возникает необходимость в исследовании изменения величины и направления абсолютной скорости абразивного зерна, целью которого является возможность прогнозирования эффективности использования абразивного инструмента, установление величины скорости резания и её изменения в пределах угла контакта абразивного зерна с обрабатываемой поверхностью детали.

2. Решение проблемы

2.1. Определение абсолютной скорости движения абразивного зерна

Исследование кинематики абразивного зерна при различных способах шлифования является одним из вопросов теоретического анализа этого процесса. Основные уравнения, определяющие траекторию резания абразивным зерном, длину кривой контакта зерна с деталью необходимы для изучения условий взаимодействия шлифовального круга с обрабатываемой деталью.

Для установления основных кинематических параметров используем принцип общности методов шлифования, состоящий в том, что при задании некоторых произвольных движений шлифовальному кругу и детали любой метод шлифования может быть получен как частный случай.

Шлифовальный круг диаметром D вращается, имея окружную скорость V_k , а обрабатываемая деталь, вращаясь со скоростью V_d , перемещается в

отрицательном направлении оси Ox со скоростью V_{Π} и в направлении оси Oy со скоростью $V_{\text{пр}}$ (рис. 1).

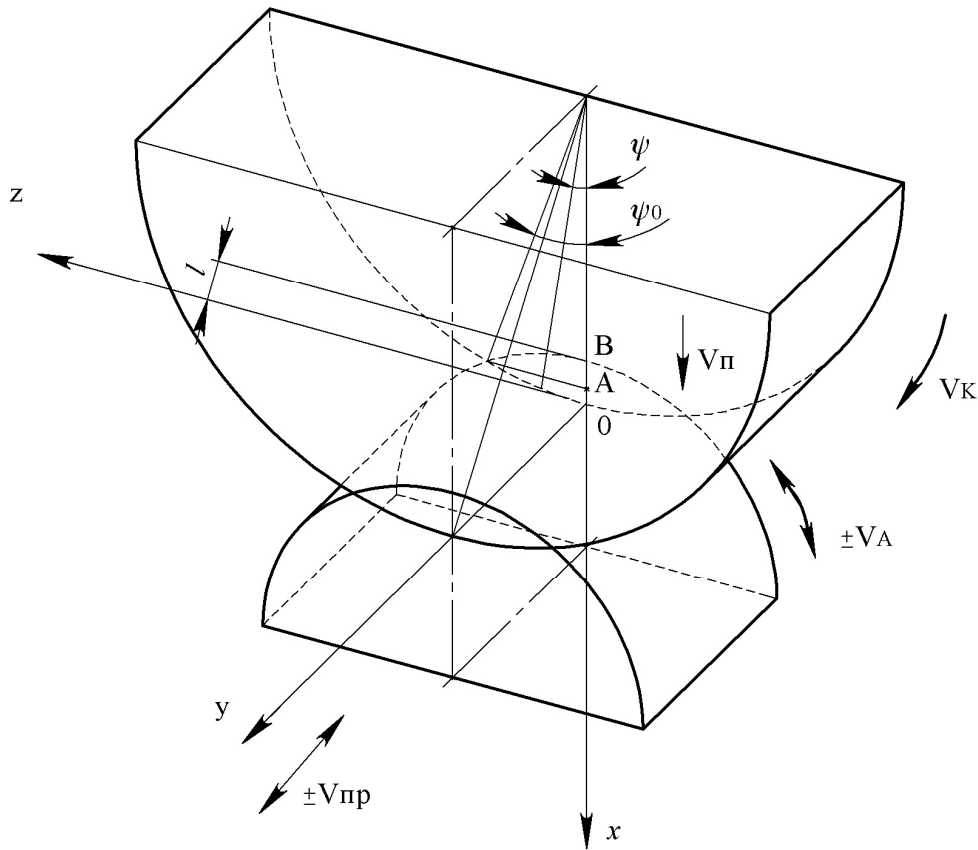


Рис. 1. Схема для расчета основных кинематических параметров процесса шлифования

Траектория движения любой точки шлифовального круга в системе координат, связанной с деталью, определяется следующей системой [2]:

$$\begin{cases} x = -\frac{D}{2} + \frac{D}{2} \cdot \cos \psi + V_{\Pi} \cdot t; \\ y = \pm V_{\text{пр}} \cdot t; \\ z = \frac{D}{2} \cdot \sin \psi \pm V_d \cdot t, \end{cases} \quad (1)$$

где t – текущее время; Ψ – угол контакта круга и детали; D – диаметр шлифовального круга.

В силу того, что любая точка периферии круга проходит общую часть пересечения круга и детали, длина которой равна $D\psi/2$, за время t со скоростью V_k , то $t = D\psi/2V_k$. В системе координат связанной с деталью $\Psi = 2V_k t/D$. После подстановки $\Psi = 2V_k t/D$ в систему уравнений (1), получим:

$$\begin{cases} x = -\frac{D}{2} + \frac{D}{2} \cdot \cos\left(\frac{2V_k \cdot t}{D}\right) + V_{\Pi} \cdot t; \\ y = \pm V_{\text{пр}} \cdot t; \\ z = \frac{D}{2} \cdot \sin\left(\frac{2V_k \cdot t}{D}\right) \pm V_d \cdot t. \end{cases} \quad (2)$$

Траектория движения зерна относительно оси вращения круга (в подвижной системе координат связанной с кругом)

$$\begin{cases} x_1 = -\frac{D}{2} + \frac{D}{2} \cdot \cos \psi; \\ y_1 = 0; \\ z_1 = \frac{D}{2} \cdot \sin \psi. \end{cases} \quad (3)$$

Найдем уравнения проекций вектора скорости на координатные оси, продифференцировав систему уравнений (2) получим:

$$\begin{cases} V_x = \frac{dx}{dt} = -V_k \cdot \sin\left(\frac{2V_k \cdot t}{D}\right) + V_{\Pi}; \\ V_y = \frac{dy}{dt} = \pm V_{\text{пр}}; \\ V_z = \frac{dz}{dt} = V_k \cdot \cos\left(\frac{2V_k \cdot t}{D}\right) \pm V_d. \end{cases} \quad (4)$$

Перейдя снова к углу Ψ , получим:

$$\begin{cases} V_x = -V_k \cdot \sin \psi + V_{\Pi}; \\ V_y = \pm V_{\text{пр}}; \\ V_z = V_k \cdot \cos \psi \pm V_d. \end{cases} \quad (5)$$

Продифференцировав систему уравнений (3) получим:

$$\begin{cases} V_{x1} = \frac{dx_1}{dt} = -V_k \cdot \sin\left(\frac{2V_k \cdot t}{D}\right); \\ V_{y1} = \frac{dy_1}{dt} = 0; \\ V_{z1} = \frac{dz_1}{dt} = V_k \cdot \cos\left(\frac{2V_k \cdot t}{D}\right). \end{cases} \quad (6)$$

Перейдя к углу Ψ , получим:

$$\begin{cases} V_{x1} = -V_k \cdot \sin \psi; \\ V_{y1} = 0; \\ V_{z1} = V_k \cdot \cos \psi. \end{cases} \quad (7)$$

Полную величину вектора абсолютной скорости зерна (скорость резания) найдем по формуле:

$$V_A = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}. \quad (8)$$

Окончательно получим:

$$V_A = \sqrt{V_k^2 - 2V_k V_{\Pi} \sin \psi \pm 2V_k V_D \cos \psi + V_{\Pi}^2 + V_{\Pi P}^2 + V_D^2}.$$

2.2. Определение угла ориентации режущего зерна относительно вектора скорости резания

Величина и характер износа абразивных зерен и зерен из сверхтвердых материалов оказывают существенное влияние на процесс шлифования труднообрабатываемых материалов.

Контактные процессы, возникающие при шлифовании материалов, достаточно сложны и разнообразны. В зоне контакта абразивного зерна и обрабатываемой поверхности возникает целый ряд поверхностных явлений, таких как адсорбция, адгезия, коррозия, диспергирование, упрочнение и разупрочнение поверхностных слоев, диффузия, эрозия, окисление, и др. На интенсивность и характер протекания контактных процессов существенное влияние оказывают такие кинематические и геометрические параметры формообразования как: форма, положение зерна и его ориентация в процессе шлифования.

При определении угла ориентации режущего зерна необходимо найти угол между вектором абсолютной скорости резания и вектором скорости движения зерна относительно оси вращения круга (в подвижной системе координат связанной с кругом). Откуда получим:

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= \\ &= \frac{V_x \cdot V_{x1} + V_y \cdot V_{y1} + V_z \cdot V_{z1}}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} \cdot \sqrt{V_{x1}^2 + V_{y1}^2 + V_{z1}^2}}. \end{aligned} \quad (10)$$

Подставив уравнения (6) и (7) в уравнение (10), получим:

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= \left[\frac{V_k^2 \sin^2 \psi - V_{\Pi} V_k \sin \psi +}{+ V_k^2 \cos^2 \psi \pm V_D V_k \cos \psi} \right] \times \\ &\times \left[\frac{V_k \sqrt{V_k^2 - 2V_{\Pi} V_k \sin \psi \pm 2V_D V_k \cos \psi +}}{\sqrt{V_{\Pi}^2 + V_{\Pi P}^2 + V_D^2}} \right]^{-1}. \end{aligned} \quad (11)$$

После упрощения уравнение (11) примет следующий вид:

$$\cos \varphi = \frac{V_k^2 - V_k (V_{\Pi} \sin \psi \mp V_D \cos \psi)}{V_k \sqrt{V_k^2 - 2V_{\Pi} V_k \sin \psi \pm 2V_D V_k \cos \psi + V_{\Pi}^2 + V_{\Pi P}^2 + V_D^2}}. \quad (12)$$

Перейдя к углу φ , получим:

$$\varphi = \arccos \left[\frac{V_k - V_{\Pi} \sin \psi \pm V_D \cos \psi}{\sqrt{V_k^2 - 2V_{\Pi} V_k \sin \psi \pm 2V_D V_k \cos \psi + V_{\Pi}^2 + V_{\Pi P}^2 + V_D^2}} \right],$$

$$0 \leq \varphi \leq \pi.$$

Определение изменения угла ориентации в пределах угла контакта:

$$\Delta \varphi = \varphi \Big|_{\psi=0} - \varphi \Big|_{\psi=\psi_0}.$$

Угол контакта определим из рис.1. Очевидно, что $OA/AB = D/d$, т.е. $OA = (l - OA)D/d$, где l – глубина резания.

Следовательно, $OA = l d / (D + d)$.

Поскольку

$$\cos \psi_0 = \frac{2}{D} \cdot \left(\frac{D}{2} - OA \right),$$

то при малых углах ψ_0 , когда $\sin \psi_0 \approx \psi_0$, получим, что

$$\psi_0 \approx 2 \cdot \sqrt{\frac{d \cdot l}{D \cdot (d + D)}}.$$

Изменение угла ориентации зерна относительно вектора скорости резания способствует увеличению общей площади дискретных площадок контакта (касания) зерна с обрабатываемой поверхностью и сходящей стружкой при одновременном уменьшении времени контакта каждой из площадок.

Заключение

Проведены исследования изменения скорости абсолютного движения абразивного зерна, а также угла ориентации режущего зерна относительно век-

тора скорости резания. Получены выражения, которые позволяют определить изменение величины скорости резания и её угла ориентации относительно режущего зерна в пределах угла контакта.

Литература

1. Крымов В.В. Производство лопаток газотурбинных двигателей / В.В. Крымов, Ю.С.Елисеев, К.И. Зудин; под ред. В.В. Крымова. – М.: Машиностроение: Машиностроение-Полет, 2002. – 376 с.
2. Евсеев Д.Г. Физические основы процесса шлифования / Д.Г. Евсеев, А.Н. Сальников. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1978. – 128 с.
3. Курин М.А. Траектория микрорезания шлифующего зерна при плоском планетарном шлифовании периферией круга / М.А. Курин // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2008. – № 3 (50). – С. 47-50.

но-космическая техника и технология. – 2008. – № 3 (50). – С. 47-50.

4. Изготовление деталей газотурбинных двигателей из титановых сплавов / В.А. Богуслаев, А.И. Долматов, П.Д. Жеманюк, А.Ф. Горбачев, В.С. Кривцов. – Запорожье.: Дека, 1997. – 276 с.

5. Горбачев А.А. Определение кинематических параметров планетарного глубинного шлифования плоских поверхностей / А.А. Горбачев // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2005. – № 2 (18). – С. 19-22.

6. Долматов А.И. К вопросу о влиянии типоразмера абразивного инструмента на эффективность планетарного шлифования плоских поверхностей / А.И. Долматов, М.А. Курин // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2008. – № 1 (48). – С. 31-36.

Поступила в редакцию 14.05.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Я. Мовшович, зам. директора по научной работе НПП "Оснастка", Харьков, Украина.

ВИЗНАЧЕННЯ КУТА ОРІЄНТАЦІЇ РІЗУЧОГО ЗЕРНА ВІДНОСНО ВЕКТОРА ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ ПРИ КРУГЛОМУ ЗОВНІШНЬОМУ ТА ВНУТРІШНЬОМУ ШЛІФУВАННІ

С.М. Нижник

На інтенсивність і протікання контактних процесів істотний вплив роблять такі кінематичні й геометричні параметри формування як положення зерна і його орієнтація в процесі шліфування. Сформульована проблема необхідності дослідження зміни величини та напрямку абсолютної швидкості різання абразивного зерна, а також кута орієнтації різального зерна щодо швидкості різання. Отримані вирази, які дозволяють визначити змінення величини швидкості різання і її зміни в межах кута контакту абразивного зерна з оброблюваною поверхнею деталі. Проведені дослідження дають можливість прогнозувати ефективність використання абразивного інструменту при круглому зовнішньому та внутрішньому шліфування поверхонь деталей.

Ключові слова: знос зерен, швидкість різання, кут орієнтації, вершина зерна, абразивне зерно, прогнозування, поверхня деталі

DETERMINATION OF THE ANGLE ORIENTATION ABRASIVE GRAIN ABOUT VECTOR CUTTING SPEED ON THE ROUND EXTERNAL AND INTERNAL GRINDING

S.N. Nizhnik

The intensity and character of the contact processes are strongly influenced by such kinematic and geometrical parameters of the formation as the position and orientation of grain during grinding. We formulate the problem of the need to study changes in the magnitude and direction of the absolute velocity of the cutting abrasive grain, and grain orientation angle of cutting relative to the cutting speed. The expressions that were obtained allows us to determine the variation of cutting speed and changes within the contact angle of abrasive grain with the surface being treated parts. Our studies make it possible to predict the effectiveness of the abrasive tool with a circular outer and inner surfaces of grinding parts.

Key words: wear of grain, cutting speed, angle orientation, top of grain, abrasive grain, prediction, surface of workpiece.

Нижник Сергей Николаевич – старший преподаватель кафедры технологии производства двигателей летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.