

УДК 621.923

М.А. КУРИН

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Украина***ТРАЕКТОРИЯ МИКРОРЕЗАНИЯ ШЛИФУЮЩЕГО ЗЕРНА ПРИ ПЛОСКОМ ПЛАНЕТАРНОМ ШЛИФОВАНИИ ПЕРИФЕРИЕЙ КРУГА**

Сформулирована проблема необходимости аналитического описания силовых, тепловых и других характеристик процесса планетарного шлифования периферией круга с целью их прогнозирования. Рассмотрена условная схема расположения и взаимодействия зерен с обрабатываемой поверхностью при планетарном шлифовании. Получены основные параметрические уравнения кинематики, описывающие траекторию микрорезания шлифующего зерна, которые позволят описать геометрические параметры контакта инструмента с деталью.

Ключевые слова: прогнозирование, параметры, микрорезание, траектория, эпитрохоида, допущения, уравнения.

Введение

Рост количества шлифовальных операций при производстве лопаток ГТД на таких авиадвигателестроительных предприятиях как ОАО “Мотор Січ”, ММПП “Салют”, ОАО “Рыбинские Моторы” ставит задачу совершенствования данного метода обработки [1].

Вопросу повышения эффективности шлифования путем соблюдения критериев “необходимости” и “достаточности” посвящены многие работы [2 – 6]. Интенсификация процесса шлифования плоских поверхностей кинематическим методом – наиболее перспективным из предложенных, потребовала разработки принципиально новых способов планетарно-сопряженного шлифования и планетарного шлифования, представляющего его дальнейшее развитие.

Таким образом, исследования, посвященные совершенствованию способов шлифования плоских поверхностей с целью обеспечения благоприятных условий стружкообразования, являются актуальными и заслуживают внимания.

1. Формулирование проблемы

Необходимость прогнозирования силовых, тепловых и других характеристик процесса плоского планетарного шлифования (ППШ) периферией круга требует их аналитического описания. В связи с этим возникает вопрос об исследовании кинематики формообразования при ППШ и установки важнейших уравнений шлифования, описывающих геометрические параметры контакта инструмента с деталью. К последним относятся уравнения траектории

микрорезания шлифующим зерном, длины контакта инструмента с деталью, толщины слоя, снимаемого одним зерном круга и др.

2. Решение проблемы

В процессе плоского планетарного шлифования периферией круга процесс ведется планетарной шлифовальной головкой (ППШГ), имеющей несколько шлифовальных кругов прямого профиля, вращающихся вокруг своей оси и оси планетарной головки. В зависимости от конструкции ППШГ вращение кругов может совпадать по направлению с вращением головки (води́ла) – попутное вращение или нет – встречное вращение.

При попутной схеме передача вращения шлифовальным кругом вокруг своих осей производится от шпинделя станка через водило при обкатке зубчатых колес (сателлитов), закрепленных на одних осях со шлифовальными кругами вокруг неподвижного (солнечного) колеса. Траектория движения единичного зерна, находящегося на периферии шлифовального круга, будет представлять удлиненную эпициклоиду (эпитрохоиду). Если принять за начало координат O – центр направляющей окружности, а ось OX направить к одной из начальных точек, то в принятой системе координат уравнения эпитрохоиды в параметрической форме будут иметь вид:

$$\begin{cases} x = (R + r) \cdot \cos \varphi - r_k \cdot \cos \frac{R + r}{r} \varphi; \\ y = (R + r) \cdot \sin \varphi - r_k \cdot \sin \frac{R + r}{r} \varphi, \end{cases} \quad (1)$$

где R – диаметр направляющей окружности (дели-

тельный диаметр солнечного колеса);

r – диаметр производящего круга (делительный диаметр сателлита);

r_k – расстояние от зерна до центра производящего круга (радиус абразивного круга);

φ – угол поворота водила, определяющий положение центра производящего круга.

Найдем параметрические уравнения эпитрохоиды в системе координат X_1OY_1 , начальные точки которой смещены на угол α .

Выберем систему координат X_1OY_1 , такую, чтобы ось X_1O проходила через начальную точку, тогда получим:

$$\begin{cases} x_1 = (R+r) \cdot \cos \varphi_1 - r_k \cdot \cos \frac{R+r}{r} \varphi_1; \\ y_1 = (R+r) \cdot \sin \varphi_1 - r_k \cdot \sin \frac{R+r}{r} \varphi_1. \end{cases} \quad (2)$$

Запишем формулы преобразования координат [7]:

$$\begin{cases} x = x_1 \cdot \cos \alpha - y_1 \cdot \sin \alpha; \\ y = x_1 \cdot \sin \alpha + y_1 \cdot \cos \alpha. \end{cases} \quad (3)$$

После подстановки (2) в (3), преобразований и замены $\varphi_1 = \varphi - \alpha$, получим:

$$\begin{cases} x = (R+r) \cdot \cos \varphi - r_k \cdot \cos \left(\frac{R+r}{r} \cdot (\varphi - \alpha) + \alpha \right); \\ y = (R+r) \cdot \sin \varphi - r_k \cdot \sin \left(\frac{R+r}{r} \cdot (\varphi - \alpha) + \alpha \right). \end{cases} \quad (4)$$

В случае, если в процессе шлифования абразивным кругом сообщается дополнительный доворот с целью обеспечения равномерного их износа, система уравнений (4) примет вид:

$$\begin{cases} x = (R+r) \cdot \cos \varphi - r_k \cdot \cos \left(\frac{R+r}{r} \cdot (\varphi - \alpha) + \alpha + \frac{\varphi_{\text{дов.}}}{2\pi} \cdot (\varphi - \lambda) \right); \\ y = (R+r) \cdot \sin \varphi - r_k \cdot \sin \left(\frac{R+r}{r} \cdot (\varphi - \alpha) + \alpha + \frac{\varphi_{\text{дов.}}}{2\pi} \cdot (\varphi - \lambda) \right), \end{cases} \quad (5)$$

где $\varphi_{\text{дов.}}$ – угол доворота абразивных кругов за один оборот водила;

λ – угол координирующий положение точки отсчета доворота.

Следовательно, система параметрических уравнений (5) позволяет описать траекторию движения единичного зерна, для которого известно положение одной из его начальных точек. В связи с этим задача сводится к нахождению координат начальных точек эпитрохоид каждого из зерен участвующих в резании.

При решении поставленной задачи примем следующие допущения:

1. Пренебрегаем разностью в размерах абразивных кругов, участвующих в резании, а также неточностями их геометрической формы.

2. Пренебрегаем разновысотностью зерен, участвующих в резании.

3. Считаем, что в момент касания абразивный круг контактирует с обрабатываемой поверхностью точкой, принадлежащей вершине абразивного зерна.

4. Ввиду малости угла, определяющего положение центра абразивного инструмента в момент касания, пренебрегаем его влиянием на траекторию движения инструмента.

Найдем координаты вершин абразивных зерен в плоскости XOY в момент входа в контакт круга с обрабатываемой поверхностью. Для решения поставленной задачи необходимо найти координаты точки касания круга с обрабатываемой поверхностью.

Рассмотрим процесс обработки (рис. 1).

За промежуток времени между входом в контакт с деталью двух соседних абразивных кругов ПШГ переместится относительно детали на величину:

$$\Delta = \frac{2\pi \cdot S_{\text{дет.}}}{m \cdot \omega_r}, \quad (6)$$

где $S_{\text{дет.}}$ – заданная скорость перемещения детали (продольная подача детали);

m – количество абразивных кругов ПШГ;

ω_r – угловая скорость водила ПШГ.

Очевидно, что центр абразивного круга в момент касания его с обрабатываемой поверхностью находится в точке пересечения линий, определяющих положение данного круга и прошедшего перед ним.

Траектория движения центра абразивного круга при планетарном шлифовании в принятой системе координат представляет собой окружность, которая аналитически может быть представлена системой параметрических уравнений:

$$\begin{cases} x_{\text{ц.}} = (R+r) \cdot \cos \psi; \\ y_{\text{ц.}} = (R+r) \cdot \sin \psi, \end{cases} \quad (7)$$

где ψ – угол, определяющий текущее положение центра абразивного круга.

Таким образом, необходимо решить систему уравнений:

$$\begin{cases} (R+r) \cdot \cos \beta = (R+r) \cdot \cos \psi; \\ -(R+r) \cdot \sin \beta = (R+r) \cdot \sin \psi - \Delta, \end{cases} \quad (8)$$

где β – угол, определяющий положение центра абразивного круга в момент касания.

Так как физический смысл имеет лишь одно решение, то из первого уравнения системы получаем $\psi = \beta$. Тогда после элементарных преобразований получаем, что угол β можно найти, пользуясь зависимостью:

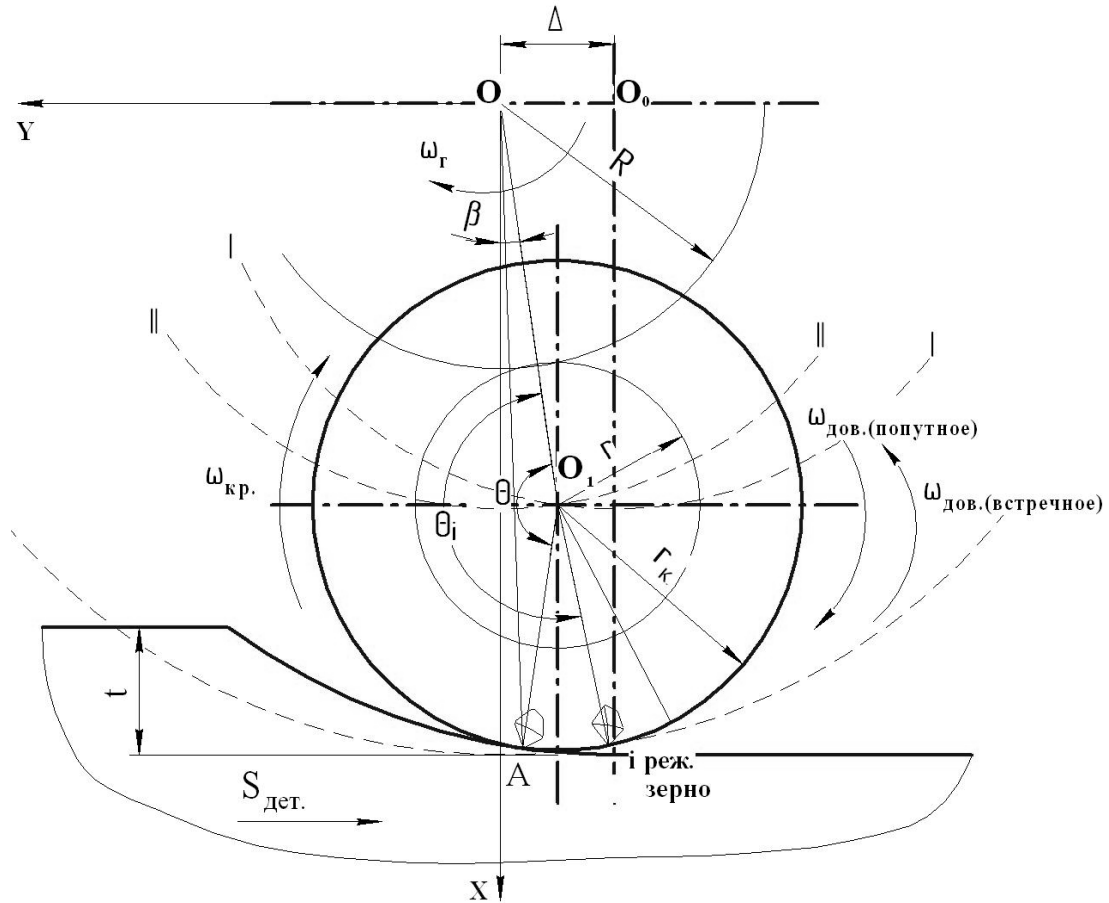


Рис. 1. Условная схема расположения и взаимодействия зерен с обрабатываемой поверхностью:
 |—| — траектория движения центра абразивного круга, прошедшего перед рассматриваемым;
 ||—|| — траектория движения центра рассматриваемого абразивного круга.

$$\beta \approx \arcsin\left(\frac{\Delta}{2 \cdot (R+r)}\right). \quad (9)$$

Таким образом, координаты т.А касания абразивного круга и детали можно найти, пользуясь зависимостями:

$$\begin{cases} Y_A = \frac{-\Delta \cdot (R+r-r_k)}{2 \cdot (R+r)}; \\ X_A = \sqrt{(R+r+r)^2 - (Y_A + \Delta)^2}. \end{cases} \quad (10)$$

Рассмотрим ΔOO₁A(рис. 1). Запишем для данного треугольника теорему косинусов:

$$AO^2 = AO_1^2 + OO_1^2 - 2 \cdot AO_1 \cdot OO_1 \cdot \cos \theta. \quad (11)$$

Но $AO = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2}$, $OO_1 = R+r$, $AO_1 = r_k$.

Таким образом, угол θ:

$$\theta = \arccos\left(\frac{R+r}{2 \cdot r_k} + \frac{r_k}{2 \cdot (R+r)} - \frac{X_A^2 + Y_A^2}{2 \cdot r_k \cdot (R+r)}\right). \quad (12)$$

Если принять, что угол θ координирует положение 1-го зерна, вступившего в контакт, то положение i-го зерна шлифовального круга можно опре-

делить углом:

$$\theta_i = \theta + \frac{l_0 \cdot (i-1)}{r_k}, \quad (13)$$

где i – номер зерна по порядку;

l_0 – среднее расстояние между абразивными зернами, которые участвуют в резании.

Рассмотрим систему уравнений (5). Если принять здесь $\alpha = \theta_i \cdot \frac{r}{R} - \beta$, то параметрические уравнения эпитрохоиды, представляющей собой траекторию движения i-го зерна, примут следующий вид:

$$\begin{cases} x_i = (R+r) \cdot \cos \varphi - r_k \cdot \cos\left(\frac{R+r}{r} \cdot \varphi + \frac{R}{r} \cdot \beta - \theta_i + \frac{\varphi_{дов.}}{2\pi} \cdot (\varphi + \beta)\right); \\ y_i = (R+r) \cdot \sin \varphi - r_k \cdot \sin\left(\frac{R+r}{r} \cdot \varphi + \frac{R}{r} \cdot \beta - \theta_i + \frac{\varphi_{дов.}}{2\pi} \cdot (\varphi + \beta)\right). \end{cases} \quad (14)$$

Заключение

Рассмотрена условная схема расположения и взаимодействия зерен с обрабатываемой поверхностью при планетарном шлифовании. Получены основные параметрические уравнения кинематики, описывающие траекторию микрорезания шлифующего зерна, которые позволят описать геометрические параметры контакта инструмента с деталью.

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. Сурду Н.В. Повышение эффективности шлифования путем совершенствования кинематики процесса / Н.В. Сурду, А.И. Долматов, А.Ф. Горбачев, А.А. Горбачев // Сб. научн. тр. Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – Х.: НАКУ “ХАИ”, 2000. – Вып. 22(5). – С. 118-125.
3. Сурду Н.В. Влияние скорости круговой подачи и катодной поляризации обрабатываемой

поверхности на эффективность круглого врезного шлифования / Н.В. Сурду, А.И. Долматов, А.Ф. Горбачев, А.А. Горбачев // Сб. научн. тр. Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – Х.: НАКУ “ХАИ”, 2000. – Вып. 21(4). – С. 1-6.

4. 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.

5. Горбачев А.А. Определение технологических параметров планетарного глубинного шлифования плоских поверхностей / А.А. Горбачев // Авиационно-космическая техника и технология – 2005. – № 3(19). – С. 20-23.

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.

7. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Госуд. Издательство физико-математ. литературы, 1962. – 608 с.

Поступила в редакцию 29.05.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф., директор МИНТ ХАИ В.К. Борисевич, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ТРАЕКТОРІЯ МІКРОРІЗАННЯ ЗЕРНА, ЩО ШЛІФУЄ, ПРИ ПЛОСКОМУ ПЛАНЕТАРНОМУ ШЛІФУВАННІ ПЕРИФЕРІЄЙ КОЛА

М.А. Курін

Сформульована проблема необхідності аналітичного описання силових, теплових та інших характеристик процесу планетарного шліфування периферією кола з метою їх прогнозування. Розглянута умовна схема розташування та взаємодії зерен з поверхнею, що обробляється при планетарному шліфуванні. Одержані основні параметричні рівняння кінематики, що описують траєкторію мікрорізання зерна, та які дозволять описати геометричні параметри контакту інструменту з деталлю.

Ключові слова: прогнозування, параметри, мікрорізання, траєкторія, епітрохіда, допущення.

THE TRAJECTORY OF MICRO CUTTING ABRASIVE GRAIN ON THE PLANETARY GRINDING PERIPHERY ABRASIVE DISK

M.A. Kurin

The problem of necessity analytical description strength, thermal and others characteristic process of the planetary grinding periphery abrasive disk is formulate. The conditional scheme of disposition and interaction abrasive grain with workpiece surface is consider. The basic parametric kinematic equations trajectory of microcutting abrasive grain on the planetary grinding periphery abrasive disk is receive. This equations will describe geometrics contact tool with surface of workpiece.

Key words: prediction, characteristic, microcutting, trajectory, epitrochoid, admission.

Курин Максим Александрович – аспирант кафедры технологии производства двигателей летательных аппаратов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.