

традиционного тушения люминесценции в кристаллах калий-иттриевого вольфрамата и, соответственно, о высоком качестве кристаллов в широком диапазоне концентраций активных центров.

Проведены кинетические измерения времени жизни возбужденного состояния трехвалентных ионов иттербия в кристаллах калий-иттриевого вольфрамата, установлено отсутствие концентрации тушения люминесценции для содержания ионов  $\text{Yb}^{3+}$  до 100 ат. % в кристалле.

#### Литература

1. Crystal growth, optical and spectroscopic characterisation of monoclinic  $\text{KY}(\text{WO}_4)_2$  co-doped with  $\text{Er}^{3+}$

and  $\text{Yb}^{3+}$  / X. Mateos [et al.] // Optical Materials. – 2006. – Vol. 28, № 4. – P. 423–431.

2. Biswal, S. Thermo-optical parameters measured in ytterbium-doped potassium gadolinium tungstate / S. Biswal, S. P. O'Connor, S. R. Bowman // Appl. Opt. – 2005. – Vol. 44, № 15. – P. 3093–3097.

3. Sumida, D. S. Effect of radiation trapping on fluorescence lifetime and emission cross section measurements in solid-state laser media / D. S. Sumida, T. Y. Fan // Opt. Lett. – 1994. – Vol. 19, № 17. – P. 1343–1345.

4. Kühn, H. Model for the calculation of radiation trapping and description of the pinhole method / H. Kühn [et al.] // Opt. Lett. – 2007. – Vol. 32, № 13. – P. 1908–1910.

УДК 681.7.023.72

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПЛОСКОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Козерук А.С., Диас Гонсалес Р.О., Кузнецик В.О., Павлюковец Е.Ю., Судников Г.А., Али-заде Э.Т.

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Рассмотрена кинематика относительного движения инструмента и правильника без осцилляции верхнего звена, при этом скольжение сопряженных поверхностей имеет место благодаря вращению инструмента и правильника, установленных с определенным эксцентриситетом. Получено выражение для определения скорости скольжения в любой точке контакта сопряженных поверхностей.

**Ключевые слова:** схема обработки, регулировка движения, плоскостность инструмента, скорость скольжения, равномерное срабатывание.

### MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS OF FORMATION OF A FLAT TOOL FOR PROCESSING CONICAL SURFACES

Kozeruk A., Diaz Gonzalez R., Kuznechik V., Pavlyukovets E., Sudnikov G., Ali-zade E.

*Belarusian National Technical University  
Minsk, Belarus*

**Annotation.** The kinematics of the relative movement of the tool and the straightener without oscillation of the upper link is considered, while the sliding of the mating surfaces takes place due to the rotation of the tool and straightener, installed with a certain eccentricity. An expression is obtained for determining the sliding speed at any point of contact of mating surfaces.

**Key words:** processing scheme, motion control, tool flatness, sliding speed, uniform response.

Адрес для переписки: Козерук А.С., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь  
e-mail: kozeruk@bntu.by

Процесс формообразования конических поверхностей оптических деталей методом свободного притира основан на копировании заготовкой детали рабочей поверхности инструмента. Следовательно, для получения конических изделий надлежащего уровня качества должна быть организована непрерывная правка изборужденной рабочей поверхности инструмента и обеспечена необходимая ее плоскостность. Для разработки инженерных методов управления процессом формообразования исполнительной поверхности инструмента требуется моделирование процесса формообразования плоских поверхностей.

Рассмотрим обработку плоских деталей без осцилляции верхнего звена (рис. 1). Относительное движение сопряженных поверхностей в этом случае имеет место благодаря вращению инструмента и правильника вокруг своих осей, установленных с эксцентриситетом  $e$  [1].

Пусть верхнее звено вращается с угловой скоростью  $\omega_B$ , нижнее –  $\omega_H$ . В зоне контакта инструмента и правильника выберем произвольную точку  $M$  (рис. 1, б) и проведем через нее окружности на рабочих поверхностях нижнего и верхнего звеньев радиусами  $r_H$  и  $r_B$  соответственно.

Векторы линейных скоростей  $\vec{v}_H$  и  $\vec{v}_B$  движения нижнего и верхнего звеньев в данной точке равны

$$\vec{v}_H = \vec{\omega}_H \vec{r}_H, \quad (1)$$

$$\vec{v}_B = \vec{\omega}_B \vec{r}_B. \quad (2)$$

Вектор скорости относительного скольжения  $\vec{v}$  в точке  $M$  представим в виде

$$\vec{v} = \vec{v}_H - \vec{v}_B, \quad (3)$$

или

$$\vec{v} = \vec{v}_B - \vec{v}_H. \quad (4)$$

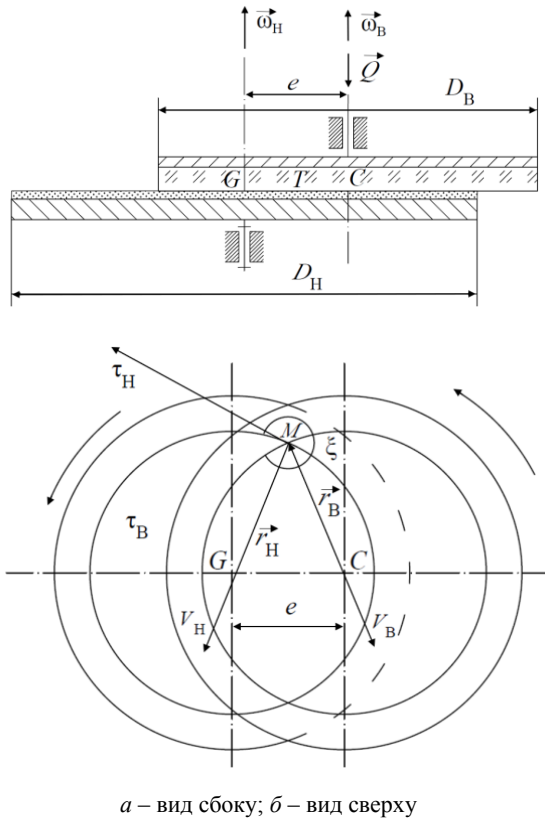


Рисунок 1 – Схема обработки плоских поверхностей без осцилляции верхнего звена:

Первая запись определяет скорость скольжения нижнего звена относительно верхнего, вторая – скорость верхнего относительно нижнего в точке  $M$ . Эти скорости равны по модулю, но противоположны по направлению. С учетом (1–4) можно записать:

$$\vec{v} = \vec{\omega}_H \vec{r}_H - \vec{\omega}_B \vec{r}_B. \quad (5)$$

Проекции векторов, входящих в (5), удобнее записывать в системах координат, связанных с естественными трехгранниками Френе [2].

Система координат  $M\tau\nu\beta$ , связанная с естественным трехгранником Френе, определяется следующим образом: ось  $M\tau$  направлена по касательной к траектории в точке  $M$ , являющейся началом системы координат, в сторону движения этой точки; ось  $M\nu$  направлена по главной нормали в сторону центра кривизны траектории; ось  $M\beta$  – по бинормали так, что  $\vec{\beta} = \vec{\tau} \times \vec{\nu}$ , где  $\vec{\tau}$ ,  $\vec{\nu}$  и  $\vec{\beta}$  единичные векторы (орты), направленные по осям  $M\tau$ ,  $M\nu$ ,  $M\beta$ .

Введем системы координат  $M\tau_H\nu_H\beta_H$  и  $M\tau_B\nu_B\beta_B$ , первая из которых связана с естественным трехгранником Френе, построенном на траектории абсолютного движения точки нижнего звена, совпадающей в рассматриваемый момент времени с сопряженной точкой  $M$ , а вторая аналогичным образом связана с верхним звеном

(рис. 1). Оси  $M\beta_H$  и  $M\beta_B$  совпадают и направлены перпендикулярно рисунку.

В системе координат  $M\tau_H\nu_H\beta_H$  векторы  $\vec{\omega}_H$ ,  $\vec{r}_H$ ,  $\vec{v}_H$  имеют следующие проекции:

$$\begin{aligned} \vec{\omega}_H &= (0 \quad 0 \quad \omega_H)^T \\ \vec{r}_H &= (0 \quad -r_H \quad 0)^T \\ \vec{v}_H &= (\omega_H r_H \quad 0 \quad 0)^T. \end{aligned}$$

Проекция вектора  $\vec{v}_H$  можно определить также из выражения (1) следующим образом:

$$\vec{v}_H = \vec{\omega}_H \times \vec{r}_H = \begin{pmatrix} \vec{\tau} & \vec{\nu} & \vec{\beta} \\ 0 & 0 & \omega_H \\ 0 & -r_H & 0 \end{pmatrix} = \omega_H r_H \vec{\tau} + 0\vec{\nu} + 0\vec{\beta}.$$

В системе координат  $M\tau_B\nu_B\beta_B$  и для верхнего звена имеем:

$$\begin{aligned} \vec{\omega}_B &= (0 \quad 0 \quad \omega_B)^T, \\ \vec{r}_B &= (0 \quad -r_B \quad 0)^T, \\ \vec{v}_B &= (\omega_B r_B \quad 0 \quad 0)^T. \end{aligned}$$

Следовательно, определены проекции векторов  $\vec{v}_H$  и  $\vec{v}_B$  в своих системах координат. Чтобы найти проекции вектора  $\vec{v}$ , надо знать проекции его составляющих  $\vec{v}_H$  и  $\vec{v}_B$  в какой-нибудь одной системе координат, например,  $M\tau_H\nu_H\beta_H$ .

Поскольку система координат  $M\tau_H\nu_H\beta_H$  получается из системы координат  $M\tau_B\nu_B\beta_B$  поворотом последней вокруг оси  $M\beta_B$  против часовой стрелки на угол  $\xi$ , то выражение для скорости относительного скольжения  $\vec{v}$  в координатной форме в системе координат  $M\tau_H\nu_H\beta_H$  будет иметь вид

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} v_\tau \\ v_\nu \\ v_\beta \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \omega_H r_H \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \cos \xi & \sin \xi & 0 \\ -\sin \xi & \cos \xi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_B r_B \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} \omega_H r_H - \omega_B r_B \cos \xi \\ \omega_B r_B \sin \xi \\ 0 \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (6)$$

Получим выражение для угла  $\xi$  для произвольных точек расположенных в различных частях зоны контакта (рис.1):

$$\xi = \pm \arccos \frac{r_H^2 + r_B^2 - e^2}{2r_H r_B}. \quad (7)$$

Используя выражения (6) и (7), можно определить скорость скольжения в любой точке контакта сопряженных поверхностей по формуле

$$v = \sqrt{\omega_H^2 r_H^2 + \omega_B^2 r_B^2 - \omega_H \omega_B (r_H^2 + r_B^2 - e^2)}.$$

Полученная формула для скорости скольжения правильника относительно плоского инстру-

мента дает возможность рассчитать пути трения в той или иной зоне последнего при различных режимах работы технологического оборудования, что может быть положено в основу создания методики управления процессом формообразования конических оптических деталей на рычажных станках в зависимости от технологической наследственности заготовки.

#### Литература

1. Зубаков, В. Г. Технология оптических деталей / В. Г. Зубаков, М. Н. Семибратов, С. К. Штандель ; под ред. М. Н. Семибратова. – М. : Машиностроение, 1985. – 368 с.
2. Козерук, А. С. Формообразование прецизионных поверхностей / А. С. Козерук. – Минск : ВУЗ – ЮНИТИ, 1997. – 176 с.

УДК 681.7.023.72

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Козерук А.С., Диас Гонсалес Р.О., Кузнечик В.О., Семченко А.Р., Гордейко Р.В., Жогла И.А.

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Предложена схема разбиения притирающихся поверхностей плоского инструмента и детали на кольцевые зоны и сектора, в результате чего образуются элементарные площадки с опорными (расчетными) точками в их центре, для расчета координат которых получены аналитические выражения.

**Ключевые слова:** коническая поверхность, метод свободного притирания, сепаратор, технологическое оборудование.

### SIMULATION OF THE WORKING AREA OF EQUIPMENT FOR PROCESSING TAPERED SURFACES

Kozeruk A., Diaz Gonzalez R., Kuznechik V., Semchenok A., Gordienko R., Zhogla I.

*Belarusian National Technical University  
Minsk, Belarus*

**Annotation.** A scheme is proposed for dividing the grinding surfaces of a flat tool and part into annular zones and sectors, as a result of which elementary areas with reference (calculated) points in their center are formed, for the calculation of the coordinates of which analytical expressions are obtained.

**Key words:** conical surface, free grinding method, separator, technological equipment.

*Адрес для переписки: Козерук А.С., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь  
e-mail: kozeruk@bntu.by*

Детали с коническими поверхностями часто используются в машиностроении, где их получают в жестких осях на металлообрабатывающем станках. Такой метод обработки деталей данного класса для оптического приборостроения неприемлем, поскольку не обеспечивает требуемую точность на которую влияют вибрации технологического оборудования 1-го и 2-го рода (соответственно в системе «заготовка» и в системе «инструмент»).

Отмеченных недостатков лишена обработка деталей с коническими поверхностями по методу свободного притирания, когда заготовка самостанавливается по рабочей поверхности плоского вращающегося инструмента и совершает сложное перемещение по инструменту.

Перспективной является обработка конических поверхностей, при которой реализуется групповое их формообразование, позволяющее получать идентичные по геометрическим параметрам детали. При этом для поддержания необходимой плоскостности рабочей поверхности инструмента, с которой в процессе обработки контактирует образующая конуса, используется

правильный сепаратор в виде стеклянной пластины с точной рабочей поверхностью и с отверстиями для конических заготовок.

Устройство для групповой обработки деталей с полной конической поверхностью содержит планшайбу 1 (рис. 1) с хвостовиком 2, на которой смонтированы механизмы регулирования угла при вершине конуса, включающие в себя неподвижный кронштейн 3, закрепленный на планшайбе 1, и шарнирно соединенный с ним посредством винта 4 (на рис.1 не показан) подвижный кронштейн 5 с жестко закрепленным лимбом 6 (на рис.1 не показан). На неподвижном кронштейне 3 имеется указатель 7 (на рис.1 не показан), а с подвижным кронштейном 5 соединена втулка 8. Во втулку 8 установлена с возможностью вращения ось 9 наклеичной планшайбы 10, на которой неподвижно закреплена обрабатываемая деталь 11, расположенная на рабочей поверхности инструмента 12, смонтированного на шпинделе базового станка 13. Рабочее усилие на деталь сообщается посредством груза 14, расположенного на выходном звене исполнительного механизма базового станка 15,