

УДК 681.7.023.72

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ КОНИЧЕСКИХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Козерук А.С., Диас Гонсалес Р.О., Кузнечик В.О., Семченок А.В.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

В теории абразивной обработки по методу свободного притирания величину срабатывания материала детали принято оценивать по формуле Ф. Престона

$$U = k \int_i^{\delta} v \delta dt, \quad (1)$$

где k – технологический коэффициент, зависящий от износостойкости материала заготовки и условий обработки; t – время обработки; v – скорость скольжения в произвольно выбранной опорной точке M на обрабатываемой поверхности, а p – давление в окрестности этой точки.

При обработке на рычажных станках скорость скольжения v обусловлена относительным и переносным движениями детали относительно заготовки, которые, в свою очередь, зависят от наладочных параметров технологического оборудования. Для установления этой зависимости создана математическая модель, определяющая распределение путей трения $L_{тр} = v t$ на образующей корпуса. В основе данной модели лежит метод преобразования координат

Рассмотрим расчётную схему рабочей зоны станка, содержащей коническую линзу (рис. 1), и введем системы координат (СК) следующим образом. СК $O_1X_1V_1Z_1$ связана с инструментом, причем точка O_1 расположена в его центре. СК $O_2X_2V_2Z_2$ также связана с инструментом, но повернута относительно $O_1X_1V_1Z_1$ на угол α_n вокруг оси O_1Z_1 .

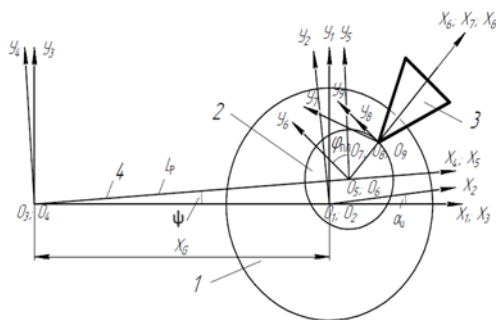


Рисунок 1

СК $O_3X_3V_3Z_3$ связана с осью вращения рычага, при этом ось O_3X_3 проходит через ось вращения инструмента и совпадает с его рабочей поверхностью.

СК $O_4X_4V_4Z_4$ также связана с осью рычага, но повернута относительно $O_3X_3V_3Z_3$ на угол ψ . В результате ось O_4X_4 направлена по оси рычага.

СК $O_5X_5V_5Z_5$ связана с центром вращения планшайбы, причем ось O_5X_5 направлена по оси

рычага. $O_6X_6V_6Z_6$ – аналогичная СК после поворота планшайбы на угол $\Phi_{пл}$.

СК $O_7X_7V_7Z_7$ связана с вершиной конуса, ось O_7X_7 лежит в плоскости планшайбы. СК $O_8X_8V_8Z_8$ также связана с вершиной конуса, но повернута вокруг оси O_7V_7 на угол $0,5 \alpha_k$, где α_k – угол при вершине конуса. В результате ось O_8X_8 совпадает с осью симметрии конуса.

Система координат $O_9X_9V_9Z_9$ связана с конусом и повернута относительно $O_8X_8V_8Z_8$ на угол $\Phi_k = \omega_k t$ вокруг оси O_8X_8 , где ω_k – скорость вращения конуса.

Координаты K_i -х точек на поверхности конической линзы в системе координат $O_9X_9V_9Z_9$ имеют вид

$$\begin{bmatrix} \tilde{O}_{\epsilon_i} \\ \hat{O}_{\epsilon_i} \\ Z_{\epsilon_i} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(i-1)h_k}{\hat{\epsilon}-1} \\ 0 \\ \frac{r_k(i-1)}{\hat{\epsilon}-1} \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где h_k и r_k – соответственно высота конуса и радиус его основания.

Для определения координат точек, расположенных на поверхности линзы относительно инструмента, необходимо совместить СК $O_1X_1V_1Z_1$ с СК $O_9X_9V_9Z_9$. Данное совмещение производится с помощью матриц преобразования координат. В результате значения координат будут определяться:

$$\begin{bmatrix} \tilde{O}_{\epsilon_i} \\ \hat{O}_{\epsilon_i} \\ Z_{\epsilon_i} \\ 1 \end{bmatrix} = i_1 \delta i_2 \delta i_3 \delta i_4 \delta i_5 \delta i_6 \delta i_7 \delta i_8 \delta \begin{bmatrix} \tilde{O}_{\epsilon_i} \\ \hat{O}_{\epsilon_i} \\ Z_{\epsilon_i} \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где

$$i_1 = \begin{bmatrix} \cos \lambda_{\epsilon} & -\sin \lambda_{\epsilon} & 0 & 0 \\ \sin \lambda_{\epsilon} & \cos \lambda_{\epsilon} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (4)$$

$$i_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -\tilde{O}_G \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (5)$$

$$i_3 = \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (6)$$

$$\dot{i}_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & L_{\sigma \delta} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (7)$$

$$\dot{i}_5 = \begin{bmatrix} \cos \varphi_{1\varepsilon} & -\sin \varphi_{1\varepsilon} & 0 & 0 \\ \sin \varphi_{1\varepsilon} & \cos \varphi_{1\varepsilon} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (8)$$

$$\dot{i}_6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & R_{1\varepsilon} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (9)$$

$$\dot{i}_7 = \begin{bmatrix} \cos \alpha_\varepsilon & 0 & \sin \alpha_\varepsilon & 0 \\ -\sin \alpha_\varepsilon & 0 & \cos \alpha_\varepsilon & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (10)$$

$$\dot{i}_8 = \begin{bmatrix} \cos \varphi_\varepsilon & -\sin \varphi_\varepsilon & 0 & 0 \\ \sin \varphi_\varepsilon & \cos \varphi_\varepsilon & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (11)$$

\tilde{O}_G – расстояние между осями вращения штанги и шпинделя станка; $L_{\sigma \delta}$ – длина штанги.

Подставив (2) в (3) и перемножив матрицы, получим выражение для определения X_{i1} , Y_{i1} , Z_{i1}

Путь трения в i -той точке поверхности конической линзы к j -тому моменту времени можно определить по формуле

$$L_{\omega_j} = L_{\omega_{j-1}} + \sqrt{(\tilde{O}_{ij} - \tilde{O}_{ij-1})^2 + (\dot{O}_{ij} - \dot{O}_{ij-1})^2 + (Z_{ij} - Z_{ij-1})^2}. \quad (12)$$

Однако формулой (12) можно воспользоваться только при условии попадания i -той точки в пятно контакта линзы и инструмента, что обусловлено двумя факторами: i -тая точка не должна находиться выше слоя свободного абразива. Следовательно, должно выполняться условие $Z_i < \lambda_{\text{абр}}$, где $\lambda_{\text{абр}}$ – размер зерна абразива.

Линза во время обработки может выходить за край инструмента. Следовательно, должно выполняться условие $R_\varepsilon^2 \geq \tilde{O}_{1i}^2 + \dot{O}_{1i}^2$, где R_u – радиус инструмента. Оба условия должны выполняться одновременно.

Используя вышеизложенную математическую модель, выполнены теоретические исследования закономерностей формообразования конической линзы. В качестве регулируемых параметров процесса обработки принимали частоты вращения инструмента, конуса v_k и входного звена исполнительного механизма станка, отношение частот вращения сепаратора и инструмента, а также амплитуду возвратно-вращательного движения первого из них по рабочей поверхности второго и их относительное смещение. Рассчитывали относительное расхождение путей трения, характеризующее качество обработки, и среднее арифметическое значение этих путей, пропорциональное производительности съема припуска с заготовки. Данные показатели определялись как при изменении каждого из отмеченных параметров в отдельности, так и при попарном их изменении в 15 различных комбинациях.

В технологии оптического приборостроения последний прием можно назначать только на стадии предварительного шлифования, поскольку одновременное регулирование двух и более наладочных параметров станка приводит к резкому изменению закономерностей съема припуска с заготовки и тем самым вызывает деформацию геометрической формы обрабатываемой поверхности. Это искажение формы детали можно исправить на последующих операциях. Если же такая погрешность возникнет на финишной операции полирования, то для исправления дефекта деталь необходимо перешлифовать и повторно полировать, что увеличивает ее себестоимость.

В процессе обработки конических поверхностей по методу свободного их притирания к плоской поверхности инструмента первоначально выявляют оптимальные наладочные параметры станка, после чего их уточняют путем последовательных изменений каждого из регулируемых параметров при неизменных достигнутых оптимальных значениях остальных. Так повторяли до тех пор, куда после оптимизации последнего из регулируемых параметров не получали постоянной величины относительных расхождений путей трения.