

УДК 621.923.5

МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ АЛМАЗНЫХ ЗЕРЕН НА ПОВЕРХНОСТИ ХОНИНГОВАЛЬНОГО БРУСКА

И. Р. ШАМСУТДИНОВ

Научный руководитель В. А. ОГОРОДОВ, канд. техн. наук, доц.
Уфимский университет науки и технологий
Уфа, Россия

Одним из основных недостатков высокоточного процесса алмазного хонингования прецизионных отверстий плунжерных пар топливной и гидравлической аппаратуры является образование заусенцев на кромках пересечений обрабатываемой поверхности и радиальных отверстий. Известно, что их образование обусловлено многократным выдавливанием режущими зернами частиц металла за кромку пересечения. Поэтому для предотвращения образования заусенцев необходимо обеспечить постоянное удаление выдавленных частиц металла за кромку пересечения в процессе хонингования. Это возможно, если управлять траекторией движения алмазных зерен вдоль кромки пересечения, что, в свою очередь, требует определения размеров алмазных зерен при условии их случайного расположения на поверхности бруска.

Для решения поставленной задачи в качестве исходных приняты результаты экспериментальных исследований контактного взаимодействия алмазных брусков с обрабатываемой поверхностью [1]:

- фактическая площадь контакта алмазных зерен с деталью A_{ra} , мм²/см²;
- максимальная площадь контакта алмазов с деталью $S_{\max}$, 10⁴ мкм²/см²;
- число контактирующих зерен N_a , шт./см².

Средневзвешенная площадь контакта алмазов с деталью

$$S_a = \frac{A_{ra}}{N_a}.$$

Решением поставленной задачи является вектор R , элементами которого являются радиусы всех зерен

$$R = [r_1 \ r_2 \ r_3 \ \dots \ r_{N_a}].$$

Для нахождения данного вектора была составлена аддитивная целевая функция

$$F = A_{ra} + S_a - \pi \left(1 + \frac{1}{N_a}\right) \sum_{i=1}^{N_a} r_i^2 \rightarrow \min. \quad (1)$$

Искомые величины входят в выражение (1) во второй степени, поэтому определение радиусов r_i сводится к задаче квадратического программирования по нахождению оптимального решения при следующих ограничениях:

$$\left\{ \begin{array}{l} r_i \leq \min(r_{\max}^i, R_{\max}); \\ \frac{1}{N_a} \sum_{i=1}^{N_a} r_i = R_a; \\ r_k = R_{\max}; \\ \pi \sum_{i=1}^{N_a} r_i = A_{ra}. \end{array} \right. \quad (2)$$

В матричной форме зависимости (1) и (2) имеют вид

$$\left\{ \begin{array}{l} F = \frac{1}{2} R H R^T + f^T R \rightarrow \min, \\ A \leq b; \\ A_{eq} = b_{eq}; \end{array} \right.$$

$$H = \begin{bmatrix} 2A_{ra} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 2S_a & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & -2\pi\left(1 + \frac{1}{N_a}\right) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -2\pi\left(1 + \frac{1}{N_a}\right) \end{bmatrix}; f = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; b = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ r_{\max}^1 \\ r_{\max}^2 \\ r_{\max}^3 \\ r_{\max}^4 \\ \dots \\ r_{\max}^{N_a} \end{bmatrix}; b_{eq} = \begin{bmatrix} R_a \\ 1 \\ 1 \\ R_{\max} \\ A_{ra} \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}; A_{eq} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{N_a} & \frac{1}{N_a} & \dots & \frac{1}{N_a} & \dots & \frac{1}{N_a} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \pi & \pi & \dots & \pi & \dots & \pi \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}.$$

Адекватность найденного оптимального решения может быть оценена посредством вычисления отклонений общей и средней площади контакта зерен по следующим зависимостям:

$$\Delta_{ra} = \left(1 - \frac{a_{ra}}{A_{ra}}\right) \cdot 100 \%; \quad \Delta_a = \left(1 - \frac{s_a}{S_a}\right) \cdot 100 \%.$$

Выполненные статистические испытания разработанной модели в виде 100-кратного повторения расчетов с помощью пакета MatLab показали, что для различных исходных данных [1] среднее значение отклонений составляет $\bar{\Delta}_{ra} \approx 10^{-12} \%$, $\bar{\Delta}_a \approx 10^{-12} \%$, что подтверждает точность вычисления радиусов алмазных зерен с помощью данной математической модели.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Чеповецкий, И. Х.** Механика контактного взаимодействия при алмазной обработке / И. Х. Чеповецкий. – К. : Наукова думка, 1978. – 228 с.