

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КРУГА ПРИ ШЛИФОВАНИИ

**Носенко В.А., Федотов Е.В., Даниленко М.В.**

Волжский политехнический институт (филиал)

Волгоградского государственного технического университета

The mathematical model of formation of a working surface of the abrasive tool is developed at grinding taking into account probability of kinds of wear process and use of the transitive probabilities defining dimensional deterioration of grains. Tops of grains in the course of grind can be chopped off, pulled out and used up that defines their dimensional deterioration. Techniques and algorithms of calculation of distribution of grains, roughnesses of the processed surface, the program of calculation for the computer are developed.

В основе формообразования при шлифовании лежит геометрическое копирование формы рабочей поверхности абразивного инструмента. Форма и размеры единичных рисок, составляющих обрабатываемую поверхность, непосредственно связаны с формой и размерами режущих элементов рабочей поверхности абразивного инструмента. Определенную корректировку, иногда весьма существенную, вносят так называемые вторичные или смежные процессы, к которым относят упругие и пластические деформации, температурные воздействия, усталостные явления и пр. Если во взаимодействии принимают участие относительно инертные пары абразивный материал – обрабатываемый металл, что характерно, например, для шлифования закаленной стали кругами из электрокорунда, быстрорежущей стали кругами из эльбора и т. п., в этом случае определяющим фактором при формировании рельефа обрабатываемой поверхности является рельеф рабочей поверхности абразивного инструмента.

Поэтому, исследование рельефа рабочей поверхности абразивного инструмента, закономерностей его формирования и разработка математических моделей, описывающих этот рельеф, считается одним из приоритетных направлений в науке о шлифовании.

Известно большое количество работ в этой области [1-7 и др.]. Практически все исследователи процесса шлифования в той или иной степени рассматривали рельеф рабочей поверхности круга или его составляющие элементы.

Формирование рельефа на протяжении всего времени работы абразивного инструмента с учетом вероятности взаимодействия зерен круга с обрабатываемым материалом, вероятности протекания различных видов изнашивания и размерного износа вершин зерен, определяемого с использованием переходных вероятностей представлено в работе [3]. Взаимодействие зе-

рен с обрабатываемым материалом рассматривали как марковский процесс с дискретным временем и состоянием, а формирование рабочей поверхности инструмента - как суперпозицию таких процессов. Формирование рабочей поверхности инструмента включает в себя два одновременно протекающих этапа: скачкообразный переход вершин зерен из состояния  $i$ , где  $i$  – номер слоя, в котором вершины находятся в момент соприкосновения с металлом, в состояние  $j$ , где  $j$  – номер слоя, в который вершины попадают в результате взаимодействия; скачкообразный переход всех вершин рассматриваемого слоя (кроме первого) на нижележащий, т.е. уменьшение расстояния от вершин зерен до наружной поверхности инструмента на величину радиального износа круга за один оборот.

Математическая модель распределения вершин зерен по слоям рабочей поверхности абразивного инструмента получена в виде вектора:

$$n(K) = n(K-1) \{ P_K(K) [B(K)P_B(K) + C(K)P_C(K)] + Y(K) \} Y + \\ + n_{N+M+K-1} \cdot e_{N+M},$$

где  $n(K)$  и  $n(K-1)$  – векторы (матрица-строка) распределения вершин зерен на  $K$ -ом и  $(K-1)$ -ом оборотах круга;  $P_K(K)$  и  $Y(K)$  – матрицы соответственно вероятностей контакта и отсутствия контакта вершин зерен с обрабатываемым материалом;  $B(K)$  и  $C(K)$  – матрицы вероятностей изнашивания вершин зерен в результате скалывания и истирания;  $P_B(K)$  и  $P_C(K)$  – матрицы переходных вероятностей изменения состояния вершин зерен в результате скалывания и истирания;  $Y$  – матрица перемещения вершин зерен на нижележащий слой при каждом обороте круга;  $n_{N+M+K-1}$  – координата вектора исходного распределения вершин зерен;  $e_{N+M}$  – единичный вектор (матрица-строка).

Одними из допущений, принятых в предложенной модели, являются нормальное распределение радиального износа вершин зерен в результате скалывания, равенство максимальной величины скалывания фактической глубине резания зерна.

Для уточнения сделанных предположений проведены специальные эксперименты. Шлифпорошок марки 25А зернистости F60 заделывали в оправку на величину равную приблизительно половине размера зерна. Микроцарапание закаленной сталь 45 осуществляли с постоянно увеличивающейся глубиной резания. Момент скалывания фиксировали по характерному уменьшению длины риски на фоне общего её увеличения или по прекращению царапания, которое может быть в результате вырывания зерна из оправки или при скалывании вершины на величину, превышающую в данный момент глубину резания. В последнем случае через некоторое время царапание возобновлялось.

После этого рассчитывают величину износа зерна скалыванием по формуле:

$$\Delta h = \frac{L_K^2 - L_{K+1}^2}{4 \cdot D_3} + \Delta l \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

где  $L_K$  – длина  $K$ -й риски, на которой произошло скалывание;  $L_{K+1}$  – длина последующей после скола риски;  $\Delta l$  – расстояние между рисками;  $\alpha$  – угол наклона поверхности образца;  $D_3$  – эквивалентный диаметр.

В каждом опыте рассчитывали глубину резания  $t$ , на которой произошло скалывание, и величину радиального износа вершины зерна  $\Delta h$ . Исходным параметром для определения  $t$  и  $\Delta h$  является длина царапины. Соответственно погрешность определения  $t$  и  $\Delta h$  будет определяться погрешностью измерения  $L$ , что в свою очередь зависит от достоверности определения момента входа и выхода зерна. В результате специальных исследований установлено, что для исходной шероховатости поверхности  $R_a=0,1$  мкм и принятой нами методики измерения погрешность измерения длины царапины не превышает 0,07 мм. Тогда максимальная погрешность определения глубины царапины не будет превышать 0,1 мкм, радиального износа – 0,2 мкм. Было испытано 50 зерен, общий объем выборки измерений радиального износа вершины зерен скалыванием составил свыше 1200.

Установлено, что распределение радиального износа вершины зерна скалыванием без учета влияния глубины скалывания с наибольшей вероятностью подчиняется закону Вейбулла.

Для выяснения влияния глубины скалывания на величину износа вся выборка была разбита на группы по глубинам скалывания с интервалом 2 мкм. В результате обработки экспериментальных данных установлено, что распределение износа скалыванием полученных выборок так же описано законами Вейбулла, средняя вероятность согласования около 0,95. Определены константы закона распределения и их функциональная связь с глубиной скалывания.

С учетом новых закономерностей разработана и реализована на ПЭВМ программа-методика расчета рельефа круга и шероховатости обработанной поверхности при шлифовании закаленных сталей. Теоретические данные сопоставлены с экспериментальными, полученными другими авторами и собственными исследованиями. Максимальная относительная погрешность не превышает 15 %.

#### Литература:

1. Байкалов А.К. Введение в теорию шлифования материалов – Киев: Наукова думка, 1978. – 207 с.
2. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1979. – 232 с.
3. Носенко В. А Шлифование адгезионно-активных металлов.– М.: Машиностроение, 2000.– 262 с.

4. Белкин Е.А. Стохастическая модель процесса абразивной обработки // Справочник. Инженерный журнал. – 2004. – №3. С. 20-25.

5. Бишутин С.Г. Математическое моделирование формирования микронеровностей поверхности при шлифовании с учетом изнашивания инструмента // Проблемы машиностроения и надежности машин. – №1. – 2005. – С 78-82.

6. Козлов А. М. Определение параметров рабочей поверхности абразивного инструмента на основе моделирования // Изв. ВУЗов. Машиностроение. – 2005. – №1. – С. 52-56.

7. Осипов А.П. Моделирование абразивной поверхности методом суперпозиции относительных опорных кривых // Справочник. Инженерный журнал. – 2005. – №2. – С. 38-45.