

УДК 519.244

А.Н. Попов

Тольяттинский государственный университет, Тольятти, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА ПРИ ВИБРАЦИОННОЙ ПРАВКЕ

Приведены результаты моделирования влияния механических колебаний правящего инструмента ультразвуковой частоты на параметры рельефа рабочей поверхности круга.

Ключевые слова: шлифование, обработка.

Вступление

Показатели процесса шлифования в значительной мере зависят от рельефа рабочей поверхности круга (РПК). В связи с этим, возникает проблема прогнозирования оптимальных, с точки зрения ре-

жущей способности, параметров рельефа РПК. Авторами работ [1 – 8] предлагаются модели РПК, направленные на решение этой проблемы. Однако в них не учитываются особенности влияния формирования параметров РПК за счет вибрационной правки (ВП) шлифовального круга.

Известно [9], что за счет особенностей кинематического взаимодействия алмазов правящего инструмента (ПИ) с рабочей поверхностью круга в процессе ВП, обеспечивается его повышенная режущая способность и более высокие показатели процесса шлифования по сравнению с кругом, прошедшим обычную правку без наложения колебаний на ПИ.

Рассмотрим процесс образования и интерференции синусоидальных траекторий алмазного правящего инструмента относительно РПК в процессе ВП.

Основная часть

Исследование производим для условий ВП алмазным кристаллом методом обтачивания с продольной подачи и наложением на правящий инструмент вынужденных колебаний ультразвуковой частоты, в направлении нормали к РПК, с частотой колебаний f и амплитудой A . Для определения основных параметров рельефа рабочей поверхности круга: высоты и расстояния между вершинами кривых, изменяющихся в результате интерференции траекторий ПИ, за n -число оборотов круга, проведем имитационное моделирование процесса правки в программе Matlab.

На рис. 1 приведена принципиальная схема правки шлифовального круга правящим инструментом, совершающим вынужденные колебания от ультразвуковой колебательной системы, например с синусоидальной траекторией вершина алмаза которого перемещается по РПК за один оборот круга. Здесь круг вращается со скоростью V_k , а правящий инструмент совершает колебания с амплитудой A и частотой f и глубиной правки t_p . В результате чего формируется синусоидальная траектория ПИ. В данном случае значение $2A > t_p$.

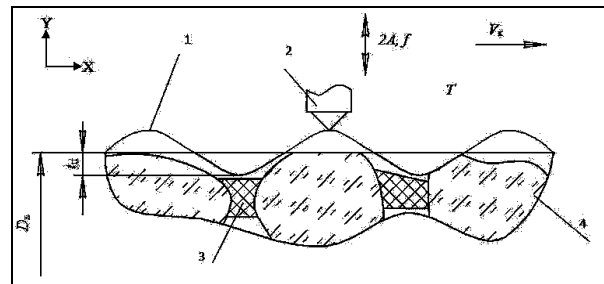


Рис. 1. Принципиальная схема формирования РПК за один оборот: 1 – траектория перемещения правящего инструмента; 2 – правящий инструмент; 3 – связка; 4 – абразивное зерно; D_k – номинальный диаметр круга; A – амплитуда колебаний; f – частота колебаний

Отмеченная траектория перемещения ПИ описывается синусоидальным законом и определяется системой уравнений:

$$\begin{cases} X = \tau_{п}; \\ Y = t_{п} - A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot \tau_{п}), \end{cases} \quad (1)$$

где $\tau_{п}$ – время правки, с.

Очевидно, что с каждым последующим оборотом круга происходит интерференция (наложения) синусоидальных траекторий, что приводит к уменьшению ожидаемой высоты $h_{ср}^{ож}$, расстояния $l_{ср}^{ож}$ между выступами рельефа РПК.

На рис. 2 приведена схема формирования рельефа РПК в плоскости его вращения после трех оборотов круга. За первый оборот шлифовального круга в процессе его правки высота $h_{ср}^{ож}$ ожидаемого рельефа РПК равна амплитуде колебания с учетом глубины правки t_p , а расстояние между волнами микронеровностями равняется длине волны S_0 .

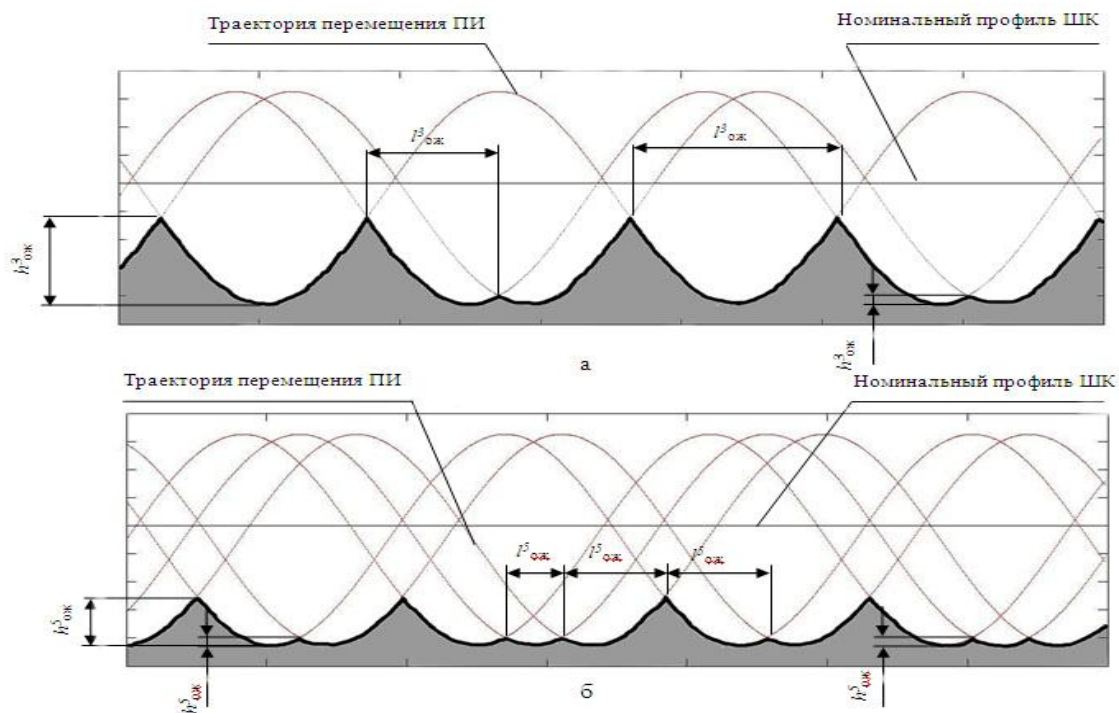


Рис. 2. Ожидаемый профиль РПК в результате ВП: а – после трех оборотов; б – после пяти оборотов

Здесь не рассматривается условие кратности частоты колебания ПИ f и частоты вращения круга, т.к. в практическом процессе правки подобный случай маловероятен.

Рассмотрим процесс формирования параметров ожидаемого профиля РПК в численном виде.

Для этого на основе результатов имитационного моделирования процесса ВП сформулируем аналитическую зависимость, определяющую степень влияния амплитуды колебания правящего инструмента на ожидаемую среднеарифметическую высоту выступов рельефа в виде

$$h_{\text{ср}}^{\text{ож}} = A \cdot 1,65 \cdot \exp^{-0,4 \cdot n_{\text{об}}}, \quad (2)$$

где $n_{\text{об}}$ – число оборотов круга, а также частоты колебаний ПИ на ожидаемое среднеарифметическое расстояние между выступами рельефа формулой

$$l_{\text{ср}}^{\text{ож}} = \frac{25 \cdot \exp^{-0,19 \cdot n_{\text{об}}}}{f}. \quad (3)$$

В приведенных на рис. 2 схемах шлифовальный круг был принят условно в виде твердого монолитного тела. В действительности же, шлифовальный круг представляет собой гомогенную дискретную структуру, состоящую из абразивных зерен, связки и пор, в определенных соотношениях в зависимости от его характеристики.

В связи с этим, произведем расчет ожидаемой высоты $h_{\text{ср}}^{\text{ож}}$ и ожидаемого расстояния $l_{\text{ср}}^{\text{ож}}$ между микронеровностями на РПК с учетом номера структуры (C) и зернистости (N) шлифовального круга в соответствии с принятыми нормативными обозначениями по ГОСТ 3647-80.

Для определения параметров $l_{\text{ср}}$ и $h_{\text{ср}}$ примем строение круга дискретным в виде пространственной решетки, располагающейся под прямым углом к рабочей поверхности инструмента. Абразивные зерна представим в виде сфер диаметром d_3 , расположенных по вершинам кубов, с помощью которых можно заполнить целиком пространство (рис. 3).

Характер расположения абразивных зерен в по осям координат X , Y , Z полагаем равномерным по каждой оси (рис. 3), с одинаковым расстоянием между соседними зёрнами $l_{\text{ср}}$. Очевидно, что количество абразивных зерен по каждой оси, например, X в круге зависит от плотности (номера) структуры и зернистости. Так, с увеличением номера структуры, согласно ГОСТ 3647-80 зерна располагаются ближе друг к другу. Аналитическая зависимость среднего расстояния между вершинами рельефа от процента содержания зерен имеет вид

$$l_{\text{ср}} = l_{\text{ср}}^{\text{ож}} \cdot \frac{100}{C} \cdot k_3, \quad (4)$$

где $l_{\text{ср}}^{\text{ож}}$ – ожидаемое расстояние между вершинами рельефа РПК по оси X ; C – структура абразивного инструмента, выраженная в процентном соотношении зерен связки и пор; k_3 – безразмерный коэффициент зернистости шлифовального круга.

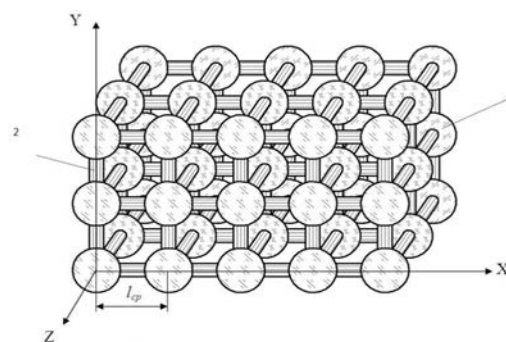


Рис. 3. Участок модели шлифовального круга:
1 – абразивное зерно; 2 – связка

Коэффициент зернистости k_3 определяет влияние размера зерна на распределение среднего расстояния между зёрнами согласно системе

$$\begin{cases} d_3 \geq l_{\text{ср}}^{\text{ож}} & k_3 = 1; \\ d_3 < l_{\text{ср}}^{\text{ож}} & k_3 = l_{\text{ср}}^{\text{ож}} / d_3. \end{cases} \quad (5)$$

Подставляя 3 в 4, получим аналитическую зависимость, определяющую основные параметры РПК в виде

$$\begin{cases} l_{\text{ср}} = \frac{2500 \cdot k_3 \cdot \exp^{-0,19 \cdot n_{\text{об}}}}{f \cdot C}; \\ h_{\text{ср}} = A \cdot 1,65 \cdot \exp^{-0,4 \cdot n_{\text{об}}}. \end{cases} \quad (6)$$

Экспериментальную оценку адекватности аналитической зависимости проводили исследования рельефа РПК после ВП абразивного круга 200×25×76 91A40НСМ16К20 однокристалльным алмазным карандашом 3908-054 ГОСТ 608-80. Амплитуду A правящего карандаша принимали равной 7,5; 10; 12,5 мкм, а частота колебаний последовательно равнялась 15, 22,3; 35 кГц. После правки проводили профилографирование РПК с измерением среднего шага по вершинам и средней высоты рельефа.

На основании полученных результатов профилографирования построены зависимости влияния амплитудно-частотных характеристик ВП шлифовального круга на параметры рельефа РПК (рис. 4, 5).

Из рис. 4, а, б следует, что экспериментальное значение шага и расчетных величин l оказались достаточно близкими. Отклонения полученных результатов друг от друга находятся в пределах 25%. Что же касается высотного параметра h , то здесь разница экспериментальных и аналитических результатов более ощутима, хотя зависимость носят общий характер. Видимо для расчета высоты рельефа РПК следует учитывать в модели не только кинематическую составляющую, но и хрупкое разрушение абразивных зерен, что подтверждают результаты [9].

Выводы

В целом, предлагаемые аналитические зависимости основных параметров РПК и имитационная модель правки показали достаточно хорошую сходимость с реальными значениями, полученными экспериментальным путем, а также по данным рабо-

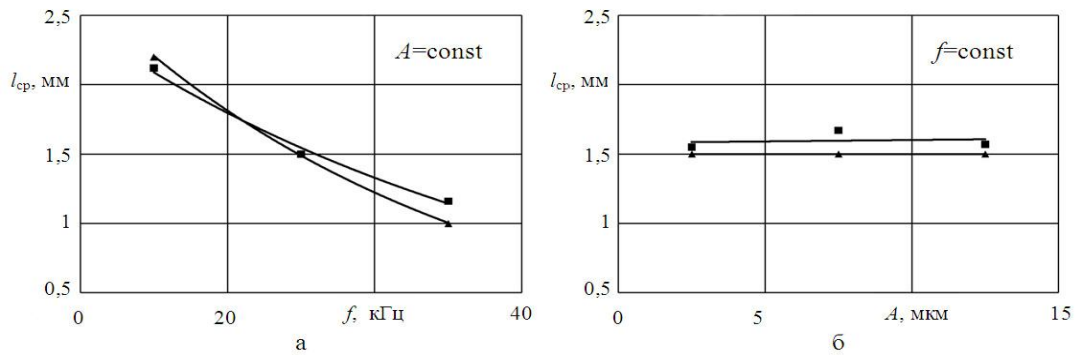


Рис. 4. Зависимость средней длины между вершинами рельефа РПК: ■ – эксперимент; ▲ – модель

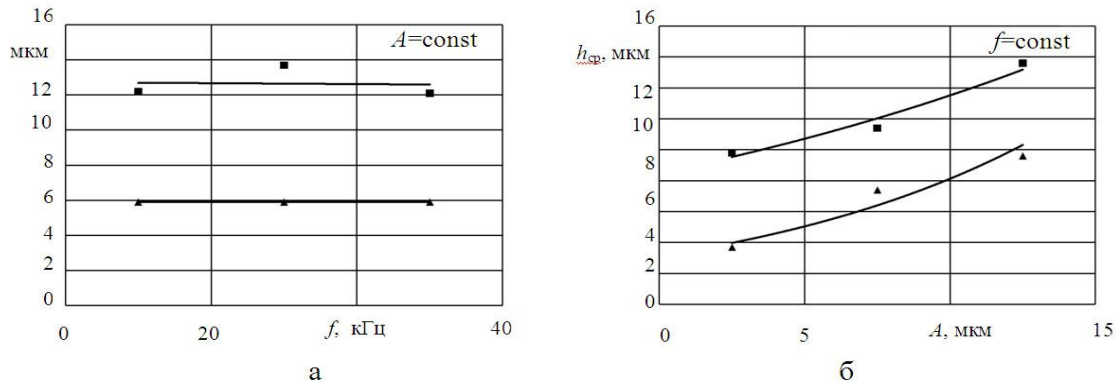


Рис. 5. Зависимость средней высоты рельефа РПК: ■ – эксперимент; ▲ – модель

ты [9]. Предложенный алгоритм позволяют определять основные показатели характеризующие РПК.

Установлено, что основным показателем, влияющим на среднее расстояние между выступами рельефа круга, является частота колебания правящего инструмента, а амплитуда колебаний является основным показателем, влияющим на разновысотность неровностей РПК.

Список литературы

1. Крохин А.Н. Прогнозирование и технологическое обеспечение требуемой шероховатости поверхности деталей при чистовом круглом торцовом шлифовании: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Крохин А.Н. – Пермь, 2009. – 20 с.
2. Салова Д.П. Моделирование профиля рабочей поверхности шлифовального круга с использованием принципов естественной прирабатываемости: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Салова Д.П. – Самара, 2007. – 22 с.
3. Гринев А.А. Повышение эффективности алмазно-го шлифования труднообрабатываемых инструментальных сталей при обработке с увеличенными дугами контакта круга с заготовкой: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Гринев А.А. – Донецк, 2005. – 20 с.

4. Королев А.В. Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки / А.В. Королев, Ю.К. Новоселов. – С.: СГУ, 1987. – 160 с.

5. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов / Е.Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.

6. Попов С.А. Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов / С.А. Попов, Н.П. Малевский, Л.М. Терещенко. – М.: Машиностроение, 1977. – 263 с.

7. Островский В.И. Теоретические основы процесса шлифования / В.И. Островский. – Л.: Ленингр. ун-т, 1981. – 144 с.

8. Калинин Е.П. Теория и практика управления производительностью шлифования без прижогов с учетом затупления инструмента / Е.П. Калинин. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 358 с.

9. Малышев В.И. Формирование рабочей поверхности шлифовального круга при ультразвуковой правке / В.И. Малышев, С.В. Мурашкин, Р.В. Комлев // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2010. – Вып. 2. – С. 40-43.

Поступила в редколлегию 11.02.2011

Рецензент: канд. техн. наук, проф. Б.Н. Судаков, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.

МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМУВАННЯ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ШЛІФОВАЛЬНОГО КРУГА ПРИ ВІБРАЦІЙНІЙ ОБТРАВЦІ

А.М. Попов

Приведені результати моделювання впливу механічних коливань правильного приладдя ультразвукової частоти на параметри рельєфу робочої поверхні круга.

Ключові слова: шліфування, обробка.

MODELLING FORMATION OF THE WORKING SURFACE OF THE GRINDING CIRCLE AT VIBRATING EDITING

A.N. Popov

Results of modelling of influence mechanical fluctuations the ruling tool of ultrasonic frequency on parameters of a relief of a working surface of a circle are resulted.

Keywords: grinding, processing.