

УДК 621.92

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЭЛАСТИЧНЫМ ШЛИФОВАЛЬНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

**Байков А.В., Михайлов А.Н., Билищук К.А.**

(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Тел. +38(062)3010805; E-mail: [tm@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:tm@mech.dgtu.donetsk.ua)

*Аннотация.* Приведена методика расчета параметров шероховатости поверхности после алмазного шлифования инструментом на эластичной связке учитывающая перемещение алмазных зерен в упругом основании под действием сил резания

*Ключевые слова:* инструмент на эластичной связке, упругое перемещение алмазных зерен, шероховатость поверхности

### 1. Введение

Параметры шероховатости обработанной поверхности определяют либо эксплуатационные, либо декоративные свойства деталей и изделий, поэтому обеспечение требуемых значений параметров шероховатости является одной из главных задач процесса обработки. В связи с большим количеством факторов, определяющих качество поверхности и сложным характером их взаимовлияния, на данный момент не представляется возможным разработать единую модель формирования параметров шероховатости при шлифовании.

Помимо эмпирических зависимостей [1] ряд исследователей [2, 3, 4] предлагают математические модели формирования шероховатости поверхности для определенных условий шлифования. В основу большинства теоретических моделей положен метод эффективного профиля, который основывается на топографии поверхности шлифовального круга и кинематики взаимодействия шлифовального круга и заготовки. Авторы работ [2, 3] рассматривают закономерности формирования шероховатого слоя для схемы круглого наружного шлифования металлических деталей периферией алмазного круга. В работе [4] получена математическая модель формирования шероховатости при плоском шлифовании периферией алмазного круга деталей из керамики, учитывающая специфику диспергирования хрупких материалов. В работе [5] рассмотрены...

В работе [6] авторы теоретически и экспериментально показали связь параметров шероховатости обработанной поверхности и рельефа рабочей поверхности шлифовальных кругов.

Т.е. для разработки модели расчета шероховатости обработанной поверхности необходима информация о характере распределения вершин алмазных зерен по высоте и на поверхности шлифовального круга. На операциях финишной обработки (тонкое шлифование и предварительное полирование), на которые наиболее важно прогнозировать шероховатость обработанной поверхности, применяют инструмент на эластичной полимерной связке, что вносит определенную специфику в характер контактного взаимодействия инструмента и детали. Вследствие перемещения алмазных зерен в связке под действием сил резания изменяется распределение вершин зерен по высоте рабочей поверхности круга, соответственно меняются параметры эффективного профиля.

Целью данной работы является разработка модели формирования шероховатости обработанной поверхности для операций финишной обработки деталей эластичным шлифовальным кругом.

### 2. Основное содержание и результаты работы

Анализ перемещения вершины абразивного зерна связан с изучением напряжен-

но – деформированного состояния эластичной связки в месте контакта ее абразивным зерном под действием на него сил резания. Задача определения напряженно-деформированного состояния связки шлифовального инструмента решалась для ряда значений нормальных усилий на зерне, изменяющихся от  $P=0,001$  Н до  $P=0,1$  Н. Данный интервал включает усилия, действующие на алмазное зерно на операциях тонкого шлифования и предварительного полирования природного камня [5, 6].

При решении задачи рассматривались варианты упругой матрицы с различными физико-механическими свойствами: модуль упругости композиции принимал значение от  $E=1000$  МПа до  $E=3500$  МПа, соответственно коэффициент Пуассона от  $\nu=0,43$  до  $\nu=0,34$ .

Анализ полученных данных показывает, что зависимость величины перемещения вершины алмазного зерна (или другими словами - погружения алмазного зерна в связку) от нормальной силы носит линейный характер для всех рассматриваемых размеров алмазных зерен, для различной глубины заделки зерна и для полимеров всех исследуемых характеристик.

Как пример, на рисунке 1 приведена зависимость величины перемещения вершины алмазного зерна от усилия при относительной заделке зерна  $\varepsilon=0,65$  для различной величины зернистости и модуля упругости связки.

Коэффициент пропорциональности между величиной перемещения и силой определяется физико-механическими свойствами связки, в частности модулем упругости,

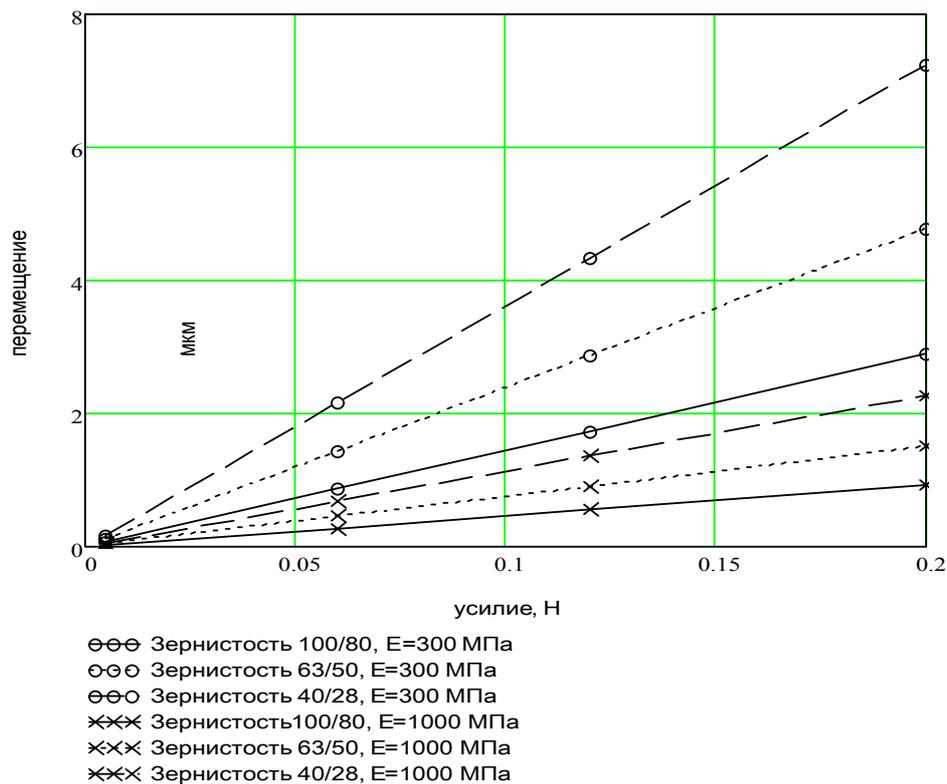


Рис. 1. Зависимость величины перемещения вершины алмазного зерна от прилагаемого усилия

и размером алмазного зерна. С увеличением модуля упругости угол наклона прямой с осью абсцисс уменьшается. С увеличением размера алмазного зерна угол наклона пря-

мой также уменьшается, что можно объяснить увеличением объема деформируемого фрагмента связки шлифовального круга. Проведенные расчеты позволяют с достаточной точностью определять перемещения абразивных зерен шлифовального инструмента в контакте с обрабатываемым материалом.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что зерна в поверхностном слое алмазного круга распределены по нормальному закону. Поэтому по мере сближения поверхности инструмента и заготовки все большее их число будет участвовать в контакте. При этом происходит непрерывное перераспределение нормальной силы резания между отдельными зернами и, как следствие, изменение удельных усилий в зоне контакта. Для инструментов с различными упругими характеристиками связки количество контактирующих зерен будет разным, соответственно будут изменяться силовые параметры в зоне контакта.

Методика расчета величины контактных усилий заключается в следующем. Поверхностный слой шлифовального круга разделим на элементарные слои, приняв допущение, что все расположенные в пределах данного элементарного слоя вершины зерен имеют одинаковую высоту, равную верхней границе слоя. Количество вершин в каждом слое определим по формуле:

$$N_i = N \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot \int_{n_i}^{n_{i+1}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx, \quad (1)$$

где  $N$  - плотность зерен на поверхности шлифовального круга;

$\bar{x}, \sigma$  - среднее значение и среднеквадратичное отклонение распределения зерен по высоте;

$n_i$  и  $n_{i+1}$  - границы слоя.

При сближении поверхности инструмента и детали усилие на единичном зерне определим по формуле:

$$F_{i\max} = \frac{i \cdot \Delta}{K}, \quad (2)$$

где  $(i \cdot \Delta)$  - величина сближения, выраженная в элементарных слоях (ЭС) условного деления поверхностного слоя круга;  $i$  - количество ЭС,  $\Delta$  - толщина ЭС, мм.

$K$  - упругость связки, мкм/Н.

Данные по упругости связки были определены с использованием метода конечных элементов.

Деформация абразивосодержащего слоя прекратится при уравнивании нормальной составляющей силы резания совокупной силой упругой деформации связки:

$$P_y = \sum_{i=1}^n F_i, \quad (3)$$

где  $n$  количество абразивных зерен, перемещающихся при контакте с обрабатываемым материалом.

Учитывая характер распределения высоты выступания абразивных зерен (1) выражение (3) примет вид:

$$P_y = \sum_{i=1}^n \frac{i\Delta}{K} N \frac{1}{\sqrt{2\pi}\tau} \int_{n_i}^{n_{i+1}} e^{-\frac{(x_i-\bar{x})^2}{2\tau^2}} dx_i \quad (4)$$

На основании выражения (4) можно определить величину сближения поверхностей шлифовального круга и обрабатываемого материала.

В работах [7, 8] приведены данные зависимости величины нормальной силы  $P_y$  от глубины царапания при царапании единичным алмазным зерном. В исследованном диапазоне зависимость имеет нелинейный монотонно возрастающий характер, причем с увеличением глубины царапания интенсивность нарастания убывает.

Аналитически зависимость величины заглупления алмазного зерна поверхность обрабатываемого гранита можно представить в виде:

$$h_y = c \cdot P_y^m, \quad (5)$$

где  $c$  и  $m$  - коэффициенты полученные эмпирическим путем.

Тогда величина заглупления алмазного зерна, расположенного в  $i$ -ом деформированном слое будет

$$h_{iy} = c \cdot \left( \frac{i\Delta}{K} \right)^m \quad (6)$$

С учетом (6) изменение положения вершины алмазного зерна, лежащего в  $i$ -ом слое относительно ненагруженного состояния будет:

$$h_i = i\Delta - c \left( \frac{i\Delta}{K} \right)^m \quad (7)$$

Поскольку степени деформации связки различны для зерен отличающихся высотой выступания над номинальной поверхностью, величина смещения  $h_i$  при контакте с обрабатываемым материалом будет разной. Сформировавшуюся картину распределения алмазных зерен по высоте можно описать, зная закон распределения алмазных зерен в статическом состоянии и используя соотношения (4) и (7).

Для алмазных зерен, геометрическая форма которых моделируется бипараболоидом вращения, ширина сечения среза в зависимости от расстояния до вершины зерна определяется зависимостью:

$$\Delta b = 4^{n-1} \frac{a}{l^n} h^n, \quad (8)$$

где  $h$  - расстояние от вершины зерна;

$n$  - постоянная величина, зависящая от габаритного размера модели абразивного зерна.

С учетом изложенного суммарная величина сечения среза на каждом интервале, начиная от наиболее выступающего зерна на участке шлифовального круга, последним контактирующим с обрабатываемой поверхностью, будет определяться зависимостью:

$$B_{ki} = \sum_{k=1}^m B_{k-1,i} + N_{mk} \cdot \sum_{i=1}^{kg} \Delta b(h_{i-(k-1)g}) \cdot p_{i-(k-1)g}(b) \cdot \int_{\Delta_{i-(k-1)g-1}}^{\Delta_{i-(k-1)g}} f(h) dh \quad (9)$$

$$\text{при } \frac{(k-1)R_{\max}}{m \cdot \Delta z} \leq i \leq \frac{kR_{\max}}{m \cdot \Delta z}$$

где  $f(h)$  - плотность вероятности распределения абразивных зерен по высоте рабочей поверхности эластичного шлифовального круга, деформированной в результате контакта с обрабатываемой поверхностью;

$p(b)$  - вероятность неперекрывания срезов абразивных зерен.

Расстояние до интервала, на котором суммарная ширина среза  $B_{ki} = l_{\sigma}$ , определяет параметр  $R_{\max}$  шероховатости обработанной поверхности.

### 3. Заключение.

Предложен принцип определения разновысотности вершин абразивных зерен относительно рассматриваемого сечения обработанной поверхности, учитывающий различные условия контактного взаимодействия зерен, расположенных в различных зонах шлифовального круга. Предлагаемая методика определения величины сближения поверхности шлифовального круга и обрабатываемого материала позволяет определить усилия и, соответственно, перемещение алмазных зерен в эластичной связке шлифовального круга. Полученные уравнения суммарной ширины среза позволяют выделить факторы, оказывающие наибольшее влияние на шероховатость обработанной поверхности: размер зерна абразивного круга и упругие характеристики его связки.

**Список литературы:** 1. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с. 2. Новоселов Ю.К., Кулагин С.П., Леонов С.Л. и др. Технологическое обеспечение качества изготовления деталей с износостойким покрытием. – Н-сибирск, изд-во Новосибирского университета, 1993. – 205 с. 3. Матюха П.Г., Беззубенко Н.К., Иванов Н.П. и др. Расчет высотных параметров шероховатости шлифованной поверхности // Резание и инструмент: Республ. межведомств. научн.-техн. сб. – Харьков: изд-во ХПИ.- 1984. - Вып. 32. С. 37-42. 4. Гусев В.В., Молчанов А.Д. Математическая модель формирования шероховатости поверхности конструкционной керамики при алмазном шлифовании / Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сборник научных трудов. – Донецк: - ДонНТУ, 2002. Вып. 19.- с. 50-57. 5. Филатов А. Ю., Сидорко В. И., Филатов Ю. Д. Особенности формирования макро- и микрорельефа плоских поверхностей деталей из неметаллических материалов при алмазном шлифовании // Сверхтв. материалы. — 2007. — № 6. — С. 48—57. 6. Грабченко А.И., Федорович В.А., Шахбазов Я.А., Русанов В.В. Пути повышения эффективности процесса обработки абразивными шлифовальными кругами. // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн.-техн. сборник. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2008. – Вып. 74. – С. 112-118. 7. Силовые и энергетические параметры при царапании гранита единичным алмазным зерном. Александров В.А., Мифлиг Д.М., Мельник В.А. // Сверхтвердые материалы.- 1985.- №3. – С. 52-59. 8. Кузнецов С.М., Бурман Л.Л. Упруго-пластическая деформация стекла при алмазном шлифовании // Сверхтвердые материалы 1980.- №3. – С. 42-47.

#### ***DETERMINATIONS of ROUGHNESS OF SURFACE AT TREATMENT ELASTIC POLISHING INSTRUMENT***

*Baykov A.V., Mikhaylov A.N., Bilischuk K.A. (DONNTU, Donetsk, Ukraine)*

**Abstract:** *The technique of definition of a roughness of a surface is resulted at processing by the elastic grinding tool, considering moving of diamond grain to the elastic basis.*

**Key words:** *instrument on an elastic copula, resilient moving of diamond grains, roughness of surface.*

#### ***ВИЗНАЧЕННЯ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ПРИ ОБРОБЦІ ЕЛАСТИЧНИМ ШЛІФУВАЛЬНИМ ІНСТРУМЕНТОМ***

*Байков А.В., Михайлов О.М., Біліщук К.О. (ДонНТУ, м. Донецьк, Україна)*

**Анотація.** *Запропоновано методику розрахунку параметрів шорсткості поверхні після алмазного шліфування інструментом на еластичному зв'язуванні враховуюче переміщення алмазних зерен у пружній основі під дією сил різання.*

**Ключові слова:** *інструмент на еластичному зв'язуванні, пружне переміщення алмазних зерен, шорсткість поверхні.*

Надійшла до редколегії 20.06.2011 р.