

УДК 621.9.015

АЛГОРИТМ РЕАЛИЗАЦИИ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Саркиц М.С., Полтавец В.В.

Донецкий национальный технический университет
кафедра мехатронных систем машиностроительного оборудования

E-mail: sarkic_mariya@mail.ru

Аннотация

Саркиц М.С., Полтавец В.В. Алгоритм реализации аналитической модели формирования высотных параметров шероховатости обработанной поверхности при шлифовании. Описан алгоритм расчёта высотных параметров шероховатости шлифованной поверхности на основе использования аналитической модели формирования параметров шероховатости. В использованной модели значения формируемых параметров шероховатости определяются геометрией режущей части зёрен абразивного материала. Алгоритм применим для врезном шлифовании кругами из различных материалов при условии, что в формировании шероховатости обработанной поверхности доминирует геометрический фактор.

Введение

Обеспечение заданного качества изготавливаемой продукции является важнейшей задачей промышленного производства. Одним из наиболее важных показателей качества механически обработанных деталей является высота неровностей обработанной поверхности, которую необходимо определять в зависимости от назначенных режимов обработки. Из всей совокупности нормируемых параметров шероховатости для большинства изделий машиностроительного производства и элементов машин, в первую очередь, предъявляются требования по ограничению значений высотных характеристик микронеровностей получаемых поверхностей.

В процессе шлифования шероховатость обработанной поверхности формируется в результате последовательного взаимодействия профилей рабочей поверхности шлифовального круга (РПК) в сечении плоскостью, параллельной оси круга, с профилем обрабатываемой поверхности заготовки в том же сечении. Полученные при таком взаимодействии значения параметров микронеровностей существенно зависят от геометрических параметров абразивных и алмазных зёрен, а также от кинематики процесса, определяемой в свою очередь, режимами обработки.

В настоящее время параметры шероховатости обработанной поверхности в зависимости от условий шлифования определяются по эмпирическим зависимостям [1, 2], либо рассчитываются аналитически [3].

Аналитическая модель формирования параметров шероховатости обработанной поверхности, основывающаяся, в первую очередь, на доминировании геометрического фактора, предложена в работе [4]. Она нашла экспериментальное подтверждение при обработке ряда пластичных материалов. В указанной модели значения формируемых параметров шероховатости определяются геометрией режущей части зерен абразивного материала.

В связи с этим целью данной работы является разработка алгоритма реализации аналитической модели формирования средней высоты микронеровностей обработанной поверхности при врезном шлифовании кругами из различных материалов и с различными характеристиками.

Основная часть

Составление алгоритма расчёта высотных параметров шероховатости проведём по методике, которая основывается на аналитической модели формирования параметров шероховатости обработанной поверхности из работы [4]. Эта методика основывается на следующих положениях и допущениях:

1. Расстояние между осью шлифовального круга и поверхностью обрабатываемой детали является постоянным, т.е. при формировании шероховатости технологическая система является абсолютно жесткой.

2. До начала обработки поверхность обрабатываемой детали представляет собой идеально ровную поверхность.

3. Поперечный профиль шлифованной поверхности является совокупностью следов отдельных зёрен, расположенных на участке РПК, который принимает участие в обработке данного профиля, и оставленных в рассматриваемом поперечном сечении.

4. Шероховатость обработанной поверхности формируется за один проход, то есть фактическая глубина резания t_f превышает максимальную высоту неровностей профиля R_{max} .

5. Выступы неровностей шлифованной поверхности расположены на одной линии.

6. Съём материала осуществляется непрерывными в осевом направлении сегментообразными срезами.

7. Режущий выступ зерна имеет форму конуса с закруглённой вершиной.

Тогда шероховатость шлифованной поверхности будет сформирована при перекрытии срезов, которое произойдёт при выполнении следующего условия (рис. 1):

$$\sum_{i=1}^{i=z_c} b'_i \geq B \cdot 10^3, \quad (1)$$

где z_c – количество зёрен, участвующих в формировании поперечного рельефа обработанной поверхности;

b'_i – ширина среза единичным зерном, мкм;

B – ширина шлифования, мм.

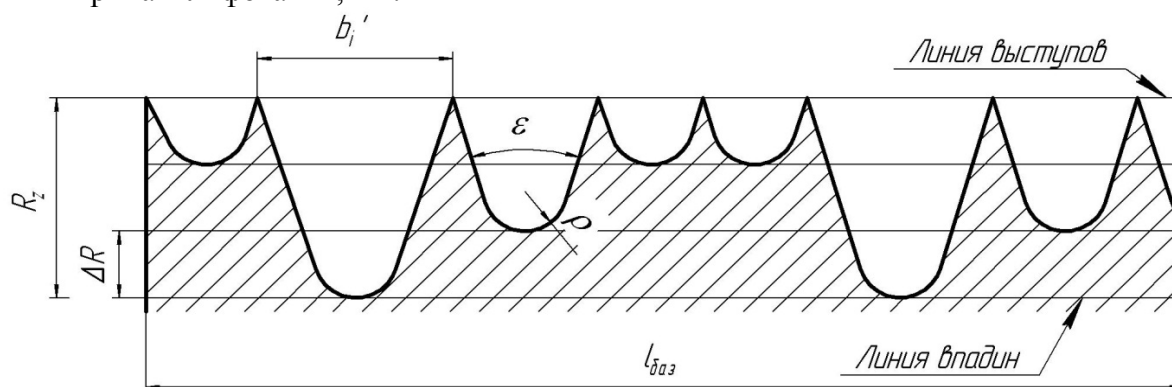


Рисунок 1 - Шероховатость обработанной поверхности, сформированная единичными непрерывными срезами

Рассмотрим последовательность обработки шлифовальным кругом рассматриваемого поперечного сечения детали (рис. 2).

Наибольшую высоту неровностей профиля R_{max} разобьем на ряд малых интервалов R , величина которых выбирается в зависимости от точности расчёта. Минимальное значение R ограничено условием, по которому в интервал должно попадать не менее одного зерна.

Рабочую поверхность круга, участвующую в формировании поперечного сечения

детали, также разобьем на ряд слоев толщиной R и определим участки слоев поверхности круга, зерна которых оставят свои следы в соответствующих интервалах сечения детали.

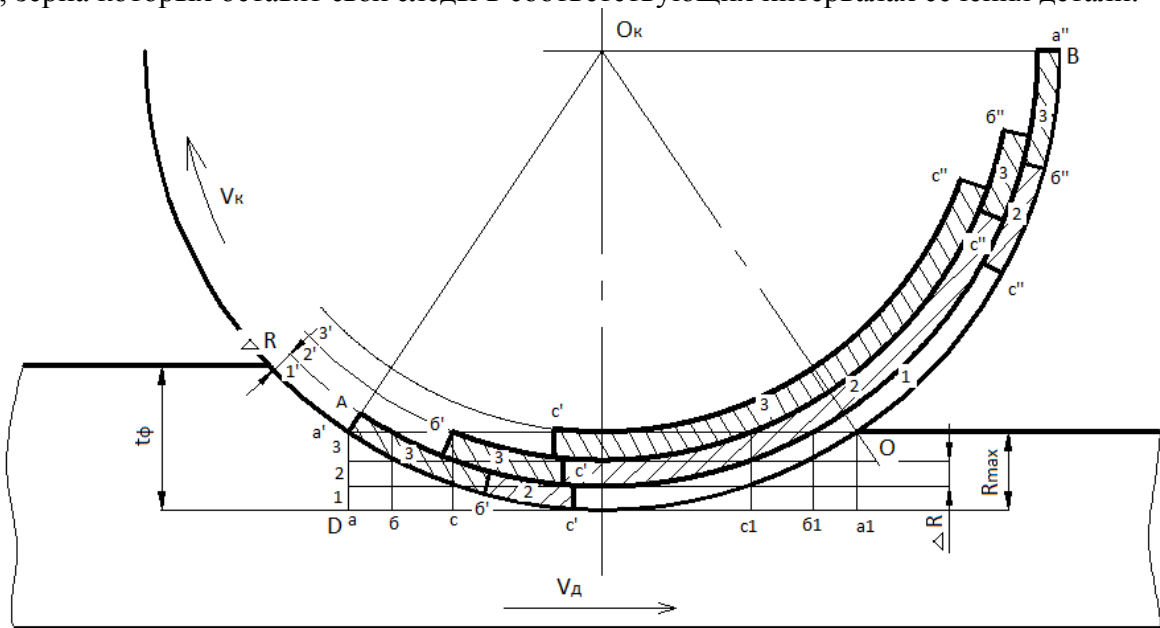


Рисунок 2 - Схема взаимодействия шлифовального круга со шлифуемой поверхностью при плоском врезном шлифовании

В общем случае в сечении АД оставят свои следы зерна, вершины которых расположены в объеме шлифовального круга $l_{\phi.ок} R_{max} l_{баз} k$.

Здесь $l_{баз}$ – базовая длина профиля сечения (см. рис. 1);

$l_{\phi.ок}$ – длина дуги контакта круга с деталью, на которой расположены зерна, формирующие профиль шероховатости;

k – коэффициент меньше единицы, который учитывает, что не все зерна более глубоких слоев на дуге контакта круга с деталью оставят следы в рассматриваемом сечении.

Глубина царапины будет зависеть не только от разновысотного положения вершины зерна на круге, но и от взаимного расположения сечения АД и этой вершины на дуге контакта круга с деталью.

Образование царапин на профиле АД высотой R_{max} начнется с момента его расположения в точке а. При перемещении сечения из точки а в точку б в работу вступят наиболее выступающие зерна, вершины которых расположены в слое 1 шлифовального круга. Зерна, расположенные в объеме $а б \times l_{баз} \times R$ оставят следы в интервале 3 сечения АД, ширина среза которых будет равна $b (R)$. При дальнейшем перемещении из точки б в точку с в работу вступят зерна, расположенные в слое 1 объемом $б с \times l_{баз} \times R$, и оставят следы в интервале 2 сечения шириной $b (2 R)$.

Кроме того, в работу вступят вершины зерен, расположенные в более глубоком слое 2 круга объемом $б с \times l_{баз} \times R$. Они оставят следы в интервале 3 детали шириной $b (R)$.

При дальнейшем перемещении сечения АД из точки с к оси круга в работу вступят зерна слоя 1 объемом $с о \times l_{баз} \times R$. Они оставят следы в интервале 1 шириной $b (3 R)$. Зерна слоя 2 объемом $с о \times l_{баз} \times R$ оставят следы в интервале 2 шириной $b (2 R)$.

В работу также вступят зерна, расположенные в слое 3 объемом $с о \times l_{баз} \times R$. Они оставят следы в интервале 3 шириной $b (R)$.

После прохождения сечением АД линии центра шлифовального круга обработка интервалов 1, 2, 3 закончится соответственно в точках $с_1$, $б_1$, $а_1$. Вследствие симметрии процесса формирования неровностей, величины объемов, в которых расположены зерна,

формирующие соответствующие участки, должны быть удвоены. Участки слоев поверхности круга, обрабатывающие соответствующие интервалы поперечного сечения АД, на рис. 2 обозначены одинаковыми цифрами.

Таким образом, последовательно, наращивая глубину шлифования на величину, кратную высоте интервала R , определим суммарную ширину срезов в интервалах сечения 1, 2, 3 и т. д. Расчёт заканчивается при выполнении условия (1).

Разновысотность зёрен алмазных кругов после электроэрозионной правки описывается распределением Вейбулла, интегральная функция распределения для которого имеет вид

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x^m}{x_0}\right), \quad (2)$$

где m, x_0 – параметры закона распределения.

Для расчёта количества зёрен, участвующих в формировании поперечного рельефа обработанной поверхности, используем модель алмазного зерна в форме шара. Исходя из этой модели, рассчитывается среднее расстояние между центрами зёрен на рабочей поверхности шлифовального круга S_{zn} .

Левую часть неравенства (1) представим как сумму произведений ширины единичных срезов на количество режущих зерен, оставивших свои следы в i -м сечении для каждого интервала расчета i , после чего неравенство (1) для плоского шлифования на ширине B примет вид [4]:

$$\frac{120 \cdot V_k}{V_d \cdot S_{zn}^2} \cdot \sqrt{2 \cdot R_k \cdot \Delta R \cdot 10^{-3}} \cdot B \times \sum_{i=1}^N F(i\Delta R) \sum_{N_1=1}^i (\sqrt{N_1} - \sqrt{N_1 - 1}) \cdot b'[(N - i - N_1 + 2) \cdot \Delta R] \geq B \cdot 10^3, \quad (3)$$

где V_k – скорость круга, м/с;

V_d – скорость детали, м/мин;

R_k – радиус шлифовального круга, мм;

N – номер исследуемого интервала;

i – номера интервалов, входящих в N , $i \in 1, 2, \dots, N$;

N_1 – участки поверхности круга, обрабатывающие i -е интервалы, $N_1 \in 1, 2, \dots, N - i + 1$;

$F(iR)$ – вероятность попадания вершин зерен в i -й интервал, определяемая с использованием интегральной функции распределения.

Так как в правой и левой частях неравенства (3) находится ширина шлифования, то после её сокращения, а также обозначения выражения

$$\frac{120 \cdot V_k}{V_d \cdot S_{zn}^2} \cdot \sqrt{2 \cdot R_k \cdot \Delta R \cdot 10^{-3}} = A,$$

неравенство (3) примет следующий вид:

$$A \cdot \sum_{i=1}^N F(i\Delta R) \sum_{N_1=1}^i (\sqrt{N_1} - \sqrt{N_1 - 1}) \cdot b'[(N - i - N_1 + 2) \cdot \Delta R] \geq 10^3. \quad (4)$$

Вероятность попадания вершин зерен в i -й интервал с использованием интегральной функции распределения Вейбулла (2) рассчитывается по формуле:

$$F(i\Delta R) = \begin{cases} 1 - \exp\left(-\frac{\Delta R^m}{X_0}\right) & \text{при } i = 1; \\ \exp\left(-\frac{(i-1) \cdot \Delta R^m}{X_0}\right) - \exp\left(-\frac{i \cdot \Delta R^m}{X_0}\right) & \text{при } i \geq 1. \end{cases}$$

Ширина единичного среза определяется по зависимостям:

$$b'[(N-i-N_1+2)\Delta R] = \begin{cases} 2 \cdot \sqrt{2 \cdot \rho [(N-i-N_1+2) \cdot \Delta R] - [(N-i-N_1+2)\Delta R]^2}, \\ \text{при } (N-i-N_1+2)\Delta R < \rho \cdot (1 - \sin \frac{\varepsilon}{2}); \\ 2 \cdot \left\{ \sqrt{2 \cdot \rho \cdot a_z^2 - a_z^2} + [(N-i-N_1+2) \cdot \Delta R - a_z] \cdot \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2} \right\}, \\ \text{при } (N-i-N_1+2)\Delta R \geq \rho \cdot (1 - \sin \frac{\varepsilon}{2}); \end{cases}$$

где a_z – толщина единичного среза сегментообразным участком режущего выступа зерна,

$$a_z = \rho \cdot \left(1 - \sin \frac{\varepsilon}{2} \right).$$

После выполнения неравенства (4) расчёт заканчивается, и величина наибольшей высоты неровностей профиля обработанной поверхности определяется из соотношения

$$R_{max} = N \cdot R,$$

где N – номер интервала, на котором закончился расчёт.

В силу принятых допущений средняя высота неровностей профиля по десяти точкам R_z равна максимальной высоте неровностей профиля R_{max} , а средняя высота неровностей профиля в пределах базовой длины R_a принимается из соотношения:

$$R_a = \frac{R_z}{4}.$$

Выводы

1. Разработан алгоритм расчёта высотных параметров шероховатости шлифованной поверхности на основе использования аналитической модели формирования параметров шероховатости.
2. В использованной при составлении алгоритма модели значения формируемых параметров шероховатости определяются геометрией режущей части зёрен абразивного материала. Соответственно, изменение вида модели и значений геометрических параметров режущей части зёрен позволяет применять алгоритм для различных абразивных материалов.
3. Алгоритм расчёта высотных параметров шероховатости обработанной поверхности применим для различных обрабатываемых материалов, у которых при формировании шероховатости доминирует геометрический фактор.

Список литературы

1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.
2. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник / Под ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с.
3. Матюха П.Г. Расчет параметров шероховатости шлифованной поверхности / П.Г. Матюха, Л.К. Терехова // Известия вузов. Сер. Машиностроение. – 1982 – Вып. 10. – С. 101-105.
4. Матюха П.Г. Теоретические и экспериментальные исследования кинематики процесса и рельефа круга при алмазно-искровом шлифовании: Дис.... канд. техн. наук: 05.03.01 / Матюха Петр Григорьевич. – Донецк, 1979. – 230 с.