

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ АБРАЗИВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ ИЗ СВС МАТЕРИАЛОВ

© 2021 Н.В. Носов, Р.Г. Гришин, Р.В. Ладыгин, Я.М. Гордиенко, И.М. Сальников

Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 10.06.2021

В статье были проведены исследования шероховатости поверхности при шлифовании абразивным инструментом из СВС материалов. Исследования показали, что шероховатость поверхности при шлифовании кругами из СВС КР увеличивается пропорционально повышению радиуса закругления вершины зерна, врезной подачи и обратно пропорционально скорости вращения круга и заготовки, а также твердости обрабатываемого материала

Ключевые слова: абразивный инструмент, шероховатость, твердость, вершина зерна, СВС материалы.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-3-73-76

ВВЕДЕНИЕ

Большую роль в образовании шероховатости при шлифовании оказывает пластическая деформация зерен.

Влияние пластической деформации металла на высоту неровностей занимался Филимонов [1]. В зависимости от марки обрабатываемого материала, радиуса округления вершин зёрен и толщина срезаемого слоя a_z наплывы увеличивают шероховатость поверхности на 20-80%. Автор определял шероховатость обработанной поверхности, через определение величины a_z для различных условий шлифования

$$R_z = C_z \cdot a_z + h_H, \quad (1)$$

где C_z – коэффициент пропорциональности.

Эта зависимость более приемлема для инженерных расчетов. В тоже время, если принять, что рабочая поверхность круга обладает свойствами эргодичности, то через определенное число наложений возникает равновесный эффективный профиль высотой a_z , тогда $C_z = 1$

Таким образом, образование наплывов при шлифовании за счет работы деформирующих зёрен неизбежно. Для определения максималь-

Носов Николай Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты».

Гришин Роман Георгиевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология машиностроения, станки и инструменты».

E-mail: tmsi@samgtu.ru

Ладыгин Роман Владимирович, старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты».

Гордиенко Ярослав Михайлович, аспирант кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты».

Сальников Игорь Михайлович, магистр кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты».

ной высоты наплывов сравним площадь стружечной канавки $F_{стр}$ и площадь наплывов F_H . Площадь стружечной канавки $F_{стр} = b_z \cdot a_z$ где b_z – ширина срезаемой стружки. По данным [1] ширина b_z связана с глубиной врезания a_z параболической зависимостью $b_z = 2\sqrt{2\rho_3 \cdot a_z}$, тогда $F_{стр} = 2a_z \cdot \sqrt{2\rho_3 \cdot a_z}$.

В то же время, если стружка не срезалась при работе зерна, то эта площадь перераспределялась в наплывы, образовавшиеся по сторонам риски.

Для простоты примем, что такой наплыв имеет форму полукруга, тогда

$$\frac{F_H}{2} = \frac{\pi \cdot h_H^2}{8} \quad \text{или} \quad F_H = \frac{\pi \cdot h_H^2}{4}.$$

Приравняем площади $F_{стр} \approx F_H$ и выразим максимальную высоту наплыва

$$h_{H \max} = \sqrt{\frac{8}{\pi} \cdot a_z \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_3 \cdot a_z}}. \quad (2)$$

Расчеты по формуле (2) показывают, что $h_{H \max}$ всегда больше a_z . Так, например, при $a_z = 0.002$ мм и $\rho_3 = 0.02$ мм, $h_{H \max} = 0.0067$ мм, т.е. $R_{z \max} = 0.002 + 0.0067 = 0.0087$ мм или $R_{a \max} \approx 2.0$ мкм. В реальных процессах, когда образуется стружка высота наплывов всегда меньше $h_{H \max}$, т.к. часть объема металла удаляется с поверхности заготовки.

Таким образом, с учетом образования наплывов при шлифовании величина R_z будет рассчитываться по следующей формуле

$$R_z = a_z + h_{H \max} (\epsilon_{H.0} - C_H \cdot V_K), \quad (3)$$

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для получения количественных зависимостей влияния процесса шлифования на величину

ну a_z используем схему прерывистого микрорезания единичным зерном в условиях круглого наружного и плоского шлифования периферией или торцем круга. При этом определялась толщина срезаемого слоя a_z в зависимости от продольной подачи на один оборот диска S_z глубины резания t_u и диаметра диска D . Получена эмпирическая зависимость по определению величины a_z для продольного сечения среза в виде запятой [2]

Сравнение расчетов по произведенным формулам показывает значительный разброс величины a_z . Анализ схем стружкообразования и экспериментальные замеры a_z позволили автору рекомендовать, в качестве наиболее близкого к фактической форме среза, расчеты по формуле (5).

Таким образом, существует ряд зависимостей по расчету величины a_z , которые можно объединить по двум существенным признакам. Первый блок формул [2, 3 и др.] связывает a_z с кинематикой процесса шлифования, второй [4, 5 и др.] учитывает физические основы процесса резания: скорость деформации, геометрические параметры режущих кромок и т.д., что, наш взгляд, более существенно. При этом величина срезаемого единичным зерном слоя есть величина постоянная, что подтверждается работами Н.И. Богомолова. Автором [6] установлена зависимость, связывающая коэффициент

шлифования $K_{ш} = \frac{P_y}{P_z}$, где P_y и P_z – соответственно нормальная и тангенциальная составляющие силы резания с отношением $\frac{a}{\rho}$ при

шлифовании закаленных сталей с $V_k > 20$ м/с кругом после правки

$$K_{ш} = (3...5) - 10 \cdot \frac{a}{\rho}. \quad (4)$$

Анализ формулы (5.19) показывает, что при равных значениях $\frac{a}{\rho}$ будут наблюдаться при-

мерно одинаковые коэффициенты шлифования, что установил и А.В. Якимов [7]. Так, по его данным, для $\epsilon_{кр} = 0.04...0.08$, коэффициент шлифования будет колебаться от 2,6 до 2,2, что подтверждается результатами многочисленных экспериментальных исследований [8], из которых следует $K_{ш} = 1.7...3$.

Найдем величины a_z через относительную критическую глубину внедрения зерен из формулы (2.142) с учетом заданной глубины резания t .

$$a_z = \frac{p^{0.7} \cdot t}{0.023 \cdot V_k^{0.53} (1 - \sin \gamma_k)}, \quad (5)$$

где t – глубина резания при шлифовании с продольной подачей, при шлифовании с врезной подачей $t = \frac{S_r}{n}$, где n – число оборотов заготов-

ки об/мин; $\gamma_k = (-60^\circ)...(-80^\circ)$ – для условий чистового и получистового шлифования.

Подставив найденное значение a_z в формулу (5) можно определить величину R_z . Предложенные формулы по расчету R_z не исключают применение эмпирических зависимостей, связывающие шероховатость поверхности с режимами и условиями обработки, а лишь дополняет их. Данными расчетами можно пользоваться при обосновании выбора оптимальных характеристик АИ при минимально необходимых режимных параметрах.

Рассмотрим порядок определения шероховатости при внутреннем врезном шлифовании заготовки $\varnothing 75$ из Ст.40Х HRC 55 абразивным кругом ПП 63х16х40 СВС КР 25 СМ1 6 К5 при скорости резания 40 м/с и $Q_{уд} = 100$ мм²/мин.

1. Задаемся скоростью вращения заготовки из условия $\frac{V_k}{V_1} = 50$, т.е. $V_1 = 48$ м/мин, что со-

$$\text{ответствует } n = \frac{1000 \cdot V_1}{\pi \cdot d_3} = \frac{1000 \cdot 48}{\pi \cdot 75} = 200$$

об/мин. Тогда подача на врезание будет равна

$$S_2 = \frac{Q_{уд} \cdot n}{V_1 \cdot 1000} = \frac{100 \cdot 200}{48 \cdot 1000} = 0.42 \text{ мм/мин.}$$

2. Для зернистости 25 СВС КР определяем радиус вершины зерна при $\epsilon_{ср} = 98^\circ$.

$$\rho = 0.13 \cdot \frac{d_0}{2} \cdot \text{tg} \frac{\epsilon_{ср}}{2} = 0.13 \cdot \frac{0.265}{2} \cdot \text{tg} 49 \approx 0.02 \text{ мм.}$$

3. Пользуясь формулой (5.20), находим величину a_z при $\gamma_k = -70^\circ$

$$a_z = \frac{0.02^{0.7} \cdot 0.42}{0.023 \cdot (40 \cdot 60)^{0.53} [1 - \sin(-70^\circ)]} \cdot 200 = 0.0016 \text{ мм.}$$

4. Определим высоту наплывов при $HV_M = 630$.

$$h = h_{\max} \cdot \epsilon = \sqrt{\frac{8}{\pi} \cdot 0.0016 \sqrt{2 \cdot 0.02 \cdot 0.0016} \cdot \left(\frac{1220 - 630}{1220} - 0.0025 \cdot 40 \right)} = 0.0021 \text{ мм.}$$

5. Подставим полученные значения в формулу (5.10)

$$R_z = 0.0016 + 0.0021 = 0.0037 \text{ мм или } R_a = 0.92 \text{ мкм.}$$

Для того, чтобы учесть влияние продольной подачи S_1 , можно воспользоваться формулой Е.Н. Маслова [3]

$$R_z = R_{z_1} \cdot \epsilon \left(\frac{B}{S_1 - 1} \right),$$

где R_{z1} – величина шероховатости, полученная при шлифовании без продольной подачи, ε – коэффициент, учитывающий уменьшение шероховатости ($\varepsilon = 0,75$); B – ширина круга, мм, S_1 – продольная подача в долях ширины круга на 1 оборот заготовки. При $S_1 = B$ величина $R_z = R_{z1}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для подтверждения теоретических предположений формирования шероховатости обработанной поверхности были проведены исследования влияния характеристик АИ на величину R_a при внутреннем шлифовании сталей. Исследования показали, что большое влияние на среднее арифметическое отклонение профиля поверхности оказывает зернистость абразивного круга.

С увеличением размера зерна d_0 величина R_a повышается. Это связано с тем, что увеличение радиуса закругления вершины зерна ρ требует также увеличить относительную критическую глубину внедрения зерна $\varepsilon_{кр}$. Теоретические исследования показали, что при заданных условиях и режимах шлифования величина R_a при обработке, например, ст.ШХ-15 АК из СВС КР с увеличением зернистости от 6 до 40 растёт от $R_a = 0,45$ мкм до $R_a = 1,6$ мкм. Сравнивая расчеты по формуле (5.20) с экспериментальными данными видим, что расхождение значений не превосходит 20%. Уменьшение твердости стали с HRC 64 до HRC 59 повышает шероховатость на 14 - 26%. С увеличением твердости круга величина R_a снижается для всех характеристик АИ и не зависит от марки абразивного материала. Это связано с тем, что увеличивается количество связки для более твердых кругов и уменьшается микротвердость абразивного круга H_{μ_a} , с $H_{\mu_a} = 20$ ГПа (твердость М3) до $H_{\mu_a} = 18$ ГПа (твердость СТ1), т.е. снижается режущая способность кругов, за счет уменьшения величины a_z . Сравнение работоспособности АИ с разными марками абразивного материала показывает, что при обработке кругами из СВС корунда шероховатость поверхности снижается для кругов зернистостью меньше 16, т.к. СВС КР имеют радиус закругления зёрен от 6 до 16 зернистости больше, чем у обычных абразивов 91А и 24А. В тоже время для кругов зернистости больше 25 наблюдается некоторое увеличение параметра R_a . Данная тенденция сохраняется и при обработке кругами разной твердости. Следует отметить, что разброс средних значений шероховатости для разных марок абразивных кругов незначительный и составляет не более 25-30%.

Таким образом, исследования показали, что шероховатость поверхности при шлифовании кругами из СВС КР увеличивается пропорционально повышению радиуса закругле-

ния вершины зерна, врезной подачи и обратно пропорционально скорости вращения круга и заготовки, а также твердости обрабатываемого материала. Кроме этого на величину R_a оказывают влияние и другие факторы, которые не учитываются при расчете.

ВЫВОДЫ

Таким образом, теоретико-экспериментальные исследования шероховатости поверхности позволили сделать следующие выводы:

1. Анализ существующих подходов к расчету высоты микронеровностей обработанной поверхности при шлифовании показывает, что наиболее приемлемым является модель, предложенная Л.Н. Филимоновым, в которой учитывается глубина срезаемого единичным зерном слоя и величина наплывов. В этом случае величина a_z рассчитывается.

2. Экспериментальные исследования шероховатости поверхности показали, что с увеличением зернистости АИ из СВС КР в 4 раза величина R_a повышается в 3 раза, а с увеличением твердости круга уменьшается. При этом экспериментальные данные коррелируются с расчетами.

3. После обработки экспериментальных данных получена эмпирическая зависимость (форм. 5.22), которая подтверждает результаты расчета, однако количественно величина шероховатости на 10-20% ниже расчетных и опытных данных.

4. Сравнение шероховатости обработанной поверхности АИ из СВС КР с другими абразивными материалами (91А и 24А) показывает, что для зернистости от 6 до 16 она меньше на 10-15%, а для 25 до 40 больше. Это связано, с одной стороны, с тем, шлифпорошки СВС КР имеют более округлую форму, чем шлифзерна, а с другой более развитый микрорельеф поверхности зерна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Филимонов Л.Н.* Высокоскоростное шлифование. – Л.: Машиностроение, 1979. – 248 с.
2. *Лурье Г.Б.* Шлифование металлов. – М.: Машиностроение, 1969. – 172 с.
3. *Маслов Е.Н.* Теория шлифования металлов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
4. *Островский В.И., Савицкая Б.Г.* Пространственная кинематика - геометрическая модель стружкообразования при шлифовании // Современные способы повышения качества абразивно-алмазной и упр. обработки. – Пермь, 1985. – С.3 - 10.
5. *Филимонов Л.Н.* Плоское шлифование. – Л.: Машиностроение, 1985. – 109 с.
6. *Богомолов Н.И.* Исследование прочности абразивных зерен в процессе микрорезания // Заводская лаборатория. – 1966. №3. – С. 353 - 354.
7. *Якимов А.В.* Оптимизация процесса шлифования.

– М.: Машиностроение, 1975. – 176 с.
8. Корчак С.Н. Прогрессивная технология и автома-

тизация круглого шлифования. – М.: Машино-
строение, 1968. – 108 с.

**PROCEDURE FOR CALCULATING THE SURFACE ROUGHNESS
DURING GRINDING WITH AN ABRASIVE TOOL MADE OF SHS MATERIALS**

© 2021 N.V. Nosov, R.G. Grishin, R.V. Ladyagin, Ya.M. Gordienko, I.M. Salnikov

Samara State Technical University, Samara, Russia

In the article, studies of the surface roughness during grinding with an abrasive tool made of SHS materials were carried out. Studies have shown that the surface roughness when grinding with SHS KR wheels increases in proportion to the increase in the radius of rounding of the grain top, plunge feed and inversely proportional to the speed of rotation of the wheel and workpiece, as well as the hardness of the material being processed.

Key words: abrasive tool, roughness, hardness, grain top, SHS materials.

DOI: 10.37313 / 1990-5378-2021-23-3-73-76

Nikolay Nosov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mechanical Engineering, Machine Tools and Tools.

Roman Grishin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering, Machine Tools and Tools.

E-mail: tmsi@samgtu.ru

Roman Ladyagin, Senior Lecturer of the Department of Mechanical Engineering, Machine Tools and Tools.

Yaroslav Gordienko, Postgraduate Student of the Department of Mechanical Engineering, Machine Tools and Tools.

Igor Salnikov, master of the Department of Mechanical Engineering, Machine Tools and Tools.