

УДК 621.923

В. Г. ШКУРУПІЙ, канд. техн. наук, ХНЭУ;
Ф. В. НОВИКОВ, докт. техн. наук, ХНЭУ;
А. Г. КРЮК, канд. техн. наук, ХНЭУ, Харьков

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЗЕРНИСТОСТИ АБРАЗИВА НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

В работе с позиции теории вероятностей получены аналитические зависимости для определения параметров шероховатости поверхности при абразивной обработке, рассматривая режущие зерна в форме сферы. Произведена оценка влияния зернистости абразивных зерен на шероховатость поверхности. Теоретически установлено, что с уменьшением зернистости абразивного порошка параметры шероховатости поверхности уменьшаются фактически по линейной зависимости. Это указывает на возможность фактически неограниченного уменьшения шероховатости поверхности с уменьшением зернистости абразивного порошка. Установлено также существенное влияние скорости радиальной подачи на шероховатость поверхности.

Ключевые слова: абразивная обработка, абразивное зерно, зернистость, шероховатость поверхности, скорость радиальной подачи.

Введение. Как известно, шероховатость поверхности при обработке свободным абразивом зависит в основном от зернистости абразива: чем она меньше, тем меньше высота образующихся микронеровностей на обрабатываемой поверхности. Этим обусловлено широкое применение абразивной обработки на финишных операциях с целью достижения высоких показателей шероховатости поверхности. Однако при этом важно знать предельные возможности уменьшения высоты микронеровностей на обрабатываемой поверхности с уменьшением зернистости абразива, т.е., по сути, границы применимости методов обработки свободным абразивом, что требует проведения дальнейших исследований.

Анализ последних достижений и литературы. В работах [1 – 3] предложен теоретико-вероятностный подход к математическому описанию параметров шероховатости поверхности при абразивной обработке. Получены зависимости для определения параметров шероховатости поверхности при обработке свободным абразивом, однако в них отсутствует зернистость абразива, что не позволяет выявить и обосновать условия уменьшения шероховатости поверхности. В связи с этим, представляется актуальной задача разработки новой математической модели определения параметров шероховатости поверхности с позиции теории вероятностей с учетом зернистости абразива.

Цель работы, постановка проблемы. Целью работы является теоретическое определение условий уменьшения шероховатости поверхности при абразивной обработке с учетом зернистости абразива.

Матеріали дослідження. Як показує практика абразивного полірування, зернистість зерен оказує домінуюче впливання на шероховатість поверхності. Поэтому важно оценить роль зернистости зерен в формировании шероховатости поверхности. Для этого необходимо моделировать абразивные зерна в форме сферы. Тогда профиль проекции зерна на плоскость обрабатываемого образца будет описываться окружностью с радиусом R , уравнение которой в системе координат $x'o'y'$ имеет вид: $x'^2 + y'^2 = R^2$. Длина проекции зерна равна: $2x' = 2 \cdot \sqrt{R^2 - y'^2}$. Соответственно элементарная функция $\Phi_i(y')$, определяющая вероятность неуглубленного с обрабатываемой поверхности металла (оставшегося в виде микронеровностей)

описується (рис. 1) [4]: $\Phi_i(y') = 1 - \frac{2 \cdot \sqrt{R^2 - y'^2}}{B}$; $\Phi_i(y) = 1 - \frac{2 \cdot R \cdot \sqrt{1 - \left(1 - \frac{y}{R}\right)^2}}{B}$, заміняючи y' на $y = R - y'$.

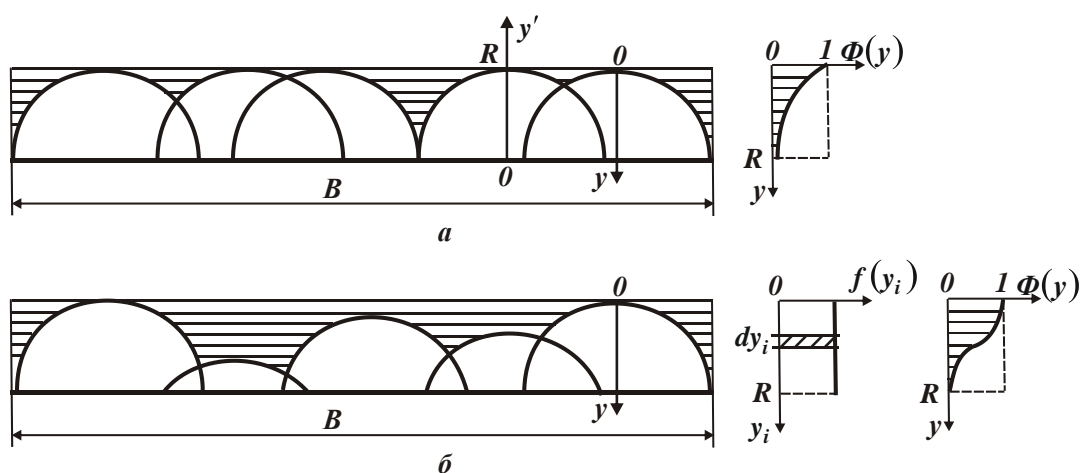


Рис. 1 – Схеми наложения проекций зерен на плоскость обрабатываемого образца при скорости радиальной подачи: а – при $S_{rad}=0$ и б – при $S_{rad}>0$

Суммарная вероятностная функция $\Phi(y)$ описується залежністю [4]:

$$\Phi(y) = \prod_{i=1}^n \Phi_i(y) = \left[1 - \frac{2 \cdot R \cdot \sqrt{1 - \left(1 - \frac{y}{R}\right)^2}}{B} \right]^n = e^{-\frac{2 \cdot R \cdot n}{B} \cdot \sqrt{1 - \left(1 - \frac{y}{R}\right)^2}} = e^{-N \cdot \sqrt{1 - \left(1 - \frac{y}{R}\right)^2}}, \quad (1)$$

где $N = \frac{2 \cdot R \cdot n}{B}$ – число, определяющее во сколько раз суммарная длина оснований проекций n зерен на вертикальную плоскость $2 \cdot R \cdot n$ будет больше ширины обрабатываемого образца B на уровне $y = R$.

Расчетами установлено, что с увеличением величины y/R функция $\Phi(y)$ уменьшается тем интенсивнее, чем больше число N (рис. 2).

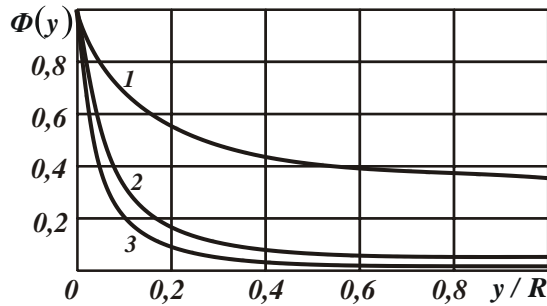


Рис. 2 – Функция $\Phi(y)$ для различных значений N : 1 – $N=1$; 2 – $N=3$; 3 – $N=4$

Положение средней линии $y = a$, которая разделяет микропрофиль обработанной поверхности на две части таким образом, что заштрихованные на рис. 4 площади F_1 и F_2 равны между собой, определяется зависимостью [4]:

$$a = \int_0^{R_{max}} \Phi(y) \cdot dy = \int_0^{R_{max}} e^{-\frac{2 \cdot R \cdot n}{B} \cdot \sqrt{1 - \left(1 - \frac{y}{R}\right)^2}} \cdot dy. \quad (2)$$

Наибольшая впадина микропрофиля соответствует $y=0$, а наибольший выступ микропрофиля – $y=R_{max}$. Параметр шероховатости поверхности R_a (рис. 3) определяется:

$$R_a = 2 \cdot \int_a^{R_{max}} \Phi(y) \cdot dy = 2 \cdot \int_a^{R_{max}} e^{-\frac{2 \cdot R \cdot n}{B} \cdot \sqrt{1 - \left(1 - \frac{y}{R}\right)^2}} \cdot dy. \quad (3)$$

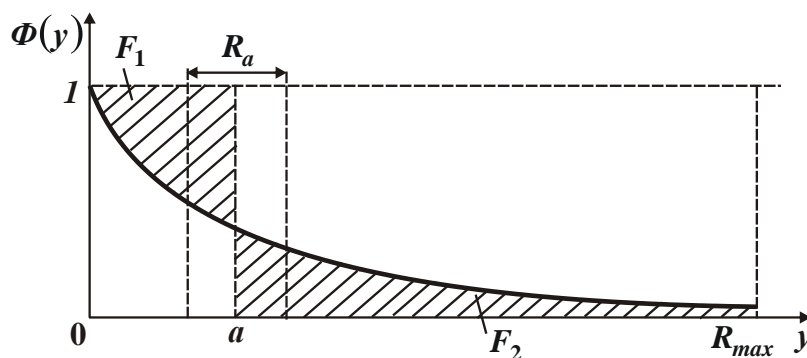


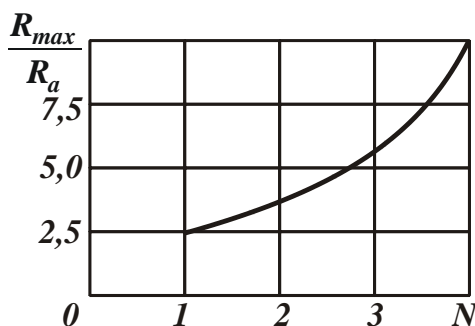
Рис. 3 – Расчетная схема параметра шероховатости поверхности R_a .

Однако, вычислить интегралы (2) и (3) сложно. Поэтому расчет параметров a и R_a следует произвести численным методом с учетом того, что параметр a определяется из условия равенства площадей $F_1 = F_2$ (рис. 3), а параметр R_a определяется зависимостью $R_a = 2 \cdot F_2$, где $F_2 = \int_a^{R_{max}} \Phi(y) \cdot dy$. Отсчет площади F_1 следует производить в направлении оси ou (рис. 3), а площади F_2 – в обратном направлении, начиная с $y/R_{max}=1$. Площади F_1 и F_2 необходимо определять по зависимостям: $F_1 = \sum_{i=1}^{10} [1 - \Phi_i(y)] \cdot \Delta y$; $F_2 = \sum_{j=1}^{10} \Phi_j(y) \cdot \Delta y$, где $\Delta y = 0,1 \cdot R$ – интервал разбиения по координате y ; $j = 10 - i$ – количество разбиений; значения функции $\Phi_i(y)$ принимаются из рис. 2.

Результаты исследований. Расчетами установлено, что с увеличением N отношения a/R и R_a/R уменьшаются (табл.), что связано с увеличением количества абразивных зерен, участвующих в формировании шероховатости поверхности. С увеличением N отношение R_{max}/R_a (принимая $R = R_{max}$) увеличивается, рис. 4. Традиционные для абразивной обработки значения $R_{max}/R_a = 4 \dots 6$ достигаются при $N = 2 \dots 3$.

Таблица. Расчетные значения a/R и R_a/R

N	1	3	4
a/R	0,45	0,15	0,05
R_a/R	0,4	0,18	0,1

Рис. 4 – Зависимость R_{max}/R_a от N

Расчетами установлено, что при $N=4$ параметр R_a в 20 раз меньше зернистости абразива D : при $D=1$ мкм можно обеспечить $R_a=0,05$ мкм. Однако, на параметр R_a оказывает влияние скорость радиальной подачи $S_{рад}$. Поэтому важно ее учесть в расчетах, условно рассматривая разновысотное

расположение вершин зерен с учетом функции $\Phi_i(y) = 1 - \frac{2 \cdot R \cdot \sqrt{1 - \frac{[R - (y - y_i)]^2}{R^2}}}{B}$, где y_i – координата вершины зерна ($0 \dots y$). Тогда суммарная вероятностная функция $\Phi(y)$ с учетом $dn_i = n \cdot f(y_i) \cdot dy_i$; $f(y_i) = 1/R$ определится:

$$\Phi(y) = \prod_{i=1}^n \Phi_i(y) = e^{-\frac{2 \cdot R}{B} \cdot \sum_{i=1}^n \sqrt{1 - \frac{[R - (y - y_i)]^2}{R^2}} \cdot dn_i} = e^{-\frac{N}{2} \left[\arccos\left(1 - \frac{y}{R}\right) - \left(1 - \frac{y}{R}\right) \cdot \sqrt{1 - \left(1 - \frac{y}{R}\right)^2} \right]}. \quad (4)$$

Как следует из рис. 5, функция $\Phi(y)$ с увеличением величины y/R уменьшается, принимая большие значения по сравнению со значениями, полученными для $S_{\text{рад}}=0$. Этим показано, что наличие радиальной подачи увеличивает значения $\Phi(y)$ и увеличивает параметры шероховатости поверхности.

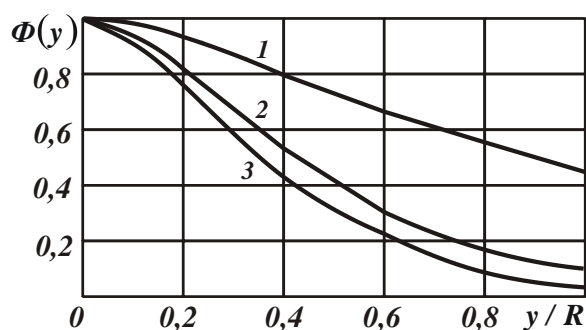


Рис. 5 – Функция $\Phi(y)$ для различных значений N : 1 – $N=1$; 2 – $N=3$; 3 – $N=4$

Установлено, что при моделировании абразивных зерен в виде сферы параметры шероховатости поверхности принимают меньшие значения по сравнению со случаем, когда абразивные зерна моделируются в виде конуса. Это приближает расчетные данные к практическим данным.

Выводы. В работе с позиции теории вероятностей получены аналитические зависимости для определения параметров шероховатости поверхности при абразивной обработке, рассматривая режущие зерна в форме сферы. Произведена оценка влияния зернистости зерен на шероховатость поверхности. Теоретически установлено, что с уменьшением зернистости абразива параметры шероховатости поверхности уменьшаются фактически по линейной зависимости.

Список литературы: 1. Королев А.А. Современная технология формообразующего суперфиниширования поверхностей деталей сложного профиля / А.А. Королев. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2001. – 156 с. 2. Королев А.А. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке / А.А. Королев. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1975.

– 212 с. **3.** Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новоселов. – Саратов, 1979. – 232 с. **4.** Новіков Ф.В. Математична модель визначення шорсткості поверхні при абразивній обробці / Ф.В. Новіков, В.В. Нежебовський, В.Г. Шкурупій // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 5 (979). – С. 199-210.

Bibliography (transliterated): **1.** Korolev A.A. Sovremennaya tekhnologiya formoobrazuyushego superfinishirovaniya poverkhnostey detaley slozhnogo profilya A.A. Korolev. – Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t, 2001. – 156 p. **2.** Korolev A.A. Issledovanie protsessov obrazovaniya poverkhnostey instrumenta i detali pri abrazivnoy obrabotke A.A. Korolev. – Saratov: Sarat. un-t, 1975. – 212 p. **3.** Novoselov Y.K. Dinamika formoobrazovaniya poverkhnostey pri abrazivnoy obrabotke Y.K. Novoselov. – Saratov: Sarat. un-t, 1979. – 232 p. **4.** Novikov F.V. Matematichna model vyznachennia shorstkosti poverkhni pry abrazivniy obrobtsti F.V. Novikov, V.V. Nezhebovskiy, V.G. Shkurupiy Visnyk NTU «KhPI». Zbirnyk naukovykh prats. Seriya: Matematychnе modeliuвання v tekhnitsi ta tekhnologiyakh. – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2013. – No 5 (979). – P. 199–210.

Поступила (recieved) 23.10.2014