

УДК 621.923

А.Н. ШЕЛКОВОЙ, докт. техн. наук, проф. НТУ «ХПІ»;
Ю.К. НОВОСЁЛОВ, докт. техн. наук, проф. СевНТУ, Севастополь;
Л.Б. ШРОН, канд. техн. наук, доц. СевНТУ, Севастополь;
В.Б. БОГУЦКИЙ, ст. преподаватель, СевНТУ, Севастополь.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ КРУГЛОМ НАРУЖНОМ ШЛИФОВАНИИ

В статье приведена методика расчета параметров шероховатости поверхности для условий круглого наружного шлифования. Выполнен анализ связи параметров поверхности детали после шлифования с характеристиками элементов технологической системы.

Ключевые слова: шлифование, шероховатость поверхности, шлифовальный круг, зерно, сьем металла, расчетная модель.

Основными параметрами качества обрабатываемой поверхности являются ее шероховатость и глубина дефектного слоя. По ГОСТ 2789-73 регламентируются следующие высотные параметры шероховатости: R_a , R_z , R_{max} . Обычно определение этих параметров сводится к табулированию профилограмм и дальнейшим вычислениям по таблицам, например, с помощью ЭВМ.

Процессы шлифования имеют сложную стохастическую природу, что приводит к разбросу показателей качества изделий и не позволяет использовать все возможности финишных методов. Микрорельеф шлифованной поверхности представляет собой совокупность отображений в материале заготовки поверхностей резания, образованных при движении режущих кромок инструмента в пространстве обрабатываемой заготовки. Форма единичных рисок определяется формой режущих кромок, особенностями контакта с материалом поверхности.

Аналитические зависимости для определения важнейших параметров шероховатости поверхности при условии, что случайный процесс, описывающий ординаты, является стационарным и нормальным, получены в работах Ю.Р. Витенберга, А.П. Хусу, Ю.В. Линника и ряда других исследователей. Параметры шероховатости вычислены по корреляционным функциям. Вид функции принимается известным, а её коэффициенты определяются на основе экспериментальных исследований процесса шлифования.

Основы прогнозирования важнейших параметров шероховатости поверхности по технологическим факторам рассмотрены в работах [5,9]. Известные зависимости с учетом влияние на неровности процессов, возникающих в динамической системе, существенно уточнены в работе [9], где расчет параметров шероховатости выполнен на основе функционалов, полученных при теоретическом анализе процессов формообразования поверхностей.

1. Среднее арифметическое отклонение профиля R_a вычисляется:

$$R_a = \frac{\sqrt{2}V_u H_u^{3/2}}{\pi^2 K_c (V_k \pm V_u) n_g \sqrt{D_3 \rho_g} \sum_{i=0}^n (W_m - i\Delta r)^{3/2}} \quad \text{при } \Delta r < W_m; \quad (1)$$

$$R_a = \frac{0,25V_u^{0,4} t_f^{0,6}}{K_c^{0,4} (V_k \pm V_u)^{0,4} n_g^{0,4} D_3^{0,2} \rho_g^{0,2}} \quad \text{при } \Delta r \geq W_m. \quad (2)$$

где W_m – расстояние от наиболее глубокой впадины до средней линии профиля вычисляется из условия $y_m = 0$, $P(M) = 0,5$, $G_k \sum_{i=0}^n (W_m - i\Delta r)^v - \ln 2 = 0$.

При величине радиального съема металла $\Delta r \geq W_m$ $W_m = \left(\frac{\ln 2}{G_k} \right)^{1/v}$,

$$\text{где } G_k = \frac{\sqrt{\pi D_3} \Gamma(m+1) \Gamma(\chi) \chi K_c C_b (V_k \pm V_u) n_g}{\Gamma(m + \chi + 3/2) V_u H_u^{\chi}} \quad (3)$$

при частных значениях $m = 0,5$, $\chi = 1,5$ зависимость (3) принимает вид:

$$G_k = \frac{0,598 \sqrt{\pi \rho_g D_3} K_c (V_k \pm V_u) n_g}{V_u H_u^{1,5}} \quad (4)$$

$$\Delta r = \frac{t_f^2}{1,478 t_f + \frac{13,66 V_u}{K_c (V_k \pm V_u) n_g \sqrt{D_3 \rho_g}}}; \quad (5)$$

$$t_f = 0,739 \Delta r + \sqrt{0,546 (\Delta r)^2 + \frac{13,66 V_u \Delta r}{K_c (V_k \pm V_u) n_g \sqrt{D_3 \rho_g}}}; \quad (6)$$

где в формулах (1), (2), (3), (4), (5), (6): K_c – коэффициент стружкообразования (он показывает, что не весь материал удаляется из объема риски, а часть его вытесняется и образует по краям риски навалы); n_g – количество вершин зерен на единицу поверхности рабочего слоя круга; H_u – величина слоя рабочей поверхности круга по глубине, в пределах которого подсчитывается число абразивных зерен n_g ; $P(M)$ – вероятность удаления металла; m и χ – показатели степенной зависимости; ρ_g – радиус округления при вершине зерна; V_k – скорость круга; V_u – скорость детали; D_3 – эквивалентный диаметр; Δr – радиальный съем материала.

Уравнения (1) и (2) по своей структуре и величине показателей степени

близко к имеющимся в литературе степенным зависимостям, но в отличие от них отражает физическую природу процесса формообразования и соответствуют теории размерностей.

2. Наибольшая высота неровностей профиля R_{\max} и высота неровностей профиля по десяти точкам R_z . Рассчитываются по величине слоя, в котором распределена шероховатость поверхности, и математическим ожиданиям расстояний от верхней границы слоя до пяти высших точек профиля и расстояний от нижней границы слоя до пяти низших точек профиля. Для стационарного процесса, близкого к нормальному, можно считать, что расстояния от верхней границы слоя шероховатости до наиболее выступающих вершин профиля распределены по законам, аналогичным распределению расстояний от впадин до нижней границы слоя. В этом случае математическое ожидание значений параметров R_{\max} и R_z определяются как

$$M[R_{\max}] = H - 2 \sqrt{\frac{2V_u t_f^{3/2}}{3n_g (V_k \pm V_u) L \sqrt{D_3}}}; \quad (7)$$

$$M[R_z] = H - 2,95 \sqrt{\frac{V_u t_f^{3/2}}{n_g (V_k \pm V_u) L \sqrt{D_3}}}. \quad (8)$$

где $H = t_f - \Delta r$ – величина слоя шероховатости поверхности (размер переходной области материал – среда).

Одним из основных параметров рабочей поверхности инструмента, в значительной степени влияющего на характеристики шероховатости обрабатываемой поверхности является радиус округления вершины зерна ρ_g . По данным Д.В. Ваксера [3], Г.М. Ипполитова [4] и ряда других исследователей [6,8], радиус при вершине зерна зависит от материала абразивного зерна, способа изготовления, зернистости, режима правки инструмента.

Текущий радиус округления зависит от его исходного значения, условий контакта абразивного зерна с обрабатываемым материалом, режима резания и времени работы инструмента. С увеличением τ закономерно увеличивается $\rho_g(\tau)$, на вершине зерна, в плоскости перпендикулярной вектору скорости резания, появляется радиусная площадка износа, наблюдается затупление абразивного зерна.

В общем случае можно записать

$$\rho_g(\tau) = K_{\rho_g} \cdot \rho_{g_0}, \quad (9)$$

где K_{ρ_g} – коэффициент учитывающий изменение радиуса округления

зерна в процессе работы абразивного инструмента; ρ_{g_0} – исходный радиус округления вершины зерна.

Для выполнения практических расчетов целесообразнее было бы использовать характеристики абразивного материала, приведенные в ГОСТ 3647-80 или в ISO 8486-1,2:1996(E), такие как зернистость или основной размер абразивного зерна B_g . На основе анализа экспериментальных данных, представленных в работах ряда авторов, составлена таблица 1 отражающая зависимость исходного радиуса округления вершин зерен ρ_{g_0} от основного размера абразивного зерна B_g .

Таблица 1 – Исходные радиусы округления вершин абразивных зерен ρ_{g_0} .

Источник	Зернистость по ГОСТ 3647-80 и ISO 8486-1,2:1996(E)										
	16	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
	F80	F60	F54	F46	F36	F30	F24	F20	F16	F12	F10
	Основной размер абразивных зерен B_g , мкм										
	160	240	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
Исходный радиус округления вершин зерен ρ_{g_0} , мкм											
Байкалов А.К. [1]	13	19	–	28	–	–	–	–	–	114	–
Маслов Е.Н.[7]	11	17	25	–	41	–	–	76	–	–	–
Мурдасов А.В. [8]	–	19	–	30	–	–	68	–	97	115	130
Ваксер Д.Б.[3]	14	21	–	30	–	–	–	–	–	–	–
Королев А.В.. [5]	12	–	–	–	–	48	–	–	93	119	149
Божко Т.Е. [2]	13	19	27	28	38	–	60	–	–	–	–

Аппроксимация степенной зависимости проводилась на основе данных приведенных в таблице 1 методом наименьших квадратов.

Полученная экспериментальная зависимость имеет вид:

$$\rho_{g_0} = 0.0535 \cdot B_g^{0.955} \quad (10)$$

где B_g – основной размер абразивного зерна по ГОСТ 3647-80 или ISO 8486-1,2:1996(E), м.

В таблице 2 приведено сопоставление средних значений экспериментальных данных по таблице 1 и значений рассчитанных по формуле (10), графически это сравнение показано на рис. 1. Проверка по коэффициенту корреляции и критерию Фишера показала адекватность предложенной зависимости (10).

С учетом (10) зависимость (9) примет вид

$$\rho_g(\tau) = K_{\rho_g} \cdot \rho_{g_0} = 0,0535 \cdot K_{\rho_g} \cdot B_g^{0,955}, \quad (11)$$

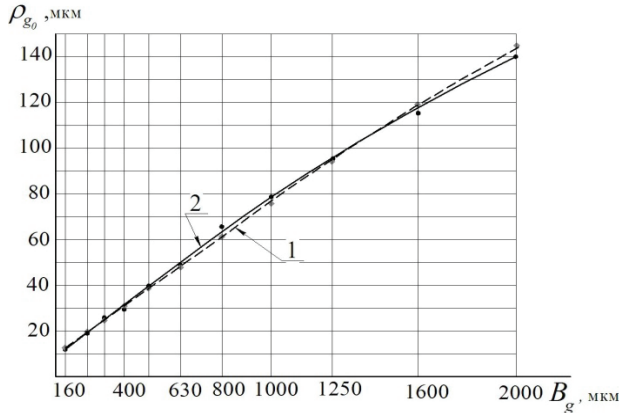


Рис. 1 – Сопоставление расчетных (1) и экспериментальных (2) зависимостей между радиусом при вершине зерна ρ_{g_0} и основным размером абразивных зерен B_g

Таблица 2 – Сопоставление экспериментальных и расчетных значений радиусов округления вершин зерен ρ_{g_0} .

Источник	Зернистость по ГОСТ 3647-80 и ISO 8486-1,2:1996(E)										
	16	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
	F80	F60	F54	F46	F36	F30	F24	F20	F16	F12	F10
	Основной размер абразивных зерен B_g , мкм										
	160	240	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
Радиус округления вершин зерен ρ_{g_0} , мкм											
Среднее значение экспериментальных данных по таблице 1	12,6	19	26	29	39,5	48	64	76	95	115,3	139,5
Расчетное значение по формуле (10)	12,8	19,4	24,5	30,7	38,1	47,6	59,6	74,3	92,4	115,4	143

Как показано в [9], для любой точки профиля абразивного зерна (рис. 2) радиус кривизны в полярных координатах вычисляется по уравнению:

$$\rho_g(\tau) = \frac{[R_g^2(\varphi, \tau) + R_g'^2(\varphi, \tau)]^{3/2}}{R_g^2(\varphi, \tau) + 2R_g'(\varphi, \tau)R_g''(\varphi, \tau)}. \quad (12)$$

При совмещении полюса полярных координат с центром кривизны вершины зерна для углов окрестности $\varphi_p = 0$ радиус-вектор исходного профиля

равен ρ_{g_0} , а его текущее значение

$$R_g(\varphi_p, \tau) = \rho_{g_0} (1 - \psi(\varphi_p, \tau)) - \frac{H - u_p}{\cos \varphi_p} \psi(\varphi_p, \tau),$$

где φ_p – полярный угол точек профиля вершины зерна; u_p – расстояние от максимальной впадины исходного профиля до центра кривизны исходного профиля вершины зерна.

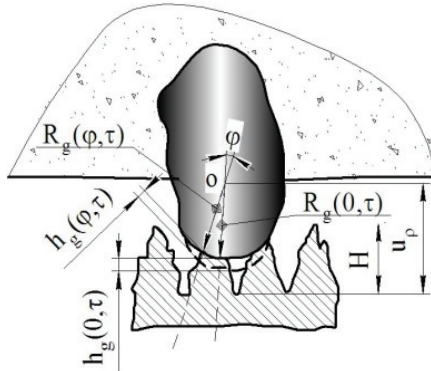


Рис. 2 - Схема к расчету изменения контура абразивного зерна

Текущий радиус округления вершины зерна вычисляется по текущему радиус-вектору и его первой и второй производным по уравнению (12) при $\varphi_p = 0$.

$$\rho_g(\tau) = \frac{(\rho_{g_0} + B - Be^A)^2}{\rho_{g_0} - A\rho_{g_0} - BA} e^{-A}, \quad (13)$$

где за A и B обозначено: $A = \frac{h_0(V_k \pm V_u)\tau}{H}$; $B = H - u_p$.

Коэффициент учитывающий изменение радиуса округления зерна в процессе работы абразивного инструмента K_{ρ_g} можно представить как

$$K_{\rho_g} = \frac{\rho_g(\tau)}{\rho_{g_0}},$$

или после выполнения преобразования

$$K_{\rho_g} = \frac{18,692H(0,0535B_g^{0,955} + (H - u_p)(1 - e^{\left(\frac{h_0(V_k \pm V_u)\tau}{H}\right)})^2 e^{-\left(\frac{h_0(V_k \pm V_u)\tau}{H}\right)}}{(0,0535B_g^{0,955}(1 - h_0(V_k \pm V_u)\tau) - h_0(V_k \pm V_u)(H - u_p)\tau)B_g^{0,955}}, \quad (14)$$

где h_0 – относительный износ абразивного материала; τ – время работы абразивного инструмента.

На рис. 3 показаны графики, позволяющие оценить влияние времени работы шлифовального круга на изменение радиуса округления вершины абразивного зерна.

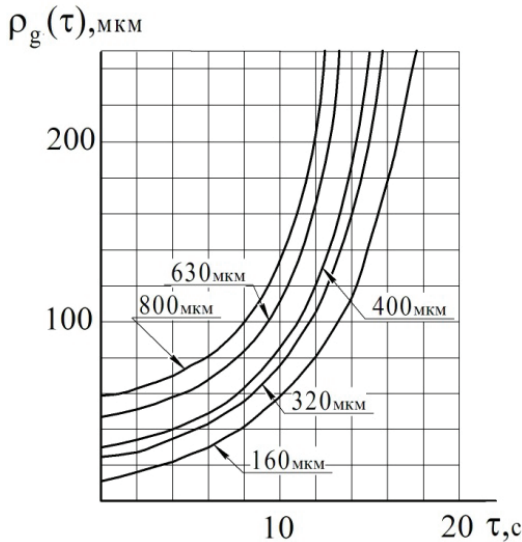


Рис.3 –Влияние времени работы шлифовального круга на изменение радиуса округления вершины абразивного зерна $\rho_g(\tau)$ для различных величин основного размера абразивных зерен B_g .

Количество зерен n_g на 1 мм^2 поверхности шлифовального круга, входящее в зависимости (1),(2), (4), (5),(6), (7),(8),также во многом определяется основным размером абразивных зерен B_g . В тоже время, имеющиеся экспериментальные данные свидетельствуют и о существенном изменении числа режущих кромок за период стойкости инструмента. Вследствие ограниченной прочности абразивных зерен и их заделки в инструменте при каждом контакте с обрабатываемым материалом часть зерен будет разрушаться или вырываться из круга. Одновременно в работу будут вступать новые режущие кромки, лежащие в глубинных слоях инструмента. Поэтому, в общем случае можно записать

$$n_g(\tau) = K_{n_g} \cdot n_{g_0} \quad (15)$$

где K_{n_g} – коэффициент учитывающий изменение количества абразивных зерен на рабочей поверхности круга в период между правками;

n_{g_0} – исходное количество абразивных зерен на рабочей поверхности круга.

Исходное количество абразивных зерен на рабочей поверхности круга n_{g_0} определялось по [11] с учетом содержания абразивных зерен в круге V_g %, основного размера абразивных зерен по ГОСТ 3647-80 B_g , структуры и твердости (для кругов со структурами 5...6 и твердостью СМ1 $V_g = 45\%$ [4]) и аппроксимировалось методом наименьших квадратов, что позволило получить зависимость:

$$n_{g_0} = 0,62 \cdot B_g^{-1,99} \cdot \frac{1}{M^2}. \quad (16)$$

В таблице 3 приведено сравнение количества зерен на 1 мм^2 рассчитанных по [11] и расчетные значения по формуле (16), графически это сравнение показано на рисунке 4. Проверка по коэффициенту корреляции и критерию Фишера показала значимость уравнения (16).

Таблица 3 – Сопоставление значений исходного количества абразивных зерен n_{g_0} .

	Зернистость по ГОСТ 3647-80 и ISO 8486-1,2:1996(E)										
	16	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
	F80	F60	F54	F46	F36	F30	F24	F20	F16	F12	F10
	Основной размер абразивных зерен B_g , мкм										
	160	240	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
Количество зерен, n_{g_0} , $\frac{1}{\text{мм}^2}$											
Значение по [11]	23,2	9,2	5,7	3,56	2,28	1,44	0,89	0,57	0,366	0,224	0,144
Расчетное значение по формуле (16)	22,4	9,4	5,6	3,57	2,29	1,44	0,89	0,57	0,369	0,226	0,145

С учетом (16) формула (15) примет вид

$$n_g(\tau) = K_{n_g} \cdot n_{g_0} = 0,62 \cdot K_{n_g} \cdot B_g^{-1,99} \cdot \frac{1}{M^2} \quad (17)$$

В работе [9] выведена зависимость, позволяющая рассчитать изменение числа зерен за период между правками абразивного инструмента;

$$n_g(\tau) = \frac{z_g}{P_p} + \left(n_{g_0} - \frac{z_g}{P_p} \right) (1 - P_p)^{v_k \tau}, \quad (18)$$

где z_g – число абразивных зерен, вступающих в работу при i -м контакте инструмента с поверхностью; P_p – вероятность разрушения зерна; v_k – частота вращения круга; τ – время работы круга после правки.

В общем случае z_g зависит от числа зерен на поверхности инструмента после правки n_{g0} , закона распределения зерен по глубине, радиального износа круга, прочности закрепления зерен и сил резания, возникающих в зоне контакта, которые являются случайными величинами. Так, если нагрузка на вершины зерен при шлифовании не превышает 4 Н, то вероятность вырывания зерна из связки P_p не превышает 0,01. С увеличением нагрузки вероятность P_p – растет: для $P_z = 8H$ вероятность $P_p \Rightarrow 0,20$, при $P_z = 10H$ $P_p \approx 0,50$. С дальнейшим увеличением P_z . вероятность P_p приближается к своему максимальному значению около 0,87 ($P_z = 15H$). [12]

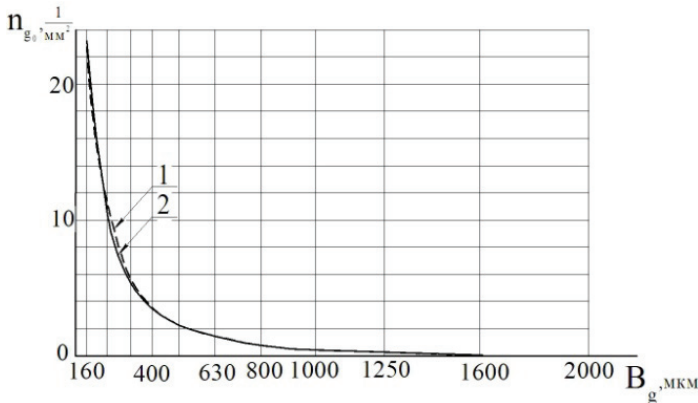


Рис. 4 – Сопоставление зависимостей между основным размером абразивных зерен B_g (зернистостью) и количеством зерен на 1 мм^2 поверхности шлифовального круга n_{g0} : 1 – результаты расчета по формуле (16); 2 – по данным [11].

Коэффициент учитывающий изменение числа зерен на поверхности инструмента в процессе его работы K_{n_g} можно представить как

$$K_{n_g} = \frac{n_g(\tau)}{n_{g0}}$$

или после выполнения преобразования с учетом зависимостей (16) и (18)

$$K_{n_g} = 1,613 \left(\frac{z_g (1 - (1 - P_p)^{v_k \tau})}{P_p} + \frac{0,62(1 - P_p)^{v_k \tau}}{B_g^{1,99}} \right) B_g^{1,99} \quad (19)$$

На рис. 5 показаны зависимости, позволяющие оценить влияние времени на изменение количества абразивных зерен n_g на 1 мм^2 поверхности шлифовального круга при работе круга в режиме затупления.

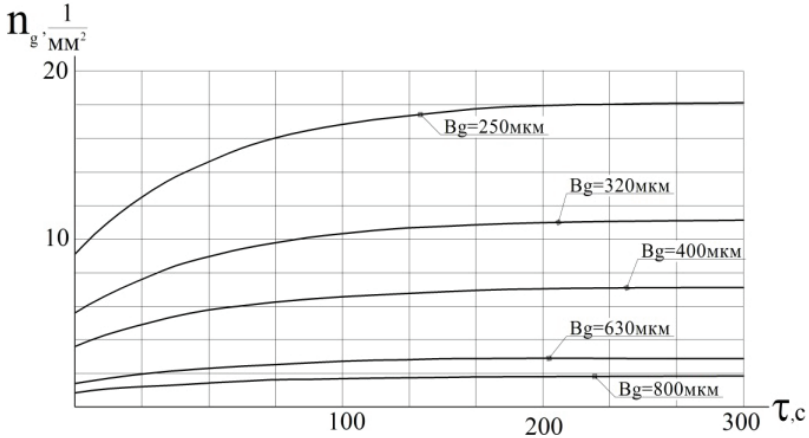


Рис. 5 – Влияние времени работы шлифовального круга на изменение количества зерен на 1 мм^2 поверхности $n_g(\tau)$ для различных величин B_g .

С учетом полученных зависимостей (11) и (17) формулы для расчета характеристик шероховатости поверхности (1), (2), (5), (6), (7), (8) примут вид:

$$R_a = \frac{1,017 V_u H_u^{1,5}}{K_c K_{n_g} (V_k \pm V_u) \sqrt{K_{\rho_g} B_g^{-3,025} D_3} \sum_{i=0}^n (W_m - i \Delta r)^{1,5}} \quad \text{при } \Delta r < W_m; \quad (20)$$

$$R_a = \frac{0,544 V_u^{0,4} t_f^{0,6} B_g^{0,605}}{K_c^{0,4} K_{n_g}^{0,4} K_{\rho_g}^{0,2} (V_k \pm V_u)^{0,4} D_3^{0,2}} \quad \text{при } \Delta r \geq W_m. \quad (21)$$

где $\Delta r = \frac{t_f^2}{1,478 t_f + \frac{95,254 V_u B_g^{1,51}}{K_c K_{n_g} (V_k \pm V_u) \sqrt{K_{\rho_g} D_3}}}$.

$$t_f = 0,739\Delta r + \sqrt{0,546 \cdot \Delta r^2 + \frac{22,03V_u \Delta r B_g^{1,51}}{K_c K_{n_g} (V_k \pm V_u) \sqrt{K_{\rho_g} D_3}}}; \quad (22)$$

$$M[R_{\max}] = H - 2,074 \sqrt{\frac{V_u t_f^{1,5} B_g^{1,99}}{K_{n_g} (V_k \pm V_u) L \sqrt{D_3}}}; \quad (23)$$

$$M[R_z] = H - 3,747 \sqrt{\frac{V_u t_f^{1,5} B_g^{1,99}}{K_{n_g} (V_k \pm V_u) L \sqrt{D_3}}}; \quad (24)$$

На рис. 6 показаны графики, иллюстрирующие влияние времени работы шлифовального круга на шероховатость обрабатываемой поверхности.

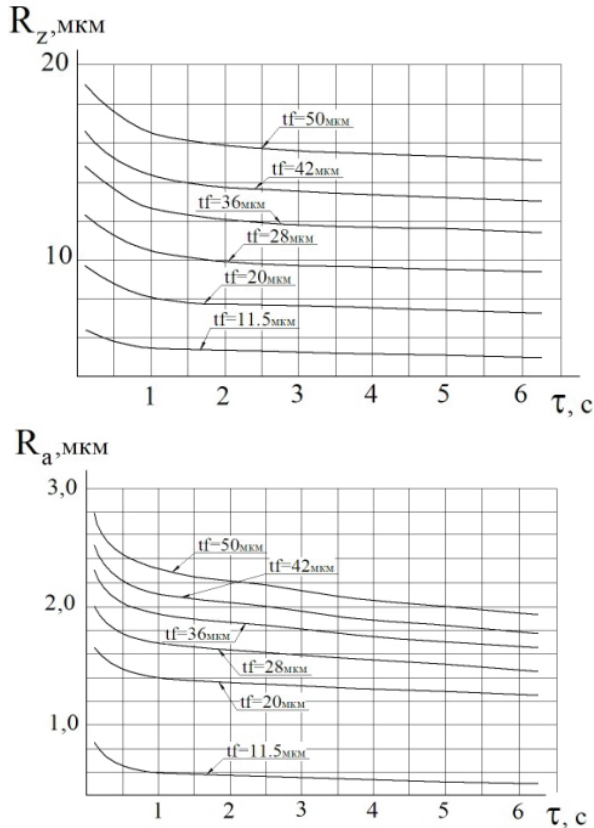


Рис. 6 – Влияние времени работы шлифовального круга τ на параметры шероховатости R_z и R_a ($B_g = 320 \mu\text{m}$).

Выводы. Предложенные зависимости позволяют прогнозировать кинетику изменения параметров шероховатости. В уравнения (23) и (24) неявно входит вероятность удаления материала, которая вычисляется с учетом шероховатости заготовки и ее изменений при каждом контакте поверхности с инструментом.

Список литературы: 1. *Байкалов А.К.* Введение в теорию шлифования материалов / *А.К.Байкалов*. – Киев: Наукова думка, 1978. – 207с. 2. *Божко Т.С.* Формування поверхневого шару у деталей із порошкових матеріалів при шліфуванні // Дисертація на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук. Луцьк, 2011. 3. *Ваксер Д.Б.* Влияние геометрии абразивного зерна на свойства шлифовального круга / *Д.Б.Ваксер* // Основные вопросы высокопроизводительного шлифования: сб. М.: Машгиз, 1960. 165с. 4. *Ипполитов Г.М.* Абразивно-алмазная обработка / *Г.М.Ипполитов*, М., Машиностроение, 1969, 334с. 5. *Королев А.В.* Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки. Ч.1 / *А.В.Королев*, *Ю.К.Новоселов*. – Саратов: Саратовск. ун-т, 1987. – 160с. 6. *Кремень З.И.* Технология шлифования в машиностроении / *З.И.Кремень*, *В.Г.Юрьев*, *А.Ф.Бабошкин*; под общ. ред. *З.И.Кремня*. – СПб.: Политехника, 2007. – 424 с. 7. *Маслов Е.Н.* Теория шлифования металлов / *Е.Н.Маслов*. – М.: Машиностроение, 1974. 400 с. 8. *Мурдасов А. В.* Особенности работы шлифовальных кругов из абразивного зерна разной формы / *А.В.Мурдасов*, *А.М.Вульф* // Абразивы и алмазы: науч. технич. реф. сб.- М.: НИИМАШ, 1967. №4. С.65-69. 9. *Новоселов Ю.К.* Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. / *Ю.К.Новоселов* - Севастополь: Из-во СевНТУ, 2013. – 304с. 10. *Пермяков А.А.* Повышение эффективности предварительного шлифования прокатных валков за счет восстановления режущей способности круга без правки / *А.А.Пермяков*, *А.А.Жижев*. // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 118/2011. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь, 2011. 11. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник / Под ред. *А.Н. Резникова*. – М.: Машиностроение, 1977. – 391с. 12. *Крутикова А.А.* Вероятности видов изнашивания зерен абразивного инструмента и их взаимосвязь с характеристикой круга / *А.А. Крутикова*, *М.В.Даниленко*. // Материалы III Международной научной студенческой конференции «Научный потенциал студенчества в XX веке». Том первый. Технические и прикладные науки. – г.Ставрополь: СевКавГТУ, 2009. – 278с.

Надійшла до редколегії 29.10. 2012

УДК 621.923

Расчет параметров шероховатости поверхности при круглом наружном шлифовании / *А.Н. Шелковой, Ю.К. Новоселов, Л.Б. Шрон, В.Б. Богущкий* // Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХП», 2012. – № 53(959). – С.98-109. – Бібліогр.: 12 назв.

У статті наведена методика розрахунку параметрів шорсткості поверхні для умов круглого зовнішнього шліфування. Виконано аналіз зв'язку параметрів поверхні деталі після шліфування з характеристиками елементів технологічної системи.

Ключові слова: шліфування, шорсткість поверхні, шліфувальне коло, зерно, знімання металу, розрахункова модель.

In the article the technique of calculation of parameters of surface roughness for round grinding conditions. The analysis of the parameters of the surface after sanding with the characteristics of the elements of the system.

Key words: grinding, surface roughness, grinding grain, removal of the metal, the design model.