Оригинальная статья / Original article УДК 621. 923: 621.922 http://dx.doi.org/10.21285/1814-3520-2018-2-10-25

# ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОЛИМЕРНО-АБРАЗИВНЫМИ КРУГАМИ

# © Ю.В. Димов<sup>1</sup>, Д.Б. Подашев<sup>2</sup>

Иркутский национальный исследовательский технический университет,

Российская Федерация, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

РЕЗЮМЕ. ЦЕЛЬ. Установить закономерности влияния параметров обработки поверхности (скорости резания, подачи и деформации инструмента) полимерно-абразивными кругами на шероховатость обработанной поверхности и разработать математическую модель ее формирования. МЕТОДЫ. Исследования проводились аналитическими и экспериментальным методами на кругах компании 3M (Minnesota Mining and Manufacturing Company) марок Scotch-Brite™ FS-WL, DB-WL, CF-FB различной зернистости. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ. Разработана математическая модель формирования шероховатости, основанная на взаимодействии режущего микрорельефа эластичного абразивного круга с обрабатываемой поверхностью. При взаимодействии режущего микрорельефа с обрабатываемой поверхностью абразивные зерна внедряются в обрабатываемый материал. По заданным механическим свойствам обрабатываемого материала и вертикальной составляющей силы резания определена средняя глубина внедрения зерен с учетом наплыва и упругого восстановления царапин. Эта глубина является высотой неровностей обработанной поверхности. Проверка скоростей резания и подачи на образцах из сплава В95пчТ2 при различных деформациях круга показала хорошее совпадение экспериментальных результатов с теоретическими. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Разработанная теория формирования микрогеометрии поверхности детали позволяет аналитически определить шероховатость по известным параметрам инструмента в зависимости от режимов обработки. При оптимизации технологического процесса данная математическая модель может быть использована как ограничительная функция для достижения заданного критерия оптимизации, например, целевой экономической функции.

**Ключевые слова:** полимерно-абразивный круг, математическая модель, режущий микрорельеф, глубина внедрения зерен, параметр шероховатости.

**Информация о статье.** Дата поступления 15 января 2018 г.; дата принятия к печати 12 февраля 2018 г.; дата онлайн-размещения 27 февраля 2018 г.

Формат цитирования: Димов Ю.В., Подашев Д.Б. Шероховатость поверхности при обработке полимерноабразивными кругами // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 2. С. 10–25. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-2-10-25

#### SURFACE ROUGHNESS UNDER MACHINING BY POLYMER ABRASIVE WHEELS

#### Yu.V. Dimov, D.B. Podashev

Irkutsk National Research State Technical University,

83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russian Federation

**ABSTRACT.** The **PURPOSE** of the paper is to determine the influence patterns of the parameters of surface machining (cutting speed, tool feed and deformation) by polymer abrasive wheels on the roughness of the machined surface and develop a mathematical model of microrelief formation of this surface. **METHODS.** The study involves analytical and experimental methods using the wheels of the company 3M (Minnesota Mining and Manufacturing Company) of the brands Scotch-Brite<sup>™</sup> FS-WL, DB-WL, CF-FB of different coarseness. **RESULTS AND THEIR DISCUSSION**. We have developed a mathematical model of roughness formation based on the interaction of an elastic abrasive wheel cutting microrelief and a machined surface. Abrasive grains are introduced into the machined material under cutting microrelief interaction with the processed surface. The average depth of grain introduction has been determined by the set mechanical

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Димов Юрий Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры конструирования и стандартизации в машиностроении, e-mail: Dimov-Ura@yandex.ru

Yuriy V. Dimov, Doctor of technical sciences, Professor of the Department of Design and Standardization in Mechanical Engineering, e-mail: Dimov-Ura@yandex.ru

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Подашев Дмитрий Борисович, кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и стандартизации в машиностроении, e-mail: dbp90@mail.ru

Dmitriy B. Podashev, Candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of Design and Standardization in Mechanical Engineering, e-mail: dbp90@mail.ru



properties of the machined material and the vertical component of the cutting force taking into account lapping and elastic recovery of scratches. This depth is represented by the height of the machined surface roughness. Experimental check of the cutting speed and feed on the samples made of V95pchT2 alloy at various deformations of a wheel has shown close agreement of experimental and theoretical results. **CONCLUSION**. The developed theory of part surface microgeometry formation allows analytical determination of roughness by the known parameters of the tool depending on the processing modes. Having optimized the technological process, this mathematical model can be used as a restricting function for the achievement of the set optimization criterion, for example, the criterion of target economic function. *Keywords:* polymeric abrasive circle, mathematical model, cutting microrelief, depth of grain introduction, roughness

parameter.

Article info. Received January 15, 2018; accepted February 12, 2018; available online February 27, 2018.

**For citation:** Dimov Yu.V., Podashev D.B. Surface roughness under machining by polymer abrasive wheels. Proceedings of Irkutsk State Technical University. 2018, vol. 22, no. 2, pp. 10–25. (In Russian). DOI: 10.21285/1814-3520-2018-2-10-25

#### Введение

Механизация и автоматизация операций финишной обработки деталей актуальны для современного машиностроения.

Эластичные абразивные круги применяются для: финишной обработки с целью придания обрабатываемой поверхности требуемой шероховатости, подготовки ее под лакокрасочные покрытия, удаления заусенцев, скругления острых кромок, предварительной обработки перед полированием и глянцеванием и т.п. При этом обрабатываться могут различные металлы и их сплавы, пластмасса, дерево, стекло, керамика и камни.

Полимерно-абразивные инструменты, как отмечено в работах [1–5], являются весьма эффективными для финишной обработки деталей в самолетостроении, ракетостроении и других высокотехнологичных отраслях. Успешное применение полимерно-абразивных кругов при финишной обработке рассмотрено в [6–9].

Однако попыток математического моделирования формирования микрорельефа обработанной поверхности в перечисленных работах не было. Поэтому *целью данного исследования* является разработка математической модели формирования шероховатости поверхности при обработке эластичными абразивными кругами и экспериментальное подтверждение аналитически полученных результатов. Для обоснованного выбора инструментов и параметров обработки необходимы знания об их влиянии на процесс формирования обрабатываемой поверхности.

### Методы исследования

Для исследований использовались эластичные абразивные круги компании 3M (Minnesota Mining and Manufacturing Company), изготовленные из абразивного материала Scotch-Brite™. Этот материал состоит из синтетических волокон, образующих трехмерное нетканое полотно, по всему объему которого равномерно распределены абразивные зерна.

В маркировке прессованных эластичных кругов FS-WL 8A MED, FS-WL 6S FIN, FS-WL 2S CRS, DB-WL 8S MED (рис. 1 *a*, *b*, *c*) цифрами 8, 7, 6, 2 обозначена структура, буквенными литерами – абразивный материал: A  $-Al_2O_3$ ; S – SiC. Также есть указания на зернистость: FINE – тонкое зерно, соответствующее 45–50 мкм, MEDIUM (MED) – среднее зерно, соответствующее 50–60 мкм, COARSE (CRS) – грубое зерно, соответствующее ~200 мкм. Например, круг CF-FB 0,5A FIN (рис. 1 *c*) – очень эластичная щетка из лепестков материала типа Clean & Finish для чистовой обработки с абразивным материалом  $Al_2O_3$  зернистостью FINE (45–50 мкм).



Puc. 1. Прессованные круги марок: FS-WL (a); DB-WL (b); CF-FB (c) Fig. 1. Brands of compact wheels: FS-WL (a); DB-WL (b); CF-FB (c)

Параметры эластичных абразивных кругов приведены в табл. 1, где  $D_k$  – диаметр круга, мм;  $B_k$  – ширина круга, мм;  $r_k$  – радиус втулки круга, мм;  $d_k$  – диаметр отверстия, мм;  $M_K$  – масса круга, кг;  $\gamma_{\kappa}$  – плотность материала круга, кг/м<sup>3</sup>.

### Таблица 1

Table 1

#### Parameters of elastic abrasive wheels Зернистость $D_k$ , $B_k$ , $d_k$ , r<sub>k</sub>, γκ, Круг / Абразив / Z, мкм / Мκ, кг/м<sup>3</sup> / мм / мм / мм / мм / Wheel Abrasive кг / kg Coarseness Z, kg/m<sup>3</sup> mm mm mm mm μm **FS-WL-8AMED** 140.5 26 17.5 25.4 0,278 712,77 $AI_2O_3$ , 50-60 FS-WL-6SFIN 129,5 25,5 17,5 25,4 0,162 501,63 SiC 45–50 **FS-WL-2SCRS** 147,2 17,5 377,37 SiC 26 25,4 0,162 ~200 **DB-WL-8SMED** SiC 147,8 25,6 17,5 25,4 0,284 666,29 50-60 CF-FB-0,5AFIN 45-50 193 50 45 76,5 0,418 339,03 $AI_2O_3$ ,

### Параметры эластичных абразивных кругов

В проводимом исследовании в качестве обрабатываемого материала был принят высокопрочный алюминиевый сплав В95пчТ2 с пределом текучести  $\sigma_T$  = 50 МПа, модулем упругости первого рода *E* = 7000 МПа и коэффициентом Пуассон  $\mu$  = 0,34.

Независимо от исходного состояния поверхности в процессе обработки формируется достижимая шероховатость, параметры которой зависят от условий обработки и свойств обрабатываемого материала. Если шероховатость поверхности до обработки была меньше достижимой, то в процессе обработки она увеличивается; если больше, то уменьшается до значения достижимой.

### Математическая модель формирования шероховатости

В основу формирования шероховатости обработанной поверхности положено взаимодействие режущего микрорельефа эластичного абразивного инструмента с поверхностью заготовки.

Режущий микрорельеф абразивного инструмента, по данным, представленным в работах [10, 11], может быть описан в виде случайного стационарного процесса с нормальным распределением. Профилограмма в этом случае будет являться реализацией данного случайного процесса. Параметрами, которые необходимы для расчета взаимодействия режущего

микрорельефа с обрабатываемой поверхностью, являются: среднее квадратичное отклонение профиля *о*; число максимумов *m* и число нулей (пересечений со средней линией) *n(0)*.

Для кругов, использованных в данных исследованиях, эти параметры приведены в табл. 2 [12].

#### Таблица 2

#### Параметры микрорельефа кругов

Table 2

Марка круга /	Зернистость, мкм /	Особые точки микрорельефа / Special points of microrelief			
Wheel brand	Coarseness, µm	<i>о</i> , мкм / µm	<i>m</i> , мкм <sup>-1</sup> / µm <sup>-1</sup>	<i>n</i> (0), мкм <sup>-1</sup> / µm <sup>-1</sup>	
FS-WL-8AMED	50–60	62,579	3,04 10 <sup>-3</sup>	1,67 10 <sup>-3</sup>	
FS-WL-6SFIN	45–50	55,471	3,31 10 <sup>-3</sup>	2,08·10 <sup>-3</sup>	
FS-WL-2SCRS	200	85,807	1,96 10 <sup>-3</sup>	1,92·10 <sup>-3</sup>	
DB-WL-8SMED	50–60	30,950	4,09 10 <sup>-3</sup>	2,94 10 <sup>-3</sup>	
CF-FB-0,5AFIN	45–50	74,107	3,22 10 <sup>-3</sup>	1,79·10 <sup>-3</sup>	

#### Parameters of wheel microrelief

При взаимодействии режущего микрорельефа в сечении круга, имеющего среднюю линию в зоне контакта с деталью  $m_1m_1$  (рис. 2), с идеально гладкой обрабатываемой поверхностью (линия  $m_2m_2$ ) абразивные зерна внедряются в обрабатываемый материал.



Рис. 2. Схема взаимодействия эластичного круга с обрабатываемой деталью Fig. 2. Diagram of elastic wheel interaction with the machined part

Значение сближения и расстояние любой точки поверхности  $m_2m_2$  до средней линии микрорельефа  $m_1m_1$  удобнее выражать в относительных величинах –  $\gamma = y/\sigma$ .

При разработке математической модели формирования микрорельефа обрабатываемой заготовки положено взаимодействие единичного зерна с обрабатываемой поверхностью. В качестве модели единичного зерна принят конус с закругленной по радиусу вершиной.

При внедрении зерна под углом к поверхности впереди него образуется валик наплыва (рис. 3), который при определенных условиях может переходить в стружку. Пластически оттесненный материал, обтекая зерно без отделения от основной массы, образует наплыв по его боковым сторонам.

ISSN 1814-3520 BECTHIK UPFTY TOM 22, № 2 2018 / PROCEEDINGS of ISTU Vol. 22, No. 2 2018 13



Puc. 3. Взаимодействие модели единичного зерна с обрабатываемой поверхностью Fig. 3. Interaction of a single grain model with the machined surface

На рис. З введены следующие обозначения: r – радиус закругления зерна;  $Y_E$  – глубина внедрения зерна;  $Y_D$  – глубина внедрения до точки перехода сферической части в коническую;  $Y_G$  – глубина внедрения с учетом наплыва;  $\varphi_{GS}$  – угол наплыва;  $W_{YA}$  – упругое восстановление материала;  $\gamma^o$  – угол конуса; mg – участок, на котором происходит стружкообразование; D – точка перехода сферической части в коническую; mk и gn – участки, на которых при движении зерна материал пластически оттесняется в наплыв.

Высота неровностей по 10-ти точкам *Rz* представляет собой среднюю глубину внедрения зерен с учетом наплыва и упругого восстановления царапин:

$$R_Z = Y_G - W_{YA}.$$

Среднее арифметическое отклонение профиля *Ra* зависит от *Rz* в следующем соотношении:

*Ra* = 0,25*R*<sub>z</sub> при *R*<sub>z</sub> = 320–8 мкм; *Ra* = 0,20*R*<sub>z</sub> при *R*<sub>z</sub> = 6,3–0,05 мкм.

Среднее квадратичное отклонение определяется по выражению

$$\sigma_{II} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot Ra$$

При внедрении абразивных зерен в пределах сферической части модели абразивного зерна с учетом наплыва Y<sub>G</sub> (по данным работы [10]) глубина определяется по уравнению

$$Y_G = Y_E + r \cdot \sqrt{\frac{2[A_E - \sin\psi_o \cdot (A_E - A_o)]}{ctg\varphi_{GS} + ctg\varphi_E}}$$
при  $Y_E \le Y_D$ ,

где  $Y_E$  – глубина внедрения абразивных зерен;  $A_E = 0.5\varphi_E - 0.25sin2\varphi_E$ ;  $A_0 = 0.5\varphi_0 - 0.25sin2\varphi_0$ ;  $\varphi_0 = 0.5arc \cos 2\mu_T$ ;  $\mu_T$  – коэффициент пластического трения;  $\varphi_E = 0.5arc \cos (1 - Y_E/t)$ ;

$$\varphi_{GS} = \frac{\sin\varphi_E}{2\sin\varphi_0} \left( \frac{-\sin\varphi_0 - K^1\sqrt{2} + \sqrt{\sin^2\varphi_0 + 2K^1(\sqrt{2}\sin\varphi_0 + \cos\varphi_E)}}{\cos\varphi_E - K^1} \right)$$

при  $Y_E \leq Y_D$ , где  $K^1 = \frac{2}{\varphi_E^2 \cdot \sin\varphi_E} \cdot [A_E - \sin\psi_0 \cdot (A_E - A_0)]; \ \psi_0 = \pi/4 - 0.5 \text{arc } \cos 2\mu_T.$ 

Если внедрение зерна войдет в коническую часть модели абразивного зерна, то  $Y_G$  определяется по следующему уравнению:

$$Y_G = Y_E + r \cdot \sqrt{\frac{L_Y}{ctg\varphi_{GS} + tg\gamma^0}}$$

при  $Y_E > Y_D$ , где  $L_Y = 2 \left[ A_D - \sin\psi_0 \cdot (A_D - A_0) + (1 - \sin\psi_0) \cdot \frac{\Delta Y_E}{r} \cdot (\frac{\Delta Y_E}{2r} \cdot tg\gamma^0 + \cos\gamma^0) \right];$  $\Delta Y_E = Y_E - Y_D = Y_E - r(1 - \cos\varphi_D);$  $\varphi_D = \pi/2 - \gamma^0;$ 

$$\varphi_{GS} = \frac{-\theta - \sqrt{2} \cdot L_Y \cdot \cos\gamma^0 + \sqrt{\left(\theta + \sqrt{2} \cdot L_Y \cdot \cos\gamma^0\right)^2 + 2L_Y \cdot \cos^2\gamma^0 \cdot \left(\frac{\theta}{\sin\varphi_0} - L_Y\right)^2}}{2(\theta - L_Y \cdot \sin\varphi_0)}$$

при  $Y_E > Y_D$ , где  $\theta = sin \varphi_0 \cdot \left(\frac{\Delta Y_E}{r} + \varphi_D \cdot cos \gamma^0\right)^2$ .

Восстановление царапины после снятия нагрузки

$$W_{YA} = \frac{r \cdot K_Y \cdot \sigma_T \cdot (1 - \mu^2)}{\sqrt{3} \cdot E} \cdot f_{YA},\tag{1}$$

где f<sub>YA</sub> = 2[1-sinγ<sup>ρ</sup>+(1+3/4·π+γ<sup>ρ</sup>-φ<sub>GS</sub>)·cosγ<sup>ρ</sup>]; σ<sub>T</sub> – предел текучести обрабатываемого материала; μ – коэффициент Пуассона; *E* – модуль упругости первого рода обрабатываемого материала; *K*<sub>Y</sub> – коэффициент, учитывающий отличие механических свойств тонкого поверхностного слоя по сравнению с основной массой.

#### Математическое ожидание глубины внедрения абразивных зерен

$$E(Y_E) = \sigma \cdot [E(\gamma_0) - \gamma], \tag{2}$$

где *с* – среднеквадратическое отклонение режущего микрорельефа поверхности; *у* – относительное сближение режущего микрорельефа с обрабатываемой поверхностью (см. рис. 2)

 $\gamma = y/\sigma$ ,

ISSN 1814-3520 ВЕСТНИК ИрГТУ Том 22, № 2 2018 / PROCEEDINGS of ISTU Vol. 22, No. 2 2018 15

 $E(\gamma_0)$  – математическое ожидание относительных высот максимумов, функция которого от относительного сближения  $\gamma$  и параметров микрорельефа *m* и *n*(*0*) приведена в работе [10]. После числового расчета это уравнение аппроксимировано в виде

$$E(\gamma_0) = \gamma^{0.802} + 0.97.$$
(3)

Для определения математического ожидания внедрения единичного зерна *E*(*y*<sub>*E*</sub>) воспользуемся зависимостями составляющих сил резания для единичного зерна по данным работы [10].

Нормальная  $Py^1$  и тангенциальная  $P_Z^1$  составляющие силы резания на единичном зерне определяются по выражениям:

$$P_{y}^{1} = K \cdot r^{2} \cdot f_{y}; \quad P_{z}^{1} = K \cdot r^{2} \cdot f_{z},$$

где *К* – предел текучести на сдвиг; *г* – математическое ожидание радиуса средней приведенной кривизны всех вершин, рассчитывающееся в свою очередь как

$$r = \frac{3\sqrt{\pi}}{16\pi^2 \cdot m \cdot n(0) \cdot \sigma};\tag{4}$$

*f<sub>y</sub>* и *f<sub>z</sub>* – безразмерные коэффициенты сил, формулы для расчета которых приведены в работе [10] в аппроксимированном виде:

$$f_{y} = 14,387 \cdot \varepsilon_{E}^{0.895}$$
;  $f_{z} = 7, 1 \cdot \varepsilon_{E}$ ; (5)

где *ε*<sub>*E*</sub> – относительная величина внедрения зерен, найденная из уравнения:

$$\varepsilon_E = E(y_E)/r. \tag{6}$$

Суммарные составляющие силы резания на всей площадке контакта равны:

$$P_{y} = K \cdot r^{2} \cdot f_{y} \cdot E(N); \quad P_{Z} = K \cdot r^{2} \cdot f_{z} \cdot E(N), \tag{7}$$

где E(N) – математическое ожидание количества зерен контакта на площади 1 мм<sup>2</sup>:

$$E(N) = \frac{\pi \cdot n^2(0)}{2\sqrt{2\pi}} \cdot \gamma \cdot e^{-\left(\frac{\gamma^2}{2}\right)}.$$
(8)

Подставив (2), (3), (5), (6) и (8) в уравнение (7) и решив относительно  $\gamma$ , получим

$$\left(\Gamma^{0,802} - \gamma + 0,97\right)^{0.895} \cdot \gamma \cdot e^{-\left(\frac{\gamma^2}{2}\right)} = \frac{P_Y}{_{9,0149 \cdot \text{K} \cdot \text{r}^2 \cdot \left(\frac{\sigma}{\text{r}}\right)^{0.895} \cdot \text{n}^2(0) \cdot \text{B} \cdot \text{L}},\tag{9}$$

где *P*<sub>Y</sub> – полная нормальная составляющая силы для *B* = 1 мм (см. табл. 6–10).

Измерение нормальной составляющей силы резания производилось на образце из высокопрочного алюминиевого сплава В95пчТ2 размерами 100×20×3 мм. при обработке на

вертикально-фрезерном станке марки Deckel Maho DMC 635V. Основным элементом измерительной системы являлся трехкомпонентный динамометр фирмы Kistler (Швейцария), модель 9257В.

Определение величины  $\gamma$  по (9) возможно только при решении численным методом. На рис. 4 приведена зависимость  $\gamma$  от A – правой части уравнения (9), которая аппроксимирована уравнением:





Puc. 4. Графическое представление уравнения (15) Fig. 4. Graphical representation of the equation (15)

В уравнении (4) приведено среднее значение радиуса кривизны вершин на всем режущем микрорельефе. Исследования показали, что при обработке эластичным инструментом в процессе резания участвуют вершины зерен при очень малой глубине внедрения  $E(y_E)$ . Поэтому реальный радиус зависит от режимов обработки: скорости резания V, м/с; деформации круга  $\Delta Y$ , мм; подачи S, мм/мин. По результатам исследования установлена зависимость радиуса кривизны вершин зерен от V,  $\Delta Y$  и S. Названных параметров:

$$r = d_1 \cdot \Delta y^2 + d_2 \cdot V^2 + d_3 \cdot S^2_+ d_4 \cdot \Delta y + d_5 \cdot V + d_6 \cdot S + d_7 \cdot \Delta y \cdot V + d_8 \cdot \Delta y \cdot S + d_9 \cdot V \cdot S + d_{10} \cdot \Delta y \cdot V \cdot S + d_{11}.$$
(10)

Значения коэффициентов *d*<sub>1-10</sub> и свободного члена *d*<sub>11</sub> в данном уравнении приведены в табл. 3.

Тонкий поверхностный слой обрабатываемой поверхности по своим механическим свойствам существенно отличается от основного материала. его поверхность несет на себе сложную систему адсорбционных слоев. А.С. Ахматов приводит следующую схему их расположения, начиная от первичной объемной структуры металла: зона деформированного металла, слой окислов металла, адсорбционный слой газов, адсорбционный слой воды, адсорбционный слой полярных молекул органического вещества (смазки) [14].

ISSN 1814-3520 ВЕСТНИК ИРГТУ Том 22, № 2 2018 / PROCEEDINGS of ISTU Vol. 22, No. 2 2018 17

### Таблица З

# Значения коэффициентов и свободного члена в (10)

Values of the coefficients and the free term in (10)

Table 3

Koodeduuuout /	Марка круга / Wheel brand							
Коэффициент /	FS-WL 8A	FS-WL 6S	FS-WL 2S	DB-WL 8S	CF-FB 0,5A			
Coemcient	MED	FIN	CRS	MED	FIN			
<b>d</b> <sub>1</sub>	6·10 <sup>-4</sup>	5,5·10 <sup>-3</sup>	6,5·10 <sup>-4</sup>	5·10 <sup>-5</sup>	3,6·10 <sup>-5</sup>			
d <sub>2</sub>	0	2·10 <sup>-5</sup>	5·10 <sup>-6</sup>	0	0			
d <sub>3</sub>	-1,4·10 <sup>-8</sup>	-1·10 <sup>-9</sup>	0	-1·10 <sup>-8</sup>	-2,5·10 <sup>-9</sup>			
d4	4·10 <sup>-3</sup>	-0,0145	1,5·10 <sup>-4</sup>	4·10 <sup>-3</sup>	9·10 <sup>-5</sup>			
d <sub>5</sub>	0	5·10 <sup>-5</sup>	5·10 <sup>-5</sup>	2·10 <sup>-5</sup>	1.10 <sup>-6</sup>			
d <sub>6</sub>	-1,5·10 <sup>-6</sup>	-5·10 <sup>-8</sup>	0	-1·10 <sup>-6</sup>	-5·10 <sup>-8</sup>			
d <sub>8</sub>	5·10 <sup>-7</sup>	-5·10 <sup>-6</sup>	0	5·10 <sup>-7</sup>	2,5·10 <sup>-8</sup>			
d <sub>9</sub>	0	4·10 <sup>-7</sup>	0	0	0			
<b>d</b> <sub>10</sub>	0	1.10 <sup>-9</sup>	0	0	0			
d <sub>11</sub>	1,4·10 <sup>-3</sup>	0,015	2·10 <sup>-4</sup>	-1,3·10 <sup>-3</sup>	3·10 <sup>-5</sup>			

# Не учитывать рассмотренную особенность приповерхностного слоя и его роль в про-

цессе взаимодействия зерна с обрабатываемой поверхностью нельзя. Для тонких финишных процессов обработки, каким является обработка эластичным абразивным инструментом, целесообразно воспользоваться условием пластичности Губера – Мизеса –  $K = \sigma_T / \sqrt{3}$ , сэкспериментальным поправочным коэффициентом  $K_y$ , учитывающим глубину внедрения абразивных зерен в обрабатываемый материал, наплыв материала и упругое его восстановление, введенными в уравнение (1) [13].

Поскольку глубина внедрения зерен зависит от скорости резания V и деформации эластичного инструмента  $\Delta Y$ , то коэффициент  $K_Y$  можно определить по формуле

$$K_{y} = (d_{1} \cdot V^{2} + d_{2} \cdot V + d_{3}) \cdot (d_{4} \cdot \Delta y^{3} + d_{5} \cdot \Delta y^{2} + d_{6} \cdot \Delta y + d_{7}).$$
(11)

В уравнении (11) *Ду* выражается в мм, *V* – в м/мин, а значения коэффициентов и свободных членов приведены в табл. 4.

#### Таблица 4

#### Значения коэффициентов и свободного члена в (11)

Table 4

Koodeduuuour /	Марка круга / Wheel brand					
Коэффициент /	FS–WL 8A	FS–WL 6S		DB–WL 8S	CF–FB 0,5A	
Coemcient	MED	FIN	F3-WL 23 CR3	MED	FIN	
<i>d</i> <sub>1</sub>	<i>–</i> 3,533⋅10 <sup>−6</sup>	1,328·10 <sup>-5</sup>	-8,445·10 <sup>-6</sup>	1,144·10 <sup>-6</sup>	3,76·10 <sup>-6</sup>	
<i>d</i> <sub>2</sub>	−1,875·10 <sup>-3</sup>	-0,0521	-0,0247	–9,887·10 <sup>-3</sup>	-5,762·10 <sup>-3</sup>	
<i>d</i> <sub>3</sub>	19,616	45,699	45,927	18,464	275,121	
d <sub>4</sub>	-0,24	-0,4572	-0,075	-10,352	-0,05867	
<i>d</i> <sub>5</sub>	1,412	1,1165	0,982	47,516	0,856	
$d_6$	-3,236	-0,148	-4,422	-71,246	-4,48533	
d <sub>7</sub>	3,487	0,253	7,085	35,896	9	

# Values of the coefficients and the free term in (11)

#### Экспериментальное исследование шероховатости

Эксперименты по установлению зависимостей параметров шероховатости от режимов обработки проводились на образцах из сплава В95пчТ2 размером 3×20×100 мм на универсально-фрезерном станке модели 675. Продольная и поперечная шероховатость по параметру *Ra* измерялась на профилометре модели 283 завода «Калибр».

На рис. 5–7 приведены результаты исследования поперечной шероховатости.



Puc. 5. Зависимость параметра шероховатости Ra от деформации Δy при S = 130 мм/мин для кругов: 1 – FS-WL 8A MED при V = 441,4 м/мин; 2 – FS-WL 6S FIN при V = 406,8 м/мин; 3 – FS-WL 2S CRS при V=464,4 м/мин; 4 – DB-WL 8S MED при V=464,3 м/мин; 5 – CF-FB 0,5A FIN при V = 606,3 м/мин. Fig. 5. Dependence of the roughness parameter Ra on the deformation Δy at S = 130 mm/min for the wheels: 1 – FS-WL 8A MED at V = 441.4 m / min; 2 – FS-WL 6S FIN at V = 406.8 m / min; 3 – FS-WL 2S CRS at V = 464.4 m / min; 4 – DB-WL 8S MED at V = 464.3 m / min; 5 – CF-FB 0.5A FIN at V = 606.3 m / min



Рис. 6. Зависимость параметра шероховатости Ra от скорости резания V при подаче S = 130 мм/мин для кругов: 1 – FS-WL 8A MED при  $\Delta y$  = 1,5 мм; 2 – FS-WL 6S FIN при  $\Delta y$  = 1,5 мм; 3 – FS-WL 2S CRS при  $\Delta y$ = 2,5 мм; 4 – DB-WL 8S MED при  $\Delta y$  = 1,5 мм; 5 – CF-FB 0,5A FINпри  $\Delta y$  = 4 мм

Fig. 6. Dependence of the roughness parameter Ra on the cutting speed V at the feed S = 130 mm/min for the wheels: 1 - FS-WL 8A MED at  $\Delta y = 1.5 \text{ mm}$ ; 2 - FS-WL 6S FIN at  $\Delta y = 1.5 \text{ mm}$ ; 3 - FS-WL 2S CRS at  $\Delta y = 2.5 \text{ mm}$ ; 4 - DB-WL 8S MED at  $\Delta y = 1.5 \text{ mm}$ ; 5 - CF-FB 0.5A FIN at  $\Delta y = 4 \text{ mm}$ 

ISSN 1814-3520 BECTHIK UPITY TOM 22, № 2 2018 / PROCEEDINGS of ISTU Vol. 22, No. 2 2018 19



Рис. 7. Зависимость параметра шероховатости Ra от продольной подачи S для кругов: 1 – FS-WL 8A MED при V = 441,4 м/мин, Δy = 1,5 мм; 2 – FS-WL 6S FIN при V = 406,8 м/мин, Δy = 1,5 мм; 3 – FS-WL 2S CRS при V=457,9 м/мин, Δy = 2,5 мм; 4 – DB-WL 8S MED при V=464,3 м/мин, Δy = 1,5 мм; 5 – CF-FB 0,5A FIN при V = 606,3 м/мин, Δy = 4 мм

Fig. 7. Dependence of the roughness parameter Ra on the longitudinal feed S for the wheels: 1 - FS-WL 8A MED at V = 441.4 m/min,  $\Delta y = 1.5$  mm; 2 - FS-WL 6S FIN at V = 406.8 m/min,  $\Delta y = 1.5$  mm;

3 – FS-WL 2S CRS at V=457.9 m/min,  $\Delta y$  = 2.5 mm; 4 – DB-WL 8S MED at V=464.3 m/min,  $\Delta y$  = 1.5 mm; 5 – CF-FB 0.5A FIN at V = 606.3 m/min,  $\Delta y$  = 4 mm

Установлено, что поперечная шероховатость с увеличением деформации растет. Это объясняется тем, что с увеличением деформации растет вертикальная составляющая силы, и, следовательно, увеличивается и глубина внедрения единичных зерен в обрабатываемый материал.

С увеличением скорости резания поперечная шероховатость также растет. Это объясняется тем, что с увеличением скорости растет центробежная составляющая силы удара абразивного зерна по обрабатываемой поверхности.

От продольной подачи поперечная шероховатость не зависит. Это хорошо видно на рис. 7 и подтверждено дисперсионным анализом по [15].

Полученные экспериментальные зависимости достижимой поперечной шероховатости были аппроксимированы формулой вида:

$$Ra = \mathbf{e}_1 \cdot \Delta y^2 + \mathbf{e}_2 \cdot V^2 + \mathbf{e}_3 \cdot \Delta y + \mathbf{e}_4 \cdot V + \mathbf{e}_5 \cdot \Delta y \cdot V + \mathbf{e}_6, \qquad (12)$$

где V – скорость резания, м/мин; *∆у* – деформация круга, мм.

Значения коэффициентов *в*<sub>1</sub>-*в*<sub>5</sub> и свободных членов *в*<sub>6</sub> уравнения (12) приведены в табл. 5.

Таблица 5

Значения коэффициентов и свободных членов в уравнении (12)

Table 5

#### Values of the coefficients and free terms in the equation (12)

Корффициент /	Марка круга / Wheel brand					
Coefficient	FS-WL 8A MED	FS-WL 6S FIN	CF-FB 0,5A FIN	DB-WL 8S MED	FS-WL 2S CRS	
<b>6</b> 1	0,05326541	2,89829 10 <sup>-3</sup>	6,66667·10 <sup>-3</sup>	0,10613115	0,098297	
<b>6</b> 2	1,132·10 <sup>-6</sup>	9,90857 10 <sup>-7</sup>	6,66667·10 <sup>-7</sup>	-1,55615·10 <sup>-7</sup>	6,746·10 <sup>-7</sup>	
<b>6</b> 3	0,03116126	6,12533·10 <sup>-6</sup>	0,01968	0,06468923	0,0131788	
64	-1,2031 10 <sup>-4</sup>	3,8861·10 <sup>-4</sup>	7,31743 10 <sup>-5</sup>	9,905·10 <sup>-4</sup>	6,061·10 <sup>-4</sup>	
<b>6</b> 5	4,9298·10 <sup>-4</sup>	4,53183·10 <sup>-4</sup>	2,79289·10 <sup>-5</sup>	2,3847·10 <sup>-4</sup>	5,708·10 <sup>-4</sup>	
<b>6</b> 6	1,20114	0,45	1,11	0,6	1,02427	
20 ВЕСТНИК ИрГТУ Том 22, № 2 2018 / PROCEEDINGS of ISTU Vol. 22, No. 2 2018 ISSN 1814-3520						

Проведена проверка соответствия теоретически рассчитанных значений поперечной шероховатости экспериментальным данным при изменении деформации круга Ду и скорости резания V. В табл. 6–10 представлены экспериментальные (RaЭ) и расчетные (RaT) значения.

#### Таблица 6

# Результаты расчета шероховатости для круга FS-WL 8A MED

#### Table 6

V, м/мин / m/min	S, мм/мин / mm/min	⊿У, мм / mm	<i>Р</i> <sub>У</sub> , Н / Н	<i>RaЭ</i> , мкм / µm	<i>RaT</i> , мкм / µm
220,7	130		2,253	1,56	1,56
441,4		15	2,226	1,86	1,862
551,7		1,5	2,208	2,05	2,054
706,2			2,178	2,37	2,369
		0,5	0,225	1,51	1,512
441,4	130	1,0	0,975	1,67	1,675
		1,5	2,226	1,86	1,862
		2,0	3,976	2,08	2,085

# Results of roughness calculation for the wheel FS-WL 8A MED

### Таблица 7

# Результаты расчета шероховатости для круга FS-WL 6S FIN

#### Table 7

Results of roughness calculation for the wheel FS-WL 65 FIN						
<i>V</i> ,	S,	⊿У,	<b>Р</b> ., Ц / Ц	<i>RaЭ</i> , мкм /	<i>Ra T</i> , мкм /	
м/мин / m/min	мм/мин / mm/min	мм / mm	ГУ, 11711	μm	μm	
203,4			3,101	0,715	0,717	
406,8	130	1 5	3,084	1,055	1,056	
508,5		1,0	3,074	1,256	1,223	
650,9			3,058	1,572	1,571	
	406,8 130	0,5	0,686	0,865	0,874	
106.9		1,0	1,599	0,959	0,965	
400,8		1,5	3,084	1,055	1,056	
		2,0	5,144	1,152	1,144	

# aughness calculation for the wheel ES M/L 6S EIN

# Таблица 8

# Результаты расчета шероховатости для круга FS-WL 2S CRS

### Table 8

### Results of roughness calculation for the wheel FS-WL 2S CRS

V,	S,	⊿У,		<i>RaЭ</i> , мкм /	<i>Ra T</i> , мкм /
м/мин / m/min	мм/мин / mm/min	мм / mm	Гу, П / П	μm	μm
231,2			2,22	2,178	2,212
464,4	130	2,5	2,151	2,756	2,782
578,1			2,051	3,072	3,075
739,9			1,841	3,545	3,559
		1,5	0,944	2,086	2,081
464,4	400	2,0	1,621	2,396	2,401
	150	2,5	2,151	2,756	2,782
		3,0	2,532	3,165	3,242

#### Таблица 9

# Результаты расчета шероховатости для круга DB-WL 8S MED

Table 9

V, м/мин / m/min	S, мм/мин / mm/min	⊿У, мм / mm	<i>Р</i> <sub>У</sub> , Н / Н	<i>RaЭ</i> , мкм / µm	<i>Ra T</i> , мкм / µm
232,2			2,62	1,239	1,238
464,3	130	1,5	2,489	1,526	1,526
580,4			2,419	1,663	1,663
742,9			2,318	1,848	1,849
		0,5	0,266	1,139	1,139
464,4	100	1,0	0,99	1,306	1,306
	130	1,5	2,489	1,526	1,526
		2,0	4,434	1,799	1,797

#### Results of roughness calculation for the wheel DB-WL 8S MED

### Таблица 10

#### Результаты расчета шероховатости для круга CF-FB-0,5AFIN

Table 10

	Acount of Toughiness calculation for the wheel of T D-0,0AT IN					
V, м/мин / m/min	S, мм/мин / mm/min	⊿У, мм / mm	<i>Р</i> у, Н / Н	<i>RaЭ</i> , мкм / µm	<i>Ra T</i> , мкм / µm	
303,2	130	4	1,178	1,382	1,385	
606,3			1,27	1,622	1,624	
757,9			1,337	1,788	1,793	
970,1			1,454	2,071	2,073	
606,3		3	0,755	1,546	1,548	
	130	3,5	1,00	1,582	1,585	
		4,0	1,27	1,622	1,624	
		4,5	1,565	1,665	1,669	

Results of roughness calculation for the wheel CF-FB-0,5AFIN

По данным, приведенным в табл. 6–10, видно, что математическая модель формирования шероховатости обработанной поверхности полностью коррелирует с экспериментальными данными.

Исследования достижимой продольной шероховатости показали, что  $Ra_{npod}$  для всех примененных кругов не зависит от заданных режимов резания. Статистической обработкой результатов экспериментов доказано, что при уровне значимости *p*=0,95 по критерию Фишера влияние  $\Delta y$ , *V* и *S* на  $Ra_{npod}$  является незначимым, значение достижимой продольной шероховатости зависит только от характеристик круга (зернистость, жесткость и т.д.)

После исключения грубых промахов во всей совокупности экспериментальных данных, которые составляли от 48 до 72 измерений, с использованием квантилей Стьюдента определены доверительные границы достижимой *Ra<sub>прод</sub>*. В табл. 11 приведены эти границы, а также предельные экспериментальные значения.

# Таблица 11

# Доверительные границы достижимой Ra<sub>прод.</sub> и предельные экспериментальные значения

Table 11

# Confidence boundary of the achievable Ralongitudinal and experimental limit values

Круг / Wheel	Ra прод. / Ra longitudinal	Ra (max)	Ra (min)
FS-WL-8AMED	0,02≤М ( <i>Ra про∂./ longitudinal</i> ) ≤0,478	0,49	0,06
FS-WL-6SFIN	0,018≤М ( <i>Ra прод./</i> <i>longitudinal</i> ) ≤0,508	0,59	0,07
FS-WL-2SCRS	0,124≤M ( <i>Ra про∂./ longitudinal</i> ) ≤0,68	0,7	0,17
DB-WL-8SMED	0≤M ( <i>Ra про∂./ longitudinal</i> ) ≤0,49	0,47	0,06
CF-FB-0,5AFIN	0,184≤M ( <i>Ra про∂./ longitudinal</i> ) ≤0,722	0,69	0,22

#### Заключение

Разработанная теория формирования микрогеометрии поверхности детали, основанная на взаимодействии режущего микрорельефа эластичного абразивного круга с обрабатываемой поверхностью, позволяет аналитически определить шероховатость по известным параметрам инструмента в зависимости от режимов обработки. При оптимизации технологического процесса данная математическая модель может быть использована как ограничительная функция для достижения заданного критерия оптимизации, например, целевой экономической функции.

Зависимость (11) параметра *Ra* от режимов обработки, построенная на экспериментальных данных, позволяет в производственных условиях легко определить ожидаемую шероховатость при разработке технологического процесса изготовления детали.

Если в технической документации на изделие есть ограничения по продольной шероховатости, то, пользуясь табл. 11, можно выбрать марку круга для обеспечения требуемой продольной шероховатости.

#### Библиографический список

1. Абрашкевич Ю.Д., Мачишин Г.М. Эффективная эксплуатация полимерно-абразивной щетки // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2016. Вып. 73. С. 59–62.

2. Абрашевич Ю.Д. Оглоблинский В.А. Оглоблинский А.В. Щеточные инструменты на основе полимерноабразивных // Мир техники и технологий. 2006. № 5. С. 50–52.

3. Чапышев А.П., Иванова А.В. Технологические возможности процессов механизированной финишной обработки деталей с применением автоматических стационарных установок // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, № 1 (5). С. 1627–1634.

4. Чапышев А.П., Иванова А.В., Крючкин А.В. Технологические возможности процессов механизированной финишной обработки деталей // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15, № 6 (2). С. 533–537.

5. Пини Б.Е., Яковлев Д.Р. О некоторых технологических возможностях щеток с абразивно-полимерным волокном // Известия МГТУ «МАМИ». 2009. № 1 (7). С. 148–151.

6. Степанов Д.Н. Влияние параметров полимерно-абразивного инструмента и режимов обработки на шероховатость поверхности титанового сплава ВТ8-М // Нові матеріали і тех-нології в металургії та машинобудуванні. 2012. № 2. С. 87–90.

7. Проволоцкий А.Е., Негруб С.Л. Использование полимерабразивного эластичного инструмента на операциях чистовой обработки // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2006. № 33. С. 106–108.

8. Проволоцкий А.Е., Негруб С.Л. Технологические возможности шлифования нолимер-абразивными кругами // Научно-технические проблемы станкостроения, производства технологической оснастки и инструмента: материалы междунар. науч.-техн. конф. (Одесса). Киев: АТМ, 2002. С. 102–104.

9. Дядя С.И., Гончар Н.В., Степанов Д.Н., Черный В.И., Алексеенко О.В. Обоснование выбора полимерноабразивного инструмента для выполнения отделочных операций // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. 2010. № 2. С. 145–148.

10. Димов Ю.В. Обработка деталей свободным абразивом. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2000. 293 с.

11. Рудзит Я.А. Микрогеометрия и контактное взаимодействие поверхностей. Рига: Зинатне, 1975. 210 с.

12. Димов Ю.В., Подашев Д.Б. Исследование свойств эластичных абразивных кругов // СТИН. 2017. № 2. С. 27–32.

13. Томленов А.Д. Теория пластического деформирования металлов. М.: Металлургия, 1972. 408 с.

14. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. М.: Физматгиз, 1963. 472 с.

15. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. М.: Наука, 1968. 288 с.

#### References

1. Abrashkevich Yu.D., Machishin G.M. Effective use of the polymer abrasive brush. *Vestnik Khar'kovskogo natsion-al'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta* [Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University], 2016, issue 73, pp. 59–62.

2. Abrashevich Yu.D. Ogloblinskii V.A. Ogloblinskii A.V. Brush tools on the basis of polymeric and abrasive ones. *Mir tekhniki i tekhnologii* [World of engineering and technology], 2006, no. 5, pp. 50–52. (In Russian).

3. Chapyshev A.P., Ivanova A.V. Technological capabilities of processes of mechanized finishing processing of the details with the use of automatic stationary units. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk* [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2014, vol. 16, no. 1 (5), pp. 1627–1634. (In Russian).

4. Chapyshev A.P., Ivanova A.V., Kryuchkin A.V. Technological capabilities of processes of details mechanized finishing processing. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk* [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2013, vol. 15, no. 6 (2), pp. 533–537. (In Russian).

5. Pini B.E., Yakovlev D.R. Manufacturing capabilities of brushes with abrasive polymeric fibers. *Izvestiya MGTU "MAMI"* [Scientific Journal "Izvestiya MGTU "MAMI"], 2009, no. 1 (7), pp. 148–151. (In Russian).

6. Stepanov D.N. Influence of polymer-abrasive tool parameters and method of processing on the roughness of titanium alloy BT8-M. *Novi materiali i tekhnologii v metalurgii ta ma-shinobuduvanni* [New Materials and Technologies in Metallurgy and Mechanical Engineering], 2012, no. 2, pp. 87–90.

7. Provolotskii A.E., Negrub S.L. Using polymer-abrasive elastic tools for finishing operations. *Vestnik khar'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta* [Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University], 2006, no. 33, pp. 106–108.

8. Provolotsky A.E., Negrub S.L. Technological capabilities of grinding using polymer-abrasive wheels // Scientific and technical problems of machine-tool construction, technological equipment and tools production: Materials of the International Scientific and Technical Conference. Odessa, Kiev: ATM of Ukraine, 2002. Page 102–104.

9. Dyadya S.I., Gonchar N.V., Stepanov D.N., Chernyi V.I., Alekseenko O.V. Validation of the polymer-abrasive fibers selection for finishing operations procession. *Novi materiali i tekhnologii v metalurgii ta mashinobuduvanni* [New Materials and Technologies in Metallurgy and Mechanical Engineering], 2010, no. 2, pp. 145–148.

10. Dimov Yu.V. *Obrabotka detalei svobodnym abrazivom* [Part machining with loose abrasive]. Irkutsk: IrGTU Publ., 2000, 293 p. (In Russian).

11. Rudzit Ya.A. *Mikrogeometriya i kontaktnoe vzaimodeistvie poverkhnostei* [Microgeometry and contact interaction of surfaces] Riga: Zinatne Publ., 1975, 210 p.

12. Dimov Yu.V., Podashev D.B. Research of elastic abrasive wheel properties. *STIN* [STIN], 2017, no. 2, pp. 27–32. (In Russian).

13. Tomlenov A.D. *Teoriya plasticheskogo deformirovaniya metallov* [Theory of plastic deformation of metals]. Moscow: Metallurgiya Publ., 1972, 408 p. (In Russian).

14. Akhmatov A.S. *Molekulyarnaya fizika granichnogo treniya* [Molecular physics of boundary friction]. Moscow: Fizmatgiz Publ., 1963, 472 p. (In Russian).

15. Pustyl'nik E.I. *Statisticheskie metody analiza i obrabotki nablyudenii* [Statistical methods of observation analysis and processing]. Moscow: Nauka Publ., 1968, 288 p. (In Russian).

#### Критерии авторства

Димов Ю.В., Подашев Д.Б. разработали математическую модель формирования шероховатости обработанной поверхности для кругов компании 3M марок Scotch-Brite™ FS-WL, DB-WL, CF-FB и подтвердили ее адекватность экспериментальными данными, провели обобщение и написали рукопись. Димов Ю.В. несет ответственность за плагиат.

#### Authorship criteria

Dimov Yu.V., Podashev D.B. have developed a mathematical model of machined surface roughness formation for the wheels of the company 3M of brands Scotch-Brite™ FS-WL, DB-WL, CF-FB; proved its adequacy by experimental data, summarized the material and prepared the manuscript. Dimov Yu.V. bears the responsibility for plagiarism.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### **Conflict of interests**

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.