

*and international standards, it was found that in the absence of fundamental differences in concepts and terms, there are differences in the systems of notation of values and parameters of cutting tools, as well as parameters that characterize cutting processes. It is recommended to adopt national standards identical to the standards of the ISO 13399 complex, as well as to revise national standards that contradict the established system of designations in world practice. The positive significance of the implementation of the standard DSTU ISO 513: 2015, which harmonized the classification and system of designation of solid tool materials with international standards, was noted. The existence of certain differences in the rules of design documents for alternative systems of ESCD and ISO 128 standards is recommended. It is recommended to intensify information and methodological support of ISO 128 series standards. It is proposed to intensify the adaptation to the new standards of educational processes for the preparation of applicants for higher, postgraduate and professional education, as well as to more actively involve scientists and competent specialists in the development of national standards.*

**Keywords:** *international standards, information exchange, tool systems, cutting tool, cutting processing, classification, tool logistics*

*Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» В. В. Суглобов  
Стаття надійшла 19.09.2020 р.*

**УДК 621.923**

**Сергєєв А. С.**

## **РОЗВИТОК ТЕОРЕТИКО-ІМОВІРНІСНОГО ПІДХОДУ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ПРИ ШЛІФУВАННІ**

*В роботі отримав подальший розвиток теоретико-імовірнісний підхід до визначення параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні. На його основі встановлено аналітичні залежності для визначення висотних параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні кругом, в якому ріжучі зерна змодельовані в формі сфери. Це нове теоретичне рішення, так як у відомих розрахунках параметрів шорсткості поверхні ріжучі зерна, як правило, приймаються в спрощеному вигляді в формі конуса або усіченого конуса. Безсумнівно, це дозволяє спростити розрахунки, однак при цьому має місце досить велика розбіжність теоретичних і експериментальних значень шорсткості поверхні. Тому уявлення в розрахунках ріжучих зерен в формі сфери дозволяє наблизити розрахункові значення параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні до експериментальних даних, що підтверджується результатами експериментальних досліджень. Розрахунками встановлено, що при переході від конусоподібної до сферичної форми ріжучих зерен висотні параметри шорсткості поверхні зменшуються більш ніж в два рази, а це приводить у відповідність теорію і практику шліфування. Встановлено також, що з кінематики-геометричної точки зору глибина шліфування не входить в залежність для визначення висотних параметрів шорсткості поверхні. Однак, виходячи з експериментальних даних, зі збільшенням глибини шліфування збільшується параметр шорсткості поверхні  $R_a$ , що може*

бути пов'язано з більш інтенсивним руйнуванням ріжучих зерен і утворенням на них гострих ріжучих крайок. У цьому випадку розрахунок параметра  $Ra$  слід проводити на основі залежності, яка враховує конусоподібну форму ріжучих зерен, що дозволяє більш повно оцінити технологічні можливості зменшення висотних параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні.

Запропонований в роботі теоретичний підхід, що забезпечує перехід від конусоподібної до сферичної форми ріжучих зерен, дозволив також уточнити відомі розрахункові залежності для визначення максимальної (ймовірнісної) товщини зрізу при шліфуванні. Це має важливе практичне значення при вирішенні завдань оптимізації та прогнозування перспективних напрямків підвищення ефективності шліфування з точки зору забезпечення висотних показників шорсткості і точності оброблюваних поверхонь.

**Ключові слова:** якість обробки, шліфувальний круг, синтетичні надтверді матеріали, сферичні і конусоподібні ріжучі зерна, максимальна висота мікронерівностей, максимальна товщина зрізу.

**Постановка проблеми.** Шорсткість поверхні є найважливішим показником якості обробки деталей машин, що визначає їх експлуатаційні властивості. Тому вишукування ефективних методів зниження висотних параметрів шорсткості оброблюваної поверхні в науково-технічній літературі постійно приділяється велика увага. В особливій мірі це відноситься до методів шліфування, які є основними методами остаточної обробки деталей машин, що забезпечують високі показники шорсткості і точності оброблюваних поверхонь. Так, завдяки створенню і застосуванню алмазно-абразивних інструментів з'явилася можливість істотного зменшення висотних параметрів шорсткості поверхонь оброблюваних деталей, що працюють в умовах інтенсивного тертя і зносу. Це дозволило підвищити їх працездатність, а також стало важливим етапом створення нових зразків наукомісткої техніки. Подальшим етапом розвитку методів фінішної обробки деталей машин слід розглядати створення надійних методик розрахунку параметрів шорсткості поверхні, особливо для процесів шліфування, на основі теоретико-імовірнісного підходу, запропонованого професорами Корольовим А. В. та Новоселовим Ю. К. Це дозволить спрогнозувати перспективні напрямки поліпшення шорсткості поверхні при шліфуванні. Тому справжня робота спрямована на вирішення актуальної науково-практичної задачі, присвяченій вдосконаленню методики розрахунку параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання розрахунку параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні розглянуті в роботах [1 - 4]. Найбільш достовірні результати розрахунків отримані на основі теоретико-імовірнісного підходу [2, 3], в якому відображена основна особливість формування шорсткості поверхні при шліфуванні, пов'язана з імовірнісним характером участі абразивних зерен в різанні. Аналітичні і чисельні розрахунки параметрів шорсткості поверхні виконуються з використанням теореми множення незалежних випадкових величин.

У роботах Новикова Ф. В. [5, 6] наведені аналітичні залежності для визначення параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні. Однак вони отримані стосовно конусоподібної формою ріжучих зерен, що справедливо в більшій мірі для зерен круга, виготовлених із синтетичних надтвердих матеріалів. Звичайні абразивні зерна в розрахунках, як правило, модулюються в формі сфери. Тому важливо отримані аналітичні залежності

підпорядкувати умов шліфування кругом зі сферичною формою ріжучих зерен. Це дозволить кількісно оцінити результати розрахунків параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні для різних форм зерен і визначити можливості їх практичного використання для прогнозування умов зменшення висотних параметрів шорсткості поверхні.

**Мета роботи** - подальший розвиток теоретико-імовірнісного підходу до визначення висотних параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні і теоретичне обґрунтування умов їх зменшення.

**Виклад основного матеріалу.** Для вирішення поставленого завдання слід скористатися аналітичною залежністю для визначення максимальної висоти мікронерівностей на обробленій поверхні деталі  $R_{max}$  при шліфуванні, наведеної в роботі [5]:

$$R_{max} = 5 \sqrt{\frac{10^5 \cdot \pi^2 \cdot \bar{X}^6 \cdot V_{дет}^2 \cdot \rho}{tg^2 \gamma \cdot m^2 \cdot V_{кр}^2}}, \quad (1)$$

де  $V_{дет}$  – швидкість деталі, м/с;  $V_{кр}$  – швидкість круга, м/с;  $\bar{X}$  – зернистість круга, м;  $m$  – об'ємна концентрація зерен у крузі;  $R_{дет}$  – радіус деталі, м;  $R_{кр}$  – радіус круга, м;  $\rho = \frac{1}{R_{дет}} + \frac{1}{R_{кр}}$  – приведений радіус, м<sup>-1</sup>;  $\gamma$  – половина кута при вершині ріжучої частини зерна в формі конуса.

При плоскому шліфуванні  $R_{дет} \rightarrow \infty$ , тоді  $\rho = 1/R_{кр}$ .

При круглому зовнішньому шліфуванні  $\rho = \frac{1}{R_{дет}} + \frac{1}{R_{кр}}$ , а при внутрішньому

шліфуванні  $\rho = -\frac{1}{R_{дет}} + \frac{1}{R_{кр}}$ , тому що радіус деталі  $R_{дет}$  приймає негативне значення.

Залежність (1) містить невизначений параметр – кут  $\gamma$ . При моделюванні ріжучого зерна в формі конуса його рекомендують в розрахунках приймати рівним або близьким до 45°, виходячи з експериментальних даних вимірювання кутів при вершинах абразивних зерен.

Як показано вище, при аналізі процесу шліфування абразивним кругом традиційно ріжучі зерна розглядаються в формі сфери. Тому слід скористатися розрахунковою схемою, представленої на рис. 1, розглядаючи кут  $2\gamma$ , вписаним в коло, яке відповідає формі ріжучого зерна. Оскільки параметр шорсткості поверхні  $R_{max}$  значно менше радіуса зерна  $R$ , то цілком допустимо його сферичну частину уявити в формі конуса. Тоді тригонометрична функція  $tg\gamma$ , що входить в залежність (1), визначиться:

$$tg\gamma = \frac{x_A}{y_A} \quad (2)$$

де  $x_A$ ,  $y_A$  – координати точки  $A$ , в якій відбувається перетин поверхонь конуса і сфери.

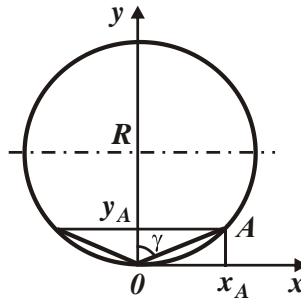


Рисунок 1 – Розрахункова схема координат точки  $A$  –  $x_A$  і  $y_A$

Координата  $y_A = R_{max}$ , а координата  $x_A$  визначається з рівняння окружності:

$$x^2 + (y - R)^2 = R^2. \quad (3)$$

Звідки

$$x_A = \sqrt{R^2 - (y_A - R)^2} \approx \sqrt{\bar{X} \cdot R_{max}}, \quad (4)$$

де -  $\bar{X} = 2 \cdot R$  діаметр абразивного зерна, м.

Підставляючи залежність (4) в (2), маємо:

$$\operatorname{tg} \gamma = \sqrt{\frac{\bar{X}}{R_{max}}}. \quad (5)$$

Тоді залежність (1) з урахуванням залежності (5) приймає вид:

$$R_{max} = 5 \sqrt{\frac{R_{max}}{\bar{X}} \cdot \frac{10^5 \cdot \pi^2 \cdot \bar{X}^6 \cdot V_{det}^2 \cdot \rho}{\operatorname{tg}^2 \gamma \cdot m^2 \cdot V_{кр}^2}}. \quad (6)$$

Після зведення лівої і правої частин залежності (6) в п'яту ступінь, отримано:

$$R_{max}^4 = \frac{10^5 \cdot \pi^2 \cdot \bar{X}^5 \cdot V_{det}^2 \cdot \rho}{m^2 \cdot V_{кр}^2}, \text{ звідки}$$

$$R_{max} = 10 \cdot \bar{X} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot \sqrt{10 \cdot \bar{X} \cdot \rho \cdot V_{det}}}{m \cdot V_{кр}}}. \quad (7)$$

Таким чином, отримана залежність для визначення параметра шорсткості поверхні  $R_{max}$  при шліфуванні кругом зі сферичними ріжучими зернами. Вона відрізняється від аналогічної залежності (1), справедливої для кола з конусоподібними ріжучими зернами.

Проведемо порівняння результатів розрахунків параметра  $R_{max}$  по залежностям (7) і (1), використовуючи вихідні дані, наведені в роботі [5]:  $V_{det} = 1$  м/хв.;  $V_{кр} = 35$  м/с;  $R_{det} = 80$  мм;  $R_{кр} = 150$  мм;  $\bar{X} = 0,2$  мм;  $m = 100$ .

## Машинобудування і зварювальне виробництво

Виходячи із залежності (7), розрахунками встановлено:  $R_{max} = 3,4$  мкм. Відповідно, параметр шорсткості поверхні  $R_a$  з урахуванням відомої умови  $R_{max}/R_a = 5$  дорівнює

$R_a = 0,68$  мкм. Розрахункове значення кута  $\gamma$  (рис.1) в цьому випадку дорівнює  $\gamma = 82^\circ$ .

Виходячи із залежності (1), з урахуванням  $\gamma = 45^\circ$  розрахунками встановлено:  $R_{max} = 7,72$  мкм;  $R_a = 1,54$  мкм.

Як видно, при сферичній формі ріжучих зерен параметр шорсткості поверхні  $R_a$  приймає значення, в 2,26 рази менше, ніж при конусоподібній формою зерен. Це в більшій мірі відповідає експериментальним даним параметра  $R_a$  (рис. 2), отриманим при круглому зовнішньому шліфуванні (з невеликою глибиною шліфування  $t = 0,05$  мм) твердосплавного виробу (багатолезвийного інструменту - фрези) алмазним кругом 1A1 300x25 AC6 200/160 M1-01 4 на металевій зв'язці M1-01. Опрацьований матеріал - твердий сплав ВК8. Часткова поздовжня подача (визначається відношенням ширини шліфування до висоти круга) встановлювалася рівною  $S_\partial = 0,9$ .

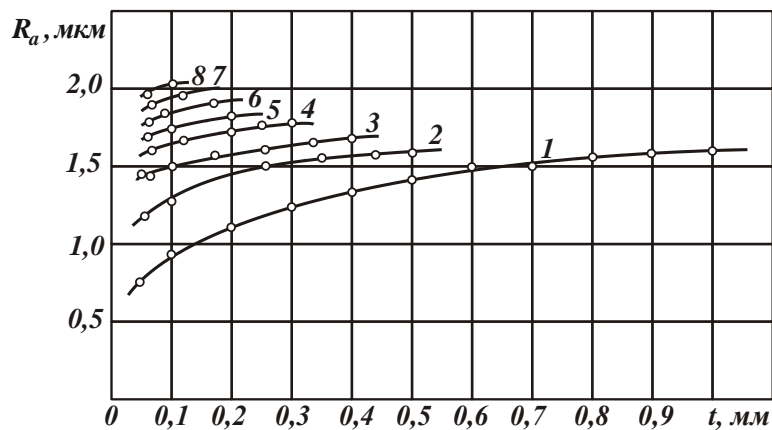


Рисунок 2 – Залежність шорсткості поверхні  $R_a$  від глибини шліфування  $t$

Умови шліфування: алмазний коло - 1A1 300x25 AC6 200/160 M1-01 4; опрацьований матеріал - твердий сплав ВК8;  $S_\partial = 35$  м / с;  $S_\partial = 0,9$ ;  $R_{дет} = 80$  мм.

Умовні позначення: 1 ... 6 -  $V_{дет} = 1 \dots 6$  м/хв.; 7 -  $V_{дет} = 8$  м/хв.; 8 -  $V_{дет} = 10$  м/хв.

Як впливає з рис. 2, зі збільшенням глибини шліфування  $t$  і переходом в область глибокого шліфування параметр шорсткості поверхні  $R_a$  збільшується. Це відбувається в результаті підвищення інтенсивності руйнування алмазних зерен і утворення на них гострих різальних крайок, тобто в результаті переходу від сферичної форми ріжучих зерен до конусоподібної форми. У цьому випадку доцільно параметр шорсткості поверхні  $R_a$  встановлювати на основі залежності (1), яка справедлива для конусоподібної форми ріжучих зерен. Отримане розрахункове значення  $R_a = 1,54$  мкм для цього випадку з урахуванням  $\gamma = 45^\circ$  цілком відповідає експериментально встановленим значенням при  $t > 0,05$  мм (рис. 2).

Расчет параметра  $R_a$  по зависимости (7) для скорости детали  $V_{дет} = 10$  м/мин. показал, что  $R_a = 2,15$  мкм (при  $R_{max} = 10,74$  мкм). Соответственно, расчетное значение угла  $\gamma = 77^\circ$ . Сравнивая расчетное значение  $R_a$  с экспериментальным значением  $R_a$  при глубине шлифования  $t = 0,05$  мм (рис. 2), установлено, что они близки. Расхождение этих значений составляет менее 10 %, что свидетельствует о достоверности предложенного подхода к расчету параметров шероховатости поверхности  $R_a$  и  $R_{max}$  при шлифовании кругом со сферической формой режущих зерен. Таким образом, предложенный теоретический подход позволяет уточнить известные расчетные зависимости для определения параметров шероховатости поверхности при шлифовании и получить более точные расчетные значения высотных параметров шероховатости поверхности.

Розрахунок параметра  $R_a$  по залежності (7) для швидкості деталі  $V_{дет} = 10$  м/хв. показав, що  $R_a = 2,15$  мкм (при  $R_{max} = 10,74$  мкм). Відповідно, розрахункове значення кута  $\gamma = 77^\circ$ . Порівнюючи розрахункове значення  $R_a$  з експериментальним значенням  $R_a$  при глибині шліфування  $t = 0,05$  мм (рис. 2), встановлено, що вони близькі. Розбіжність цих значень не перевищує 10 %, що свідчить про достовірність запропонованого підходу до розрахунку параметрів шорсткості поверхні  $R_a$  і  $R_{max}$  при шліфуванні кругом зі сферичною формою ріжучих зерен. Таким чином, запропонований теоретичний підхід дозволяє уточнити відомі розрахункові залежності для визначення параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні і отримати більш точні розрахункові значення висотних параметрів шорсткості поверхні.

Встановлена залежність (5) для визначення функції  $tg\gamma$  дозволяє уточнити наведене в роботі [5] теоретичне рішення про визначення максимальної (ймовірнісної) товщини зрізу при шліфуванні:

$$H_{max} = \sqrt[3]{\frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{дет} \cdot \sqrt{\rho \cdot t}}{tg\gamma \cdot m \cdot V_{кр}}} \quad (8)$$

Підставляючи в залежність (8) функцію, яка визначається залежністю (5), маємо:

$$H_{max} = \sqrt[3]{\frac{H_{max}}{\bar{X}} \cdot \frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{дет} \cdot \sqrt{\rho \cdot t}}{m \cdot V_{кр}}} \quad \text{або} \quad (9)$$

$$H_{max}^6 = \frac{H_{max}}{\bar{X}} \cdot \left( \frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{дет} \cdot \sqrt{\rho \cdot t}}{m \cdot V_{кр}} \right)^2 \quad (10)$$

Звідки

$$H_{max} = \bar{X} \cdot \sqrt[5]{\left( \frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{дет} \cdot \sqrt{\rho \cdot t}}{m \cdot V_{кр}} \right)^2} \quad (11)$$

В результаті отримано аналітичне рішення, що дозволяє привести у відповідність теорію і практику шліфування, оскільки в залежності (11) відсутня невизначена функція  $tg\gamma$ .

*Машинобудування і зварювальне виробництво*

На основі залежності (11) з урахуванням  $\bar{X} = 2 \cdot R$  (де  $R$  - радіус зерна, м) можна встановити відношення  $H_{max}/R$  [6], визначальна умова здійснення процесу різання (стружкоутворення) або умова здійснення пластичного деформування оброблюваного матеріалу (без утворення стружки):

$$\frac{H_{max}}{R} = 2 \cdot \sqrt[5]{\left(\frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{det} \cdot \sqrt{\rho \cdot t}}{m \cdot V_{кр}}\right)^2} \quad \text{або} \quad (12)$$

$$\frac{H_{max}}{R} = 2 \cdot \sqrt[5]{\left(\frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot Q \cdot \sqrt{\rho}}{m \cdot V_{кр} \cdot B \cdot \sqrt{t}}\right)^2}, \quad (13)$$

де -  $Q = B \cdot V_{det} \cdot t$  - продуктивність обробки, м<sup>3</sup>/с;  $B$  - ширина шліфування, м.

Розрахунками встановлено, що при  $Q = 10 \cdot 10^3$  мм<sup>3</sup>/хв. відношення  $H_{max}/R = 0,255$ , а при  $Q = 10^3$  мм<sup>3</sup>/хв., відповідно,  $H_{max}/R = 0,1$ . Як відомо, при  $H_{max}/R = 0,255$  процес різання (стружкоутворення) здійснимо, а при  $H_{max}/R = 0,1$  переважатиме процес пластичного деформування оброблюваного матеріалу.

Таким чином, встановлено, що, завдяки запропонованому підходу до визначення параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні, можна більш точно і обґрунтовано підходити до вибору оптимальних умов обробки, що забезпечують задану шорсткість обробленої поверхні. Отримані теоретичні рішення є подальшим розвитком робіт [7, 8], присвячених визначенню умов зменшення висотних параметрів шорсткості поверхні  $R_a$  і  $R_{max}$  при шліфуванні.

**ВИСНОВКИ**

В роботі отримав подальший розвиток теоретико-імовірнісний підхід до визначення параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні. На його основі встановлено аналітичні залежності для визначення висотних параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні кругом, в якому ріжучі зерна змодельовані в формі сфери. Це нове теоретичне рішення, так як у відомих розрахунках параметрів шорсткості поверхні ріжучі зерна, як правило, приймаються в спрощеному вигляді в формі конуса або усіченого конуса, що, безсумнівно, дозволяє спростити розрахунки. Однак при цьому має місце досить велика розбіжність теоретичних і експериментальних значень шорсткості поверхні. Тому уявлення в розрахунках ріжучих зерен в формі сфери дозволяє наблизити розрахункові значення параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні до експериментальних даних, що підтверджується результатами експериментальних досліджень.

Розрахунками встановлено, що при переході від конусоподібної до сферичної формі ріжучих зерен висотні параметри шорсткості поверхні зменшуються більш ніж в два рази, а це приводить у відповідність теорію і практику шліфування. Запропонований в роботі теоретичний підхід, що забезпечує перехід від конусоподібної до сферичної формі ріжучих зерен, дозволив також уточнити відомі розрахункові залежності для визначення

## Машинобудування і зварювальне виробництво

максимальної (ймовірнісної) товщини зрізу при шліфуванні. Це має важливе практичне значення при вирішенні завдань оптимізації та прогнозування перспективних напрямків підвищення ефективності шліфування з точки зору забезпечення високих показників шорсткості і точності оброблюваних поверхонь.

### Список використаних джерел:

1. Маслов, Е. Н. Теория шлифования металлов / Е. Н. Маслов. – М. : Машиностроение, 1974. – 319 с.
2. Королев, А. В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке / А. В. Королев. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1975. – 212 с.
3. Novoselov, Yu. K. Dynamics of surface shaping in abrasive processing / Yu. K. Novoselov. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 317 p.
4. Евсеев, Д. Г. Физические основы процесса шлифования / Д. Г. Евсеев, А. И. Сальников. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1978. – 128 с.
5. Новіков Ф. В. Високопродуктивне алмазне шліфування : монографія / Ф. В. Новіков. – Харків : Вид. ХНЕУ, 2014. – 412 с.
6. Новіков, Ф. В. Основи обробки металевих виробів з оптичними властивостями: монографія / Ф. В. Новіков, В. Г. Шкурупій. – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015. – 388 с.
7. Сергеев, О. С. Теоретичний аналіз технологічних можливостей зменшення шорсткості поверхні при абразивній обробці [Електронний ресурс] / О. С. Сергеев, О. О. Анділахай // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2019. – Вип. 39. – С. 86–93. – (Серія : Технічні науки). – Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/26882>
8. Сергеев, А. С. Обоснование эффективности применения абразивной обработки для уменьшения шероховатости поверхности / А. С. Сергеев // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні = Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: Techniques in a machine industry: зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків, 2020. – № 1 (1). – С. 19–23.

Сергеев А. С.

### РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИКО-ВЕРОЯТНОСТНОГО ПОДХОДА К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

*В работе получил дальнейшее развитие теоретико-вероятностный подход к определению параметров шероховатости поверхности при шлифовке. На его основе установлены аналитические зависимости для определения высотных параметров шероховатости поверхности при шлифовке кругом, в котором режущие зерна смоделированы в форме сферы. Это новое теоретическое решение, так как в известных расчетах параметров шероховатости поверхности режущие зерна, как правило, принимаются в упрощенном виде в форме конуса или усеченного конуса. Несомненно, это позволяет упростить расчеты, однако при этом имеет место достаточно большое расхождение теоретических и экспериментальных значений шероховатости поверхности.*



*Поэтому представление в расчетах режущих зерен в форме сферы позволяет приблизить расчетные значения параметров шероховатости поверхности при шлифовке в экспериментальных данных, что подтверждается результатами экспериментальных исследований. Расчетами установлено, что при переходе от конусообразной к сферической формы режущих зерен высотные параметры шероховатости поверхности уменьшаются более чем в два раза, а это приводит в соответствие теорию и практику шлифования. Установлено также, что по кинематике-геометрической точки зрения глубина шлифования не входит в зависимость для определения высотных параметров шероховатости поверхности. Однако, исходя из экспериментальных данных, с увеличением глубины шлифования увеличивается параметр шероховатости поверхности  $R_a$ , что может быть связано с более интенсивным разрушением режущих зерен и образованием на них острых режущих кромок. В этом случае расчет параметра  $R_a$  следует проводить на основе зависимости, учитывающей конусообразную форму режущих зерен, что позволяет более полно оценить технологические возможности уменьшения высотных параметров шероховатости поверхности при шлифовке.*

*Предложенный в работе теоретический подход, обеспечивающий переход от конусообразной к сферической формы режущих зерен, позволил также уточнить известные расчетные зависимости для определения максимальной (вероятностной) толщины среза при шлифовке. Это имеет важное практическое значение при решении задач оптимизации и прогнозирования перспективных направлений повышения эффективности шлифования с точки зрения обеспечения высотных показателей шероховатости и точности обрабатываемых поверхностей.*

**Ключевые слова:** *качество обработки, шлифовальный круг, синтетические сверхтвердые материалы, сферические и конусовидные режущие зерна, максимальная высота микронеровностей, максимальная толщина среза.*

**Serhieiev A. S.**

## **DEVELOPMENT OF THEORETICAL-PROBABILITY APPROACH TO DETERMINING THE PARAMETERS OF SURFACE ROUGHNESS DURING GRINDING**

*In this work, a probabilistic-theoretical approach to determining the parameters of surface roughness during grinding was further developed. On its basis, analytical dependences are established for determining the height parameters of surface roughness during grinding with a wheel in which the cutting grains are modeled in the form of a sphere. This is a new theoretical solution, since in the known calculations of the surface roughness parameters, cutting grains are usually taken in a simplified form in the form of a cone or truncated cone. Undoubtedly, this makes it possible to simplify the calculations; however, in this case, there is a rather large discrepancy between the theoretical and experimental values of the surface roughness. Therefore, the representation in the calculations of cutting grains in the form of a sphere makes it possible to approximate the calculated values of the parameters of surface roughness during grinding in experimental data, which is confirmed by the results of experimental studies. Calculations have established that in the transition from a conical to a spherical shape of cutting grains, the height parameters of the surface roughness decrease by more than two times, and this brings the theory and practice of grinding into line. It was also found that according to the kinematics-geometrical*

*point of view, the grinding depth is not included in the dependence for determining the height parameters of the surface roughness. However, based on the experimental data, with an increase in the grinding depth, the surface roughness parameter Ra increases, which may be associated with more intense destruction of cutting grains and the formation of sharp cutting edges on them. In this case, the calculation of the Ra parameter should be carried out on the basis of the dependence taking into account the conical shape of the cutting grains, which makes it possible to more fully evaluate the technological possibilities of reducing the height parameters of the surface roughness during grinding.*

*The theoretical approach proposed in this work, which provides a transition from a conical to a spherical shape of cutting grains, also made it possible to refine the known calculated dependences to determine the maximum (probabilistic) cut thickness during grinding. This is of great practical importance in solving optimization problems and predicting promising directions for increasing the efficiency of grinding from the point of view of ensuring the height parameters of roughness and accuracy of the machined surfaces.*

**Key words:** *processing quality, grinding wheel, synthetic superhard materials, spherical and cone-shaped cutting grains, maximum height of microroughness, maximum cut thickness.*

*Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Самотугін С.С.  
Стаття надійшла 19.07.2020 р.*

**УДК 621.923**

**Новіков Ф. В., Новіков Д. Ф., Анділахай О. О., Анділахай В. О.**

## **ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТОЧНОСТІ ТА ЯКОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ РІЗАННЯМ**

*В роботі визначені основні напрямки підвищення ефективності фінішної обробки деталей різанням на основі застосування сучасних лезвійних і абразивних інструментів, високопродуктивних технологій обробки на високооборотних металорізальних верстатах типу "обробний центр", що дозволяють виконувати високоточну обробку деталей з однієї установи з найменшими виробничими витратами. Теоретично обґрунтовано основні умови зниження силової напруженості процесу різання, підвищення показників точності, якості і продуктивності обробки. Аналітично визначені пружні переміщення, що виникають в технологічній системі в процесі різання і шліфування. Встановлено, що основними умовами їх зменшення є зменшення радіуса округлення вершини ріжучого елемента (зерна) і збільшення жорсткості технологічної системи. Зменшити радіус округлення вершини леза інструменту можна за рахунок застосування більш зносостійких інструментальних матеріалів з нанесеними на них зносостійкими покриттями, які забезпечують високу ріжучу здатність лезвійних інструментів. Зменшити пружні переміщення в процесі шліфування можна збільшенням зернистості круга за умови забезпечення граничних значень відносини товщини зрізу до радіуса округлення вершини ріжучого зерна, при досягненні яких процес різання переходить в процес тертя і пластичного деформування оброблюваного матеріалу. Викриті значні резерви підвищення ефективності шліфування матеріалів, пов'язані зі зменшенням радіусів округлення вершин абразивних зерен круга за рахунок реалізації режиму*