

В.С. Гришин, С.О. Абрамов

## МОДЕЛЮВАННЯ ТЕКСТУРУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ КОЛЕКТОРНИХ ПЛАСТИН

*Анотація. У статті розглянуто теоретичні основи і методології проектування високо-ефективних ресурсозберігаючих технологічних процесів фінішної обробки колекторних пластин електричних машин, а також процес утворення мікрорельєфу на боковій поверхні колекторних пластин в зоні дії абразивно-повітряного струменя та взаємозв'язок між факторами і ступінь їх впливу на інтенсивність. Сформовано модель фінішної обробки бокових поверхонь колекторних пластин, оброблених карбідом кремнію (чорний).*

*У роботі вирішено важливо науково-технічну задачу, пов'язану з підвищенням якості поверхні, а також експлуатаційних властивостей мідних колекторних пластин, що полягає у формуванні оптимального мікрорельєфу шляхом застосування струйно-абразивної обробки. У результаті імітаційного моделювання процесу струйно-абразивного текстурування бокових поверхонь мідних пластин встановлено, що необхідний довільний мікрорельєф поверхні для забезпечення нерухомості між мідними колекторними пластинами і пластинами слюдо пласти утворюється в результаті контактної взаємодії абразивних частинок з поверхнею без значного знімання матеріалу. Застосування розробленої моделі розрахунку для процесів текстурування дозволяє прогнозувати властивості поверхневого шару колекторних пластин.*

*Ключові слова: моделювання, аналіз, під чистове обробка, колекторна пластина, абразивний частка, карбід кремнію.*

Колектори електромашин працюють при механічних навантаженнях і високих окружних швидкостях, схильні до динамічних впливів і тому набираються з профілю трапецеїдальної форми перерізу, кутові розміри якого повинні бути виконані з високою точністю. Виготовлення профілю звичайними способами не забезпечує необхідну точність. Найменші відхилення в розмірах від конструкторських в процесі складання колектора в арковому або клиновому з'єднаннях приводять до радіальних переміщень контактних поверхонь пластин в колекторі при динамічних навантаженнях.

Задачею роботи є підвищення монолітності конструкції колектора за рахунок збільшення мікрорельєфу контактних поверхонь методом струйно-абразивного текстурування, що в свою чергу сприятиме підвищенню технологічності й надійності ресурсу колектора.

Широкі технологічні можливості струйно-абразивної обробки залежать від встановлення технологічних параметрів (розмір абразивних часток, швидкості руху часток, концентрація, тиск стислого повітря, кут атаки, фізико-механічні властивості часток і оброблюваної поверхні) та вихідними параметрами процесу (шорсткість обробленої поверхні, величин знімання металу та наклепу). Що в свою чергу зумовлює необхідність оптимального вибору величин технологічних параметрів в умовах текстурування бокових поверхонь мідних ламелей. Основні закономірності можуть бути встановлені в результаті регресійного аналізу експериментальних даних. Проте використання отриманих закономірностей обмежується трудомісткістю процесу та порівняно вузькими областями зміни параметрів проведення експерименту.

**Формулювання об'єкта статті.** Метою роботи є визначення факторів, які визначають процес утворення мікрорельєфу в зоні дії струйно-абразивної обробки, взаємозв'язок між ними та ступінь їх впливу на інтенсивність формування мікрорельєфу; формування моделі текстурування поверхонь колекторних пластин, створення теоретичних основ і методології проектування високоефективних ресурсозберігаючих технологічних процесів виробництва колекторів вузлів електричних машин.

**Аналіз публікацій за темою дослідження.** Вагомий внесок у розвиток теорії моделювання струменево-абразивної обробки поверхні зробили такі науковці, як, зокрема, Проволоцький О.Є. [1], Денисюк В.Ю., Харчик М.М., Буць Б.П. [2], Андилахай А.А., Новиков Ф.В. [3], Гордєєв А.І., Урбанюк Є.А., Сілін Р.С. та інші.

Основні підходи до теоретичного описання і дослідження процесів абразивно-струминного оброблення викладені в труді [1], де запропоновані залежності, які дають змогу наближено параметри оброблення; проведено імітаційне моделювання контактної взаємодії одиначної частинки абразиву із оброблюваною поверхнею для дослідження зміни розмірів поверхні та шорсткості під часу абразивно-струминного оброблення.

Аналогічний підхід запропоновано авторами [4,5] для струйно-абразивної обробки поверхонь.

**Основна частина.** Найбільш універсальним підходом, заснованим на визначенні пошукових залежностей і рішенні задачі оптимізації технологічних параметрів процесу струйно-абразивної обробки в результаті статистичного імітаційного моделювання, а саме можливість керування вхідними параметрами до початку роботи моделі чи у процесі роботи – одна із ключових

переваг використання імітаційного моделювання для аналізу систем та процесів. Це дає можливість визначити оптимальні параметри, за яких досягається максимальна ефективність роботи процесів, визначити залежність між вхідними та вихідними параметрами.

Представлена модель розроблена для обчислення зміни і шорсткості оброблюваної поверхні при текстуруванні колекторних пластин, шляхом дії ударної ерозії на оброблювану поверхню унаслідок вживання як наповнювача струменя – карбиду кремнію.

Реальні технологічні особливості процесу фінішної обробки колекторних пластин, зокрема, дискретна природа потоку частинок, указують на необхідність виконання послідовно одиничних актів конкретної взаємодії на елементарній ділянці оброблюваної поверхні. При такому підході зміна шорсткості і оброблюваної поверхні може бути визначена як:

$$Ra_t(d, V) = \sum_{j=1}^N r(d, V) \rightarrow \max \quad (1)$$

де  $N$  – кількість одиничних актів контактної взаємодії на елементарній площадці;

$r$  – величина лунки після одиничного акта контактної взаємодії;

$d$  – величина абразивної частинки;

$V$  – швидкість абразивного потоку.

При цьому знімання матеріалу, приймається як обмеження

$$G_t(d, V) > \min \quad (2)$$

При цьому величина  $r$  обумовлена технологічними параметрами процесу, шорсткістю поверхні і її властивостями.

Таким чином, в основу математичної моделі процесу взаємодії абразивних частинок покладена модель одиничного акту контактної взаємодії, що дозволяє визначати величину  $r$ .

Якщо обмежити види даних поверхонь, що піддаються обробці, порівняно простими, що забезпечують досить однорідні умови обробки на всій поверхні (в даному випадку площини), то величина загальної шорсткості зі всієї поверхні може бути визначена, якщо відомий час  $t$ , необхідний для обробки:

$$Ra = t * \sum_{i=1}^N (r)_i \quad (3)$$

де  $N$  - кількість одиничних актів контактної взаємодії в одиницю часу;

Кількість часток, що подаються на оброблювану поверхню в одиницю часу, знаходимо як частка від ділення секундної витрати  $U$  на масу однієї абразивної частки :

$$N_c = \frac{U}{m_i} = \frac{6 * U}{\pi * d_p^3 * \rho_r} \quad (4)$$

Тут  $U = \frac{\sum_{i=1}^{N_c} m_i}{t}$  - визначається експериментально як частка від ділення маси абразивного матеріалу  $\sum_{i=1}^{N_c} m_i$  на час  $t$ , за яке ця маса викидається сопловим апаратом.

Зміна шорсткості поверхні в процесі обробки взаємозв'язана з обмеженням знімання матеріалу і повинна бути врахована при розробці математичної моделі.

Виходячи з викладеного, в основу математичної моделі процесу текстурування обробки потоком абразивних частинок покладена модель одиничного акту контактної взаємодії, що дозволяє визначити величину  $(r)$ .

Враховуючи складний характер процесів, що протікають при обробці потоком абразиву, доцільно відособити деякі сторони явища, що вивчаються, задавши, таким чином, певну структуру математичної моделі. В загальному випадку математична модель має в своєму складі взаємозв'язані елементи, що описують: оброблювану поверхню; потік абразивних часток; контактну взаємодію; зніманню шорсткості з оброблюваної поверхні.

Особливості шорсткої поверхні після струйно-абразивної обробки показані на (рис. 1).

Це дозволяє істотно спростити подальшу побудову моделі контактної взаємодії. Якщо розглядати гранні частині карбїду кремнію (чорного), як частинку сферичної форми (радіус описаної окружності, рис. 2).



а



б

Рисунок 1 - Мікроструктура шорсткої поверхні колекторної пластини, обробленої абразивними частками карбїду кремнію (чорний); М1 а - х 20, б – х 40

Шорстка поверхня оброблюваного матеріалу моделювалася сукупністю сферичних западин, параметри яких підкоряються нормальному закону розподілу і визначаються в результаті аналізу профілограм поверхні. Профілограми знімаються (наприклад, за допомогою 3D профілометра) не менше, чим в п'яти характерних зонах поверхонь у взаємоперпендикулярних напрямках. Оптичний інтерференційний профілометр «Мікрон-альфа», який використовується до апаратурних засобів інтерференційної профілометрії, на підґрунті когерентного і некогерентного випромінювання (рис. 3).

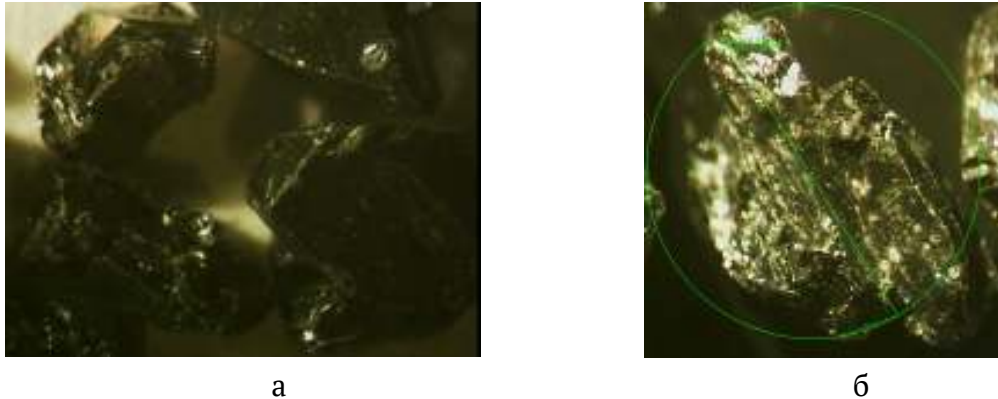


Рисунок 2 - Мікроструктура абразивної частки карбіду кремнію (чорний);  
а - х 20, б - х 40

Дані засоби контролю дозволяють відновлювати мікротопографії поверхні методом обробки послідовності інтерференційних даних. При цьому точність і роздільна здатність визначаються довжиною хвилі випромінювання і є досить високими.

У результаті обробки профілограм отримуємо набори значень висот і розмірів основ (на рівні середньої лінії профілю) нерівностей.

Для кожної мікронерівності всіх профілограф визначається величина приведенного радіусу [3]:

$$r_{ij} = \frac{\gamma_{bj} * d_{ij}}{\gamma_{rj} * 8h_{ij}} \quad (5)$$

де  $\gamma_{bj}$  і  $\gamma_{rj}$  - коефіцієнти вертикального і горизонтального збільшення для  $j$ -тої профілографи, що аналізується;  $d_{ij}$  і  $h_{ij}$  - розміри основи на рівні середньої лінії профілю і висоти  $i$ - мікронерівності  $j$ -тої профілограми.

Для кожної профілографи обчислюються оцінки математичного чекання і дисперсії

$$R_j = \frac{1}{n_j} * \sum_{t=1}^{n_j} r_{tj} \quad (6)$$

$$D_j = \frac{1}{n_j - 1} * \sum_{j=1}^{n_j} (r_{tj} - R_j)^2 \quad (7)$$

де  $n_j$  – кількість значень розмірів основи і висот для  $j$  – тої профілограми.

Для кожної з п'яти зон поверхні, в якій збудовані профілограми у взаємоперпендикулярних напрямках, визначаються приведені оцінки математичного чекання і дисперсії радіусу:

$$R_k = \sqrt{R_{npj-1} * R_{nj}} \quad (8)$$

$$D_k = \sqrt{D_{npj-1} * D_{nj}} \quad (9)$$

де  $R_{npj-1}$  і  $R_{nj}$  - оцінка математичних чекань радіусів для профілограм ( $j$ -тої і  $j-1$ - тої) у взаємоперпендикулярних напрямках.

Як параметри нормального закону розподілу вірогідності для радіусів сферичних сегментів моделі шорсткої поверхні застосовуються середні значення оцінок математичних чекань і відповідних дисперсії для п'яти характерних зон поверхні:

$$R = \frac{1}{5} * \sum_{k=1}^5 R_k \quad (10)$$

$$D = \frac{1}{5} * \sum_{k=1}^5 D_k \quad (11)$$

Аналогічно, по формулах визначаються параметри закону розподілу для величини радіусу основи сегменту.

Всі сферичні западини моделі шорсткості поверхні в межах елементарного майданчика мають постійний радіус основи  $R_c$ , і різні радіуси сфер  $R_{ci}$ . У вибраній системі координат центри основ сегментів розташовуються з однаковим кроком у напрямі осей  $OX$ ,  $OY$ ,  $OZ$  (рис. 3).

Це дозволяє зберегти в пам'яті комп'ютера інформацію, що описує всі зміни з кожним сферичним сегментом при дії абразивних часток.

Тому після моделювання обробки (а також в процесі моделювання) можливо визначати результуючу (або поточну) шорсткість поверхні, обробивши наявні в пам'яті масиви даних про висоту «нерівностей» моделі шорсткої поверхні по стандартній методиці здобуття показників шорсткості по профілограмам.

Перевірка моделі шорсткої поверхні підтвердила можливість адекватного опису з її допомогою шорсткості реальних поверхонь.

Стандартний типорозмір абразивних матеріалів містить зазвичай 65% - основної, 30% - дрібної і 5% - крупної фракції.

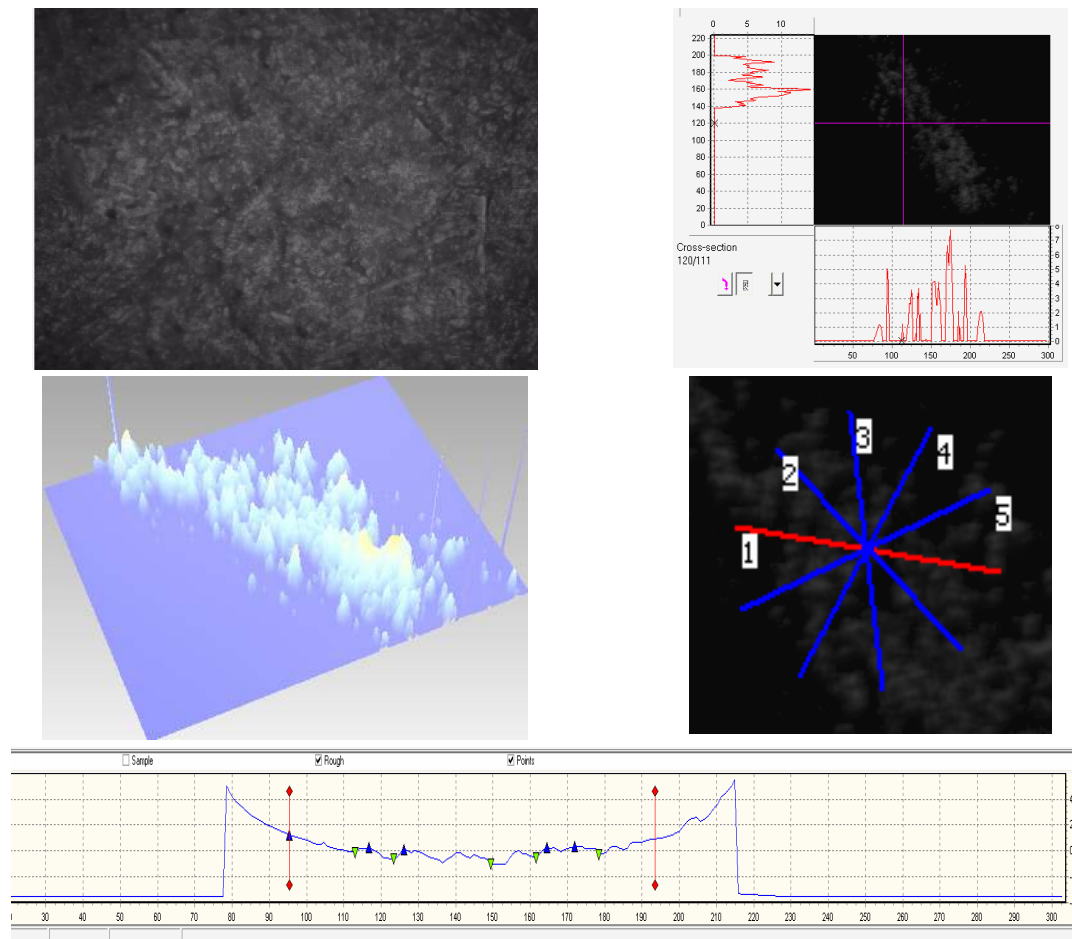


Рисунок 3 - Мікрорельєф шорсткої поверхні колекторної пластини, обробленої абразивними частками карбіду кремнію

Таким чином, величини процентного вмісту фракцій в абразивному матеріалі еквівалентні величинам вірогідності появи часток, відповідних даних фракції.

Реалізації розмірів часток потоку відтворюються прийомами статистичного моделювання [6] в два етапи.

На першому - по величині випадкового (точніше, псевдовипадкового) числа з рівномірним законом розподілу вірогідності, який відтворюється за допомогою стандартного генератора псевдовипадкових чисел математичного забезпечення комп'ютера, визначається тип фракції. На другому етапі

встановлюється значення розміру діаметру сфери частки усередині діапазону, відповідного вибраній на першому етапі фракції:

$$d_{rj} = d_{k-1} + \frac{d_k - d_{k-1}}{P_k - P_{k-1}} * (\alpha - P_{k-1}) \quad (12)$$

де  $r$  - граничні значення радіусів, відповідні даній фракції часток;  $d_k$  - вірогідність появи  $k-1$ -ої і  $k$ -тої фракції часток, відповідно:  $\alpha$  - псевдовипадкове число з рівномірним (на інтервалі /0,1/) законом розподілу вірогідностей.

Показники фізико-механічних властивостей матеріалу абразивних часток (твердість, щільність, коефіцієнт Пуансона, модуль пружності, міцність на зріз) є випадковими величинами з нормальним законом розподілу вірогідності, які відтворюються за допомогою датчиків випадкових чисел. Параметри закону розподілу (математичне чекання і дисперсія) встановлюються по відомих методиках і довідкових даних. По встановлених так само діаметру частки і щільності ( $\rho_n$ ) матеріалу розраховується маса рухомої частки:

$$m_1 = \frac{\pi * d_r^3 * \rho_r}{6} \quad (13)$$

Подальше дослідження передбачається виконувати для абразивних часток, які рухаються з постійною швидкістю і кутом атаки (по відношенню до оброблюваної поверхні).

В результаті аналізу науково-технічної літератури [7,8] встановлено, що при використанні сопла Лавалю, газова течія є стаціонарним і одновимірним, тобто в будь-якій фіксованій точці сопла всі параметри потоку постійні в часі і змінюються тільки уздовж осі сопла, причому у всіх точках обраного поперечного перерізу параметри потоку однакові, а вектор швидкості газу всюди паралельний осі симетрії сопла, тобто швидкість часток на зрізі сопла можна прийняти рівній швидкості виділення стислого повітря через це сопло:

$$v_r = \sqrt{\left(2 * \frac{k}{k-1} * R * T_0\right) \left(1 - \frac{p}{p_0} \frac{k-1}{k}\right)} \quad (14)$$

де  $k$ - показник адіабати, для повітря  $k= 1,4055$ ;

$R=287$  Дж/(кг\*К) - питома газова постійна;

$p_0$  і  $T_0$  - тиск і температура стислого повітря до попадання в сопло Лавалю;

$P=0,1$  МПа - тиск повітря на зрізі сопла, рівний атмосферному тиску.

При підстановці значень  $R$ ,  $k$ ,  $p$  і вважаючи, що  $T_0=293$ К, вираження (14) спрощується й приймає вигляд:

$$v_r = 763,5 \sqrt{1 - \frac{0,1^{0,2}}{p_0}} \quad (15)$$



Величина кута атаки частки залежить від технологічних особливостей модельованого процесу обробки. Наприклад, в разі дослідження обробки потоком частинок, сформованим сопловим апаратом, приймаємо, що всі частки потоку мають однаковий кут атаки. При цьому величина кута може змінюватися в широких межах (практично від 0 до 180 град), але звичайно вибирається від 15° до 90°.

Довжина струменя встановлюється у взаємозв'язку з кутом атаки  $\alpha$  і відстанню  $L'$  від торця сопла до оброблюваної поверхні:

$$L = \frac{L'}{\sin \alpha}, \quad (16)$$

Таким чином, довжина струменя, в даній моделі, безпосередньо не задається, а розраховується по вираженню (16). У нашому випадку, при  $\alpha=90$ , відстань від торця сопла до оброблюваної поверхні дорівнює довжині струменя).

Кількість відтворних при моделюванні абразивних часток, тобто кількість актів одиначної контактної взаємодії, обумовлена концентрацією абразивного матеріалу в потоці, величиною витрати в одиницю часу через зріз сопла також часом і маршрутом переміщення сопла по оброблюваній поверхні. Вважаючи, що абразивні частки рівномірно розподілені в потоці, моделюємо їх концентрацію як кількість часток, що знаходяться в одиниці об'єму. Потік абразивних часток, що викидаються сопловим апаратом, є усіченим корпусом, об'єм якого рівний:

$$V = \frac{\pi * L}{1Z} (d^3 + D^2*d*D), \quad (17)$$

У свою чергу діаметр плями контакту  $D$  струменя абразивних часток залежно від діаметру на зрізі соплового апарату  $d$  і довжини струменя  $L$  знаходимо як:

$$D = d + zL * \text{tg} \beta \quad (18)$$

де  $\beta$  - центральний кут розкриття сопла, який зазвичай вибирають в межах 6-8 градусів.

Після підстановки і перетворень вираження (17) набуває вигляду:

$$V = \frac{\pi * L}{1Z} * (3d^2 + 6d * L * \text{tg} \beta + 4L^2 * \text{tg}^2 \beta) \quad (19)$$

Знаючи швидкість, з якої частки виходять з соплового апарату  $v_r$  (15) і вважаючи цю швидкість постійною, знаходимо час, протягом якого горизонтальний шар часток переміститься від зрізу соплового апарату до оброблюваної поверхні:

$$\Delta t = \frac{L}{V} \quad (20)$$

А, знаючи кількість часток, що викидаються сопловим апаратом в одиницю часу, можна знайти кількість часток, що знаходяться в об'ємі розглянутого вищу конуса:

$$N_g = N_c * \Delta t = N_c * \frac{L}{V} \quad (21)$$

Тоді кількість часток, що знаходяться в одиниці об'єму:

$$k = \frac{N_g}{V} = \frac{12 * N_c * \frac{L}{V}}{\pi * L * (3d^2 + 6d * L * \operatorname{tg}\beta + 4L^2 * \operatorname{tg}^2\beta)} \quad (22)$$

Після перетворень отримуємо:

$$k = \frac{72 * U}{\pi^2 * d_r^2 * \rho_r * v_r * (3d^2 + 6d * L * \operatorname{tg}\beta + 4L^2 * \operatorname{tg}^2\beta)} \quad (23)$$

Де швидкість  $v_r$  знаходимо відповідно до формули (15). Значення показників фізико-механічних властивостей поверхневого шару та матеріалу (такі як твердість, міцність на зріз, щільність, коефіцієнт Пуассона, модель пружності) являються реалізаціями випадкових величин з нормальним законом розподілу, визначаються в результаті дослідження поверхні (наприклад, для твердості) чи по довідковій технічній літературі.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** У роботі вирішено важливо науково-технічну задачу, пов'язану з підвищенням якості поверхні, а також експлуатаційних властивостей мідних колекторних пластин, що полягає у формуванні оптимального мікрорельєфу шляхом застосування струйно-абразивної обробки. У результаті імітаційного моделювання процесу струйно-абразивного текстурювання бокових поверхонь мідних пластин встановлено, що необхідний довільний мікрорельєф поверхні для забезпечення нерухомості між мідними колекторними пластинами і пластинами слюдо пласти утворюється в результаті контактної взаємодії абразивних частинок з поверхнею без значного знімання матеріалу. Застосування розробленої моделі розрахунку для процесів текстурювання дозволяє прогнозувати властивості поверхневого шару колекторних пластин.

#### ЛІТЕРАТУРА / ЛИТЕРАТУРА

1. Проволоцкий А.Е. Струйно– абразивная обработка деталей машин / А.Е. Проволоцкий. – К. : Техника, 1989. – 177 с.
2. Денисюк В. Ю. Аналіз існуючих технологій очищення поверхонь в сучасному машино- та приладо-будуванні / В. Ю. Денисюк, М. М. Харчик, Б. П. Буць // Пер-

спективні технології та прилади. - 2015. - Вип. 6. - С. 9-13. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ptp\\_2015\\_6\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ptp_2015_6_4)

3. Андилахай А. А. Теоретические и экспериментальные исследования динамики струйно-абразивной обработки / А. А. Андилахай, Ф. В. Новиков // Вісн. Приазов. держ. техн. ун-ту. Сер. Техн. науки. - 2010. - Вип. 20. - С. 206-212.

4. Имитационное моделирование процесса обработки потоком абразивных частиц / А.Э. Проволоцкий, А. Г. Ясев, В. С. Гришин, И. А. Маринченко // Изв. вузов. Машино-строение. - 1987. - № 4. - С. 112-116.

5. Иванов В.В. Компьютерное имитационное моделирование процесса гидроабразивного резания / В. В. Иванов, М. К. Решетников // Вестник Саратовского государственного технического университета. - 2015. - №2(79). - С. 46-49.

6. Проволоцкий А.Е., Лапшин П.С. Моделирование потока абразивных частиц. Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наук. пр. - Донецьк: ДонНТУ, 2011.- Вип. 42. - с. 252-255.

7. Бойко А.В. Гідрогазодинаміка: підручник. Х.: НТУ"ХПІ", 2007.- 444 с.

8. Макаренко Р.О. Гідрогазомеханіка: навч. посіб. /Р.О. Макаренко, О.Д. Коваль, О.І. Хлистул. - К.: НАУ, 2016. - 220 с.

#### REFERENCES

1. Provolotskiy A.E. Struyno-abrazivnaya obrabotka detaley mashin / A. E. Provolotskiy. - K. : Tehnika, 1989. - 177 s.

2. Denysiuk V. Yu. Analiz isnuichykh tekhnolohii ochyshchennia poverkhon v suchasnomu mashyno- ta prylado-buduvanni / V. Yu. Denysiuk, M. M. Kharchyk, B. P. Buts // Perspektyvni tekhnolohii ta prylady. - 2015. - Vyp. 6. - S. 9-13. - Rezhym dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ptp\\_2015\\_6\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ptp_2015_6_4)

3. Andilayahay A. A. Teoreticheskie i eksperimentalnyie issledovaniya dinamiki struyno-abrazivnoy obrabotki / A. A. Andilayahay, F. V. Novikov // Вісн. Приазов. держ. техн. ун-ту. Сер. Техн. науки. - 2010. - Вип. 20. - С. 206-212.

4. Imitatsionnoe modelirovanie protsessa obrabotki potokom abrazivnyih chastits / A.E. Provolotskiy, A. G. Yasev, V. S. Grishin, I. A. Marinchenko // Izv. vuzov. Mashinostroenie. - 1987. - # 4. - S. 112-116.

5. Ivanov V.V. Kompyuternoe imitatsionnoe modelirovanie protsessa gidroabrazivnogo rezaniya / V.V. Ivanov, M.K. Reshetnikov // Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tehnichestskogo universiteta. - 2015. - #2(79). - S. 46-49.

6. Provolotskiy A.E., Lapshin P.S. Modelirovanie potoka abrazivnyih chastits. Progressivni tehnologiyi i sistemi mashinobuduvannya: Mizhnarodniy zb. nauk. pr. - Donetsk: DonNTU, 2011.- Vip. 42. - s. 252-255.

7. Boyko A.V. Gidrogazodinamika: podruchnik. H.: NTU"HPi", 2007. - 444 s.

8. Makarenko R.O. Gidrogazomehanika: navch. posib. /R.O. Makarenko, O.D. Koval, O.I. Hlistun. - K.: NAU, 2016. - 220 s.

Received 22.02.2019.

Accepted 28.02.2019.

### **Моделирование текстурирования поверхностей коллекторных пластин**

*В статье рассмотрены теоретические основы и методологии проектирования высокоэффективных ресурсосберегающих технологических процессов финишной обработки коллекторных пластин электрических машин, а также процесс образования микрорельефа на боковой поверхности коллекторных пластин в зоне действия абразивно-воздушной струи и взаимосвязь между факторами и степень их влияния на интенсивность. Сформирована модель финишной обработки боковых поверхностей коллекторных пластин, обработанных карбидом кремния (черный).*

#### **Modeling of texture of the surface of collector plates**

*Technological possibilities of jet processing cause increased attention to the study of the regularities of the process. The main interest for practice is the establishment of the kind of dependencies between technological parameters (abrasive particles size, particle speed, concentration, compressed air pressure, attack angle, physical and mechanical properties of particles and surface to be treated) and initial process parameters (roughness of the treated surface, removal rates of the metal and libel). That, in turn, determines the necessity of optimal choice of the values of technological parameters in the conditions of a concrete production situation. The basic regularities can be established as a result of regression analysis of experimental data. However, the use of the resulting laws is limited to the complexity of the process and relatively narrow areas of changing the parameters of the experiment.*

*The purpose of the work is to determine the factors that determine the formation of a microrelief in the area of the abrasive air jet, the relationship between them and the degree of their effect on the intensity of the formation of a microrelief; formation of a model of finishing treatment of collector plates, creation of theoretical bases and methodology of designing high-efficient resource-saving technological processes of production of motor collectors of electric machines.*

*Analysis of recent research and publications. The following contributions were made to the development of the theory of modeling of the inkjet-abrasive surface treatment: Volovetsky O.E., Denysyuk V.Yu., Kharchik M.M., Buts BP, Andilahi A.A., Novikov FV, Gordeyev AI, Urbanyuk Ye.A., Silin R.S. and other.*

*The most universal approach based on determining the search dependencies and solving the problem of optimizing the technological parameters of the processing process as a result of statistical simulation, namely the ability to control the input parameters before the start of the model or in the process of work - one of the key benefits of using simulation modeling for the analysis of systems and processes. This allows you to determine the optimal parameters, which maximize the efficiency of the processes, determine the relationship between the input and output parameters.*

*The paper considers: creation of theoretical bases and methodology of designing high-efficiency resource-saving technological processes of production of motor collectors of electric machines; the process of formation of microrelief of collector plates in the area of the abrasive air jet, the relationship between the factors and the degree of their influence on the intensity of formation. The formation of a model of finishing treatment of collector plates treated with silicon carbide (black) was determined.*

*Prospects for further research are the improvement of the technological process of obtaining collector nodes on the possibilities of implementation.*

**Гришин В.С.** - к.т.н., доцент, Национальная металлургическая академия Украины.

**Абрамов С.А.** - заведующий учебной лабораторией, Национальная металлургическая академия Украины.

**Гришин В.С.** – к.т.н., доцент, Національна металургійна академія України.

**Абрамов С.О.** – завідувач учбовою лабораторією, Національна металургійна академія України.

**Gryshin V.**- candidate of technical science, assistant professor, National metallurgical academy of Ukraine.

**Abramov S.** - laboratory chief, National metallurgical academy of Ukraine.