МАШИНОЗНАВСТВО

УДК 621.9.048.6

Серілко Л. С., к.т.н., доцент, Пікула М. В., старший викладач, Стадник О. С., к.т.н, асистент, Серілко Д. Л., к.т.н, асистент
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РУХУ ЧАСТИНОК В УСТАНОВЦІ ДЛЯ ВІДЦЕНТРОВОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

У статті розглянуто застосування відцентрової обробки деталей, яка дозволяє підвищити продуктивність процесу і якість обробки. Запропоновано схему відцентрової обробки, яка дозволяє уникнути застійних зон, а отже – підвищити ефективність відцентрової обробки. Проведено дослідження відносного руху частинок абразивного середовища та деталей, що дозволяє обґрунтувати конструктивні та технологічні параметри установки для відцентрової обробки деталей.
Ключові слова: **відцентрова обробка деталей, продуктивність процесу, якість обробки, кінематичні характеристики руху абразивних частинок.**

У всіх галузях промисловості, особливо в машинобудуванні, неухильно зростає питома вага об'ємної оздоблювально-зачищувальної обробки (ОЗО) деталей гранульованими робочими середовищами. Її використовують для механізації трудомістких операцій, таких як шліфування, полірування, підготовка поверхонь під покриття, видалення задирок і заокруглення кромок. Трудомісткість операцій ОЗО досягає 20% загальної трудомісткості виготовлення деталей, адже їх виконують вручну чи засобами малої механізації. Найбільш поширені такі методи ОЗО, як вібраційний, відцентровий, ротаційний, гідропіскоструминний, вогневий та інші.

В останні роки все більше застосування знаходить високопродуктивна відцентрова обробка, яка дозволяє створити значно вищий тиск частинок гранульованих робочих середовищ в робочій зоні, ніж інші методи. У порівнянні з вібраційною обробкою цей тиск може бути у 20...25 разів більшим.

Істотним недоліком, властивим всім методам ОЗО, в тому числі і відцентрової, є наявність в робочій камері зон різної інтенсивності

впливу гранул на оброблювальні поверхні деталей, причому велика частина деталей і гранул перебуває у зоні відносного спокою, так званій застійній зоні.

У застійних зонах сповільнюється переміщення гранул щодо поверхонь оброблювальних деталей, що призводить до порушення стабільності обробки. Тому виникає необхідність вибраковування незадовільно оброблених деталей, їх повторної обробки чи ручної дообробки важкодоступних ділянок профілю, що істотно підвищує трудомісткість ОЗО.

Відносний рух гранул і поверхонь деталей досягається за рахунок обертання робочої камери з постійною швидкістю і (або) її вібрацій.

Актуальність теми. Підвищення конкурентоспроможності та якості машинобудівної продукції за рахунок впровадження ефективних інноваційних технологій є необхідною умовою розвитку машинобудування в сучасній ринковій економіці.

Для підвищення стабільності відцентрової обробки і якісних характеристик важкодоступних ділянок фасонного профілю деталей пропонується інтенсифікувати відносний рух гранул і поверхонь деталей. В цьому випадку відбувається додатковий рух гранул відносно поверхонь деталей, циклічно руйнується застійна зона, що створює умови для підвищення стабільності формування однорідної шорсткості поверхонь деталі й інтенсифікується видалення металу.

Мета роботи – визначення кінематичних характеристик руху частинок абразивної маси у відцентровій установці.

Розглянемо рух частинки абразиву, вважаючи її матеріальною точкою, по конічній поверхні робочої камери вібраційної установки (рис. 1) при наявності перегородок, які обмежують рух частинок в трансверсальному напрямі [1].

При завантаженні робочої камери 1 деталями 5 і робочим середовищем, абразивні гранули 6, проходячи через перегородку перфоровану 4, опускаються у нижню частину робочої камери 1, а деталі залишаються у верхній.

При ввімкненні приводу маса завантаження починає здійснювати складний рух. Під дією відцентрових сил інерції деталі 5 і абразивні гранули 6 піднімаються по внутрішній поверхні робочої камери 1 і після контакту з сферичною кришкою 2 інгредієнти маси завантаження починають рухатися назустріч один одному. В результаті відбувається їх інтенсивне перемішування, зіткнення та відповідна обробка деталей.

Під дією гравітаційних сил інгредієнти маси завантаження опускаються вниз і розділяються перфорованою перегородкою 4 на деталі та абразивні частинки. Цикл обробки повторюється.

Розрахункова схема дії сил у відцентровій установці представлена на рис. 2.

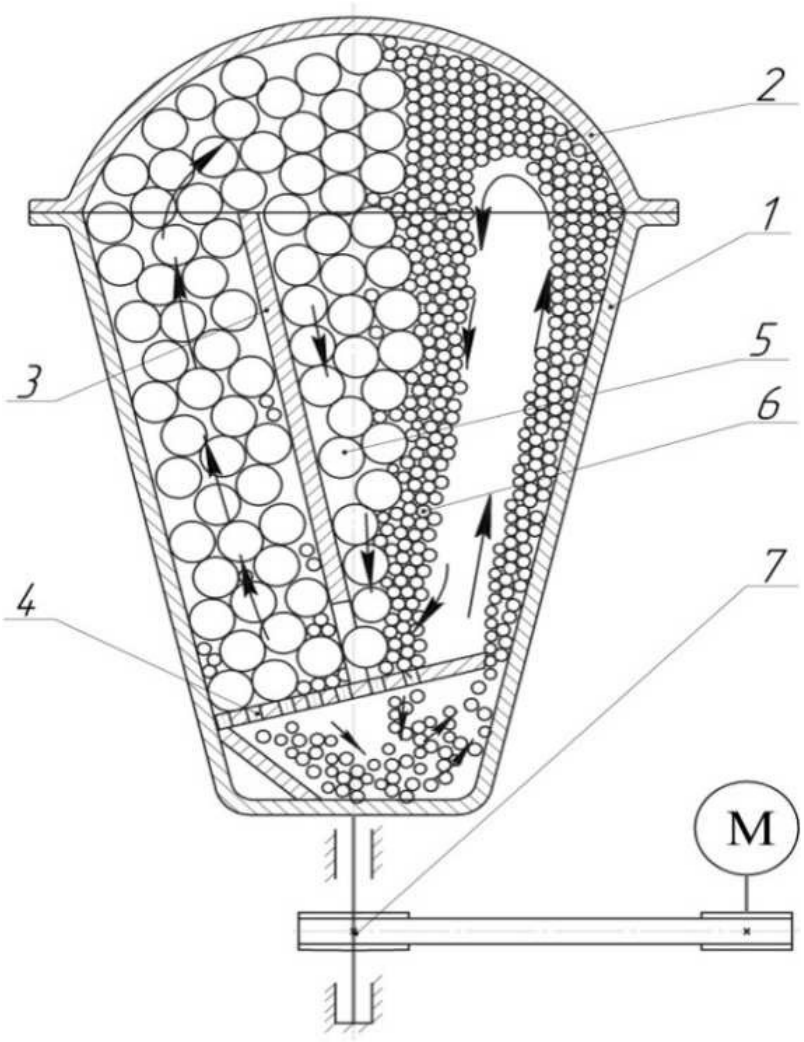

Рис. 1. Схема відцентрової установки для обробки деталей:
1 – робоча камера, 2 – кришка, 3 – розсікач, 4 – перегородка перфорована,
5 – деталі, 6 – абразивні гранули, 7 – привод

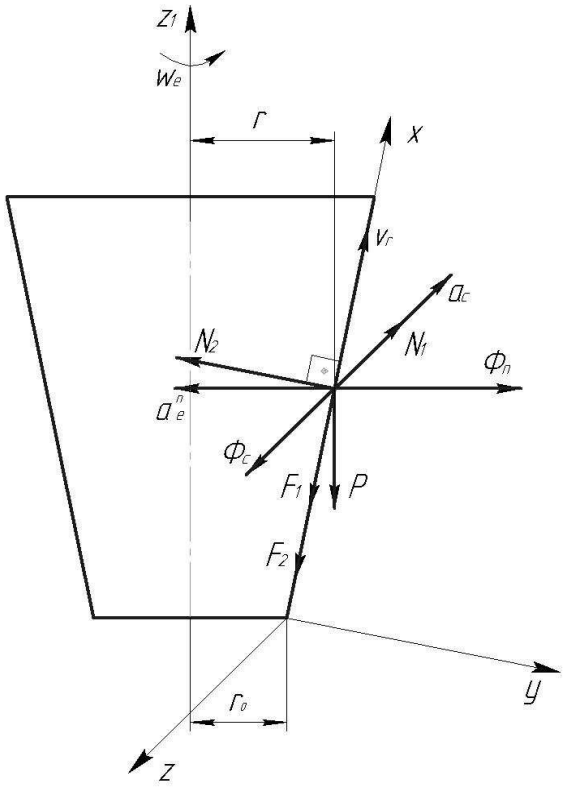

Рис. 2. Розрахункова схема сил, що діють у відцентровій установці

Для дослідження відносного руху частинки (точки *M*) зв'яжемо з поверхнею робочої камери систему координат *OXYZ* (рис. 2). Положення точки на поверхні буде визначатися координатою *X*.

Оскільки система координат *OXYZ* обертається разом з робочою камерою навколо нерухомої осі Z_1, то рух точки *M* буде описуватися за допомогою диференціальних рівнянь відносного руху.

При рівномірному обертанні робочої камери переносне прискорення $\overrightarrow{a_e}$ точки M буде дорівнювати тільки нормальній складовій a_e^n:

$$a_e^n = \omega^2 r .$$

Отже, переносна сила інерції $\Phi_n = ma_n = m\omega^2 r$ і буде спрямована перпендикулярно осі X у площині OXУ.

Прискорення Коріоліса точки M дорівнює:

$$a_c = 2\omega_e v_r \sin(\overrightarrow{\omega_e}, \overrightarrow{v_r}) = 2\omega_e \dot{x} \sin\alpha .$$

Коріолісова сила інерції $\Phi_c = ma_c$ спрямована паралельно осі *Z*.

Крім сили інерції на точку *M* будуть діяти сили тяжіння *P*, реакція поверхні робочої камери N_2, реакція перегородки N_1 і, відповідно,

сили тертя по тих поверхнях F_1 і F_2:

$$F_1 = f_1 N_1,\ F_2 = f_2 N_2.$$

Очевидно, що $r = r_0 + x\sin\alpha$.

Запишемо диференціальні рівняння руху частинки М на осі *X*, *У*, *Z*:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -P\cos\alpha - F_1 - F_2 + \Phi_n \sin\alpha; \\ m\ddot{y} = P\sin\alpha - N_2 + \Phi_n \cos\alpha; \\ m\ddot{z} = N_1 - \Phi_c. \end{cases} \quad (1)$$

Оскільки відносний рух точки М відбувається вздовж осі X, то $\ddot{y} = 0;\ \ddot{z} = 0$ і рівняння (1) матимуть вигляд:

$$\begin{cases} \ddot{x} = -g\cos\alpha - f_1 N_1 - f_2 N_2 + \omega^2 \left(r_o + x\sin\alpha\right)\sin\alpha; \\ 0 = -g\sin\alpha + N_2 + \omega^2 \left(r_o + x\sin\alpha\right)\cos\alpha; \\ 0 = N_1 - 2\omega\dot{x}\sin\alpha. \end{cases} \quad (2)$$

З другого та третього рівнянь системи (2) отримаємо:

$$\begin{cases} N_2 = g\sin\alpha - \omega^2 \left(r_o + x\sin\alpha\right)\cos\alpha; \\ N_1 = 2\omega\dot{x}\sin\alpha. \end{cases} \quad (3)$$

Підставивши ці значення в рівняння (1), отримаємо:

$$\ddot{x} = -g\cos\alpha - f_1 2\cos\ddot{x}\sin\alpha -$$

$$-f_2\left[g\sin\alpha - \omega^2\left(r_o + x\sin\alpha\right)\cos\alpha\right] + \omega^2\left(r_o + x\sin\alpha\right)\sin\alpha. \quad (4)$$

Після перетворень рівняння (4) матиме вигляд:

$$\ddot{x} + \dot{x}f_1 2\omega\sin\alpha + x\omega^2(\sin\alpha\cos\alpha - \sin^2\alpha) =$$

$$= -f_2\left(g\sin\alpha - \omega^2 r_0\cos\alpha\right) - \omega^2 r_0\sin\alpha. \quad (5)$$

Введемо позначення:

$$A = 2\omega f_1 \sin\alpha;$$

$$B = \omega^2 \sin\alpha(f_2\cos\alpha - \sin\alpha);$$

$$C = \omega^2 r_0\left(\sin\alpha - f_2\cos\alpha\right) - g(f_2\sin\alpha + \cos\alpha).$$

Тоді рівняння (5) матиме вигляд:

$$\ddot{x} + A\dot{x} + Bx = C. \quad (6)$$

Загальний розв'язок рівняння (6) складається з загального розв'язку однорідного рівняння

$$\ddot{x} + A\dot{x} + Bx = 0 \quad (7)$$

і його частинного розв'язку: $x = x_1 + x_2$.

Для інтегрування лінійного однорідного диференціального рівняння другого порядку із сталим коефіцієнтом складемо характеристичне рівняння і знайдемо його корені.

$$\lambda^2 + A\lambda + B = 0. \quad (8)$$

Оскільки загальний розв'язок диференціального рівняння залежить від коренів характеристичного рівняння (можуть бути три випадки), то проаналізуємо значення цих коренів для відцентрової установки з реальними параметрами.

Очевидно, щоб забезпечити рух частинки по бічній поверхні робочої камери, необхідно витримати такі умови:

$$-P\cos\alpha - F_1 - F_2 + \Phi_n \sin\alpha > 0, \quad (9)$$

або, враховуючи, що при x_0=0 і $\dot{x}_0$=0:

$$-g\cos\alpha - f_2 g\sin\alpha - f_2\omega^2 r_0\cos\alpha + \omega^2 r_0\sin\alpha > 0$$

звідки

$$\omega^2 > \frac{g(\cos\alpha + f_2\sin\alpha)}{r_o(\sin\alpha - f_2\cos\alpha)}. \quad (10)$$

На рис. 3 наведено графіки залежності мінімальної кутової швидкості робочої камери від її конусності та коефіцієнта тертя.

Якщо врахувати, що $f_1 = f_2 = \mathrm{tg}\varphi$, то рівняння (10) матиме вигляд:

$$\frac{\sin\alpha\cos\varphi - \sin\varphi\cos\alpha}{\cos\alpha\cos\varphi + \sin\varphi\sin\alpha} \geq \frac{g}{2\omega^2}. \quad (11)$$

Після незначних перетворень отримаємо:

$$\omega^2 = \frac{g}{r_o\,\mathrm{tg}(\alpha - \varphi)}. \quad (12)$$

Для спрощення конструкції приймемо, що $\alpha \neq const$, тобто форма була криволінійна. Тут α – кут конусності камери.

Оскільки $\sin\alpha - f_2\cos\alpha > 0$, то значення коефіцієнта *B* буде від'ємним, тобто

$$\left(\frac{A}{2}\right)^2 - B > 0.$$

Характеристичне рівняння (8) буде мати два корені

$$\lambda_{1,2} = -\frac{A}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{A}{2}\right)^2 - B}.$$

Загальний розв'язок неоднорідного рівняння буде

$$x = c_1\alpha_1 e^{\alpha_1 t} + c_1 e^{\alpha t}.$$

Загальний розв'язок диференціального рівняння (6) з правою частиною отримаємо за допомогою методу варіації постійних інтегрування.

Приймаємо радіус по днищу рівним $r_0 = 0{,}05$ м, кут конусності $\alpha = 65^\circ$, коефіцієнт тертя $f = 0{,}4$. В цьому випадку рівняння руху матиме вигляд:

$$\ddot{x}+10{,}87\,\dot{x}-150{,}17\,x=-2{,}25. \qquad (13)$$

Розв'язавши рівняння (13), отримаємо розв'язки, представлені у вигляді графіків зображених на рис. 3–8.

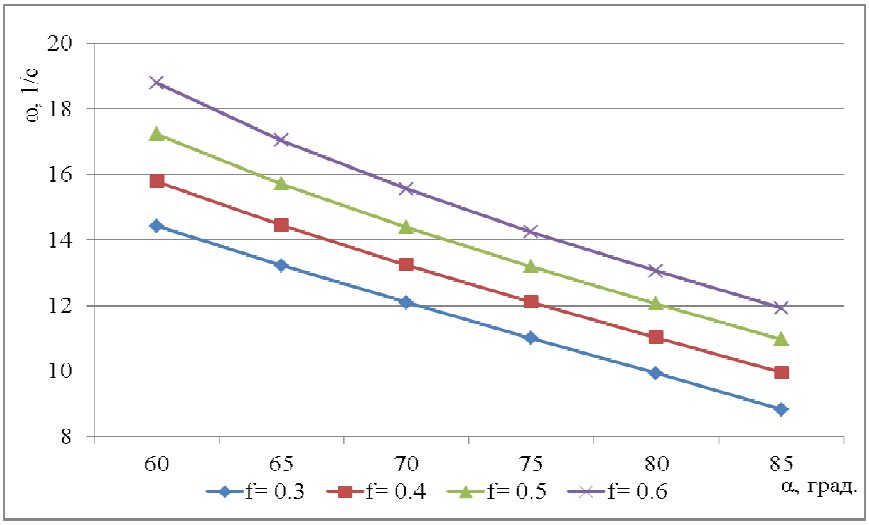

Рис. 3. Залежність кутової швидкості від кута конусності робочої камери при різних значеннях коефіцієнта тертя частинок абразиву по поверхні робочої камери

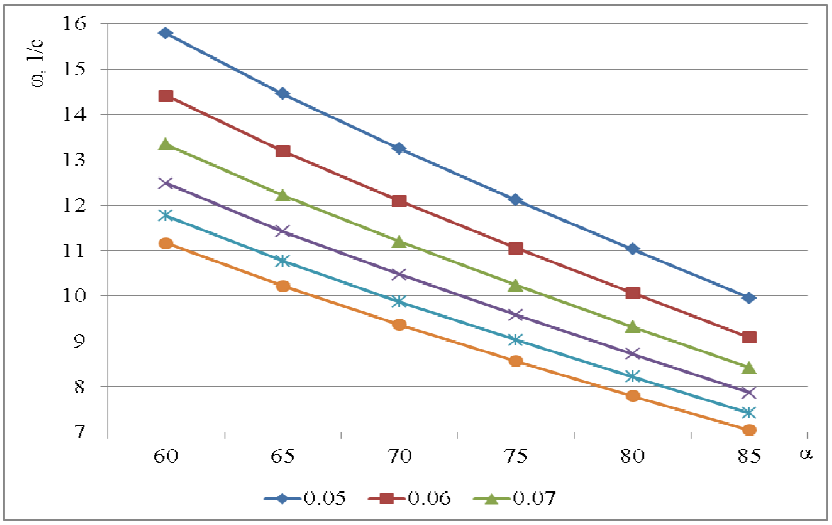

Рис. 4. Залежність кутової швидкості від кута конусності робочої камери при різних значеннях радіуса днища

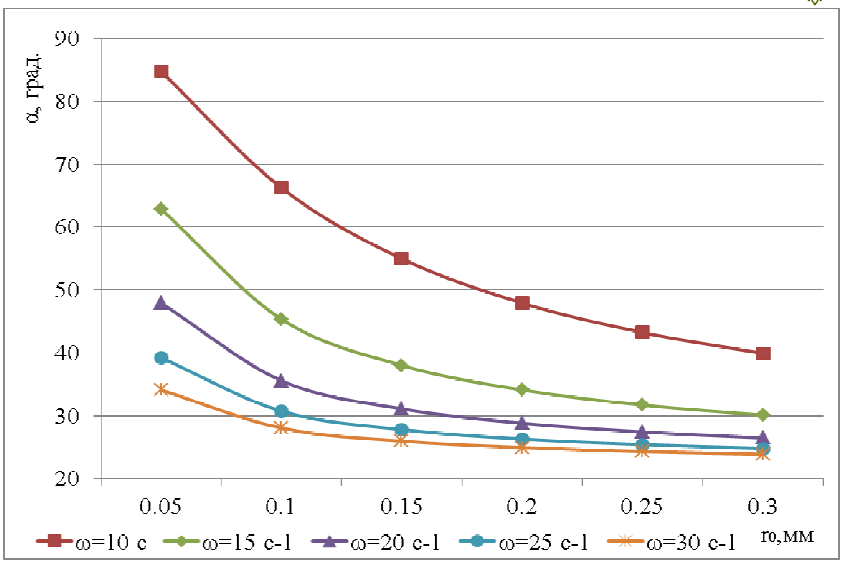

Рис. 5. Залежність кута конусності робочої камери від радіуса днища при різних значеннях кутової швидкості

Рис. 6. Залежність швидкості частинки абразиву від переміщення (f = 0,4; r_0 = 0,05 м; ω = 15 с$^{-1}$)

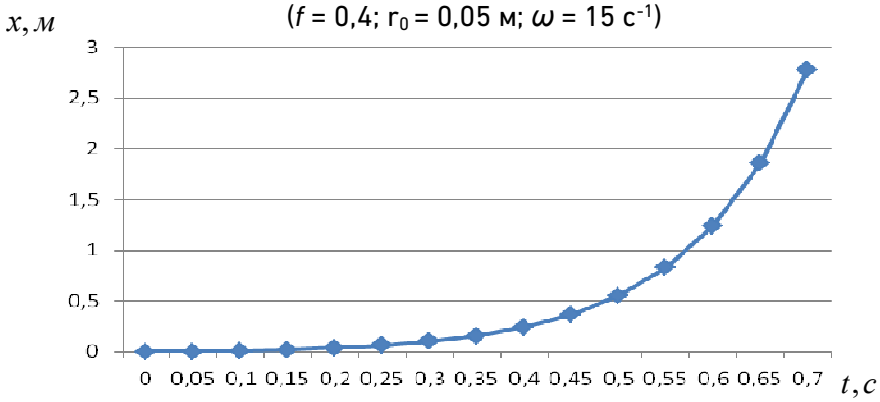

Рис. 7. Залежність переміщення частинки абразиву від часу (f = 0,4; r_0 = 0,05 м; ω = 15 с$^{-1}$)

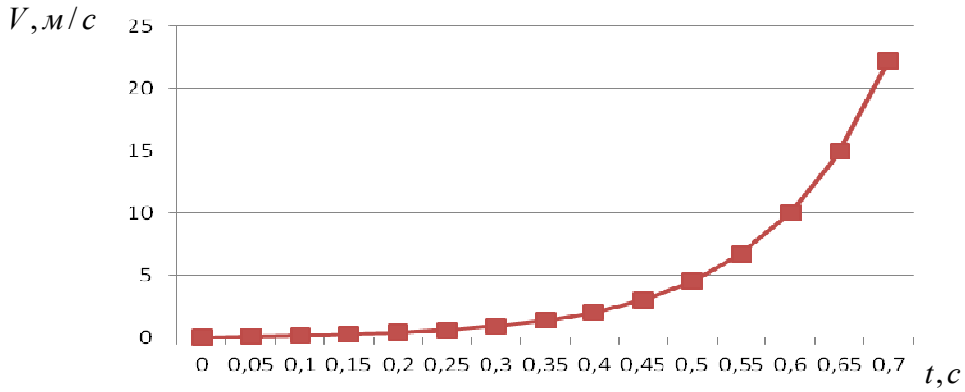

Рис. 8. Залежність швидкості частинки абразиву від часу
(f = 0,4; r_0 = 0,05 м; ω = 15 с$^{-1}$)

Отже, обґрунтовано конструктивні та технологічні параметри ефективного функціонування установки для вібраційної обробки деталей.

Висновок. Використовуючи запропоновану методику можна визначити швидкість руху частинок абразиву по поверхні робочої камери, яка забезпечить необхідну інтенсивність обробки деталей.

1. Патент 117736 UA, МПК B24B 31/06. Пристрій для відцентрової обробки деталей / Серілко Л. С., Пікула М. В., Стадник О. С., Серілко Д. Л.; заявник і патентовласник НУВГП; № u2016 13503; заявл. 28.12.2016; опубл. 10.07.2017, Бюл. № 13.

Рецензент: д.п.н., професор Козяр М. М. (НУВГП)

Serilko L. S., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Pikula M. V., Senior Lecturer, Stadnik A. S., Candidate of Engineering (Ph.D.), Assistant, Serilko D. L., Candidate of Engineering (Ph.D.), Assistant (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

RESEARCH FEATURES OF PARTICLE MOVEMENT IN THE INSTALLATION FOR CENTRIFUGAL PROCESSING DETAILS

The article discusses the use of centrifugal machining parts granulated workspaces, which can increase productivity and process quality finish in grinding, polishing, preparation of surfaces for coating, deburring and edge rounding.

A major drawback is the centrifugal processing chamber formation in different intensity zones of influence granules working environment for machining the surfaces, in particular – an area of relative calm (stagnant zone). The scheme centrifugal processing, which avoids dead zones intensification relative motion of beads and components. Additional movement granules cyclically destroys stagnant zone that enhances stability and handling quality characteristics of surface detail.
Study of the relative motion of the particles of abrasive media and parts, allowing prove constructive and technological parameters settings for centrifugal processing details. Using the proposed method can determine the velocity of the abrasive particles on the surface of the working chamber, which will provide the necessary intensity centrifugal processing.
Keywords: **centrifugal processing of parts, process performance, processing quality, kinematic characteristics of the movement of abrasive particles.**

Серилко Л. С., к.т.н., доцент, Пикула Н. В., старший преподаватель, Стадник А. С., к.т.н., ассистент, Серилко Д. Л., к.т.н., ассистент
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ В УСТАНОВКЕ ДЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

В статье рассмотрено применение центробежной обработки деталей, которая позволяет повысить производительность процесса и качество обработки. Предложена схема центробежной обработки, которая позволяет избежать застойных зон, а значит – повысить эффективность центробежной обработки. Проведено исследование относительного движения частиц абразивной среды и деталей, позволяет обосновать конструктивные и технологические параметры установки для центробежной обработки деталей.
Ключевые слова: **центробежная обработка деталей, производительность процесса, качество обработки, кинематические характеристики движения абразивных частиц.**