

Дем'янюк В. В., доктор філософії, академік Інженерної академії України, Кондратюк О. М., к.т.н. (ВСП «Рівненський економіко-технологічний фаховий коледж» НУВГП, м. Рівне)

ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ СИПУЧОГО АБРАЗИВНОГО РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ ВІБРАЦІЙНІЙ ОБРОБЦІ ДЕТАЛЕЙ

У цій роботі було проведено огляд і аналіз існуючих вібраційних і вібраційно-відцентрових установок. Виявлено різноманітність циркуляції сипучого абразивного середовища у вібраційних і вібраційно-відцентрових установках. Розглянуто шляхи створення потрібної циркуляції робочого середовища, що визначає продуктивність та надійність вібраційно-відцентрових установок і створення нових технологічних процесів вібраційно-відцентрової обробки деталей з підвищення інтенсивності циркуляції робочого середовища.

Ключові слова: вібраційна обробка; абразивне середовище; робоча камера; інтенсивність циркуляції.

Важливим напрямом науково-технічного прогресу є широке впровадження передових технологій, матеріалізації обґрунтованих науково-технічних ідей, створення нових знарядь праці, систем машин, які визначають прогрес в різних галузях народного господарства. Це закладає основи виходу на принципово нові, ресурсозберігаючі технології, підвищення продуктивності праці і якості продукції. Важливе значення в забезпеченні якості машинобудівельної продукції мають високопродуктивні методи зачисної, шліфувальної і зміцнюючої обробки деталей складних профілів і малої жорсткості. Їх застосування спонукає інтенсифікації різноманітних процесів, зростанню рівня механізації і автоматизації багатьох трудомісних робіт, підвищує економічну ефективність і продуктивність праці.

Роль високопродуктивних методів фінішної обробки, одним із яких є вібраційний, та підвищення вимог до якості і товарного вигляду виробів призвели до рішення задач з ефективною механізацією цих операцій. Впровадження вібраційного оброблення з вільним завантаженням деталей в сипуче абразивне середовище, яке має

велику різноманітність характеристик, являє собою зрізання, згладжування мікронерівностей шляхом їх пластичного деформування частинками робочого середовища. Цей процес фінішного оброблення деталей дозволяє керувати якістю поверхні і отримувати високі експлуатаційні характеристики оброблюваних деталей в результаті цілеспрямованого керування технологічним процесом в завершальній стадії. Тому широкі технологічні можливості процесу вібраційного оброблення при виконанні фінішних операцій ставить його в число найбільш актуальних і перспективних способів механічного оброблення різних деталей машин і викликає необхідність всебічних досліджень для створення нових, а також вдосконалення існуючих вібраційних, вібраційно-відцентрованих верстатів і установок, які сприяють широкому впровадженню процесу у виробництво.

Продуктивність і якість процесу вібраційного оброблення визначає характер циркуляційного руху сипучого робочого середовища і деталей, які обробляються. Одними з основних факторів, які формують цей процес, є режими коливальних, конструкції робочих камер, об'єм і ступінь їх заповнення. Всі ці фактори значно впливають на сили мікроударів, контактний тиск, траєкторії руху, які виникають в зоні дії мікроударів, швидкість і прискорення частинок робочого середовища, що характеризують інтенсивність циркуляційного процесу вібраційного оброблення.

Аналіз параметрів циркуляційного руху робочого середовища дали можливість створити декілька динамічних груп віброоброблювальних установок, які дозволяють інтенсифікацію процесів оброблення при зниженні динамічної напруженості їх елементів, зменшенні складності кінематичних схем. Досягнення різноманітних режимів коливальних і використання різноманітних конфігурацій робочих камер, дозволило розділити всі віброоброблювальні установки за видом циркуляційного робочого середовища на дві групи: площинний рух робочого середовища, об'ємний рух робочого середовища. Циркуляційний процес робочого середовища вібраційного оброблення в обох випадках забезпечується гармонійними, бі-гармонійними коливаннями робочої камери, точки якої рухаються по закономірним траєкторіям, які залежать від кінематики установки. При цьому частинки робочого абразивного середовища протягом кожного періоду коливальних на деяких ділянках рухаються разом з робочою камерою і в цей період їх траєкторія і швидкість збігаються або близькі. Потім відбувається відрив частинок від стінок робочої камери у зв'язку з



неоднаковими величинами і напрямками їх швидкостей та прискорень. Після відриву ці частинки здійснюють «вільний» рух з дуже складною траєкторією.

Траєкторія руху частинок робочого середовища залежить від різновидності руху робочої камери та її форми (циліндрична, сферична, торова, V-подібна та ін.), що визначає кінематичну схему вібраційної чи вібраціо-відцентрової установки і може бути:

- з площинною вібрацією робочої камери;
- з об'ємною вібрацією робочої камери;
- з простим обертанням робочої камери;
- зі складним обертотворим рухом камери відносно двох або трьох власних осей;
- з кутовими коливаннями робочої камери;
- з кутовою вібрацією робочої камери, яка рухається по складній просторовій кривій;
- з планетарним рухом робочої камери;
- з об'ємною кутовою вібрацією робочої камери;
- з комбінованою (поєднання або накладання одна на одну вищенаведених різновидностей) вібрацією робочої камери.

Швидкість і прискорення точок бокової поверхні робочої камери змінюється з великою частотою і приблизно рівною величиною, що отримує сипуче середовище. Це визначає напрямок руху абразивного робочого середовища й інтенсивність його «кипіння» (обертання абразивної гранули навколо своєї осі).

Зразком площинного руху робочого середовища наведено на рис. 1. Траєкторія руху частинок сипучого робочого середовища набуває вигляд еліпса, більші вітки якого мають різні величини радіусів. Радіус нижньої вітки буде менший від величини радіуса верхньої вітки і приблизно рівний радіусу нижньої частини робочої камери. Величина верхнього радіуса збільшується за рахунок дії на гранули робочого середовища сили тяжіння. При цьому великої різниці між нижнім і верхнім радіусами витків еліпса не спостерігається в перерізах малої величини робочої камери, зі збільшенням величини робочої камери і сталої грануляції робочого середовища різниця між радіусами зростає.

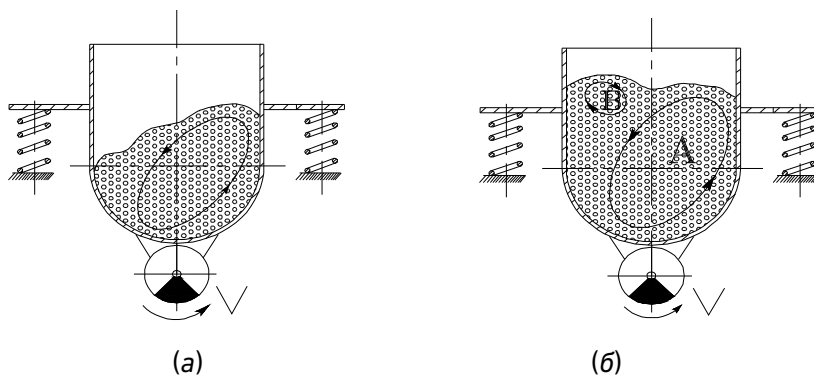


Рис. 1. Площинний рух сипучого абразивного робочого середовища

Вид циркуляції сипучого абразивного середовища також залежить від об'єму заповнення робочої камери і місця її кріплення з пружними опорами. Так, при заповненні робочої камери сипучим абразивним середовищем вище точок кріплення з пружними опорами, крім основної зони руху робочого середовища А з'являється додаткова зона В еліптичного руху робочого середовища (рис. 1, б). Зі збільшенням кількості завантаження сипучого абразивного середовища над місцем кріплення робочої камери зона В пропорційно збільшується. Напрямки руху зони А і зони В завжди будуть дотичними і залежать від напрямку обертання дебалансу робочої камери. Амплітуда коливань і швидкість руху сипучого абразивного середовища буде залежати в основному від жорсткості гнучких елементів кріплення робочої камери, ваги дебалансу і швидкості його обертання [1].

Один зі зразків об'ємного руху робочого середовища наведено на рис. 2. Енергетичний рівень робочого середовища підвищується з ускладненням кінематичного руху камери таким чином, щоб завантажене робоче середовище піддавати одночасній взаємодії направлених вібрацій і відцентрових сил. Траєкторія руху частинок сипучого робочого середовища в такому випадку набуває вигляду спірального еліпсоїда. Спіралі еліпсоїда, починаючи від осі Х до центру четверті ХУ, збільшуються до максимальної своєї величини, потім поступово зменшуються в напрямку до осі У. Такий вид траєкторії циркуляції сипучого робочого середовища набуває й у інших четвертях карданного підвісу робочої камери, розділивши абразивне середовище на зону А і В. Напрямок траєкторії руху в зонах А проходить від центру робочої камери до крайніх стінок робочої камери, а в зонах В напрямок траєкторій руху проходить навпаки, від стінок робочої камери до центру. Максимальна величина спіралей еліпсоїда визначається величиною кута ϕ ,

величиною l , радіуса обертання кінця водила. Напрямок руху абразивного середовища в зонах А і В визначається напрямком обертання кінця водила.

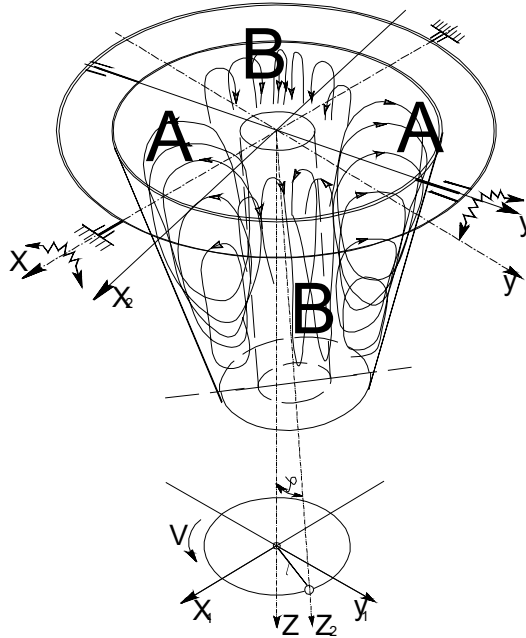


Рис. 2. Об'ємний рух сипучого абразивного робочого середовища

Для виявлення аналітичних залежностей запропонованої моделі процесу ВВО розглянемо рух окремих частинок робочого середовища по віброуючій поверхні, якій додано додатковий рух.

Горизонтальна поверхня (рис. 3) коливається за законом

$$y = A \sin \omega t \quad (1)$$

і рухається поступально по коловій траєкторії. Рівняння абсолютного руху поверхні в координатній формі має вигляд:

$$\begin{aligned} X &= R \cos \omega_1 t, \\ Y &= R \sin \omega_1 t + A \sin \omega t, \end{aligned} \quad (2)$$

де X , Y – координати точки контакту по поверхні з частинкою в нерухомій системі OXY ;

ω – кругова частота коливного руху, c^{-1} ;

ω_1 – кутова швидкість повороту радіус-вектора положення

початку рухомої системи координат O_1xu , рад./с;

R – радіус траєкторії руху відносно початку координат системи O_1xu , м;

A – амплітуда коливного руху, м;

t – час, с.

На частинку, яка знаходиться на поверхні, діють сили (рис. 3):

P_x^{in}, P_y^{in} – проекції сили інерції, $P_x^{in} = m\ddot{X}$, $P_y^{in} = m\ddot{Y}$;

n – сила нормального тиску – реакція опори N ;

$F_{тр}$ – сила тертя, $F = fN$.

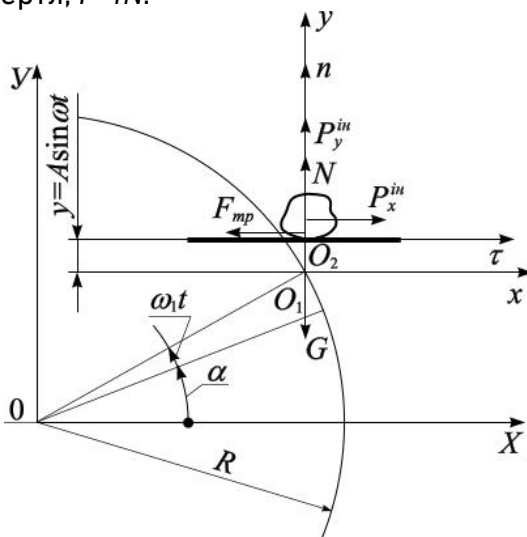


Рис. 3. Абразивна частинка на поверхні, яка здійснює коливні і поступальні рухи

Аналізуючи наведений аналітичний матеріал, робимо висновок, що кінетичну енергію, необхідну для зняття дрібних частинок металу з поверхні, яка обробляється, і згладжування мікронерівностей шляхом пластичної деформації, інгредієнти робочого середовища отримують від стінок робочої камери, яка коливається. Тому вигляд коливного руху робочої камери визначає інтенсивність протікання процесу вібраційного оброблення. Установки, в яких робоча камера здійснює складний просторовий рух з накладеними на неї різного роду коливаннями, характеризуються залежністю зміни швидкості від часу, яка наведена на рис. 4.

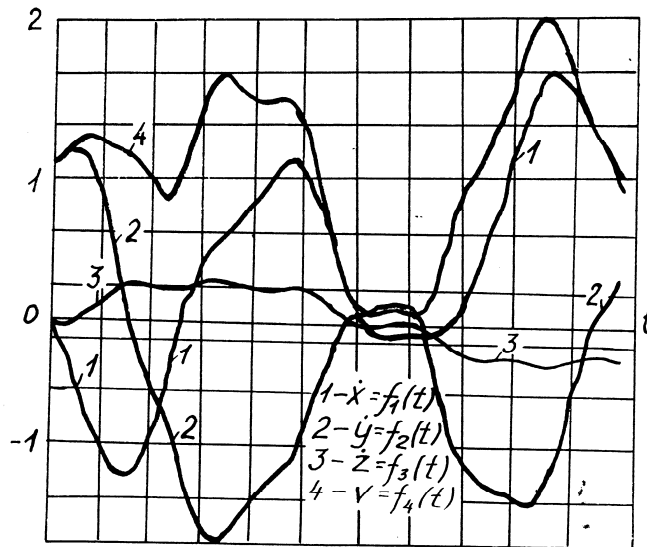


Рис. 4. Залежність зміни швидкості камери від часу

Швидкість і прискорення поверхні робочої камери змінюється періодично з різною величиною і зсувом по фазі, що прогнозує плавний рух абразивного робочого середовища, а зміна кутової швидкості і кутового прискорення визначає силу й інтенсивність його переміщення, що призводить до складного руху абразивного робочого середовища з різною інтенсивністю перемішування. Аналітична характеристика кінематики вібраційно-відцентрових установок, робоча камера яких рухається по складній просторовій кривій з накладеними на них кутовими коливаннями підтверджує характер траєкторії сипучого абразивного середовища в попарно різних напрямках в межах між осями X і Y.

На основі проведених досліджень і їх аналізу можна зробити висновки, що характеристика траєкторії руху сипучого абразивного робочого середовища, його ускладнення, яка забезпечується кінематикою робочих камер, дозволяє вибрати технологічну схему вібраційного оброблення з найбільшою інтенсивністю процесу, або потрібною інтенсивністю при обробці деталей малої жорсткості і складної геометричної форми. Траєкторії руху сипучого абразивного робочого середовища в різних зонах робочої камери дозволяють визначити величину абсолютної швидкості і прискорення гранул при обробці різного типу деталей, що розширяє можливості технологічного процесу, підвищує ймовірність досягнення потрібної якості оброблюваних поверхонь з мінімізацією енергозатрат.

1. Бабичев А. П. Основы вибрационной технологии. Ростов-н/Д. : Издательский центр ДГТУ, 2008. 694 с. 2. Кондратюк О. М., Ромейко І. В. Аналіз циркуляції робочого середовища при вібраційно-відцентровій обробці деталей. *Вісник НУВГП*. Рівне, 2006. Вип. 2(34). С. 253–271. 3. Кондратюк О. М., Серілко Л. С. Оптимізація технологічного процесу вібраційно-відцентрової обробки деталей. *Вібрації в техніці та технологіях* : Всеукр. наук-техн. ж. Вінниця, 2011. № 1(61). С. 87–93. 4. Кондратюк О. М. Теоретична модель процесу вібраційно-відцентрової обробки. *Вісник НУВГП* : зб. наук. пр. Рівне : НУВГП, 2007. Вип. 2(38). С. 286–293. 5. Olexander Kondratiuk; Leonid Serilko; Oleg Lyashuk; Yuriy Galan. Investigation of abrasive granule movement relatively to the workpiece surface during vibration treatment. *Вісник ТНТУ*. Тернопіль, 2020. Вип. 2(98). С. 59–68.

REFERENCES:

1. Babychev A. P. Osnovy vibratsionnoi tekhnolohii. Rostov-n/D. : Izdatelskii tsentr DHTU, 2008. 694 s. 2. Kondratiuk O. M., Romeiko I. V. Analiz tsyrkuliatsii robochoho seredovyshcha pry vibratsiino-vidtsentrovii obrobtsti detalei. *Visnyk NUVHP*. Rivne, 2006. Vyp. 2(34). S. 253–271. 3. Kondratiuk O. M., Serilko L. S. Optymizatsiia tekhnolohichnoho protsesu vibratsiino-vidtsentrovoyi obrobyky detalei. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh* : Vseukr. nauk-tekhn. zh. Vinnytsia, 2011. № 1(61). S. 87–93. 4. Kondratiuk O. M. Teoretychna model protsesu vibratsiino-vidtsentrovoyi obrobyky. *Visnyk NUVHP* : zb. nauk. pr. Rivne : NUVHP, 2007. Vyp. 2(38). S. 286–293. 5. Olexander Kondratiuk; Leonid Serilko; Oleg Lyashuk; Yuriy Galan. Investigation of abrasive granule movement relatively to the workpiece surface during vibration treatment. *Visnyk TNTU*. Ternopil, 2020. Vyp. 2(98). S. 59–68.

Demianiuk V. V., Ph.D, Academician of the Engineering Academy of Ukraine, Kondratiuk O. M., Candidate of Engineering (Ph.D.) (Rivne Professional College of Economic and Technological, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

STUDY OF MOVEMENT OF FLOOR ABRASIVE WORKING ENVIRONMENT DURING VIBRATION PROCESSING OF PARTS

The article describes the characteristics of the finishing treatment of parts, which affects the quality of the treated surface. One of the progressive methods of finishing parts was defined as vibration. The productivity and quality of the vibration processing process determines the nature of the circulation movement of the bulk working medium and the parts being processed. The physical essence



of the interaction between the granules of the abrasive working medium and the surface of the processed parts is given. An analysis of the parameters of the circulation movement of the working environment was carried out. This made it possible to create several dynamic groups of vibration units, which allow the intensification of processing processes while reducing the dynamic tension of their elements, reducing the complexity of kinematic schemes. It is noted that the trajectory of the particles of the working medium depends on the variety of movement of the working chamber and its shape. This determines the kinematic scheme of the vibration or vibration-centrifugal installation. The speed and acceleration of the points of the side surface of the working chamber changes with a high frequency and approximately the same amount that the bulk medium receives. This determines the direction of movement of the abrasive working medium and the intensity of rotation of the abrasive granule around its axis. Samples of planar movement of the working environment and volumetric movement of the working environment are given. Types of circulation of the loose abrasive medium during planar and volume movement of the working chamber are given. An energy analysis of the movement of existing flows of loose abrasive medium was carried out. The obtained conclusions were confirmed by analytical and experimental studies. Ways of increasing the intensity, productivity, and reducing the energy consumption of the technological process of vibration processing of parts with a loose abrasive medium are proposed.

Keywords: vibration processing; abrasive environment; working chamber; circulation intensity.