



МАШИНОЗНАВСТВО

УДК 621.9.048

<https://doi.org/10.31713/vt3201915>

Кондратюк О. М., к.т.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ХАРАКТЕРИСТИКА ВЗАЄМОДІЇ АБРАЗИВНОЇ ГРАНУЛИ З ПОВЕРХНЕЮ ДЕТАЛІ ПРИ ВІБРАЦІЙНІЙ ОБРОБЦІ

У цій роботі було проведено огляд вібраційної обробки, аналіз взаємодії абразивної гранули робочого середовища в різних її формах. Визначено основні типи циркуляції сипучого абразивного середовища. Дана характеристика циркуляційного процесу і види взаємодії абразивної гранули з поверхнею деталі, що визначає рівень енергії та інтенсивність обробки деталей.

Ключові слова: вібраційна обробка, технологічний процес, абразивна гранула, кінетична енергія.

Важливим напрямком 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. Рішення задач з ефективною механізацією цих операцій, це розробка і впровадження нових високопродуктивних методів фінішної обробки, один із яких є вібраційний. Це без сумніву потребує подальшого різностороннього дослідження процесу вібраційного оброблення, рішення цілого ряду питань конструювання обладнання і оснащення, створення або підбір ефективних, малодефіцитних робочих середовищ, розробки і дослідження нових різновидних вібраційних методів [1], особливо оброблення деталей складних профілів і малої жорсткості, куди доступ ріжучих інструментів обмежений, або неможливий.

Одним із головних напрямів інтенсифікації вібраційного оброблення є розробка нових її різновидностей. Інтенсивність вібраційного оброблення (BiO) визначається зняттям металу, або ступенем плас-

тичного деформування поверхні в результаті взаємодії абразивної гранули з деталлю. Чим вище енергетичний рівень середовища, тим більша сила такої взаємодії. Для цього використовують різні шляхи активізації різних видів ВіО.

При шпindelьному вібраційному обробленні (ШВіО) підвищення інтенсивності досягається за рахунок поєднання енергії гранули, яку вона отримала від віброкамери, і енергії додаткового руху закріпленої деталі. Особливістю віброабразивного електрохімічного оброблення (ВіАЕХО) є те, що в зону взаємодії гранули і деталі додатково підводиться енергія електрохімічної реакції. Проходить анодне розчинення поверхневого шару деталі, яка обробляється, і його механічне зняття гранулами. Продуктивність процесу порівняно з ВіО підвищується. Суть методу магніто-віброабразивного оброблення (ВіМ-тАО) полягає у тому, що від окремого джерела в робочу зону вібраційної установки підводиться енергія постійного або змінного силового магнітного поля. Вібротермомеханічний метод (ВіТМО) проводить оброблення з підігрівом деталей.

Так як вібраційне оброблення деталей в середовищі вільноколивних тіл являє собою багатофакторний процес, інтенсивність якого залежить від амплітуди і частоти коливань робочої камери, траєкторії її руху, тривалості оброблення, марки оброблюваного матеріалу, характеристики і розмірів частинок робочого середовища, об'єму робочої камери та ступені її заповнення, механічних властивостей матеріалу оброблюваних деталей та інших факторів, то дослідження в області вібраційного оброблення [1; 2] дають обґрунтування при дослідженні таких основних закономірностей вібраційно методу оброблення як продуктивність і якість обробленої поверхні, характеристики взаємодії абразивної гранули з оброблюваною поверхнею деталі.

В розглянутих випадках підвищення інтенсивності ВіО досягається за рахунок одночасної дії на робоче середовище двох і більше видів енергій, або додаткових рухів деталей, які обробляються. Енергетичний рівень робочого середовища можна підвищити, якщо віброуючій камері надати додаткові переміщення [2; 3]. Ускладнення кінематичного руху камери потрібно проводити таким чином, щоб завантажене робоче середовище піддавати одночасній взаємодії направлених вібрацій і відцентрових сил. У вібраційному обробленні (ВіО) визначаються такі різновидності руху робочої камери та її форми (циліндрична, сферична, торова, V-подібна та ін.) і може бути:

- з площинною вібрацією робочої камери;
- з об'ємною вібрацією робочої камери;

- з простим обертанням робочої камери;
- зі складним обертним 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 вище наведених різновидностей) вібрацією робочої камери.

Цю ідею покладено в основу розроблення нових процесів вібраційно-відцентрового оброблення (ВВО) і обладнання для його здійснення особливо для деталей складної конфігурації і малої жорсткості. Для повного аналізу процесів ВіО спочатку розглянемо взаємодію абразивної гранули з поверхнею деталі з площинною вібрацією робочої камери, класичних схем вібраційних установок.

На рис. 1 показана схема взаємодії абразивної гранули з поверхнею деталі при площинній вібрації робочої камери.

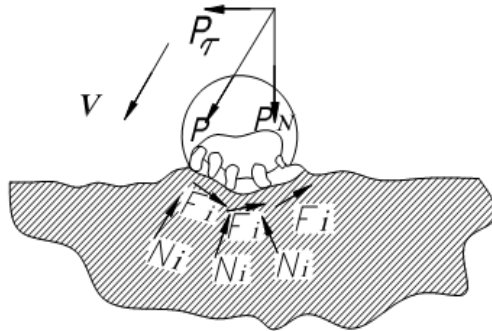


Рис. 1. Схема взаємодії гранули з оброблюваною поверхнею при площинній вібрації робочої камери

Обробляюча гранула, отримавши імпульс енергії від поверхні камери, яка коливається зі швидкістю V , вдаряється по поверхні деталі. Силу вібрації P розкладемо на дві складові: нормальну P_N , при допомозі якої гранула проникає в поверхню, яка обробляється, і дотичну P_τ , яка зміщує гранулу вздовж поверхні. Зі сторони деталі на зерна абразивної гранули, які знаходяться в зоні різання, діють складові нормальної реакції N_i та сили тертя F_i . Вид циркуляції сипучого абразивного середовища під дією цих сил в основному проходить по плоскій еліптичній траєкторії.

Аналіз процесів ВВО ґрунтується на характеру взаємодії абра-

зивної гранули з поверхнею деталі з об'ємною кутовою вібрацією робочої камери. При ВВО на гранулу крім сили вібрації P діє відцентрова сила P_B (рис. 2) [4]. Сумарна сила удару R при ВВО рівна геометричній сумі сил P і P_B . Гранула під дією складових R_T і R_N лишає на поверхні подряпину більшого об'єму ніж при дії P_N і P_T . Циркуляція робочого середовища під дією сумарних сил проходить по спіралі, яка координується точками кріплення рухомої робочої камери до нерухомої частини (корпуса) вібраційно-відцентрової установки.

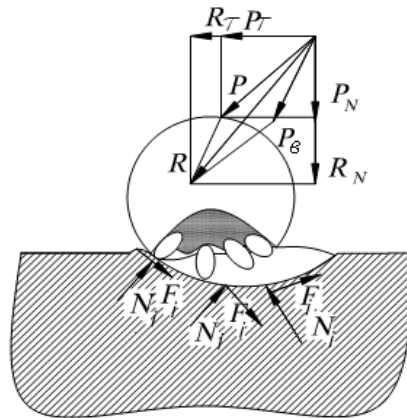


Рис. 2. Схема взаємодії абразивної гранули з оброблюваною поверхнею при ВВО

Весь процес формування шорсткості при ВВО можна розділити на наступні етапи. В початковий період оброблення удари гранул приходяться по вершинам мікронерівностей вихідної поверхні зразків. Проходить інтенсивне змінання гребенів мікрорельєфу, в результаті інтенсивно знижується шорсткість і підвищується поверхнева міцність оброблюваної поверхні. Цей етап закінчується формуванням поверхні, яка має більш високі значення показників якості поверхні. Умовно можна назвати таку частину технологічної операції вібраційним проходом. Тривалість такого проходу при ВВО знаходиться в межах 15-30 хв. За цей час вся вихідна поверхня деталі покривається слідами взаємодії з гранулами робочого середовища.

В наступний період оброблюється поверхня, яка сформована першим вібраційним проходом. Режим оброблення не змінився, а стійкість робочого середовища забезпечує майже незмінну його оброблювану властивість.

Гранула робочого середовища, маючи ту ж енергію, що і в першому проході, залишає на поверхні повторний слід, глибина якого дещо більша, ніж висота мікронерівностей, сформованих першим



проходом. Гранула деформує метал в основі виступів вихідного мікрорельєфу поверхні зразка. Збільшується степінь і глибина наклепу.

Другий вібраційний прохід характеризується підвищенням параметрів шорсткості, але числове значення R_s в кінці проходу менше вихідного (до оброблення). Цей прохід закінчується приблизно в 45 хвилин після початку оброблення.

Наступний прохід відрізняється зниженням шорсткості. Це пояснюється двома факторами. По-перше, з кожним наступним проходом зона взаємодії гранули з поверхнею наближається до основ виступів мікрорельєфу, в результаті чого збільшується площа взаємодії гранули з поверхнею. По-друге, перших два проходи привели до підвищення поверхневої міцності матеріалу зразка. Це додатково приводить до збільшення реакції поверхні при силовій взаємодії з нею гранули робочого середовища. Від проходу до проходу пружна фаза удару гранули об поверхню буде збільшуватись.

Аналіз перших проходів ВВО свідчить, що формування шорсткості поверхні проходить дискретно з зменшенням степені дискретності при збільшенні часу оброблення. По мірі наближення до сталої шорсткості силова взаємодія гранули з поверхнею деталі набуває характер пружного удару.

Для розширення можливостей вібраційно-відцентрового оброблення створюються нові пристрої, в яких крім сил вібрації P і відцентрових сил P_v , діють ще додаткові сили, наприклад сили від обертання робочої камери з механізмом вібраційно-відцентрових коливань $P_{об}$. Характер виду сумарних сил взаємодії абразивної гранули сипучого робочого середовища з оброблюваною поверхнею деталей і їх різновидність запропоновано на схемах (а) і (б) рис. 3, що відповідають комбінованій вібрації робочої камери.

Аналізуючи наведені схеми можливих варіантів взаємодії абразивної гранули з поверхнею деталі, можна зробити висновок, що сумарна сила удару залежить від напрямків обертання робочої камери з механізмом вібраційно-відцентрових коливань.

При співпадинні напрямків обертання робочої камери і вібраційно-відцентрових коливань сумарна сила удару $R_{сум}$ буде рівна геометричній сумі вібраційно-відцентрових сил R і сили обертання робочої камери з механізмом вібраційно-відцентрових коливань $P_{об}$. Процес формування шорсткості в початковий період оброблення, на відміну від попереднього процесу ВВО, буде проходити швидше. Гранула під дією складових $R_{сум}$ і $P_{об}$ лишає на поверхні подряпину ендетичну подряпині при ВВО, так як R_N рівна $R_{Nсум}$ і тиск абразивної

гранули на оброблювану поверхню не змінюється. При цьому швидкість переміщення абразивної гранули відносно оброблюваної поверхні збільшується, тому що $R_{\tau_{\text{сум}}}$ більша від R_{τ} . Всі інші етапи формування шорсткості і міцності оброблюваної поверхні будуть подібні етапам попереднього процесу ВВО. При цьому циркуляція робочого середовища під дією сумарних сил буде проходити по спіралі, в якій крок між вітками буде збільшений, що приведе до «ламінарного», більш лагідного характеру руху сипучого абразивного середовища. Дискретність зміни шорсткості поверхні за весь період обробки не суттєво, але зменшується.

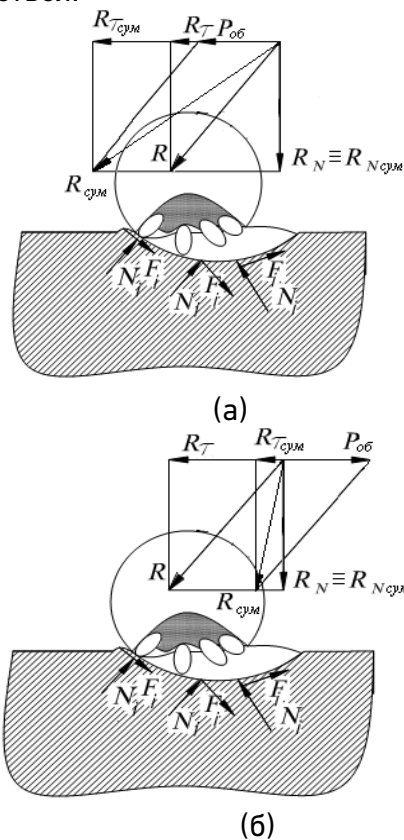


Рис. 3. Схема взаємодії абразивної гранули з оброблюваною поверхнею при поєнанні ВВО і обертанні робочої камери

При протилежних напрямків обертання робочої камери і вібраційно-відцентрових коливань сумарна сила удару $R_{\text{сум}}$ буде рівна геометричній сумі R і $P_{\text{об}}$. Гранула буде лишати на поверхні подряпину подібну подряпині при ВВО, так як R_N рівна $R_{N_{\text{сум}}}$ і тиск абразивної гранули на оброблювану поверхню не змінюється. При цьому швид-



кість переміщення абразивної гранули відносно оброблюваної поверхні зменшується, тому що $R_{тсум}$ менша від R_t . Процес формування характеризується інтенсивним зниженням шорсткості і підвищенням поверхневої міцності оброблюваної поверхні за рахунок збільшення кількості (частоти) ударів абразивної гранули. Це збільшить дискретність зміни шорсткості поверхні на всьому періоді обробки. Циркуляція робочого середовища під дією сумарних сил буде проходити по спіралі, в якій крок між вітками буде зменшений, що приведе до «турбулентного», більш агресивного характеру руху сипучого абразивного середовища.

Запропоновані моделі розкривають фізичну суть взаємодії гранули з поверхнею деталі. При співпадінні напрямків обертання робочої камери і вібраційно-відцентрових коливань, створюються умови для прискорення зачистних і шліфувальних операцій ВВО. При протилежних напрямках обертання робочої камери і вібраційно-відцентрових коливань, створюються умови для прискорення зміцнюючих і полірувальних операцій ВВО. Одночасна дія сили вібрації, відцентрової сили і сил обертання на абразивну гранулу збільшує об'єм, а значить і вагу знятої мікростружки, змінює характер руху сипучого абразивного середовища, що забезпечує підвищення інтенсивності ВВО і розширяє її технологічні можливості.

1. Вибрационные станки для обработки деталей / А. П. Бабичев, В. Б. Трунин, Ю. М. Самодумский, В. П. Устинов. М. : Машиностроение, 1984. 168 с.
2. Ющунев М. Н. Отделка поверхности и повышение прочности деталей при объемной вибрационной обработке. *Упрочняюще-калибрующие методы обработки деталей*. Ростов н/Д. : РИСХМ, 1970. С. 174–176.
3. Ющунев М. Н. Отделочно-упрочняющая обработка в установке с вибрирующим и вращающимся контейнером. *Вибрационная обработка деталей машин и приборов*. Ростов н/Д. : РИСХМ, 1972. С. 105–112.
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. Investigation of the interaction of abrasive working medium particle in vibration treatment with machined parts of surfaces / Alexander Kondratyuk, Oleg Ljasuk, Volodymyr Klen Action, Yuri Galan. *Bulletin of the TNTU*. Ternopil : TNTU, 2017. Vip. 2 (86). P. 32–40.
6. THEORETICAL SUBSTANTIATION OF VIBRATION-CENTRIFUGAL FINISHING OF PARTS BY LOOSE ABRASIVES. Oleksandr Kondratiuk, Volodymyr Teslia, Ivan Kuchvara, Pavlo Bosiuk, Yuriy Galan. *Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2018. Vol. 20. No. 1. 73–78. LUBLIN–RZESZÓW 2018.

REFERENCES:

1. Vibratsionnye stanki dlia obrabotki detalei / A. P. Babichev, V. B. Trunin, Yu. M. Samodumskii, V. P. Ustinov. M. : Mashinostroenie, 1984. 168 s.
2. Yushchunев M. N. Otdelka poverkhnosti i povyshenie prochnosti detalei pri obemnoi vibratsionnoi obrabotke. *Uprochniaiushche-kalibruiushchie metody obrabotki detalei*. Rostov n/D. : RISKhM, 1970. S. 174–176.
3. Yushchunев M. N. Otdelochno-uprochniaiushchaia obrabotka v ustanovke s vibriruiushchim i vrashchaiushchimsia konteinerom. *Vibratsyonnaia obrabotka detalei mashin i priborov*. Rostov n/D. : RISKhM, 1972. S. 105–112.
4. Kondratiuk O. M. Teoretychna model protsesu vibratsiino-vidtsentrovoy obrobky. *Visnyk NUVHP* : zb. nauk. pr. Rivne : NUVHP, 2007. Vyp. 2(38). S. 286–293.
5. Investigation of the interaction of abrasive working medium particle in vibration treatment with machined parts of surfaces / Alexander Kondratyuk, Oleg Ljasuk, Volodymyr Klen Action, Yuri Galan. *Bulletin of the TNTU*. Ternopil : TNTU, 2017. Vip. 2 (86). P. 32–40.
6. THEORETICAL SUBSTANTIATION OF VIBRATION-CENTRIFUGAL FINISHING OF PARTS BY LOOSE ABRASIVES Oleksandr Kondratiuk, Volodymyr Teslia, Ivan Kuchvara, Pavlo Bosiuk, Yuriy Galan. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2018. Vol. 20. No. 1. 73–78. LUBLIN–RZESZÓW 2018.

Kondratiuk O. M., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

CHARACTERISTIC OF INTERACTION OF ABRASIVE GRANULA WITH DETAILS SURFACE IN VIBRATION PROCESSING

In this work, an overview of vibration processing was carried out. The vibrating process of machining parts is essential in ensuring the quality of machine-building products. The high-performance finishing method, one of which is vibratory, includes high-performance methods for cleaning, grinding and reinforcing machining of parts. Variety of processes of vibration processing give justification in the study of such basic patterns of vibration treatment method as the performance and quality of the treated surface, the characteristics of the interaction of the abrasive granules with the workpiece surface of the workpiece. The analysis of all ways of increasing the intensity. This is achieved through the simultaneous action on the working environment of two or more types of energy, or the additional movements of the parts being processed. The energy level of the work environment can be increased by providing additional movement to



the vibrating chamber. This idea is the basis of the development of new processes of vibration-centrifugal processing (VCP) and equipment for its implementation.

The schemes of interaction of the abrasive granule with the surface of the part under vibration and vibration-centrifugal treatment are considered. Process analysis is based on the nature of the interaction of the abrasive pellet with the surface of the workpiece. The whole process of forming roughness at the VCP was divided into certain stages. The characteristics of these steps and the change in these characteristics were used to describe the various schemes of the processes of interaction of the abrasive granule with the surface of the workpiece. The variety of process circuits determines the type of circulation of the abrasive medium. The proposed models reveal the physical nature of the interaction of the granules with the surface of the workpiece. The simultaneous action of vibration, centrifugal and rotational forces on the abrasive pellet increases the volume, and therefore the weight of the filtered microstrip, changes the nature of the flow of the bulk abrasive medium, which provides an increase in the intensity of the VCP and increases its technological capabilities.

Keywords: vibration processing, technological process, abrasive granule, kinetic energy.

Кондратюк А. М., к.т.н., доцент (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

ХАРАКТЕРИСТИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АБРАЗИВНОЙ ГРАНУЛЫ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ДЕТАЛИ ПРИ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ

В этой работе было проведено обзор вибрационной обработки, анализ взаимодействия абразивной гранулы рабочей среды в разных её формах. Определено основные виды циркуляции сыпучей абразивной среды. Дана характеристика циркуляционного процесса и виды взаимодействия абразивной гранулы с поверхностью детали, что определяет уровень энергии и интенсивность обработки деталей.

Ключевые слова: вибрационная обработка, технологический процесс, абразивная гранула, кинетическая энергия.
