

**ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧНА МОДЕЛЬ ПРИСТРОЮ ДЛЯ АДАПТИВНОЇ
ВІБРОАБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ****Чубик Р. В., Лужецький В. С.**

Разработана структурная электромеханическая модель вибромашины для адаптивной виброабразивной обработки деталей. Предлагаемое устройство способно обеспечить минимальные энергозатраты на вибропривод виброабразивной машины благодаря обеспечению и поддержанию постоянного резонансного режима работы рабочей камеры. При работе в режиме минимальных энергозатрат конструктивное решение устройства для виброабразивной обработки деталей позволяет управлять энергией вибрационного поля для обеспечения стабильного заранее заданного значения удельной работы вибрационного поля контейнера, что позволяет при переменной (разной) массе загрузки рабочей камеры деталями получать заданный технологический эффект при минимальных энергозатратах.

Розроблено структурну електромеханічну модель вібромашини для адаптивної віброабразивної обробки деталей. Запропонований пристрій здатний забезпечити мінімальні енергозатрати на вібропривод віброабразивної машини завдяки забезпеченню і підтримуванню постійного резонансного режиму роботи робочої камери. При роботі в режимі мінімальних енергозатрат конструктивне рішення пристрою для віброабразивної обробки деталей дозволяє керувати енергією вібраційного поля для забезпечення стабільного наперед заданого значення питомої роботи вібраційного поля контейнера, що дозволяє при змінній (різній) масі завантаження робочої камери деталями отримувати заданий технологічний ефект при мінімальних енерговитратах.

The structural electromechanics model of vibromachine is developed for adaptive vibroabrasive treatment of details. The offered device is able to provide minimum energy expenses on the vibrooccasion of vibroabrasive machine due to providing and maintenance of the permanent resonance mode of operations of working chamber. When operating in the minimum energy design solution for device vibroabrasive treatment of details allows you to control the energy of vibration of the field to ensure a stable pre-set values of the specific vibrational field of the container, which allows for a variable (different) mass loading of the working chamber to receive details of a given technological effect with minimum energy consumption.

Чубык Р. В.

канд. техн. наук, доц. ДГПУ
r.chubyk@gmail.com

Лужецький В. С.

канд. техн. наук, доц. ДГПУ

УДК 629.3.03:62-837:62-531.7

Чубик Р. В., Лужецький В. С.

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА МОДЕЛЬ ПРИСТРОЮ ДЛЯ АДАПТИВНОЇ ВІБРОАБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

Із підвищенням вимог до якості виробів машинобудування та приладобудування спостерігається зростання обсягів оздоблювально-зачисної обробки (ОЗО) комплектуючих деталей. Найбільш трудомісткою є обробка деталей складної конфігурації із піднутринами, порожнинами асиметричної форми. За існуючою класифікацією, заснованою на принципі енергетичного впливу, розрізняють методи механічної, хімічної і комбінованої обробки. При цьому перевага віддається методам обробки, заснованим на використанні гнучких інструментів і середовищ – віброабразивній обробці [1–6], галтуванню, відцентрово-абразивній [7], вібраційно-відцентровій, шпindelній віброобробці, струменево-абразивній, магніто-абразивній [8], обробкам ущільненим прошарком абразиву, ультразвукової обробці, обробці механічними щітками, абразивними стрічками і пелюстковими кругами, деякі методи обробки пластичним деформуванням, металевим лезовим інструментом, термоокислювальній й електрохімічній обробкам.

Багато операцій ОЗО, насамперед, видалення задирок, заокруглення й обробка країв, до останнього часу здійснювалися вручну, і важко піддавалися автоматизації та стали серйозною перешкодою подальшому зростанню продуктивності праці. Складність і різноманітність форм поверхонь, що повинні бути оброблені, ускладнюють створення універсальних кінематичних схем устаткування і відповідних інструментів. У зв'язку з цим, при розробці методів ОЗО часто віддається перевага використанню гнучких середовищ та інструментів [9], що виключають високі вимоги до точності відносної орієнтації оброблюваної деталі та інструмента. Крім того, тут, як правило, забезпечується одночасна обробка усіх поверхонь деталей та можлива одночасна обробка великої кількості деталей, що забезпечує високу продуктивність. Перевага гнучкого середовища й інструментів виявляється також у формуванні елементів спряження суміжних поверхонь деталей, при збереженні їх суцільності та безперервності. Це досягається утворенням перехідного елемента з мінімальним радіусом заокруглення між суміжними поверхнями.

Проблемою розвитку ОЗО і деяких методів обробки займалися науково-практичні колективи і їхні об'єднання, ведеться систематична робота [10] в області технології, створення устаткування, робочих середовищ і інструментів. Так, в області вібраційної технології (віброабразивної обробки) виконується комплекс робіт від досліджень і розробки технології (процесів) до реалізації їх у промисловості з виготовленням та поставкою обладнання, робочих середовищ і технологічних рідин. Використання вібраційної дії [11] у процесі віброабразивної обробки дає можливість поряд з підвищенням інтенсивності більш рівномірно обробляти продукцію, оптимізувати процес віброобробки.

Машини з вільним кінематичним зв'язком між інструментом та деталями забезпечують копіювання інструментом всієї поверхні заготовок, що дозволяє ефективно обробляти як внутрішні, так і зовнішні поверхні деталей. Разом із тим, дані машини [12] відрізняються простотою конструктивного виконання та легкістю автоматизації процесу виробництва при забезпеченні достатньо високої продуктивності роботи. Процес обробки відбувається під дією вільно гранульованого робочого середовища. У загальному випадку робоче середовище містить твердий та рідкий наповнювач. Твердий наповнювач являє собою ріжучий та деформуючий інструмент або середовище, що запобігає взаємному зіткненню та злипанню деталей. Рідкий наповнювач використовується для забезпечення видалення продуктів зношування

деталей та робочих гранул, змочування та охолодження технологічного завантаження, інтенсифікації процесу обробки (хімічно та поверхнево активні речовини), зберігання технологічних властивостей твердого наповнювача (наприклад, для запобігання «засалювання» абразивних гранул).

Відсутність жорсткого кінематичного зв'язку між деталями та інструментом зумовлює рівномірну обробку однотипних поверхонь заготовок (в місцях переходу з однієї поверхні до іншої спостерігається більш інтенсивна обробка), але виключає можливість регульованого впливу на геометричні розміри та форму деталей. При цьому частинки гранульованого наповнювача безперервно обтікають поверхні деталей, що призводить до їх мікрорізання, пластичного деформування та сприяє реалізації очисних, шліфувально-оздоблювальних та зміцнювальних операцій. Для ефективного, рівномірного і всебічного обробітку деталей при відсутності жорсткого кінематичного зв'язку між деталями та інструментом необхідно забезпечити три основних умови: надати робочому середовищу достатній для виконання роботи рівень кінетичної енергії; створити максимальну різницю швидкостей між деталями, що обробляються та абразивними гранулами робочого середовища; забезпечити рівномірне та інтенсивне перемішування деталей та робочого середовища.

Проведений аналіз літературних джерел, патентних даних та схем способів інтенсифікації процесів віброабразивної обробки дозволив визначити основні напрями розвитку конструкцій вібраційних машин для інтенсифікації оздоблювально-зачисної обробки деталей у вільно гранульованому середовищі при відсутності жорсткого кінематичного зв'язку між деталями та інструментом. Серед класу машин для віброабразивної обробки [12], як найбільш досконале та перспективне слід відмітити конструктивне рішення (рис. 1) [13] машини для віброабразивної обробки деталей. Дана вібромашина [13] (рис. 2) відноситься до вібромашин для ОЗО деталей у вільно гранульованому середовищі з циліндричною частково гнучкою робочою камерою, що оснащена рухомим активатором руху робочого середовища.

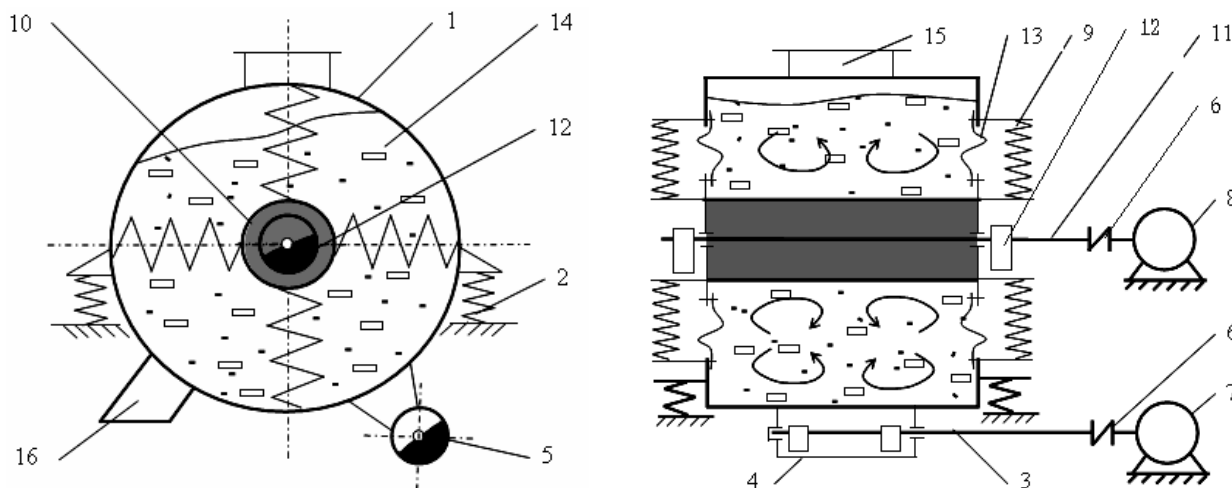


Рис. 1. Конструктивне рішення пристрою для віброабразивної обробки деталей

Однією з відмінностей представленої конструкції (рис. 1, 2) є наявність дебалансного віброприводу активатора руху робочого середовища, що дозволяє у інтенсифікувати обробку поверхонь деталей. Збільшення інтенсивності віброобробки у даній вібромашині досягається шляхом збільшення величини імпульсів, що передаються робочому середовищу та взаємної швидкості руху гранул робочого середовища та оброблюваних деталей. Оброблювані деталі з робочим середовищем 14 через горловину 15 завантажуються в контейнер 1. Електродвигун 8 через еластичну муфту 6 передає крутний момент на вал 11 з дебалансами 12, при цьому активатор 10 закріплений до контейнера 1 на пружинній підвісці 9, здійснює коливний рух,



а



б

Рис. 2. Загальний вигляд пристрою для віброабразивної обробки деталей

траєкторія якого близька до кола. Одночасно з активатором 10 через еластичну муфту 6 від електродвигуна 7 приводиться в дію нижній вібробудувач 4, який надає контейнеру 1 коливних рухів. Даний вібропривод надає активатору 10 та контейнеру 1 коливань, частота та амплітуда яких може змінюватися в широких межах, тобто додаткова енергія, що надається активатором 10 та контейнером 1 робочому середовищу 14 з деталями, піддається регулюванню в широкому діапазоні, що важливо для вибору оптимальних режимів обробки тих чи інших деталей та матеріалів. Крім того, регулюючи частоту обертання віброприводів активатора 10 та контейнера 1, можна досягти того, що активатор 10 буде коливатися у протифазі з контейнером 1. Це дозволить, при досить великих амплітудах, в декілька разів підвищити динамічний тиск робочого середовища 14, що дозволить інтенсифікувати процес віброобробки. Шари робочого середовища та деталей 14, що розміщені біля поверхні контейнера 1, переміщуються в напрямку протилежному напрямку обертання вала 3 вібробудувача контейнера 1, а шари робочого середовища та деталей котрі розміщені біля поверхні активатора 10 переміщуються в напрямку протилежному до напрямку обертання вала 11 вібробудувача активатора 10. Отже, шари робочого середовища та деталей, що знаходяться біля поверхні контейнера рухаються назустріч шарам робочого середовища, що знаходиться навколо активатора 10. Такий характер руху робочого середовища та деталей підвищує продуктивність процесу віброобробки за рахунок збільшення швидкості відносного взаємного переміщення гранул робочого середовища та оброблюваних деталей. Інтенсивність взаємного переміщення робочого середовища та деталей, які знаходяться в центральній частині контейнера, відносно такого ж робочого середовища та деталей, які знаходяться в периферійній частині контейнера, також збільшується за рахунок коливань еластичних стінок 13 контейнера 1. Після закінчення процесу віброобробки робоче середовище 14 та оброблені деталі вивантажуються через горловину 16.

Конструктивне рішення [13], завдяки протифазному руху активатора 10 та контейнера 1, дозволяє ефективно нагнітати (інтенсифікувати) переміщення гранул робочого середовища та оброблюваних деталей, проте не дозволяє керувати величиною енергії котра передається робочому середовищу від активатора та контейнера. Тобто при різних масах завантаження деталями контейнера вібромашини (рис. 2) буде різна амплітуда коливань робочого

середовища (при сталій частоті коливань контейнера та активатора), а це вплине на зміну питомої роботи вібраційного поля контейнера вібромашини [13]. В результаті чого можливі два варіанти: збільшення питомої роботи вібраційного поля приведе до надмірного знімання металу із поверхні деталей (в результаті шліфування та полірування), а у випадку зменшення питомої роботи вібраційного поля контейнера ми не отримаємо продукцію заданої якості за заданий час технологічного процесу. Ще одним вагомим недоліком даної машини для віброабразивної обробки є неможливість забезпечувати та підтримувати резонансний режим роботи, що в свою чергу не дозволяє отримувати мінімальні енергозатрати на вібропривод віброабразивної машини [13].

Мета роботи – розробити структурну електромеханічну модель вібромашини для адаптивної віброабразивної обробки деталей, яка буде здатна забезпечити мінімальні енергозатрати на вібропривод машини для віброабразивної обробки завдяки забезпеченню і підтримуванню постійного резонансного режиму роботи робочої камери та матиме можливість керування енергією вібраційного поля (на резонансній частоті вібромашини) для забезпечення стабільного наперед заданого значення питомої роботи вібраційного поля контейнера. Що дозволяло б при різній масі завантаження робочої камери (контейнера) оброблюваними деталями отримувати заданий технологічний ефект (заданий клас шорсткості поверхні деталей при шліфуванні та поліруванні, задану величину зняття металу із поверхні деталі при знятті задириків та оздоблювально-зачисній обробці, задане зміцнення поверхні пластичним деформуванням і т.п.) при мінімальних енергозатратах.

Для реалізації самоналагодження коливної системи машини для віброабразивної обробки деталей на постійний резонансний режим роботи доцільно застосовувати метод адаптації до резонансного режиму роботи, що описаний в роботі [14]. Для стабілізації питомої роботи вібраційного поля робочої камери вібромашини необхідно застосувати два дистанційно керовані дебалансні віброприводи на базі яких доцільно буде реалізувати методику стабілізації технологічно оптимальних параметрів вібраційного поля [15, 16]. На підставі вище перерахованих методів керування та стабілізації параметрів вібраційного поля та ефективного методу передачі імпульсу робочому середовищу, що реалізований у роботі [13] синтезовано (рис. 3 та рис. 4) структурну електромеханічну модель вібраційної технологічної машини для адаптивної віброабразивної обробки деталей.

На рис. 3 та рис. 4 зображено електромеханічну модель вібраційної технологічної машини для адаптивної віброабразивної обробки деталей. Дана вібромашина складається із пружно встановленого на пружинах 18 контейнера 1, який заповнений робочим середовищем 2 та оброблюваними деталями 27. У нижній частині контейнера 1 розміщений вал 3 нижнього керованого дебалансного віброприводу 4, у якого є можливість [17] дистанційно змінювати ексцентриситет центра мас дебалансів 5 за рахунок кута $\beta \pm \Delta_\beta$ між ними. Вал 3 через еластичну муфту 6 [18, 19] з'єднано із електромагнітною порошковою муфтою 12 [20, 21], а вона з'єднана із електродвигуном 7. У центральній частині контейнера 1 встановлено на пружинах 8 центральне тіло 9 (активатор), що складається із вала 10 та дебалансів 11 у яких є можливість [17] дистанційно змінювати ексцентриситет центра мас. Вал 10 через еластичну муфту 13 з'єднано із електромагнітною порошковою муфтою 15, а вона з'єднана із електродвигуном 14. Активатор 9 з'єднано із контейнером 1 за допомогою еластичних стінок 16. Зверху контейнера 1 заходиться завантажувальна горловина 17, а знизу вивантажувальна горловина 28. До завантажувальної горловини 17 (або до верхньої частини контейнера 1) жорстко прикріплено давач вібрації 19 вихід котрого з'єднано з одним із входів детектора зсуву фаз 20, з одним із входів блоку технологічно оптимальних параметрів 22 та з одним із входів компаратора 23. Другий вхід компаратора 23 з'єднано з одним із виходів блоку технологічно оптимальних параметрів 22, а другий вихід блоку технологічно оптимальних параметрів 22 з'єднано з одним із входів компаратора 21. Другий вхід компаратора 21 з'єднано із виходом детектора зсуву фаз 20, а вихід компаратора 21 з'єднано з одним із входом блоку корекції

частоти вимушуючої сили віброприводу 24. Вихід блоку корекції частоти вимушуючої сили віброприводу 24 з'єднано із електродвигунами 7, 14 та з'єднано з одним із входів детектора зсуву фаз 20 і входом блоку корекції фази вимушуючої сили віброприводу 26. Виходи блоку корекції фази вимушуючої сили віброприводу 26 з'єднано із електромагнітними порошковими муфтами 12 та 15. Вихід компаратора 23 з'єднано із входам блоку корекції амплітуди вимушуючої сили віброприводу 25, а вихід даного блоку з'єднано із керованими дебалансами 5 та 11.

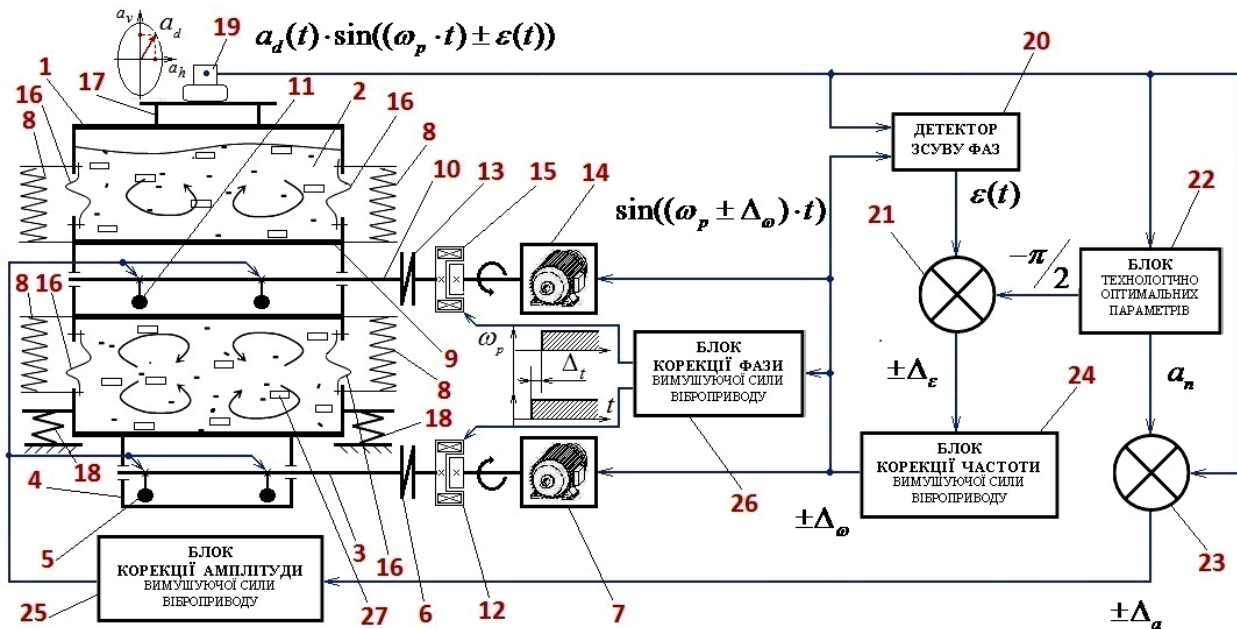


Рис. 3. Структурна електромеханічна модель вібраційної технологічної машини для адаптивної віброабразивної обробки деталей

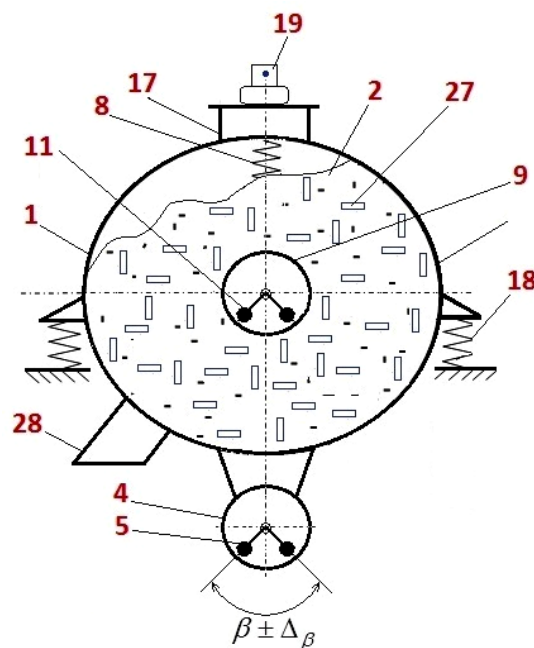


Рис. 4. Структурна схема розташування керованого синхронного дебалансного віброприводу контейнера та активатора, у пристрої для адаптивної віброабразивної обробки деталей

Пристрій для адаптивної віброобразивної обробки деталей працює наступним чином. Оброблювані деталі 27 із робочим середовищем 2 через горловину 17 завантажуються в контейнер 1. В процесі запуску пристрою для адаптивної віброобразивної обробки деталей на частоту роботи ω (котра не дорівнює власній резонансній частоті ω_0 коливної системи пристрою контейнер 1 якого завантажено деталями із певною загальною масою) електродвигун 7 передає крутний момент до електромагнітної порошкової муфти 12. Муфта (12) по команді від блоку корекції фази вимушуючої сили віброприводу 26 передає даний крутний момент до еластичної муфти 6, дана муфта (6) передає крутний момент валу 3, що приводить до обертання дебалансів 5 (із змінним ексцентриситетом центра мас) керованого дебалансного віброприводу 4. В результаті чого контейнер 1 починає здійснювати коливання еліпсоподібної траєкторії із дійсною амплітудою a_d (рис. 5).

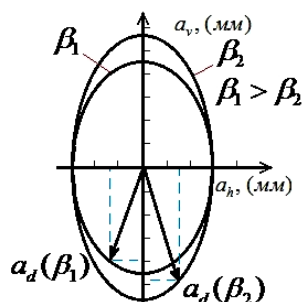


Рис. 5. Зв'язок між вертикальною складовою a_v амплітуди коливань контейнера 1 та кутром β між центрами мас дебалансів керованого дебалансного віброприводу

Вертикальна складова a_v амплітуди коливань контейнера 1 (в даному випадку при сталій ω) визначається величиною кута β між центрами мас дебалансів 5 на валу 3. Разом із контейнером 1, деталями 27 та робочим середовищем 2 коливається активатор 9 (центральне тіло), але активатор 9 коливається завжди на зустріч контейнеру 1. Такий характер коливання активатора 9 обумовлений тим, що після включення керованого дебалансного віброприводу 4 електромагнітною порошковою муфтою 12 через проміжок часу Δt блок корекції фази вимушуючої сили віброприводу 26 вмикає електромагнітну порошкову муфту 15. В результаті чого вона (15) передає крутний момент від електродвигуна 14 (котрий працює на тій же частоті ω що й і електродвигун 7, але обертається в протилежному до нього напрямі) до еластичної муфти 13, валу 10 та керованих дебалансів 11. Завдяки затримці запуску керованого дебалансного віброприводу активатора 9 на проміжок часу Δt верхні керовані дебаланси 11 починають обертатися із частотою ω в протилежному напрямі в той момент часу коли нижні керовані дебаланси 5 знаходяться у верхній точці траєкторії. Беручи до уваги той факт, що ω електродвигунів 7 і 14 однакові масові та динамічні характеристики верхніх 11 та нижніх 5 керованих дебалансів ідентичні то в усталеному режимі після запуску ми отримуємо їхні синхронні рухи із певною заданою фазою. Тобто в процесі синхронної роботи електродвигунів 7 і 14 вони (дебаланси 5 та 11) будуть зустрічатися в ту мить коли нижній дебаланс 5 буде у верхній точці траєкторії, верхній дебаланс 11 у нижній точці траєкторії. При такому русі (на зустріч) контейнера 1 та активатора 9 до робочого середовища 2 передається енергія у вигляді ударних імпульсів. Причому завжди імпульси, що передаються від контейнера 1 до середовища 2 співпадають у часі із імпульсами котрі передаються від активатора 9 до робочого середовища 2, тому загальна енергія котру отримує робоче середовище 2 рівна їх сумі. Також такий характер руху контейнера 1 та активатора 9 створює зустрічні потоки гранул робочого середовища 2 та оброблювальних деталей 27. Згідно [13] шари

робочого середовища 2 та деталей 27 котрі розміщені біля поверхні контейнера 1, переміщуються в напрямі протилежному до напряму обертання вала керованого дебалансного віброприводу 4, а шари робочого середовища 2 та деталей 27 котрі розміщені біля поверхні центрального тіла 9 (активатора) переміщуються в напрямі протилежному до напряму обертання вала 10 керованого дебалансного віброприводу активатора 9. В результаті чого, шари робочого середовища 2 та деталей 27 котрі розміщені біля поверхні контейнера 1, рухаються на зустріч шарам робочого середовища 2 та деталей 27 котрі розміщені біля поверхні центрального тіла 9 (активатора). Такий характер руху робочого середовища 2 та оброблюваних деталей 27 активізує технологічний процес віброабразивної обробки деталей у пристрої за рахунок збільшення відносної взаємної швидкості переміщення гранул робочого середовища 2 та оброблюваних деталей 27.

Після запуску пристрою (час: 2–3 с) для адаптивної віброабразивної обробки деталей на початковій частоті ω , при стабілізації коливань контейнера, тобто у встановленому режимі, із давача вібрації 19 поступає інформація про динамічні параметри контейнера 1, зокрема: амплітуду $a_d(t)$, частоту $\omega_p(t)$ та фазу $\varepsilon(t)$ його коливань у наступній формі $a_d(t) \cdot \sin(\omega_p \cdot t \pm \varepsilon(t))$. Дана інформація поступає в детектор зсуву фаз 20, блок технологічно оптимальних параметрів 22 та на компаратор 23. На другий вхід детектора зсуву фаз 20 поступає інформація $\sin((\omega_p \pm \Delta_\omega) \cdot t)$ про відкоректовану на величину $\pm \Delta_\omega$ (дійсну на даному етапі) частоту роботи керованого дебалансного віброприводу (5, 11) контейнера 1 та активатора 9. Тобто в блоці 20 у відповідності до [14] проходить порівняння двох гармонійних сигналів на предмет наявності зсуву фази коливань контейнера 1 відносно вимушуючої циклічної сили керованого дебалансного віброприводу пристрою для адаптивної віброабразивної обробки деталей. Іншими словами блок 20 детектора зсуву фаз проводить постійне відслідковування реакції контейнера 1 на збурюючий фактор (вимушуюча циклічна сила). Згідно [14] при вимушених коливаннях дані сигнали мають однакову частоту, а при резонансі фаза $\varepsilon(t)$ амплітуди коливань контейнера 1 пристрою для адаптивної віброабразивної обробки деталей відстає на кут $\pi/2$ від амплітуди циклічної вимушуючої сили керованого дебалансного віброприводу. Таким чином зміна маси деталей 27 котрими завантажений контейнер 1 та робочого середовища буде причиною зміни власної резонансної частоти пристрою для адаптивної віброабразивної обробки деталей, а це при сталій (фіксованій) частоті керованого дебалансного віброприводу $\omega_p(t)$ є причиною [14] зміни кута зсуву фаз між контейнером 1 та циклічною вимушуючою силою віброприводу. Тому коректуючи ($\pm \Delta_\omega$) частоту $\omega_p(t)$ вимушуючої циклічної сили керованого дебалансного віброприводу пристрою для адаптивної віброабразивної обробки деталей в ту чи іншу сторону можна наблизитись (чи віддалитись) від власної резонансної частоти і тим самим змінювати величину зсуву фаз $\varepsilon(t)$ між контейнером 1 та віброприводом (5 та 11). Виходячи із цього у компараторі 21 постійно проводиться порівняння між існуючим зсувом фаз при частоті ω_p керованого дебалансного віброприводу із необхідним оптимальним (із енергетичної точки зору) значенням зсуву фаз $-\pi/2$. Оптимальне значення в компаратор надходить із блоку технологічно оптимальних параметрів 22, куди вноситься оператором вібромашини. В результаті порівняння інформації в компараторі 21 ми отримуємо величину $\pm \Delta_\varepsilon$, величина котрої вказує на скільки коливна система (контейнер 1) відійшла від резонансного режиму роботи, а знак її ($\pm \Delta_\varepsilon$) вказує в котру сторону коливна система вібромашини відійшла від резонансного режиму роботи. На підставі величини та знаку $\pm \Delta_\varepsilon$ у блоці корекції частоти ω_p вимушуючої сили віброприводу 24 на базі закладених у ньому законів керування (реалізованих на класичних функціях) проводиться визначення величини та напряму корекції $\pm \Delta_\omega$ частоти вимушуючої сили віброприводу.

Відкоригована частота $\omega_p(t) \pm \Delta_\omega$ вимушуючої сили віброприводу буде наблизатись в часі до власної резонансної частоти ω_0 контейнера 1 завдяки дії $\pm \Delta_\omega$, аж поки $\omega_0(t) = \omega_p(t) \pm \Delta_\omega$ тобто не стане справедливою рівність $\varepsilon = -\pi/2$.

Адаптація частоти керованого дебалансного віброприводу (5 та 11) до власної резонансної частоти механічної коливної системи вібромашини $\omega_0(t) = \omega_p(t) \pm \Delta_\omega$, дозволяє забезпечувати постійний резонансний режим роботи контейнера 1 при довільній (різній) масі його завантаження (пристрою для адаптивної віброобразивної обробки деталей) як робочим середовищем 2 так і оброблюваними деталями 27. Резонансний режим роботи пристрою для адаптивної віброобразивної обробки деталей забезпечує мінімальні енергозатрати віброприводу на реалізацію технологічного процесу в контейнері 1.

Конструктивне рішення, подане на рис. 3 та рис. 4, дозволяє реалізувати не тільки енергетично оптимальний режим роботи пристрою для адаптивної віброобразивної обробки деталей, але й заданий технологічно оптимальний режим роботи при мінімальних енергозатратах на вібропривод. Необхідність та доцільність реалізації (контролю та стабілізації) технологічно оптимальних параметрів віброобразивної обробки деталей обумовлюється тим, що сама віброобразивна обробка повинна проходити заданий (чітко визначений) період часу при заданих динамічних параметрах контейнера 1. Під динамічними параметрами контейнера 1 можна розуміти наприклад амплітуду та частоту його коливань. Недотримання даних динамічних параметрів контейнера 1 на протязі заданого проміжку часу для віброобразивної обробки деталей є причиною порушення самої технології обробки деталей. Неконтрольоване відхилення динамічних параметрів контейнера 1 на протязі часу технологічної обробки в меншу сторону буде причиною отримання іншого від заданого класу шорсткості поверхні деталей (при шліфуванні та поліруванні), іншої величини зняття металу з поверхні деталі (при знятті завусин та оздоблювально-зачисній обробці). В такому випадку готова продукція (оброблювані деталі 27) по суті буде бракованою. Відхилення в більшу сторону динамічних параметрів контейнера 1 на протязі часу технологічної обробки взагалі може привести до руйнування деталей шляхом помолу (дану вібромашину можна розглядати також як вібромлин [22]). Опираючись на дослідження [23, 24, 25] доцільним за критерій оцінки динамічних параметрів пристрою для адаптивної віброобразивної обробки деталей взяти питому роботу $A_p = \omega_p^2 \times a_d^2$ вібраційного поля (робочого середовища) контейнера 1 або інтегральний критерій (питому потужність) $I_p = \omega_p^3 \times a_d^2$ для оцінки рівноцінності вібрацій різних частот. Сергієв А.П. у роботі [26] показав, що зняття металу при віброобразивній обробці деталей залишається постійним при збереженні величини $\omega_p^2 \times a_d^2$ незалежно від значення амплітуди та частоти. Фізичний зміст питомої роботи вібраційного поля $A_p = \omega_p^2 \times a_d^2$ можна зрозуміти виходячи із загального означення роботи ($A = F \times s$), в загальному робота рівна добутку сили F на переміщення s . Враховуючи, що сила виражається як добуток маси на прискорення ($F = m \times a$) та беручи до уваги те, що при коливному русі вібромашини в усталеному режимі переміщення контейнера 1 в загальному описується виразом $a_d \cdot \sin(\omega_p \cdot t)$. Взнявши другу похідну від переміщення та підставивши його у вираз роботи отримаємо $(m \times a_d \times \omega_p^2) \cdot a_d$. Виходячи із цього розрахунок необхідної амплітуди коливань a_n на даній резонансній частоті ω_0 ($\omega_0 = \omega_p$) доцільно проводити із наступного співвідношення $a_n = [\omega_z^2 \times a_z^2] / \omega_0^2$, де ω_z та a_z наперед задані із технологічної точки зору оптимальні параметри вібраційного поля для віброобразивної обробки деталей в контейнері 1. Параметри ω_z та a_z (та час обробки при такому режимі) вводяться оператором вібромашини безпосередньо в блок технологічно оптимальних параметрів 22, куди також поступає інформація про дійсне значення амплітуди a_d та

власну резонансну частоту коливань контейнера 1 $\omega_0 = \omega_p$ із давача вібрації 19 у наступній формі $a_d \cdot \sin(\omega_p \cdot t)$. В результаті обробки інформації від давача 19 блок технологічно оптимальних параметрів 22 проводить постійне визначення (обраховування) необхідного значення амплітуди коливань a_n , щоб забезпечити сталі значення питомої роботи ($A_p = \omega_p^2 \times a_d^2 = const$) вібраційного контейнера 1 на даній (новій) резонансній частоті ω_0 на протязі заданого оператором часу обробки. Інформація про необхідне значення амплітуди коливань a_n постійно поступає на компаратор 23 де порівнюється із дійсним значенням амплітуди a_d . В результаті порівняння отримуємо $\pm \Delta_a$ величину (та напрям) на котру необхідно провести корекцію амплітуди коливань контейнера 1 щоб забезпечити сталість питомої роботи його вібраційного поля ($A_p = \omega_p^2 \times a_d^2 = const$) на протязі заданого часу віброобробки. Значення величини (та напрям) корекції амплітуди коливань контейнера 1 $\pm \Delta_a$ передається у блок корекції амплітуди вимушуючої сили (керованого) дебалансного віброприводу 25. Даний блок (25) на базі закладених у ньому законів керування (реалізованих на класичних функціях) проводить корекцію $\pm \Delta_\beta$ величини кута β між ексцентриситетами центра мас дебалансів 5 та 11 (рис. 4), що приводить до зміни величини амплітуди циклічної вимушуючої сили керованого дебалансного віброприводу пристрою для віброобразивної обробки деталей. В наслідок зміни (зменшення, збільшення) зміни величини амплітуди циклічної вимушуючої сили керованого дебалансного віброприводу змінюється амплітуда коливань контейнера 1 (рис. 5) в сторону котра забезпечує стабільність в часі питомої роботи його (1) вібраційного поля.

Застосування в конструктивному рішенні (рис. 3 та рис. 4) ще одного контуру адаптації збурюючого фактору (амплітуди циклічної сили віброприводу) дозволяє отримувати стабільне в часі значення питомої роботи вібраційного поля контейнера 1 і тим самим забезпечувати повноцінну реалізацію технологічного процесу віброобразивної обробки деталей 27. Стабільність питомої роботи вібраційного поля контейнера 1 на протязі часу технологічної обробки в є запорукою отримання заданого класу шорсткості поверхні деталей (при шліфуванні та поліруванні), заданої величини зняття металу із поверхні деталі (при знятті завусин та оздоблювально-зачисній обробці).

ВИСНОВКИ

Розроблено структурну електромеханічну модель вібромашини для адаптивної віброобразивної обробки деталей, котра реалізовує мінімальні енергозатрати на вібропривод машини для віброобразивної обробки деталей завдяки забезпеченню і підтримуванню постійного резонансного режиму роботи робочої камери. При роботі в режимі мінімальних енергозатрат конструктивне рішення пристрою для віброобразивної обробки деталей дозволяє керувати енергією вібраційного поля (на резонансній частоті вібромашини) для забезпечення стабільного наперед заданого значення питомої роботи вібраційного поля контейнера. Що дозволяє при змінній (різній) масі завантаження робочої камери (контейнера) деталями отримувати заданий технологічний ефект (заданий клас шорсткості поверхні деталей при шліфуванні та поліруванні, задану величину зняття металу із поверхні деталі при знятті завусин та оздоблювально-зачисній обробці, задане зміцнення поверхні пластичним деформуванням і т. п.) при мінімальних енерговитратах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабичев А. П. *Вибрационная обработка деталей* / А. П. Бабичев. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1974. – 256 с.
2. *Объемная вибрационная обработка. Рекомендации* / Буриштейн И. Е., Балицкий В. В., Духовский Л. Ш., Стессель А. М., Тоцкий А. М. – М. : ЭНИМС, 1977. – 108 с.

3. Вибрационные станки для обработки деталей / [Бабичев А. П., Трунин В. Б., Самодумский Ю. М., Устинов В. П.]. – М. : Машиностроение, 1984. – 168 с.
4. Бабичев А. П. Конструирование и эксплуатация вибрационных станков для обработки деталей / А. П. Бабичев, Л. К. Зеленцов, Ю. М. Самодумский. – Ростов-н-Д. : РТУ, 1987. – 156 с.
5. Бабичев А. П. Вибрационная обработка деталей в абразивной среде / А. П. Бабичев. – М. : Машиностроение, 1988. – 91 с.
6. Бабичев А. П. Основы вибрационной технологии : ч 2. Технология вибрационной обработки. Учебное пособие / А. П. Бабичев. – Ростов-н-Д. : ДГТУ, 1994. – 89 с.
7. Субач А. П. Динамика процессов и машин объемной вибрационной и центробежной обработки насыпных деталей / А. П. Субач. – Рига : Знание, 1991. – 400 с.
8. Барон Ю. М. Магнитно-абразивная обработка / Ю. М. Барон // Механизация и автоматизация производства. – М. : Машиностроение, 1990. – № 5. – С. 21–24.
9. Бабичев А. П. Классификация и перспективы развития оборудования для вибрационной обработки деталей / А. П. Бабичев, В. Б. Трунин // Современные пути повышения производительности и точности металлообрабатывающего оборудования и автоматизации технологических процессов в машиностроении : тезисы доклада Всесоюзной научно-технической конференции. – М. : Станкин, 1980. – С. 46–52.
10. Одинцов Л. Г. Комплексная программа развития и внедрения отделочно-зачистной обработки деталей / Л. Г. Одинцов // Механизация и автоматизация производства. – М. : Машиностроение, 1990. – № 5. – С. 1–4.
11. Берник П. С. Классификация способов вибрационной обработки / П. С. Берник, Л. В. Ярошенко // Международная научно-техническая конференция «Совершенствование и развитие отделочно-зачистной, финишной и поверхностной пластической обработки деталей» : материалы. – Винница : ВСХИ, 1992. – С. 48–50.
12. Карташов И. Н. Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах / И. Н. Карташов, Е. М. Шаинский, В. А. Власов. – К. : Наук. думка, 1974. – 83 с.
13. Пат. 32159 А Україна, В24В 31/06. Пристрій для вібраційної обробки деталей / Берник П. С., Ярошенко Л. В., Горбатюк Р. М. (Україна). – № 98126990; опубл. 15.12.2000, Бюл. № 7. – 3 с.
14. Пат. 87776 А Україна, В65G 27/00. Спосіб керування роботою адаптивних вібраційних технологічних машин / Середя Л. П., Чубик Р. В., Ярошенко Л. В. (Україна). – № а200803685; опубл. 10.08.2009, Бюл. № 15. – 4 с.
15. Чубик Р. В. Метод стабілізації технологічно оптимальних параметрів вібраційного поля адаптивних вібраційних технологічних машин / Р. В. Чубик, Л. В. Ярошенко // Вібрації в техніці та технологіях. – 2008. – № 2 (51). – С. 57–60.
16. Пат. 92041 А Україна, В65G27/100. Спосіб стабілізації технологічно оптимальних параметрів вібраційного поля адаптивних вібраційних технологічних машин / Середя Л. П., Чубик Р. В., Ярошенко Л. В. (Україна). – № а200806209; опубл. 27.09.2010, Бюл. № 18. – 3 с.
17. Берник П. С. Аналіз структурних схем пристроїв для керування віброприводом вібраційних технологічних машин / П. С. Берник, Р. В. Чубик // Вібрації в техніці та технологіях. – 2005. – № 3 (41). – С. 9–22.
18. Пат. 43813 А Україна, F 16D3/4. Пружна муфта / Берник П. С., Денісов П. Д., Солоня О. В. (Україна). – № 99116344; заявл. 23.11.99; опуб. 17.12.2001, Бюл. № 11. – 3 с.
19. Пат. 43814 А Україна, F 16D3/74. Еластична муфта / Берник П. С., Денісов П. Д., Солоня О. В. (Україна). – № 99116345; заявл. 23.11.99; опуб. 17.12.2001, Бюл. № 11. – 3 с.
20. Могилевский В. Г. Электромагнитные порошковые муфты и тормоза / В. Г. Могилевский. – М. : Энергия, 1964. – 104 с.
21. Поляков В. С. Муфты. Конструкция и расчет / В. С. Поляков, И. Д. Барбаиш. – Изд. 4 перераб. и доп. – Л. : Машиностроение, 1973. – 336 с.
22. Овчинников П. Ф. О характере ударного разрушения в вибромельницах / П. Ф. Овчинников // Прикладная механика. – 1968. – № 4. – С. 104–110.
23. Сердюк Л. И. Различные подходы к оценке динамических, энергетических и технологических возможностей вибрационных машин / Л. И. Сердюк, Ю. А. Давыденко, Л. М. Осина // Вибрации в технике и технологиях. – 2004. – № 3 (35). – С. 113–117.
24. Копылов Ю. Р. Амплитудные и фазо-частотные характеристики вибрирующей рабочей среды / Ю. Р. Копылов // Вибрации в технике и технологиях : труды III международной научно-технической конференции. – Евпатория, 1998. – С. 133–137.
25. Чубик Р. В. Метод стабілізації технологічно оптимальних параметрів вібраційного поля адаптивних вібраційних технологічних машин / Р. В. Чубик, Л. В. Ярошенко // Вібрації в техніці та технологіях. – 2008. – № 2 (51). – С. 57–60.
26. Сергеев А. П. Исследование процесса обработки, механизация и автоматизация вспомогательных работ на машинах для объемной вибрационной обработки / А. П. Сергеев // Механизация процесса снятия заусенцев. – М. : МДНТП, 1966. – С. 74–85.