

УДК 621.9.048

В.П.Симонюк

Луцький національний технічний університет

### ОСОБЛИВОСТІ ЕНЕРГООЩАДНОЇ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ВІБРОМАШИНИ В РЕЖИМІ БЛИЗЬКОМУ ДО РЕЗОНАНСУ

*Проведено аналіз сучасного стану вібраційних абразивних технологій обробки деталей, стану сучасного вібраційного обладнання. Проаналізовано перспективи конструювання вібраційного обладнання залежно від технологічних процесів. Особлива увага приділена конструюванню вібромашин які працюють в умовах близьких до резонансних. Такі вібромашини приваблює тим, що є можливість значно спростити їх конструкції, позбутись складних підшипникових вузлів та значно знизити їх енергоспоживання.*

Ключові слова: конструювання, вібраційні абразивні технології

Зростання вимог до якості продукції галузей машинобудування та приладобудування обумовлюють необхідність вдосконалення методів фінішної обробки деталей, підвищення їх міцності та покращення товарного вигляду. Насьогодні, при виготовленні деталей все ще залишається ручна праця на очистці, поліруванні, шліфуванні деталей. Це зумовлює поширення механізації даних операцій та впровадження більш сучасних технологій і перспективного обладнання. Вібраційна обробка має широкі технологічні можливості, вирізняється простотою конструкції і обслуговування, а також тим, що має можливість легкого переходу від використання окремих вібраційних установок до створення ділянок з автоматизацією допоміжних операцій.

Надійна робота механічних пристроїв в значній мірі залежить від класу чистоти поверхні деталей, відсутності задирок і гострих кромки. Для абразивного шліфування деталей масою до 1-2 кг доцільно застосовувати віброабразивну обробку. Зокрема, для зняття задирок і заокруглення гострих кромки необхідний час обробки партії деталей становить від 5 до 10 хв і залежить від механічних властивостей матеріалу та складності конфігурації деталі. При цьому час обробки, що припадає на одну деталь складає від 0,01 до 0,1 хв. і залежить від партії одночасно оброблюваних деталей, розмір якої обумовлюється об'ємом робочої камери віброустановки.

Як відомо, процес віброабразивної обробки поверхонь деталей супроводжується нанесенням великої кількості мікроударів частинками робочого середовища, в результаті яких на поверхні утворюються лунки і подряпини невеликої довжини. Послідовне нанесення великого числа ямок і подряпин та їх поєднання утворює мікрорельєф поверхні. Мікроудари абразивних зерен спрямовані під різними кутами до оброблюваної поверхні. В такому випадку абразивна частка ковзає по оброблюваній поверхні на невеликій ділянці (до 0,5...1 мм), в результаті чого відбувається зішкрябування частинок металу.

Однією з актуальних задач розвитку вібраційної обробки є вдоконалення вже існуючих і створення нових вібраційних установок, які б дозволяли автоматизувати процес вібраційної обробки.

Сьогодні при конструюванні нових установок все більшу увагу приділяють створенню поряд з традиційним одновібраторним приводом (використовується один збудник вібрацій) різних схем багатовібраторних приводів, щоб підвищити продуктивність і якість обробки.

Застосування кількох малопотужних вібраторів замість одного більш потужного дає змогу рівномірно розподілити змушуючу силу по віброуючому бункері, а це дозволяє створювати установки зі значним об'ємом робочого органу (бункера) і уникати зон, в яких не відбувається активного перемішування. Також кілька малопотужних вібраторів споживають набагато менше електричної енергії, ніж один більш потужніший, а це дозволяє заощадити значну кількість енергії.

Вібраційне обладнання поширене у всіх галузях виробництва, таких як гірничої, хімічної, будівельної, металургійної, машинобудівної, приладобудівної та інших. Підвищення ефективності виробництва, а отже, і обладнання в цих галузях є беззаперечною умовою економії ресурсів. Вібраційні машини, що використовуються на енергоємних виробництвах є великогабаритними та

потужними. Найпоширенішим приводом переважної більшості таких машин є інерційний на основі дебалансних віброзбудників та привід з ексцентриком завдяки їх компактності при великій рушійній силі, відносній легкості їх розрахунку та простоті застосування. Через відсутність реальної конкуренції з боку інших типів віброзбудників, вібраційні машини, побудовані на основі цих приводів, сьогодні займають перші позиції серед класу великогабаритного вібраційного технологічного обладнання.

Таке широке використання дебалансних та ексцентрикових віброзбудників не вказує на беззаперечні їхні переваги та бездоганність порівняно з іншими типами приводів. Так, до недоліків машин з дебалансними віброзбудниками можна віднести:

- складність регулювання амплітуд коливань робочих органів під час роботи машин, що обмежує їх використання на автоматичних ділянках виробництва;
- значний час виходу на номінальні режими роботи зі стану спокою і тривалий час зупинки;
- під час запуску та зупинки вібромашин механічна система проходить через резонанс. Це може призвести до пошкодження обладнання, яке не передбачене для роботи в резонансних режимах;
- небажаний білярезонансний робочий режим роботи в зв'язку з існуванням у дебалансних віброзбудниках рухомих з'єднань у підшипниках кочення та ковзання, в зубчастих зачепленнях, коли примусово синхронізуються рухи двох і більше дебалансів тощо. За такого режиму механізми приводу сприймають значні динамічні навантаження, що може привести до їх руйнування;
- встановлення спеціальних заходів для примусової синхронізації, чи необхідність дотримання певних конструктивних параметрів для самосинхронізації віброзбудників;
- низька надійність, за рахунок чого обладнання часто зупиняється на ремонт;
- відносно низька гранична межа робочої частоти машин (до 100 Гц);
- низька безпечність роботи біля обладнання з відкритими дебалансами, що викликано обертальним рухом тіл зі зміщеними центрами ваги.

Віброзбудникам на основі ексцентрика притаманні майже всі недоліки дебалансних. Використання віброзбудників, що містять рухомі з'єднання ковзання та кочення, ускладнюється. Дебалансні, ексцентрикові, поршневі пневматичні та гідравлічні віброзбудники не в стані повністю задовольнити технічні вимоги, поставлені сучасним виробництвом.

На сучасному етапі розвитку технологій, зокрема і вібраційних, енергоощадні принципи стають основоположними у створенні нового технологічного обладнання. Саме енергоощадність часто є визначальним фактором у виборі того чи іншого обладнання, технології.

Все більшого поширення у багатьох галузях промисловості, на різних ділянках виробництва набувають вібраційні машини з електромагнітним приводом. Досить часто на підприємствах такі вібромашини є чи не єдиним засобом, що дає змогу забезпечити той чи інший технологічний процес. Переважно це малогабаритне та малопотужне вібраційне технологічне обладнання.

У цьому контексті хотілось би виділити таке унікальне явище, що супроводжує коливальні процеси, як резонанс. Саме вібромашини з електромагнітним приводом повною мірою використовують явище резонансу, що забезпечує ефективне використання природних явищ. Ввівши такі вібраційні машини в резонанс, вони немовби розкривають "приховані резерви енергії", що прослідковується в корисному стрімкому зростанні інерційних сил. Унікальність вібраційних машин з електромагнітним приводом пов'язана з тим, що вони мають низку переваг порівняно з вібромашинами інших типів, що особливо вагомі в сучасному виробництві:

- завдяки використанню явища резонансу, сили інерції, що виникають під час роботи вібромашин у білярезонансних режимах, можуть перевищувати сили, які розвивають електромагнітні віброзбудники, більше ніж у 10 разів, а це говорить про їх енергоощадність;
- легкість регулювання амплітуди коливань робочого органа під час їх роботи;
- легкість в отриманні прямолінійних коливань;
- автоматична синхронізація віброзбудників, яка викликана тим, що вони живляться від однієї мережі, де синусоїдальний сигнал напруги, поданої на котушки, і задає синхронізацію;
- відсутність рухомих з'єднань в механізмах приводу підвищує надійність та довговічність, а також значно знижує шумові показники вібраційного обладнання;
- безпечність їхньої роботи;
- електромагнітний привід не потребує додаткових механізмів для передавання руху.

Привід поєднаний з робочим органом, що є надзвичайно перспективно з погляду конструювання машин;

- під час запуску і зупинки вібромашина не проходить через резонансні зони, що унеможливує її входження у критичні режими.

Вищенаведені переваги таких вібраційних машин, зокрема можливість використання явища резонансу, необхідно пов'язувати саме з електромагнітним приводом. Цей привід є простим, позбавленим підшипників і передавальних механізмів, він відрізняється тривалим, практично необмеженим терміном служби, а тому його пріоритетне використання є обґрунтованим і переконливим. Провідні науковці з віротехніки схиляються до думки, що саме електромагнітний привід є найдосконалішим.

На сьогодні існує загальнопромислова потреба в створенні надійного та енергоощадного вібраційного обладнання. Це особливо актуально для енергоємних галузей промисловості, де задіяні великогабаритні потужні віброустановки, підвищення ефективності яких дало б значний економічний ефект.

Чи не найперспективнішим напрямком удосконалення вібраційного обладнання є перехід на електромагнітний привід. Таке обладнання сьогодні краще за концепцією побудови та принципом роботи. Його вагома перевага - наявність енергоощадних за своєю природою резонансних режимів роботи та відсутність у приводі рухомих з'єднань.

Однак використання цього обладнання як великогабаритного ускладнюється низкою причин. В основному це обумовлено відносно низькими тяговими характеристиками електромагнітного приводу та значним впливом амплітуд коливань на величину повітряного проміжку. Безумовно, для усунення цих факторів стримування подальшого розвитку великогабаритного вібраційного обладнання з електромагнітним приводом необхідно шукати якісно нові наукові рішення, що дадуть значний ефект. Використання традиційних підходів до створення резонансного вібраційного обладнання не вирішить проблем ефективності великогабаритних установок.

Лише впровадження якісно нової технології для створення високоефективних та енергоощадних вібраційних машин з електромагнітним приводом обумовить появу не тільки великогабаритних вібраційних машин цього класу, які відповідатимуть необхідним високим технологічним вимогам, що зумовлені потребами виробництва, а й поширить енергоощадні принципи побудови на весь клас вібраційних машин з електромагнітним приводом.

Надійність і довговічність роботи машин і механізмів в значній мірі визначається якістю обробки деталей, технологією їх виготовлення, тому стають зрозумілими високі вимоги, які висуваються до фінішних операцій, які в основному, відповідають за формування якості поверхні деталей. У зв'язку із цим задача технологічного забезпечення функціональних параметрів якості оброблюваних деталей є досить актуальною. Основна умова вирішення цієї задачі полягає в необхідності вдосконалення і розвитку технології фінішної обробки обладнання, яке забезпечує відповідну якість обробки.

До фінішних методів відноситься і вібраційна обробка деталей в різноманітних середовищах, забезпечуючи створення необхідної шорсткості і фізико-механічних властивостей поверхні та поверхневих шарів.

На даний час спеціалісти багатьох галузей машинобудування і приладобудування проводять різні дослідження в області вдосконалення технології вібраційної обробки і створення нових високопродуктивних верстатів. Однак відсутність повної інформації про процеси, які відбуваються під час обробки деталей в робочому середовищі, технологічних можливостях вібраційної обробки і рекомендацій для вирішення технологічних та конструкторських задач, стримує широке промислове впровадження і подальший розвиток прогресивного методу.

Процес вібраційної обробки заключається в послідовному нанесенні по поверхні оброблюваних деталей великої кількості мікроударів, а також нанесенні великої кількості мікроцарапин на поверхні частинками робочого середовища. Основою процесу є механічне або механохімічне знімання дрібних частинок металу і його окислів з оброблюваної поверхні, а також вигладжування мікронерівностей поверхні за рахунок пластичного деформування частинками робочого середовища, які відтворюють в процесі роботи складні рухи.

В залежності від призначення технологічної операції можуть застосовуватись абразивні і інші неметалічні матеріали з різними характеристиками, а також металічні середовища з робочими

тілами відповідної форми та розмірів. Інтенсивність вібраційної обробки залежить від режимів та часу обробки, характеристики та розмірів частинок робочого середовища, механічних властивостей матеріалу оброблюваних деталей та ін. До числа основних параметрів даного процесу відносяться: характер руху робочої камери і частинок робочого середовища, їх швидкість і прискорення, сила мікроударів, контактні тиски, температура, яка виникає в зоні дії мікроударів, середня температура в робочій камері.

На швидкість руху робочого середовища впливає амплітуда і частота коливань. Із їх збільшенням швидкість циркуляції робочого середовища зростає. На швидкість циркуляції дещо менший вплив має кількість і характер рідинного розчину, грануляція та форма частинок робочого середовища, заповнений об'єм робочої камери.

Як показують дослідження, динамічний вплив робочого середовища на оброблювані деталі зростає із збільшенням амплітуди та частоти коливань і залежить від глибини їх занурення, відстані від стінок робочої камери, режимів вібрації, розмірів і питомої ваги частинок робочого середовища. Орієнтація оброблюваних деталей безперервно змінюється в процесі обробки деталей. Вільно завантажені деталі рухаються в потоці робочого середовища з деяким відставанням, в порівнянні з частинками наповнювача. В процесі обробки деталі стараються розміститись по периферії циркулюючого робочого середовища.

Формування поверхневого шару в процесі вібраційної обробки відбувається під дією багаторазових мікроударів частинок робочого середовища, які викликають утворення слідів обробки, зміну геометричних і фізико-механічних параметрів поверхневого шару (шорсткості, мікротвердості, залишкових напружень і структури). Форма і розміри слідів обробки визначаються параметрами робочого середовища, режимами обробки, властивостями оброблюваного матеріалу.

Поєднання таких елементів процесу як послідовне нанесення великої кількості мікроударів, інтенсивне перемішування робочого середовища і оброблюваних деталей при їх різних швидкості перемішування та взаємній орієнтації, супроводжується (в залежності від характеристики робочого середовища і режимів вібрування) зніманням металу і його оксидів, поверхневим пластичним деформуванням та створює умови для виконання очисних, викінчувальних, шліфувальних і інших операцій.

Суттєвим недоліком вібраційного абразивного методу обробки деталей машин та приладів є, так звана, "постійність" режиму обробки. При виведенні вібраційної машини на робочі частоти та при її гальмуванні, тобто, виключенні, ця "постійність", як правило, відсутня тому що, і робочий контейнер вібраційної машини, і суміш, яка в ньому знаходиться, рухаються з різними частотами, швидкостями, пришвидшеннями. "Постійність" режиму обробки встановлюється протягом певного проміжку часу після ввімкнення вібраційної машини і, як правило, викликає утворення "застійних зон" в робочому середовищі вібробункера, що призводить до неоднаковості обробки всіх деталей. Та частина деталей, яка знаходиться в безпосередній близькості до стінок вібробункера завжди буде більш інтенсивно оброблюватись ніж та, яка знаходиться ближче до "застійної зони", тобто до умовної середини робочої суміші, а деталі, які знаходяться в самій "застійній зоні", взагалі дуже малорухливі і, відповідно, якість їх обробки буде найнижчою.

Як показують дослідження, найбільш ефективним приводом є багатокомпонентний привід. Це відбувається при використанні в якості приводу декількох, наприклад, чотирьох, електромагнітів.

Використання декількох електромагнітів значно розширює можливості вібраційної машини. Електромагніти можна вмикати в будь-якій почерговості: одночасно всі, що відповідає дії одного центрального електромагніта з номінальною потужністю; одночасно три, що дає можливість працювати з меншою потужністю і нахилити робочий контейнер на деякий кут відносно центральної вісі, при цьому можна змінювати напрямок нахилу за рахунок зміни почерговості вмикання електромагнітів; одночасно два, коли можна працювати ще з меншою потужністю, нахилити робочий контейнер на більший кут, вмикати або протилежні пари електромагнітів, або змінювати в парі один із них; тільки один, що дозволяє працювати з найменшою потужністю, змінюючи почерговість включення електромагнітів в будь-якому порядку.

За рахунок зміни порядку включення електромагнітів, є можливість створення певних законів руху робочої суміші. В той же час, змінивши почерговість включення цих же електромагнітів, або змінивши їх амплітуду чи частоту коливань, можна, не зупиняючи процес обробки деталей, внести зміни в ті процеси, які відбуваються в робочому контейнері. Це дає змогу

протидіяти створенню "застійних зон", збільшити продуктивність обробки деталей, значно підвищити їх якість.

Із збільшенням амплітуди, внаслідок збільшення сил мікроударів частинок робочого середовища і збільшення шляху активної взаємодії їх на оброблювану поверхню, знімання металу зростає. На продуктивність процесу впливає і частота коливань. Із збільшенням частоти коливань знімання металу зростає. Ріст зняття металу із збільшенням кількості мікроударів абразивних частинок в оброблювану поверхню за одиницю часу пояснюється зростанням швидкості відносного їхнього ковзання і зростанням сил мікроударів в результаті збільшення пришвидшень абразивних частинок при незмінній їх масі. Спостереження за поведінкою робочого середовища в робочій камері установки показали, що із збільшенням частоти коливань рух всієї маси пришвидшується. Значить, ріст зняття металу в даному випадку відбувається внаслідок більш інтенсивного перемішування робочого середовища.

Як відомо, продуктивність вібраційної обробки залежить як від режимів так і часу обробки, характеристики і розмірів частинок робочого середовища, механічних властивостей матеріалу оброблюваних деталей та ін. До числа основних параметрів даного процесу відносяться: характер руху робочої камери і частинок робочого середовища, їх швидкість і пришвидшення, сила мікроударів, контактні тиски, температура, яка виникає в зоні дії мікроударів, середня температура в робочій камері.

На швидкість руху робочого середовища дуже впливає амплітуда і частота коливань. Із їх збільшенням швидкість циркуляції робочого середовища зростає.

Динамічні характеристики робочого середовища залежать від глибини занурення, відстані від стінок робочої камери, режимів вібрації, розмірів і питомої ваги частинок робочого середовища. Динамічний вплив робочого середовища зростає із збільшенням амплітуди і частоти коливань, глибини занурення, розмірів і питомої ваги частинок робочого середовища і в міру наближення до стінок робочої камери.

Як відомо, найбільша амплітуда коливань досягається при резонансних режимах роботи вібраційних машин. На відміну від решти вібраційних абразивних машин, машини з електромагнітними приводами дуже добре працюють на резонансних частотах. Електромагнітні приводи при цьому споживають найменше енергії тому що, для підтримання резонансних коливань робочого контейнера їм необхідно витратити енергію лише для подолання сил опору.

Використання для вібраційної обробки машин, що можуть працювати на резонансних частотах, оснащення їх регульованими приводами, дослідження процесів, які відбуваються при вібраційній обробці деталей, застосування відповідних абразивних матеріалів, все це є невід'ємною частиною в створенні нових енергоощадних технологій вібраційної абразивної обробки деталей машин та приладів.

1. Искович-Лотоцкий Р.Д., Матвеев И.Б. Машины вибрационного и виброударного действия. – К., 1982.-108с.
2. Опирский Б.Я., Денисов П.Д. Новые виброционные станки. Конструирование и расчет. – Львов.: Світ, 1991.-160 с.
3. Карташов И. Н. Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах. – М.: Машиностроение, 1975. – 188с.
4. Гончаревич И.Ф. Вибрация - нестандартный путь. – М.: Наука, 1986.-209 с.
5. Вибрации в технике. Справочник. В 6-ти т. /Ред. Совет: В.Н.Челомей (пред.). – М.: Машиностроение.
6. Ланець О.С. Високоєфективні міжрезонансні вібраційні машини з електромагнітним приводом (Теоретичні основи та практика створення): Монографія. – Львів: Видавництво Національного університету „Львівська політехніка”, 2008.-324с.
7. Бабичев А.П., Трунин В.Б., Самодумский Ю.М., Устинов В.П. Вибрационные станки для обработки деталей. – М.: Машиностроение, 1984.-168 с.