

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Калмиков Михайло Олександрович

УДК 621.9.048

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ВІБРАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ
ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ВИРОБІВ**

Спеціальність 05.03.01 - процеси механічної обробки,
верстати та інструменти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2006

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Східноукраїнському національному університеті імені Володимира Даля Міністерства освіти і науки України, м. Луганськ.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Яковенко Валерій Володимирович,
Східноукраїнський національний університет
імені Володимира Даля, м. Луганськ,
завідувач кафедри електротехніки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Доброскок Володимир Ленінмирович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
професор кафедри інтегрованих
технологій машинобудування ім. М.Ф. Семка

кандидат технічних наук, доцент

Паламарчук Ігор Павлович,
Вінницький державний аграрний університет,
доцент кафедри автоматизації та комплексної
механізації технологічних процесів

Провідна установа: Донбаська державна машинобудівна академія Міністерства освіти і науки України, м. Краматорськ

Захист відбудеться “16” лютого 2006 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою:

61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Автореферат розісланий «14» січня 2006 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Пермяков О.А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

Актуальність теми: Однією з найбільш важливих і пріоритетних задач металообробної промисловості є вдосконалювання технологічних процесів й устаткування, яке спроможне забезпечити підвищення якості виробів, економію сировини, енергії й трудових витрат.

Застосування вібраційної обробки (ViO) виробів без закріплення вільними абразивами у вібруючих U-подібних контейнерах здатне істотно підвищити якість, продуктивність і знизити трудомісткість металообробки. Необхідне вдосконалювання існуючих технологічних процесів, у яких значний час на оброблювально-зачисних операціях займає ручна праця, вимагає створення відповідної теоретичної основи для підвищення ефективності та розширення технологічних можливостей процесу вібраційної обробки за рахунок вибору оптимальних режимів ViO й інструмента, розробки конструкцій ViO-верстатів, застосування методів контролю й керування.

На цей час вітчизняний верстатний парк практично не має устаткування і необхідного технологічного оснащення для обробки великогабаритних складнопрофільних виробів (найбільший габаритний розмір яких перевищує 1/3 висоти бічної стінки контейнера) у зв'язку з відсутністю уявлень про процес і взаємозв'язки параметрів елементів системи верстат - пристрій – інструмент - заготовка (ВПЗ) при ViO. Тому актуальним завданням є розробка наукових основ вибору раціональних умов, які забезпечують ефективність процесу обробки великогабаритних виробів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана на кафедрі «Металорізальні верстати та інструменти» й у науково-дослідній лабораторії обробки вільними абразивами Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля повністю у відповідності: з державними бюджетними темами ДН-19-01 «Моделювання взаємозв'язків геометричних й енергетичних параметрів електромеханічних процесів, пристроїв і технологічних систем енергозберігаючого напрямку» (2001-2003), ДР № 0101U03277 і ДН-03-04 «Теоретичні дослідження процесів плазменої, віброабразивної та гідроабразивної обробки, комп'ютерного синтезу оптимальних технологічних середовищ» (2004-2006), ДР № 0104U000100, а також темою М-02-04 «Розширення технологічних можливостей обробки виробів з металевих матеріалів вібраційним і струминним методами» (2004-2005), де здобувач був виконавцем окремих розділів.

Мета і задачі досліджень: метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності процесу вібраційної обробки великогабаритних виробів шляхом вибору раціональних режимів роботи ViO-верстата, його конструкції, інструмента й відповідного технологічного устаткування.

Досягнення поставленої мети вимагає розв'язання наступних задач:

- оцінка впливу основних параметрів багатофакторного процесу ViO на його ефективність при обробці великогабаритних виробів;
- аналіз особливостей руху робочого середовища (РС), необхідних для створення умов рівномірної обробки великогабаритних виробів у всьому робочому просторі контейнера;
- розробка теоретичної моделі, необхідної для знаходження залежності процесу обробки від характеристик РС, параметрів коливань контейнера, конструкції ViO-верстата й розташування виробів у різних частинах контейнера;
- оцінка необхідності застосування методів і засобів контролю й керування та умов забезпечення їх реалізації;

– розробка рекомендацій з підвищення ефективності й розширення діапазону застосування ВіО при обробці великогабаритних виробів.

Об'єкт дослідження: процес вібраційної обробки великогабаритних виробів на верстатах з U-подібною формою контейнера.

Предмет дослідження: рух елементів завантаження (гранул, рідини та деталей), який визначає процес обробки на ВіО-верстаті, залежно від факторів, що впливають на нього (включаючи залежність інтенсивності обробки від розташування виробів в різних частинах поперечного переріза контейнера).

Методи дослідження. Дисертація базується на наукових положеннях теорії віброабразивної обробки, теорії вібраційного транспортування, механіки суцільних і сипучих середовищ, експериментальних дослідженнях. Вірогідність теоретичних досліджень підтверджена експериментами й практичним використанням відповідних результатів. При виконанні досліджень використалася система комп'ютерної математики MAPLE.

Наукова новизна отриманих результатів:

– уперше запропоновано й обґрунтовано умови вібраційної обробки великогабаритних виробів без закріплення, які надають можливість створення стійкого циркуляційного руху елементів робочого середовища, що забезпечується раціональним вибором амплітудно-частотних параметрів коливань контейнера ВіО-верстата, простору його завантаження й властивостей РС;

– отримано залежності відносного руху абразивних елементів робочого середовища від параметрів елементів системи ВПЗ, що дозволяють оцінювати інтенсивність процесу обробки в будь-якій точці контейнера ВіО-верстата;

– розроблено теоретичну модель опису циркуляційного руху сукупності абразивних елементів в U-подібному контейнері ВіО-верстата, яка враховує зсув фаз між діючою силою й викликуваною нею деформацією на межі робочого середовища й стінок контейнера, на відміну від існуючих, що ґрунтується на моделюванні відносного руху та є сполучним при описі обох процесів і дозволяє найбільш точно охарактеризувати цей процес;

– встановлено залежність амплітудно-частотних характеристик і траєкторії руху контейнера ВіО-верстата від його конструкції (розташування вібробуджувача, жорсткості підвіски тощо), що дає можливість на основі теоретичних моделей руху РС вибрати параметри конструкції верстата, режими його роботи, які забезпечують необхідний технологічний результат;

– запропоновано й обґрунтовано концепцію активного контролю, який дозволяє відслідковувати й ліквідувати затори великогабаритних виробів у процесі їхньої обробки в просторі контейнера, що забезпечує досягнення необхідної якості поверхні оброблюваного виробу.

Практичне значення отриманих результатів:

– теоретична модель, що розроблена, може бути використана в інженерній практиці для визначення режимів роботи будь-якого типу ВіО-верстатів, а також при проектуванні або модернізації устаткування, виборі інструмента, при розробці технологічних процесів обробки виробів різних розмірів;

– наведені обґрунтовані рекомендації з використання систем контролю й керування процесом ВіО й запропоновані відповідні схеми, необхідні для забезпечення рівномірної обробки великогабаритних складнопрофільних виробів;

– розроблені рекомендації поширюються на вибір режимів обробки дрібно- і середньогабаритних деталей, підвищення інтенсивності обробки яких досягається шляхом порушення регулярності циркуляційного руху РС без застосування додаткових пристосувань, зміною частотно-амплітудних параметрів коливань.

Результати, які отримані, у вигляді рекомендацій з розробки технологічних процесів й устаткування впроваджені на підприємствах ТОВ «Енергоресурс» (м. Луганськ) і ПТ «Союзавто» (м. Луганськ).

Особистий внесок здобувача. Результати наведених теоретичних й експериментальних досліджень отримані здобувачем самостійно. У представленій роботі особистий внесок здобувача полягає в:

– постановці й розв’язанні задачі моделювання відносного руху РС із урахуванням його властивостей як єдиного цілого; моделюванні циркуляційного руху РС; створенні динамічної моделі руху контейнера ВіО-верстата;

– використанні створених теоретичних моделей для одержання оцінки можливості обробки виробів (у тому числі і великогабаритних) способом ВіО, а також для вибору раціональних параметрів ВіО-верстата, які дозволяють одержати інтенсивний рівномірний процес обробки (що у випадку великогабаритних виробів характеризується наявністю стійкого циркуляційного переміщення РС);

– коректуванні методики експериментальних досліджень, проведенні цих досліджень, обробці їхніх результатів із аналізом відповідно до отриманих теоретичних уявлень;

– формулюванні висновків за розділами дисертаційної роботи й загальних висновків за всією роботою.

Апробація роботи: результати роботи доповідались і обговорювались на міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми використання низькочастотних коливань у технологічних цілях» в межах постійно діючого семінару по проблемі «Застосування низькочастотних коливань у технологічних цілях» (м. Луганськ, 2001 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Створення й застосування вискоефективних наукомістких ресурсозберігаючих технологій, машин і комплексів» (м. Могильов, 2001 р.); науковій конференції професорсько-викладацького складу й наукових співробітників Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля «Наука-2002» (м. Луганськ, 2002 р.); IV міжнародній науково-технічній конференції «Вібрації в техніці й технологіях» (м. Вінниця, 2002 р.); науково-технічному семінарі «Застосування низькочастотних коливань у технологічних цілях» за темою «Удосконалювання конструкцій устаткування (вібраційних верстатів). Розвиток конструктивних форм робочих камер» (м. Ростов-на-Дону, 2003 р.); науковій конференції професорсько-викладацького складу й наукових співробітників Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля «Наука-2004» (м. Луганськ, 2004 р.); V міжнародній науково-технічній конференції «Вібрації в техніці й технологіях» (м. Вінниця, 2004 р.).

Публікації. Основний зміст дисертації відображено в 13 публікаціях, з яких 10 опубліковані у виданнях, рекомендованих ВАК України, та 3 деклараційних патенти України.

Структура й об’єм. Дисертаційна робота складається із введення, п’яти розділів, загальних висновків і рекомендацій, списку використаних джерел (117 джерел), 3 додатків. Повний зміст роботи викладений на 223 сторінках машинописного тексту, з них 188 сторінок основного тексту,

12 сторінок списку літератури, 68 повних сторінок з малюнками й таблицями (44 сторінки з малюнками, 24 сторінки з таблицями), 23 сторінки додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету й задачі досліджень, представлено наукову новизну й практичну значимість отриманих результатів, наведено загальну структуру роботи.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану теорії й практики вібраційної обробки вільними абразивами на верстатах із плоскою траєкторією руху контейнера U-подібної форми. Було розглянуто: вплив на отримання технологічного результату основних параметрів ВіО-верстата, тобто частотно-амплітудні характеристики траєкторії руху контейнера й характеристики РС; застосування різних допоміжних пристроїв, які оптимізують процес обробки; мікро- і макропроцеси, що відбуваються при вібраційній обробці. А також розглянуто різні теоретичні підходи, які були використані для опису процесу ВіО й розв'язання задач його інтенсифікації.

Великий внесок у розвиток теорії й практики вібраційної обробки виробів вільними абразивами внесли Бабічев А.П., Берник П.С., Блехман І.І., Брандт В., Гончаревич І.Ф., Копилов Ю. Р., Матсунагі М., Повидайло В.А., Сердюк Л.І., Фролов К.В., Шаїнський М.Є. та інші.

Аналіз цих робіт показав, що основу процесу обробки поверхні заготовки на ВіО-верстаті становить відносний рух РС й оброблюваної деталі. Саме тому на інтенсифікацію взаємодії між ними була спрямована більшість досліджень. Також особливістю процесу обробки є наявність циркуляційного руху РС уздовж стінок контейнера за плоскою траєкторією, що повторює його форму, й існування пасивної малорухомої зони в центральній частині контейнера уздовж всієї його повздовжньої осі, в якій обробка не відбувається.

Незважаючи на наявність великої кількості досліджень у цій галузі, все ще відсутня наукова методика, яка враховує всі ці особливості, а в інженерній практиці, як правило, застосовуються конструкторські розробки, що перевіряються на основі даних дослідів, і емпіричні моделі (придатні лише для певного типу верстатів і діапазону зміни їхніх параметрів). Одночасно слід зазначити, що більшість досліджень присвячена обробці дрібно- і середньогабаритних виробів, у той же час досліджень по обробці великогабаритних виробів значно менше, і їхні результати суперечливі.

Таким чином, на основі проведеного аналізу з метою підвищення ефективності процесу ВіО для обробки великогабаритних виробів потрібно:

- одержати математичні залежності, необхідні (з огляду на відсутність жорсткого кінематичного зв'язку між елементами системи ВПІЗ) для дослідження загальних закономірностей формування передачі силового імпульсу в зону обробки та руху інструмента – робочого середовища відносно оброблюваних виробів;

- визначити умови стабілізації циркуляційного руху, який виконує допоміжні функції по транспортуванню виробів з однієї зони контейнера в іншу, що при обробці великогабаритних виробів є необхідною умовою для досягнення рівномірної обробки.

- знайти рішення на основі отриманих закономірностей, що забезпечують рівномірну обробку виробів у повному просторі контейнера.

У другому розділі на основі проведеного аналізу, виходячи з різної природи здійснюваних при ВіО процесів, пропонується теоретична модель, яка складається із трьох взаємозалежних

частин, індивідуальний підхід до моделювання кожної з яких був обраний з урахуванням специфіки процесу, що розглядається:

- моделювання відносного руху РС;
- моделювання циркуляційного руху РС;
- моделювання руху контейнера.

Під час розрахунку динаміки *відносного руху РС* брався до уваги той факт, що воно є сипучим середовищем і по сукупності фізико-механічних властивостей займає проміжне місце між твердими тілами й грузлими рідинами. У поведінці сипучого середовища є також ряд особливостей, зумовлених характером взаємодії його елементів – гранул. Ці особливості виявляються в процесах дисипації енергії, які у свою чергу також залежать від параметрів коливань й об'єму завантаження РС і мають різні зовнішні прояви, такі як утворення гістерезисної петлі в координатах «напруга - деформація», обмеження амплітуди резонансних коливань, зсув фаз між діючою силою й викликуваною нею деформацією.

Однозначною одиницею ступеня дисипації є питома енергія, що поглинається, яка дорівнює за величиною площі петлі гістерезису в координатах «напруга - деформація» $\sigma = f(\varepsilon)$.

У процесі роботи ВіО-верстата віброзбуджувач створює коливальні рухи, внаслідок яких від стінок контейнера в РС поширюються прямі й відбиті хвилі. Однак, перераховані вище властивості (наявність дисипативних втрат і, як наслідок, зсув фаз між напругою й деформацією) не дозволили для опису відносного руху РС застосувати хвильове рівняння, що розповсюджується на пружні середовища. Тому було запропоноване рівняння, у якому роль модуля пружності виконує нелінійна залежність $\sigma = f(\varepsilon)$, і зроблені наступні припущення:

- напрямки дії вібрацій стінок контейнера перпендикулярні один одному й шару РС;
- залежність $\sigma = f(\varepsilon)$ вважається постійною для кожної з розглянутих РС.

Тоді диференціальне рівняння поширення плоскої хвилі виглядає в такий спосіб:

$$\rho_0 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma}{\partial x},$$

де ρ_0 – незбурена (рівноважна) щільність РС; $u(t)$ – закон руху РС.

Таким чином, рух РС розглядається як сума двох хвиль, спрямованих взаємно перпендикулярно. Відповідно, коливання, що викликають їх, зсунуті за фазою одне відносно одного, і рівняння кожної із хвиль отримані для різних межових умов.

У результаті було отримано залежності $u_x(x, t)$, $u_y(y, t)$ (рис. 1), що характеризують рух елементів РС, а також аналогічні залежності деформації, напруги й значення середньої швидкості РС у будь-якій точці контейнера.

а) б)

Рис. 1. Розподіл по площі поперечного переріза контейнера
(середовище - ПТ-10, верстат - УВИ-25, частота - 50 Гц, амплітуда - 1,5 мм):

- а) середньої швидкості руху елементів РС;
б) середньої щільності кінетичної енергії.

Таким чином отримано двовимірну модель відносного руху РС, яка дозволяє при найменшій кількості експериментально зумовлених коефіцієнтів (характеристики петлі гістерезису, що

апроксимується еліпсом) одержувати динамічні й кінематичні параметри РС у будь-якій точці контейнера.

При моделюванні *циркуляційного руху РС* за основу брався той факт, що причиною виникнення цього процесу є вібраційне транспортування, тобто регулярна розбіжність координати відриву й зіткнення межевого шару робочого середовища з поверхнею контейнера на кожному періоді коливань.

РС розглядалося як суцільне тіло, пов'язане з поверхнею стінок контейнера силами сухого тертя (тертя спокою дорівнює тертю ковзання), пропорційними нормальним реакціям бічної стінки й днища, які визначаються із рівняння відносного руху РС. Оскільки застосовувана амплітуда, зазвичай, є меншою за 3 мм, циркуляційний рух вважався безвідривним.

Протягом одного періоду коливання контейнера рух РС може проходити від одного до двох етапів, що чергуються поперемінно. Це або етап спільного руху стінок контейнера й дотичного з ними тіла, що заміняє в даній моделі робоче середовище, або етап прослизання, коли середовище рухається за інерцією, переборюючи силу тертя. З огляду на те, що тертя в моделі сухе, етап спільного руху триває доти, доки сила тертя перевершує силу інерції, після цього середовище починає прослизати. Таким чином, формується умова переходу від одного етапу до іншого:

$$|J\ddot{\alpha}| \leq m_{fr} - \text{спільний рух,}$$

де J – момент інерції РС; $\ddot{\alpha}$ – кутове прискорення бічних стінок контейнера й днища; m_{fr} – сукупний момент сил тертя стінок і днища контейнера.

Цю ж нерівність можна записати в такий спосіб:

$$\left| \frac{2J\omega^2 U_{mx} \sin \omega t}{h_y} \right| \leq 2m_b(t) + m_d(t),$$

де ω – кутова швидкість обертання дебаланса віброзбуджувача; U_m – амплітуда коливань днища контейнера; t – поточне значення часу; h – висота шару завантаження;

$$m_b(t) = \begin{cases} h_x k \sigma_x(0, t) & \text{при } \sigma_x(0, t) \geq 0; \\ 0 & \text{при } \sigma_x(0, t) < 0; \end{cases}$$

$$m_d(t) = \begin{cases} \frac{1}{2} h_y k \sigma_y(0, t) & \text{при } \sigma_y(0, t) \geq 0; \\ 0 & \text{при } \sigma_y(0, t) < 0, \end{cases}$$

де h – ширина шару завантаження; k – коефіцієнт тертя; $\sigma_x(0, t)$, $\sigma_y(0, t)$ – функції зміни тиску РС на бічну стінку й днище контейнера.

Тоді на етапі спільного руху рівняння обертання має вигляд:

$$\varphi = \frac{2U_{mx} \sin \omega t}{h_y} + \varphi_0,$$

де φ – кут повороту РС; φ_0 – початковий кут повороту РС.

На етапі ковзання на РС діють сила сухого тертя, а також грузла й пружна сили опору, відповідно, пропорційні швидкості й переміщенню РС, тому диференціальне рівняння руху РС на етапі ковзання:

$$J\ddot{\varphi} = -V\dot{\varphi} - C\varphi - m_{fr}(t),$$

де B й C – коефіцієнти моментів сил демпфірування й пружності, що залежать від різних параметрів (характеристики РС, параметри вібрацій).

Таким чином, залежність циркуляційного руху від основних характеристик роботи ВіО-верстата являє собою трансцендентне неелементарне рівняння, розв'язання якого в роботі було отримано чисельними методами. Це дозволило одержати значення параметрів коливань, при яких існує або відсутній стійкий циркуляційний рух РС, а також одержати параметри цього руху й досліджувати його характер.

Динамічна модель руху контейнера – це система, що має три ступеня свободи й описується диференціальним рівнянням Лагранжа другого роду, яке розписане для відповідних узагальнених координат і являє собою систему з трьох звичайних лінійних диференціальних рівнянь.

Модель руху контейнера є необхідним елементом, яка дозволяє встановити залежність амплітудно-частотних характеристик і траєкторії руху контейнера ВіО-верстата від його конструкції, що дає можливість на основі теоретичних моделей руху РС вибрати параметри конструкції верстата, котрі забезпечують необхідний технологічний результат.

Отримані математичні моделі дозволили досліджувати й прогнозувати можливості застосування віброабразивного способу для обробки великогабаритних виробів, підбирати оптимальні режими й параметри конструкції ВіО-верстата, оцінювати необхідність застосування додаткових пристроїв, що інтенсифікують процес обробки.

У третьому розділі описана методика проведення експерименту та надаються характеристики досліджуваних зразків, устаткування й робочого середовища. В якості об'єктів досліджень використовувалися: циліндричні зразки з мідно-цинкового сплава; зразки зі сталі; фрагменти великогабаритних виробів типу «радіатор», що складаються з елементів трубок і спрямовуючих, з'єднаних за допомогою припою. При проведенні експериментальних досліджень застосовувалися ВіО-верстат НДІ ОВА СНУ ім. В. Даля; лабораторна установка із двигуном постійного струму УЛ072 і прозорими торцевими стінками; аналітичні ваги ВЛА-200М, профілометр-профілограф мод. 201, мікроскоп ВК-70×50; фотоапарат «Зеніт-19», відеокамера Panasonic VX30, тахометр ЦАТ-2М. Використовувалися наступні робочі середовища: тригранні призми з висотою 10 й 15 мм (ПТ-10, ПТ-15), формокорунд у вигляді призми тригранної скошеної з довжиною 8 мм, висотою 3 мм (ПТС-8), формокорунд - циліндр $\varnothing 2 \times 5 \dots 8$ мм, кулі порцелянові $\varnothing 12$ мм, бій кулешліфувальних кругів АН-2 з розмірами 15...25 мм.

Кількісна оцінка процесу (знімання металу) контролювалася шляхом зважування зразків до й після обробки на аналітичних вагах.

Якісна оцінка процесу відбувалася шляхом визначення мікрошорсткості поверхні зразків і виробів до й після обробки.

Маса завантаження становила $3/4$ усього простору контейнера.

При проведенні експериментальних досліджень із визначення інтенсивності обробки в різних зонах контейнера залежно від типу РС і частотно-амплітудних характеристик зразки закріплювалися в різних точках контейнера таким чином, щоб у проекції на поперечну стінку контейнера утворювати взаємно перпендикулярні осі. За величиною маси знятого металу оцінювалася ефективність обробки в певній зоні контейнера.

Визначення напрямку й швидкості циркуляційного руху РС здійснювалося на лабораторній установці. У діапазоні частот від 20 до 80 Гц проводилася відеозйомка руху РС. Потім відеозапис

розбивався на окремі зображення з постійною частотою 10 кадр/с. Наявність інформації про геометричні параметри контейнера дозволила вивчити характеристики циркуляційного руху як РС у цілому, так й окремого шару або гранули.

При проведенні досліджень із можливості обробки великогабаритних виробів вивчалися зразки – фрагменти великогабаритних виробів на предмет отримання забоїн і подряпин при зіткненні залежно від їхньої кількості. Також у процесі обробки проводилися спостереження з метою виявлення наявності в середовищі стійкої циркуляції, рівномірного занурення виробу в середовище, скупчення виробів в одній зоні контейнера.

При дослідженні величини знімання металу й шорсткості поверхні оброблюваних зразків як результату впливу траєкторії руху контейнера ВіО – верстата до його днища на певній відстані прикріплювався обтяжувач. Це дозволило максимально наблизити траєкторію руху всіх точок контейнера до кола за рахунок наближення його центра мас до джерела коливань. На основі аналізу по зніманню металу й величини шорсткості робився висновок про ступінь впливу положення центра мас системи (траєкторій руху точок) на інтенсивність процесу вібраційної обробки.

Четвертий розділ містить результати експериментальних досліджень, де встановлено, що величина знімання металу з поверхні виробу змінюється за площею поперечного переріза контейнера й прямо пропорційна відносній швидкості руху елементів РС. З'ясовано, що виникнення пасивної зони обумовлено існуванням у контейнері стоячих хвиль, а розмір і положення пасивної зони залежать від властивостей РС, амплітудно-частотних параметрів коливань контейнера, висоти завантаження й об'єму контейнера. Наприклад, при обробці на ВіО-верстаті мод. УВІ-25 у середовищі ПТ-10 (рис.2) інтенсивність обробки знижується до центра контейнера (точка № 6) у порівнянні із зоною біля днища (точка № 9) практично в 4 рази, а в порівнянні із середнім значенням знімання металу по всіх зразках в 2,5 рази, пропорційно розрахунковим значенням швидкості.

Збіг отриманих експериментальним і розрахунковим шляхами значень і напрямку середньої циркуляційної швидкості при різних частотних режимах підтвердив вірність запропонованої теоретичної моделі циркуляційного руху РС. Експериментально підтверджене існування певних частотних діапазонів, у яких спостерігається стійкий циркуляційний рух РС, а також визначені умови руйнування циркуляційного потоку шляхом зміни режимів коливань контейнера (наприклад, для контейнерів об'ємом до 80 л у середовищі ПТ-10 при частоті коливань контейнера до 30 Гц відсутній циркуляційний рух РС, при частоті понад 30 Гц виникає стійкий циркуляційний рух і при частоті 50 Гц його швидкість досягає 8 об/хв), що можна використати для скорочення розміру пасивної зони в контейнері при обробці дрібно- і середньогабаритних виробів. Доведено (рис. 3), що навіть при існуванні сталого циркуляційного руху, він не є рівномірним внаслідок різниці між швидкостями транспортування робочого середовища біля різних стінок контейнера (найбільш стабільне переміщення відбувається в центрі контейнера, а найбільша швидкість досягається біля правої його стінки - точки 1, 2, 3, і перевищує швидкість біля лівої стінки майже вдвічі - точка 4).

Рис. 2. Результати експериментальних досліджень розташування в контейнері зон з різною інтенсивністю обробки (ВіО-верстат мод. УВИ-25): а), б) зміни параметрів середньої відносної швидкості, середньої щільності кінетичної енергії й величини знімання металу щодо точки № 9; в) зміна розрахункових значень середньої швидкості руху РС за площею поперечного переріза контейнера.

Рис. 3. Кадри відеозйомки руху РС у контейнері лабораторної установки при частоті 40 Гц (частота зйомки 0,5 кадр/с)

Визначено, що при обробці виробів, розміри яких перевищують 1/3 висоти бічної стінки контейнера, у процесі їхнього переміщення в циркуляційному потоці РС виникають затори і порушується стійкість циркуляційного руху РС, внаслідок чого вироби можуть отримати ушкодження. Визначено, що при обробці великогабаритних виробів необхідно або скоротити до безпечного мінімуму кількість одночасно оброблюваних виробів, або застосувати додаткові пристрої, які направляють і контролюють переміщення виробів усередині контейнера.

Доведено перевагу траєкторії руху контейнера у вигляді кола перед траєкторією, що є витягнутим за вертикаллю еліпсом. На основі збігу розрахункових й експериментальних даних показано взаємозв'язок між траєкторією коливань контейнера й розташуванням вібробудувача.

П'ятий розділ містить дані практичного впровадження результатів досліджень. На основі досліджень, проведених у попередніх розділах, розроблені й впроваджені устаткування – ВіО-верстат мод. ВНУ-750 (рис. 4) і відповідний технологічний процес для обробки виробів типу «радіатор».

Вибір об'єму й розмірів контейнера пропонованого ВіО-верстата обумовлений габаритами виробів, що підлягають обробці, з розмірами 590×1170×68 мм.

Особливістю конструкції контейнера є наявність пристрою, який виконує роль межі, що відбиває, обмежуючи до мінімуму розміри пасивної зони і зменшуючи масу контейнера ВіО-верстата майже на 300 кг. Крім того, пристрій також є спрямовувачем, який орієнтує вироби, що оброблюються, в РС. На пристрої розміщується автоматична система виявлення й ліквідації заторів виробів, що відслідковує за допомогою системи феромагнітних датчиків переміщення виробів, а при порушенні стійкого переміщення здійснює коригування його електромагнітними імпульсами.

Рис. 4. Принципова схема ВіО-верстата мод. ВНУ-750:

1 - контейнер; 2 - робоче середовище; 3 - оброблювана деталь; 4 - пристрій, на якому встановлена автоматична система виявлення й ліквідації заторів, також виконуючий функції спрямовуючого пристрою й межі, що відбиває; 5 - феромагнітні датчики й котушки; 6 - станина; 7 - амортизатори; 8 - дебалансні вантажі; 9 - гнучка муфта; 10 - пружинна підвіска; 11 - вібробудувач електромеханічний ВЕРБ-107

Як інструмент (робоче середовище) використовуються призми тригранні ПТ-15 і порцелянові кулі Ø12 мм. Обрана, найбільш раціональна частота коливань контейнера дорівнює 50 Гц, амплітуда 2 мм.

Обрані, за допомогою розробленої математичної моделі, параметри забезпечують стабільний циркуляційний рух деталей та робочого середовища, рівномірну інтенсивну обробку у всьому об'ємі контейнера, що таким чином дає можливість ефективно виконувати на ВіО-верстаті ВНУ-750 операції віброшліфування та віброполірування складнопрофільних великогабаритних виробів, на яких раніше використовувалася ручна праця.

Впровадження ВіО-верстата мод. ВНУ-750 на ТОВ «Енергоресурс» підтвердило можливість застосування й високу продуктивність та ефективність методу ВіО для виконання операцій шліфування й полірування великогабаритних складнопрофільних виробів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. При обробці великогабаритних виробів циркуляційний рух РС є невід'ємною умовою їхньої рівномірної обробки. Швидкість циркуляційного руху залежить від режиму роботи ВіО-верстата й від типу РС, і може регулюватися зміною частоти й амплітуди коливань. Для більшості використовуваних типів РС із застосуванням запропонованої моделі можуть бути знайдені режими, при яких буде існувати стабільний циркуляційний рух РС, однак швидкість цього руху в різних частинах поперечного переріза контейнера різна.

Встановлено, що для застосовуваних типів РС можуть бути знайдені режими, при яких циркуляційний рух не буде існувати, а переміщення елементів РС можна вважати хаотичним. Таким чином, без використання додаткових пристосувань можуть бути досягнуті продуктивні умови обробки також дрібно- і середньогабаритних виробів.

2. Обґрунтовано, що інтенсивність знімання металу з оброблюваної поверхні у певній зоні контейнера залежить від параметрів одиничної гранули (характеристик матеріалу, розміру, маси, форми й т. і.), які формують властивості РС як єдиного цілого, й прямо пропорційна відносній швидкості руху середовища.

На основі розробленої математичної моделі та експериментальних досліджень було доведено, що наявність у контейнері пасивних зон (ділянок, в яких спостерігається різке зниження інтенсивності обробки) пов'язана з виникненням у контейнері стоячих хвиль і залежить від параметрів коливань (наприклад, зі збільшенням частоти довжина хвилі зменшується, а коефіцієнт загасання збільшується), розміру контейнера й від властивостей РС як єдиного цілого (що характеризуються, знову ж, довжиною хвилі, коефіцієнтом загасання).

Математична модель, що запропонована, дозволяє оцінити й прогнозувати ефективність обробки в будь-якій точці контейнера ВіО-верстата, що відповідно було використано при визначенні раціональних параметрів обробки великогабаритних виробів.

3. У результаті нерівномірності циркуляційного руху при обробці великогабаритних виробів можуть виникати затори, внаслідок чого оброблювані вироби можуть дотикатися й зіштовхуватися, отримуючи ушкодження. Тому при обробці великогабаритних виробів необхідно або скоротити кількість одночасно оброблюваних виробів, або застосувати додаткові методи, які запобігають заторам.

4. Траєкторія руху контейнера ВіО-верстата, у першу чергу, залежить від розташування точки прикладення сили - віброзбуджувача щодо центра мас контейнера, і у ВіО-верстатів, які випускають серійно, ця траєкторія являє собою еліпс. Траєкторією руху, що забезпечує найбільш рівномірний й інтенсивний вплив, є коло. Для забезпечення цього типу траєкторії необхідне розміщення віброзбуджувача в центрі мас контейнера (тобто розміщення двох віброзбуджувачів

на поперечних стінках або розміщення вібровбуджувачів у центрі контейнера). У той же час при невеликому об'ємі контейнера можливе розміщення на певній відстані від вібровбуджувача обтяжувача з метою наближення центра мас контейнера ближче до точки прикладення сили, що збуджує.

5. При обробці великогабаритних виробів у контейнері великого об'єму обґрунтована необхідність використання додаткового пристосування, розташованого в центрі контейнера уздовж усієї його поздовжньої осі, що служить спрямовуючим елементом при русі виробів і межею, яка відбиває, знижуючи розміри пасивної зони та масу завантаження контейнера, що сприяє підвищенню ефективності процесу обробки.

Розроблено систему, що забезпечує автоматичний контроль рівномірного руху виробів, та електромагнітну систему ліквідації заторів. Пристрій кріпиться на пристосуванні. З огляду на габарити контейнера й наявність у центрі пасивної зони можна говорити про те, що система не займає робочий простір контейнера.

6. Результати теоретичних й експериментальних досліджень використані при розробці устаткування – ВіО-верстата мод. ВНУ-750 і технологічних процесів обробки великогабаритних складнопрофільних виробів типу «радіатор», що підтверджується актом впровадження на ТОВ «Енергоресурс».

ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Яковенко В.В., Калмыков М.А., Лубенская Л.М. Измерение положения контейнера в пространстве при виброобработке // Вибрации в технике и технологиях. - Винница: ВГАУ. - 2000. - № 2. - С. 65-68.

Здобувач виконав аналіз методів та засобів по визначенню розташування контейнера в просторі при вібраційній обробці.

2. Водолазский В.Н., Калмыков М.А., Ясуник С.Н. Синтез электромагнитной системы вибровозбудителя // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. - 2002. - № 12(58). - С. 288-293.

Здобувач виконав чисельний розрахунок синтезу магнітного поля для чотирьохсекційної котушки.

3. Калмыков М.А. Лубенская Л.М., Яковенко В.В. Методы повышения производительности обработки деталей на вибрационных станках с U-образным контейнером // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні. Частина 1. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2004. – С. 132-137.

Здобувач виконав аналіз чинників, що обмежують можливості обробки виробів у вібраційних верстатах, та запропонував методи їх усунення.

4. Калмыков М.А., Лубенская Л.М., Яковенко В.В. Автоматическая система циркуляции деталей в контейнерах при виброобработке// Високі технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2004. - № 2. – С. 91-94.

Здобувач запропонував конструкцію системи по виявленню та ліквідації заторів великогабаритних деталей при обробці у вібруючих контейнерах.

5. Яковенко В.В., Полтавцев А.Ю., Калмыков М.А. Расчет коэффициента преобразования феррозондов второй гармоники // Наукові праці Донецького національного технічного

університету. Серія „Електротехніка і енергетика”. – Донецьк: ДонНТУ, 2004. – Вип. 79. – С. 217-220.

Здобувач провів експериментальні дослідження та порівняв їх результати з теоретичними розрахунками.

6. Калмыков М.А., Пшеничный И.Н., Лубенская Л.М., Ясуник С.Н. Анализ траектории движения контейнера вибрационного станка // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія „Машинобудування і машинознавство”. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – Вип. 92. – С. 222-231.

Здобувач розробив розрахункову схему математичної моделі руху контейнеру вібраційного верстата.

7. Калмыков М.А., Лубенская Л.М., Ясуник С.Н. Вопросы и задачи по расширению технологических возможностей вибрационной обработки // Вибрации в технике и технологиях. - Винница: ВГАУ. – 2005. – № 2. – С. 34-37.

Здобувач проаналізував і сформулював задачі, рішення яких необхідні для розширення технологічних можливостей процесу вібраційної обробки.

8. Калмыков М.А. Влияние характеристик рабочей среды на эффективность вибрационной обработки // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. – Вып. 68. – С. 235-240.

9. Калмыков М.А., Корнеев С.В., Ясуник С.Н. Описание процесса поведения рабочей среды в вибрирующем контейнере // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. – Вып. 69. – С. 95-104.

Здобувачем запропонована математична модель відносного руху робочого середовища з урахуванням його фізико-механічних властивостей під час вібраційної обробки.

10. Калмыков М.А. Математическая модель циркуляционного движения рабочей среды // Високі технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХПИ», 2005. – № 2. – С. 182-187.

11. Установка для обработки деталей в U-подобном вибрующем контейнере: Декларационный патент № 59626А. Україна, МКІ В24В31/06 / М.О. Калмиков, Л.М. Лубенська, Д.Л. Перов, В.В. Яковенко, С.М. Ясунік. – № 2002108340; Заявлено 22.10.02; Опубл. 15.09.03, Бюл. №8. – 2 с.

Здобувач провів експериментальні дослідження на вібраційній установці з рамковими індукторами.

12. Пристрій для вібраційної обробки деталей в U-подібному контейнері: Декларационный патент № 59627А. Україна, МКІ В24В31/06 / М.О. Калмиков, Л.М. Лубенська, А.В. Міцик, С.М. Ясунік. – № 2002108341; Заявлено 22.10.02; Опубл. 15.09.03, Бюл. №8. – 3 с.

Здобувач виконав вибір прототипу й аналогу пристрою для вібраційної обробки.

13. Пристрій для вібраційної обробки деталей у U-подібному контейнері: Декларационный патент № 59628А. Україна, МКІ В24В31/06 / М.О. Калмиков, Л.М. Лубенська, А.В. Міцик, С.М. Ясунік. – № 2002108342; Заявлено 22.10.02; Опубл. 15.09.03, Бюл. №8. – 2 с.

Здобувач запропонував схему конструкції пристрою для вібраційної обробки.

АНОТАЦІЇ

Калмиков Михайло Олександрович. «Підвищення ефективності процесу вібраційної обробки великогабаритних виробів». - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.03.01 - процеси механічної обробки, верстати й інструменти. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2006.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності, розширенню технологічних можливостей й удосконалюванню вібраційного процесу шляхом вибору його раціональних параметрів під час обробки складнопрофільних крупногабаритних виробів .

На основі теоретичних й експериментальних досліджень процесу вібраційної обробки вільними абразивами у ВіО-верстатах із плоскою траєкторією руху контейнера U-подібної форми отримані значення основних параметрів, що впливають на процеси віброшліфування й віброполірування великогабаритних складнопрофільних виробів.

Запропоновано методика контролю й керування процесом вібраційної обробки, яка дозволяє відслідкувати й ліквідувати затори виробів, що забезпечує їх рівномірну якісну обробку.

На основі результатів досліджень розроблені конструкції спеціального верстата й пристосування та технологія фінішної обробки великогабаритних виробів, що дозволяють створювати вироби з необхідними експлуатаційними властивостями.

Ключові слова: процес вібраційної обробки, абразивна гранула, робоче середовище, траєкторія, знімання металу, відносна швидкість, циркуляційна швидкість, інтенсивність обробки, великогабаритні вироби.

Калмыков Михаил Александрович. «Повышение эффективности процесса вибрационной обработки крупногабаритных изделий». – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 – процессы механической обработки, станки и инструменты. Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2006.

Диссертация посвящена повышению эффективности, расширению технологических возможностей и совершенствованию вибрационного процесса путем выбора его рациональных параметров при обработке сложнопрофильных крупногабаритных изделий.

На основе теоретических и экспериментальных исследований процесса вибрационной обработки свободными абразивами в ВиО-станках с плоской траекторией движения контейнера U-образной формы установлены зависимости относительного и циркуляционного движений элементов РС от амплитудно-частотных параметров колебаний контейнера ВиО-станка и свойств РС, позволяющие оценить интенсивность обработки в любой точке контейнера и определить режимы колебаний, при которых разрушается либо обеспечивается устойчивое циркуляционное движение РС, что дает возможность выбором типа РС и параметров колебаний контейнера ВиО-станка обеспечить интенсивную равномерную обработку изделий любых габаритных размеров (в т.ч. и крупногабаритных).

Показано, что интенсивность съема металла в определенной зоне контейнера зависит от параметров гранул РС (характеристики материала, размер, масса, форма и т.д.) и прямо пропорциональна относительной скорости движения РС в этой зоне.

Наличие в контейнере пассивных зон связано с возникновением в контейнере стоячих волн и зависит от параметров колебаний, размера контейнера и от свойств РС как единого целого.

Установлено, что скорость циркуляционного движения зависит от режима работы ВиО-станка и от типа РС, и может регулироваться изменением частоты и амплитуды колебаний. Для большинства используемых типов РС с применением предложенной модели могут быть найдены режимы, при которых будет существовать стабильное циркуляционное движения РС. Также для большинства используемых типов РС могут быть найдены режимы, при которых циркуляционное движение не будет существовать, а перемещение элементов РС можно считать хаотическим. Таким образом, без использования дополнительных приспособлений могут быть достигнуты условия обработки средне- и мелкогабаритных деталей, соизмеримых размерами с гранулой РС.

Установлена зависимость амплитудно-частотных характеристик и траектории движения контейнера ВиО-станка от его конструкции (расположения вибровозбудителя, жесткости подвески и т.д.), что дает возможность на основе теоретических моделей движения РС выбрать параметры конструкции станка, обеспечивающие необходимый технологический результат.

Предложена методика контроля и управления процессом вибрационной обработки, позволяющая отслеживать и ликвидировать заторы изделий, что обеспечит их равномерную качественную обработку.

На основе результатов исследований предложены средства модернизации универсальных виброобрабатывающих станков, разработанных в лаборатории обработки свободными абразивами Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля, серийно выпускаемые Ивановским станкостроительным заводом, а также разработаны конструкции специального станка и приспособления, и технология финишной обработки крупногабаритных изделий, позволяющие создавать изделия с требуемыми эксплуатационными свойствами.

Ключевые слова: процесс вибрационной обработки, абразивная гранула, рабочая среда, траектория, съем металла, относительная скорость, циркуляционная скорость, интенсивность обработки, крупногабаритные изделия.

Kalmykov Mikhail Aleksandrovich. " Increase of efficiency of process of the vibrating processing of large-sized products ". - The manuscript.

The dissertation for scientific degree of Cand. Tech. Sciences. on a speciality 05.03.01 – processes of machining, machine tools and instruments. National Technical University "Kharkov Polytechnical Institute", Kharkov, 2006.

The dissertation is devoted to increase of efficiency, expansion of technological opportunities and perfection of process of vibrating processing by choosing its rational parameters.

The values of the main parameters of grinding and polishing processes of the large-sized products in vibration–machine tool with U-shaped container were defined on the basis of the theoretical and experimental researches of process of the vibration processing

It is offered the technique of the control and management of process of the vibrating processing, which is allowing to trace and liquidate jams of products which will provide their uniform qualitative processing.

On the basis of the results of the researches special machine tool and the device, and the technology of finishing processing of the large-sized products, allowing to create products with demanded operational properties, were developed.

Keywords: process of vibrating processing, an abrasive granule, a working environment, a trajectory, machining allowance, relative speed, circulating speed, intensity of processing, large-sized products.

Підписано до друку 12.01.06 Формат видання 145×215.

Формат паперу 60×90/16. Папір офсетний.

Обсяг 0,8 авт. арк. Тираж 100 прим. Зам. № 34

Ротапринт СНУ ім. В.Даля, м. Луганськ, кв. Молодіжний, 20а