

УДК 621.08.45

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ, ЩО ВИНИКАЮТЬ У КОНТЕЙНЕРІ ВІБРАЦІЙНОГО ВЕРСТАТА

Николаенко А.П.

MATHEMATICAL MODELING OF PROCESSES OCCURRING IN THE CONTAINER OF THE VIBRATING MACHINE

Nikolaenko A.P.

В работе представлено математическое моделирование движения U-образного контейнера вибрационного станка, с целью нахождения оптимального положения вибровозбудителя относительно контейнера и предложена усовершенствованная конструкция станка.

Ключевые слова: *вибрационная обработка, циркуляционное движение, вибрационный станок, оптимальная конструкция, производительность.*

Вібраційна обробка (Віо), що одержала широке поширення і є перспективним методом обробки деталей, особливо складних форм, виконується на вібраційному обладнанні різних типів.

За час існування вібраційної обробки неодноразово проводилися аналіз і класифікація вібраційного обладнання, з метою знаходження раціональної конструкції Віо-верстата, що забезпечує інтенсифікацію процесу обробки та підвищення якості оброблюваних поверхонь. [1, 3, 4, 5, 6].

Метою роботи є моделювання взаємозв'язок між параметрами вібраційного обладнання, його конструктивними елементами і відповідними характеристиками технологічних процесів. А також розробка, на основі проведених досліджень, вдосконаленої конструкції вібраційного верстата, що забезпечує підвищення продуктивності вібраційної обробки.

Математическое моделирование

Математичне моделювання процесу вібраційної обробки є досить складним завданням. В першу чергу це пов'язано з тим, що робоча середовище є сипучою середовищем, характеристики якої значно змінюються в залежності не тільки від властивостей її елементів, але і від режимів роботи і параметрів конструкції вібраційного верстата. Змінюються такі властивості, як здатність середовища передавати силовий імпульс в зону обробки, транспортування робочого середовища, поява в контейнері зон з різною інтенсивністю обробки.

Моделювання руху контейнера є необхідною сполучною ланкою між параметрами роботи і конструкції вібраційного верстата і кінцевим результатом – енергією силового імпульсу, що передається від стінок контейнера робочої середовищі і далі в зону обробки, зняттям припуску або глибиною зміцнення поверхневого шару заготовки в залежності від поставленої мети.

Опис руху контейнера з урахуванням його завантаження є актуальною задачею також з причини, що лише в цьому випадку можливо проводити подальший аналіз переміщення робочої середовища.

Була розроблена математична модель [2] руху контейнера вібраційного верстата, що враховує вплив маси завантаження і зміна реологічних параметрів коливальної системи, розрахункова схема якої представлена на рис. 1.

Для вирішення таких задач використовували рівняння Лагранжа другого роду:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} + \frac{\partial U}{\partial q} = F_q, \quad (1)$$

де q – узагальнена координата ($q \in \{X, Y, \varphi\}$); T – кінетична енергія системи; U – потенційна енергія системи; F_q – зовнішня узагальнена сила, для розглянутої моделі визначається як:

$$F_q = Q_q - \frac{\partial D}{\partial \dot{q}}, \quad (2)$$

де Q_q – сила, що збудує; D – дисипативна функція Релея, що виражає потужність дисипативних сил поверхневого тертя:

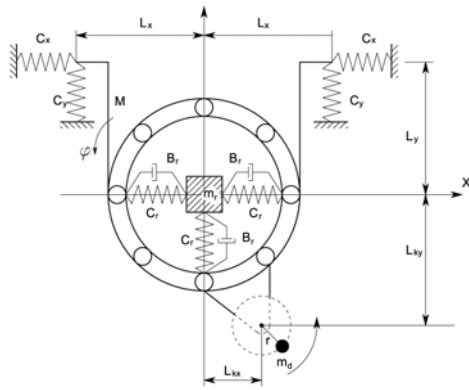


Рис. 1. Розрахункова схема запропонованої математичної моделі роботи вібраційного верстата:
 де C_x, C_y – коефіцієнт пружності підвісків;
 L_x, L_y – відстані по осях X, Y від центра мас до точок закріплення лівого і правого підвіски;
 C_r – коефіцієнт пружності робочого середовища;
 B_r – коефіцієнт демпфування робочого середовища;
 L_{kx}, L_{ky} – відстані по осях X, Y від центра мас до точки придання збурюючої сили;
 M – маса контейнера і приєднаної частини завантаження;
 m_r – маса завантаження (згідно зі схемою розташована в центрі контейнера і така, що переміщається під впливом шару, дотичного з його стінками);
 m_d – незбалансована маса дебалансних вантажів;
 J – момент інерції системи (сукупний контейнера і дебаланса) щодо центра мас;
 r – ексцентриситет маси дебаланса щодо його осі обертання;
 ω – кутова швидкість обертання дебалансного вала віброзбуджувача;
 φ – кут повороту контейнера щодо центра мас системи проти годинникової стрілки.

$$D = \frac{1}{2} \int \dot{q}^T B q dF, \quad (3)$$

де \dot{q} – стовпець узагальнених відносних швидкостей поверхонь тертя;
 B – не негативна матриця коефіцієнтів грузлого тертя, а інтегрування відбувається по всіх поверхнях тертя F .

Для цієї розрахункової схеми й відповідних узагальнених координат D запишеться як:

$$D = \frac{1}{2} \left[B_r (\dot{x}_r - \dot{x})^2 + B_r (\dot{y}_r + \dot{y})^2 \right]. \quad (4)$$

А кінетична енергія системи може бути виражена як:

$$T = \frac{1}{2} \left((M + m_k) \dot{x}^2 + (M + m_k) \dot{y}^2 + J \dot{\varphi}^2 + m_r \dot{x}_r^2 + m_r \dot{y}_r^2 \right). \quad (5)$$

Потенційна енергія виражається як сума енергій деформації пружних елементів системи по відповідних узагальнених координатах і енергії, що

пов'язана із пружними властивостями робочого середовища:

$$U = \frac{1}{2} \left[2C_x (x - L_y \varphi)^2 + C_y (y - L_x \varphi)^2 + C_y (y + L_x \varphi)^2 + C_r (x_{cr} - x)^2 + C_r (y_{cr} - y)^2 \right]. \quad (6)$$

Прикладена сила Q_q для відповідних узагальнених координат визначається як:

$$Q_x = m_k r \omega^2 \cos(\omega t);$$

$$Q_y = m_k r \omega^2 \sin(\omega t); \quad Q_\varphi = m_k r \omega^2 (L_x \sin(\omega t) - L_y \cos(\omega t)) \quad (7)$$

Підставивши D , T , U у рівняння (1) і розписавши для відповідних узагальнених координат, отримаємо систему з п'яти звичайних лінійних диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} (M + m_d) \ddot{x} + (2C_x + C_r) \dot{x} - 2C_x L_y \dot{\varphi} - C_r x_r + B_r \dot{x} - B_r \dot{x}_r = \omega^2 r \cos(\omega t) m_d, \\ (M + m_d) \ddot{y} + (2C_y + C_r) \dot{y} - C_r y_r + B_r \dot{y} - B_r \dot{y}_r = \omega^2 r \sin(\omega t) m_d, \\ J \ddot{\varphi} + (2C_x L_y^2 + 2C_y L_x^2) \dot{\varphi} - 2C_x L_y x = L_{kx} (\omega^2 r \sin(\omega t) m_d) - L_{ky} (\omega^2 r \cos(\omega t) m_d), \\ m_r \ddot{x}_r + C_r x_r - C_r x + B_r \dot{x}_r - B_r \dot{x} = 0, \\ m_r \ddot{y}_r + C_r y_r - C_r y + B_r \dot{y}_r - B_r \dot{y} = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Система (8) була розв'язана чисельно за допомогою модифікованого методу Рунге-Кутта, що дозволило досягти наступних основних цілей:

- дослідити залежність траєкторії руху контейнера вібраційного верстата від розташування віброзбудника;
- оцінити циркуляційний рух маси завантаження;
- дослідити залежність продуктивності процесу вібраційної обробки від розташування віброзбудника щодо корпусу U-подібного контейнера.

Запропонована модель дозволяє обчислювати траєкторії руху контейнера, а також потужність, що витрачається на обробку виробів в залежності від умов обробки і положення віброзбудника щодо контейнера вібраційного верстата.

Спираючись на розроблену модель, запропонована методика точного визначення циркуляційної швидкості робочого середовища, а також методика визначення стабільності руху циркуляційного потоку. Отримані результати досліджень залежності циркуляційного руху від місця розташування віброзбудника.

За допомогою розробленої моделі визначено ефективність процесу вібраційної обробки в залежності від координат розташування віброзбудника щодо поздовжньої осі контейнера, з забезпеченням циркуляційного потоку і підвищенням продуктивності процесу без введення додаткових енерговитрат.

Експериментальні дослідження підтвердили результати математичного моделювання показали, що зміни в конструкції вібраційного верстата, вибір місця розташування віброзбудника відносно контейнера, а саме його розташування під кутом 45° до осі ординат, перпендикулярній, поздовжньої осі,

що проходить через центр мас контейнера для верстата з об'ємом контейнера до 100 дм³ забезпечує підвищення продуктивності вібраційної обробки на 20...30 % при досягненні необхідних технологічних результатів.

На основі проведених досліджень була розроблена конструкція модифікованого вібраційного верстата ВНУ 100, з можливістю зміни місця розташування віброзбудника щодо контейнера (рис. 2) призначеного для виконання наступних операцій: очищення поверхні деталі від окалини, корозії, формувальних матеріалів; видалення задирок і округлення гострих кромки, видалення облоя; шліфування і полірування поверхонь деталей при підготовці їх під захисні і декоративні гальванічні та ін. покриття; підвищення якості поверхневого шару, забезпечення необхідних геометричних і фізико-механічних характеристик.

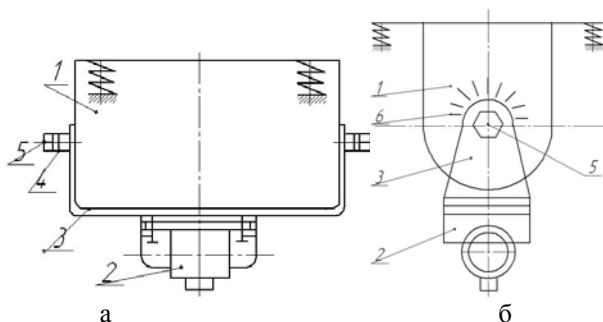


Рис. 2. Принципова схема модифікованого вібраційного верстата ВНУ-100: а – загальний вид; б – вид збоку

Відмінність даного верстата полягає в забезпеченні можливості зміни розташування джерела коливальних – віброзбудника щодо контейнера. Це досягається шляхом закріплення віброзбудника жорстко на скобі, з можливістю зміни положення щодо контейнера і подальшого закріплення до нього.

Верстат для вібраційної обробки деталей містить U-подібний контейнер 1, віброзбудника 2, жорстко закріпленій на скобі 3, прикріпленою до контейнера з допомогою шайби 4 і болта 5, з можливістю зміни положення скоби відносно контейнера, що визначається за шкалою 6 і наступним прикріпленням до нього болтами 7.

Технічна характеристика верстата ВНУ-100: об'єм контейнера $V = 100 \text{ дм}^3$; амплітуда коливальних $A = 0,2 \dots 3,2 \text{ мм}$; частота коливальних $f = 50 \text{ Гц}$; потужність $N = 7,0 \text{ кВт}$; маса $m = 2400 \text{ кг}$; габарити – $2100 \times 950 \times 1200 \text{ мм}$.

Робота верстата для вібраційної обробки деталей здійснюється наступним чином. Контейнер 1, змонтований на пружних підвісках і має можливість коливатися в різних напрямках, повідомляються коливальні рухи за допомогою інерційного віброзбудника 2. Віброзбудник 2 встановлюється під певним кутом по відношенню до контейнера 1, визначається за шкалою 6. В залежності від кута повороту скоби 3, на якій

жорстко закріплений віброзбудник, встановлюється його положення, що забезпечує стабільне циркуляційний рух, який сприяє досягненню якісного результату процесу обробки. При цьому рух валу віброзбудника здійснюється в бік, протилежний напрямку руху робочого середовища.

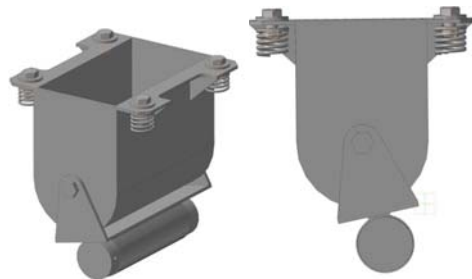


Рис. 3. Тривимірний модель вібраційного верстата модифікованої конструкції, розроблена в середовищі САПР Компас 3D

Вибір розташування віброзбудника здійснювався наступним чином (рис. 4). На підставі раніше проведених досліджень були встановлені початкові параметри, а саме частота і амплітуда, завантажувалася робоче середовище і заданий об'єм технологічної рідини. Потім були встановлені початкові координати розташування віброзбудника. Після запуску верстата здійснювалося вимірювання циркуляційної швидкості потоку робочого середовища, і, якщо її значення відповідало необхідному, вироблялася завантаження деталей. Здійснювалось повторне вимірювання циркуляційної швидкості робочого середовища і завантажені в контейнер деталі, якщо це значення близько до першого, то обробка проводилася при даному положенні віброзбудника. Таким чином, переміщаючи скобу з розташованим на ній віброзбудником відносно контейнера, орієнтуючись по шкалі і вимірюючи циркуляційну швидкість маси завантаження, можна вибрати найбільш оптимальне місце розташування віброзбудника.

Внаслідок вібрацій деталі і робоче середовище безперервно мають змінні за знаком прискорення і знаходяться в інерційному відносному переміщенні, здійснюючи два види руху: коливальний (осцилюючий) з частотою, що залежить від частоти коливальних контейнера і обертання всієї маси завантаження (циркуляційний).

Напрямок відносних переміщень деталей і частинок робочого середовища змінюється, в результаті чого відбувається обробка. В процесі обробки деталі займають різні положення в робочому середовищі, що забезпечує досить рівномірну обробку всіх поверхонь, що контактують з робочим середовищем.

Завдяки можливості забезпечення раціонального розташування віброзбудника відносно контейнера підвищується продуктивність процесу вібраційної обробки, знижується час, необхідний для обробки виробів без підвищення енергоємності процесу.



Рис. 4. Схема вибору обладнання для операції вібраційної обробки

Литература

1. Вибрационные станки для обработки деталей / Бабичев А.П., Трунин В.Б., Самодумский Ю.М., Устинов В.П. – М.: Машиностроение, 1984. – 168 с.
2. Николаенко А.П. Исследование зависимости интенсивности вибрационной обработки от расположения вибровозбудителя / А.П. Николаенко, М. А. Калмыков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 2/5(38). – С. 54 – 57.
3. Погребщиков Ю.Б. Выбор технологического оборудования для реализации многооперационных технологических процессов вибрационной обработки / Ю. Б. Погребщиков, В.Б. Трунин, Ю.М. Самодумский, В.Г. Кравчик// Вопросы вибрационной технологии. – 1999. – С. 11 – 19.
4. Сердюк Л.И. Управляемые вибрационные машины с дебалансными вибровозбудителями колебаний / Л.И. Сердюк// Вибрации в технике и технологиях. – 1994. – №1. – С. 31 – 35.
5. Берник П.С. Анализ конструкций вибрационных технологических частотных машин для оздоблювально-зміцнювальної обробки деталей / П.С. Берник, Л. В. Ярошенко, Р.М. Горбатюк // Вибрации в технике и технологиях. – 2000. – №2(14). – С. 7 – 14.
6. Берник П.С. Развитие конструктивных та технологических схем машин для обробки виробів в умовах вільного кінематичного зв'язку між деталями та робочим інструментом / П.С. Берник, І. П. Паламарчук, І.С. Липовий // Вібратиї в техніці та технологіях. – 1998. - №2 (6). – С. 21 – 29.

References

1. Vibrationnye stanki dlja obrabotki detalей / Babichev A.P., Trunin V.B., Samodumskij Ju.M., Ustinov V.P. – M.: Mashinostroenie, 1984. – 168 s.
2. Nikolaenko A.P. Issledovanie zavisimosti intensivnosti vibracionnoj obrabotki ot raspolozhenija vibrovobuditelja / A.P. Nikolaenko, M. A. Kalmykov // Vostochno-Evropejskij zhurnalпередовых технологий. – 2009. – № 2/5(38). – С. 54 – 57.
3. Pogrebshhikov Ju.B. Vyor tehnologicheskogo oborudovanija dlja realizacii mnogooperacionnyh tehnologicheskikh processov vibracionnoj obrabotki / Ju. B.

- Pogrebshhikov, V.B. Trunin, Ju.M. Samodumskij, V.G. Kravchik// Voprosy vibracionnoj tehnologii. – 1999. – S. 11 – 19.
4. Serdjuk L.I. Upravljaemye vibracionnye mashiny s debalansnymi vibrovobuditeljami kolebanij / L.I. Serdjuk// Vibracii v tehnike i tehnologijah. – 1994. – №1. – S. 31 – 35.
5. Bernik P.S. Analiz konstrukcij vibracijnih tehnologichnih chastotnih mashin dlja ozdobljuval'no-zmicnjuval'noi obrobki detalей / P.S. Bernik, L. V. Jaroshenko, R.M. Gorbatjuk // Vibracii v tehnike i tehnologijah. – 2000. – №2(14). – S. 7 – 14.
6. Bernik P.S. Rozvitok konstruktivnih ta tehnologichnih shem mashin dlja obrobki virobiv v umovah vil'nogo kinematchnogo zv'jazku mizh detaljami ta robochim instrumentom / P.S. Bernik, I. P. Palamarchuk, I.S. Lipovij // Vibracii v tehnici ta tehnologijah. – 1998. - №2 (6). – S. 21 – 29.

Ніколаєнко А.П. Вдосконалення конструкції вібраційних верстатів з U-подібною формою контейнера

В роботі представлено математичне моделювання руху U-подібного контейнера вібраційного верстата, з метою знаходження оптимального положення віброзбудника відносно контейнера та запропонована удосконалена конструкція верстата.

Ключові слова: вібраційна обробка, циркуляційний рух, вібраційний верстат, оптимальна конструкція, продуктивність.

Nikolaenko A.P. Mathematical modeling of processes occurring in the container of the vibrating machine

The work presents the mathematical modeling of the motion of the vibrating machine U-shaped container, in order to find the optimum position of vibroexciter relatively to the container and an improved design of the machine.

There has been investigated the interconnection between the design features of the vibrating machine and the power impuls sent in the processing zone, technological result of the said processing, metal removal and the depth of strengthening. We have specified the conditions of the stable

circular movement origin, speed rise and useful capacity applied for processing operation.

It has been proved that the proposed solutions about the location of the oscillation source contribute the increase of vibrating processing of parts in different finishing, smoothing and strengthening operations.

Key words: *vibrating treatment, circular motion, vibrating machine, optimal design, productivity.*

Николаенко А.П. – к.т.н., доцент, доцент кафедри машинобудування, верстатів та інструментів Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Рецензент: **Соколов В.І.**, д.т.н., професор

Стаття подана 10.11.2015.