



УДК 621.9.02

THE EQUATION OF MOVEMENT OF THE WORKING CONTAINER DURING VIBRO-MAGNETIC-ABRASIVE PROCESS OF SUPER HARD CERAMICS

РІВНЯННЯ РУХУ РОБОЧОГО КОНТЕЙНЕРА ПРИ ВІБРО-МАГНІТНО-АБРАЗИВНОМУ ОБРОБЛЕННІ НАДТВЕРДОЇ КЕРАМІКИ

Burlakov V.I./Бурлаков В. І.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-1826-6486

Burlakova N.Ya./Бурлакова Г. Ю.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-1873-5518

Priazovsky State Technical University, Mariupol, Universytetska, 7, 87500

Приазовський державний технічний університет, Маріуполь, Університетська, 7, 87500

Анотація. В роботі розглядається розрахунок динамічної моделі робочого контейнеру для оброблення надтвердої кераміки з ціллю визначення положення такого контейнера в будь-який час у просторі. Таким чином, знаючи положення контейнеру ми будемо знати положення абразиву та деталей з надтвердої кераміки. Отже ми зможемо прогнозувати якість обробленої поверхні та продуктивність вібро-магніто-абразивного оброблення. У статті дан опис контейнера для оброблення надтвердої кераміки вібро-магніто-абразивним способом. Для складання диференціального руху механічної системи (робочий контейнер-абразив-зразки) використовуємо рівняння Лагранжа II роду для узагальнених координат Y , Z і φ . Наведені кінематичні рівняння руху центру мас. Рішенням отриманих рівнянь руху контейнера, можна отримати координати переміщення центру мас.

Ключові слова: кінематичні рівняння, координати переміщення центру мас, диференціальний рух, надтверда кераміка, динамічна модель, робочий контейнер, рівняння Лагранжа II роду.

Вступ

Розвиток сучасного машинобудування пов'язаний з розробкою і впровадженням нових матеріалів і прогресивних технологічних процесів їх обробки. Унікальні властивості кераміки дозволяють використовувати її в різних областях техніки, в тому числі, в якості різального інструменту. Удосконалення способів обробки матеріалів на основі кубічного нітриду бору пов'язано з вивченням закономірностей складного багатофакторного процесу шліфування. Продуктивність, якість поверхні, знос і стійкість інструменту, енергетичні витрати визначаються властивостями композиту, характеристиками алмазного інструменту, режимами і технологічними особливостями обладнання. Для прогнозування продуктивності, якості оброблення необхідно знати положення робочого контейнера в будь-який час.

Основний текст

Верстат для вібраційної обробки деталей (ViMAO містить закріплений контейнер 2 із пружно-в'язким зв'язком і дебалансний віброзбудник 1 (рис.1).

Будемо вважати, що горизонтальна вісь обертання дебалансу розташована на осі симетрії контейнера в його положенні рівноваги.

Точка O – положення центру мас контейнера в положенні статичної рівноваги.

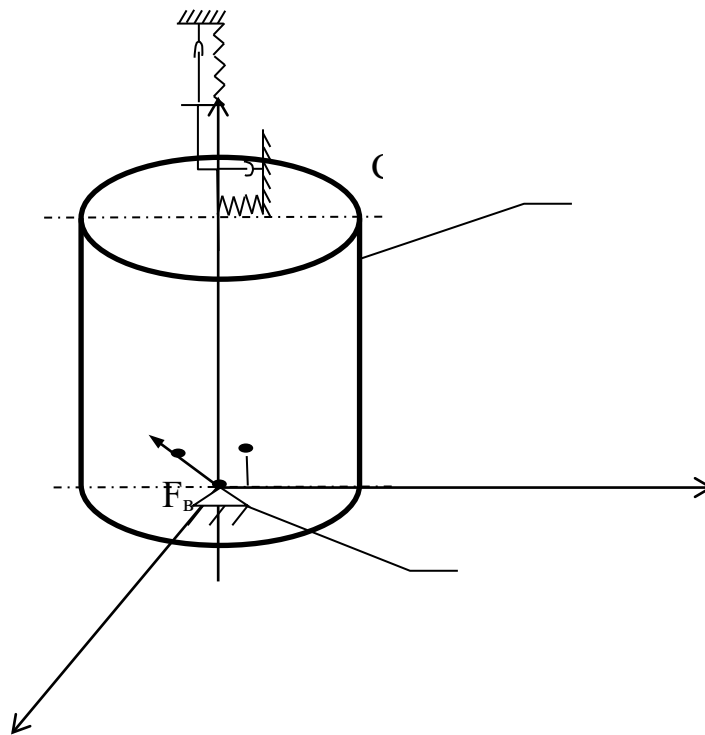


Рисунок 1 – Розрахункова схема динамічної моделі руху контейнера при ВіМАО

1 – вібробудник; 2 - контейнер

Авторська розробка

Приймаємо наступні конструктивні, інерційні, жорсткісні, дисипативні параметри ВіМАО-верстата:

- перетин має циліндричну форму, витягнуту вздовж осі Z . Вид з вісі OX показаний на рис.1. По осі OY контейнер також має циліндричну форму. Пружина розташована по центральній вісі;
- маса контейнера – m_k , кг;
- маса завантаження (робоче середовище і деталі) – m_z , кг;
- маса дебаланса – m_d , кг.
- момент інерції завантаженого контейнера щодо центральної осі OX - J , кг/м²;
- коефіцієнт жорсткості на валу, навколо якого обертається дебаланс – C_φ , $\frac{\text{Нм}}{\text{рад}}$;
- коефіцієнти жорсткості кріплень у здовж осей Z – C_z , $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$. Коефіцієнти дисипації, що враховують властивості кріплень і вплив робочого середовища, яку представляємо у вигляді псевдорідини, уздовж осей Z – b_z , $\frac{\text{Нс}}{\text{м}}$ і навколо осі OX – b_φ , $\frac{\text{Нс}}{\text{м}}$.
- кутова швидкість обертання дебаланса навколо осі OX – ω , $\frac{\text{рад}}{\text{сек}}$.



– ексцентриситет дебаланса e (відстань від маси дебаланса до його осі обертання OX) – e , м.

Відлік кута повороту дебаланса починаємо з вертикального положення. Розглядаємо ВіМАО як систему з трьома ступенями свободи, узагальнені координати – координати центру мас по осях $q_1 - Y$, $q_2 - Z$, кут повороту навколо осі OX , що проходить через центр мас контейнера, $q_3 - \varphi$.

Для складання диференціального руху механічної системи використовуємо рівняння Лагранжа II роду. При цьому змінність конфігурації робочого середовища не враховуємо.

Маса контейнера складається з масою завантаження $M = m_k + m_3$.

Кінетична енергія контейнера T і дисипативна функція системи Φ дорівнюють:

$$T = \frac{1}{2}M(\dot{Y}^2 + \dot{Z}^2) + \frac{I\dot{\varphi}^2}{2}, \quad \Phi = \frac{1}{2}(b_y\dot{Y}^2 + b_z\dot{Z}^2 + b_\varphi\dot{\varphi}^2) \quad (1)$$

Потенційні узагальнені сили:

$$Q_y^{(n)} = -C_y Y; \quad Q_z^{(n)} = -C_z Z; \quad Q_\varphi^{(n)} = -C_\varphi \varphi \quad (2)$$

Узагальнені збуджуючі сили:

$$\begin{cases} Q_1^{(B)} = F_y^{(B)} = m_d \omega^2 e \sin(\omega t) \\ Q_2^{(B)} = F_z^{(B)} = m_d \omega^2 e \cos(\omega t) \\ Q_\varphi = M_\varphi^{(B)} = m_d \omega^2 e (Z_d \sin(\omega t) - Y_d \cos(\omega t)) \end{cases} \quad (3)$$

де Y_d, Z_d – координати дебалансу.

Рівняння Лагранжа II роду системи для узагальнених координат Y, Z і φ мають вигляд:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}} \right) - \frac{\partial T}{\partial y} = Q_y^{(n)} + Q_y^{(c)} + Q_y^{(B)} \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{z}} \right) - \frac{\partial T}{\partial z} = Q_z^{(n)} + Q_z^{(c)} + Q_z^{(B)} \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q_\varphi^{(n)} + Q_\varphi^{(c)} + Q_\varphi^{(B)} \end{cases} \quad (4)$$

Підставивши значення $T, \Phi, Q^{(c)}, Q^{(b)}, Q^{(n)}$, отримаємо:

$$\begin{cases} M\ddot{Y} + b_y\dot{Y} + C_y Y = H \sin(\omega t) \\ M\ddot{Z} + b_z\dot{Z} + C_z Z = H \cos(\omega t) \\ J\ddot{\varphi} + b_\varphi\dot{\varphi} + C_\varphi \varphi = H (Z_d \sin(\omega t) - Y_d \cos(\omega t)) \end{cases} \quad (5)$$

де $H = m_d e \omega^2$, кг м/с² – амплітуда збуджуючої сили.

Поділивши на масу M ліві і праві частини цих рівнянь, отримаємо диференціальні рівняння вимушених коливань:

$$\begin{cases} \ddot{Y} + 2n_y\dot{Y} + k_y^2 Y = h \sin(\omega t) \\ \ddot{Z} + 2n_z\dot{Z} + k_z^2 Z = h \cos(\omega t) \\ \ddot{\varphi} + 2n_\varphi\dot{\varphi} + k_\varphi^2 \varphi = h(Z_d \sin(\omega t) - Y_d \cos(\omega t)) \end{cases} \quad (6)$$



$$\text{де } 2n_y = \frac{b_y}{M}, 2n_z = \frac{b_z}{M}, k_y^2 = \frac{c_y}{M}, k_z^2 = \frac{c_z}{M}, h = \frac{H}{M}, 2n_\varphi = \frac{b_\varphi}{J} k_\varphi^2 = \frac{c_\varphi}{J}$$

Приватні рішення неоднорідних диференціальних рівнянь другого порядку при відсутності резонансу знайдемо у вигляді:

$$\begin{cases} Y = A_y \sin(\omega t + \delta_1) \\ Z = A_z \cos(\omega t + \delta_2) \\ \varphi = A_{1\varphi} \cos(\omega t) + A_{2\varphi} \sin(\omega t) \end{cases} \quad (7)$$

Підставивши (7) в (6), отримаємо:

$$A_y = \frac{h}{\sqrt{(k_y^2 - \omega^2)^2 + 4n_y^2 \omega^2}}, \quad \text{tg } \delta_1 = \frac{2n_y \omega}{k_y^2 - \omega^2}, \quad (8)$$

$$A_z = \frac{h}{\sqrt{(k_z^2 - \omega^2)^2 + 4n_z^2 \omega^2}}, \quad \text{tg } \delta_2 = \frac{2n_z \omega}{k_z^2 - \omega^2}, \quad (9)$$

$$A_{1\varphi} = \frac{hY_A(k_\varphi^2 - \omega^2) + 2n_\varphi \omega Z_A}{\Delta}; \quad A_{21\varphi} = \frac{hZ_A(k_\varphi^2 - \omega^2) + 2n_\varphi \omega Y_A}{\Delta}, \quad (10)$$

$$\text{де } \Delta = (k_\varphi^2 - \omega^2)^2 + 4n_\varphi^2 \omega^2$$

Кінематичні рівняння руху центру мас в разі малого опору, якщо коефіцієнти дисипації задовольняють умовам $n_y < k_1, n_z < k_2$, мають вигляд:

$$\begin{cases} Y = e^{-n_y t} (C_1 \cos k_y t + C_2 \sin k_y t) + A_y \sin(\omega t + \delta_1) \\ Z = e^{-n_z t} (C_3 \cos k_z t + C_4 \sin k_z t) + A_z \cos(\omega t + \delta_1) \\ \varphi = e^{-n_\varphi t} (C_5 \cos k_\varphi t + C_6 \sin k_\varphi t) + A_{1\varphi} \cos(\omega t) + A_{2\varphi} \sin(\omega t) \end{cases} \quad (11)$$

У процесі абразивної обробки, коли $t \gg 0$, складові в рішенні (11), що містять експоненту, прагнуть до нуля. Тому будемо вважати, що центр мас, а разом з ним і контейнер, буде рухатися відповідно до рівнянь (12).

$$\begin{cases} Y = \frac{h}{\sqrt{(k_y^2 - \omega^2)^2 + 4n_y^2 \omega^2}} \sin(\omega t + \text{arc tg } \frac{2n_y \omega}{k_y^2 - \omega^2}) \\ Z = \frac{h}{\sqrt{(k_z^2 - \omega^2)^2 + 4n_z^2 \omega^2}} \cos(\omega t + \text{arc tg } \frac{2n_z \omega}{k_z^2 - \omega^2}) \end{cases} \quad \text{— приватні рішення з (13), (3.34)}$$

Таким чином, рішенням отриманих рівнянь руху контейнера, можна отримати координати переміщення центру мас з урахуванням амплітудно-частотної характеристики контейнера, і оцінити швидкість переміщення оброблюваних зразків усередині контейнера, а отже отримати продуктивність процесу.

Висновки

1. Теоретичні розрахунки, які були проведені, дали змогу отримати результати, що можуть служити вихідними даними для проектування та виготовлення установки для вібро-магнітно-абразивної обробки;

2. Отримані координати переміщення центру мас з урахуванням амплітудно-частотної характеристики контейнера.



Список використаних джерел:

1. Сергиев, А.П. Кинематика и динамика центробежно-планетарной установки / А. П. Сергиев, Д. А. Спицын, И. О. Матвеев // Вестник машиностроения. – 2007, №10 – С. 15 – 17.
2. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии: учебник для вузов / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев. – Ростов-на-Дону: Высшая школа, 2008. – 694 с.

References.

1. Sergiyev, A. P. Kinematika i dinamika tsentrobezhno-planetarnoy ustanovki [Kinematics and dynamics of a centrifugal planetary installation]/ A. P. Sergiyev, D. A. Spitsyn, I. O. Matveyev // Vestnik mashinostroyeniya. – 2007, №10 – P. 15 – 17.
2. Babichev A.P. Osnovy vibratsionnoy tekhnologii: uchebnik dlya vuzov [Fundamentals of vibration technology: a textbook for universities]/ A.P. Babichev, I.A. Babichev. – Rostov-na-Donu: Vysshaya shkola, 2008. – 694 p.

Abstract. *The paper considers the calculation of a dynamic model of a working container for processing superhard ceramics in order to determine the position of such a container at each point in space. Thus, knowing the position of the container, we will know the position of the abrasive and parts made of superhard ceramics. Therefore, we will be able to predict the quality of the machined surface and the performance of vibro-magnetic-abrasive machining. The article describes a container for processing superhard ceramics by vibro-magnetic-abrasive method. To compile the differential motion of the mechanical system (working container-abrasive-samples), we use the Lagrange equation of the second kind for the generalized coordinates Y , Z and φ . The article presents the kinematic equations of motion of the center of mass. By solving the obtained equations of motion of the container, you can get the coordinates of the movement of the center of mass.*

Keywords: *kinematic equations, coordinates of displacement of the center of mass, differential motion, superhard ceramics, dynamic model, working container, Lagrange equation of the second kind.*

Статья отправлена: 04.09.2021 г.

© Бурлаков В.І.