

УДК 621.757.007.52

В. Копп, докт. техн. наук; В. Полівцев, канд. техн. наук; В. Губарев

Севастопольський національний технічний університет

АВТОМАТИЧНЕ СКЛАДАННЯ ІНЕРЦІЙНИМ УДАРНО-ІМПУЛЬСНИМ ЗАТЯГУВАННЯМ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ

У статті обґрунтоване підвищення продуктивності гвинтозакручуючих модулів за рахунок застосування ударно-імпульсного інерційного способу затягування різьбових з'єднань. Наведено обґрунтування і вибір таких основних параметрів процесу затягування різьбових з'єднань, як енергія одиночного удару, швидкість обертання та момент інерції ротора. У статті викладені фізична і математична моделі процесу затягування різьбових з'єднань, наведені технічні характеристики розроблених гвинтозакручуючих модулів.

V. Kopp, V. Polivtsev, V. Gubarev

AUTOMATIC ASSEMBLING WITH THE INERTIA SHOCK-IMPULSIVE INHALING OF SCREW-THREAD CONNECTIONS

The increase of productivity of the modules wrapping screws due to application of shock-impulsive inertia method of inhaling of screw-thread connections is grounded in the article. The ground on the choice of such basic parameters of process of inhaling of screw-thread connections as energy of single blow, speed of rotation and moment of inertia of rotor is resulted. The physical and mathematical models of process of inhaling of screw-thread connections are expounded in the article, technical descriptions of the developed modules wrapping screws are resulted.

Умовні позначення

| | |
|-------------------|---|
| M | – обертовий момент переданий бойком наковальні; |
| $\ddot{\varphi}$ | – кутове прискорення бойка і наковечника; |
| I_1, I_2 | – момент інерції ротора і бойка; |
| r | – радіус обертання осі бойка щодо осі ротора; |
| F | – сила взаємодії між бойком і наковальнею; |
| m_1 | – маса бойка; |
| C_1 | – твердість пружини муфти; |
| F_Z | – проекція сили взаємодії між бойком і наковальнею на вісь Z; |
| F_{T1}, F_{T2Z} | – сили тертя; |
| u | – величини підтискування пружини; |
| Z | – координати переміщення бойка. |
| φ | – кут повороту бойка навколо осі ротора; |
| $\dot{\varphi}$ | – кутова швидкість обертання бойка; |
| φ_0 | – кут попереднього притискання пружини твердістю C_1 ; |
| f | – коефіцієнт тертя; |
| ω | – кутова швидкість обертання ротора з бойком; |
| d | – діаметр бойка; |
| A | – енергія, що передається при одному ударі; |
| n | – кількість ударів, необхідних для затягування різьбового з'єднання |

Нарізні з'єднання є одними з найпоширеніших видів роз'ємних з'єднань, котрі застосовуються у машинобудуванні. Незважаючи на велику різноманітність засобів автоматизації для складання різьбових з'єднань, особливо низький ступінь автоматизації складальних операцій у середньо і дрібносерійному виробництві. Це пояснюється відсутністю технологічних модулів, які могли б бути використані в якості гнучких переналагоджувальних засобів для складання різьбових з'єднань.

Одним з напрямків вирішення зазначеної проблеми є застосування у якості робочого інструменту автоматичних маніпуляторів, гвинтозакручуючих модулів. До таких модулів та маніпулятора висуваються жорсткі вимоги щодо масогабаритних характеристик, продуктивності і надійності.

Аналіз роботи сучасних гвинтозакручуючих механізмів показує, що в загальному циклі складання 30÷40% часу припадає на затягування різьбових з'єднань, що відповідно складає 0.5÷2с. Зменшення часу затягування різьбового з'єднання можна досягнути шляхом підвищення продуктивності режимів складання та за рахунок застосування високошвидкісного інерційного ударно-імпульсного методу затягування різьбових з'єднань. Суть методу полягає в тому, що масивний ротор розганяється до високих швидкостей обертання порядку $6 \cdot 10^2 \dots 12 \cdot 10^2 \text{c}^{-1}$, запасаючи при цьому кінетичну енергію, а в процесі затягування різьбового з'єднання віддає її через серію ударів за допомогою кулачкової муфти [1]. Такий спосіб, у порівнянні з розповсюдженим у гвинтозакручуючих механізмах методом, з прикладанням моменту, дозволяє зменшити потужність двигуна, а отже, і масогабаритні характеристики приводу. У порівнянні з рідкоударним способом затягування, який використовується у гайковертах, представлених моделями серії ІЭ, даний метод володіє більшою продуктивністю (число ударів за одиницю часу) за рахунок збереженої кінетичної енергії для всього процесу затягування, а не одного удару.

Опис динаміки високошвидкісного методу складання наведено в роботі [3].

Розглянемо процес високошвидкісного ударно-імпульсного затягування різьбових з'єднань. На рисунку 1 представлено фізичну модель процесу.

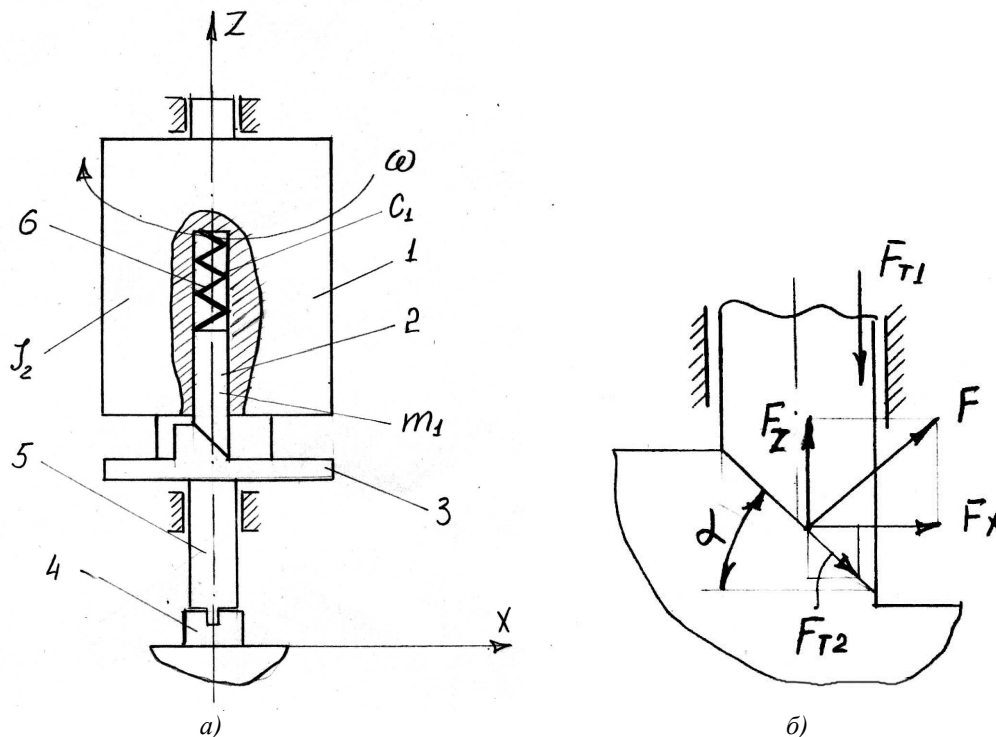


Рисунок 1 – а) фізична модель процесу затягування різьбових з'єднань ударно-імпульсним інерційним методом; б) схема дії сил на бойок кулачкової муфти

Кулачкова муфта являє собою обертовий ротор 1, у який поміщений бойок 2, підпружинений в осьовому напрямку пружиною 6 і взаємодіючий з виступом наковальні 3. Лезо викрутки 5, жорстко з'єднане з наковальнею, входить у шліць гвинта, що затягується, 4. Процес взаємодії бойка та наковальні складається з двох фаз. Перша – удар бойка по наковальні. В основу цієї фази покладемо припущення про абсолютно непружну, ударну взаємодію між бойком і наковальнею. Тому що виступ наковальні 3 у процесі затягування не змінює свого положення, бойок 2 при його

обертанні переміщається в основному напрямку, стискаючи пружину 6, і ковзає відносно похилої поверхні виступу. Друга фаза – бойок сходить з поверхні виступу наковальні і рухається вниз під дією пружини до свого вихідного стану, при цьому бойок обертається разом з ротором по відношенню до наковальні. У процесі удару бойка по наковальні ротор втрачає частину енергії, що спричиняє його стрибкоподібну зміну швидкості обертання. Процес затягування різьбового з'єднання складається із серії ударів, при цьому ротор віддає кінетичну енергію і зупиняється.

Бойок у процесі удару обертається разом з ротором та одночасно робить відносний рух уздовж осі Z.

Рівняння обертання ротора і бойка при взаємодії останнього з наковальнею представимо у вигляді:

$$(I_1 + I_2) \cdot \ddot{\varphi} = -M, \quad (1)$$

$$M = F \cdot 2 \sin \lambda,$$

де M – обертовий момент переданий бойком на наковальні;

$\ddot{\varphi}$ – кутове прискорення бойка і наконечника;

I_1, I_2 – моменти інерції ротора і бойка, відповідно;

R – радіус обертання осі бойка по відношенню до осі ротора;

F – сила взаємодії між бойком і наковальнею.

Рівняння руху бойка вздовж осі Z представимо у виді:

$$m_1 \ddot{z} = F_z - F_{T1} - F_{T2Z} - C_1 (Z + Z_n), \quad (2)$$

де m_1 – маса бойка;

C_1 – жорсткість пружинної муфти;

F_z – проекція сили взаємодії між бойком і наковальнею на вісь Z;

F_{T1}, F_{T2Z} – сили тертя;

Z_n – величини підтискування пружини;

Z – координати переміщення бойка.

Сили, діючі на бойок, відображені на рис. 1б. Бойок і наковальня внаслідок безвідривного руху пов'язані між собою кінематичним зв'язком вигляду:

$$Z = r\varphi; \dot{Z} = r\dot{\varphi}; Z_n = r\varphi_0, \quad (3)$$

де φ – кут повороту бойка навколо осі ротора;

$\dot{\varphi}$ – кутова швидкість обертання бойка;

φ_0 – кут попереднього підтискування пружини твердістю C_1 .

Використовуючи умову (3) і вираз (2), підставимо їх у рівняння (1), записавши у розгорнутому вигляді M , отримаємо:

$$\left(I_1 + I_2 + \frac{m_1 r^2}{\phi} \sin \alpha \right) \ddot{\varphi} + \frac{C_1 r^2}{\phi} \sin \alpha \varphi = - \frac{C_1 r^2 \varphi_0}{\phi} \sin \alpha, \quad (4)$$

де $\Phi = \cos \alpha - f(\cos \alpha + \sin \alpha) - f \sin \alpha$;

f – коефіцієнт тертя.

Вираз (4) є лінійним неоднорідним рівнянням другого порядку

$$I_n \ddot{\varphi} + C_n \varphi = -C_n \varphi_0, \quad (5)$$

де $I_n = I_1 + I_2 \frac{m_1 r^2}{\phi} \sin \alpha$; $C_n = \frac{C_1 r^2}{\phi} \sin \alpha$.

З урахуванням початкових умов, $t_n = 0$, $\varphi_n = \varphi_0$, $\dot{\varphi} = \omega$, де ω – кутова швидкість обертання ротора з бойком, отримаємо розв'язок відносно $\varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}$ у вигляді:

$$\varphi = \varphi_0 \cos \left(\sqrt{\frac{C_n}{I_n}} t \right) + \omega \sqrt{\frac{I_n}{C_n}} \sin \left(\sqrt{\frac{C_n}{I_n}} t \right) \varphi_0, \quad (6)$$

$$\dot{\varphi} = -\varphi_0 \sqrt{\frac{C_n}{I_n}} \sin\left(\sqrt{\frac{C_n}{I_n}} t\right) + \omega \cos\left(\sqrt{\frac{C_n}{I_n}} t\right), \quad (7)$$

$$\ddot{\varphi} = -\varphi_0 \frac{C_n}{I_n} \cos\left(\sqrt{\frac{C_n}{I_n}} t\right) - \omega \sqrt{\frac{C_n}{I_n}} \sin\left(\sqrt{\frac{C_n}{I_n}} t\right). \quad (8)$$

На підставі кінцевих умов для удару, виходячи з конструкції кулачкової муфти, запишемо:

$$Z = d; \quad \varphi_k = \frac{d}{r}; \quad \alpha = \frac{\pi}{4}, \quad (9)$$

де d – діаметр бойка.

Знайдемо тривалість першого удару, підставивши значення φ_k з виразу (9) у рівняння (6), отримаємо:

$$t_k = \frac{(\arccos D)}{v}, \quad (10)$$

де

$$v = \sqrt{\frac{C_n}{I_n}},$$

$$D = \frac{\varphi_0 \left(\frac{d}{r} + \varphi_0\right) + \frac{\omega}{v} \sqrt{\frac{\omega^2}{v^2} + \frac{d^2}{r^2} - 2\varphi_0 \frac{d}{r}}}{\frac{\omega^2}{v^2} + \varphi_0^2}.$$

Швидкість обертання ротора з бойком наприкінці першого удару визначимо, підставивши t_k у вираз (7):

$$\omega_k = -\varphi_0 \sqrt{\frac{C_n}{I_n}} \cdot \sqrt{1 - D^2} + \omega D. \quad (11)$$

Енергію, що передається при одиночному ударі, визначимо з виразу:

$$A = \frac{I_1 + I_2}{2} (\omega^2 - \omega_k^2). \quad (12)$$

Енергію, необхідну для повного затягування різьбового з'єднання, яку повинен запаста ротор, можна визначити за n - ударів

$$u = \sum_{i=1}^n A_i, \quad (13)$$

де n – кількість ударів, необхідних для повного затягування різьбового з'єднання.

Визначимо момент, переданий бойком наковальні в процесі удару. Для цього в рівняння (1) підставимо значення $\ddot{\varphi}$ з виразу (8) і отримаємо:

$$M_{pc} = (I_1 + I_2) \left[\varphi_0 \frac{C_n}{I_n} \cos\left(\sqrt{\frac{C_n}{I_n}} t\right) + \omega \sqrt{\frac{C_n}{I_n}} \sin\left(\sqrt{\frac{C_n}{I_n}} t\right) \right]. \quad (14)$$

Отримані вище аналітичні залежності дозволяють, виходячи з обертового моменту, необхідного для затягування різьбового з'єднання, визначити потрібну енергію одного удару, кінетичну енергію, швидкість обертання і момент інерції ротора і, відповідно, вибрати необхідну жорсткість і зусилля підтискання пружинної муфти.

На рисунку 2 представлені номограми, побудовані на основі виразів (11), (12), (13), (14), де показані залежності обертового моменту у різьбовому з'єднанні M_{pc} від швидкості обертання ротора і викрутки ω для різних моментів інерції ротора I_2 і жорсткості C_1 кулачкової муфти. На рисунку 2 представлені номограми для затягування різьбового з'єднання з діаметром різьби М4.

Дослідження, проведені на дослідних зразках, показують, що для досягнення необхідного обертового моменту затягування, достатньо зробити 10...12 ударів кулачкової муфти.

На рисунку 3 представлені результати експериментальних досліджень процесу затягування різьбового з'єднання. Початок процесу затягування характеризується зміною швидкості ротора (висоти піків), а кінець - останнім піком сигналу осцилографа. При кутовій швидкості обертання $\omega = 6 \cdot 10^2 \text{ c}^{-1}$ загальний час процесу не перевищує 0,11с, при цьому кулачкова муфта виконує дев'ять ударів.

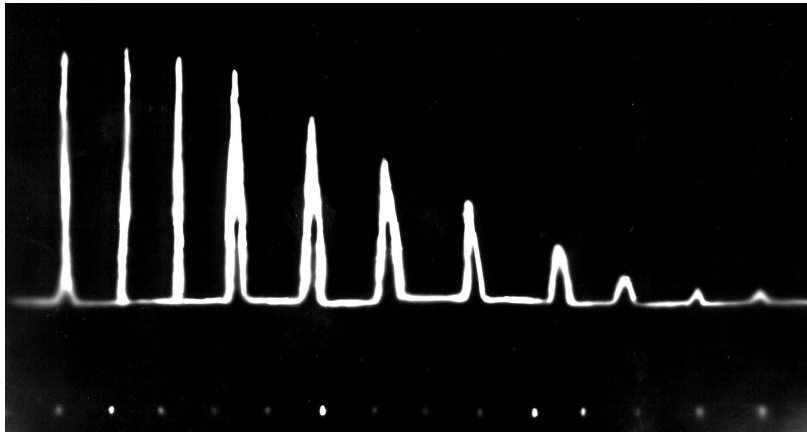


Рисунок 2 - Номограми для визначення параметрів ударно-імпульсного затягування різьбових з'єднань



Рисунок 3 - Осцилограма експериментального дослідження процесу затягування різьбового з'єднання

Похибка моменту затягування в різьбовому з'єднанні, при використанні вище - зазначеного способу, не перевищує 20%, а тривалість процесу при 10-12 ударах не перевищує 0,2с.

Конструкція і принцип роботи модуля описаний в [2]. У таблиці 1 наведені технічні характеристики гвинтозакручуючих модулів.

На рисунку 4 представлений роботизований технологічний комплекс для складання гвинтових з'єднань з діаметром різьби М4 і довжиною до 16мм.

Гвинтозакручуючий модуль АВМ-2 закріплений на кінці руки маніпулятора складального робота РС-222. Робот РС-222 побудований на базі цифрових пневмоприводів. Поштучна, автоматична подача зорієнтованих гвинтів здійснюється пневматичним відсікачем, який закріплений на основі вібробункера і з'єднаний гнучким шлангом з модулем. Орієнтований гвинт подається у гвинтозакручуючий модуль по гнучкому шлангу імпульсом стиснутого повітря.

Комплекс може бути використаний у якості однієї зі структурних комірок для гнучких складальних ліній.

Висновки. Застосування високошвидкісного методу складання з інерційним ударно-імпульсним затягуванням різьбових з'єднань дозволило створити високопродуктивні гвинтозакручуючі модулі з малими масогабаритними показниками, що дозволяє їх використовувати у якості робочого органу маніпуляторів.

Таблиця 1 - Технічні характеристики конструктивного ряду гвинтозакручуючих модулів

| Технічна характеристика | Тип модуля | | |
|-------------------------|------------|-----------|-----------|
| | АВМ-1 | АВМ-2 | АВМ-3 |
| Діаметр різьби, мм | M2; M2,5 | M3; M4 | M5; M6 |
| Довжина гвинта, мм | 12 | 16 | 20 |
| Тривалість циклу, с | 0,1...1,5 | 1,0...1,5 | 1,0...1,5 |
| Обертний момент, Нм | 0,1...0,4 | 1,0...1,5 | 1,0...1,5 |
| Швидкість інструменту: | | | |
| лінійна, м/с | 0,06 | 0,12 | 0,24 |
| кутова, с ⁻¹ | 600 | 900 | 1200 |
| Тиск повітря, МПа | 0,4...0,5 | 0,4...0,5 | 0,4...0,5 |
| Габаритні розміри: | | | |
| Довжина, мм | 170 | 190 | 220 |
| Діаметр, мм | 25 | 35 | 45 |
| Маса, кг | 0,3 | 0,5 | 0,7 |

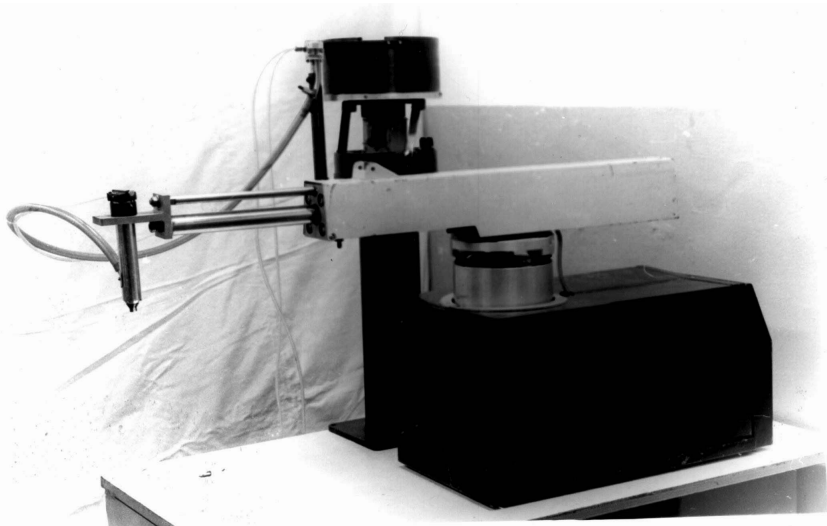


Рисунок 4 - Фотографія зовнішнього вигляду роботизованого технологічного комплексу для складання гвинтових з'єднань з діаметром різьби M4 і довжиною до 16мм

Література

1. А.С. №931456 /СССР/ Винтоверт. В.П. Поливцев, В.М. Ковалев, Б.И. Погорелов – Опубликовано в Б.И., 1982, №20
2. Поливцев .П., Ковалев В.М. Автоматический винтозавертывающий модуль // Автоматизация и механизация производства, 1983, №9. -С. 17-18.
3. Поливцев В.П., Копп В.Я. Высокоростная сборка резьбовых соединений // Вестник машиностроения, 1986, №2.-С. 45-47.

Одержано 30.09.2008 р.