

Антонюк О.А., студент; Гаврушкевич А.Ю., к.т.н., старший викладач;  
Гейчук В.М., проф., д.т.н.

Національний технічний університет України "КПІ ім. Ігоря Сікорського"

## РОТОРНА ГОЛОВКА ДЛЯ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ ЗУБІВ ТА ОКРУГЛЕННЯ КРОМОК ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС МАГНІТНО-АБРАЗИВНИМ СПОСОБОМ

В [1] розроблено основні положення кінематики магнітно-абразивної обробки (МАО) циліндричних зубчастих коліс. В якості пристрою для реалізації розробленого способу обробки пропонується удосконалена конструкція роторної головки.

При обробці колеса повинні здійснювати наступні рухи:

- обертання ротора навколо осі кільцевої ванни зі швидкістю  $\bar{\omega}_p$  - головний рух різання;
- обертання колеса навколо власної осі зі швидкістю  $\bar{\omega}_s$  - рух кругової подачі;
- додатковий обертовий коливальний рух  $\bar{\omega}_a$  навколо проекції осі "кільцевої ванни" на площину, дотичну до її серединного циліндра, на кут  $\pm \alpha_{don}$  - рух першої додаткової кругової подачі;
- додатковий обертовий коливальний рух на кут  $\pm \xi_{don}$  відносно положення, при якому вісь колеса є горизонтальною (паралельна торцю кільцевої ванни), зі швидкістю  $\bar{\omega}_k$  в площині, дотичній до серединного циліндру кільцевої ванни - рух другої додаткової кругової подачі;
- переміщення  $T_z$  вздовж осі кільцевої ванни для занурення колеса у робочу зону зі швидкістю  $V_{BP}$  - рух врізання.

При цьому рухи додаткових кругових подач повинні виконуватись за залежностями:  $\xi(\varphi) = \xi_{don} \cdot \sin(n_O \cdot \varphi)$  - в русі першої додаткової кругової подачі,  $\alpha(\varphi) = \alpha_{don} \cdot \sin(n_A \cdot \varphi)$  - в русі другої додаткової кругової подачі. В цьому випадку швидкості додаткових кругових подач будуть визначатись за наступними виразами:

$$\omega_{a_z} = \frac{d\alpha(\varphi)}{dt} = \alpha_{don} \cdot n_A \cdot \cos(n_A \cdot \varphi),$$
$$\omega_{k_y} = \frac{d\xi(\varphi)}{dt} = \xi_{don} \cdot n_k \cdot \cos(n_k \cdot \varphi),$$

де  $\alpha(\varphi) = \alpha_{don} \cdot \sin(n_A \cdot \varphi)$  - кут повороту в русі першої додаткової кругової подачі, а  $n_A$  - кількість коливань за оберт колеса в русі кругової подачі;  $\xi(\varphi) = \xi_{don} \cdot \sin(n_k \cdot \varphi)$  - кут повороту в русі другої додаткової кругової подачі, а  $n_k$  - кількість коливань за оберт колеса в русі кругової подачі.

Всі рухи кругових подач виконує робоча головка 4 роторної головки 1, кінематична схема якої представлена на рис. 1. Вона складається із корпусу 1, який закріплено, наприклад на оправці 2 з конусом 7:24. Оправка встановлюється і закріплюється в шпинделі базового верстата, наприклад, вертикально-фрезерного безконсольного. В корпусі 1 на підшипнику 3 з перехресними роликами встановлено корпус 4, що містить привод першої додаткової кругової подачі (коливального руху розвороту на кут  $\alpha$ ) з електромеханічним приводом М3.

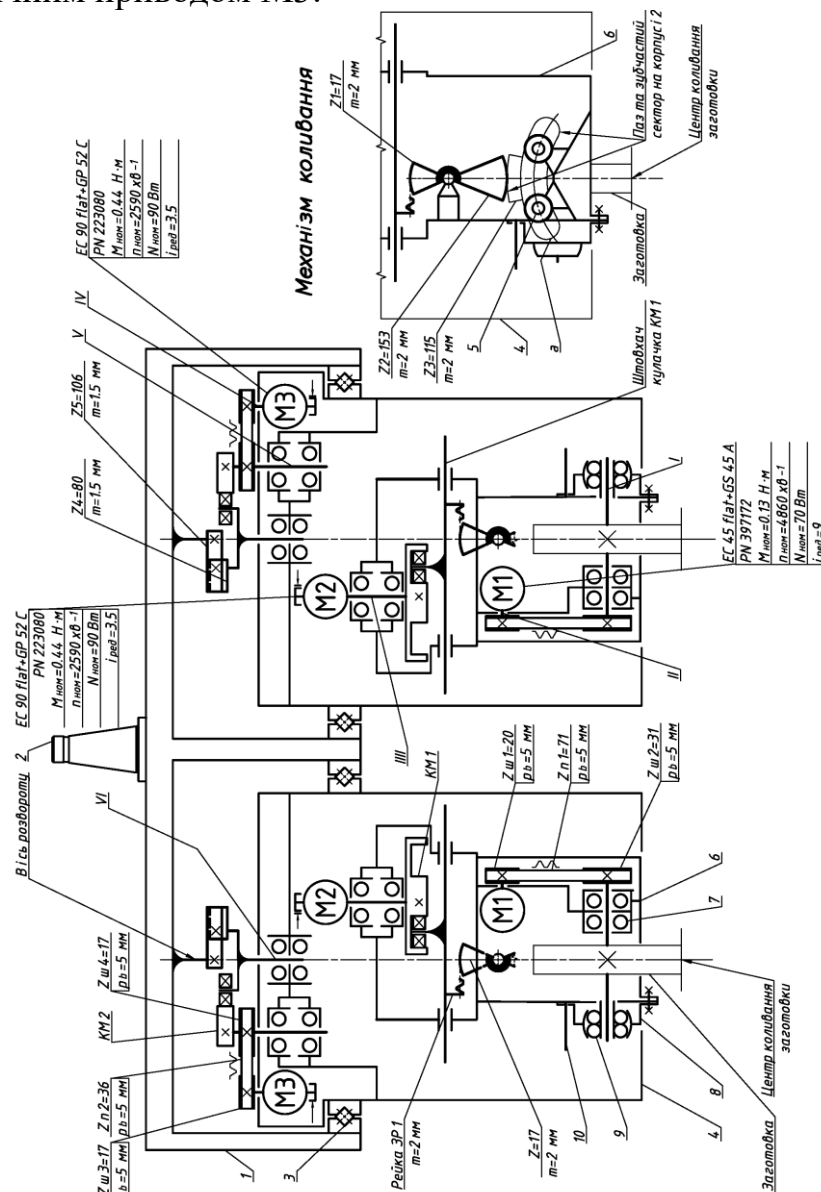


Рис.1. Кінематична схема робочої головки

В нижній частині корпусу 4 в дуговому пазу розміщені ролики 5, на яких встановлено корпус 6 з робочим шпинделем (валом) I, приводом кругової подачі з електромеханічним приводом М1 та приводом другої додаткової подачі (коливального руху нахилу на кут  $\xi$ ) з електромеханічним приводом М2.

Робочий шпиндель I з оброблюваною заготовкою встановлений на постійній задній опорі 7 з двома підшипниками та передній відвідній опорі 8 зі

сферичними підшипниками 9. Стержень 10 слугує для підтримки опори при відведенні/підведенні. Шпindel I з'єднано валом II з приводом кругових подач M1 зубчато-пасовою передачею  $Z_{ш1} = 20, Z_{ш2} = 31, Z_{п1} = 71$ .

На корпусі 6 встановлено електромеханічний привід M2 другої додаткової подачі, що валом III з'єднаний з кулачковим механізмом KM1. Штовхач цього механізму з'єднаний з зубчатою рейкою ЗР1, яка з'єднана зубчастими секторами  $Z1=17$  та  $Z2=153$  (на двох бокових сторонах корпусу 6) з зубчастими секторами  $Z3=115$ , що закріплені на двох внутрішніх сторонах корпусу 4 співвісно дуговому пазу а. В пазу а встановлені ролики 5, осі яких закріплені на двох бокових сторонах корпусу 6. Вісь повороту сектора Z3, корпусу 6 на роликах 5 по дугових пазах є центром коливання заготовки дотичною до зовнішнього циліндру зубів оброблюваного колеса в площині середній до торців вінця.

Електромеханічний привід M3 першої додаткової подачі встановлено в верхній частині корпусу 4. Привід M3 валом IV, зубчато-пасовою передачею  $Z_{ш3} = 17, Z_{ш4} = 17, Z_{п2} = 36$  з'єднаний з валом V, на якому встановлений кулачок кулачкового механізму KM2. Коромисло кулачкового механізму KM2 встановлено на валу VI. На його кінці, протилежному ролику, встановлено зубчастий сектор Z4, зчеплений з зубчастим сектором Z5, що нерухомо закріплений на корпусі 1. При цьому вісь зубчастого сектору Z5 співпадає з віссю повороту корпусу 4 в підшипнику 3 та проходить через центр коливань заготовки.

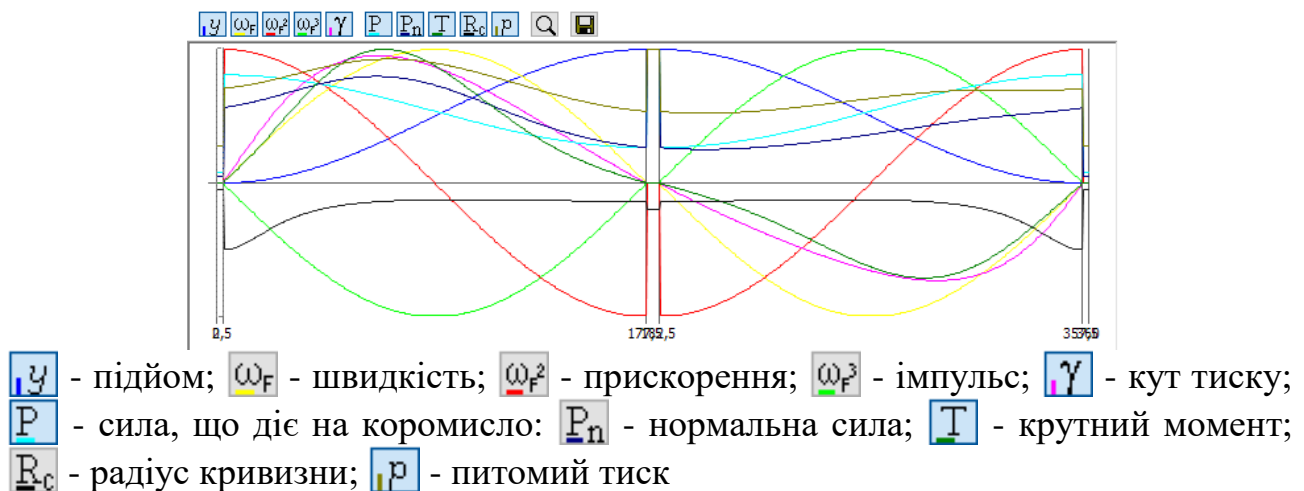


Рис.2. Кінематичні параметри дискового кулачка кулачкового механізму KM2 (згідно кінематичної схеми) приводу другої додаткової кругової подачі

В генераторі компонентів дискового кулачка Autodesk Inventor Professional розроблена модель кулачкового механізму KM2. Основні параметри профілю кулачка: початкове положення руху  $\Phi_0$ , кінцеве положення руху  $\Phi$ , величина сегмента руху  $d\phi = \Phi - \Phi_0$ , підйом сегмента  $d_h = h - h_{макс} - h_0$ , розраховується за величиною допустимого кута розвороту  $\alpha_{дон} = \pm 15^\circ$ , розмірами коромисла  $l_a = 80$  мм, важеля противаги  $l_r = 60$  мм, міжцентрової

відстані  $Y = 78,5 \text{ мм}$  та зубчастих сегментів  $Z_4 = 80$  та  $Z_5 = 106$  з модулем  $m = 1,5 \text{ мм}$ .

Корпус 4 повинен повертатись на кут  $\alpha = 2 \cdot |\alpha_{\text{дон}}| = 30^\circ$ , тоді зубчастий сегмент  $Z_4$  і коромисло повинні повернутись на кут  $\alpha_{Z_4} = \alpha \cdot (Z_4/Z_5) = 30^\circ \cdot (80/106)$ . Тоді підйом дорівнює величині хорди, яка стягує дугу величиною,  $Y = 2l_a \cdot \sin(|\alpha_{\text{дон}}| \cdot (\pi/180) \cdot (Z_4/Z_5)) \approx 31 \text{ мм}$ .

Для реалізації поворотного коливального руху використано цикл з вистоями між фазами підйому та спуску. На вистої відведено по п'ять градусів  $\Delta\Phi_{\text{вист}} = 5^\circ$ , а на фазі підйому і спуску – по  $175^\circ$ . Для симетричності профілю кулачка відносно осі  $Y$  перший сегмент профілю розбито на дві рівні частини. В цьому випадку маємо п'ять сегментів профілю кулачка (рис. 2):  $\Delta\Phi_1 = 2.5^\circ$ ,  $\Delta\Phi_2 = 175^\circ$ ,  $\Delta\Phi_3 = 5^\circ$ ,  $\Delta\Phi_4 = 175^\circ$ ,  $\Delta\Phi_5 = 2.5^\circ$ .

Оскільки перший сегмент починається завжди з нуля  $\Phi_{01} = 0^\circ$ , то для кожного наступного сегменту задається тільки кінцеве положення. Тобто  $\Phi_1 = 2.5^\circ$ ;  $\Phi_{02} = \Phi_1 = 2.5^\circ$ ,  $\Phi_2 = \Phi_{02} + \Delta\Phi_2 = 177.5^\circ$ ;  $\Phi_{03} = \Phi_2 = 177.5^\circ$ ,  $\Phi_3 = \Phi_{03} + \Delta\Phi_3 = 182.5^\circ$ ;  $\Phi_{04} = \Phi_3 = 182.5^\circ$ ,  $\Phi_4 = \Phi_{04} + \Delta\Phi_4 = 357.5^\circ$ ;  $\Phi_{05} = \Phi_4 = 357.5^\circ$ ,  $\Phi_5 = \Phi_{05} + \Delta\Phi_5 = 360^\circ$ . В даному випадку для сегменту віддалення (підйому) (сегмент 2 на рис. 2) та наближення (опускання) (сегмент 4 на рис. 2) виберемо закон руху гармонійний - синусоїдальні коливання. Для сегменту (фази) ближнього (сегмент 1 на рис. 2 та сегмент 5 на рис. 2) та дальнього стояння (сегмент 3 на рис. 2) формально можна вибрати будь-який закон (сегмент 3 на рис. 2). Але для сегментів стояння призначений закон "Ігнорується (не рахується)".

Вхідними даними для силового розрахунку кулачкового механізму були: корисне навантаження на коромисло –  $250 \text{ Н}$ ; швидкість обертання кулачка  $\omega = 600 \text{ хв}^{-1}$ ; вага рухомої частини (в корпусі 4, рис. 1) –  $380 \text{ Н}$ .

Компонування кулачкового механізму КМ2 (згідно кінематичної схеми) приводу другої додаткової кругової подачі представлено на рис. 3.



Рис.3. Компонування кулачкового механізму КМ2 (згідно кінематичної схеми) приводу другої додаткової кругової подачі

Список використаних джерел:

1. Гаврушкевич А.Ю. Основні положення кінематики МАО циліндричних зубчастих коліс. Дисс. ...канд. техн. наук: 05.03.01 / Гаврушкевич Андрій Юрійович. - Київ. - 2016. 303 с.