

Луців І.В., Стахурський О.О., Шарик В.М.

АНАЛІЗ ВІБРАЦІЙ ДЕТАЛІ ПРИ ОБРОБЦІ ТРИРІЗЦЕВИМИ ГОЛОВКАМИ ІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМИ ПРИВОДАМИ

Анотація. В статті розглядається аналіз вібрацій деталі при обробці трирізцевою головкою із електромагнітними приводами та системою керування адаптивного типу для порівняння її динамічних особливостей із однорізцевою обробкою. Опис теоретичної моделі розробляється у вигляді розрахункових схем і диференціальних рівнянь другого порядку. Продемонстровано осцилограми вібрацій заготовки та різальних елементів головки, що були отримані для процесу обробки при її комп'ютерному моделюванні. Доведено продуктивність розроблюваних трирізцевих головок.

Постановка проблеми. Підвищення техніко-економічної ефективності процесів різання вирішується використанням систем адаптивного керування процесом різання.

Використання цих систем потребує постійного спостереження за динамікою зміни режимних умов обробки на основі постійного моніторингу процесу різання, що допомагає враховувати навіть ті фактори, які є невідомими на етапі технічної підготовки виробництва.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сучасному етапі завдання підвищення продуктивності і точності процесів різання вирішується одним з таких методів: призначенням змінних режимів різання з використанням емпіричних методик і методик, що враховують тільки один змінний параметр; шляхом використання систем адаптивного керування процесом різання.

При різанні з постійними параметрами забезпечується незмінність швидкості різання, подачі і глибини в межах даної технологічної операції. Різання із змінними параметрами передбачає порушення однієї чи декількох із цих умов[1]. При цьому, суть самоналагоджувального різання полягає в тому, що однаковим різальним лезом, які розміщені симетрично відносно оброблюваної поверхні, забезпечено по одному ступеню вільності в напрямку, який співпадає з напрямком подачі, а зазначені леза пов'язані між собою в цьому напрямку з допомогою механізмів чи засобів, які здійснюють кінематичний міжінструментальний зв'язок адаптивного типу[2]. В загальній структурі технологічної системи різання таке верстатне оснащення носить визначальний характер. При цьому можна досягнути одночасно дроблення зливної стружки. Однак можливості дроблення в той же час визначаються не тільки властивостями застосовуваних пристроїв, але і характеристиками самої стружки. Зокрема, дроблення стружки при різанні із змінними параметрами здійснюється дискретним різанням, що є різновидом вібраційного різання металів, при якому закон коливань відрізняється від гармонійного.

Сутність процесу вібраційного різання полягає у тому, що на прийнятту для даної операції кінематичну схему накладається додатковий спрямований вібраційний рух інструмента відносно заготовки. Звідси фізичними основами процесу різання є - періодична зміна режимів різання та змінне циклічне навантаження оброблюваного матеріалу та різального інструмента. При правильному виборі напрямку коливань, їх

частоти та амплітуди вібраційне різання дозволяє надійно і ефективно дробити стружку.

При обробці і проектуванні багаторізевого оснащення виникає велика кількість можливих варіантів функціональних схем і конструкцій [3], [4]. Мета проектування полягає у пошуку і виконанні оптимальної конструкції багато різевого оснащення на основі вибору структурної схеми, що буде відповідати підвищенню продуктивності та точності верстатів і оснащення. Прогнозуючи і аналізуючи розвиток сучасних конструкцій для вирішення вищевказаних задач поряд із вдосконаленням технології обробки інструментів, розробляються принципово нові мехатронні головки, на базі інтеграції засобів прецизійної механіки, електроніки, електротехніки, зокрема для багаторізевої обробки адаптивного типу.

Постановка задачі.

Ідея прогресивної багатолезової обробки адаптивного типу з електромагнітним приводом враховує інформаційні і динамічні властивості всіх елементів системи, що функціонує на основі принципу зворотного зв'язку, для виконання цільового завдання, а саме для забезпечення регулювання перехідних процесів різання. Пружні деформації, які негативно впливають на шорсткість поверхні деталі, розмірну точність, точність форми, стійкість інструменту та довговічність верстату призводять до погіршення точності та якості поверхні, а також зменшення продуктивності металооброблювального обладнання.

В цьому напрямку на кафедрі конструювання верстатів, інструментів та машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя розроблено багаторізову головку (рис.1), яка складається з корпусу 1, в якому через 120° розміщені три різдетримачі 2, які за допомогою пружних пластинчастих напрямних 3 з'єднані із корпусом 1. У різдетримачах 2 встановлені виставлені на розмір різці 4. Різдетримачі жорстко з'єднані з якорями електромагнітів 5, і ці електромагніти нерухомо прикріплені до корпусу. На якорях встановлені пружні елементи в вигляді пластин 6, причому пластини 6 оснащені тензометричними здавачами 7. Електромагніти, як виконавчі органи та пружні елементи з тензодатчиками з'єднані з ЧПК.

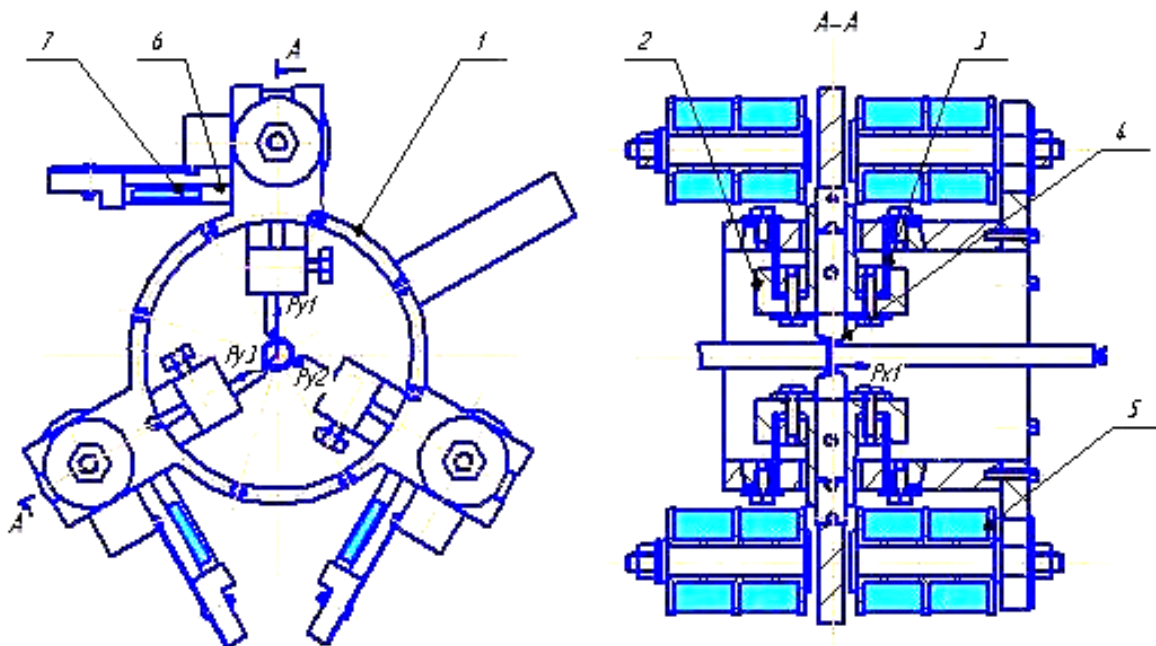


Рис. 1. Схема конструкції багаторізевої головки із електромагнітними приводами

Результати досліджень. Для порівняльного динамічного аналізу особливостей роботи трирізцевої токарної головки з електромагнітними приводами спочатку слід розглянути випадок однорізцевої обробки. При цьому розрахункову модель представимо одномасовою системою (рис.2,а) із приведеною до радіального напрямку масою M_y , коефіцієнтом демпфування коливань H_y , і радіальною жорсткістю C_y :

$$M_y \ddot{y} + H_y \dot{y} + C_y y = -\Delta P_y, \quad (1)$$

де ΔP_y - зміна складової зусилля різання, внаслідок зовнішніх збурень (наприклад коливаннями, що викликані ексцентриситетом обробки (відомий коефіцієнт e)).

При цьому радіальну складову зусилля різання представимо ступеневою моделлю у вигляді:

$$P_y = C_{p_y} \cdot t^X \cdot S^{Y_p} \cdot V_r^{n_p},$$

де C_{p_y} – коефіцієнт, що залежить від умов різання; t – миттєве значення глибини різання (мм); S – миттєве значення подачі (мм/об); V_r – швидкість різання (м/хв), при діаметрі обробки D (мм), і частоті обертання n (об/хв). При цьому X , Y_p , n_p – суть ступеня відповідних значень глибини, подачі і швидкості різання.

Запишемо значення радіальної сили різання, що викликає вібрації наступним рівнянням:

$$\Delta P_y = C_{p_y} \cdot V_r^{n_p} \left\{ [t_0(1 + e \sin(\omega t))]^X S^{Y_p} - t_0^X S_0^{Y_p} \right\}$$

де t_0 - усталене значення глибини різання; S_0 - усталене значення подачі; ω - кругова частота обертання заготовки ($\omega = 2\pi n d / 30$).

Така модель має бути розв'язана з допомогою пакету «Math Cad».

Модельовання трирізцевої обробки головкою з пружними напрямними базується на врахуванні особливостей розрахункових схем елементів головки, а саме різальних елементів інструменту, які з допомогою пружних напрямних зв'язані з корпусом (рис.2,б).

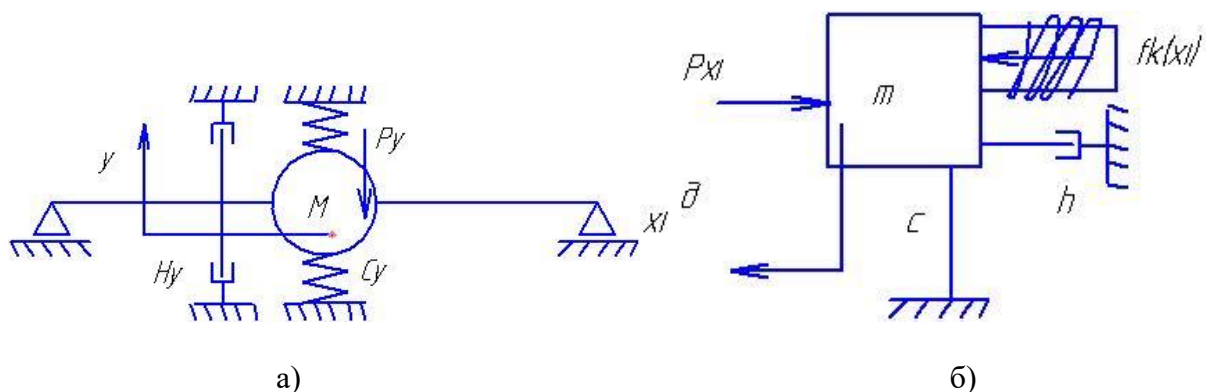


Рис. 2. Розрахункові моделі: а) одномасової системи; б) елемента трирізцевої головки

Модель такого елемента представлено одномасовою схемою: приведена маса елемента з різцем m , приведені коефіцієнти жорсткості і демпфування пружної напрямної відповідно C і h . Кожен із трьох різальних елементів знаходиться під дією осьової складової елементної сили різання Px_i ($i=1,2,3$), його зміщення від стану рівноваги становить x_i , причому співвідношення осьової складової із радіальною складовою складає 0.4, тобто $Px_i = 0.4Py_i$. В даному контексті мають на увазі статичні значення вказаних складових без їх варіацій внаслідок зміни умов різання.

Оскільки кожен із різальних елементів, що рухомі завдяки пружним напрямним, керуються за допомогою додаткового електромагнітного приводу, то видно, що при розгляді вібраційного руху різальних елементів слід враховувати керуючу дію електромагнітів, що виражена функцією $fk_i(x_i)$, ($x_i = 1, 2, 3$), які є різними для окремих різальних елементів відповідно до конкретного алгоритму керування.

Загалом диференціальне рівняння руху окремого різального елемента можна представити у вигляді:

$$m\ddot{x}_i + h\dot{x}_i + Cx_i^d = -\Delta Px_i$$

де ΔPx_i - зміна осьової складової зусилля різання на окремому елементі, яка, окрім того, що залежить від зміни умов різання, ще й враховує дію функції керування.

Якщо такою функцією є сигнал сумарної рівності нулю переміщень окремих різальних елементів, то динамічні значення переміщень кожного із трьох різальних елементів складають:

$$\begin{aligned} x_1^d &= x_1 - 0,5(x_2 + x_3) \\ x_2^d &= x_2 - 0,5(x_1 + x_3) \\ x_3^d &= x_3 - 0,5(x_1 + x_2) \end{aligned} \quad (2)$$

Перш за все слід також врахувати і зміни глибини різання внаслідок наявності ексцентриситету закріплення заготовки, а саме:

$$\begin{aligned} t_1 &= t_0(1 + e \sin \omega t) \\ t_2 &= t_0 \left[1 + e \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right) \right] \\ t_3 &= t_0 \left[1 + e \sin \left(\omega t + \frac{4\pi}{3} \right) \right] \end{aligned}$$

Оскільки різальні елементи знаходяться в процесі постійної осциляції, як наслідок наявності пружних напрямних, так і через постійні керуючі сигнали, то очевидно, що змінюється і значення подач окремих елементів. При цьому значення миттєвих подач на кожному із різальних залежатимуть від відносних швидкостей їх переміщень з врахуванням дії керуючого сигналу, тобто

$$\begin{aligned}
S_1 &= S_0 + [\dot{x}_1 - 0,5(\dot{x}_2 + \dot{x}_3)] \cdot 10^{-3} / 60n_d \\
S_2 &= S_0 + [\dot{x}_2 - 0,5(\dot{x}_1 + \dot{x}_3)] \cdot 10^{-3} / 60n_d \\
S_3 &= S_0 + [\dot{x}_3 - 0,5(\dot{x}_1 + \dot{x}_2)] \cdot 10^{-3} / 60n_d
\end{aligned}$$

де n_d – частота обертання деталі, об/хв. В даному випадку $10^{-3} / 60n_d$ означає приведення швидкості зміни подачі в м/с до значення оборотної подачі в мм/об. Таким чином, система звичайних диференційних рівнянь другого порядку, що визначають відносний осьовий рух різальних елементів стосовно зміни умов різання і керуючих сигналів щодо стабілізації сумарних осьових переміщень різців, має вигляд:

$$\left\{ \begin{aligned}
& m\ddot{x}_1 + h\dot{x}_1 + C[x_1 - 0,5(x_2 + x_3)] = \\
& = k_x \left\{ t_0 [(1 + e \sin \omega t)]^{X_p} [S_0 / 3 + [\dot{x}_1 - 0,5(\dot{x}_2 + \dot{x}_3)] \cdot 10^{-3} / 60n_d]^{Y_p} - t_0^{X_p} S_0^{Y_p} / 3 \right\} \\
& m\ddot{x}_2 + h\dot{x}_2 + C[x_2 - 0,5(x_1 + x_3)] = \\
& = k_x \left\{ t_0 \left[\left(1 + e \sin \omega t + \frac{2\pi}{3} \right) \right]^{X_p} [S_0 / 3 + [\dot{x}_2 - 0,5(\dot{x}_1 + \dot{x}_3)] \cdot 10^{-3} / 60n_d]^{Y_p} - t_0^{X_p} S_0^{Y_p} / 3 \right\} \\
& m\ddot{x}_3 + h\dot{x}_3 + C[x_3 - 0,5(x_1 + x_2)] = \\
& = k_x \left\{ t_0 \left[\left(1 + e \sin \omega t + \frac{4\pi}{3} \right) \right]^{X_p} [S_0 / 3 + [\dot{x}_3 - 0,5(\dot{x}_1 + \dot{x}_2)] \cdot 10^{-3} / 60n_d]^{Y_p} - t_0^{X_p} S_0^{Y_p} / 3 \right\}
\end{aligned} \right. \quad (3)$$

В цих формулах k_x – це стала величина, яка враховує коефіцієнт C_{pz} , що залежить від умов різання та співвідношення осьової і тангенціальної складових сил різання, що діють на окремі різальні елементи.

Очевидно, що таким чином, можна сформулювати значення зміни рівнодійної радіальних складових зусиль різальних елементів, що діє на деталь з приведеною масою M_y . При цьому маємо таке диференційне рівняння другого порядку:

$$\begin{aligned}
& M_y \ddot{y} + H_y \dot{y} + C_y y = \\
& = k_y \left\{ t_0 [(1 + e \sin \omega t)]^{X_p} [S_0 / 3 + [\dot{x}_1 - 0,5(\dot{x}_2 + \dot{x}_3)] \cdot 10^{-3} / 60n_d]^{Y_p} - t_0^{X_p} S_0^{Y_p} / 3 \right\} + \\
& + k_y \left\{ t_0 \left[\left(1 + e \sin \omega t + \frac{2\pi}{3} \right) \right]^{X_p} [S_0 / 3 + [\dot{x}_2 - 0,5(\dot{x}_1 + \dot{x}_3)] \cdot 10^{-3} / 60n_d]^{Y_p} - t_0^{X_p} S_0^{Y_p} / 3 \right\} + \\
& + k_x \left\{ t_0 \left[\left(1 + e \sin \omega t + \frac{4\pi}{3} \right) \right]^{X_p} [S_0 / 3 + [\dot{x}_3 - 0,5(\dot{x}_1 + \dot{x}_2)] \cdot 10^{-3} / 60n_d]^{Y_p} - t_0^{X_p} S_0^{Y_p} / 3 \right\}
\end{aligned} \quad (4)$$

Сумісно систему диференційних рівнянь (3) і диференційного рівняння (4) можна розв'язати з допомогою пакету «Math Cad» методом Рунге Кутта з врахуванням початкових умов.

Так, зокрема, при початкових даних: $M_y = 100$ кг; $H_y = 100$ кг/с; $C_y = 5 \cdot 10^8$ Н/м; $t_0 = 0,2$ мм; $S_0 = 0,3$ мм/об; $D = 20$ мм; $n_d = 1000$ об/хв; $e = 0,1$; показники ступенів $X_p = 0,9$;

$Y_p=0,6$; $n_p=-0,3$ і початковій умові $y(0)=3\cdot 10^{-8}$ м; $y'(0)=0$ отримаємо постійну картину вібрацій деталі в її середній частині при однорізцевій обробці (рис 4).

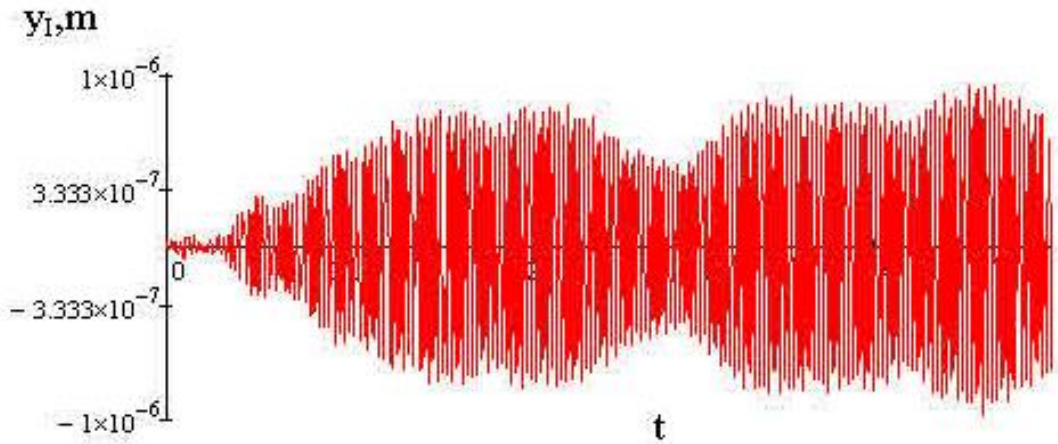


Рисунок 3. Осцилограма коливань деталі при однорізцевій обробці

В той же час, при тих же початкових умовах як для однорізцевої обробки для випадку обробки деталі трирізцевою головкою із електромагнітним керуванням приводами різальних елементів з такими параметрами різальних елементів: $m=1$ кг; $h=100$ кг/с; $C=105$ Н/м і з початковими умовами щодо коливань різальних елементів: $x_1(0)=10^{-4}$ м; $x_1'(0)=0$; $x_2(0)=10^{-4}$ м; $x_2'(0)=0$; $x_3(0)=10^{-4}$ м; $x_3'(0)=0$, отримаємо осцилограму вібрацій деталі (рис. 5), що суттєво відрізняється.

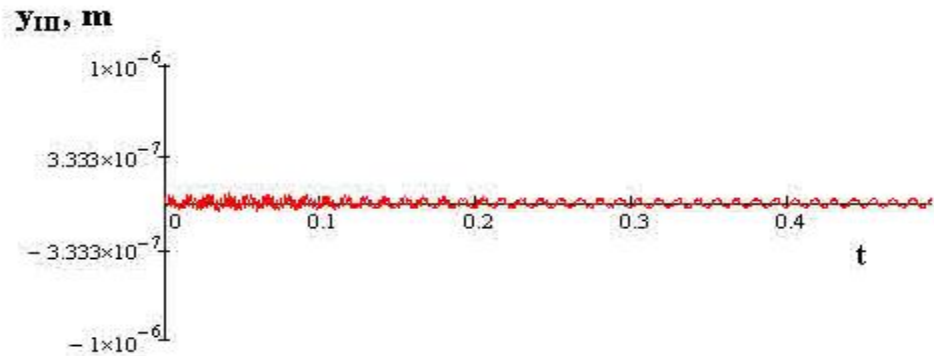


Рисунок 4. Осцилограма коливань деталі при обробці трирізцевою головкою з електромагнітними приводами

При цьому амплітуда коливань зменшується для різних випадків комп'ютерних обчислень від 2-4 до 10-16 разів.

Висновки. Було проаналізовано вібрації деталі при обробці запропонованою трирізцевою головкою із електромагнітними приводами в порівнянні із однорізцевою обробкою. Моделювання теоретичної моделі розроблялося у вигляді розрахункових схем і диференціальних рівнянь другого порядку. Ці рівняння розв'язувались за допомогою використання програмного забезпечення та комп'ютерних графічних

програм. В результаті були отримані осцилограми, що ілюструють вібрації заготовки та різальних елементів головки, що були отримані в процесі обробки.

Результати дослідження підтверджують продуктивність розроблених трирізцевих головок в порівнянні із однорізцевою обробкою. Досягається підвищення динамічної точності обробки від 2-4 до 10-16 разів.

Список використаної літератури

1. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: Монографія/ [Кузнєцов Ю.М., Луців І.В., Шевченко О.В., Волошин В.Н.]. – К.:– Тернопіль: Терно-граф, 2011. – 320 с.

2. Луців І.В., Шарик В.М., Стрембіцький М. Алгоритми керування обробкою при тонкому точінні багаторізцевою головкою / Технологічні комплекси №1 (9). Луцьк, 2014. 57-62 с.

3. Пат. 82786 Україна, МПК В23В29/00. Пристрій для точіння [Текст] / І.В. Луців, П.Д. Кривий, Ю.Б. Підгайний, В.М. Шарик; заявник і патентовласник: Тернопільський державний технічний університет, Тернопіль; заявл. 25.01.2013; опубл.12.08.2013, Бюл. №15.

4. Пат. 85871Україна, МПК В23В29/24. Багаторізцева головка для точіння [Текст] / І.В. Луців, П.Д. Кривий, В.М. Шарик; заявник і патентовласник: Тернопільський державний технічний університет, Тернопіль; заявл. 29.03.2013; опубл.10.12.2013, Бюл. №23.

Інформація про авторів

Луців Ігор Володимирович – д.т.н., професор, завідувач кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин, Тернопільський національний технічний університет.

Стахурський Олександр Олександрович – аспірант кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин, Тернопільський національний технічний університет.

Шарик Володимир Мирославович – асистент кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин, Тернопільський національний технічний університет.