

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ АДАПТИВНОЇ ФРЕЗЕРНОЇ ОБРОБКИ НА МАТЕРІАЛООБРОБНИХ ВЕРСТАТАХ

Федотьєв А. М., Федотьєва Л. П., Король С. С.

У сучасному виробництві на процес різання покладено завдання підвищення продуктивності із забезпеченням необхідної точності розмірів деталі і заданих параметрів якості поверхневого шару. Існує два типи управління цією якістю: регулюванням режимів різання в процесі механообробки і забезпечення необхідних параметрів подальшою дією на деталь. Найбільш досконалими із точки зору розвитку технічних систем є такі, що реалізують алгоритм адаптивного керування із мінімальним ланцюгом передавальних ланок між джерелом керуючого сигналу і елементами приводу головного руху матеріалообробного верстата. Тому у статті розглянута схема приводу головного руху верстатів на основі системи електроприводу з управлінням і регулюванням в механічній передачі.

В современном производстве на процесс резания возложена задача повышения производительности с обеспечением требуемой точности размеров детали и заданных параметров качества поверхностного слоя. Существует два типа управления этим качеством: регулированием режимов резания в процессе механообработки и обеспечения необходимых параметров последующим воздействием на деталь. Наиболее совершенными с точки зрения развития технических систем являются такие, которые реализуют алгоритм адаптивного управления с минимальной цепью передающих звеньев между источником управляющего сигнала и элементами привода главного движения материалообрабатывающего станка. Поэтому в статье рассмотрена схема привода главного движения станков на основе системы электропривода с управлением и регулированием в механической передаче.

In the modern production on the cutting process is tasked with providing improved performance accuracy required dimensions of the part and the specified quality parameters of the surface layer. There are two types of this quality control: control of cutting conditions during machining and providing the required parameters followed by exposure to the work piece. The most perfect systems from the point of view of development of technical systems are those that implement the adaptive control algorithm with a minimum chain of transmission links between the control signal source and the elements of the main drive material processing machine. Therefore, in the article is presented the drive circuit of the main motion machine based on the electric system with control and regulation in the mechanical transmission.

Федотьєв А. М.

канд. техн. наук, доц.,
зам. директора по науці ТОВ «Інструмент»
fan450@yandex.ru

Федотьєва Л. П.

канд. техн. наук, доц. каф. ПОМФТО КрНУ

Король С. С.

аспірант каф. ПОМФТО КрНУ

ТОВ «Інструмент» – підприємство ТОВ «Інструмент», м. Світловодськ;
КрНУ – Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського,
м. Кременчук.

621.316.718.5

Федотьев А. М., Федотьева Л. П., Король С. С.

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ АДАПТИВНОЇ ФРЕЗЕРНОЇ
ОБРОБКИ НА МАТЕРІАЛООБРОБНИХ ВЕРСТАТАХ**

Багатокоординатна обробка кінцевими фрезами радіусів просторово-складних поверхонь, що мають ступінчастий припуск, пов'язана з безперервною зміною такого геометричного параметра зони різання, як товщина шару, що зрізається. Зміна даного параметра пов'язана з траєкторією руху інструменту, криволінійністю ріжучої кромки і ступінчастим припуском. У свою чергу товщина шару, що зрізається, робить істотний вплив на силу різання і, отже, на продуктивність обробки в умовах заданої точності [1].

Мета роботи полягає у визначенні можливості використання електромагнітних порошкових пристроїв для використання у приводах головного руху матеріалообробних верстатів як регулюючий елемент, що здійснює адаптивне керування процесом обробки.

Відомо, що найінтенсивніший вплив на сили різання має саме швидкість різання. Тому забезпечити сталість силових характеристик при виконанні процесу різання можливо у першу чергу при зміні швидкості різання, що виконує привод головного руху верстата.

У сучасному виробництві на процес різання покладено завдання підвищення продуктивності із забезпеченням необхідної точності розмірів деталі і заданих параметрів якості поверхневого шару. Існує два типи управління цією якістю: регулювання режимів різання в процесі механообробки і забезпечення необхідних параметрів подальшою дією на деталь. Перший тип найбільш ефективний, оскільки дозволяє у багатьох випадках позбавитися від фінішних операцій. Для отримання деталей із заданими властивостями поверхневого шару створюються різні моделі адаптивного керування. Найбільш досконалими із точки зору розвитку технічних систем є такі, що реалізують алгоритм адаптивного керування із мінімальним ланцюгом передавальних ланок між джерелом керуючого сигналу і елементами приводу головного руху матеріалообробного верстата. Тому нами запропонована схема приводу головного руху верстатів на основі системи електроприводу з управлінням і регулюванням в механічній передачі (рис. 1).

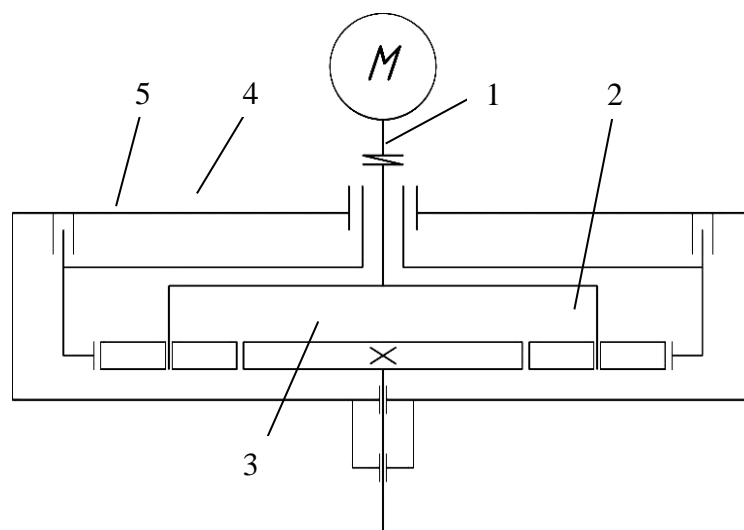


Рис. 1. Кінематична схема шпиндельної голівки із адаптивним керуванням

1 – муфта; 2 – сателіти; 3 – сонячне колесо, жорстко сполучене зі шпинделем; 4 – корпус; 5 – електромагнітна порошкова муфта

Щоб добитися максимальної продуктивності і в той же час набути заданих значень параметрів якості поверхневого шару деталі, необхідно шукати компромісне рішення при призначенні режимів різання (оптимізувати процес фрезерування).

Під оптимальним режимом високошвидкісного фрезерування розуміють режим, при якому досягаються необхідні шорсткість, глибина і ступінь зміцнення, величина і глибина залишкового напруження, структурно-фазовий склад поверхневого шару, а разом з цим задана стійкість ріжучого інструменту і найбільша продуктивність. Реалізації даного підходу було присвячено багато робіт [2].

При збільшенні значення M_n – моменту статичного опору навантаження, що виникає при збільшенні товщини шару, що зрізається, при ступінчастій обробці складнопрофільних поверхонь або інших чинників (зміні властивостей оброблюваного матеріалу, зношуванні ріжучого інструменту і тому подібне) здійснюватиметься процес прослизання провідної і веденої ланок муфти, що автоматично приведе до зменшення кутової швидкості навантаження (вихідного валу муфти). Це, у свою чергу приведе до зниження швидкості різання і, відповідно моменту статичного опору навантаження. Таким чином, автоматично підтримуватиметься режим роботи шпindelної голівки, при якому будуть забезпечені всі якісні параметри процесу обробки: шорсткість R_z , наклеп H , температура поверхневого шару θ і відхилення від настроювального розміру $\Sigma\Delta_z$.

Протікання процесів в електроприводі з управлінням і регулюванням в механічній передачі в загальному випадку визначається характеристиками муфт, характеристиками двигуна, статичними опорами, пружними і інерційними параметрами механічної передачі, а також параметрами навантаження.

Регулювання швидкості в одноступінчатих схемах здійснюється за рахунок ковзання в муфті. Стійкість, динамічні і енергетичні показники процесів регулювання швидкості пов'язані перш за все із закономірностями зміни навантаження за швидкістю і в часі, а також якістю і стабільністю характеристик муфт. Закономірності зміни навантаження визначають вибір системи управління в одноступінчатих схемах регульованого приводу.

Якщо момент навантаження [3] є функцією кутової швидкості обертання шпindelа $M_n = (\omega)$, то рівняння руху набуде вигляду [4]

$$\frac{J_n d\omega_n}{dt} + M_n(\omega) = M_e. \quad (1)$$

Як відомо, рух в цьому випадку буде статично стійким, якщо [4]

$$\frac{dM_n(\omega)}{d\omega} > \frac{dM_e(\omega)}{d\omega}. \quad (2)$$

При цьому, чим більше різниця між похідними $\frac{dM_n(\omega)}{d\omega}$ і $\frac{dM_e(\omega)}{d\omega}$ тим більше стійким буде рух приводу. Коли виконується умова (2), очевидно, можливе застосування розімкненої системи управління, оскільки система володіє властивістю самовирівнювання.

Швидкість повернення до сталого режиму роботи шпindelної голівки безпосередньо залежить від кінетичної енергії, що запасається маховими масами, що розганяються. Відповідно слід прагнути до зниження махових мас швидкісного шпindelа голівки.

На основі висновків, зроблених вище, була розроблена кінематична схема швидкісної шпindelної насадки (рис. 1).

Обертання від електродвигуна M передається через муфту 1 на сателіти 2 і на сонячне колесо 3, жорстко сполучене зі шпindelем. Корпус сателітів сполучений з корпусом 4 за допомогою електромагнітної порошкової муфти 5 (гальмом).

Миттєве значення моменту муфти є функцією розузгодження за швидкістю, тобто різниці між заданою і фактичною величиною швидкості різання. Якщо момент муфти перевер-

ше статичний момент, необхідний для обертання в заданому режимі, то швидкість різання залишатиметься на певному рівні, що встановлюється частотою обертання двигуна.

У виконавчому механізмі пропонується застосування електромагнітної порошкової муфти уніполярної конструкції, п'ятизасорної, із заповненням порошком карбонільного заліза в суміші з трансформаторним маслом в пропорції 6:1 по вазі. Для збільшення швидкодії магнітопровід муфти потрібно виконувати зі сталі «Ю». Магнітопровід муфти виконаний безпосередньо на корпусі шпindelної голівки. Основна частка ЕМП закріплена на корпусі. При включеній муфті рух передається відповідно до кінематичної схеми.

Для більш повного описання можливості використання ЕМПМ у приводах головного руху матеріалообробних верстатів, була спроектована швидкісна фрезерна насадка (рис. 2).

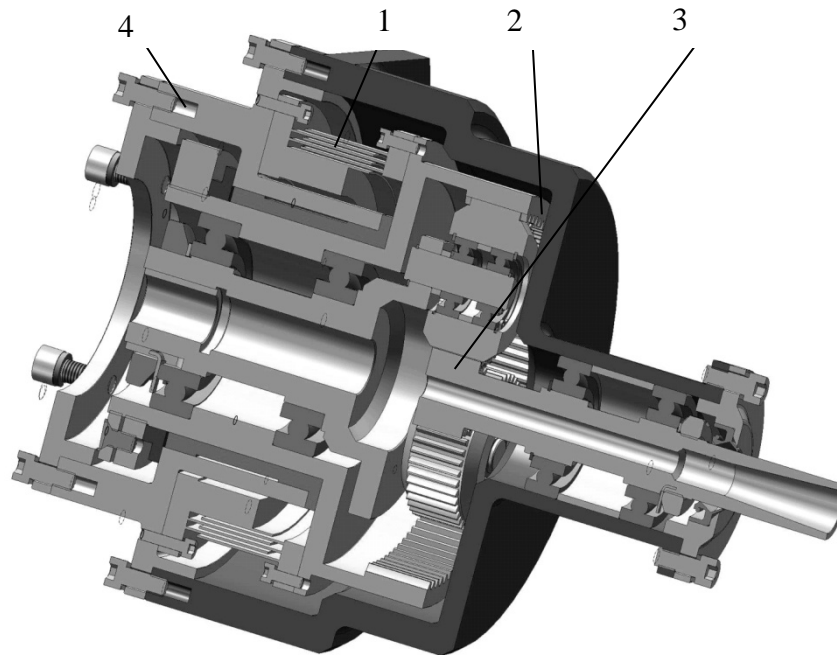


Рис. 2. Тривимірний модель шпindelної голівки із адаптивним керуванням
1 – електромагнітна порошкова муфта; 2 – сателіти; 3 – сонячне колесо, жорстко сполучене зі шпindelем; 4 – корпус

Номінальний момент $M_n=500 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Номінальний струм $I_n = 5 \text{ А}$. Номінальна напруга $U_n = 4 \text{ В}$. Максимальна потужність розсіяння $P=300 \text{ Вт}$. Параметр швидкодії $\tau = 0,43 \text{ с}^{1/2}$. Еквівалентна постійна часу $T_g=77 \text{ мс}$.

Для отримання мінімальних динамічних помилок необхідно мати можливо більшу швидкодію виконавчого елемента, в даному випадку двозвенника з ЕПМ.

Для оцінки швидкодії ЕПМ розглянемо її динамічні характеристики, до яких належать:

- передавальна функція ЕПМ при включенні;
- передавальна функція ЕПМ при виключенні;
- тимчасова характеристика ЕПМ при включенні;
- тимчасова характеристика ЕПМ при відключенні;
- логарифмічна частотна характеристика ЕПМ.

У режимі живлення струмом при ідеальній комутації, тобто при практично безінерційному ланцюзі збудження муфти, характеристики п.п. а і б, в і г попарно ідентичні. При включенні муфти послідовно з додатковим опором передавальна функція ЕПМ має вигляд [3]

$$\frac{M(p)}{M_u} = \frac{1}{f(p) + pT_0'} \quad (2)$$

де

$$T'_0 = \frac{L(0)}{r_m + r_d + r_{ист}} = T_0 \frac{U_m}{U_{ист}}; \quad (3)$$

$$f(p) = \frac{\tau \sqrt{p}}{th(\tau \sqrt{p})} - \text{відносний операторний магнітний опір.}$$

Для застосованої ЕПМ вказані параметри мають наступні значення:

$$U_{ист} = 60B; U_m = 4B; T_0 = 0,5c; \tau = 0,43c^{1/2}.$$

Звідси

$$T'_0 = \frac{0,5 \cdot 4}{60} 10^3 = 33мс.$$

Кінематичний, силовий розрахунок на міцність і довговічність передачі носять типовий характер і проведені за стандартною методикою.

В результаті розрахунку визначили основні параметри передачі (табл. 1).

Робота муфти в будь-якому режимі визначається наступними характеристиками: статичною, механічною, регульовальною і динамічною.

Таблиця 1

Основні параметри планетарної передачі

Передавальне відношення планетарного мультиплікатора	Число сателітів	Число зубців сонячного колеса z1	Число зубців сателіта z2	Число зубців корончатого колеса z3	Модуль зачеплення, мм
6,3	3	20	43	106	1,6

Статична характеристика представляє залежність моменту, що крутить $M_{кр}$, від струму управління I_y , визначувану при загальмованій веденій частині муфти:

$$I_y = 0,49M^{0,5}. \quad (4)$$

Вид залежності, представленої на рис. 2, свідчить про існування початкового моменту $M = M_0$, обумовленого в основному тертям часток наповнювача об поверхню провідної і веденої частин муфти.

Характер протікання кривої свідчить про те, що муфта добре регулює крутний момент.

У нашому випадку це означає, що при постійному струмі управління і при виникненні прослизання момент опору муфти буде постійний і у міру досягнення сталого режиму роботи в зоні різання ковзання буде усунено плавно, без ривків, що при високих швидкостях різання не викличе високих динамічних навантажень на ріжучий інструмент.

Механічною характеристикою називають залежність ковзання від величини моменту M , передаваного муфтою, при постійних струмі управління I_y і швидкості обертання провідної частини n_i [4]

$$S = f(M), \quad (5)$$

де $S = 1 - \frac{n_2}{n_1}$ — частота обертання веденої частини муфти.

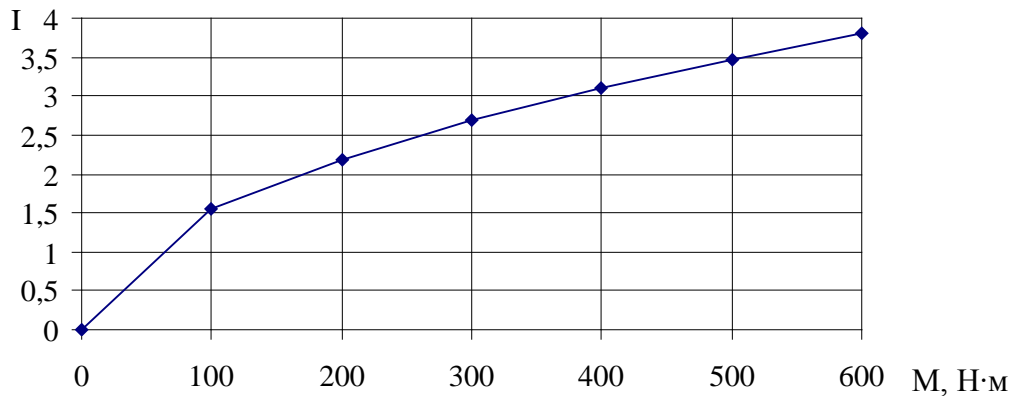


Рис. 3. Статична характеристика розрахованої муфти

Для розрахованої муфти

$$M = 50,868 \cdot k_{рж} , \quad (6)$$

де $k_{рж}$ – коефіцієнт режиму роботи (для сталого режиму $k_{рви} = 1,0$, а для режиму ковзання $k_{рж} = 0,7-0,9$).

З цієї характеристики (рис. 4) виходить, що, досягши граничного значення моменту $M_{пр}$, муфта швидко переходить в режим повного ковзання, причому кут нахилу характеристики залежить від величини вихрових струмів, що наводяться в суцільних магнітопроводах. Тобто не виникне ефекту «заклинювання» основної частки напівмуфти, що у свою чергу не приведе до перевантажень ріжучого інструменту.

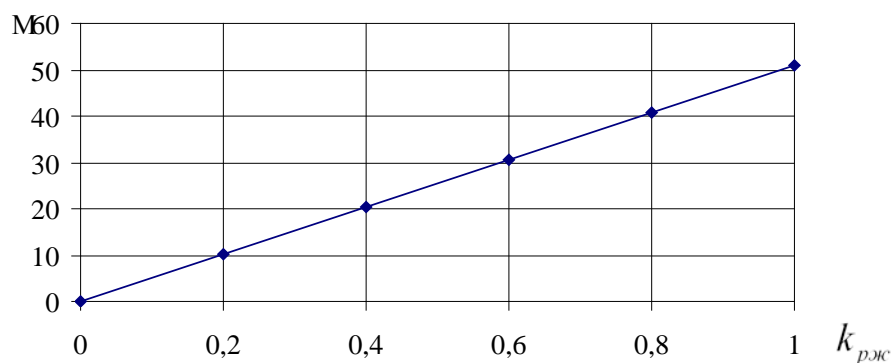


Рис. 4. Механічна характеристика розрахованої муфти

Регульовальна характеристика представляє залежність частоти обертання веденої частини муфти n_2 від величини струму управління I_y при постійних частоті обертання провідної частини n_1 і моменті опорів на веденому валу M_n .

Для розрахованої муфти регульовальна характеристика є залежністю величини струму управління I_y від коефіцієнта, що враховує лінійну швидкість руху часток в зазорі і залежний також від величини зазору

$$I = 6,28 \cdot k_v^{-1} . \quad (7)$$

Ця характеристика свідчить про те, що при достатньо великому струмі забезпечується синхронне обертання провідної і веденої частки муфти.

Із зменшенням струму управління ведена частка починає прослизати, тобто $n_2 < n_1$.

Динамічною називають характеристику, що визначає зміну моменту муфти M при стрибкоподібному додатку напруги U . Наростання струму I_e у обмотці управління при стрибкоподібній зміні напруги відбувається по експоненціальному закону і викликають такий же характер наростання моменту.

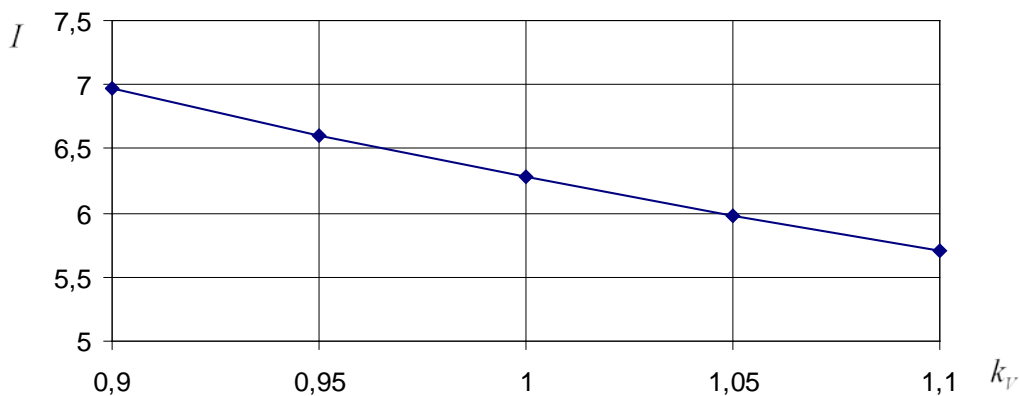


Рис. 5. Регульовальна характеристика розрахованої муфти

Відставання наростання моменту на якийсь час τ відносно струму збудження пояснюється часом, що витрачається на процес утворення зв'язків в робочому зазорі муфти. Це свідчить про те, що при роботі адаптивної системи з порошковою муфтою потрібно забезпечити високу якість сигналу, що управляє. Інакше скачки напруги спричинять підвищення моменту строгування муфти, перевантаження і поломку інструменту.

ВИСНОВКИ

Визначені статичні і динамічні процеси розгону і гальмування в одноступінчатих електромеханічних схемах керованого і регульованого в механічній передачі.

При збільшенні значення M_n – моменту статичного опору навантаження, що виникає при збільшенні товщини шару, що зрізається, при ступінчастій обробці складнопрофільних поверхонь або інших чинників (зміні властивостей оброблюваного матеріалу, зношуванні ріжучого інструменту і тому подібне) здійснюватиметься процес прослизання провідної і веденої ланок муфти, що автоматично приведе до зменшення кутової швидкості навантаження (вихідного валу муфти). Це, у свою чергу приведе до зниження швидкості різання і, відповідно моменту статичного опору навантаження. Таким чином, автоматично підтримуватиметься режим роботи шпindelної голівки, при якому будуть забезпечені всі якісні параметри процесу обробки.

Швидкість повернення до сталого режиму роботи шпindelної голівки безпосередньо залежить від кінетичної енергії, що запасається маховими масами, що розганяються. Відповідно слід прагнути до зниження махових мас швидкісного шпинделя голівки.

Можливе застосування розімкненої системи управління, оскільки система володіє властивістю самовирівнювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Батуев В. А. *Повышение производительности и точности фрезерования пространственно-сложных поверхностей на станках с ЧПУ путем стабилизации сил резания.* – Дисс.канд. техн. наук. – Челябинск: ЧПИ, 1986.
2. Сулов А. Г. *Обеспечение качества обработанных поверхностей с использованием самообучающейся технологической системы* / А. Г. Сулов, Д. И. Петрешин // СТИН. – 2006. – № 1. – С. 21–24.
3. Ильичев Д. Д. *Электроприводы с полупроводниковым управлением. Системы с электромагнитными муфтами* / Д. Д. Ильичев, О. Н. Татур, Г. М. Флидлер. – М.: «Энергия», 1965 – 96 с.
4. Поляков В. С. *Муфты. Конструкции и расчет* / В. С. Поляков, И. Д. Барбаш. – Изд. 4, переработ, и доп. – Л.: Машиностроение, 1973. – 336 с.