

УДК 621.375.826:621

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУЮВАННЯ ЛИВАРНИХ СИСТЕМ ПРИ СТВОРЕННІ БІМЕТАЛІВ ЛАЗЕРНО-ІНДУКЦІЙНИМ МЕТОДОМ

Головко Л.Ф., Романенко В.В., Блощин М.С., Салій С.С., Свічка І.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація: Основними перевагами даного процесу є універсальність, можливість ощадливого і раціонального використання дорогих і дефіцитних матеріалів, ресурсо- і енергозбереження, мінімальний вклад енергії в основу деталі, на яку проводиться наплавлення, екологічна чистота, можливість повної автоматизації. Можливість реалізувати одночасну подачу кількох різних матеріалів для створення спеціальних багатoshарових елементів деталей машин чи устаткування. Процес лазерно-ливарного наплавлення з застосуванням допоміжного індукційного джерела, при цьому лазерний промінь розплавляє необхідно-заданий об'єм на поверхні матеріалу основи, підігрітий індукційним способом матеріал для наплавлення до температури плавлення подається у зону взаємодії двох теплових джерел, створюючи спільну ванну розплаву, тим самим гарантуючи металургійний зв'язок між двома матеріалами. Наведено дані про основні закономірності комбінованого процесу наплавлення, що відбивають зв'язок його основних факторів з вихідними параметрами.

Ключові слова: ливарна система, конструювання, біметали, лазер, матеріал

В останній час в багатьох галузях промисловості застосовуються біметали - матеріали, які отримують за рахунок надійного з'єднання двох металів. Такі матеріали поєднують можливості звичайних сталей (основи) з особливими властивостями матеріалу покриття (робочого шару). Зазвичай, окремі метали і сплави не можуть забезпечити необхідні властивості. Через це набирає популярність технологія біметалів, що дозволяє з'єднати два або більше металів або сплавів. Це дозволяє значно зменшити витрати дефіцитних матеріалів і поєднання в одному матеріалі різних властивостей.

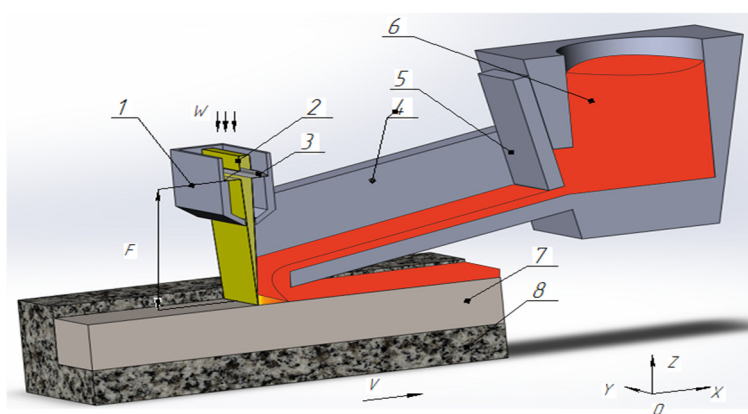


Рис. 1 Схема реалізації лазерно-ливарного способу створення біметалів:

1 – сопло; 2 - лазерне випромінювання; 3 – лінза; 4 – лоток; 5 – розплав металу для отримання робочого шару; 6 – рідкий робочий шар; 7 – твердий робочий шар; 8 – металева основа

Одним із способів виготовлення біметалічних матеріалів є ливарний метод. При цьому відбувається нанесення розплавленого металу на робочу поверхню виробу. Для отримання розплавленого металу використовують індукційний метод нагрівання, що базується на нагріванні матеріалів електричними струмами, що індукуються змінним магнітним полем (рис. 1).

Основними недоліками наведеної системи є необхідність розташовувати ливарну систему на малій відстані від лазерної фокусуєчої системи, що

ускладнює як налаштування, так і позиціонування та примушує кип'ятити сплави для наплавлення. Для вирішення цих проблем пропонується створити ливарну систему, що дозволить не лише плавити метали, але й підтримувати у належно підігрітому стані аж до зони контакту двох розплавлених металів. Один з яких створений взаємодією лазерного випромінювання з поверхнею матеріалу основи, другий – роботою вихрових струмів

індукційної системи. Використання індукційної системи зменшить енерговитрати при плавленні різних металів, за рахунок зміни частот та електричної потужності. Застосування сучасних систем теплової ізоляції та екранування за рахунок використання екранів відомих світових фірм підвищить загальний ККД лазерно-індукційної системи (рис.2).

Електропровідний матеріал розміщується у ливарній системі з системою індукторів, що являє собою один або більше витків дроту (зазвичай мідного), розміщеного навколо відповідного стакану, покритого всередині керамічним шаром – футером, для захисту корпусу та індукторів. В індукційній системі наводяться струми відповідної частоти, близької до резонансної створеного контуру в результаті чого виникає електромагнітне поле, що наводить у розміщеному всередині металі вихрові струми, нагріваючи при цьому до плавлення.

При проектуванні таких систем слід забезпечити високу ізоляваність індуктора від втрат на нагрівання довкілля, підібрати матеріали тигелів, вибрати дріт для індуктора та використати екранувальні системи, що підвищують ККД системи та безпечність конструкції для працівників.

Для забезпечення високої теплоізоляції системи зовні, використовують каолінову вату. Це синтетичне волокно має явно виражені ізоляційні властивості. На відміну від інших теплоізоляційних матеріалів має високу температуру використання (понад 1150 °С.). При цьому володіє високою стійкістю до агресивних середовищ і низькою вагою.

Використання керамічного футеру з розбірним корпусом забезпечує більший термін використання ливарної системи порівняно з існуючими графітними та комбінованими системами.

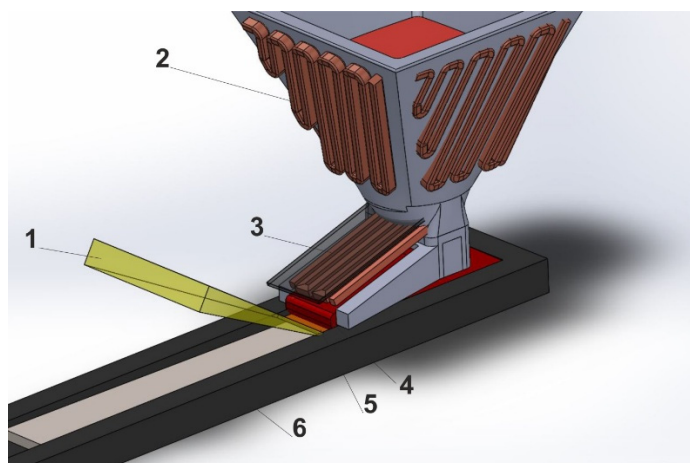


Рис.2. Лазерно-ливарна система безперервного лиття:
 1-лазерний промінь; 2-основна індукційна система; 3- допоміжна індукційна система; 4- розплавлений основною індукційною системою метал; 5- ванна розплаву створена лазерним променем; 6-форма для заливання розплавленого металу.

Список літератури:

1. *Иванова Л.И., Грובהва Л.С., Сокунов Б.А., Сарапулов С.Ф. / ИНДУКЦИОННЫЕ ТИГЕЛЬНЫЕ ПЕЧИ: Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / Екатеринбург: Изд-во УГТУ - УПИ, 2002. 87 с*
2. <http://amasgroup.ru/futerochnye-grafitovye-plity-i-bloki>
3. *Современные методы индукционной плавки* М: Энергия. – 1975.
4. http://prominductor.ru/catalog/vspomogatelnoe_oborudovanie_i_materialy/tigli
5. *Патент України на корисну модель № u2018 03318, Спосіб виготовлення алюмо-сталевих біметалів при з'єднанні пластин потужним джерелом енергії /В.В. Романенко. – Заявл. 29.03.2018.*
6. *Патент України на корисну модель № u2018 03319, Спосіб виготовлення гнутих біметалів при з'єднанні його пластин потужним джерелом енергії /В.В. Романенко. – Заявл. 29.03.2018..*
7. *Голованенко С.А., Меандров Л.В., «Производство биметаллов», «Метталургия»,М. 1966р.*
8. *Nazari J., M. Yousefi та інші, «Production of Copper-Aluminum Bimetal by Using Centrifugal Casting and Evaluation of Metal Interface», Іран, 2015р.*
9. *Reisgen U., Stein L., M. Steiners et al. // Oscillation behavior of modified MSG short-arc process steel-aluminum mixed joints / U. Reisgen, L. Stein, M. Steiners et al. // Welding and Cutting. — 2010. — 62, № 7/8. — S. 396–399.*
10. *Щицын Ю. Д., Неулыбин С. Д., Кучев П. С., Гилев И. А. // Плазменная наплавка высоколегированной стали 10X18H8T на низколегированную сталь 09Г2С / ВЕСТНИК ПНИПУ Машиностроение, материаловедение. – 2014. – С. с.5–13.*

УДК 621.86

АЛГОРИТМ ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧОГО ОРГАНА ЕКСТРУДЕРА

Ляшук О.Л., Дячун А.Є., Клендій В.М., Третяков О.Л.

Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна

Анотація: Приведена схема динамічної моделі процесу зміцнення поверхні гвинтового робочого органу екструдера деформуючими пуансонами. Виведена система нелінійних диференціальних рівнянь, які розв'язані числовим методом Рунге-Кутта з використанням комп'ютерної програми. Для перевірки адекватності запропонованої системи диференціальних рівнянь та усіх її складових приведено алгоритм спеціально розробленої програми із врахуванням результатів експериментальних досліджень.

Ключові слова: динамічна модель, гвинтовий робочий орган, момент, пуансон, алгоритм

Робота більшості транспортуючих пристроїв зазвичай супроводжується певними динамічними навантаженнями, які частково спричинені неточністю монтажу ланок кінематичного ланцюга певного механізму. Будь-яку деталь, яка обмежує надійність і довговічність всієї конструкції й працює в умовах високих напружень з врахуванням характеру навантаження, робочих температур, навколишнього середовища можна розглядати як важко навантажену. Деталі з гвинтовими профілями відносяться саме до таких. У багатьох сучасних транспортних машинах гвинтові деталі є основними робочими органами.

Відомі різноманітні методи зміцнення пластичним деформуванням, що широко досліджуються як закордонними так і українськими науковцями. Цікавим для зміцнення поверхневих шарів деталей машин є метод статико-імпульсної обробки, що розроблений і запатентований такими дослідниками як А.В. Киричек, Л.В. Картанов, Д.Л. Соловійов, А.Г. Лизуткін, М.С. Дрозд [1-5].

Систему, до складу якої входить гвинтовий робочий орган, деформуючий пуансон, диск та конструктивні елементи установки представлено механічною моделлю, що складається із зосереджених мас, з'єднаних пружними зв'язками. Пружні зв'язки допустили невагомими, що характеризуються постійними коефіцієнтами жорсткості. Місцевими напруженнями і деформаціями в місцях з'єднання окремих елементів системи знехтували. Згідно вищевказаного систему із гвинтового робочого органу, деформуючого пуансона, диска та конструктивних елементів установки можна звести до еквівалентної багатомасової системи на

рис. 1 (патент України на корисну модель № 108422 [6]).

До зосереджених мас, які показані на рис. 1 віднесено: I_1 - приведений момент інерції диска з деформуючими пуансонами, I_2 - приведений момент інерції муфти, I_3 - приведений момент інерції ротора двигуна, I_4 - приведений момент інерції гвинтового робочого органу, m_1 - маса диска з деформуючими пуансонами, m_4 - маса гвинтового робочого органу; m_5 - маса деформуючого пуансона. Деформуючі пуансони рівномірно розміщені по колу диска. Крім того, на рисунку 1 позначені приведені коефіцієнти крутильної жорсткості: C_{12} - приведена жорсткість вала

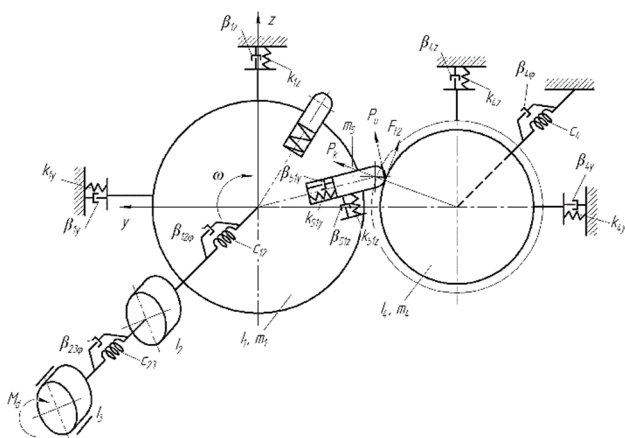


Рис. 1. Схема динамічної моделі процесу зміцнення поверхні гвинтового робочого органу деформуючими пуансонами

між диском та муфтою, C_{23} - приведена жорсткість вала між муфтою та ротором двигуна, C_4 - приведена жорсткість гвинтового робочого органу, а також показано приведені коефіцієнти лінійної жорсткості: k_{1z} , k_{1y} - приведена лінійна жорсткість диска відповідно в напрямках осей z та y ; k_{4z} , k_{4y} - приведена лінійна жорсткість гвинтового робочого органу в напрямках осей z та y ; k_{5z} , k_{5y} - приведена лінійна жорсткість деформуючого пуансона в напрямках осей z та y . Крім цього, позначені коефіцієнти демпфування: $\beta_{12\phi}$ - коефіцієнт демпфування крутильних коливань вала між диском та муфтою, $\beta_{23\phi}$ - коефіцієнт демпфування крутильних коливань вала між муфтою та ротором двигуна, $\beta_{4\phi}$ - коефіцієнт демпфування крутильних коливань між гвинтовим робочим органом та шпинделем верстата; β_{1z} , β_{1y} - коефіцієнти демпфування лінійних коливань між диском та корпусом установки в напрямках осей z та y ; β_{4z} , β_{4y} - коефіцієнти демпфування лінійних коливань між гвинтовим робочим органом та шпинделем в напрямках осей z та y ; β_{51z} , β_{51y} - коефіцієнти демпфування лінійних коливань між деформуючим пуансоном та диском в напрямках осей z та y . На масу I_4 , m_4 , а отже і на гвинтовий робочий орган та деформуючий пуансон m_5 будуть діяти сила удару P_u , сила тертя між деформуючим пуансоном та гвинтовим робочим органом F_{t2} та сила контакту P_k між деформуючим пуансоном та гвинтовим робочим органом.

За час контакту деформуючого пуансона із гвинтовим робочим органом можна виділити наступні етапи: 1. Зближення на швидкості V_k , внаслідок чого проходить удар. 2. Переміщення пуансона по поверхні гвинтового робочого органу під навантаженням, що зменшується при зменшенні перекриття гвинтового робочого органу та деформуючого пуансона. 3. Вихід пуансона із зони зміцнення з наступним затухаючим коливанням. Час контакту пуансона із гвинтовим робочим буде рівний:

$$t_K = \frac{\alpha}{\omega} = \frac{\arccos\left(1 - \frac{h}{R_3}\right)}{\omega}, \quad (1)$$

де α - кут контакту деформуючого пуансона із гвинтовим робочим органом, h - величина перекриття гвинтового робочого органу та деформуючого пуансона; R_3 - радіус гвинтового робочого органу, по якому проходить зміцнення поверхні; ω - частота обертання диска.

Час між ударами пуансонів по поверхні гвинтового робочого органу:

$$t_1 = \frac{2\pi}{z_1\omega}, \quad (2)$$

де z_1 - кількість пуансонів, що рівномірно розміщені на диску.

За узагальнені координати вибрано кути повороту інерційних мас $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$ та лінійні переміщення мас в напрямку осей z та y : $z_1, z_4, z_5, y_1, y_4, y_5$.

Виведено диференціальні рівняння руху системи для вимушених коливань, застосовуючи рівняння Лагранжа другого роду із врахуванням функції розсіювання:

$$\left. \begin{aligned} I_1 \cdot \ddot{\phi}_1 + C_{12} \cdot (\phi_1 - \phi_2) + \beta_{12\phi} (\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2) - k_{51z} (z_1 - R_u \phi_1 - z_5) R_u - \\ - \beta_{51z} (\dot{z}_1 - R_u \dot{\phi}_1 - \dot{z}_5) R_u = R_u (P_u + F_{t2} \cos(\alpha + \beta_2) + P_k \sin \alpha \cos \beta_2); \\ I_2 \cdot \ddot{\phi}_2 + C_{12} \cdot (\phi_2 - \phi_1) + \beta_{12\phi} (\dot{\phi}_2 - \dot{\phi}_1) + C_{23} \cdot (\phi_2 - \phi_3) + \beta_{23\phi} (\dot{\phi}_2 - \dot{\phi}_3) = 0; \\ I_3 \cdot \ddot{\phi}_3 + C_{23} \cdot (\phi_3 - \phi_2) + \beta_{23\phi} (\dot{\phi}_3 - \dot{\phi}_2) = -M_d; \\ I_4 \cdot \ddot{\phi}_4 + C_4 \cdot \phi_4 + \beta_{4\phi} \dot{\phi}_4 = R_3 (P_u \cos(\alpha + \beta_2) + F_{t2} + P_k \sin \alpha \cos \alpha); \\ m_5 \cdot \ddot{z}_5 - k_{51z} (z_1 - R_u \phi_1 - z_5) - \beta_{51z} (\dot{z}_1 - R_u \dot{\phi}_1 - \dot{z}_5) = P_{uz} + F_{t2z} + P_{kz}; \\ m_1 \cdot \ddot{z}_1 + k_{51z} (z_1 - R_u \phi_1 - z_5) + \beta_{51z} (\dot{z}_1 - R_u \dot{\phi}_1 - \dot{z}_5) + k_{1z} z_1 + \beta_{1z} \dot{z}_1 = 0; \\ m_4 \cdot \ddot{z}_4 + k_{4z} z_4 + \beta_{4z} \dot{z}_4 = P_{uz} + F_{t2z} + P_{kz}; \\ m_5 \cdot \ddot{y}_5 + k_{51y} (y_5 - y_1) + \beta_{51y} (\dot{y}_5 - \dot{y}_1) = P_{uy} + F_{t2y} + P_{ky}; \\ m_1 \cdot \ddot{y}_1 + k_{1y} y_1 + \beta_{1y} \dot{y}_1 + k_{51y} (y_1 - y_5) + \beta_{51y} (\dot{y}_1 - \dot{y}_5) = 0; \\ m_4 \cdot \ddot{y}_4 + k_{4y} y_4 + \beta_{4y} \dot{y}_4 = P_{uy} + F_{t2y} + P_{ky}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де R_u - радіус кола ударної взаємодії, β_2 - кут контакту деформуючого пуансона із гвинтовим робочим органом, M_d – крутний момент на двигуні.

Для перевірки коректності динамічної моделі та розрахунку ступеня зміцнення робочого органу екструдера була розроблена програма на мові C#, блок-схема алгоритму якої представлена на рис. 2.

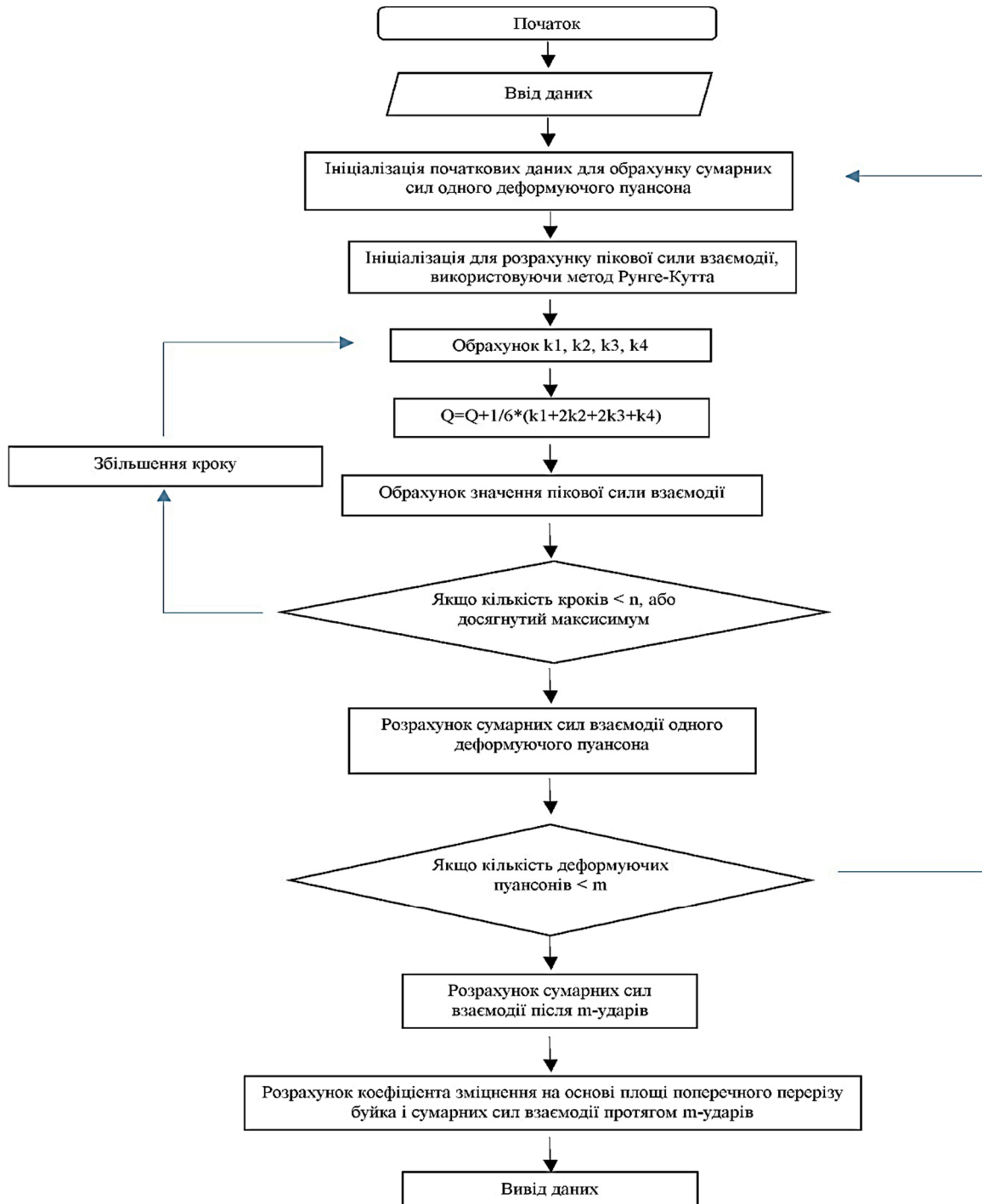


Рис. 2. Блок-схема алгоритму програми для перевірки коректності динамічної моделі та обчислення ступеня зміцнення робочого органу екструдера

Враховуючи її складність, ми відібрали найістотніші параметри як вхідні змінні, а менш важливі використали як константи: 1. Першим кроком ми задаємо кількість послідовних ударів для зміцнення заготовки і також задаємо вхідні параметри, такі як розміри диска і

деформуючого пуансона, характеристики пристрою для зміцнення, марку сталі, вихідну мікротвердість, глибину зміцнення, шорсткість поверхні тощо. 2. Для отримання пікової сили взаємодії в момент початку зіткнення потрібно розв'язати систему рівнянь вимушених коливань, для цього ми використовуємо метод Рунге-Кутта 4-го порядку. 3. Розраховуємо початковий крок і встановлюємо ліміт 10 хвилин для розрахунку пікової сили в момент одного удару. Це додаткове обмеження необхідне, тому що розрахунок максимуму пікової функції може відбуватися довго, враховуючи високу точність (малий крок ітерації). 4. Після отримання максимуму функції за допомогою алгоритму Рунге-Кутта потрібно розрахувати сумарні сили взаємодії між деформуючим пуансоном та гвинтовим робочим органом протягом одного зіткнення. Для цього потрібно використати звичайну алгебраїчну функцію. 5. Для отримання сумарних сил взаємодії протягом декількох ударів потрібно заново перерахувати сумарні сили між деформуючим пуансоном та гвинтовим робочим органом протягом наступного зіткнення і т.д. Отримані сили потрібно просумувати. 6. На основі отриманих даних проводимо розрахунок коефіцієнта зміцнення робочого органа екструдера, враховуючи те, що відбиток деформуючого пуансона має сферичну форму. 7. Враховуючи складність динамічної моделі, нами були використані наступні технології: а) використана бібліотека Parallel Tasks; б) для збереження результатів розрахунків сумарних сил взаємодії протягом одного удару було використано список (List), який дозволяє проводити розрахунки, використовуючи технологію LINQ (за допомогою запитів); в) результати розрахунків зберігаються в таблиці DBF, використовуючи технологію ADO.NET.

Програма додатково виводить проміжну інформацію для контролю результатів розрахунків для одного удару (рис. 3). Її можна використати для аналізу зміни вихідних параметрів, що впливають на результат проміжних розрахунків. Для візуалізації залежності твердості від інших параметрів, зокрема кількості ударів, розроблено алгоритм динамічної моделі, який дозволяє краще зрозуміти процес зміцнення і знайти оптимальне співвідношення вхідних даних.

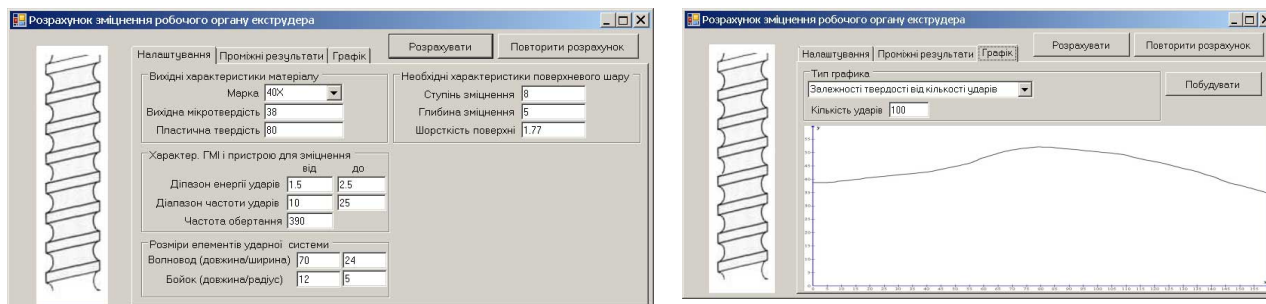


Рис. 3. Вікна програми розрахунку ступеня зміцнення робочого органа екструдера

Список літератури:

1. Упрочнение статико-импульсной обработкой ППД с использованием гидроударных устройств / А. Г. Лазуткин и др. // Механизмы и машины ударного периодического и вибрационного действия: Материалы междунар. научного симпозиум. – Орел, 2000. – С. 318 – 320.
2. Картанов Л.В. Повышение долговечности деталей машин использованием материалов с регулярной гетерогенной структурой: дис. ... канд. техн. наук / Картанов Леонид Владимирович. - ВлГУ, 1997. – 170 с.
3. Киричек А.В. Обеспечение качества несоосных винтовых механизмов деформационным упрочнением их сопрягаемых деталей: дис. ... докт. техн. наук / Киричек Анатолий Владимирович. - М., 1999. – 394 с.
4. Применение деформационного упрочнения статико-импульсной обработкой для повешения контактной выносливости деталей / Киричек А.В. и др // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки: мат. межд. науч.-техн. конф. - Ростов-на-Дону, 2008. – С. 16-20.
5. Дрозд М.С. Определение механических свойств металлов без разрушения / М.С. Дрозд. – М: Изд-во Металлургия, 1965. – 171 с.
6. Пат. 108422. Україна, МПК(2006.01) В24В 39/04. Обкатний інструмент для зміцнення гвинтових робочих органів / Ляшук О. Л.; Сокіл М. Б.; Третьяков О. Л.; Навроцька Т. Д.; Клендій В.М.; Марчук Р.М. – № u201601511; заявл. 18.02.16.; опубл. 11.07.16, Бюл. №13.

УДК 621.941

СИНТЕЗ ЗАТИСКНИХ ПАТРОНІВ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ НА ОСНОВІ МОРФОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ

Литвин О.В., Ящук І.Р.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація: розроблені конструктивна та структурна схеми плунжерного затискного патрона токарного верстата, що складається з п'яти основних елементів. Для опису структури використані поняття силового та енергетичного потоків. Структуру представлено у вигляді системи ієрархічних рівнів.

Ключові слова: затискний патрон, синтез, структура, зв'язки, верстат

Основна частина конструкцій затискних патронів (ЗП) залишається традиційною, що, за теперішніх умов розвитку машинобудування, не відповідає вимогам до процесу закріплення деталі у сучасних верстатах і значно вповільнює його розвиток в цілому.

Отже, вирішення задачі щодо розробки нових високоефективних ЗП є актуальною. Відсутність прогресивного технологічного оснащення робить верстати не конкурентоздатними на світовому ринку, обмежуючи їх можливості по продуктивності, точності та швидкості переналагоджування.

З літератури [1-2], відомо, що процес проектування таких складних технічних систем, як затискний патрон, вимагає системного підходу. В процесі проектування необхідно виконати індивідуальний опис на основі опису всіх суттєвих особливостей у вигляді сукупності взаємопов'язаних характерних елементів або ознак.

У відповідності до службового призначення конструкція ЗП повинна забезпечувати перетворення руху механізму приводу в переміщення ЗЕ, закріплення та базування заготовки при токарній обробці на верстаті, визначає точність і шорсткість обробленої поверхні.

Дерево є типовою формою опису складного технічного рішення, такого як ЗП, що відображає багаторівневий ієрархічний взаємозв'язок структурних ознак: від елементів першого рівня з наступним уточненням конструктивних і конструктивно-функціональних характеристик шляхом приєднання нових елементів на наступних рівнях [1].

Безліч рішень ЗП одного класу може бути представлено у вигляді групи функціонально взаємопов'язаних дерев [1]. Певне поєднання їх гілок призводить до отримання заданих характеристик.

Побудові дерев конструктивних і апаратурних ознак ЗП передують розробка структури функціональних ознак дерева ЗП (функціонального дерева). Аналізуючи цю структуру, будують дерева основного і допоміжного ЗП шляхом послідовного приєднання як загальновідомих, так і нових ознак, що відповідають високим техніко-економічними показниками і сучасному стану розвитку техніки.

Для синтезу нових конструкцій плунжерних ЗП побудована структурна схема (рис.1), описана позначенням типу:

$$K = J_1^j N_k^s \quad (1.1)$$

Згідно методу уніфікаційного синтезу структура позначається парою символів: перший елемент такої конструкції означає структурний елемент, а другий - ієрархічну підпорядкованість такого елемента в ієрархічній структурі з основних п'яти елементів, а саме:

1) блок корпусу 1₁1₀, 2) передавально – підсилюючий механізм 2₁1₀, 3) привод затиску 3₁1₀, 4) установочні елементи 4₁1₀, 5) затискні елементи 5₁1₀.

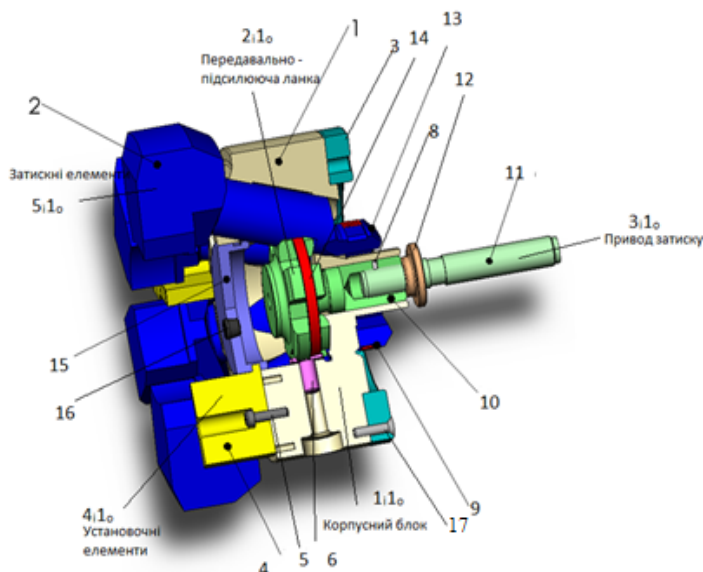


Рис. 1. Структурна схема плунжерного ЗП

Кодове позначення елемента $J = 1 \dots n$ – номер ієрархічного рівня елемента в ієрархічній сукупності рівнів затискного патрона; i та s – позначення номера варіанта виконання відповідно елемента та сукупності елементів ($s=0$ - одночасне застосування ознак та $s=1$ альтернативність ознак із числа можливих); $N = 1 \dots 5$ – номер ієрархічного рівня сукупності елементів, у склад якого входить даний елемент; j та k – відповідно номери груп ієрархічних рівнів, у яких розміщені елемент i та сукупність елементів ієрархії.

Якщо елемент не відзначається унікальністю, то він позначається індексом "i", в іншому випадку порядковим номером даного елемента в множині технічних рішень даної групи (рис.2).

$$K = \begin{vmatrix} 1_i I_i & & & & \\ & 2_i I_i & & & \\ & & 3_i I_i & & \\ & & & 4_i I_i & \\ & & & & 5_i I_i \end{vmatrix}$$

Рис. 2. Варіанти можливих конструкцій ЗП у вигляді матриці

Структуру ЗП, що розробляється, можна представити у вигляді системи ієрархічних рівнів. Варіанти можливих конструкцій ЗП можна подати у вигляді матриці. Для даного патрона ієрархічна модель складається з 5 ієрархічних рівнів. Складена матриця дозволяє синтезувати множини схем структур компоновки затискного патрона, яку можна представити у виді матриць структур, позначивши елементи матриць через відповідну нумерацію альтернатив.

Висновки по роботі:

Розроблено багатоваріантну структуру конструктивних та функціональних реалізацій затискних патронів з врахуванням взаємозв'язку структури патрона з особливостями морфології. Розроблена ієрархічна модель технологічної системи "Затискний патрон", яка в процесі синтезу генерує множини можливих альтернатив для кожного з п'яти ієрархічних рівнів, а також принципи синтезу затискних патронів з використанням 5-ти деревовидних ієрархічних рівнів.

Розроблена процедура синтезу є розвитком відомого морфологічного підходу та може бути використана при ранніх стадіях проектування в машинобудуванні. Запропонований підхід дозволяє зменшити розмірності морфологічної таблиці шляхом оцінки та кластеризації варіантів рішення.

Список літературиР:

1. Гамрекелі М.Н. Метод синтеза оптимальных аппаратурно-функциональных технических комплексов // Известия вузов. Машиностроение -2006, № 9. –С. 75-84.
2. Кузнецов Ю.М. Передумови генетично-морфологічного синтезу електромеханічних приводів затискних механізмів, що обертаються / Кузнецов Ю. М., Придальний Б. І. // Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування: збірник наукових праць. – 2015. – № 3(75). – С. 48–55.
3. Васильків В.В. До питання синтезу конструкції механізмів з робочими затискними пружними гвинтовими елементами / В. В. Васильків, І. С. Генік, О. Кочубинська // Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. праць. – 2006. – Вип. 3. – С. 171–180.
4. Гевко Б. М. Уніфікований синтез розточних головок для формоутворення кільцевих канавок / Б. М. Гевко, О. Л. Ляшук, І. Б. Гевко, Р. Хорошун // Наукові нотатки. - 2011. - Вип. 35. - С. 37-45.

УДК 621.923

ШЛИФОВАНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС КРУГАМИ ИЗ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА

Рябченко С.В.

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины

Аннотация: Рассматриваются вопросы повышения эффективности шлифования высокоточных зубчатых колес 3–4 степени точности, основанной на использовании инструмента из кубического нитрида бора (КНБ). Исследована работоспособность тарельчатых шлифовальных кругов из КНБ на различных связках и даны рекомендации по их применению при зубошлифовании.

Ключевые слова: шлифование, зубчатые колеса, тарельчатые круги из КНБ

Зубошлифование является одним из основных способов финишной обработки закаленных зубчатых колес. Шлифованием обеспечивается 3–6 степень точности зубчатых колес и шероховатость поверхности Ra 0,20–1,2 [1].

Шлифование прецизионных и высокоточных зубчатых колес производится по методу обката на зубошлифовальных станках, работающих двумя абразивными кругами. Одним из путей повышения производительности обработки зубчатых колес этим методом является применение кругов из кубического нитрида бора (КНБ) [2].

Целью наших исследований являлось повышение эффективности шлифования высокоточных зубчатых колес с использованием абразивных кругов из кубического нитрида бора (КНБ).

Зубчатые колеса шлифовали на специальном стенде, созданном на базе зубошлифовального станка модели 5891, работающего с одним тарельчатым кругом. [3]. При этом применялись тарельчатые круги диаметром 225 мм формы 12A2-20° из КНБ зернистостью 125/100 на органической связке. Сравнения эффективности шлифования зубчатых колес кругами из КНБ проводили в сравнении со шлифованием кругами из электрокорунда, наиболее часто используемого при данном методе шлифования. Шлифовали зубчатые колеса из стали ХВГ (62 НРС) с модулем $m = 6$ мм, количеством зубьев $z = 21$, шириной венца $B = 20$ мм.

Анализ результатов шлифования показал, что эффективная мощность шлифования зубчатых колес при обработке кругами из КНБ в 2 раза ниже, чем кругами из белого электрокорунда и в 1,5 раза ниже, чем кругами из хромистого электрокорунда. Процесс шлифования кругами из электрокорунда сопровождался интенсивным износом круга и потерей их режущей способности, что вызывало необходимость правки круга через каждые 3–5 зубьев. Правку кругов из КНБ осуществляли после полного оборота колеса.

Параллельно оценивали шероховатость (Ra) эвольвентной поверхности зубчатых колес после шлифования.

Результаты исследования шероховатости, показали повышение шероховатости эвольвентной поверхности зубьев Ra 1,0 при шлифовании кругами из КНБ. Это обусловлено содержанием агрегированных зерен КНБ с покрытием стеклом размером до 0,5–1 мм. На всех исследуемых режимах обработки фиксировали повышение шероховатости поверхности при уменьшении продолжительности обката зубчатого колеса, причем при обработке без охлаждения эта тенденция более выражена. Заметна также более высокая разница шероховатости при обработке с охлаждением между электрокорундом и КНБ. Так, при обработке без охлаждения разница составляет в среднем 20%, с охлаждением - до 45%. Глубина резания на всех исследуемых диапазонах не существенно влияла на шероховатость поверхности, хотя тенденция к повышению шероховатости наблюдалась.

Анализ погрешности профиля зуба и мощности резания показал, что при обработке зубчатого колеса режущая способность круга не снижается. Наблюдается размерный износ круга, о чем свидетельствует изменение значений износа по периферии круга $l = 2,2$ мм и торцу круга $h = 0,13$ мм, а также изменение фактического съема после каждого прохода (коэффициент съема припуска увеличился с 0,5 до 0,7).

Установлено, что при черновом шлифовании после первого прохода на режущей кромке круга формируется площадка износа $h = 30$ – 50 мкм, что соответствует приработочному износу. Аналогичный результат получен при финишном шлифовании зубчатых колес, однако площадка износа, гораздо меньшая - до $h = 30$ мкм.

Выводы: В результате проведенных исследований установлено, что использование тарельчатых шлифовальных кругов из КНБ позволяет существенно повысить эффективность зубошлифования высокоточных зубчатых колес, как по производительности обработки, так и по качеству обработки. Установлено, что на всех исследуемых режимах обработки мощность шлифования при использовании кругов из КНБ ниже в 1,5–2 раза, чем при использовании кругов из электрокорунда. Шлифование кругами из КНБ обеспечивает необходимую точность обработки зубчатых колес (3–4 степени) и шероховатость поверхности Ra 0,65. Установлено, что для уменьшения периода приработки шлифовального круга из КНБ на режущей кромке необходимо предварительно формировать фаску размером h до 30 мкм.

Список литературы:

1. Сильвестров Б.Н. Зубошлифовальные работы/ Б.Н.Сильвестров – М.: Высш. шк., 1985. – 272 с.
2. Мишнаевский Л.Л. Износ шлифовальных кругов/ Л.Л.Мишнаевский – К.: Наук. думка, 1982. – 192 с.
3. Рябченко С.В., Сильченко Я.Л., Федоренко В.Т., Полонский Л.Г., Яновский В.А. Исследование качества обрабатываемой поверхности зубчатых колес после шлифования кругами из КНБ// Процеси механічної обробки в машинобудуванні, Зб. наук. праць. Житомир ЖДТУ, 2015. – Вип.. 15. с. 167-177.

УДК 621.9.06: 621.822.176

АДАПТИВНА СИСТЕМА ЖИВЛЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ПІДШИПНИКІВ ВИСОКОШВИДКІСНОГО ШПИНДЕЛЬНОГО ВУЗЛА

Сапон¹ С.П., Космач¹ О.П., Федориненко¹ Д.Ю., Цеков² Б.В., Безручко¹ В.М.

1 - Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

2 - ТОВ «ПЕТ Технолоджіс Україна», м. Чернігів, Україна

***Анотація:** Представлено схемне рішення адаптивної системи живлення шпindelних гідравлічних підшипників технологічного обладнання. Експериментальним шляхом встановлено, що застосування частотно-регульованого приводу насоса в системі живлення шпindelних гідростатичних підшипників шпindelного вузла токарного прецизійного верстата дозволило підвищити показники енергоефективності об'ємного гідропроводу системи. Запропоноване схемне рішення гідравлічної системи живлення шпindelних опор з машинним регулюванням режимів подачі робочої рідини може бути використано для підвищення енергоефективності широкої номенклатури гідропроводів технологічного обладнання зі змінними режимами експлуатації.*

***Ключові слова:** система живлення, гідравлічні підшипники, шпindelний вузол, технологічне обладнання*

Одні з найважливіших показників ефективності процесів механічної обробки – точність, продуктивність, собівартість в основному забезпечуються формоутворюючими вузлами верстатів. Підвищення технічного рівня існуючих верстатів та успішне впровадження верстатів нового покоління залежить від можливості забезпечити високі показники якості та ефективності їх експлуатації.

В роботі [1] відмічено, що значний вплив на споживання електроенергії у процесі обробки чинить привод головного руху верстата (близько 30 %) і допоміжних верстатних вузлів (до 60% від загального споживання електроенергії).

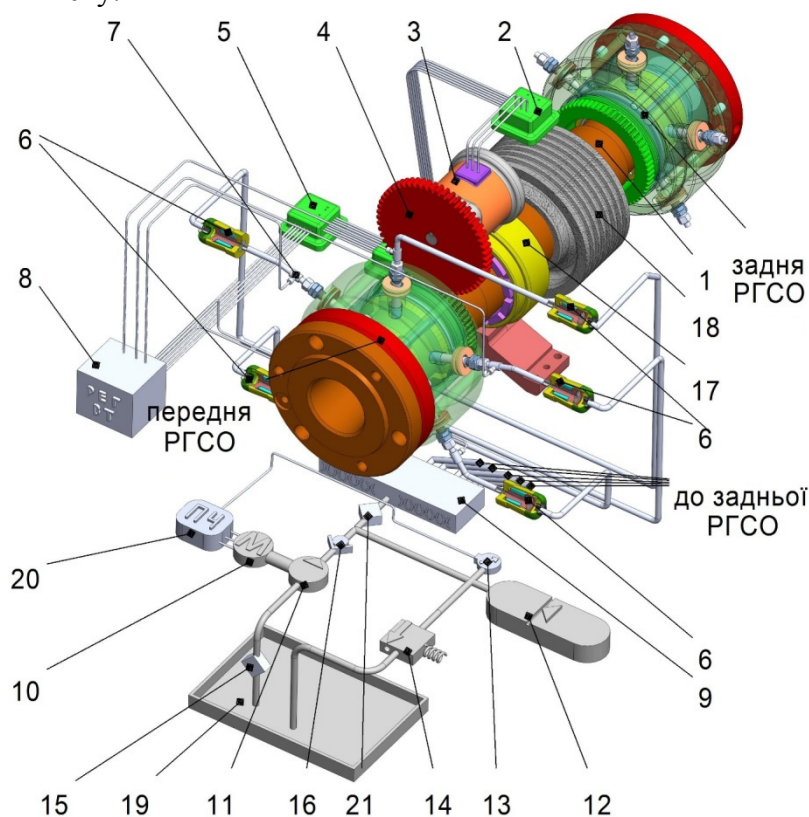
Застосування в якості опор шпindelних вузлів адаптивних гідравлічних опор є ефективним напрямком підвищення точності верстатів [2]. Суттєвою перевагою гідравлічних опор є можливість зниження експлуатаційних витрат завдяки регулюванню геометричних, експлуатаційних параметрів залежно від характеру технологічного навантаження. мають Достатньо низькі показники енергоефективності існуючих систем живлення гідравлічних шпindelних підшипників [3] зумовили актуальність виконання даної роботи.

В роботі [4] відмічено, що перспективними шляхами підвищення енергоефективності гідравлічних систем живлення опор обертових вузлів технологічного обладнання є регулювання режимами живлення та використання частотно-регульованого приводу насоса.

На рис. 1 наведено розроблену принципову конструкцію шпindelного вузла токарного верстата із адаптивною системою живлення гідравлічних опор шпинделя з використанням регульованих клапанів витрат, гідроакумулятора та частотно-регульованого приводу насоса. Для зменшення втрат потужності на в'язке тертя на високих швидкостях обертання шпинделя 1 використано конструкції регульованих гідростатодинамічних підшипників з несучими карманами еліпсоїдної форми з плавною зміною перерізу проточної частини [5, 6]. Таке конструктивне рішення дозволяє зменшити втрати потужності, обумовлені стрибкоподібною зміною перерізу проточної частини сегмента.

Живлення гідравлічних підшипників шпindelних опор здійснюється через регульовані клапани витрат рідини 6 (5 шт), пропускна здатність яких безступінчасто регулюється мікропроцесорним регулятором 5 з регулятором САК витратними характеристиками 8 залежно від частоти обертання шпинделя 1 та режимів мащення опори. В гідродинамічному режимі мащення та в режимі холостого ходу обладнання живлення підшипників здійснюється гідроакумулятором 12, насосна установка при цьому вимкнута. У разі зменшення тиску робочої рідини в системі живлення нижче попередньо встановленого значення датчик тиску 13 подає сигнал до мікропроцесора 8, що керує частотним перетворювачем 20. Частотний перетворювач

20 починає плавно збільшувати частоту вхідного струму асинхронного електродвигуна 10 приводу гідравлічного насоса 11, тим самим забезпечуючи плавне вмикання насосної установки для одночасного живлення підшипника та наповнення ємності гідроаккумулятора 12 до необхідного значення тиску.



1 – шпindel, 2 – мікроконтролер, 3 – кроковий двигун, 4 – шестерня, 5 – мікропроцесорний регулятор, 6 – регульовані клапани витрат, 7 – давач тиску, 8 – регулятор САК витратними характеристиками, 9 – колектор, 10 – електродвигун, 11 – гідронасос, 12 – гідроаккумулятор, 13 – давач тиску, 14 – розвантажувальний клапан гідроаккумулятора, 15 – фільтр чорнової очистки, 16 – фільтр тонкої очистки, 17 – опорний підшипник, 18 – шків, 19 – гідравлічний бак, 20 – частотний перетворювач

Рис.1. Принципова конструкція шпиндельного вузла токарного верстата з адаптивною системою живлення

При перевищенні швидкості обертання шпинделя деякого граничного значення, що задається адаптивним регулятором 5, мікропроцесорний блок керування 8 припиняє подачу робочої рідини до програмно заданої кількості n карманів підшипника шляхом перекидання відповідних пропорційних клапанів витрат рідини 6. При цьому мащення підшипника здійснюється у гідродинамічному режимі.

З метою охолодження підшипника при роботі на високих швидкостях робоча рідина надходить до $(k-n)$ карманів підшипника.

При зменшенні швидкості обертання шпинделя нижче попередньо встановленого граничного значення мікропроцесорний блок керування 8 шляхом регулювання пропускної здатності клапанів 6 відновлює подачу робочої рідини до всіх карманів підшипника. Система переходить до гідростатичного режиму мащення.

Під час роботи технологічного обладнання на холостому ході, подача робочої рідини до k карманів підшипника зменшується до мінімального значення, що забезпечується шляхом регулювання пропускної здатності пропорційних клапанів витрат 6 мікропроцесорним блоком керування 8.

В результаті експериментальних досліджень встановлено, що застосування частотно-регульованого приводу насоса в системі живлення гідростатичних підшипників шпиндельного

вузла токарного прецизійного верстата УТ16А дозволило знизити в 1,2 - 1,8 рази споживання електричної енергії двигуном приводу насоса системи живлення залежно від величини тиску робочої рідини в опорі.

Представлене схемне рішення гідравлічної системи живлення шпindelних опор з машинним регулюванням режимів подачі робочої рідини може бути використано для підвищення енергоефективності широкої номенклатури гідроприводів технологічного обладнання зі змінними режимами експлуатації.

Список літератури:

1. *Aspects of Energy Efficiency in Machine Tools* [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.heidenhain.us/enews/stories_1011/MTmain.php
2. Федориненко Д.Ю. Шпindelні гідростатичні підшипники: монографія / Д. Ю. Федориненко, С.П. Сапон – Чернігів: ЧНТУ, 2016. – 405 с.
3. Пат. 89288 UA, МПК F16C 32/06. Регульований радіальний гідростатодинамічний підшипник / Федориненко Д.Ю., Сапон С.П., Хабібуліна А.М.; заявник і патентовласник Чернігівський національний технологічний 5 університет. - № u201314341; заявл. 09.12.2013; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 7.
4. Підвищення енергоефективності технологічного обладнання з обертовими вузлами на гідравлічних опорах / [Д. Ю. Федориненко, С. П. Сапон, О. П. Космач, Б. В. Цеков] // Прогресивні напрямки розвитку технологічних комплексів: збірник наукових праць IV Міжнародної науково-технічної конференції ТК-2016 (26–28 травня 2016 р., м. Луцьк). – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2016. – С. 60 – 62.
5. Патент України на корисну модель 100782 UA, МПК F16C 32/06. Регульований сегментний гідростатодинамічний підшипник / Федориненко Д.Ю., Сапон С.П., Цеков Б.В., Бойко С.В.; заявник і патентовласник Чернігівський національний технологічний університет. – № u 201501544; заявл. 23.02.2015; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15.
6. Патент України на корисну модель 104015 UA, МПК F16C 32/06. Регульований радіальний сегментний гідростатичний підшипник / Сапон С.П., Цеков Б.В., Федориненко Д.Ю., Бойко С.В.; заявник і патентовласник Чернігівський національний технологічний університет. – № u 201506272; заявл. 25.06.2015; опубл. 12.01.2016, Бюл. № 1.

УДК 621.941

ПРОГРЕСИВНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ

Литвин О.В., Гаврушкевич Н.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація. Розроблена та досліджена конструкція розтискного плунжерного патрона для закріплення комплектної заготовки поршневих кілець, що значно підвищує продуктивність та точність обробки деталей масової номенклатури, таких як поршневі кільця двигунів, компресорів з врахуванням особливостей технології обробки нежорстких легкодеформованих деталей.

Ключові слова: верстат, розтискний патрон, токарна обробка, кільце, момент сил тертя.

Сучасне автомобілебудування характеризується стрімким зростанням випуску автомобілів та збільшенням швидкості, потужності та надійності двигунів внутрішнього згорання. Це призводить до різкого зростання випуску одних з найбільш відповідальних та навантажених деталей двигуна, а саме поршневих кілець [1]. Поршневі кільця - це незамкнуті кільця, які з невеликим проміжком (до декількох сотих часток міліметра) посаджені в канавках на зовнішніх поверхнях поршнів в поршневих двигунах (таких як двигуни внутрішнього згорання або парові двигуни) і поршневих компресорах.

Незважаючи на гадану простоту, технологія виготовлення поршневих кілець є одним із найскладніших завдань машинобудування. Високі вимоги до точності розмірів, форми і

взаємного розташування поверхонь поршневих кілець покликані забезпечити бездоганне прилягання кільця до стінки циліндра, а також установку канавку поршня з необхідними мінімальними зазорами. Додатковою складністю для металообробки є нежорсткість конструкції кільця. Точність розмірів на основні поверхні витримується по квалітету 7. Шорсткість зовнішньої циліндричної поверхні кільця $Ra=2,5$ мкм, що забезпечує хороше притирання до дзеркала циліндра. Шорсткість торцевих поверхонь кільця $Ra=0,63$ мкм. Поршневі кільця виготовляють з комплектних заготовок на 6-18 кілець з сірого чавуну 4Н15Д7 ГОСТ 7769-82, що має високі механічні властивості, хорошу пружність та зносостійкість.

Для операції токарної обробки зовнішньої поверхні і розрізування комплектної заготовки на окремі кільця використовується інноваційний, розроблений на кафедрі конструювання верстатів та машин, розтискний патрон плунжерного типу. До плунжерних патронів відносяться патрони, у яких безпосередніми робочими органами є плунжери круглого, овального або прямокутного поперечного перерізу. Радіальне переміщення плунжерів, розташованих через 120° , виконується за допомогою клинів з трьома скосами. Коли довжина базового отвору деталі перевершує половину його діаметра (як в даному випадку), застосовують трьохрядні плунжерні патрони.

Патрон (рис.1, 2) складається з фланця, що кріпиться на шпинделі верстата. На фланці гвинтами 31 фіксується корпус 1 з трьома рядами отворів, кожний ряд має по три отвори. В отворах розміщені кулачки 3, що переміщуються радіально. З кулачками 3 взаємодіють штоки 4, 6 та 8. На штоках 4, 6, 8 виконані скоси під кутом 20° для взаємодії з відповідними затискними кулачками. Корпус 1 закритий з робочого торця кришкою 9. На корпусі 1 розміщено упор 2.

При переміщенні зліва направо тяги 5 відбувається деформування трьох пакетів тарільчастих пружин 18, спочатку пакет М (27 пружин), потім пакет Л (23 пружини) і пакет К (19 пружин). Це призводить до переміщення штоків 4, 6 та 8 вправо по черзі, що дозволяє відрізати інструментом кільця від комплектної заготовки по черзі і звільнити їх з патрона.

Наявність трьох пакетів тарільчастих пружин дозволяє по черзі, по мірі відрізання заготовок, розтискувати та звільнити по два оброблені поршневі кільця. В розтискному патроні використана пружина тарільчаста 0703 70×35,5×3×5,1 фірми Henlich. При деформації на 0,074 мм – зусилля пружини складає 634Н, при деформації на 1,05мм – зусилля пружини складає 9007 Н. Пакет пружин М при деформації на 0,074 мм створює зусилля 17140Н.

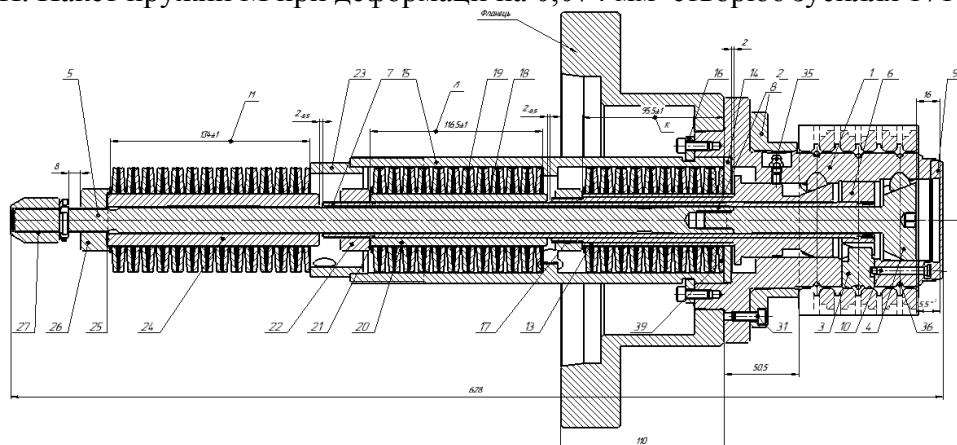


Рис. 1. Конструкція розтискного патрона для поршневих кілець, де: 1- корпус, 2- упор, 3-кулачок, 4-шток, 5-вал, 6-шток, 7-труба, 8-шток, 9-кришка, 10-12-обмежувач, 13- втулка, 14-кільце, 15-труба, 16- фіксатор, 17- гайка, 18-19- втулка, 20- шайба, 21-гайка, 22-шайба, 23-24- втулка, 25-шайба, 26-27-гайка, 28-кулачок

Виходячи з умови надійності закріплення оброблюваної деталі, необхідно щоб виконувались наступні умови:

$$M_{mp} \geq M_p, \quad (1)$$

де $M_{mp} = Wf \frac{D}{2}$ – момент всіх сил тертя, що діють на поверхні діаметра D закріплення деталі, відносно її осі.

Якщо використовується три ряди плунжерів, то

$$M_{тр} = M_{тр1} + M_{тр2} + M_{тр3}. \quad (2)$$

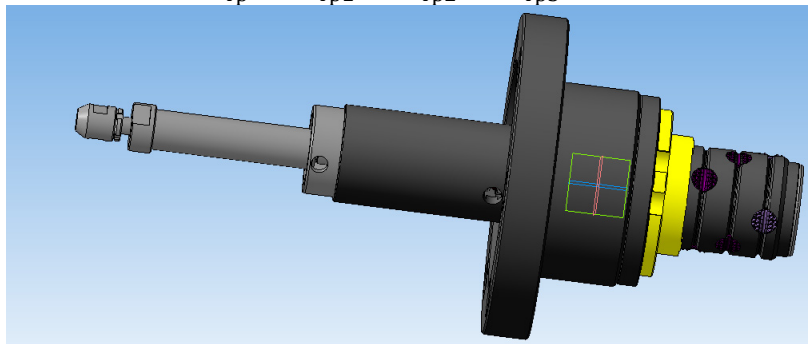


Рис.2- Загальний вигляд розтискного патрона

Висновок. Розроблена та теоретично обґрунтована працездатна конструкція розтискного плунжерного патрона для закріплення комплектної заготовки поршневих кілець, що значно підвищує продуктивність та точність обробки деталей масової номенклатури таких як поршневі кільця двигунів, компресорів та ін.

Список літератури:

- 1 *Литвин О. В. Конструкторсько-технологічне забезпечення якості і особливості затиску легкодеформованих точних деталей / О. В. Литвин, В. Г. Кушик. // Технологія і техніка друкарства./ Збірник наукових праць. – 2007. – №1. – С. 81–94.*

УДК 621.923

ПРОБЛЕМИ СТВОРЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

Гейчук В.М., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація: Приведена удосконалена методика проектування технологічного обладнання для магнітно-абразивної обробки поверхонь та кромок деталей складної просторової форми в кільцевій ванні в умовах великих робочих зазорів на базі структурно-параметричного синтезу кінематики процесу. Окреслені проблеми реалізації розробленої методики та шляхи їх вирішення. Зокрема, розроблено стенд для експериментальних досліджень сил опору при русі тіл в магнітно-абразивному порошку.

Ключові слова: магнітно-абразивна обробка, кільцева ванна, синтез, кінематика процесу

Проектування обладнання для магнітно-абразивної обробки (МАО) складнопрофільних деталей стикається з рядом нагальних проблем. Більшість досліджень в області МАО в присвячено вирішенню технологічних задач, формуванню порошкового магнітно-абразивного інструменту (МАІ) [1-7]. Невелика кількість робіт присвячена дослідженню тріботехнічних властивостей магнітно-абразивних порошоків і їх впливу на якість обробки деталей складної форми [1, 2]. Тільки деякі роботи [4] присвячені визначенню навантажень на деталі простої форми. Роботи з методології проектування обладнання в даній галузі відсутні взагалі. В роботах [5, 6] зроблені перші спроби розробки методики проектування технологічного обладнання для МАО поверхонь та кромок деталей складної просторової форми в кільцевій ванні в умовах великих робочих зазорів на базі структурно-параметричного синтезу кінематики процесу.

Розроблений метод проектування включає в себе етап, що відносить до стадії проектування, а саме синтез структурно-кінематичних схем (СКС) і структурних формул компонування (СФК) роторних верстатів та визначення їх основних конструктивних параметрів та розмірів (рис. 1). Синтез базується на аналізі загальної матриці координатних перетворень формоутворюючої системи верстату, яка вибирається за результатами комплексної оцінки інтенсивності МАО.

Розробку СКС та СФК пропонується виконувати в такій послідовності:

- аналіз вихідних характеристик заготовки та кінцевих характеристик готової деталі (зокрема стану та вимог до якості поверхні та кромки);
- розробка схеми початкового розташування заготовки в кільцевій ванні, визначення типів та кількості відносних рухів деталі і МАІ;
- аналіз кінематики процесу МАО заготовки, уточнення схеми початкового розташування заготовки та типів і кількості відносних рухів деталі та МАІ; пошук для кожної оброблюваної кромки режимів, що дозволяють отримати "найкращі" за формою кромки при мінімально можливому відхиленні інтегрального критерію інтенсивності $k_{min} < k_{кеф} < k_{max}$ від оптимального значення $k_{кеф} = 1$; вибір раціональних режимів для всіх кромки і поверхонь;
- розгортання загальної матриці координатних перетворень та розподіл її складових на матриці відображення рухів ланок формоутворюючої системи верстату та матриці конструктивних параметрів;
- визначення додаткових переміщень, які не відображені у загальній матриці координатних перетворень, наприклад, налагоджувальних;
- розподіл рухів між заготовкою та магнітною системою;
- розробка структурно-кінематичних схем;
- розробка структурних формул компонування.

Далі ідуть етапи розробки, що характерні для більшості технологічних машин. Однак відсутність деяких методик та вихідних даних не дає можливості повністю реалізувати потенційні можливості розробленого методу. До невирішених (або не повністю вирішених) задач відносяться ті, які використовуються у блоках 5, 13 та 14 розробленого методу (рис. 1): аналіз кінематики процесу, визначення навантажень на оброблювані заготовки.

В [5] розроблено основні положення кінематики MAO комплексів поверхонь складнопрофільних деталей в кільцевій ванні. Робота [6] розширила можливості методу обробки за рахунок розробки кінематико-геометричної моделі формування кромки. Також розроблено спосіб обробки деталей типу циліндричних зубчастих коліс діаметром до 150 мм над кільцевою ванною [7]. Для удосконалення кінематико-геометричної моделі формування кромки необхідно розробити методику визначення тінювих зон при обробці.

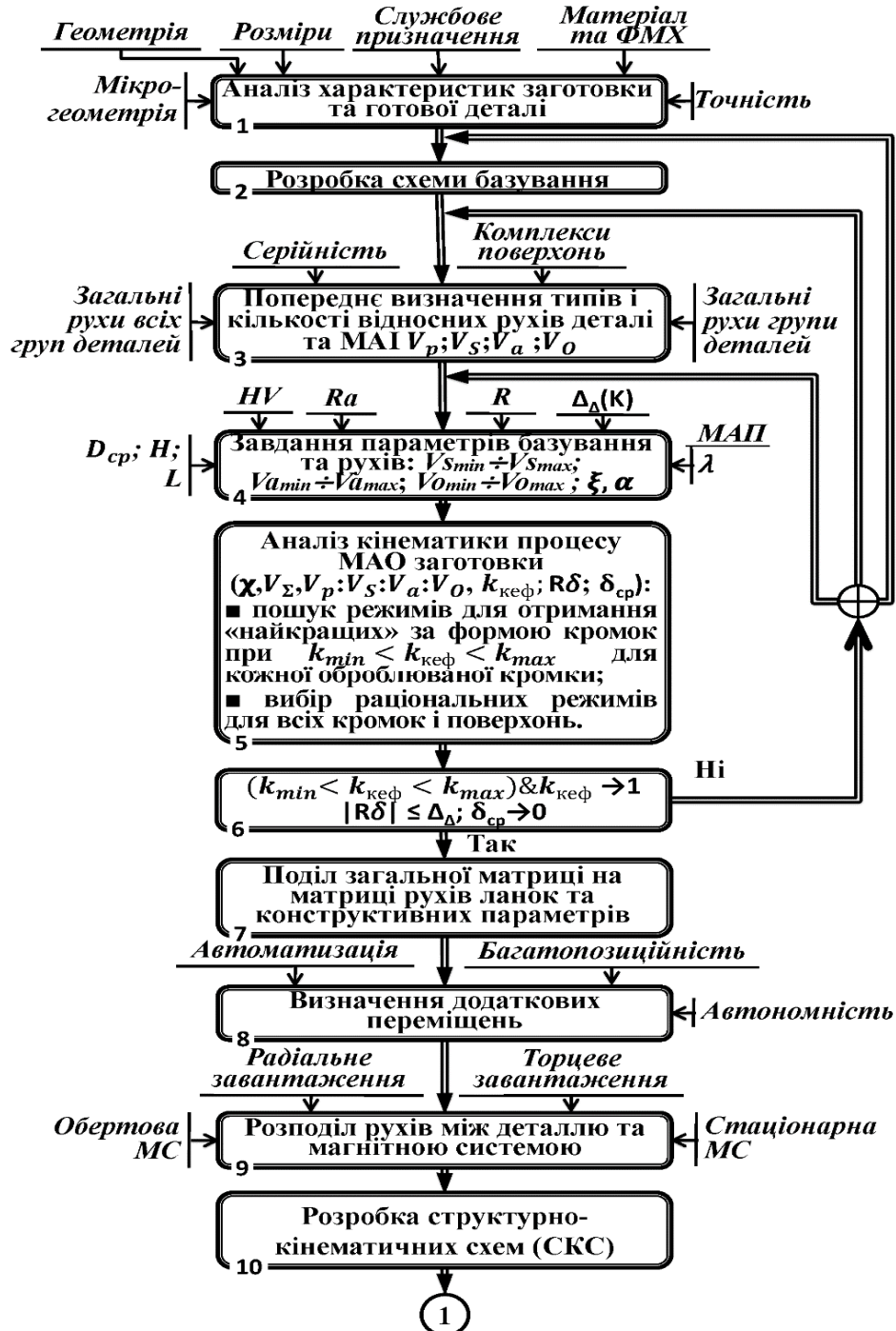


Рис.1. Алгоритм проектування роторних верстатів для MAO деталей складної форми

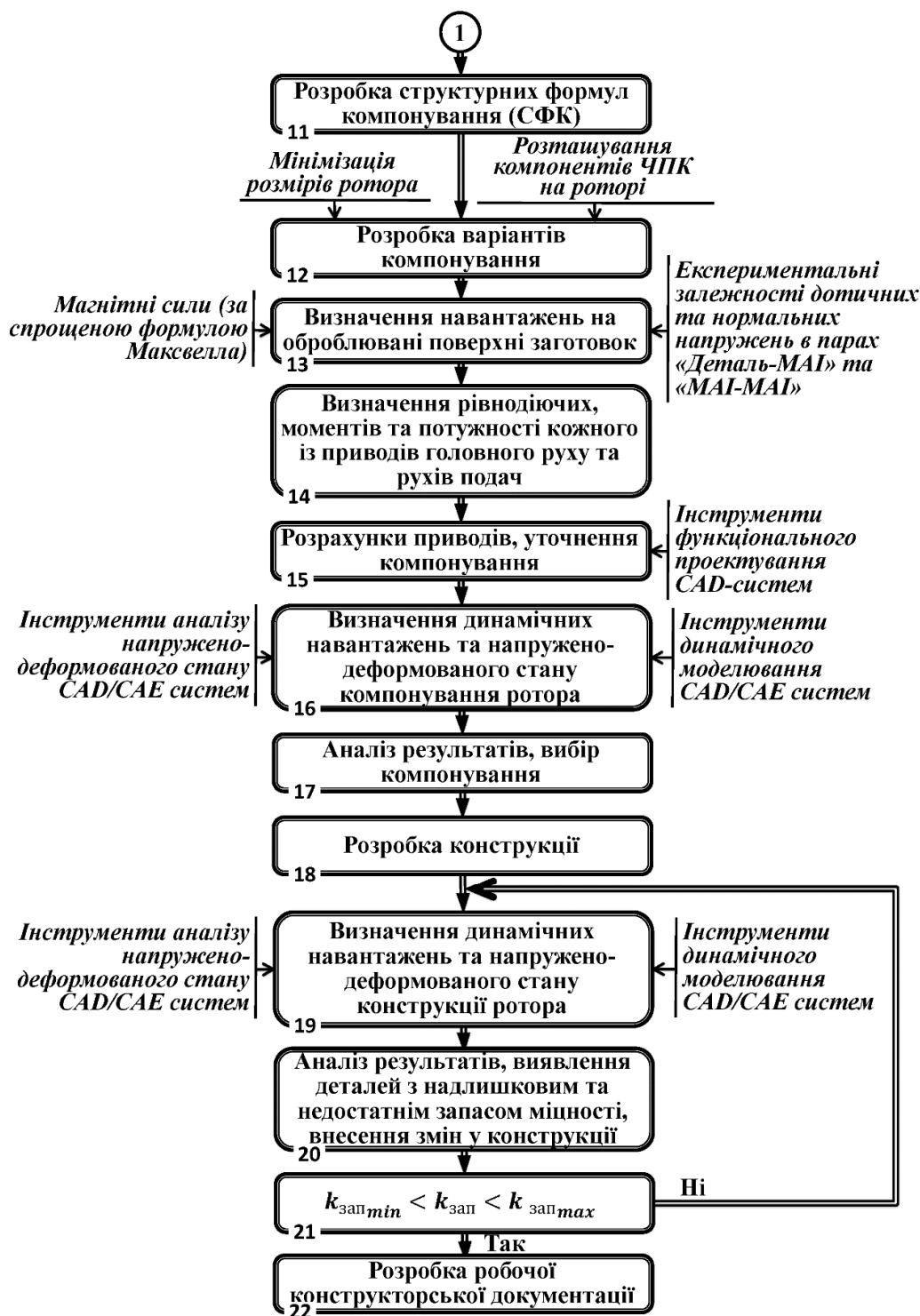


Рис.1. Алгоритм проектування роторних верстатів для MAO деталей складної форми (закінчення)

У роботі [8] розроблена методика визначення оціночних величин навантажень при MAO зубчастих коліс над кільцевою ванною. Отримані результати свідчать про адекватність методики, однак визначення її точності вимагає додаткових досліджень триботехнічних властивостей магнітно-абразивного інструменту в сторону більш широкого і повного охоплення фракцій частинок і оброблюваних матеріалів і особливо експериментальних досліджень сил опору при русі тіл в МАІ.

Для експериментальних досліджень сил опору при русі тіл в МАІ розроблено конструкцію експериментального стенду. В якості принципової схеми вимірювання крутного

моменту за основу взято схему вимірювання шляхом визначення корисного моменту двигуна при навантаженому в процесі MAO роторі за значеннями споживаного струму I_n , напруги U_n і частоти обертання диску ω_n , з врахуванням теплових та механічних втрат у редукторі при вимірюваному значенні струму I_n .

В результаті аналізу елементної бази приладів для вимірювання крутних моментів та кутових швидкостей, яку випускає промисловість в Україні та за рубежом, встановлено, що типовими представниками подібної продукції є продукція фірми "Mfgtrol", США. Фірма виробляє безконтактні датчики крутного моменту серій ТМ 300, ТФ. При необхідності вони додатково оснащуються тахометрами. Але всі вони мають один суттєвий недолік – великі габарити. Крім того, вони вимагають розриву валу, який передає крутний момент, а це ускладнює конструкцію стенду.

В якості елементної бази прийнято: для приводу ротора (головного руху) - електродвигун постійного струму ПЯ-250Ф, керований, з незалежним збудженням від постійних магнітів з дисковим якорем; для приводу першої кругової подачі - електродвигун постійного струму ЕС 45 з датчиком Холла виробництва фірми MAXON MOTOR A.G., Швейцарія; модуль контролю швидкості електродвигунів DEC Module 24/2, виробництва тієї ж фірми; електрооптичний безконтактний тахометр, який складається із датчика та універсального тахометра ТМ1-01 виробництва фірми "ТЕРА", Україна; цифровий вольтметр; стрілочний амперметр.

Стенд сконструйовано таким чином, що на ньому можна відпрацьовувати технологію MAO деталей. Зокрема підлягає перевірці метод обробки в закритій знизу кільцевій ванні для запобігання опускання МАІ в нижню частину робочої зони і його розрідження.

Список літератури:

1. *Майборода В.С. Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструменту для фінішної обробки фасонних поверхонь: дис. ... докт. техн. наук: 05.03.01/Майборода Віктор Станіславович. Київ, 2001. - 404 с.*
2. *Майборода В.С. Вплив змащувально-охолоджуючих технологічних середовищ (ЗОТС) на триботехнічні властивості порошкового магнітно-абразивного інструменту/ В.С. Майборода, В.М. Гейчук, О.А. Івановський //Технологія і техніка друкарства. Зб.наук.праць. Вип. 4(6), ВПІ НТУУ "КПІ". К. - 2004. с. 56-67.*
3. *Ткачук І.В. Формування магнітно-абразивного інструменту зі стабільними властивостями в робочих зазорах кільцевого типу: дис. ... канд. техн. наук: 5.03.01 / Ткачук Іванна Валентинівна. - Київ, 2015. - 164 с.*
4. *Устинович Д.Ф. Влияние скорости резания на мощность магнитно-абразивной обработки / Д.Ф. Устинович, В.Р. Соболев, В.И. Прибыльский // Сборник научных трудов "Машиностроение". – Минск: УП "Технопринт". – 2002. - Вып. 18. - С. 257–260.*
5. *Гейчук В.М. Синтез кінематики процесу магнітно-абразивної обробки в кільцевій ванні : дис. докт. техн. наук: 05.03.01 / Гейчук В.М. – Київ, 2012. – 472 с.*
6. *Гаврушкевич А.Ю. Основні положення кінематики MAO циліндричних зубчастих коліс. Дисс. ...канд. техн. наук: 05.03.01 / Гаврушкевич Андрій Юрійович. - Київ. - 2016. 303 с.*
7. *Пат. 100013 Україна, В24В 31/112 (2006.01). Спосіб магнітно-абразивної об'ємної обробки / В.М. Гейчук, В.С. Майборода, А.Ю. Гаврушкевич, О.О. Галицький; заявник та патентовласник "Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". - а 2014 09043; заявл. 11.08.2014; опубл. 10.07.2015; бюл. № 13.*
8. *Гейчук В.Н. Методика определения нагрузок при магнитно-абразивной обработке цилиндрических зубчатых колес над кольцевой ванной / В.Н. Гейчук, А.Ю. Гаврушкевич // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ, вип. № 39, 2017. с.23-32.*

УДК 658.511:519.237

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗВ'ЯЗАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ

Волошко О.В., Вислоух С.П., Антонюк В.С.

КПІ ім. Ігоря Сік орського, м. Київ, Україна

***Анотація:** Виконано аналіз використання інформаційних технологій при розв'язанні задач технологічної підготовки виробництва в приладо- та машинобудуванні. Показано, що для розв'язання задач стиснення інформаційних масивів, класифікації, групування та розпізнавання образів доцільно використовувати методи багатовимірного статистичного аналізу. Приведено ефективні методи параметричного та структурного моделювання при розв'язанні технологічних задач та рекомендації з їх використання. Вказано на доцільність використання запропонованих методів при інформаційній підтримці життєвого циклу виробів.*

***Ключові слова:** інформаційний масив, розпізнавання, образ, життєвий цикл*

Вступ. Проблема підвищення ефективності приладо- і машинобудівного виробництва гостро ставить задачу покращення результатів та скорочення строків технологічної підготовки виробництва за рахунок створення прогресивних технологічних процесів виготовлення виробів.

Тому актуальною є розробка наукових підходів до обробки технологічної інформації та обґрунтованого вибору методів розв'язання різноманітних технологічних задач.

Аналіз інформаційних технологій, які використовуються при розв'язанні задач технологічного проектування, встановив, що методи багатовимірного статистичного аналізу з метою зниження розмірності факторного простору, класифікації, групування та розпізнавання образів практично не застосовуються.

Задачі технологічної підготовки виробництва недостатньо формалізовані, зазвичай відсутні адекватні математичні моделі, що описують вихідні технологічні параметри та показники процесів виготовлення деталей та складання виробів, на обмеженому рівні розв'язуються задачі параметричної та структурної оптимізації приладо- та машинобудівного виробництва.

Використання методів параметричного та структурного моделювання обмежується відомими не завжди ефективними методами.

Для розв'язання різноманітних задач технологічної підготовки виробництва не використовуються сучасні методи теорії інформації, теорії масового обслуговування, розпізнавання образів, проектування інтелектуальних технологічних систем тощо.

Недостатньо досліджені можливості сучасних методів імітаційного та математичного моделювання, а також відсутнє наукове обґрунтування вибору використовуваних в даний час методів розв'язання задач технологічної підготовки виробництва.

Відсутність рекомендацій з використання ефективних методів обробки технологічної інформації та недостатнє застосування сучасних методів багатовимірного статистичного аналізу, параметричного та структурного моделювання й оптимізації при розв'язанні задач технологічної підготовки виробництва викликає необхідність розробки науково обґрунтованих основ використання в технології приладо- та машинобудування сучасних інформаційних технологій, що дають можливість підвищити ефективність приладобудівного виробництва.

Постановка задачі досліджень. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні наукові та прикладні задачі:

1. На основі аналізу стану інформаційних технологій в приладо- та машинобудуванні обґрунтувати наукові шляхи підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва

шляхом раціонального використання технологічної інформації, створення та використання новітніх методів та моделей розв'язання технологічних задач.

2. Розробити методіку зниження розмірності факторного простору при розв'язанні технологічних задач, створити відповідні алгоритми та програми, здійснити практичну апробацію цих методик при визначенні фізико-механічних характеристик конструкційних та інструментальних матеріалів.

3. Показати доцільність та ефективність використання методів розпізнавання образів в задачах технологічної підготовки виробництва. Розробити алгоритми та програми дискримінантного та кластерного аналізу технологічної інформації. Виконати практичну апробацію методик розпізнавання образів при автоматизованому проектуванні технології обробки корпусних деталей в приладобудуванні.

4. Виконати аналіз методів отримання математичних моделей технологічних параметрів, визначити ефективність їх використання. Обґрунтувати доцільність та ефективність використання сучасних методів евристичного та нейромережевого моделювання при параметричному моделюванні, розробити методики цього моделювання, створити відповідні алгоритми та програми, виконати практичну апробацію вказаних методик при розв'язанні технологічних задач.

5. Виконати аналіз методів структурного моделювання та оптимізації, що використовуються при розв'язанні задач технологічної підготовки виробництва. Обґрунтувати доцільність та ефективність методів багатозначної логіки та порядкових визначників і методів мереж Петрі для моделювання та оптимізації завантаження обладнання технологічних виробничих систем. Розробити алгоритми та програми, що реалізують розв'язання цих задач, і виконати їх практичну апробацію.

6. Розробити на основі обґрунтованих узагальнених рішень практичні рекомендації щодо використання запропонованих методик математичного і імітаційного моделювання та оптимізації при розв'язанні різноманітних задач технологічної підготовки виробництва в приладо- та машинобудуванні.

Розв'язання поставлених задач. Аналізу стану використання сучасних інформаційних технологій при розв'язанні економіко-математичних задач дозволив встановити наступне.

Стиснення масивів технологічної інформації, що реалізовується методами факторного, компонентного аналізу і методом багатовимірного шкалування дозволяє значно підвищити інформативність отриманих результатів досліджень, спростити вирішення множини задач технологічного підготовки виробництва за рахунок зменшення ознакового простору і скорочення часу вирішення різних технологічних завдань, а також поліпшити якість отриманих рішень [1–3].

Класифікація, групування і розпізнавання образів, які реалізовані методами кластерного (ієрархічного і швидкого) і дискримінантного аналізу, дозволяють успішно вирішити такі технологічні завдання [2, 3]: визначити, які з множини параметрів, що характеризують конструкційний матеріал, найбільш істотно впливають на їх технологічні властивості; об'єктивно класифікувати конструкційні матеріали за сукупності їх технологічних параметрів (фізико-механічних властивості, хімічний склад, тощо); за заданими параметрами досліджуваного конструкційного матеріалу визначити групу (кластер), до якого він відноситься, а у вибраній групі знайти матеріал-аналог; за заданими параметрами нового конструкційного матеріалу визначити умови і методи його обробки на основі встановлення аналогічних умов матеріалу-аналогу; шляхом опису множини конструктивно-технологічних ознак нової деталі визначити із інформаційної бази підприємства деталь-аналог, технологічний процес її виготовлення буде основою для створення нового одиничного технологічного процесу.

При розгляді питання математичного моделювання технологічних параметрів встановлено, що побудова математичної моделі складного об'єкту можлива на основі

використання її декомпозиції на складові взаємопов'язані елементи і отримання математичних моделей цих складових частин. Це дозволяє значно спростити отримання адекватної математичної моделі досліджуваного об'єкту, а в деяких випадках це є єдино можливим варіантом рішення поставленої задачі.

Найчастіше для отримання багатовимірних математичних моделей технологічних параметрів застосовують статистичні методи. Планування експериментів і обробка їх результатів методом регресійного аналізу дозволяє отримати досить просто лінійну математичну модель досліджуваного об'єкту, а в деяких випадках - нелінійну модель. Безпосереднє використання регресійного аналізу для отримання математичних моделей не вимагає проведення експериментів за суворо встановленим планом, при цьому можна використовувати результати пасивного експерименту.

Значно зменшити кількість експериментів і, відповідно, витрати часу і засобів при їх реалізації можна шляхом вживання методів теорії подібності і аналізу розмірностей.

Пропонується для математичного моделювання при вирішенні технологічних задач застосовувати методи евристичної самоорганізації моделей, які дозволяють отримати єдину модель оптимальної складності за допомогою перебору великої кількості моделей за заданим критерієм на основі незначної кількості апріорної інформації. Перевагою цих методів, на відміну від методів регресійного аналізу, є використання зовнішніх критеріїв вибору математичної моделі, що дозволяє об'єктивно оцінити якість моделювання досліджуваного параметра. Методи самоорганізації доцільно використовувати для отримання математичних моделей, якщо досліджуваний об'єкт не є керованим, початкові дані отримані в результаті проведення пасивного експерименту або статистичної обробки інформації, експеримент є керованим, але комбінація значень аргументів не може бути досягнута або ж призводить до аварійної (критичної) ситуації, а проведення планового експерименту вимагає довготривалих і вартісних досліджень.

Новим, ефективним методом отримання математичних моделей є нечіткий метод групового врахування аргументів (МГВА), який має всі переваги класичного МГВА і в той же час позбавлений його недоліку – він дозволяє визначити значення прогнозованих вихідних параметрів не в окремій точці, а в деякому довірчому інтервалі. Крім того, метод не має явища виродженості системи лінійних алгебраїчних рівнянь при визначенні коефіцієнтів математичної моделі. Запропоновані алгоритми і програми нечіткого МГВА дозволяють прогнозувати і моделювати технологічні параметри з більшою точністю в порівнянні з класичним методом при незначній кількості початкової інформації.

Перспективним засобом моделювання і прогнозування технологічних параметрів, а також вирішення завдань класифікації, розпізнавання образів і зниження розмірності факторного простору є використання методів штучних нейронних мереж [4].

Сумісне використання методів штучних нейронних мереж і евристичної самоорганізації моделей (класичного і нечіткого МГВА) дозволяє організувати комп'ютерний експеримент, який дає можливість значно зменшити матеріальні, енергетичні і часові витрати при проведенні експериментальних досліджень.

Аналіз задач параметричної оптимізації, що вирішуються при технологічній підготовці виробництва, показав, що більшість з них є багатовимірними нелінійними задачами математичного програмування. Вибір методу їх рішення залежить від постановки задачі оптимізації, розмірності розв'язуваної задачі, виду цільової функції і залежностей, які визначають область допустимих рішень.

Залежно від постановки задачі, виду цільової функції, вигляду і кількості обмежень, а також оптимізуючих змінних для розв'язання задач оптимізації пропонується використовувати методи опуклого програмування, ковзаючого допуску і направлений випадковий пошук з самонавчанням. Крім того, ефективним є метод стохастичного програмування, що дозволяє враховувати в задачах параметричної оптимізації випадковий

характер параметрів і змінних в математичній моделі (у цільовій функції і у функціях обмежень). Розроблена методика багатокритеріальної оптимізації, яка дозволяє використовувати одночасно декілька критеріїв при вирішенні мінімаксних задач. Метод враховує значущість кожного часткового критерію оптимізації, яка визначається на основі експертних оцінок [5].

З метою оптимізації роботи виробничих систем виконано аналіз методів моделювання і оптимізації роботи цих систем. Встановлено, що перспективними для вирішення завдань оптимізації параметрів виробничих систем є методи математичне і імітаційне моделювання, які базуються на використанні структурно-логічного підходу до математичного моделювання систем та їх імітаційного моделювання методами мереж Петрі [6, 7]. Вказані методи реалізовані при оптимізації завантаження устаткування технологічних систем.

На основі аналізу інформаційних зв'язків виконана формалізація конструкції приладів і технології їх складання. Це дозволило розробити методику автоматизованого проектування технології складання, функціональну і структурну схему автоматизованої системи проектування технології механоскладальних і електромонтажних робіт.

Дано рекомендації з використання створеної автоматизованої системи в комплексі з CAD - системою твердотільного проектування Solid Works, реалізуючи, таким чином, можливість віртуального складання виробу з одночасним отриманням технологічної документації [7-10].

Висновки. Виконані дослідження дозволяють реалізувати сучасні інформаційні технології при технологічній підготовці виробництва, підвищити інформативність і якість проектних робіт.

Результати проведених досліджень є базою для створення автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва, проектування прогресивних технологічних процесів, науково обґрунтованого нормування технологічних процесів виготовлення деталей і складання виробів, організації роботи виробничих технологічних систем, а також основою широкого використання CALS - технологій в приладо- та машинобудуванні.

Список літератури:

1. *Выслоух С.П. Факторный анализ технологической информации. //Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Выпуск 100. Машиностроение. – Харьков, 2000. – С. 26–29.*
2. *Выслоух С.П. Применение методов кластерного анализа при проектировании технологических процессов. //Вестник Сев. ГТУ. Выпуск 36: Автоматизация процессов и управление. Сб. научн. трудов Севастоп. Нац. техн. ун-т. - Севастополь, 2002. – С. 103-108.*
3. *Выслоух С.П. Применение методов дискриминантного анализа при технологическом проектировании. //Резание и инструмент в технологических системах. МНТС. – Харьков: ХГПУ, 2001. – В. 60. – С. 26-35.*
4. *Выслоух С.П. Многокритериальная оптимизация в технологических расчетах. //Высокі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць НТУ «ХП» – Харків, 2001. –Вип. 1(4). – С. 94–98.*
5. *Выслоух С.П. Нейросетевое моделирование технологических параметров процесса резания. // Резание и инструмент в технологических системах: МНТС. – Харьков. НТУ «ХПИ», 2005, Вып. 68. – С. 109–116.*
6. *Антонюк В.С., Выслоух С.П. Информационные технологии при технологической подготовке производства.// Вестник Житомирского технологического университета Выпуск 6 – К.: НТУУ «КП», 2009. – С. 3-16.*
7. *Выслоух С.П. Інформаційні технології в задачах технологічної підготовки приладо- та машинобудівного виробництва: моногр. / С.П. Вислоух. – К.: НТУУ «КП», 2011. – 488 с.*
8. *Роговой А.Н., Выслоух С.П., Волошко О.В. Система автоматизированной обработки технологической информации. /Вісник НТУУ «КП». Серія приладобудування. – 2013. – Вип. 45. – С.157-166.*
9. *Antonyuk V.S., Vysloukh S.P. Information technology in deciding of technological problems in instrument macing and mashine engineering. /Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні : [збірник наукових праць] / – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013– (Вісник / Національний університет "Львівська політехніка"; № 760). – С. 101-105.*
10. *Voloshko O.V., Vysloukh S.H. Modelling machinability parameters of structural materials. / Збірник наукових праць VI-ої Міжнародної науково-технічної конференції « Прогресивні технології в машинобудуванні» 6-10 лютого 2017р. – Львів, 2017. – С. 21-22.*

УДК 621.9

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИНТЕЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Пермяков А.А., Ключко А.А., Гасанов М.И.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
Украина

Аннотация. Рассмотрена математическая модель синтеза технологического регламента восстановления функциональных свойств крупномодульных зубчатых передач в задачах моделирования технологических процессов оптимального управления параметрами точности, качества и производительности зубообработки изношенных и восстанавливаемых крупногабаритных зубчатых колес методами технологического воздействия с учетом специфических условий износа и восстановления эксплуатационных свойств зубчатых колес.

Ключевые слова: математическая модель, синтез, технологический регламент, восстановление, функциональные свойства, крупномодульные зубчатые передачи

Задачи моделирования технологических процессов оптимального управления параметрами точности, качества и производительности зубообработки изношенных и восстанавливаемых крупногабаритных зубчатых колес предлагается решать методами технологического воздействия с учетом специфических условий формообразования зубчатых колес [1, 2].

Анализ причин выхода из строя крупногабаритных зубчатых колес показал, что в 90% разрушение крупногабаритных зубчатых колес начинается с поверхностного слоя по причине появления микротрещин, абразивного износа, выкрашивания активных поверхностей зубьев, отслаивания поверхностного слоя зубьев, прогрессирующего заедания, пластических деформаций зубьев [3, 4].

При зубофрезеровании эвольвентной поверхности зубчатого колеса перемещение режущего лезвия инструмента из начального положения в конечное положение под действием управляющих воздействий и может быть осуществлено по различным траекториям в рамках технологических и технико-экономических ограничений. Каждой траектории соответствует определенное значение критерия оптимальности. Геометрия проектируемой передачи определяется параметрами исходного контура инструмента и его смещениями при нарезании колес передачи. Поэтому при проектировании прежде всего следует задать исходный производящий контур инструмента и выбрать расчетные смещения. Если цилиндрическое зубчатое колесо нарезается режущим инструментом, то станочное зацепление рассматривают в торцовой плоскости, перпендикулярной оси зубчатого колеса.

При изготовлении цилиндрических зубчатых колес, работающих при высоких знакопеременных нагрузках в условиях высоких контактных напряжений, требуется выдерживать заданные параметры качества поверхностного слоя, в частности шероховатость поверхности, глубину и степень наклепа, остаточные напряжения. На основании обобщенных теоретических зависимостей, устанавливающих взаимосвязь критериев качества поверхностного слоя с технологическими параметрами процесса резания разработана методика расчетного определения остаточных напряжений в поверхностном слое обрабатываемых изношенных и восстановленных крупногабаритных зубчатых колес червячными модульными и специальными немодульными фрезами при скоростном зубофрезеровании. Методика расчетного определения остаточных напряжений в поверхностном слое позволяет назначить режимы резания исходя из требуемой величины

шероховатости, глубины наклепа, уровня остаточных напряжений.

Расчет остаточных напряжений, обусловленных структурными и фазовыми превращениями основывается на расчете температурных остаточных напряжений и остаточных напряжений, обусловленных силовым воздействием на поверхностный слой. Поскольку остаточные напряжения являются упругими, для сложения упругих остаточных напряжений используется метод наложения, суммарные остаточные напряжения определяются алгебраическим суммированием температурных и силовых остаточных напряжений. Для того чтобы определить остаточные напряжения от каждого фактора в отдельности, необходимо установить закономерность распределения температуры в поверхностном слое обрабатываемых цилиндрических закалённых крупномодульных зубчатых колёс, а также определить усилия резания, действующие на обрабатываемую поверхность.

Температурные остаточные напряжения определяются алгебраическим сложением напряжений, возникающих в поверхностном слое при нагревании и охлаждении, причем они могут появиться только в том случае, если напряжения при нагревании превышают предел текучести.

В формуле (1) приведен расчет для определения температурных остаточных напряжений при обработке цилиндрических крупномодульных зубчатых колёс червячными модульными и специальными немодульными фрезами при скоростном зубофрезеровании.

$$\sigma_{\text{ост.т}} = -\sigma_{\text{T}} + \frac{\beta_{\text{л}} A_1 E_{\text{д}}}{1-\mu} \left\{ \left(\frac{H-y+a_1}{a_1} \right)^{x_1} - \frac{a_1^{1+x_2} - (H+a_1)^{1+x_2}}{a_1^{x_2} (1+x_2) H} \right\}, \quad (1)$$

где H – твердость обрабатываемого зубчатого колеса; $H_{\text{В}}$, $\sigma_{\text{ост. Т}}$ – напряжения на поверхности при охлаждении; y – глубина залегания рассматриваемого слоя от поверхности; $y_{\text{он}}$ $y_{\text{оо}}$ – границы раздела упругих и пластических деформаций при нагревании и пластических деформаций при нагревании и охлаждении; σ_{T} и $E_{\text{д}}$ – предел текучести и модуль упругости обрабатываемого материала; $\beta_{\text{л}}$ и μ – коэффициент температурного линейного расширения и коэффициент Пуассона обрабатываемого материала; A_i и x_2 – величины, определяющие значение температуры в поверхностном слое обрабатываемой детали; a_i – переменная толщина среза при встречном зубофрезеровании; $a_i = S_z \sin \Psi \sin \varphi$; S_z – подача на зуб; φ – угол профиля зуба фрезы.

Остаточные напряжения, обусловленные силовым воздействием на поверхностный слой, определяются в соответствии с теоремой Генки о разгрузке как разность напряжений, возникающих при нагружении $\sigma_{\text{фнкТ}}$ и разгрузке $\sigma_{\text{нрТ}}$.

Фиктивные напряжения определялись по формулам (4.6):

$$\begin{aligned} \sigma_x &= -\frac{\tau_p}{2\pi} \left\{ \psi_1 \left[B; \frac{y}{h}; \frac{h}{a_1} \right] - \frac{b}{b_1 \cos \alpha} \xi_2 \left[\frac{y}{h}; B; \frac{\Delta}{\Delta_1} \right] \right\} \frac{1}{1-\mu^2}; \\ \sigma_y &= -\frac{\tau_p}{2\pi} \left\{ \psi_2 \left[B; \frac{y}{h}; \frac{h}{a_1} \right] - \frac{b}{b_1 \cos \alpha} \xi_2 \left[\frac{y}{h}; B; \frac{\Delta}{\Delta_1} \right] \right\} \frac{1}{1-\mu^2}; \\ \sigma_{xy} &= \frac{\tau_p}{2\pi} \left\{ \psi_3 \left[B; \frac{y}{h}; \frac{h}{a_1} \right] - \frac{b}{b_1 \cos \alpha} \xi_3 \left[\frac{y}{h}; B; \frac{\Delta}{\Delta_1} \right] \right\} \frac{1}{1-\mu^2}, \end{aligned} \quad (2)$$

где τ_p – сопротивление обрабатываемого материала пластическому сдвигу; b_i – ширина среза; b – периметр рабочих частей режущих кромок; Δ – длина площадки контакта задней поверхности фрезы с обрабатываемой поверхностью; Δ_1 – проекция поверхности сдвига на горизонтальную плоскость; h – глубина залегания опережающих пластических деформаций в поверхностном слое; B – критерий, характеризующий угол схода стружки; α и γ – задний и передний углы фрезы.

Истинные напряжения определяются также по формулам (3) при условии, что y соответствует глубине залегания пластических деформаций. Условие пластичности

определяется по теории М. Хубера – Р. Мизеса.

При анализе шероховатости обработанной поверхности на формирование неровностей обработанной поверхности при встречном фрезеровании оказывают влияние радиус округления режущей кромки зубьев фрезы ρ , параметры инструмента, изменяемая во времени геометрия сечения среза $a_i = Sz \cdot \sin \Psi \cdot \sin \varphi$, объём и скорость пластического деформирования металла, обусловленные комплексом температурно-силовых явлений, возникающих в зоне резания (рис. 1).

С учетом этого

$$R_z = \left\{ \frac{a_i^{0,125} b_1^{0,7} c \theta \rho^{0,1} a^{0,43} \left[2,85 \sin^{0,115} \alpha V^{0,57} a_1^{0,345} \lambda b^{0,3} + 0,6625 \lambda \rho^{0,57} \rho^{0,075} \right]}{V \lambda \sin^{0,165} \alpha} \right. \\ \left. - 0,5 \tau \rho \cdot b \left[\arccos \left(1 - a_2 B^{-b_2 (1 - \sin \gamma)^{-x_2}} \right) + \frac{a_2 B^{1 - b_2 (1 - \sin \gamma)^{-x_2}}}{\sin \alpha (\cos \gamma + B \sin \gamma)} + \frac{\delta}{\rho} \right] \cos \alpha \right\} \frac{1}{K_\rho} \quad (4)$$

$$\cdot \frac{t \tau \rho \left[1 + \frac{1}{B} + \operatorname{tg}(\operatorname{arctg} B - \gamma) \right]}{}$$

где K_ρ – коэффициент эффективности формообразования поверхностного слоя; c_p – удельная объёмная теплоемкость обрабатываемого материала; θ – температура в зоне резания; ρ_i – радиус округления режущей кромки фрезы; t – глубина резания; δ – длина площадки износа по задней поверхности фрезы; α – коэффициент температуропроводности обрабатываемого материала; V – скорость резания; λ и λ_p – коэффициенты теплопроводности обрабатываемого и инструментального материалов; φ – угол исходного профиля 20° ; α_1 и α_2 – величины, зависящие от условий обработки (угла схода стружки).

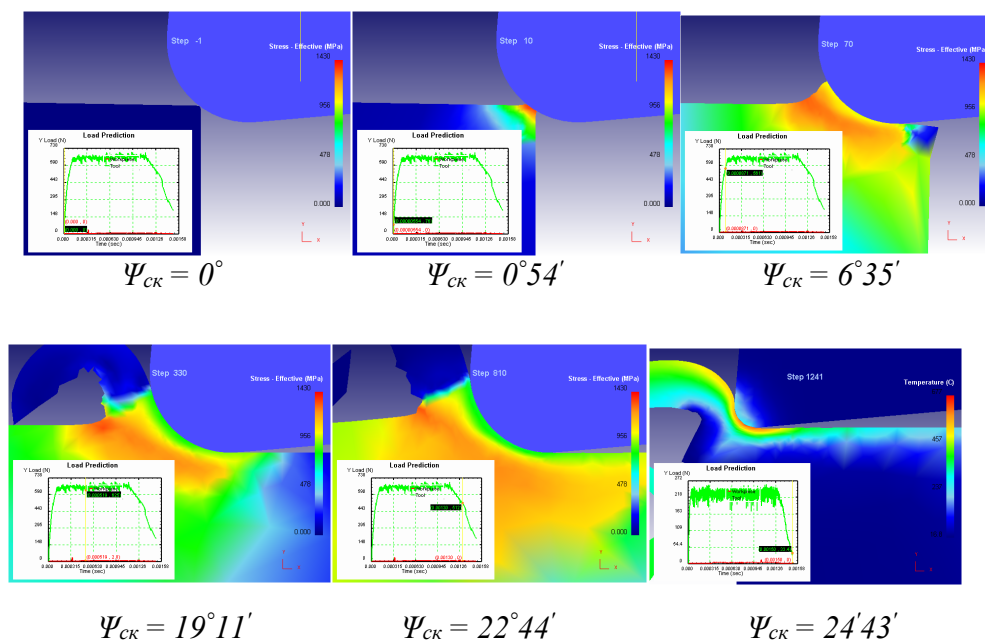


Рис.1 – Последовательность моделирования формообразования

Глубины залегания остаточных напряжений поверхностного слоя h_c и схода стружки при скоростном зубофрезеровании при значениях радиуса округления режущей кромки зубьев фрезы $\rho = 0,300$ мм в зависимости от угла скольжения $\Psi_{ск}$

Результаты исследований позволяют решать задачи по определению параметров поверхностного слоя обрабатываемой детали, а также назначать технологические условия обработки, обеспечивающие заданные техническими условиями параметры поверхностного слоя. Методика выбора, назначения, технологического и метрологического обеспечения системы параметров поверхностного слоя цилиндрических крупномодульных зубчатых колёс показывает, что эксплуатационные свойства цилиндрических крупномодульных зубчатых колёс в значительной степени определяются системой параметров их поверхностного слоя.

Литература:

1. Актуальность дифференцированного и комплексного прогнозирования в условиях имитационного моделирования технологического обеспечения эксплуатационных свойств крупномодульных зубчатых колес / А.А. Пермяков, А.Н. Шелковой, А.А. Клочко, А.А. Охрименко, М.И. Гасанов // Збірник наукових праць. Прогресивні технології в машинобудуванні: Тези докладів VII-ої Всеукраїнської науково-технічної конференції, 5-9 лютого 2018 р. – Національний університет «Львівська політехніка». – Львів, 2018. – С. 127–129.;
2. Технология ремонта и восстановления крупномодульных закаленных зубчатых колес методом высокоскоростной лезвийной обработки / А.А. Клочко, А.Н.Шелковой, В.Ф. Шаповалов, А.В. Беловол, О.А. Анцыферова // [Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості](#). – Харків. 2017. – № 2 (2). – С. 38–47.;
3. Трибологический метод выбора технологического регламента при скоростном лезвийном зубофрезеровании / Н.С. Равская, А.А. Охрименко, А.А. Клочко, М.И. Гасанов // Труды Двадцать седьмой международной конференции «Новые технологии и в машиностроении» (3-8 сентября 2017 г., Коблево). – Харьков: НАКУ «ХАИ». – 2017. – С.19-20.
4. Клочко О. О. Технологічні параметри розрахунку товщини шару мастила в косозубих циліндричних зубчастих колесах з гідродинамічними карманами / О. О. Клочко, Д. О. Кравченко, Т В. Терещенко // Наукові нотатки : міжвуз. зб. – Луцьк, 2016 – Вип. 53. – С. 68–78.