

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Інформаційні джерела.

1. Клінічна ендокринологія. Керівництво / Н. Т. Старкова - видання 3-є, перероблене і доповнене. - Санкт-Петербург: Питер, 2002. - С. 213. - 576 с.
2. Ballantyne GH, Wasielewski A, Saunders JK. The Surgical Treatment of Type II Diabetes Mellitus: Changes in HOMA Insulin Resistance in the First Year Following Laparoscopic Roux-en-Y Gastric Bypass (LRYGB) and Laparoscopic Adjustable Gastric Banding (LAGB). *Obes Surg.* 2009 Sep; 19 (9) :1297-303.
3. Scopinaro N. Prospective controlled study of the effect of BPD on type 2 Diabetes and metabolic syndrome in patients with 25-35 BMI. 14-th World Congress of the IFSO. August 26-29, 2009, Paris, France

УДК 621.822:681.2:369.64

Кайдик О.Л., Терлецький Т.В.

Луцький національний технічний університет

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ТОЧНІСТЮ ШЛІФУВАННЯ КІЛЕЦЬ КАРДАННИХ ПІДШИПНИКІВ

У роботі запропоновано модель динамічного програмування для призначення маршруту технологічного процесу та розроблено алгоритм визначення оптимального циклу шліфування, який забезпечує якісні показники та точність обробленої поверхні. Перевагою розглянутого алгоритму є можливість встановлення оптимальних поєднань та елементів режиму шліфування на кожному із етапів технологічного процесу.

Ключові слова: точність, шліфування, підшипник, алгоритм, технологічний процес, динамічне програмування.

В работе предложена модель динамического программирования для маршрута технологического процесса и разработан алгоритм определения оптимального цикла шлифования, который обеспечивает качественные показатели и точность обработанной поверхности. Преимуществом рассматриваемого алгоритма является возможность установки оптимальных сочетаний и элементов режима шлифования на каждом из этапов технологического процесса.

Ключевые слова: точность, шлифовка, подшипник, алгоритм, технологический процесс, динамическое программирование.

The paper presents a dynamic programming model for the destination routing process and the algorithm for determining the optimal grinding cycle that ensures quality performance and accuracy of the machined surface. The advantage of the considered algorithm is the ability to establish the optimal combinations and elements of regime grinding on each stage of the process.

Key words: precision, grinding, bearing, algorithm, technological process, dynamic programming.

Технологічний процес обробки деталей абразивно-алмазним інструментом варто подавати у вигляді динамічної системи [1], яка дає змогу описати послідовність оптимізації технологічних процесів [2], представити загальний алгоритм вирішення задач. Методиками оптимізації технологічних процесів, з точки зору забезпечення оптимальної точності формування поверхонь, займалися такі вчені як: Корчак С.М., Новосолов Ю.К., Якімов О.В., Ящерицин П.І. та інші. У відповідності до роботи [3] прийнято розглядати наступні основні періоди проектування технологічного процесу шліфування:

виділення із технологічного процесу операцій шліфування, з подальшим визначенням вихідних і кінцевих значень параметрів точності;

вибір оптимального числа операцій шліфування деталі та визначення оптимальних значень параметрів точності після кожної операції;

призначення вхідних змінних: параметрів верстата, характеристики абразивного інструменту, методу його правки, обладнання, складу МОР тощо;

визначення оптимальних режимів та високотоварних циклів шліфування.

Перший етап – виділення із технологічного процесу операцій шліфування, виконується за загальними методиками проектування технологічних процесів на основі співставлення операцій шліфування за собівартістю та трудомісткістю з собівартістю і трудомісткістю обробки деталей іншими прийнятними методами [4].

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Оптимізація технологічного процесу шліфування виконується за одним із методів теорії оптимального управління дискретними системами. До таких методів слід віднести: метод динамічного програмування, метод математичного програмування, метод локального перерізу. Зазначимо, що під час оптимізації окремих технологічних операцій, коли $u(t)=const$, а значення параметру точності на i -тому етапі процесу не залежить від значення точності на $(i-1)$ -шому етапі, прийнято застосовувати методи лінійного, геометричного або криволінійного програмування.

Основний принцип динамічного програмування полягає у тому що: розв'язок повинен визначати оптимальну стратегію відносно стану, який отримано в результаті першопочаткового вирішення [5], незважаючи на його першопочаткові рішення.

Для розв'язку задач методом динамічного програмування керування критерієм ефективності перетворено у наступний вигляд:

$$z_{i-1}(x) = \min[f_i(y_{i-1}; u_i(t) + z_i(x))] \quad (1)$$

де $z_i(x)$, $z_{i-1}(x)$ – найменше значення критерію ефективності на заключній частині технологічного процесу після i -тої та $(i-1)$ -шої операції.

Під час оптимізації процесів обробки деталей абразивним інструментом, на основі запропонованої динамічної теоретико-ймовірнісної моделі, динамічне програмування слід застосовувати для призначення маршруту технологічного процесу й умов виконання окремих операцій. Варто зазначити, що в процесі вирішення поставленої задачі розробляється оптимізаційна модель і алгоритм. З урахуванням найбільш важливих параметрів якості, таких як точність розмірів, просторові відхилення, глибина дефектного шару, шорсткість поверхні, складають наступну систему:

$$\begin{aligned} r_i &= r_{i-1} - \sum_{j=1}^N \Delta r_{ij}; & \rho_i &= \rho_{i-1} - \Delta \rho_i + \rho_{np}; \\ R_{\max_i} &= \begin{cases} R_{\max_{i-1}} - \sum_{j=1}^N \Delta r_{ij} & \text{за } \sum_{j=1}^N \Delta r_{ij} < R_{\max_{i-1}} - R_{\max_{fi}}; \\ f_R(V_k, V_u, S_y, S_x) & \text{за } \sum_{j=1}^N \Delta r_{ij} \geq R_{\max_{i-1}} - R_{\max_{fi}}; \end{cases} \\ T_i &= \begin{cases} T_{i-1} + R_{\max_{i-1}} - \sum_{j=1}^N \Delta r_{ij} - R_{\max_{fi}} & \text{за } \sum_{j=1}^N \Delta r_{ij} + R_{\max_{fi}} + T_{fi} < R_{\max_{i-1}} + T_i; \\ f_T(V_k, V_u, S_y, S_x) & \text{за } \sum_{j=1}^N \Delta r_{ij} + R_{\max_{fi}} + T_{fi} \geq R_{\max_{i-1}} + T_i, \end{cases} \end{aligned}$$

де Δr_{ij} – радіальне зняття металу на j -тому проході під час виконанні i -тої операції; $\Delta \rho_i$ – зміна вихідних просторових відхилень на i -тій операції; ρ_{np} – просторове відхилення, яке вноситься i -тою операцією внаслідок наявності вібрацій і поперечної подачі; T_{fi} , $R_{\max_{fi}}$ – глибина дефектного шару та шорсткості поверхні, які виникають на i -тій операції.

Зауважимо, що величина радіус-вектора та просторові відхилення залежать від умов виконання операції, значень радіус-вектора і просторових відхилень після попередньої операції. Величина заданого розміру та точність його отримання у невідповідності заданого припуску визначають з умов виконання операції. Вплив параметрів якості на забезпечення точності вихідного розміру спостерігається внаслідок зміни стану робочої поверхні інструменту та стану технологічної системи.

Глибину дефектного шару на i -тій операції розраховують аналітично на основі аналізу теплових явищ [6], або за нормативними таблицями. Швидкість зміни просторових відхилень рівна:

$$\dot{\rho} = A \rho S_y^m,$$

де A та m – коефіцієнти та показники степеня, які залежать від умов виконання операцій.

Під час оптимізації за швидкодією критерій ефективності прийнято визначати за об'ємом матеріалу, який необхідно видалити з поверхні Q_{Ni} та "хвилинному" знятті матеріалу Q_{Mi} [7]:

$$t_{um_i} = \frac{Q_{Ni}}{Q_{Mi}} (1 + K_n + T_d) = \frac{\pi d L \Pi_i}{Q_{Mi}} (1 + K_n + T_d), \quad (2)$$

де K_n – коефіцієнт, який враховує вплив шляху врізання та відскік інструменту; T_d – сума додаткових витрат часу; L – довжина поверхні, яка оброблюється; Π_i – припуск на шліфування (визначається за загальноприйнятим методикам: за величиною вихідної шорсткості поверхні,

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

глибиною дефектного шару, просторовим відхиленням та похибками встановлення на операції, яка виконується).

Зняття матеріалу за одиницю часу QM залежить від умов виконання операції й обмежується технічними можливостями верстата, інструментом, вимогами забезпечення заданих параметрів точності. Для процесу шліфування даний показник розраховують за наближеним рівнянням:

$$Q_M = 0,00439 K_g K_c V_k n_z R_{\max}^2 \sqrt{D_z \rho_z}. \quad (3)$$

В якості основних технічних обмежень для оптимізації технологічного процесу, слід прийняти:

$$\text{трудомісткість обробки} - \sum_{i=1}^n t_{um} \leq T_{\text{нор}};$$

$$\text{число операцій технологічного процесу} - n \leq n_{\max} (n \geq 0);$$

$$\text{максимально допустима величина сумарного припуску} - \sum_{i=1}^n \Pi_i \leq \Pi_{\max}.$$

Для оптимізації окремих технологічних операцій необхідно враховувати також увесь комплекс обмежень, який визначає можливі межі зміни режимів шліфування (різання).

Початковий стан об'єкту характеризується системою нерівностей:

$$\begin{aligned} r_{z_{\max}} &\geq r_0 \geq r_{z_{\min}}; \quad T_{z_{\max}} \geq T_0 \geq T_{z_{\min}}; \\ R_{\max_{z_{\max}}} &\geq R_{\max_0} \geq R_{\max_{z_{\min}}}; \quad \rho_{z_{\max}} \geq \rho_0 \geq \rho_{z_{\min}}, \end{aligned} \quad (4)$$

де індексами zmax і zmin – позначено допустимі верхні та нижні межі зміни параметрів точності заготовки.

Кінцевий стан об'єкта визначається:

$$\begin{aligned} r_{d_{\max}} &\geq r_n \geq r_{d_{\min}}; \quad T_{d_{\max}} \geq T_n \geq T_{d_{\min}}; \\ R_{\max_{d_{\max}}} &\geq R_{\max_n} \geq R_{\max_{d_{\min}}}; \quad \rho_{d_{\max}} \geq \rho_n, \end{aligned}$$

де індексами dmax і dmin – позначено допустимі верхні та нижні межі зміни параметрів точності деталі.

Таблиця 1

Трудоємкість обробки карданних підшипників

Вихідна шорсткість поверхні $R_a, \text{ мкм}$	Час обробки деталі ($t_{um}, \text{ хв}$) під час забезпечення шорсткості $R_a, \text{ мкм}$		
	0,63	1,25	2,5
4	0,54	0,32	0,24
2,5	0,37	0,22	—
1,25	0,18	—	—

Аналіз отриманих залежностей для обчислення фазових координат, критерію ефективності та технічних меж вказує на їх повну відповідність раніше прийнятої узагальненої моделі технологічного процесу. Слід зауважити, що модель спрощують у випадку обробки деталей за одним із лімітуючих параметрів точності. В табл. 1 наведено дані трудоємкості обробки канавки карданного підшипника із сталі 15Г1 на бортикошліфувальному автоматі ME280CO кругами 24A16-NC16K5+S. Трудоємкість обробки розраховано за рівняннями (2) і (3) у залежності від початкового та післяопераційного припуску базової поверхні. Коефіцієнти утворення стружки та використання висоти круга прийнято рівним $K_c=1$ і $K_v=0,7$ відповідно. Зазначимо, що число абразивних зерен на робочій поверхні інструменту розраховано за наступним рівнянням: $p_z=1/(1,75l_0)^2$, де l_0 – розмір абразивного зерна (на основі експериментальних даних $l_0=0,102Rz0,75$). Припуск на операцію шліфування визначають за різницею вихідної та післяопераційної точності поверхні R_{zi-1} та R_{zi} ($\Pi_i=CR(R_{zi-1}-R_{zi})$, де $CR \approx 2$ – коефіцієнт, який показує у скільки разів шар, в якому розподілена шорсткість є більшим за висоту нерівностей профілю за десятьма точками).

На основі рекурентного співвідношення (1) та загального принципу динамічного програмування рекомендованою є загальна послідовність опрацювання маршруту технологічного процесу обробки деталей абразивним інструментом.

На першому етапі виконують аналіз можливих варіантів заключної операції технологічного процесу. Для цього необхідно встановити множину можливих поєднань показників точності після виконання (n-1)-шої операції (наприклад, R_{an-1} приймає наступні значення: 1,25; 2,5 та 4 мкм відповідно (табл. 2)). Для кожного варіанту можливих поєднань показників якості визначають

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

оптимальну умову виконання заключної операції: метод обробки, вхідні змінні та керуючий вплив (наприклад, $VK=35$ м/с; $VU=1$ м/с). За результатами першого етапу запам'ятовуються значення критерію I та умови виконання заключної операції для кожного варіанту.

На другому – переходять до аналізу двох останніх операцій технологічного процесу. Встановлюються усі можливі поєднання показників точності після виконання $(n-2)$ -гої операції. Для кожного із поєднань задаються усі можливі набори вихідних змінних після $(n-1)$ -шої операції та на основі співставлення критерію ефективності визначається найкращий варіант. Отриманий варіант порівнюють за значенням критерію ефективності з варіантом перетворення точності в одну операцію, із останніх вибирають найкращі (наприклад, $Ran-2=4$ мкм – Ra приймає наступні значення: 2,5; 1,25; 0,63). Найменший час відповідає варіанту з $Ran-1=1,25$ ($t_{шт}=0,5$ хв).

Таблиця 2

Множина можливих поєднань показників точності

Кількість поверхонь, які аналізують	Можливі варіанти перетворення якості $Ra(n-j) \rightarrow \dots \rightarrow Ran$	Штучний час заключної частини процесу $t_{шт}$, хв	Висновок про оптимальність
Одна	1,25 \rightarrow 0,63	0,18	—
	2,5 \rightarrow 0,63	0,37	—
	4 \rightarrow 0,63	0,54	—
Дві	2,5 \rightarrow 1,25 \rightarrow 0,63	0,4 > 0,37	—
	4 \rightarrow 1,25 \rightarrow 0,63	0,5 < 0,54	оптимальний
	4 \rightarrow 2,5 \rightarrow 0,63	0,61 > 0,54	—
Три	4 \rightarrow 2,5 \rightarrow 1,25 \rightarrow 0,63	0,64 > 0,54	—

На третьому етапі переходять до аналізу трьох, чотирьох операцій технологічного процесу. Для цього встановлюють усі можливі варіанти показників точності на $(n-j)$ -тій операції ($j=3; 4; \dots$), для кожного варіанту задають усі можливі набори вихідних змінних після $(n-j+1)$ -шої операції та розраховують значення критерію ефективності, після чого вибирають оптимальний варіант заключної частини процесу. Розрахунки слід припинити після отримання результату, який засвідчує, що подальше збільшення числа операцій приводить до збільшення значення критерію ефективності.

Для експериментальної перевірки запропонованої методики виконано шліфування канавки карданного підшипника за різними схемами (див. табл. 2). Під час двох чистових операцій штучний час обробки кільця карданного підшипника знижується у два рази, що відповідає виконаним розрахункам. Як для шліфування в одну, так і в дві операції фактичне значення штучного часу обробки канавки карданного підшипника є більшим за розрахункове, що пояснює необхідність виконання в кінці кожної операції додаткових проходів виходжування з метою збільшення однорідності шліфованої поверхні.

Таким чином, під час розробки технологічного маршруту, технологічний процес доцільно розглянути як складну динамічну систему. Даний підхід дає змогу застосовувати апарат теорії оптимального керування дискретними системами для вирішення технологічних задач.

Інформаційні джерела

1. Кайдик О.Л., Вплив динаміки механічної системи бортикошліфувального автомата ME280CO на забезпечення точності формоутворення кілець карданних підшипників // Наукові нотатки. Міжвуз. зб. Луцького національного технічного університету (за напрямом “Інженерна механіка”). Вип. 24. – Луцьк: Вид-во ЛНТУ, 2009. – С. 222-229.
2. Кайдик О.Л., Терлецький Т.В. Про оптимізацію режимів круглого врізного шліфування канавок карданних підшипників на бортикошліфувальному автоматі ME280CO // “Європрилад–2010: тенденції розвитку та перспективи”. Збірник тез Міжнародної науково-практичної конференції (м. Луцьк 14-16 жовтня 2010р). – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2010. – С. 73-75.
3. Новоселов Ю.К., Татаркин Е.Ю. Обеспечение стабильности точности деталей при шлифовании. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1988. – 128 с.
4. Капустин Н.М. Разработка технологических процессов обработки деталей на станках с помощью ЭВМ. – М.: Машиностроение, 1976. – 288 с.
5. Бедлиан Р., Калаба Р. Динамическое программирование и современная теория управления. – М.: Наука, 1977. – 326 с.

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

6. Маталин А.А. Качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин. – М.: Машиностроение, 1976. – 265 с.
7. Попов С.А., Малевский Н.П., Терещенко Л.М. Абразивно-алмазная обработка металлов и твердых сплавов. – М.: Машиностроение, 1977. – 245 с.

УДК 004.94

І.В. Ковальчук, С.А. Мороз

Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ІНТЕГРОВАНІХ ТЕХНОЛОГІЙ ШВИДКОГО ПРОТОТИПУВАННЯ В МЕДИЧНІЙ ГАЛУЗІ

Дослідження елементів інтегрованих технологій швидкого прототипування в медичній галузі. В статті розкрито принцип створення виробів інтегрованими технологіями швидкого прототипування. Проаналізовано можливості використання генеративних технологій в медичній галузі. Розглянуто особливості застосування технологій швидкого прототипування для виготовлення готових імплантів.

Ключові слова: генеративні технології, медична галузь, імплантат, похибка.

Исследование элементов интегрированных технологий быстрого прототипирования в медицинской отрасли. В статье раскрыто принцип создания изделий интегрированными технологиями быстрого прототипирования. Проанализированы возможности использования генеративных технологий в медицинской отрасли. Рассмотрены особенности применения технологий быстрого прототипирования для изготовления готовых имплантатов.

Ключевые слова: генеративные технологии, медицинская отрасль, имплантат, погрешность.

Study elements of integrated rapid prototyping technologies in the healthcare industry. In the article the principle of the creation products integrated rapid prototyping technologies. The possibilities of the use generative technologies in the healthcare industry. Features of the use rapid prototyping technology for the manufacture of finished implants.

Keywords: generative technology, healthcare, implant, error.

Орієнтування на нові технології і швидкий прогрес виробничої техніки привели до виникнення прогресивної і гнучкої концентрації виробництва, яка знайшла свій вираз|вираження| в концепції комп'ютеризованого інтегрованого виробництва (СІМ).

Інтегровані технології базуються на поєднанні останніх досягнень в різних областях науки, техніки, технологій, інформатики, матеріалознавства тощо, використання якого забезпечує швидке отримання|здобуття| нового продукту з|із| принципово іншим рівнем функціональних, естетичних і екологічних властивостей, що гарантує йому високу конкурентоспроможність на ринку. Одними з найбільш прогресивних є генеративні технології. Вони відображають|відбиває| виготовлення виробів не на відділенні|відокремленні| об'ємів|обсягів|, що становлять припуск|, а на пошаровому нарощуванні об'єктів до досягнення необхідних їх характеристик і конструюванні фізичної поверхні.

Технології швидкого прототипування в основі мають фізичні моделі, які будуються за даними тривимірного комп'ютерного моделювання (САD). Ці моделі, в свою чергу, можуть створюватися безпосередньо в пакетах тривимірного моделювання, а також за даними комп'ютерної томографії (СТ), магнітно-резонансного сканування (MRI), за результатами вимірювань на координатно-вимірювальних машинах. Тривимірний комп'ютерний модель, перетворена у формат STL (стандартний формат, використовуваний усіма типами установок швидкого прототипування), спочатку «розрізається» комп'ютером на тонкі площини поперечних перерізів (рис.1). Ці перетини надсилаються комп'ютером на установку швидкого прототипування, яка пошарово будує деталь. Геометрія кожного шару визначається формою площини відповідного перетину створеного комп'ютером. Усі наступні шари скріплюються з поверхнею попереднього. Цей процес повторюється до завершення побудови.

Першопочатковим впровадженням інтегрованих генеративних технологій було в промислове виробництво. Однак, подальший розвиток цих технологій показав можливість їх використання в багатьох галузях. Особливу цікавість викликає використання генеративних технологій в медичній