

УДК.621.822

В.І. Марчук д.т.н. професор
С.О. Приступа, аспірант.,
Ю.В. Ільчук, аспірант
Луцький національний технічний університет

ПРО ВПЛИВ ФАКТОРА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СПАДКОВОСТІ НА ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ

В роботі розглядається новий підхід до проблеми забезпечення якості оброблюваної деталі з врахуванням фактору технологічної спадковості.

Ключові слова: *похибка, операція, технологічна спадковість, технологічний бар'єр, технологічний процес*

Аналіз робіт з технології машинобудування і реально існуючих процесів механічного оброблення показує, що будь-який технологічний процес (надалі ТП) може характеризуватися, як процес якісної і кількісної зміни об'єктів виробництва. Для встановлення об'єктивних закономірностей формування параметрів якості поверхневого шару деталей необхідне всестороннє вивчення технологічної спадковості в процесі механічного оброблення заготовок. Це означає, що всі операції слід розглядати не ізольовано, а у взаємозв'язку, оскільки, кінцеві характеристики оброблюваних поверхонь формуються під впливом всього комплексу виконаних технологічних операцій. При цьому зміна експлуатаційних властивостей визначається технологічними методами і режимами, що застосовуються на окремих операціях термічного і механічного оброблення, видом і станом інструменту, умовами охолодження, розмірами операційних припусків, послідовністю і змістом операцій ТП вцілому тощо [1-4].

Отримання залежностей з врахуванням фактора технологічної спадковості є основою нового підходу до

проблеми забезпечення якості деталі, під час її механічного оброблення.

Загальну структуру технологічного процесу можна представити як складну багатофункціональну систему, в якій на вхід надходять різні характеристики заготовки ($R_{10}, R_{20}, \dots, R_{m0}$), а на виході забезпечується відповідний набір характеристик для готової деталі ($R_{1p}, R_{2p}, \dots, R_{mp}$). Ці зміни визначаються дією сукупності технологічних факторів (t_1, t_2, \dots, t_n) для кожної операції φ_l ТП (рис. 1).

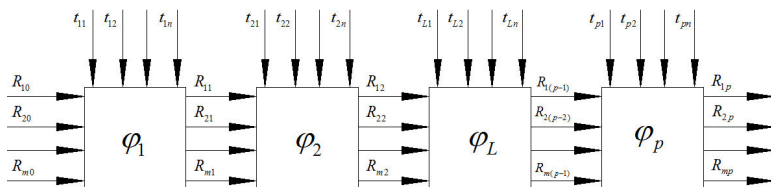


Рис 1. Структурна схема багатометричної моделі ТП

Математична модель елементарного ТП оброблення, як зазначається в [6], може бути представлена у вигляді графа $G_n(C, \varphi)$. Моножина дуг C_u відповідає певному стану якості оброблення, а вершини φ_l — технологічним переходам або операціям. Застосувавши цей підхід до подібної моделі, отримаємо прояв технологічної спадковості, що описується виразом:

$$X_l = aX_{l-1}^b, \quad (1)$$

де X_{l-1}, X_l — характеристики якості для $(l-1)$ і l — операції ТП оброблення; a, b — коефіцієнти технологічної спадковості.

Так, для опису впливу технологічної спадковості на зміну характеристики шорсткості R_a отримаємо

$$R_a = aR_{a_гран}^b \quad (2)$$

Коефіцієнти a і b для різних методів оброблення можуть бути визначені на основі багатофакторного аналізу з отриманням рівняння регресії мультиплікативного виду.

Отже, можна зробити припущення, що кількісні зв'язки технологічної спадковості, залежні від вибору методу оброблення, визначаються з формули (2) коефіцієнтом b , а основні умови оброблення всередині цього методу — коефіцієнтом a . Крім того, коефіцієнт a може враховувати зміни, що відбуваються в процесі попереднього оброблення.

В зв'язку з цим необхідно також відзначити, що технологічний спадковий зв'язок проявляється не тільки в зміні однойменних характеристик, але і у взаємодії характеристик, на перший погляд не пов'язаних кореляційним зв'язком між собою.

Отримання числових часткових залежностей типу (2) для різних характеристик якості поверхні представляє ряд складнощів в процесі планування та проведення експерименту. Більш універсальним рішенням є використання в якості одного з вхідних факторів деяких комплексних виразів, наприклад безрозмірного комплексу

$$\Delta = R_{\max} / \rho \cdot b^{1/\nu}, \quad (3)$$

де R_{\max}, ρ, b, ν — характеристики шорсткості (висота мікронерівностей, радіус виступів і параметри кривої опорної поверхні). У цьому випадку вираз (1) можна представити, як

$$R_a = a\Delta_{\text{гран}}^b. \quad (4)$$

Для автоматизації проектування ТП необхідна побудова математичних моделей, що описують основні функціональні зв'язки між технологічними факторами і параметрами якості поверхні і точності оброблення. Під час проектування технологічних маршрутів оброблення повинні бути враховані також закономірності зміни основних параметрів від однієї операції до іншої. Як було показано в роботі [2], подібні закономірності можуть бути описані у вигляді коефіцієнтів технологічної спадковості, що отримані перетворенням регресійних залежностей, знайдених методами планування експериментів.

Загальну структуру ТП можна представити у вигляді послідовності зміни основних параметрів форми, точності та якості поверхні ($R_{1l}, R_{2l}, \dots, R_{ml}$) від заготовки до готової деталі. Ці зміни визначаються дією технологічних факторів ($t_1, t_2 \dots t_n$) для кожної операції ТП ϕ_l ($l=1, 2, \dots, p$).

Враховуючи, що зміна окремого параметра R_{jl} на операції ϕ_l може бути описано значеннями коефіцієнтів технологічної спадковості a_{jl}, b_{jl} , необхідно показати зміну параметра R_{jl} протягом всього технологічного процесу у вигляді відповідного набору коефіцієнтів технологічної спадковості. Так, один з параметрів якості поверхневого шару після остаточної операції оброблення може бути виражений у вигляді

$$R_p = a_p R_{p-1}^{b_p}, \quad (5)$$

де a_p, b_p — коефіцієнти технологічної спадковості для операції ϕ_p ; R_{p-1} — параметр якості оброблення (характеристики точності або якості поверхні) після операції ϕ_{p-1} .

У свою чергу, параметр R_{p-1} може бути виражений аналогічною залежністю

$$R_{p-1} = a_{p-1} R_{p-2}^{b_{p-1}}. \quad (6)$$

де R_{p-2} — параметр якості оброблення після операції ϕ_{p-1} .

Аналогічно можуть бути отримані залежності для всіх операцій ТП, включаючи і першу операцію ϕ_p після оброблення заготовки:

$$R_1 = a_1 R_0^{b_1}, \quad (7)$$

де R_0 — початкове значення j -го параметра якості заготовки.

Маючи набір розглянутих параметрів і роблячи послідовну підстановку залежності типу (6) у вираз типу (5) для всіх p операцій, отримуємо

$$R_p = a_p \left(a_{p-1} R_{p-2}^{b_{p-1}} \right)^b p = a_p a_{p-1}^{b_p} R_{p-2}^{b_p \cdot b_{p-1}}, \quad (8)$$

яке показує зміну розглянутого параметра для двох останніх операцій — φ_p і φ_{p-1} .

Виконавши подібні перетворення для подальших операцій ($\varphi_{p-2}, \varphi_{p-3}, \dots, \varphi_1$), можна отримати загальну математичну модель зміни параметрів якості обробки повністю для ТП

$$R_p = a_p a_{p-1}^{b_p} a_{p-2}^{(b_p \cdot b_{p-1})} \dots a_1^{(b_p \cdot b_{p-1} \cdot \dots \cdot b_1)} R_0^{(b_p \cdot b_{p-1} \cdot \dots \cdot b_1)} \quad (9)$$

Прологарифмувавши вираз (9), отримаємо

$$\begin{aligned} \ln R_p &= \ln a_p + b_p \ln a_{p-1} + (b_p b_{p-1}) \ln a_{p-2} + \dots + \\ &+ (b_p b_{p-1} \dots b_1) \ln a_1 + (b_p b_{p-1} \dots b_1) \ln R_0 \end{aligned} \quad (10)$$

Коефіцієнт технологічної спадковості a_i як було показано вище, описує вплив технологічних факторів $t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{in}$ на розглянутий параметр якості оброблення для операції φ_i і може бути представлений в наступному вигляді:

$$a_i = k_{i0} t_{i1}^{k_{i1}} t_{i2}^{k_{i2}} \dots t_{in}^{k_{in}}. \quad (11)$$

Підставимо залежність (11) у вираз (10) :

$$\begin{aligned} \ln R_p &= \ln \left(k_{p0} t_{p1}^{k_{p1}} t_{p2}^{k_{p2}} \dots t_{pn}^{k_{pn}} \right) + b_p \ln \left(k_{(p-1)0} t_{(p-1)1}^{k_{(p-1)1}} t_{(p-1)2}^{k_{(p-1)2}} \dots t_{(p-1)n}^{k_{(p-1)n}} \right) + \\ &+ (b_p b_{p-1}) \ln a_{p-2} + \dots + (b_p b_{p-1} \dots b_1) \ln \left[k_{i0} t_{i1}^{k_{i1}} t_{i2}^{k_{i2}} \dots t_{in}^{k_{in}} \right] + (b_p b_{p-1} \dots b_1) \ln R_0 \end{aligned} \quad (12)$$

Спрощуючи отримані вирази, вводимо для позначення узагальнені коефіцієнти технологічної спадковості:

$$\begin{aligned} C_1 &= b_p, \\ C_2 &= b_p b_{p-1}, \\ C_3 &= b_p b_{p-1} b_{p-2}, \\ &\dots \dots \dots \\ C_p &= b_p b_{p-1} b_{p-2} \dots b_1. \end{aligned} \quad (13)$$

Після деяких перетворень виразу (12) і відповідних підстановок (13) отримаємо

$$\begin{aligned} \ln R_p = & \left[\ln k_{p_0} + k_{p_1} \ln t_{p_1} + \dots + k_{p_n} \ln t_{p_n} \right] + \\ & + C_1 \left[\ln k_{(p-1)_0} + k_{(p-1)_1} \ln t_{(p-1)_1} + \dots + k_{(p-1)_n} \ln t_{(p-1)_n} \right] + \\ & + C_p \left[\ln k_{10} + k_{11} \ln t_{11} + \dots + k_{1n} \ln t_{1n} \right] + C_p \ln R_0. \end{aligned} \quad (14)$$

Перевагою отриманого виразу є наочність поелементного подання всіх технологічних факторів розглянутих операцій, з яких складається ТП оброблення. Аналіз виразу (14) показує, що він може бути виражений у вигляді суми дії остаточної операції і деякої частини впливу попередніх операцій і вихідного стану заготовки R_0 , котрий визначається узагальненими коефіцієнтами технологічної спадковості C_1, C_2, \dots, C_p

Якщо на якійсь операції ϕ_l коефіцієнт технологічної спадковості $b_l = 0$, що відповідає відсутності впливу вихідної якості стану деталі на остаточний стан після даної операції, то коефіцієнт $C_{p(l-1)} = b_p b_{p-1} \dots b_l$, а також подальші узагальнені коефіцієнти C_{p-l}, \dots, C_p будуть рівні нулю. Це з математичної точки зору є інтерпретацією в виразі (14) дії операції ϕ_l як «технологічного бар'єру».

У зв'язку з тим, що в процесі виготовлення деталей потрібно забезпечити значне число параметрів якості поверхні, виникає необхідність розглядати більш загальні математичні моделі ТП, які враховують вплив всіх технологічних чинників на задані параметри. Така математична модель може бути представлена системою рівнянь, що описують вплив технологічних факторів на окремі вихідні параметри якості оброблення:

$$\begin{aligned}
 \ln R_{1,p} &= \left[\ln k_{1,p1} + k_{1,p1} \ln t_{p1} + \dots + k_{1,pn} \ln t_{pn} \right] + \\
 &+ C_{1,1} \left[\ln k_{1,(p-1)0} + k_{(p-1)1} \ln t_{(p-1)1} + \dots + k_{1,(p-1)n} \ln t_{(p-1)n} \right] + \\
 &+ C_{1,p} \left[\ln k_{1,10} + k_{1,11} \ln t_{11} + \dots + k_{1,1n} \ln t_{1n} \right] + C_{1,p} \ln R_{1,0}, \\
 \ln R_{2,p} &= \left[\ln k_{2,p1} + k_{2,p1} \ln t_{p1} + \dots + k_{2,pn} \ln t_{pn} \right] + \\
 &+ C_{2,1} \left[\ln k_{2,(p-1)0} + k_{(p-1)1} \ln t_{(p-1)1} + \dots + k_{2,(p-1)n} \ln t_{(p-1)n} \right] + \\
 &+ C_{2,p} \left[\ln k_{2,10} + k_{2,11} \ln t_{11} + \dots + k_{2,1n} \ln t_{1n} \right] + C_{2,p} \ln R_{2,0}, \quad (15) \\
 &\dots\dots\dots \\
 \ln R_{m,p} &= \left[\ln k_{m,p1} + k_{m,p1} \ln t_{p1} + \dots + k_{m,pn} \ln t_{pn} \right] + \\
 &+ C_{m,1} \left[\ln k_{m,(p-1)0} + k_{(p-1)1} \ln t_{(p-1)1} + \dots + k_{m,(p-1)n} \ln t_{(p-1)n} \right] + \\
 &+ C_{m,p} \left[\ln k_{m,10} + k_{m,11} \ln t_{11} + \dots + k_{m,1n} \ln t_{1n} \right] + C_{m,p} \ln R_{m,0}.
 \end{aligned}$$

Вирішення цієї системи рівнянь важке через велике число змінних, що варіюються на різних рівнях. Виконавши деякі спрощення ця задача може бути вирішена методами динамічного програмування. Так, в роботі [2] для подібних випадків пропонується метод багаторівневого ітераційного проектування ТП. Особливість цього методу, як зазначалося раніше, полягає в поділі процесу проектування на ряд різних по деталізації рівнів і розбитті на кожному рівні загальної задачі проектування на ряд більш простих підзадач з взаємної оптимізацією рішень між підзадачами одного і різних рівнів. Використання багаторівневого процесу проектування і проведеної в його рамках оптимізації спрощує вирішення задачі, однак не дає можливості комплексного вирішення в процесі оптимізації ТП в цілому. Виконані дослідження явища технологічної спадковості [5] та встановленні зв'язки між окремими елементами ТП – операціями, дозволяють створити його математичну модель та розробити методи комплексної структурної оптимізації.

Література:

1. Марчук В.И. Влияние технологических факторов на эксплуатационные характеристики роликоподшипников // Научные заметки: Міжвузівський збірник (за напрямом “Інженерна механіка”) – Луцьк: ЛДТУ, 2003. Вип. 12. – С. 179-184.
2. Дальский А.М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин. - М. : Машиностроение, 1975. – 224с.
3. Ящерицин П.И., Рыжов Э.В., Аверченков В.И. Технологическая наследственность в машиностроении. – Минск : Наука и техника, 1977. – 256с.
4. Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. – Киев : Наук. Думка, - 1984. – 282с.
5. Рыжов Э.В Аверченков В.И. Оптимизация технологических процессов механической обработки Киев «Накова думка», 1989. — 192с.
6. Цветков В.Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов. – Минск : Наука и техника, 1979. – 264с.