

В.І. Марчук, д.т.н., проф.
Ю.А. Лук'янчук, аспір.

Луцький національний технічний університет

ПРО ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТОЧНІСТЮ ПОВЕРХОНЬ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ТІЛ КОЧЕННЯ

Багато технологічних процесів вимагають використання вдосконалених засобів керування, в тому числі самоналагоджувальні системи керування, що забезпечують оптимальний хід технологічного процесу навіть при випадкових коливаннях характеристик оброблюваності матеріалу та інтенсивності зношуваності інструменту, а також при температурних, силових та інших збуреннях.

Вступ. Постановка проблеми. Дослідження в галузі точності технологічних процесів і операцій є базою та передумовою для створення систем управління якістю виробів, що особливо важливо для умов автоматизованого виробництва.

Вимогам сучасного виробництва не задовольняє управління технологічними процесами, що обмежується початковим налагоджуванням устаткування, підналагоджуваннями координат, розміщення інструменту або заміною неякісного інструменту.

Для створення таких систем управління точністю та якістю виробів, необхідний математичний опис технологічного процесу з врахуванням наслідків впливу на нього широкого спектра різноманітних зовнішніх та внутрішніх чинників.

Комплексне завдання підвищення точності й ефективності обробки вирішується як за рахунок використання традиційних методів підвищення точності, що ґрунтуються на покращенні технологічних характеристик верстатів і проектуванні технологічних процесів із заданою точністю (конструкторські методи керування точністю та керування координатами розміщення інструменту відносно заготовки), так і за рахунок безпосереднього керування режимами різання, пружною системою, збуреннями, що впливають на процес механообробки. Переваги останнього напрямку полягають не тільки в можливості зменшення впливу деяких чинників, що сприяють появі похибок формоутворення, але і повного їх вилучення шляхом використання зворотних зв'язків. Дослідження взаємозв'язків між чинниками, що супроводжують процес формоутворення, є досить складним завданням багатфакторного аналізу, вирішення якого дозволило виділити домінуючі з них, що й покладені в основу функціонування систем автоматичного та адаптивного керування процесом механічної обробки деталей.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз робіт, проблем забезпечення якості механообробки показує, що в дослідженні точності можливо виділити три основних напрямки: перший напрямок носить геометричний характер, базується на теорії розмірних ланцюгів, розроблений Б.С. Балакшиним [1]; другий пов'язаний з дослідженням в основному жорсткісних характеристик деталей, технологічного устаткування, спорядження та їх впливу на точність і жорсткість технологічних систем [2]; третій напрямок базується на поєднанні та врахуванні всього комплексу чинників, в тому числі геометричних і жорсткісних [3].

У геометричному розмірному аналізі на основі теорії розмірних ланцюгів розроблені правила та принципи, як, наприклад, принцип єдності баз Б.С. Балакшина [1], принцип найкоротшого шляху А.П. Соколовського [2], принцип суміщення та постійності баз А.Н. Кована [4], умова найменшої похибки В.П. Фіраго, котрі дозволяють раціонально вибирати способи базування деталей для забезпечення заданої точності. Розроблена схема формування похибок, що враховує реальні форми деталей, дозволила допуски на положення деталі в машині виразити як функції параметрів, які характеризують відхилення форм від ідеальних. У результаті такого підходу встановлено, що внаслідок криволінійності поверхонь деталі можуть взаємодіяти між собою через комплект опорних точок, котрі розглядаються як матеріалізація системи координат, що зв'язана з оброблюваною деталлю. При цьому до кожної деталі прив'язуються системи координат, що побудовані на основних і допоміжних базах та система координат машини. Складові переносу і відносного повороту координатних систем дозволяють судити про відносне положення як поверхонь деталей, так і деталі в цілому. Цей підхід віддзеркалився в ГОСТ 21495-76, згідно з яким при базуванні деталей досягається співпадання координатних систем опорних точок, побудованих на елементах пристроїв і на основних базах деталей. Деталі розглядаються як абсолютно тверді тіла, форма яких не змінюється від зусиль закріплення та різання, що має підґрунття при обробці жорстких деталей.

Викладення основного матеріалу. Уточнення схеми оцінки похибки досягається шляхом відмови від розгляду деталей і вузлів як абсолютно твердих тіл та моделювання власних контактних деформацій.

Виділення цього напрямлення в самостійне пояснюється тим, що власні і контактні переміщення в загальному балансі точності складають величини порядку 40–90 %. В цьому напрямку проведені обширні дослідження стосовно точності, вібростійкості та довговічності верстатів.

Оцінка статичної похибки обробленої деталі, як наслідок деформацій еквівалентної пружної системи може бути проведена за залежністю (1):

$$\delta = \Delta_{\text{заг}} \cdot \frac{K_{\text{эвс}} \cdot K_P}{1 + K_{\text{эвс}} \cdot K_P}, \quad (1)$$

де δ – неточність обробленої деталі; $\Delta_{\text{заг}}$ – відома неточність заготовки; $K_{\text{эвс}}$ – статична характеристика (податливість еквівалентної пружної системи верстата); $K_P = K_{\text{уд}} \cdot b$ – коефіцієнт різання; $K_{\text{уд}}$ – питома сила різання; b – ширина зрізаного шару.

У третьому із згадуваних раніше напрямків дослідження точності враховується сумарний вплив геометричних, жорсткісних та інших чинників, що супроводжують процес механообробки. Найбільш повна комплексна точнісна модель процесу обробки розроблена Б.М. Базровим [6].

В основу аналітичних досліджень точності у всіх роботах покладена лінійна модель виду: $\Delta = \Delta_y + \Delta_c + \Delta_\theta$ або її модифікації, де Δ – похибка обробки; Δ_y , Δ_c , Δ_θ – відповідно до похибки встановлення, статичного та динамічного налаштування. Нелінійність, що виникає в процесі формування похибок, не враховується.

Методика проектно-точнісних розрахунків враховує максимальну кількість технологічних факторів і дозволяє отримати достатньо правдиві результати. Однак використання даної методики ускладнюється через відсутність довідкового матеріалу відповідно до прийнятої автором диференціацією виробничих процесів.

Базуючись на розрахунково-аналітичному методі, запропонованому А.П. Соколовським [2] і в подальшому розвинутих у роботах [3, 4], можливо попередньо визначити величину похибки, яку деталь буде мати після механічної обробки. Метод полягає у визначенні окремих складових похибок, що залежать від певних чинників та їх суми. При розрахунку враховуються такі фактори, що викликають відповідні похибки: геометрична неточність верстата (Δ_1), зношуваність різального інструменту (Δ_2), теплові деформації технологічної системи (Δ_3), пружні деформації технологічної системи (Δ_4), неточність налаштування верстата (Δ_5), тобто визначаючи систематичні складові похибки.

Величина сумарної похибки визначається в загальному вигляді, як $\Delta_{\text{сум}} = \Delta_c + \Delta_{\text{сл}}$, де Δ_c – алгебраїчна сума систематичних похибок:

$$\Delta_{\text{сл}} = \sqrt{(\Delta_{\text{сл1}})^2 + (\Delta_{\text{сл2}})^2 + (\Delta_{\text{сл3}})^2}, \quad (2)$$

- випадкові похибки, що визначаються нерівномірністю твердості матеріалу деталі ($\Delta_{\text{сл1}}$), неточністю вимірювань ($\Delta_{\text{сл2}}$), змінним припуском матеріалу деталі ($\Delta_{\text{сл3}}$).

При підсумовуванні похибок необхідно враховувати вид виробництва: одиничне, дрібносерійне, серійне і масове. В одиничному і дрібносерійному виробництвах треба рахуватися тільки із систематичною похибкою (Δ_c), тому що механічна обробка в умовах такого виробництва має ряд особливостей та істотного значення набувають розмірно-силові фактори, що впливають на точнісні характеристики деталей. Характер виробництва в більшості сучасних галузей промисловості можна віднести до дрібносерійного, тому величина сумарної похибки може бути визначена як:

$$\Delta_{\text{сум}} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 + \Delta_6, \quad (3)$$

де Δ_6 – похибка від гіроскопічного ефекту. При обробці на устаткуванні, у якого жорсткості передньої і задньої бабок близькі одна до одної, похибку від гіроскопічного ефекту можна не враховувати, тому що вона близька до нуля.

Похибка, яка визначається виразом (3), є похибка форми деталі. Похибка геометричної форми представляє різницю відповідних розмірів однієї й тієї ж деталі, обумовленої кресленням та належать у вигляді складової частини до сумарної похибки обробки і складають її переважаючу частину 50–70 %.

Пружні деформації нежорсткої заготовки під дією сили різання належать до складової Δ_4 залежності (3). При цьому дія сил різання супроводжується зніманням припуску із заготовки, зменшується її маса, а, відповідно, і момент інерції, змінюється конструктивна форма заготовки. З урахуванням діаметрального розміру вала через знімання припуску величина прогину вала в перехідному перетині від однієї ступені до іншої буде визначатися залежністю (4):

$$y_\theta = \frac{P_x^5}{3EI_1L^2} + \frac{P}{EI_2} \cdot \left[\left(\frac{L^3 - x^3}{3} \right) \cdot \left(1 - \frac{x^2}{L} \right) - 2 \cdot \left(\frac{L^2 - x^2}{2} \right) \cdot \left(x - \frac{x^2}{L} \right) + x \cdot (L - x) \right], \quad (4)$$

при $x = L/2$ $y_\theta = \left[PL^2/EI_1 + PL^3/EI_2 \right] \cdot 1/96$, де x – координата поздовжнього перетину, у якій визначається прогин; I_1, I_2 – моменти інерції ступенів вала; P – поперечна сила.

Вплив фактора змінної маси на точність обробки стає істотним, коли величина припуску, що знімається, складає не менше 20 % від величини діаметра заготовки.

Методика визначення похибок для деталей типу вал, викладена з урахуванням виразу (4), дозволяє з достатньою точністю розрахувати переважаючу похибку і надалі намітити шляхи її усунення.

Розглянемо запропонований розглянутий приклад розрахунку окремих складових похибок і частка їхньої участі в сумарній похибці. Розрахунок проводився з урахуванням таких умов: обробка деталей проводиться на новому верстаті моделі 1И611П, що має $f_r = f_a = 0,005$ мм; $f_{z.б.} = 0,010$ мм; $f_{п.б.} = 0,005$ мм; $\Delta d_{заг} = 0,002$ мм; $\Delta d_{зим} = 0$; $\Delta d_8 = 0$; різець встановлений по центру обробки; жорсткість передньої бабки $j_{п.б.} = 30000$ Н/мкм; жорсткість задньої бабки $j_{з.б.} = 24000$ Н/мкм; через невеликий діаметр оброблюваного валика і нетривалості часу обробки ($T = 1,6$ хв.), похибка від температурного розширення не враховувалась і виліт різця прийнятий рівним $L_p = 40$ мм; середнє збільшення температури за час обробки $T_{cp} = 3$ °С. З метою отримання даних про характер впливу різних факторів на точність обробки похибка від деформацій елементів верстата і похибка від деформацій деталі розраховані окремо, розрахунок зроблений по 5 рівновіддалених одна від одної точках. Отримані розрахункові величини похибок обробки близько сходяться з величинами похибок, отриманих при експериментальній обробці. Результати аналітичного визначення точності обробки показують, що 97 % величини сумарної похибки при чорновій обробці складає похибка від пружної деформації деталі; при чистовій обробці ця похибка складає 85 % загальної похибки. Розбіжність результатів з фактичними, отриманими при експериментальній токарній обробці (11–13 мкм) цілком пояснюється дією випадкових збурюючих факторів, що не враховувались при аналітичному визначенні точності обробки. З аналізу отриманих результатів випливає, що з підвищенням точності обробки зростає відносне значення випадкових похибок у загальній похибці обробки, у наведеному вище прикладі їхнє значення складає до 40 %.

Висновок. Такий підхід покладено в основу розроблення адаптивної системи керування точністю оброблення поверхонь обертання деталей роликів підшипників в умовах переналаджувального автоматизованого підшипникового виробництва.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Адаптивное управление станками / под ред. *Б.С. Балакишина*. – М. : Машиностроение, 1973. – 688 с.
2. *Соколовский А.П.* Научные основы технологии машиностроения / *А.П. Соколовский*. – М.–Л. : Машгиз, 1955. – 515 с.
3. *Спришевский А.И.* Подшипники качения / *А.И. Спришевский*. – М. : Машиностроение, 1968. – 632 с.
4. Основы технологии машиностроения / *В.М. Кован и др.* – М. : Машиностроение, 1965. – 521 с.
5. *Рыжов Э.В.* Технологические методы повышения износостойкости деталей машин / *Э.В. Рыжов*. – К. : Наукова думка, 1984. – 272 с.
6. *Базров Б.М.* Технологические основы проектирования самоподнастраивающихся станков / *Б.М. Базров*. – М. : Машиностроение, 1978. – 216 с.

МАРЧУК Віктор Іванович – доктор технічних наук, професор кафедри «Приладобудування» Луцького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

– технологічне забезпечення показників якості поверхонь обертання на операціях механічного оброблення.

ЛУК'ЯНЧУК Юрій Анатолійович – аспірант кафедри «Приладобудування» Луцького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

– технологічне забезпечення показників якості поверхонь обертання на операціях механічного оброблення.

Подано 20.10.2011

