

УДК 621.914.1

Гринюк С.В., Міскевич О.І.

Луцький національний технічний університет

ТЕХНОЛОГІЧНЕ КЕРУВАННЯ ТОЧНІСТЮ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ

Гринюк С.В., Міскевич О.І. Технологічне керування точністю обробки поверхонь роликотпідшипників в автоматизованих системах. У статті розглядаються основні напрямки дослідження точності при обробці поверхонь роликотпідшипників з використання автоматизованих систем та оцінка статичної похибки оброблюваної деталі.

Ключові слова: автоматизована система, точність, похибка, підшипники, процес.

Гринюк С.В., Міскевич О.І. Технологічне керування точністю обробки поверхонь роликотпідшипників в автоматизованих системах. В статті рассматриваются основные направления исследования точности при обработке поверхностей роликотпідшипников по использованию автоматизированных систем и оценка статической погрешности обрабатываемой детали.

Ключевые слова: автоматизированная система, точность, погрешность, подшипники, процесс.

Grinyuk S., Miskevich O.I. Technological tone of the tachnitsyu oblepochki of the superconducting of the bearings in the avtomatizovyh system. The article deals with the main directions of study of accuracy in the processing of surfaces of roller bearings using automated systems and estimation of the static error of the workpiece.

Keywords: automated system, accuracy, error, bearings, process.

Вступ. Дослідження в галузі точності технологічних процесів і операцій являються базою та передумовою для створення систем управління якістю виробів, що особливо важливо для умов автоматизованого виробництва. Вимоги сучасного виробництва не задовольняє управління, що обмежується початковим налагоджуванням устаткування, підналагоджуваннями координат розміщення інструменту, або заміною неякісного інструменту. Багато технологічних процесів вимагають використання вдосконалених засобів керування, в тому числі самоналагоджувальні системи керування, які забезпечують оптимальний хід технологічного процесу навіть при випадкових коливаннях характеристик оброблюваності матеріалу і інтенсивності зношуваності інструменту, а також при температурних, силових та інших збуреннях.

Для створення таких систем управління точністю та якістю виробів необхідне математичне описання технологічного процесу з врахуванням наслідків впливу на нього широкого спектру різномірних зовнішніх та внутрішніх чинників.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз робіт показує, що в дослідженні точності можливо виділити три основних напрямки [5]: перший напрямок носить геометричний характер, базується на теорії розмірних ланцюгів, розроблений Б. С. Балакшиним [2]; другий пов'язаний з дослідженням в основному жорсткісних характеристик деталей, технологічного устаткування, спорядження і їх впливу на точність та жорсткість технологічних систем [4]; третій напрямок базується на поєднанні та врахуванні всього комплексу чинників, в тому числі геометричних і жорсткісних [7].

Метою роботи є дослідження традиційних методів підвищення точності, які ґрунтуються на покращенні технологічних характеристик верстатів і проектування технологічних процесів з заданою точністю (конструкторські методи керування точністю та керування координатами розміщення інструменту відносно заготовки).

Виклад основного матеріалу. В геометричному розмірному аналізі на основі теорії розмірних ланцюгів розроблені правила та принципи, як наприклад принцип єдності баз, принцип найкоротшого шляху, принцип суміщення та постійності баз, умова найменшої похибки, 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. В 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 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 підґрунтя при обробці жорстких деталей.

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

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

$$\delta = \Delta_{ЗАГ} \frac{K_{ЭУС} \cdot K_P}{1 + K_{ЭУС} \cdot K_P} \quad (1)$$

де δ – неточність обробленої деталі;

$\Delta_{ЗАГ}$ – відома неточність заготовки;

$K_{ЭУС}$ – статична характеристика (податливість еквівалентної пружної системи верстата);

$K_P = K_{УД} \cdot b$ – коефіцієнт різання;

$K_{УД}$ – питома сила різання;

b – ширина зрізаного шару.

В третьому напрямку 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 [1]. Ця модель знайшла віддзеркалення в роботах інших дослідників.

В основу аналітичних досліджень точності у всіх роботах покладена лінійна модель виду:

$$\Delta = \Delta_y + \Delta_c + \Delta_o$$

або її модифікації, де Δ – похибка обробки; Δ_y , Δ_c , Δ_o – відповідно похибки встановлення, статичного та динамічного налаштування. Нелінійність, що виникає в процесі формування похибок, не враховується.

Методика проектно-точнісних розрахунків розроблена Н. А. Бородачевим, [3] враховує максимальну кількість технологічних факторів і дозволяє отримати достатньо правдиві результати. Однак, використання даної методики ускладнюється через відсутність довідкового матеріалу у відповідності з прийнятою автором диференціацію виробничих процесів.

Базуючись на розрахунково-аналітичному методі і в подальшому розвинутих, 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 наступні фактори, що викликають відповідні похибки: геометрична неточність верстата (Δ_1), зношуваність ріжучого 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 $\Delta_{сум} = \Delta_c + \Delta_{сл}$, де Δ_c – алгебраїчна сума систематичних похибок:

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

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

При підсумовуванні похибок необхідно враховувати тип виробництва: одиничне, дрібносерійне, серійне і масове. В одиничному і дрібносерійному виробництвах приходиться рахуватися тільки із систематичною похибкою (Δ_c), тому що механічна обробка в умовах такого виробництва має ряд особливостей і 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:

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

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), являє собою похибку форми деталі. Похибка геометричної форми представляє різницю відповідних розмірів однієї і тієї ж деталі, обумовленої кресленням, і входить у вигляді складової частини в сумарну похибку обробки і складає її переважаючу частину 50-70%.

Пружні деформації нежорсткої заготовки під дією сили різання входять у складову 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 ступіні до іншої буде визначатися залежністю:

$$y_0 = \frac{P_x^5}{3EI_1L^2} + \frac{P}{EI_2} \left[\left(\frac{L^3 - x^3}{3} \right) \left(1 - \frac{x^2}{L} \right) - 2 \left(\frac{L^2 - x^2}{2} \right) \left(x - \frac{x^2}{L} \right) + x(L - x) \right], \quad (4)$$

$$\text{при } x = L/2 \quad y_0 = \left[PL^3 / EI_1 + PL^3 / EI_2 \right] \cdot 1/96,$$

де x - координата поздовжнього перетину, у якій визначається прогин; I_1, I_2 - моменти інерції ступіней 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, з урахуванням виразу (4) дозволяє з достатньою точністю розрахувати переважаючу похибку і, надалі намітити шляхи її усунення.

У роботі [6] розглянутий приклад розрахунку окремих складових похибок і частка їхньої участі в сумарній похибці. Розрахунок проводився з урахуванням наступних умов: обробка деталей проводиться на новому верстаті моделі 1ИБ11П, що має $f_r=f_a=0,005$ мм; $f_{з.б.}=0,010$ мм; $f_{н.б.}=0,005$ мм; $\Delta d_{заг}=0,002$ мм; $\Delta d_{изм}=0$; $\Delta d_8=0$; різець встановлений по центру обробки; жорсткість передньої бабки $j_{н.б.}=30000$ 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 $T_{cp}=3^\circ\text{C}$. 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 один від одної точках, результати розрахунків зведені в табл. 1.. 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 враховувалися 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 вищенаведеному прикладі їхнє значення складає до 40%.

Технологічний процес шліфування має ряд істотних відмінностей від процесів різання лезовим інструментом: хаотичне розташування і різновисотність величезної кількості дрібних зерен на робочій поверхні круга; переривчаста ріжуча кромка у шліфувального круга; неправильна геометрична форма абразивних зерен і наявність у них округлених вершин, що утворюють негативні передні кути різання від 40° до 150° ; висока твердість, гострота, крихкість і термостійкість абразивних зерен; динамічний вплив кожного зерна на оброблюваний поверхневий шар; високий ступінь нагрівання оброблюваного матеріалу і стружки; висока швидкість і мала глибина різання; диспергування (роздрібнення) стружки супроводжується значними витратами енергії на подолання тертя (у 4-5 разів більше, ніж при фрезеруванні й у 12-15 разів більше, ніж при точінні).

Таблиця 1. Залежності для визначення складових похибки

№ п.п.	Причини похибки	Знак похибки	Похибка у перетині деталі $\times 10^{-3}$ мм										
			L	0,9L	0,8L	0,7L	0,6L	0,5L	0,4L	0,3L	0,2L	0,1L	
1	Геометрична неточність і знос верстата	\pm	$\Delta_1 = x/L(f_2 + f_8 + f_{з.б.} + f_{н.б.}) - \Delta d_8 + \Delta d_{изм} + \Delta d_{заг}$										
2	Розмірний знос ріжучого інструмента	+	$\Delta_2 = \frac{U_0 L_{рез}}{1000}, \quad L_{рез} = \frac{\pi dL}{1000S}$										
3	Температурні деформації системи ВПІД	-	$\Delta_3 = L_{рез} \cdot \alpha \cdot T_{cp}$										
4	Пружні деформації технологічної системи ВПІД під впливом сили різання	+	$\Delta_4 = P_y \left[\frac{x^2(L-x)^2}{3EIL} \beta + \frac{(L-x)^2}{L^2 \cdot j_{н.б.}} + \frac{x^2}{L^2 \cdot j_{з.б.}} + \frac{1}{j_c} \right]$										
5	Сумарна похибка		$\Delta_c = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4$										

Таблиця 2. Числові значення складових похибок обробки циліндричної поверхні зовнішнього кільця підшипника (токарна операція)

№ п.п.	Причини похибки	Величини похибок після 1-го проходу					Величини похибок після 2-го проходу				
		0	0,25L	0,5L	0,75L	L	0	0,25L	0,5L	0,75L	L
1	Геометрична неточність верстата	0,002	0,005	0,010	0,013	0,017	0,002	0,005	0,010	0,013	0,017
2	Знос ріжучого інструмента	0,0003	0,0002	0,0001	0	0	0,0003	0,0002	0,0001	0	0
3	Температурні деформації системи ВПІД	-0,014	-0,010	-0,007	-0,003	0	-0,0098	-0,0074	-0,0049	-0,0024	0
4	Пружні віджаття деталі	0	0,1005	0,144	0,096	0	0	0,0221	0,0316	0,0211	0

Шліфування розглядається як процес масового дуже тонкого надшвидкісного мікрорізання

окремими зернами шліфувального круга. Стружка знімається окремим зерном за час 10-4-10-5 с, тобто практично миттєво. Абразивні зерна мають різну форму і розміри, розташовані хаотично по периферії круга з різною глибиною залягання. Кожне зерно прорізає в металі канавку, що відповідає розмірам і

формі його виступаючої частини. Це викликає появу повздовжніх нерівностей поверхні, що представляють сукупність безсистемно розташованих виступів і западин. Вирівнювання нерівностей відбувається, коли сукупність абразивних зерен наближається до суцільного ріжучого леза, що має місце при збільшенні швидкості кола V_k , зниженні швидкості деталі V_d і повздовжньої подачі $S_{пр}$, зменшенні розмірів зерен.

Залежність процесу формування поверхні при шліфуванні від властивостей матеріалу оброблюваної деталі, гостроти ріжучих зерен, хімічного споріднення контактуючих пар, пластичної деформації і вібрацій. Відзначено, що на характер нерівностей обробленої поверхні може впливати перевага одного з цих факторів. Але умови формування поверхні, внаслідок затуплення і зміни форми зерен шліфувального круга, безупинно змінюються в часі. Значний вплив на формування поверхонь деталей при шліфуванні здійснюють вібрації, що є наслідком коливань нежорстких заготовок, періодично виникаючих дефектів вузлів верстата й інструмента, тертя поверхні інструмента оброблювану поверхню й інші причини. При чистовому шліфуванні на утворення хвилястості, наприклад, найбільш активно впливають коливання оброблюваної деталі, шліфувальної бабки, шліфувального круга, співвідношення швидкостей деталі і круга, їхні розміри, число проходів і зрушення фаз хвиль при наступних проходах.

Амплітуда і частота вібрацій залежать від вібростійкості верстата, деталі й інструмента. У ряді випадків коливання можуть мати змінну амплітуду, величина якої в даний момент часу випадкова. Це вкрай ускладнює встановлення причин появи вібрацій, характеру і закономірності їхнього впливу на формування поверхні деталі при її шліфуванні.

Сформовані представлення про механізм різання абразивними зернами, характеру руйнування металу й інших фізичних явищ при шліфуванні багато в чому суперечливі. Мало відомостей про особливості формування точності форми при шліфуванні нежорстких заготовок. Аналітичні залежності у більшості випадків носять приватний характер, тому що отримані для конкретних умов і видів шліфування. Дані про взаємозв'язок і вплив окремих технічних і технологічних параметрів і умов на формування якості й експлуатаційних властивостей деталей під час шліфування не враховують характерних рис обробки поверхонь обертання кілець підшипників з позицій керування хвилястістю поверхонь.

Висновки. Таким чином дослідження технологічного походження хвилястості робочих поверхонь підшипників кочення з метою направленою керування віброакустичними характеристиками підшипників залишається на сьогоднішній день актуальною проблемою, яка може бути вирішена на основі комплексного підходу до дослідження і моделювання зв'язків технологічних факторів формування з показниками якості поверхонь на формують операціях механічної обробки.

1. Базров Б.М. Расчеты точности машин на ЭВМ. – М.: Машиностроение, 1984. – 256 с.14
2. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1969. – 556 с.17
3. Бородачев Н.А. Анализ качества и точности производства. – М.: Машгиз, 1952. – 252 с.26
4. Левина З.М., Решетов Д.И. Контактная жесткость машин. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.100
5. Основы технологии машиностроения. / Под ред. В.С. Корсакова. – М.: Машиностроение, 1977. – 416 с.181
6. Разработка и исследование элементов и систем автоматического управления токарным станком при обработке нежестких деталей. / Лакс В.К., Кудинов В.К., Шамлиев В.К., Тараненко В.А. и др./ Реферат информации о НИР в ВУЗах УССР: Машиностроение и металлообработка К.: Вища школа, 1978. – Вып. 21. - С. 73-74.200
7. Точность производства в машиностроении и приборостроении. / Под ред. А.Н. Гаврилова. – М.: Машиностроение, 1973. – 567 с. 241