


ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

ТКАЧЕНКО БОРИС ОЛЕГОВИЧ



ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ВИСОКОПРОДУКТИВНОГО
ФІНІШНОГО РІЗЬОШЛІФУВАННЯ ПРЕЦИЗІЙНИХ
ХОДОВИХ ГВИНТІВ

Спеціальність 05.02.08 - Технологія машинобудування

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття вченого ступеню
кандидата технічних наук

Одеса - 1994



00756574 (Y)

AB 30.68

... державном політехнічном
університеті.

Наукові керівники: Заслужений діяч науки України,
Лауреат Державної премії України,
доктор технічних наук, професор
Якимов Олександр Васильович

кандидат технічних наук, ст. н. с.
Даршін Василій Петрович

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Усов Анатолій Васильович

кандидат технічних наук
Русавський Юрій Павлович

Провідна організація - Український науково-дослідний
інститут верстатів та інструментів,
м. Одеса.

Захист відбудеться "27" вересня 1994 р. у 14⁰⁰ годин
на засіданні спеціалізованої вченої Ради Д 05.06.01 в Одеському
державному політехнічному університеті за адресою:
270044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1, ОДПУ

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Одеського
державного політехнічного університету

Автореферат розісланий "1" листопада 1994 р.

Вчений секретар
спеціалізованої Ради,
професор

І. М. Білоконов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Передачі гвинт-гайка качання /ГГК/ знайшли широке застосування у верстат- і літакобудуванні, атомній і військовій техніці, а також в інших областях машинобудування, наприклад, в механізмах позиціонування металорізучих верстатів з ЧПУ. Точність передачі значною мірою залежить від точності деталей, з котрих ця передача складається. При цьому найбільш відповідальною деталлю передачі є ходовий гвинт, точність котрого формується на операції фінішного багатоперехідного різьбошліфування. Точність і продуктивність шліфування різьби ходових гвинтів зумовлюються етапом розробки операційного технологічного процесу різьбошліфування. При підвищенні продуктивності процесу точність виготовлених гвинтів часто виявляється нижчою, так як із зростанням продуктивності збільшується нестабільність процесу, котра проявляється, наприклад, у розширенні діапазону коливання осьових температурних деформацій ходових гвинтів, що оброблюються шліфуванням. А тому забезпечення і стабілізація точності фінішного різьбошліфування прецизійних ходових гвинтів при високій продуктивності обробки є актуальним завданням.

Мета роботи. Забезпечення і стабілізація точності шагу різьби при високопродуктивному різьбошліфуванні за рахунок оптимізації і регулювання процесу відповідно на етапах його розробки і реалізації.

Методи дослідження. При виконанні теоретичних досліджень використовувались наукові основи технології машинобудування, теплофізики шліфування, теорії різання металів, прикладної теорії пружності, теорії автоматичного управління, теорії планування експерименту, математичної статистики та інше.

Наукова новизна. Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі використано системний підхід до управління процесом різьбошліфування, виявлені технологічні резерви для підвищення продуктивності обробки. Встановлений механізм формування накопичення погрішності шагу різьби для різноманітних схем багатоперехідного фінішного різьбошліфування /обробка правих і лівих різьб і при різноманітних схемах охолодження заготовок /локальна та розподільча/. Розроблені одно-, дво- і тримірні математичні моделі температурної погрішності шагу різьби відповідно до локальної та розподільчої схем охолодження заготовки. Розроблена мето-

дика перетворення /модифікації/ вихідних одно-, дво- і тримірних математичних моделей в моделі поліноміального виду. Встановлено раціональні структурні схеми корекції поліноміальних моделей, що забезпечують самонавчання автоматизованою технологічною системою різьбшлідування. Зап. опоновано спосіб стабілізації точності високопродуктивного фінішного різьбшлідування на основі технологічної діагностики процесу.

Практична цінність. Для різних схем фінішного високопродуктивного різьбшлідування і при різних схемах охолодження заготовки розроблені технологічні критерії забезпечення шагу різьби. Встановлені інтервали настройки корекційної лінійки різьбшлідувального верстату, виходячи з вимог максимальної продуктивності обробки і її бездефектності. Підготовлена технологічна інструкція по визначенню глибини і числа переходів фінішного високопродуктивного різьбшлідування, що забезпечують раціональну зміну осьових температурних деформацій заготовок по мірі знімання припуску з урахуванням корекційної лінійки верстату. Розроблена і експериментально досліджена типові технологія фінішного автоматизованого різьбшлідування. Розроблена і експериментально досліджена самонавчача мікрокомп'ютерна система автоматично. діагностики процесу різьбшлідування, що дозволяє стабілізувати точність шагу різьби, що обробляється на верстаті з ЧПУ.

Реалізація роботи. Практичне застосування розробленої технології фінішного автоматизованого різьбшлідування дозволило підвищити стабільність осьових температурних деформацій гвинтів, що шліфуються і, як наслідок, зменшити трудомісткість виготовлення хлових гвинтів другого і третього класів точності по параметру накопиченої погрішності шагу різьби. Економічний ефект від впровадження склав більше 100000 крб. за цінами 1991 року.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи і окремі її результати розглядалися на восьми науково-технічних конференціях різного рівня /Жевськ - 1988, Барнаул - 1989, Москва - 1994, Одеса - 1993, Київ - 1992, Луцьк - 1992, Рибінськ - 1992/ в тому числі "Фінішні методи обробки", м.Жевськ, 1988 р.; "Нові технологічні процеси в машинобудуванні", м.Одеса, 1993 р.

В повному обсязі дисертація п.дставлена і ухвалена на спільному засіданні профілюючих кафедр механіко-технологічного факультету Одеського політехнічного університету.

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 13 друкованих робіт.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів і висновків, що викладені на 140 сторінках машинописного тексту, має список літератури із 90 найменувань та додатку на 42 сторінках. В роботі 34 малюнки, 5 таблиць.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність проблеми, викладена суть використаного системного підходу, подані коротка характеристика та основні результати роботи.

В першому розділі розглянуто стан питання, сформульовані мета і завдання дослідження. В працях Боголюбова Д.В., Белова Г.В. Соболевої Н.В., Соколова В.Ф та інших дослідників встановлено, що домінуючий вплив на формування випадкової складової погрішності шагу різьби справляє осьова температурна деформація гвинтів, що шліфуються. Практика застосування існуючих методів компенсації погрішностей шагу різьби в процесі обробки показала, що наведені методи не дозволяють забезпечити вимогу до точності різьби по шагу при високій продуктивності обробки.

В цьому зв'язку для досягнення поставленої в роботі мети необхідно вирішити такі завдання.

1. Встановити на основі теоретичного аналізу механізм формування випадкової погрішності шагу різьби при багатоперехідному фінішному різьбошліфуванні прецизійних ходових гвинтів.

2. Розробити математичні моделі шагової погрішності різьби для управління процесом на етапах його розробки і реалізації.

3. Розробити методику проектування і розрахунку технологічних переходів високопродуктивного фінішного різьбошліфування, виходячи із забезпечення точності обробки, що вимагається.

4. Розробити самонавчавчу мікрокомп'ютерну систему автоматичної діагностики процесу, що дозволить стабілізувати точність шагу різьби при різьбошліфуванні.

5. Провести виробничі випробування розробленої високопродуктивної технології фінішного автоматизованого різьбошліфування і впровадити результати досліджень у виробництво.

В другому розділі встановлено механізм формування випадкової температурної погрішності шагу різьби для різноманітних схем фінішного багатоперехідного різьбошліфування. Розроблені одно-, дво- і тримірні математичні моделі осьових температурних

деформацій ходових гвинтів стосовно до локальної і розподільчої схем охолодження заготовки. На основі аналізу одержаних рішень встановлені технологічні параметри, що однозначно впливають на величину осьових температурних деформацій гвинтів і досліджені можливості їх використання для управління точністю шагу різьби.

Точність фінішного різьбошліфування можна досягнути за рахунок стабілізації до початку останнього переходу осьових температурних деформацій шліфованих гвинтів $\Delta l_{оп}$ на рівні настройки корекційної лінійки $\Delta l_{кл}$

$$\Delta h = \Delta l_{оп} - \Delta l_{кл} = 0 \quad (I)$$

де Δh - накопичена погрішність шагу різьби. Як видно із виразу (I), точність шагу різьби можна забезпечити за рахунок управління температурними деформаціями заготовок таким чином, щоб стабілізувати ці деформації до початку останнього переходу. З цієї метою розроблені математичні залежності, що описують вказані деформації.

Поверхня заготовки при фінішному різьбошліфуванні підлягає циклічному процесу нагріву і охолодження, причому кількість циклів визначається кількістю переходів фінішного різьбошліфування. Диференціальне рівняння теплопровідності в циліндричних координатах має вигляд

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \left[\rho \frac{\partial \theta}{\partial r} \right]' + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 \theta}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} + \alpha \frac{\partial \theta}{\partial \varphi} + \nu \frac{\partial \theta}{\partial \xi} + \rho_0 \quad (2)$$

Початкові і граничні умови

$$\theta|_{t=0} = 0 \quad \left[\frac{\partial \theta}{\partial r} + Bi \theta \right]_{r=1} = 0 \quad (3) \quad (4)$$

де θ - безрозмірна температура; t_0 - безрозмірний комплекс, що визначає час /число оборотів/; P_0 - критерій Померанцева; Bi - критерій Біо.

На основі рішення диференціального рівняння (2) при початкових (3) і граничних (4) умовах одержані залежності для визначення випадкової складової (Δh) накопиченої погрішності різьби при розподільчій (Δh_p) і локальній (Δh_l) схемах охолодження заготовки для три- дво- і одномірної моделі теплового поля. Наприклад, для три- і одномірної моделі ці залежності при локальній схемі охолодження мають такий вигляд

$$\Delta h_{\text{л}}^{\text{II}} = \frac{2B_0 R \gamma L_p}{\pi \sqrt{\lambda}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{B_i}{(B_i^2 + \text{San}^2)} e^{-\text{San}^2} \times \left\{ \text{erf} \left(\frac{h_0}{\sqrt{2}} + \frac{L_0 - \frac{V_0}{2} R_2}{\sqrt{2}} \right) + \text{erf} \left(\frac{h_0 - L_0 + \frac{V_0}{2} R_2}{\sqrt{2}} \right) \right\} \Delta L_0 - \Delta L_{\text{кл}} \quad (5)$$

$$\Delta h_{\text{л}}^{\text{I}} = \gamma L_p \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \exp(-\text{San} F_{02}) B_i^2}{\text{San}^2 (\text{San}^2 + B_i^2)} \left\{ \frac{2 q_{\text{к}} R (2 F_{01} + \frac{1}{4} - \frac{2}{\text{San}^2} + \frac{1}{B_i}) - \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2 \exp(-M m^2 F_{01}) \text{San}^2}{M m^2 (\text{San}^2 - M m^2)} \right\} + \Delta L_0 - \Delta L_{\text{кл}} \quad (6)$$

де q , $q_{\text{к}}$ - щільність теплового потоку смугового /гвинтового/ і кільцевого джерела тепла; ΔL_0 - основа температурна деформація гвинта перед початком переходу різьбошліфування; L_0 - довжина зони охолодження; San - корені/власні числа/ характеристичного рівняння $B_i J_0(S) - S J_1(S) = 0$; γ - коефіцієнт лінійного розширення; L_p - довжина різьбової частини; F_{01} і F_{02} - безрозмірні комплекси, що визначають час нагрівання і охолодження заготовки; $M m$ - корені характеристичного рівняння $J_1(M) = 0$

Для визначення параметрів кільцевого джерела $1 q_{\text{к}}$ і $h_{\text{кл}}$ розроблено умови адекватності дії реального і кільцевого теплових джерел: 1/ рівність температурних деформацій заготовки на ділянці, що розглядається; 2/ рівність потужностей реального і кільцевого джерела тепла. Маємо формули, якими пояснюються параметри кільцевого джерела через параметри смугового джерела.

Із теоретичного аналізу рішень, які одержані, встановлено, що найбільш простим є рішення (6). Однак, аналіз точності, що провадився методом вчислювального експерименту, показав, що результати розрахунку накопиченої погрішності шагу різьби за рівняннями одно-, дво- і тримірних моделей співвідносяться між собою як 2,9 : 1, 4 : 1, 0. Причому найбільш точним /по відношенню до експериментальних даних/ є рівняння тримірної моделі. А тому вони використані при проектуванні технологічних переходів і високо-продуктивних циклах різьбошліфування.

Теоретичний аналіз залежностей, що одержані, а також результати експериментів показали, що найбільш ефективним впливом /з

точки зору управління точністю шагу різьби/ є корекція режимів різьбошліфування - частоти оберту заготовки та глибини шліфування. Встановлено, що при фіксованій настройці корекційної лінійки верстату із збільшенням глибини шліфування і частоти обертання заготовки температурна погрішність шагу різьби, що описана залежністю (I), збільшується. А тому пропонується такий спосіб управління: на етапі розробки процесу здійснюється розрахунок розподілу припуску по переходах фінішного різьбошліфування /тобто управління здійснюється за рахунок глибини шліфування/, а на етапі обробки - управління здійснюється за рахунок зміни частоти обертання заготовки і часу її охолодження з метою стабілізації осьових температурних деформацій до початку останнього переходу різьбошліфування у відповідності з формулою (I).

На основі розроблених залежностей одержані розрахункові формули, котрими розкриваються осьові температурні деформації гвинтів на інтервалі всього робочого циклу знімання припуску /за кілька переходів/, що використовуються на етапі проектування переходів фінішного різьбошліфування.

В третьому розділі розробляється методика проектування переходів високопродуктивного фінішного різьбошліфування, що забезпечує високопродуктивний робочий цикл знімання припуску /методика забезпечує вибір настройки корекційної лінійки різьбошлідувального верстату і розрахунок розподілу припуску по технологічних переходах/.

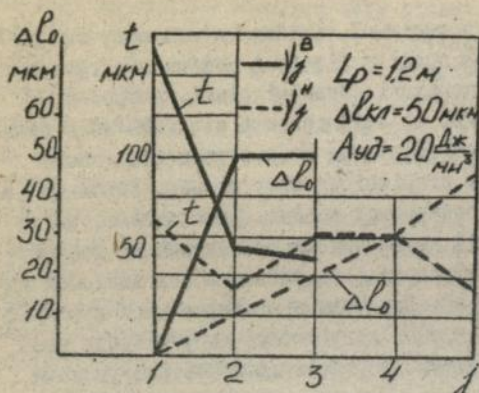
Величина настройки корекційної лінійки різьбошлідувального верстату обумовлює додаткові зміщення профілю шлідувального круга відносно профілю різьби, що шлідується. Це зміщення обумовлює несиметричне розташування припуску по профілю різьби, досягає максимуму в крайніх /лівому і правому/ положеннях шлідувального круга відносно заготовки. У відповідності з формулою (I) збільшення $\Delta \delta$ обумовлює необхідність збільшення $\Delta \delta_{\text{кор}}$. Останнє може бути досягнуто за рахунок збільшення глибини шліфування. Однак із збільшенням $\Delta \delta_{\text{кор}}$ зростає зміщення профілю зростає, що обмежує можливість набору глибини різання на першому переході через можливість підрізання профілю, а це обумовлює зниження продуктивності процесу. Таким чином, для кожного типорозміру і класу точності гвинтів, що обробляються, існує раціональна область величини корекції, котрі необхідно внести в настройку верстата. Розроблена методика включає визначення кордонів цієї області /побудовані відповідні номограми/. У відповідності з цим методом верхній

і нижній рівні настройки корекційної лінійки визначають, виходячи з недопущення підрізання профілю різьби і дефектів шліфування на першому технологічному переході. Вказані рівні настройки визначають і системи рівнянь, що встановлюють взаємозв'язок величини внесеної корекції з геометричними параметрами різьбового профілю, а також з похідною погрішністю шагу різьби, глибиною дефектного шару і величиною поперечної подачі. Встановлено, що величина максимальної корекції визначається геометричними параметрами профілю різьби, що шліфується і не залежить від вихідної накопиченої погрішності шагу різьби. Величина мінімальної корекції залежить від вихідної накопиченої погрішності шагу різьби, геометричних параметрів різьбового профілю і визначається умовами безрипального шліфування.

Розроблена методика розподілу припуску, яка оснований на обмеженні осьових температурних деформацій на рівні настройки корекційної лінійки різьбошліфувального верстату. Це обмеження забезпечується, по-перше, стабілізацією на відповідному рівні осьових температурних деформацій до початку останнього переходу різьбошліфування; по-друге, траєкторії зміни осьових температурних деформацій заготовки по переходах різьбошліфування, що вимагаються. Досліджені можливі варіанти траєкторії зміни осьових температурних деформацій заготовок. Обґрунтований раціональний варіант, у відповідності з яким на першому переході осьова температурна деформація гвинта, що шліфується, складає половину величини корекції, що внесена в настройку верстата, а на другому і на наступних переходах - досягається потрібний різьб. Алгоритм розрахунку ґрунтується на розробленій математичній моделі процесу, рівняння якої розкриває осьову температуру деформації заготовки на інтервалі всього робочого циклу знімання припуску.

На основі аналізу результатів розрахунку розподілу припуску /для мал./ встановлено, що величина корекції $\Delta L_{\text{км}}$, що вноситься в настройку верстата, а також прийнята траєкторія зміни осьових температурних деформацій по шліфу знімання припуску надає безпосередній вплив на продуктивність процесу, котру можна побічно характеризувати безрозмірним коефіцієнтом $\eta = \Delta L_{\text{км}} / L_{\text{км}}$

Збільшення корекції чи рівня осьових температурних деформацій по переходах, до трьох збільшується $1/3$ і, обумовлюють збільшення кількості переходів, що вимагаються. Встановлено, що кількість переходів шліфування збільшується пропорційно збільшенню



Розподіл припуску / t / і температурної деформації гвинтів / ΔL_0 / по переходах різьбшліфування; V_c^a і V_c^H коефіцієнти, що характеризують траєкторії зміни осьових температурних деформацій гвинтів при високо- і низькопродуктивній обробці відповідно.

питомої роботи шліфування $A_{чд}$, що характеризується ріжучими властивостями шліфувальних кругів.

На основі результатів розрахунків /за розробленою методикою/ складені таблиці по визначенню глибини і числа переходів різьбшліфування в залежності від величина припуску, що знімається, питомої роботи шліфування, внесеної корекції і схеми охолодження заготовки. Ці дані є вихідними для розробки програми, що управляється система ЧПУ різьбшліфувального верстату.

В четвертому розділі встановлені раціональні структурні схеми корекції математичних залежностей, що розкривають осьові температурні деформації. Розроблена методика перетворення вихідних /одно-, дво- і тримірних/ математичних моделей в моделі поліноміального виду, котрі можна автоматично корегувати при самонавчанні технологічної системи автоматизованого різьбшліфування. Розроблена і експериментально досліджена самонавчаюча мікрокомп'ютерна система автоматичної діагностики процесу різьбшліфування.

Для підвищення точності поліноміальних моделей розроблено метод їх корекції, сутність котрого полягає в корегуванні чисельних значень коефіцієнтів рівняння поліноміальної моделі на основі порівняння результатів розрахунку і виміру осьових температурних деформацій. Стосовно до рівнянь (5) і (6) вихідних математичних моделей одержані такі рівняння поліноміальних моделей.

$$\Delta h_{k1}^{II} = b_1 P + b_2 \frac{P}{n} + b_3 \Delta L_0 - \Delta L_{k1} \quad (7)$$

$$\Delta h_{k1}^I = a_1 \frac{P}{n} + a_2 \frac{P}{n^2} + a_3 \Delta L_0 + a_4 \frac{1}{n} - \Delta L_{k1} \quad (8)$$

де $P, n, \Delta l_0$ - виміряні відповідними датчиками значення потужності різьбшліфування, частоти обертів заготовки і початкової осьової деформації гвинта; $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, B_1, B_2, B_3$ - коефіцієнти.

Виходячи з мінімальної погрішності рівнянь, що корегувались, встановлені оптимальні структурні схеми корекції. Наприклад, для рівняння (7) корекцію необхідно здійснювати на першому переході по коефіцієнтах B_1 і B_2 , на другому - по коефіцієнтах B_1 і B_3 . Для рівняння (8) - на першому переході по коефіцієнту Q_2 , а на другому - по Q_4 . Встановлено, що корекція поліноміальних моделей за розробленими алгоритмами, дозволяє суттєво /в 1,5-2 рази/ збільшити їх точність по відношенню до точності вихідних моделей. Крім того, застосування розроблених алгоритмів корекції забезпечує інваріантність результатів прогнозування накопиченої погрішності шагу різьби по відношенню до числа координат вихідної математичної моделі.

На основі приведених теоретико-експериментальних досліджень розроблена самонавчаюча мікрокомп'ютерна система /СМС/, що дозволяє збільшити точність різьбшліфування на основі діагностики осьових температурних деформацій заготовок при шліфуванні. Система має такі блоки: датчики осьової деформації; потужності різьбшліфування, обертів деталі, кінця переходу, а також аналоговий комутатор, цифроаналоговий і аналогоцифровий перетворювачі, мікро-ЕОМ і зовнішній індикатор. Система працює таким чином. На початку технологічного переходу різьбшліфування в мікро-ЕОМ вводиться інформація про процес $P, n, \Delta l_0$. Розрахована на мікро-ЕОМ величина очікуваної деформації /погрішності шагу/ зрівнюється в кінці переходу з її вимірними значеннями. На основі результатів порівняння рівняння математичної моделі корегується. Результат розрахунку виводиться на зовнішній індикатор. Оскільки результат прогнозування, що відповідає моменту завершення технологічного переходу, виводиться на зовнішній індикатор ще на початку цього переходу, то робітник-різьбшліфувальник має можливість /на передостанньому переході/ внести корективи в технологічний процес. Цим забезпечується управління фінішним різьбшліфуванням для підвищення його стабільності. Із аналізу результатів експериментального дослідження СМС при обробці гвинтів 63x10x1200 мм встановлено існування перехідного процесу навчання. Найбільша погрішність прогнозування характерна для першої деталі, коли ко-

ефективні рівняння моделі різні їх первинним теоретичним значенням. Потім по мірі навчання системи, погрішність прогнозування зменшується. Наприклад, при послідовній обробці 9-ти заготовок гвинтів вказаного типорозміру середні /по всіх переходах кожної заготовки/ погрішність прогнозування δ склали

N_{δ} , шт. ...	I	3	5	7	9
δ , мкм. ...	10	4	3	3	3

Для зменшення часу перехідного процесу навчання встановлені значення коефіцієнтів, що корегуються, фіксуються в пам'яті мікроЕОМ

В п'ятому розділі експериментально досліджена типова технологія фінішного автоматизованого різьбшлідування. Розглянута можливість функціонування СМС в режимі автоматичного управління процесом. Розроблені алгоритми і функціональна схема системи, здійснено вибір регульовального параметру.

Випробування розробленої технології фінішного автоматизованого різьбшлідування проводили в умовах ВО "Мікрон" /м.Одеса/. Для цього в програму системи ЧПУ різьбшлідувального верстату вводили розрахунковий розподіл припуску по переходах фінішного різьбшлідування. У відповідності з розробленими номограмами настроювали корекційну лінійку верстату. Управління процесом на етапі обробки здійснювали по результатам прогнозування осьових температурних деформацій заготовок. В якості регульованого параметра використовували частоту обертання заготовки і, окрім того, погрішність управління, що залишилась, компенсували на зворотньому ході стола верстата перед початком останнього переходу за рахунок подачі охолоджувачої рідини /СОР/ на деталь, що оброблялась.

Випробування розробленої високопродуктивної технології фінішного різьбшлідування показали можливість збільшення стабільності різьбшлідування по параметру накопиченої погрішності шагу різьби в 1,5-2 рази при шлідуванні ходових гвинтів другого і третього класів точності. На основі узагальнення результатів проведених досліджень розроблені рекомендації по вибору критеріїв і регульованих параметрів для управління точністю різьбшлідування в залежності від схеми обробки різьби і схеми охолодження заготовки. Наприклад, при шлідуванні прямих різьб /в напрямку від заднього центру верстату до переднього/ при розподіленій схемі охолодження заготовки критерієм управління точністю шагу різьби на робочому ході є виконання умови $\Delta l_{n-1} \rightarrow \Delta l_{kn}$, де Δl_{n-1} - осьова температурна деформація заготовки перед останнім /n-им/ переходом. Регульованим параметром для реалізації цієї умови є

частота обертання заготовки n_{n-1} на передостанньому переході. На зворотньому ходу стола верстату критерієм управління є умова $\Delta L_{n-1} = \Delta L_{кл}$, котра досягається зміною часу охолодження заготовки.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

1. Для різних схем фінішного різьбшлідування /обробка прямих і лівих різьб/ і при різних схемах охолодження заготовок /локальне і розподільче охолодження/ встановлений механізм формування накопиченої погрішності шагу різьби, котра обумовлюється осьовою температурною деформацією заготовки перед початком останнього переходу.

2. В ході пошукових наукових досліджень встановлено, що для підвищення продуктивності і точності фінішного багатоперехідного різьбшлідування прецизійних гвинтів необхідно: усунути вплив температурних умов оточуючого середовища; забезпечити стабілізацію осьової деформації ходових гвинтів, що оброблюються, перед останнім переходом; збільшити інтенсивність охолодження заготовки; забезпечити активний контроль осьової температурної деформації гвинта, що оброблюється, і автоматизоване управління процесом з врахуванням індивідуальних особливостей заготовки.

3. Розроблені одно-, дво- і тримірні математичні моделі, що тлумачать накопичену погрішність шагу різьби стосовно до локальної і розподільчої схем охолодження заготовки, що встановлюють взаємозв'язок вказаної погрішності з режимами різання, умовами охолодження і типорозмірами заготовок. Зроблений порівняльний аналіз їх точності, котрий показує, що при інших рівних умовах результати розрахунку накопиченої погрішності шагу різьби за рівняннями вказаних моделей співвідносяться між собою як 2,9 : 1, 4 : 1,0, відповідно, причому найбільш точним є рівняння тримірної моделі, яке використане на етапі проектування.

4. Розроблено і експериментально досліджено спосіб розрахунку розподілу припуску по переходах різьбшлідування, що забезпечує раціональний закон зміни осьових температурних деформацій, котрі до початку остального технологічного переходу повинні відповідати настройці корекційної лінійки верстату.

5. Встановлено, що залежність між рівнем настройки корекційної лінійки верстату і числом переходів різьбшлифування є лінійною. Подані рекомендації по настройці корекційної лінійки.

6. Розроблено і експериментально досліджено спосіб технологічної діагностики процесу фінішного багатоперехідного різьбшлифування ходових гвинтів, у відповідності з котрим в процесі різьбшлифування вимірюють і одночасно по рівнянню математичної моделі визначають величину осьової температурної деформації заготовки. За результатом вимірювання і обчислення корегують вказане рівняння для забезпечення точності, що вимагається, а потім використовують скореговане рівняння для управління процесом.

7. Розроблені способи перетворення вихідних математичних моделей, які використовувались на етапі проектування, в модифіковані моделі поліноміального виду, що використовуються для управління процесом на етапі обробки, а також способи корекції рівнянь модифікованих математичних моделей.

Найдено оптимальні структурні схеми корекції.

8. Розроблена і експериментально досліджена самонавчаюча мікрокомп'ютерна технологічна система, що дозволяє стабілізувати осьові температурні деформації гвинтів, що обробляються, на основі діагностики процесу.

9. Впровадження розробленої типової технології фінішного автоматизованого різьбшлифування, а також самонавчаючої мікрокомп'ютерної системи технологічної діагностики процесу дозволило в 1,5-2 рази зменшити коливання накопиченої погрешності шагу різьби при високопродуктивному різьбшлифуванні ходових гвинтів другого і третього класів точності.

Основний зміст дисертації опубліковано в таких роботах:

1. Даршін В.П., Соколов В.Ф., Скляр А.М., Ткаченко В.О. Прогнозирование и регулирование температурной погрешности шага резьбы ходовых винтов при резьбшлифовании // Новое в резьбовых соединениях, способах резьбшлифования, конструкциях инструментов, способах и средствах контроля: Тез. доп. конф. - Тольятти, 1988. - С. 238-239.

2. Даршін В.П., Ткаченко В.О. Технологический процесс финишного автоматизированного шлифования резьбы ходовых винтов //

Финишные методы обработки: Тез. доп. конф. - Іжевськ, 1988. - С. 32-35.

3. Ларшін В.П., Ткаченко В.О. Повышение стабильности финишного шлифования резьбы ходовых винтов// Повышение эффективности технологических процессов машиностроительных производств: Тез. доп. конф. - Барнаул, 1989. - С.39-40.

4. Якимов О.В., Ларшін В.П., Ткаченко В.О. Повышение точности финишного шлифования резьбы ходовых винтов качения// Совершенствование процессов абразивно- алмазной и упрочняющей обработки в машиностроении: Міжауз. зб. наук. пр. - Перм, Політехнічний ін-т, 1990. - С. 3-13.

5. Ларшін В.П., Ткаченко В.О. Диагностика точности резьбошлифовальных станков с ЧПУ// Диагностика технологических дефектов станочных систем и их элементов при изготовлении и эксплуатации: Тез. доп. конф. - Москва, 1991. - С. 6-8.

6. Якимов О.В., Ларшін В.П., Ткаченко В.О. Микрокомпьютерная система автоматической диагностики финишного резьбошлифования шариковых ходовых винтов// Прогрессивные технологии в машиностроении: Тез. доп. конф. - Одеса, 1991. - С. 1-2.

7. Ларшін В.П., Ткаченко В.О. Диагностика технологической операции финишного резьбошлифования на основе микро- ЭВМ // Вестник машиностроения. - 1992. - № 3. - С. 58-61.

8. Ларшін В.П., Ткаченко В.О., Якимов О.В. Определение температурной погрешности шага резьбы ходовых винтов при резьбошлифовании// Прогрессивная технология в машиностроении: Тез. доп. конф. - Тольятті, 1992, - С.20.

9. Якимов О.В., Ларшін В.П., Ткаченко В.О. Системный подход к автоматизации процессов абразивной обработки// Новые технологические процессы в механической обработке: Тез. доп. конф. - Київ, 1992. - С.6-7.

10. Ларшін В.П., Ткаченко В.О., Якимов О.В. Автоматическая диагностика технологического процесса резьбошлифования шариковых ходовых винтов/ Автоматизация и диагностика в механообработке: Тез. доп. конф. - Луцьк, 1992. - С. 41-42.

11. Ларшін В.П., Ткаченко В.О., Якимов О.В. Определение температурной погрешности шага резьбы ходовых винтов при резьбошлифовании// Теплофизика технологических процессов: Тез. доп.

152090

конф. - Рибінськ, 1992. - С. 193-

12. Ларшін В.П., Ткаченко І

автоматической диагностики технологической операции финишного
резьбошлифования// Новые технологические процессы в машиностро-
ении: Тез. доп. конф. - Одеса, 1993. - С.32-33.

13. Ларшін В.П., Ткаченко Б.О. Выбор математической модели
прогнозирования тепловой погрешности шага резьбы ходовых винтов//
СТИН /станки и инструмент/. - 1993. - №. - С. 9-12.