

УДК 179.16

В.Д. Ковальов, М.С. Мельник, Я.С. Антоненко*Донбаська державна машинобудівна академія***АДАПТИВНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ПОХИБКАМИ ОБРОБКИ ВИРОБУ З
УРАХУВАННЯМ ГЕОМЕТРИЧНИХ ВІДХИЛЕНЬ НЕСУЧОЇ СИСТЕМИ ТА
ТЕМПЕРАТУРНИХ ДЕФОРМАЦІЙ**

Запропоновано адаптивну систему управління, що дозволяє компенсувати пружні деформації елементів несучої системи, що виникають під дією сил різання, а також теплові деформації, викликані зміною температури після початку процесу обробки і являє собою одне з рішень задачі отримання інформації про поточні параметри процесу обробки.

Ключові слова: адаптивна система, жорсткість, похибки, точність обробки, система ЧПУ, несуча система.

В.Д. Ковалев, М.С. Мельник, Я.С. Антоненко**АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЯМИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ С
УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОТКЛОНЕНИЙ НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЫ И
ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ**

Предложена адаптивная система управления, которая позволяет компенсировать упругие деформации элементов несущей системы, возникающих под действием сил резания, а также тепловые деформации, вызванные изменением температуры после начала процесса обработки и представляет собой один из методов решения задач получения информации про текущие параметры процесса обработки.

Ключевые слова: адаптивная система, жесткость, погрешности, точность обработки, система ЧПУ, несущая система.

V. Kovalov, M. Melnik, Y. Antonenko**ADAPTIVE CONTROL SYSTEM OF PROCESSING ERRORS OF DETAILS TAKING INTO
ACCOUNT GEOMETRIC DIFFERENCES OF THE CARRIER SYSTEM AND
TEMPERATURE DEFORMATION**

An adaptive control system is proposed, which allows to compensate for the elastic deformations of the elements of the carrier system arising under the action of cutting forces, as well as thermal deformations caused by temperature changes after the start of the processing process and is one of the methods for solving problems of obtaining information about the current parameters of the processing.

Keywords: adaptive system, rigidity, errors, machining accuracy, CNC system, carrier system.

Постановка проблеми. Підвищення точності важких токарних верстатів являє собою основну проблему сучасного машинобудування. Якість виробів залежить від точності виготовлення окремих деталей. Особливо треба виділити деталі типу нежорсткі вали, які по більшості працюють у важких умовах навантаження і навіть незначна неточність при їх виготовленні суттєво прискорює процес їх зношування та руйнування виробу. Силові впливи, віджим станини, теплові перетворення в процесі різання призводять до відхилень як інструменту, так і заготовки від первинного положення, що призводить до деформацій геометричних характеристик поверхні деталей. Таким чином, створення адаптивної системи управління, для компенсації пружних та температурних деформацій елементів несучої системи являє собою один із методів вирішення питання точності важкого верстатного обладнання з ЧПУ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У верстатобудуванні накопичено значний досвід у оцінюванні точності технологічного обладнання. Значний внесок у розвиток теорії точності внесли вітчизняні та зарубіжні вчені: В.С. Балакшин, Б.М. Базров, В.С. Корсаков, І.М. Колесов, М.Г. Косов, А.Г. Сулов, Л.В. Худобін, Б.Л. Штриков, Н.Влок, D.Tabor та ін. Одним з найперспективніших шляхів підвищення точності верстатів є оснащення їх системами адаптації. Сучасні системи ЧПУ дозволяють компенсувати температурні відхилення із врахуванням довжини ходових гвинтів, рейок в процесі обробки, але для врахування геометрії та температурних компенсацій несучої системи це поки що не реалізовано. Наприклад, при температурній деформації станини, відхилення не відстежується, і компенсації не відбувається, що відображається на геометрії виробу, і, як наслідок, на точності обробки. Це має особливе значення при обробці на важких токарних верстатах, враховуючи габарити верстатів і виробів.

Постановка завдань. В даний час для досягнення необхідної точності виготовлення деталей розроблені критерії працездатності токарних верстатів, які регламентуються ДСТУ та іншою технічною документацією. Основними критеріями працездатності верстата щодо

забезпечення необхідної точності ϵ : геометрична і кінематична точність, статична жорсткість, точність позиціонування, тепло-, вібро-, і зносостійкість, а також інші критерії. Однак навіть у разі, коли значення вказаних критеріїв відповідатимуть вимогам стандартів не гарантується виготовлення деталі, яка повністю відповідає вимогам робочого креслення. Це пояснюється застарілими поняттями, закладеними в визначення зазначених критеріїв і тим, що існуючі методи їх визначення не враховують головного, що в процесі обробки на токарний верстат діє комплекс експлуатаційних навантажень, що мають випадкову природу, внаслідок чого траєкторії формоутворюючих елементів верстата спотворюються, в результаті чого спотворюється форма деталі і її показники точності.

У зв'язку з цим актуальним стає визначення очікуваної точності токарної обробки в процесі її здійснення за результатами оцінки траєкторій формоутворюючих рухів деталі і різця.

Для отримання правильної геометричної форми великогабаритних нежорстких виробів, необхідно враховувати не тільки коливання зусилля різання, викликані мінливістю припуску і твердості заготовки, особливості закріплення заготовки, але і пружні віджимання по довжині оброблюваної заготовки та температурні деформації, пов'язані зі зміною податливості несучої системи. Ідеальним способом вирішення даного завдання було б створення абсолютно жорсткої верстатної системи і точне прогнозування коливань твердості заготовки і силових характеристик в процесі виробництва. Але, в реальних умовах обробки на важких верстатах це створити неможливо. Таким чином, природним виходом в даному випадку є спроба якщо не повністю усунути, то хоча б частково компенсувати похибки, що виникають в процесі обробки.

Вдосконалення точносних характеристик важких верстатів можливо на основі комплексного підходу: розробки станини раціональної конструкції для нівелювання геометричних відхилень деталі і компенсації температурних змін методом активного контролю в процесі обробки.

Викладення основного матеріалу. Як відомо, елементи технологічної системи, що володіють кінцевою жорсткістю створюють ефект копіювання похибок форми заготовки на готовий виріб. Похибки форми заготовки створюють зміни припуску, що тягне за собою зміни сили різання, які в свою чергу викликають змінні деформації елементів технологічної системи, тобто відхилення взаємного положення заготовки та інструменту від заданого. В результаті похибки форми заготовки майже пропорційно копіюються на оброблений виріб [1]. Очевидно, що для зменшення ефекту копіювання необхідно підвищувати жорсткість технологічної системи, що і реалізується на практиці. Але змінювати жорсткість заготовки, яка також є елементом технологічної системи, в більшості випадків можливості немає. Тобто підвищення жорсткості вузлів верстата призначеного для обробки нежорстких заготовок не дасть позитивного ефекту. Ще однією значною перешкодою для досягнення високої точності форми виробу є зовнішні силові впливи, наприклад вібрація від дисбалансу заготовки, від механізмів верстата або поруч розташованого обладнання, а також теплові деформації заготовки, інструменту та вузлів верстата, викликані тепловиділенням в зоні різання, яке створює нерівномірне, мінливе у часі температурне поле технологічної системи.

Для реалізації алгоритмів підвищення точності [2] було використано метод адаптації несучих систем до змінюваних умов функціонування – управління пружними переміщеннями елементів несучої системи та адаптивне управління відхиленнями виробу з урахуванням геометричних відхилень несучої системи та температурних деформацій.

Корекція, заснована на вимірюванні первинних відхилень елементів несучої системи верстата в координатах (X, Y, Z) в робочому просторі, запам'ятовуванні масиву даних та компенсації при відпрацюванні траєкторії руху безпосередньо при обробці отримала широке використання при підвищенні точності важких токарних верстатів. У сучасних системах ЧПУ верстатами обов'язково присутня корекція шагу гвинта та компенсація люфту, яка компенсує відхилення позиціонування.

Розробка структури системи адаптивного управління для вирішення завдань подібного роду не є проблемою, тут цілком достатньо простої стабілізуючої системи, що підтримує задане взаємне положення інструменту і заготовки. Складність полягає в розробці способу отримання інформації про миттєве взаємне розташування інструменту та заготовки, а також у створенні швидкодіючого приводу для внесення поправки.

Існуючі методи вимірювання відхилень: лазерний інтерферометр, вимірювання по струні, обкатний ролик та ін. Недоліками лазерного інтерферометра, використання якого знайшло відображення у роботі [3] є складність отримання великої кількості фазових кроків, зниження інтенсивності лазерного випромінювання після проходження різних ділянок. При використанні

вимірювання по струні стикаємось із рядом проблем, таких як похибки, що виникають в результаті неточності форми деталей верстатів, що використовуються в якості бази відліку. Зношення щупів за умов обертальної швидкості різання при обробці на токарних верстатах ускладнюють використання обкатного ролика для нашого випадку. Безконтактні методи вимірювань забезпечують широкі можливості оцінки вихідних параметрів верстата. Вони дозволяють автоматизувати процес вимірювань та отримати масив даних, фіксувати результати графічно, переробляти інформацію з оцінкою широкою номенклатури показників точності верстата.

У роботі запропоновано методику компенсації геометричних відхилень несучої системи з урахуванням температурних деформацій. Принцип дії полягає в наступному: вимірювання відхилень деталі від еталону в процесі обробки і врахування в системі ЧПК для коригування програми обробки. Запропоновано використовувати для вимірювання відхилень при обробці на важких токарних верстатах як реалізацію методу активного контролю - скобу із безконтактними пластинами (рис.1), одна з яких нерухома, а інша із можливістю переміщення в залежності від змін відхилень діаметру та підпружинена.

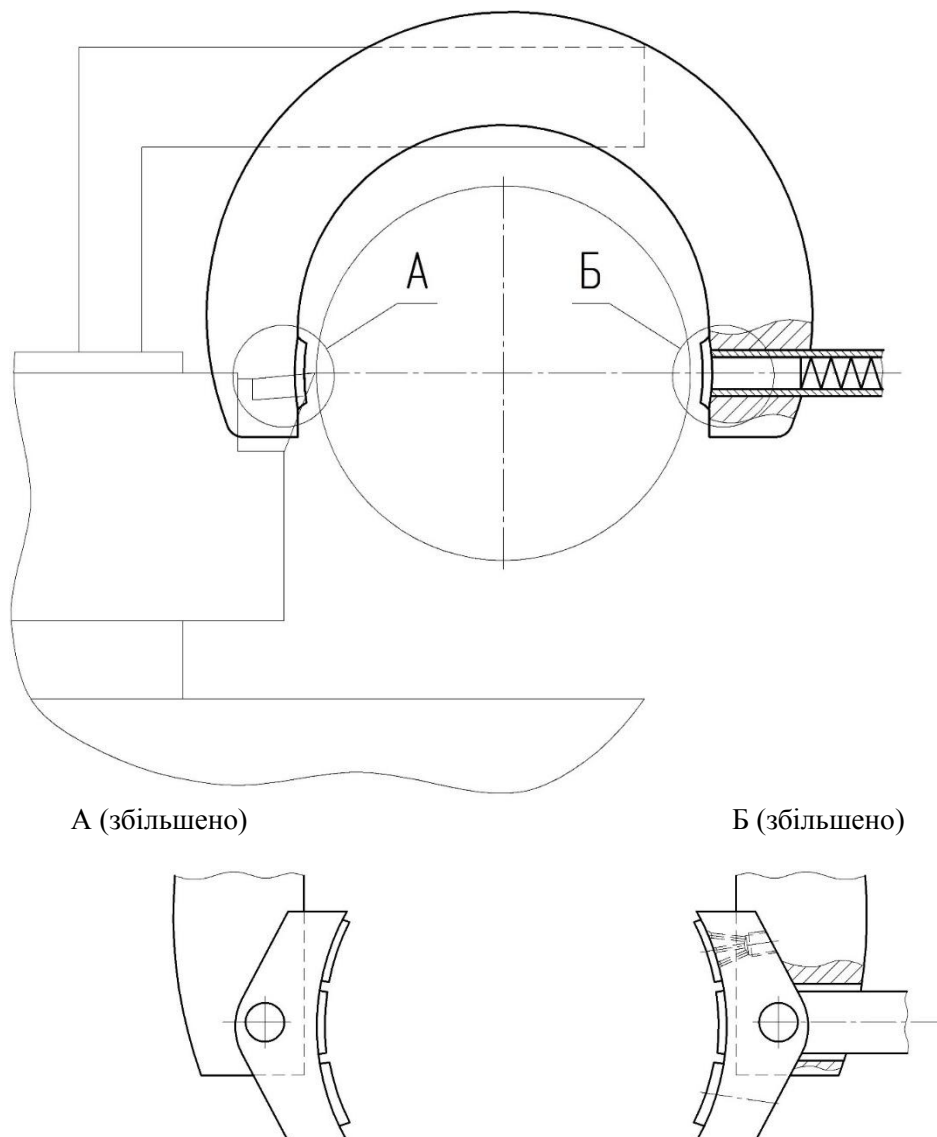


Рис. 1. Запропонована схема реалізації методу активного контролю

Відсутність тертя між виробом і пластинами забезпечується за рахунок повітряного шару, який забезпечується компресором з обох боків по діаметру і двох ємнісних датчиків, відхилення яких підсумовується з відхиленням вимірювальної лінійки і враховується у програмі ЧПУ. (рис.3)

$$V_{\text{привод}} = (X_{\text{зад}} - X_{\text{факт}} - \Delta)K_{\text{прон}} + V_{\text{зад}}K_{\text{пред}} \quad (1)$$

У даному методі вирішується проблема вимірювань безконтактними датчиками – видалення стружки та змащувально-охолоджуючої рідини, за рахунок повітряного шару вони видаляються із зони вимірювання. Використання ємнісного датчику обґрунтовано відсутністю чутливості до характеристик матеріалу, для великогабаритних деталей це має особливе значення.

Вхідний сигнал $f_{\text{ВХ}}$ частотою 50 Гц подається від генератора G на через мостову схему на синхронні вимикачі (враховується знак \pm), якими відсікається нижня напівхвиля. Опір резисторів згладжує напівхвилі, тим самим утворюючи постійну напругу. Далі через підсилювач постійного струму сигнал передається на АЦП контролера.

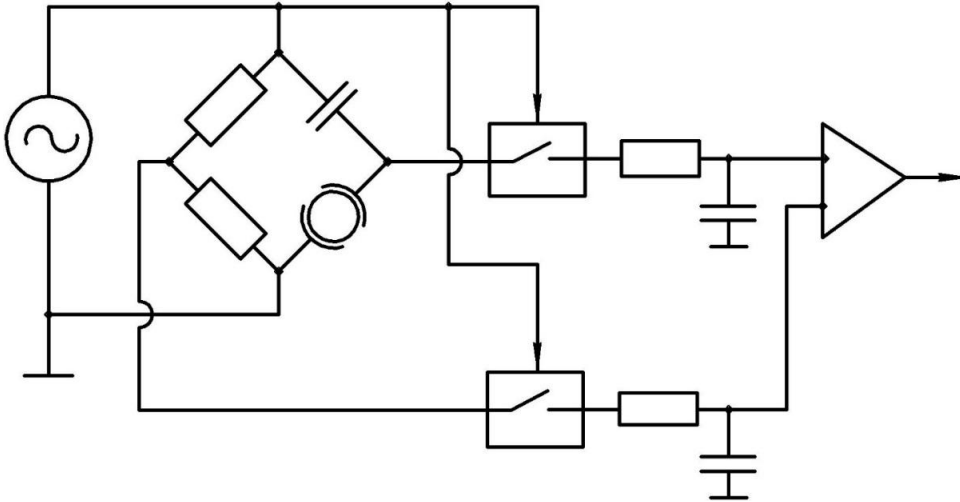


Рис. 2. Схема перетворення сигналу ємнісного датчика

$$U = \frac{I}{X_c} \quad X_c = \frac{1}{\omega c} \quad (2)$$

$$I = \frac{U_{\text{ген}}}{X_{\text{Собр}} + X_{\text{Сдатч}}} \quad (3)$$

Ємність конденсатору

$$C = \epsilon_0 \frac{S}{d} \quad (4)$$

$$\frac{1}{C_{\text{обм}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad (5)$$

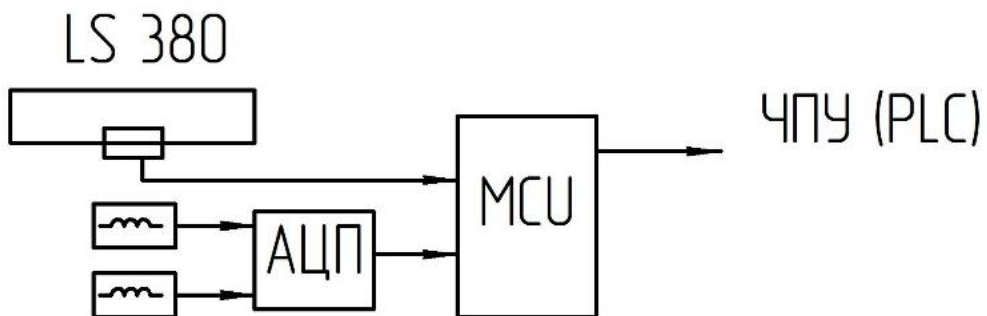


Рис. 3. Схема подачі сигналу із зчитувальних засобів для коригування програми ЧПУ

Одним з необхідних і абсолютно природних напрямків на шляху розвитку підходу управління точністю на основі зміни програми ЧПУ є вивчення існуючих статичних і динамічних характеристик всіх елементів технологічної системи, в тому числі характеристик жорсткості використовуваних вузлів. Проектування програм ЧПУ треба здійснювати не за геометричними характеристиками ідеальної деталі, так як це веде до необхідності компенсації виникаючих деформацій, а за характеристиками, що належить цій множині, що враховує деформації вже на етапі його створення. В роботі запропоновано рекомендації щодо підвищення точності важких токарних верстатів - методи управління точністю зі зворотніми зв'язками - за рахунок моделювання похибок технологічної системи та із застосуванням адаптивної комплексної системи. Розроблено автоматизований вимірювальний комплекс для активного контролю і оцінювання технічного стану несучої системи важкого верстата.

Висновки. Запропоновано схеми і конструкції адаптивних елементів управління геометричною точністю технологічних систем. Удосконалено способи адаптивного управління точністю за відхиленнями елементів несучої системи і похибок готової деталі. Незважаючи на велику кількість розробок в цій області [4,5,6], запропонована адаптивна система, вигідно відрізняється тим, що дозволяє вимірювати і враховувати деформації заготовок, в тому числі великогабаритних, що особливо важливо при обробці нежорстких деталей на важких верстатах, де для досягнення точності доводиться жертвувати продуктивністю. Універсальність використання цієї системи полягає у наявності однієї рухомої пластини з можливістю переміщення в залежності від діаметру вимірювальної поверхні; забезпечення точного вимірювання та мінімального зносу пластин за наявності повітряного шару, за рахунок якого видаляються залишки змащувально-охолоджуючої рідини та стружки в процесі обробки. Ємнісний датчик дозволяє ігнорувати характеристики оброблюваного матеріалу, що має особливе значення при обробці великогабаритних нежорстких деталей на важкому обладнанні.

Управління пружними переміщеннями станин дозволяє практично виключити складову сумарної похибки, обумовлену деформаціями згину станин (близько 60% втрати точності) результатів, що дозволяє використовувати розроблену методику для дослідження і реального проектування верстатів нового покоління.

Список використаних джерел:

1 Kovalev, V.D.; Vasilchenko, Y.V. and Dašić, P.: Adaptive optimal control of a heavy lathe operation. Journal of Mechanics Engineering and Automation (JMEA), Vol. 4, Issue 4 (April 2014), pp. 269-275.

2 Ковалёв В.Д. Путиповышения точности тяжелых станков с ЧПУ / Куриленко Я.С./ Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Сборник научных трудов.- Краматорск- Киев, вып.№20, 2006 с.98-102

3 Підвищення точності важких верстатів на основі керування параметрами формоутворюючої системи дис. канд. техн. наук: 05.03.01 / Мельник Максим Сергійович ; Державний вищий навчальний заклад "Донецький національний технічний ун-т". - Донецьк, 2009.

4 Hai Li, Yingguang Li, Wei Wang, Feature Based Machine Tool Accuracy Analysis Method, Procedia CIRP 2015, 27; 216-222.

5 Ge, LL (Ge Liling)[1]; Zhang, YJ (Zhang Yingjie)[2]; Chen, B (Chen Bo)[2]Study of CCD vision-based monitoring system for NC lathes // MEASUREMENT том: 125 Стр.: 680-686 DOI: 10.1016/j.measurement.2018.05.016 Опубликовано: SEP 2018

6 Development of flank wear model of cutting tool by using adaptive feedback linear control system on machining AISI D2 steel and AISI 4340 steel/ Orra, K (Orra, Kashfull); Choudhury, SK (Choudhury, Sounak K.) - MECHANICAL SYSTEMS AND SIGNAL PROCESSING Том: 81 Стр.: 475-492 DOI: 10.1016/j.ymsp.2016.03.011 Опубликовано: DEC 15 2016

Стаття надійшла до редакції 19.03.2019