ВЪЗМОЖНОСТИ НА КОМБИНИРАНОТО АДАПТИВНО УПРАВЛЕНИЕ ЧРЕЗ СТАБИЛИЗИРАНЕ И КОМПЕНСИРАНЕ НА СИЛОВИТЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ МЕТАЛОРЕЖЕЩИ МАШИНИ С ЦПУ

POTENTIALS OF THE COMBINED ADAPTIVE CONTROL THROUGH STABILIZING AND COMPENSATING THE ELASTIC DEFORMATION IN CNC MACHINE-TOOLS

M.Sc. Chetrokov I. PhD.[1], Prof. M.Sc. Georgiev V. PhD.[2], M.Sc. Salapateva PhD.[2]
"Prof. A. Zlatarov" University of Bourgas [1]
TU-Sofia University, branch Plovdiv [2]

Abstract: *The growing application of CNC machine-tools in the contemporary machine engineering allows unexplored opportunities for increasing accuracy and productive capacity in mechanical processing with adaptive control. Aided by the computer equipment and technology, and the modern CNC machine-tools, the hardware realization of the adaptive control has become significantly streamlined. At the same time, new opportunities for the effective application of this method arise. The advantages of the computer controlled CNC machine-tools with mathematical models for combined adaptive control with stabilizing and compensating the elastic deformations in turning are presented in the present article.*

Keywords: MECHANICAL ENGINEERING, ADAPTIVE CONTROL, CNC LATHE

1. Въведение

Адаптивното управление на точността посредством намаляване на грешките от силовите деформации на технологичната система придобива нови възможности и реализация с развитието на компютърната техника и технологии и приложението им за компютърно управление на съвременните металорежещи машини. На практика основните принципи на адаптивното управление, формулирани в средата на миналия век [1,2], са валидни и за съвременните реализации. Това са принципите за повишаване на точността чрез стабилизиране или компенсиране на силовите деформации. Алгоритмично те са представени с блоксхемите на фиг.1 и фиг.2.

На фиг.1 е представена блоковата схема на система за адаптивно управление (САУ) с вътрешна обратна връзка за стабилизиране на силовите деформации.



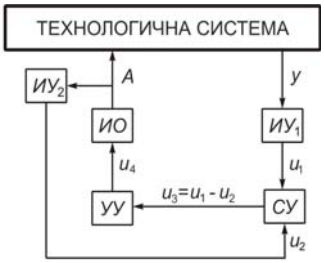
Фиг.1. САУ за стабилизиране на силовите деформации

Силовата деформацията *y* се измерва непрекъснато по време на обработването и се поддържа на зададено ниво посредством регулиране на подаването *f*, с което се извършва струговането. Елементи на САУ са измервателното устройство ИУ, задаващото устройство *ЗУ,* сравняващо устройство *СУ*, устройството за управление *УУ* и изпълнителния орган *ИО* за регулиране на подаването.

На фиг.2 е представена блоковата схема на САУ за компенсиране на силовите деформации. При нея обработването се извършва с постоянно подаване, а силовите деформации се компенсират с промяна на настроечния размер на инструмента. За целта е необходимо второ измервателно устройство, което контролира големината на преместването на инструмента при поднастройването.

При класическите ММ за реализация на метода се налага снабдяването им със специално устройство за контрол на силовите деформации, механизъм за безстепенно регулиране на подаването или за точно размерно поднастройване и електронна система за автоматично регулиране. Всичко това ограничава областта на приложение на метода. Икономическата му ефективност се проявява при производства с голяма серийност.

Фиг.2. САУ за компенсиране на силовите деформации



2. Адаптивно управление при ММ с ЦПУ

При съвременните ММ с ЦПУ реализацията е опростена, защото като изпълнителни механизми за автоматичното регулиране се използват работните органи на машината. Размерната информация за положението на инструмента и заготовката е известна в реално време от програмата за управление на машината. Управлението на изпълнителните органи се осъществява от системата за ЦПУ. Допълнително са необходими контролно устройство за силовата деформация и компютърна система със софтуерно осигуряване, която осъществява комуникацията със системата за ЦПУ.

Въпреки опростената реализация на адаптивното управление при ММ с ЦПУ, необходимостта от вграждане към нея на контролно устройство за силовата деформация ограничава промишленото приложение на метода. Причината за това е, че тези устройства не са с универсално приложение и за различните операции трябва да се реконфигурира технологичната система. Друга възможност е, машината да се „закрепости" към една операция. И двата варианта са неприемливи.

Решението за практическа приложимост на метода се основава на адаптивни системи, които осъществяват управлението по математически модели за деформационното поведение на технологичната система [3]. Блоковата схема на това управление е представена на фиг.3. При въвеждане на изходните данни за технологичната операция, компютърната

система извлича от базата данни конкретния модел за силовите деформации и софтуера за адаптивното управление.

Постъпващата за обработване заготовка се измерва с автоматично контролно устройство извън машината. Полученият резултат за размера постъпва в компютърната система, която от математическия модел изчислява дълбочината на рязане, определя подаването, с което трябва да се извърши обработването за осигуряване на зададената големина на силовата деформация или при постоянно подаване определя корекцията на размерното настройване, и генерира изречение от управляващата програма, което подава към системата за ЦПУ.

При това адаптивно управление не се налагат конструктивни промени на ММ с ЦПУ, което е съществено предимство.



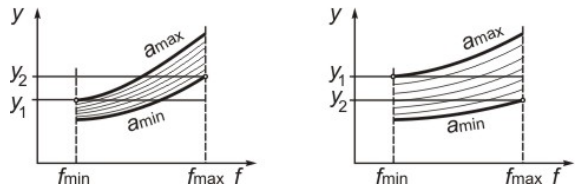
Фиг.3. Компютърно адаптивно управление

Поради отсъствие на обратна връзка точността на метода в значителна степен зависи от това, доколко математическият модел добре представя деформационното поведение на технологичната система. За да се работи с по-прости и надеждни математически модели, се прилага разслояване на работното пространство на машината и чрез дефиниране на началните условия моделите се сведат до двуфакторни и трифакторни [4].

При двуфакторните модели деформацията на технологичната система се представя с уравнение на регресия с две случайни променливи – дълбочината на рязане ***a*** и подаването ***f***. При трифакторните се включва и координатата на зоната на рязане. Общият вид на двуфакторния модел е:

$$y = b_0 + b_1 a + b_2 f + b_{12} af + b_{11} a^2 + b_{22} f^2 \qquad (1)$$

Той е представен графично на фиг.4 в две възможни реализации.



а б

фиг.4. Двуфакторен модел за силовата деформация

Границите $[a_{max}, a_{min}]$ и $[f_{max}, f_{min}]$ определят валидността на модела. Характерни са граничните нива на силовата деформация $y_1(a_{max}, f_{min})$ и $y_2(a_{min}, f_{max})$ При модела на фиг.4а, където $y_2 > y_1$, може да се определи подаване, което да гарантира еднаква големина на деформацията за всяка дълбочина на рязане в границите на модела. При модела на фиг.4б, където $y_2 < y_1$, няма такова решение. Тази особеност определя кой метод на адаптивно управление ще се приложи. В първия случай това е методът със стабилизиране на силовите деформации, а във втория – чрез компенсирането им.

Определянето на f_{min} се извършва чрез външно оптимизиране от условието при заготовка с максимална прибавка a_{max} да не се получи претоварване и авария в технологичната система. Понеже това е граничен случай, той е събитие с малка вероятност. Следователно, най-често дълбочината на рязане ще е по-малка от граничната и определеното от (1) подаване при $y = y_1 = const$, ще е по-голямо от минималното. Това означава, че с адаптивното управление освен точността се повишава и производителността на обработването.

Не така стои въпросът при случая от фиг.4б. Повишаването на точността чрез размерно поднастройване се извършва при работа с постоянно подаване $f = f_{min} = const$. За всяка заготовка, според прибавката, от модела (1) се определя y и поправката в размерното настройване $\Delta A = y$. Производителността е същата, както при обработването без адаптивно управление т.е., за основната част от заготовките тя е занижена.

3. Комбинирано адаптивно управление

Използването на ММ с ЦПУ и адаптивно управление по математически модели за деформационното поведение на технологичната система предоставят възможност да се осъществи комбинация от методите за стабилизиране и компенсиране на силовите деформации, при което ще се постигнат едновременно положителните страни и на двата метода.

Алгоритъмът на действие на системата се свежда до следните етапи:

1.От модела (1) се определят нивата y_1 и y_2 и се прави проверката:

$$y_1 \le y_2 \qquad (2)$$

При изпълнение на условието (2) се прилага алгоритъмът за стабилизиране на силовите деформации. Ако не е изпълнено се прилага алгоритъмът за комбинирано адаптивно управление.

2. От модела (1) се определя средното ниво но силовата деформация $y_0(a_0, f_0)$, където a_0 и f_0 са нулевите нива на факторите при планиране на експеримента за получаване на математическия модел.

3. Определят се граничните нива на дълбочината на рязане, между които е приложимо стабилизиране на силовите деформации:

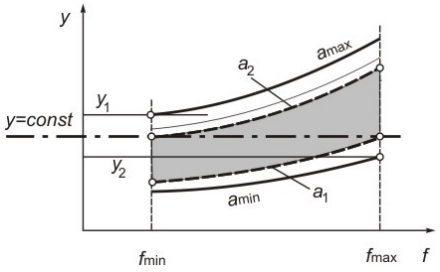
$$\begin{aligned} &a_1(y_0, f_{max}) \\ &a_2(y_0, f_{min}) \end{aligned} \qquad (3)$$

Графичната интерпретация на модела е представена на фиг.5.

4. Измерва се поредната заготовка и се установява дълбочината на рязане a_i.

5. Прави се проверка за изпълнение на условието:

$$a_1 \le a_i \le a_2 \qquad (4)$$



Фиг.5. Математически модел за комплексно адаптивно управление

6. При изпълнение на условието (4) от модела (1) се изчислява подаването $f_i(y_0, a_i)$ и се генерира изречение от управляващата програма на ММ с ЦПУ за осъществяване на обработване с това подаване.

7. При неизпълнение на условието (4) се прави проверката:

$$a_i < a_1 \qquad (5)$$

8. При изпълнение на условието (5) се приема $f_i = f_{max}$ и от модела (1) се изчислява деформацията $y_i(a_i, f_{max})$.

9. Изчислява се поправката в размерното насройване

$$\Delta A_i = y_0 - y_i \qquad (6)$$

и се генерира изречение от управляващата програма на ММ с ЦПУ за осъществяване на размерно поднастройване и обработване с подаване f_{max}.

10.При неизпълнение на условито (5) се приема $f_i = f_{min}$ и от модела (1) се изчислява деформацията $y_i(a_i, f_{min})$.

11. Изчислява се поправката (6) в размерното насройване и се генерира изречение от управляващата програма на ММ с ЦПУ за осъществяване на размерно поднастройване и обработване с подаване f_{min}.

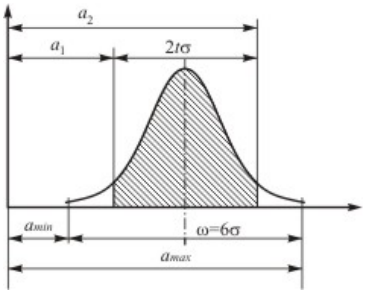
4. Ефективност на комбинираното адаптивно управление

Доказано е статистически, че разсейването на размерите на заготовките се подчинява на нормалния закон на разпределение. Следователно, такъв ще е и законът на разпределение за разсейването на прибавката (дълбочината на рязане). При тази предпоставка може да се определи вероятността за работа със стабилизиране на силовите деформации и тази, за включване на алгоритъма за компенсирането им.

Ако се приеме, че $a_{max} - a_{min} = 6\sigma$ и $a_2 - a_1 = 2t\sigma$, в зависимост от коефициента *t*, от гаусовия закон може да се определи процента на случаите, при които ще се работи със стабилизиране на силовите деформации. Графичната интерпретация на това е представена на фиг.6.

Например, при $t = 2$, $(a_2 - a_1 = 4\sigma)$, вероятността е 95,5%. Това означава, че при обработването на 100 заготовки алгоритъмът за компенсиране ще се включи само 4-5 пъти. На практика почти цялата партида ще се обработи със стабилизиране на силовите деформации, което ще доведе не само до висока точност на обработването, но и до висока производителност.

Дори при $t = 1$ вероятността от 68% е достатъчно висока, за да се изрази като ефект в повишаването на производителността. Освен това, в половината случаи от останалите 32% обработването ще се извърши с подаване f_{max}, а не с f_{min}, както е при работа само с компенсиране на силовите деформации.



Фиг.6. Вероятностно разпределение на дълбочината на рязане

Посочените данни доказват необходимостта и ефективността от използването на комбинирано адаптивно управление при ММ с ЦПУ.

5. Заключение

Като резултат от извършеното изследване може да се направят следните изводи:

1.Съвременната техника и технологии предлагат нови възможности за приложение на адаптивното управление на точността при механично обработване.

2. При ММ с ЦПУ съществено се облекчава реализацията на адаптивното управление, както хардуерно, така и програмно.

3. За осигуряване на по-голяма гъвкавост и разширена приложимост при малка серийност на производството е целесъобразно адаптивното управление да се осъществява на базата на математически модели за деформационното поведение на технологичната система.

4. За постигане на максимална ефективност на адаптивното управление, както по точност, така и по производителност, е целесъобразно да се използва комбинирано адаптивно управление чрез едновременно стабилизиране и компенсиране на силовите деформации.

5. Предложен е алгоритъм за комбинирано адаптивно управление, който се реализира при същите условия, както обособените два метода, с разширено софтуерно осигуряване.

6. Доказана е ефективността на комбинираното адаптивно управление при ММ с ЦПУ.

Литература

1. Балакшин Б. С. Теория и практика технологии машиностроения, кн.1 и 2. Москва. "МАШИНОСТРОЕНИЕ", 1982.

2. Под ред. Балакшина Б. С. Адаптивное управление станками. МАШИНОСТРОЕНИЕ, Москва, 1973.

3. Четроков И. А. Адаптивно управление на точността при механично обработване на металорежещи машини с ЦПУ. Дисертация за присъждане на научната и образователна степен "доктор". ТУ-София, филиал Пловдив, 2005.

4. Георгиев В.И. Програмно управление на силовите деформации при металорежещи машини с цифрово програмно управление. Известия на ТУ в Пловдив, том 10 "Технически науки", Пловдив, 2003, стр.7-15.

Авторите изказват своята благодарност за възможността да осъществят представените изследвания, като резултат на изследователски проект, финансиран от НФНИ при МОН (проект ВУ-ТН-208/06 „Създаване на методология за управление и диагностика на реконфигуриращи се производствени системи в индустрията").