

©Journal of the Technical University at Plovdiv
“Fundamental Sciences and Applications”, Vol. 13 (6), 2006
Anniversary Scientific Conference’ 2006
BULGARIA

INFORMATION TECHNOLOGIES AND CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

V. GEORGIEV, I. CHETROKOV, S. LILOV, S. SALAPATEVA

Abstract: The increase of production quality when making parts by mechanical engineering is based on control of the technological process in real time. For this purpose the information technologies have more and more important role in the modern machine building. In the present report it is shared the experience of controlling the precision when making parts using CNC machine tools by direct computer control based on mathematical models for the process of size and shape forming.

ИНФОРМАЦИОННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИЕТО НА ТЕХНОЛОГИЧНИЯ ПРОЦЕС

1. Въведение.

Все по-широкото използване на информационните технологии в машиностроенето дава възможност за качествено нов подход в управлението на технологичните процеси. В основата му е заложено интегриране на познанието за процеса, представено като база данни, с адаптивно управление в реално време при осъществяване на обработването и със след оперативен контрол за попълване на базата данни и самообучение на системата. Важна роля в осъществяването на това управление имат компютърната техника и технологии. Изследванията в тази област полагат основите на интелигентното компютърно управление (INC) при изработване на машиностроителни изделия с използване на машини с цифрово програмно управление (ЦПУ).

Първи реализации на INC при механично обработване представят изследователски екипи от Япония [1,2,3], САЩ [4] и Русия [5,6]. Към настоящия момент изследвания в тази област се осъществяват от все повече научни екипи и водещи фирми производители на ММ с ЦПУ.

В настоящата работа се представят резултати на изследователски екип от ТУ - София, Филиал Пловдив за осъществяване на интелигентно компютърно управление при струговане и свредловане на ММ с ЦПУ. Те са постигнати при осъществяване на изследователски проекти финансирани от Университета и Фонд „Научни изследвания” на Министерството на образованието и науката (проект „Създаване на методология за управление и диагностика на реконфигуриращи се производствени системи”).

2. Концепция за научни изследвания в областта на интелигентното компютърно управление при ММ с ЦПУ.

Резултатите от научните изследвания в областта на интелигентното компютърно управление показват, че за реализирането му са необходими определени предпоставки:

- Наличие на определена база знания за процесите обект на управление;
- Наличие на компютърна техника с определени технически характеристики и софтуерно осигуряване;
- Наличие на ММ с ЦПУ с възможности за директно компютърно управление;
- Наличие на средства и технологии за контрол на технологичния процес, включително в реално време;
- Наличие на алгоритми и специализиран софтуер за управление на процеса.

От анализа на посочените предпоставки произтичат насоките за научни изследвания и реализация на интелигентно компютърно управление при механично обработване на ММ с ЦПУ:

1. Експериментални изследвания за натрупване на база знания за процесите обект на управление;
2. Създаване на математически модели за процесите обект на управление;
3. Създаване на системи за контрол на технологичния процес;
4. Създаване на алгоритми и специализиран софтуер за управление на технологичния процес.

Както се вижда, не се планират задачи за изследвания и развитие на компютърната техника и на ММ с ЦПУ, което е обект на изследователи извън научната област на технологията на машиностроенето.

Като обекти за изследване са определени струговането и свредловането на ММ с ЦПУ.

2.1. Изследвания за интелигентно компютърно управление при струговане.

Основната цел, поставена при струговането, е повишаване на точността и производителността на процеса. За постигането на тази цел е необходимо да се ограничи влиянието на случайните грешки, между които доминират грешките от силови деформации на технологичната система, както и на систематичните грешки от износването на инструмента и топлинните деформации на системата.

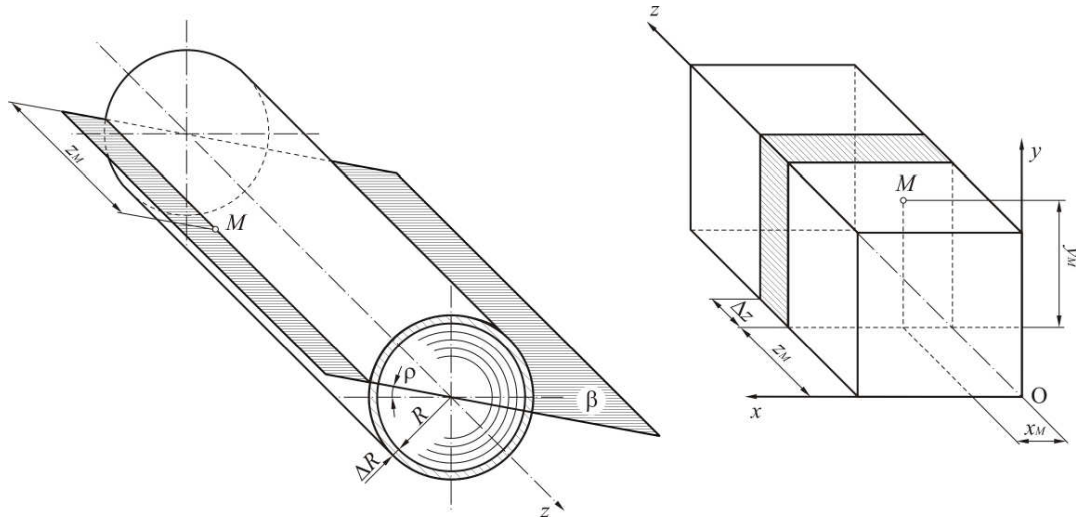
Намаляване на грешките от силови деформации. Доказано е, че ефективно намаляване на грешките от силови деформации се постига с адаптивно управление (АУ) [7]. В реализираните системи за АУ основен източник на информация за силовите деформации е контролно устройство вградено в технологичната система. Обикновено се мери деформацията на еластично звено или енергетичен параметър, които са в тясна корелационна връзка с грешката от силови деформации. Основен недостатък на този метод е, че устройството не е с универсално приложение, а е специално за конкретните условия на работа и че се вгражда допълнителен сензор към машината, което усложнява конструкцията и. За да се избегнат тези недостатъци беше прието информацията за силовите деформации да се получава от математически модел за деформационното поведение на технологичната система.

Известно е, че тези модели са изключително сложни поради големия брой на факторите влияещи на силовата деформация. За да се получат практически приложими за целите на управлението модели е целесъобразно да се работи не с един обобщен модел, а със семейство прости модели валидни за локални области от многофакторното пространство. Това е постижимо с използването на съвременната компютърна техника.

Например, ако се разслои работното пространство, както е показано на фиг.1, уравнението за силовата деформация за определен слой с радиус R и дебелина ΔR ще бъде:

$$y_R = \varphi(a, f, z), \quad (1)$$

където a е дълбочината на рязане; f – подаването; z – координатата на т. M .



Фиг.1. Разслояване на цилиндрично и призматично работно пространство

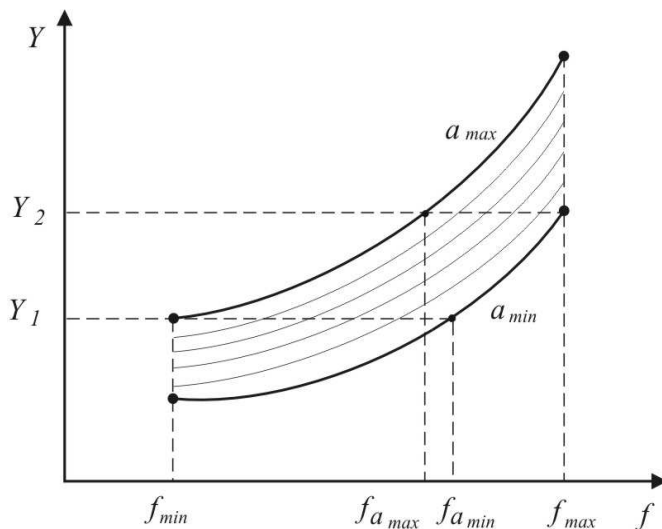
Посредством експериментални изследвания за конкретни условия на обработване функцията (1) може да се представи с прости полиноми от вида:

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

При разстъргване на къси цилиндрични втулки от стомана 35 с диаметър на отвора 28mm с конзолна борщанга с дължина на конзолата 100mm и диаметър на стеблото 20 mm е получено уравнението:

$$y = 8 + 71,4 a_p + 8 f + 925 a_p f - 120,4 a_p^2 - 219 f^2 \quad (3)$$

Графичната интерпретация на уравнението (2) е представена на фиг.2. За да се намали грешката от силови деформации трябва обработването на партидата заготовки



Фиг.2. Зависимост на силовите деформации

да се осъществи с постоянна деформация, като се регулира подаването, т.е. за всяка заготовка, като се измери преди обработването и се установи дълбочината на рязане, да се определи подаването от формула (3) при зададена деформация y .

Решение на уравнението (3) за всички дълбочини на рязане в диапазона от a_{\min} до a_{\max} има при нива на деформацията от Y_2 до Y_1 . За осигуряване на максимална производителност следва да се работи с нивото Y_2 . При целева функция точността се работи с нивото Y_1 .

За осъществяване на управлението се изследват и натрупват като база знания математически модели за силовите деформации при различни условия на технологията

– обработваеми материали, размери на заготовките, размери и геометрични параметри на инструментите и т.н. След въвеждане на входните условия за партидата заготовки алгоритъмът продължава с контрол на размера на поредната заготовка, определяне на необходимото за обработването подаване и внасяне на стойността му в програмата за управление на машината, след което се извършва обработването. Цикълът се повтаря за следващите по ред заготовки. Осъществяването на алгоритъма се извършва със специално разработен софтуер.

С представения метод за управление на точността при конкретните условия е постигнато намаляване на разсейването на размерите след грубо разстъргване от $0,62mm$ на $0,18mm$.

Намаляване на систематичните грешки. Ефективно намаляване на систематичните грешки е възможно с активен контрол (АК) [8]. При струговане е подходящ активен контрол с измерване на обработените детайли след завършване на обработването. Тази разновидност на АК е известна като активен контрол след обработването (АКСО).

Характерно за активния контрол е, че се прилага при производства с голяма серийност. Това произтича от условието, че системата за АК се конструира за конкретно изделие. Освен това за правилното настройване и ефективна работа на системата е необходимо да са известни характеристиките на технологичния процес – стабилност на процеса, разсейване на размерите от случайните фактори, тренд на средната стойност на размера от систематичните фактори.

В съвременното машиностроене все по-рядко се наблюдава устойчиво едросерийно и масово производство. Конструкцията на изделията се променя динамично в резултат на ускореното техническо и технологично развитие и промяната на пазарното търсене. Това поставя условия за гъвкавост на производството при висока степен на автоматизация, което определя все по-широкото използване на ММ с ЦПУ в условията на серийно производство. При тези условия се налага намиране на решения за АКСО при неизвестни параметри на технологичния процес и честа смяна на обекта на производство.

Алгоритъмът за АК включва: анализ на началното размерно настройване и при необходимост внасяне на корекция; контрол на размерите на обработените детайли и статистическа обработка на получената от контрола информация; приемане на решение за размерно поднастройване и осъществяване на поднастройването.

Анализът на началното размерно настройване се осъществява с изпълнение на следните процедури:

1. Извършва се статично размерно настройване на размер L_{cp} .
2. Обработва се малка извадка пробни детайли.
3. Определят се статистическите оценки на извадката – среден размер \bar{L}_1 , дисперсия S_1^2 и вероятно поле на разсейване $\omega = 2kS$ на генералната съвкупност.
4. Определя се работният настроен размер L_{np} според предполагаемия характер на процеса.
5. Определя се поправката в размерното настройване:
$$\Delta_{L_1} = \bar{L}_1 - L_{np}.$$
6. Въвежда се корекция в размерното настройване чрез системата за ЦПУ по команда от сървъра на системата за АКСО и започва обработване на партидата.

След обработване на всеки един детайл се измерва получения размер и се запълва масив от данни. След третия и всеки следващ детайл се определя уравнението на регресия по натрупания обем информация за размерите на обработените детайли:

$$\bar{L}_N = b_0 + b_1 N,$$

където N е броят на обработените детайли;

b_0 и b_1 - статистически коефициенти в уравнението на регресия.

В началото на процеса, поради малкия обем информация, се наблюдава значително колебание на ъгловия коефициент b_1 на уравнението на регресия. Това явление може да се определи като прецесия на уравнението на регресия.

За да се използва уравнението на регресия за целите на размерното настройване е необходимо да са изпълнение две условия:

1. Уравнението на регресия да е адекватно.

2. Прецесията на уравнението на регресия да е затихнала до практически целесъобразно ниво.

Първото условие се проверява статистически по критерия на Фишер.

Второто условие се проверява, като разлика в достигнатите средни размери в две последователни уравнения на регресия:

$$\Delta \bar{L}_i = \bar{L}_i - \bar{L}_{i-1} \leq 0,1T,$$

където \bar{L}_i е средната стойност на размера от уравнението на регресия при $N = i$;

\bar{L}_{i-1} - средна стойност на размера от уравнението на регресия при $N = i - 1$.

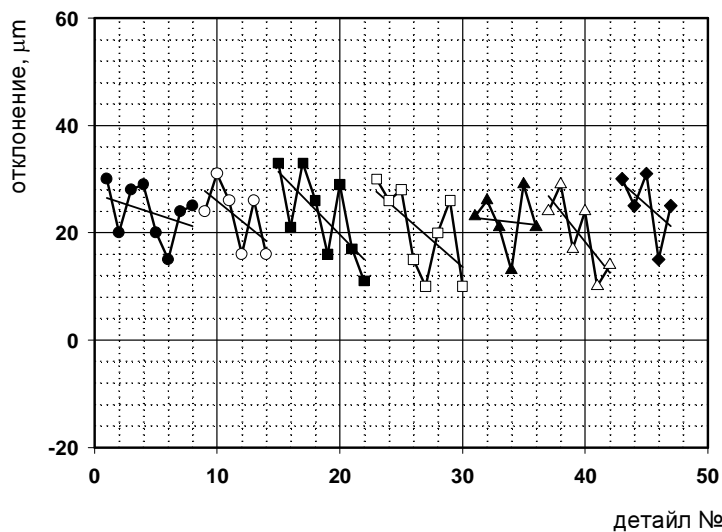
Допустимото колебание $\Delta \bar{L}_i$ е прието да бъде по-малко от 10% от допуска на размера.

Ако са изпълнени двете условия може да се извърши проверка за статистическа значимост на разликата между достигнатия среден размер \bar{L}_i и работния настроен размер L_{np} : $\Delta L_i = \bar{L}_i - L_{np}$.

Проверката за статистическа значимост на ΔL_i се извършва по критерия на Стюdent.

Ако се установи статистическа значимост на разликата се извършва размерно поднастройкаване за нейното компенсирание. След поднастройкаването започва попълване на нов масив от данни и аналогична на изложената обработка на информацията.

Представеният алгоритъм на работа е приложен при разстъргване на партида втулки на струг с ЦПУ СТ161. Използва се компютърна обработка на информацията



Фиг.3. Точкова диаграма на разстъргване с АКСО

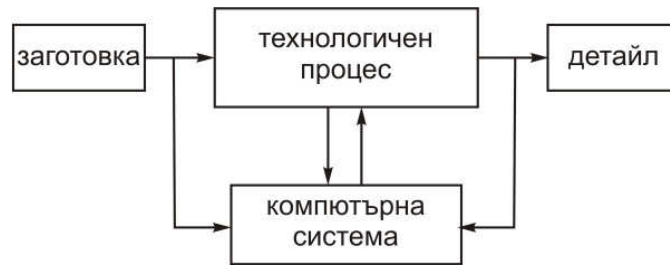
чрез специализиран софтуер за статистически анализ. По резултатите от анализа се извършва автоматично размерно поднастройкаване чрез системата за ЦПУ, управлявана от персоналният компютър.

На фиг.3 е показана точкова диаграма на резултатите от обработването на партидата. В резултат на АКСО е постигнато сумарно поле на разсейване $\omega_{\Sigma} = 32 \mu m$ при мигновено поле на разсейване $\omega = 26 \mu m$.

Полученият резултат

показват, че може да се получи сумарно поле на разсейване близко по големина до мигновеното поле, което дава възможност да се използва максимално зададения допуск на размера, а следователно и да се постигне по-висока производителност на технологичната операция.

Система за INC с контури за АУ и АКСО при струговане. Получените резултати за АУ и АКСО създадоха предпоставки за обединяването им в единна система за интелигентно компютърно управление. Блок-схемата на тази система е показана на фиг.7.



Фиг.4. Система за интелигентно компютърно управление при струговане

Системата е изградена от три модула, като всеки един от тях изпълнява определени функции. Освен това са създадени връзки между отделните модули за функционирането им в обща система.

Модулите на системата са:

- модул за контрол, който включва контрол на заготовките преди обработването и контрол на детайлите след обработването. Данните от контрола на заготовките постъпват в блока за адаптивно управление, а тези от контрола на детайлите – в блока за активен контрол;

- модул за осъществяване на процеса, който включва металорежещата машина и системата за ЦПУ;

- модул за компютърно управление, който осъществява създаването на управляващата програма и в комуникация със системата за ЦПУ осъществява управлението на процеса.

В сърцевината на системата е модулът за компютърно управление. Той е осъществен на компютърна система, в която е изградена база данни и е инсталиран специално създаден софтуер за осъществяване на описаните вече алгоритми за адаптивно управление и активен контрол, както и за генериране на управляващи програми и комуникация със системата за ЦПУ.

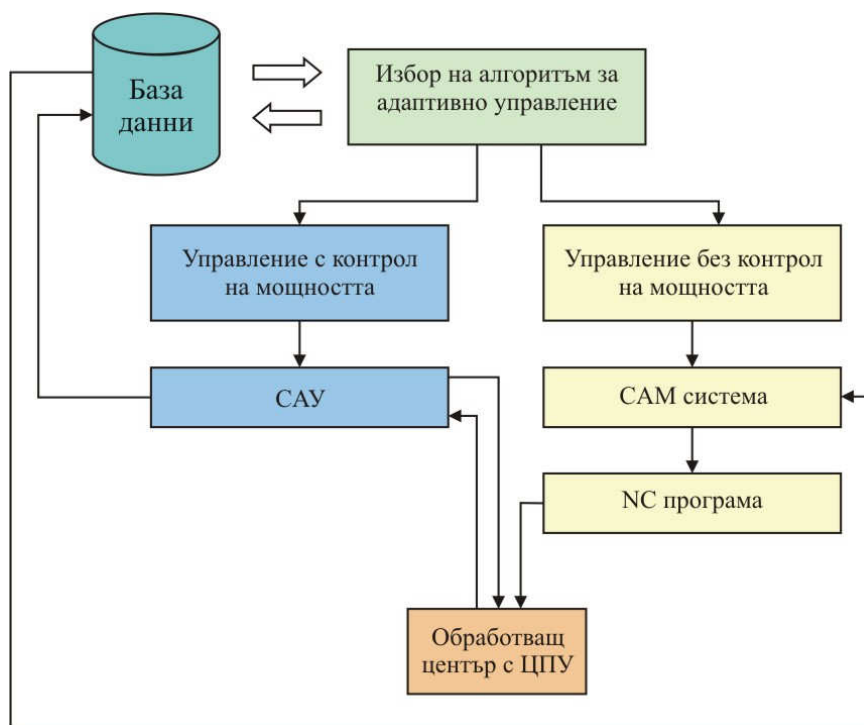
По резултатите от контрола на заготовките се осъществява адаптивното управление, като самостоятелен алгоритъм от блока за АУТ.

По резултатите от контрола на детайлите се осъществява активен контрол, като самостоятелен алгоритъм от блока за АКСО.

Създадените алгоритми и софтуер за осъществяване на интелигентното компютърно управление при струговане са проверени на струг с ЦПУ СТ161, адаптиран за директно компютърно управление. Проведените изследвания потвърдиха работоспособността и ефективността на системата.

2.2.Изследвания за интелигентно компютърно управление при свредловане.

Идеята за интелигентно компютърно управление при свредловане е представена с блок-схемата на фиг.5.



Фиг.5. Система за интелигентно компютърно управление при свердловане

Разграничени са два подхода на управлението. Първият представя алгоритъма на управление, когато се контролира мощността на рязане. Той е приложим за инструменти, при които мощността на рязане е съизмерима с мощността на празен ход на задвижването. Това е предпоставка за достатъчна чувствителност и точност на контрола на мощността на рязане, за да се осъществи адаптивно управление. Критерият за преценка, мощност на рязане – мощност на задвижването, е елемент на базата данни. Той определя изборът на алгоритъм за управление.

При удовлетворяване на критерия за управление по мощността на рязане, са възможни два подхода, според дълбочината на отвора:

- с управление на подаването;
- със самопрограмиране броя на работните ходове.

И в двата алгоритъма от базата данни се определя допустимия въртящ момент за конкретните условия на работа (инструмент, материал на заготовката, скорост на рязане).

В първия случай от базата данни, актуализирана със системата за самообучение, се избира началната скорост на подавателното движение. Установяването на действителната скорост се осъществява от системата за адаптивно управление по резултатите от контрола на въртящия момент в реално време.

Във втория случай се работи с постоянно подаване, определено от базата данни, както в първия случай. При достигане на въртящия момент до допустимия, определен от базата данни, процесът се прекъсва, свердлото се отвежда назад за почистване на стружките, като се запомня координатата на прекъсване, подвежда се инструмента на бърз ход напред до запомнената координата и продължава обработването с работно подаване. Този цикъл на работа се повтаря до обработването на цялата дължина на отвора, която е зададена в системата за ЦПУ.

Когато критерият за управление по мощността на рязане не е удовлетворен, изборът на алгоритъм се извършва от базата данни според дълбочината на отвора:

- при отвори, които не изискват дълбокопробивен цикъл от базата данни се избира скорост на подавателното движение, която за конкретните условия на работа е определена от натрупан производствен опит;

- при отвори, които изискват дълбокопробивен цикъл, от базата данни се избират параметрите му, които са определени на базата на математическите модели за натоварването на инструмента.

3. Заключение.

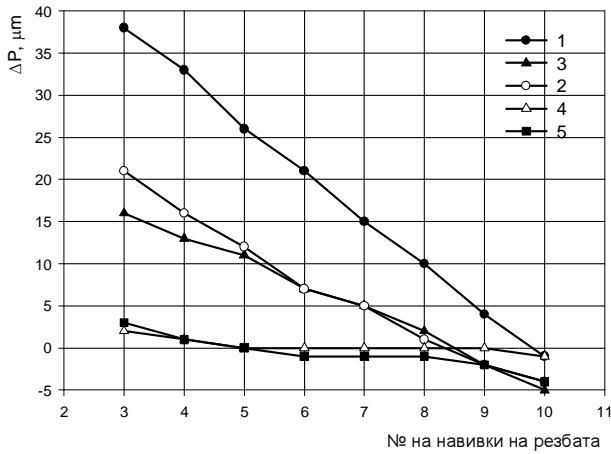
Представените резултати показват, че съвременните постижения на компютърната техника и технологии, както и на машините с ЦПУ дават нови възможности за управление качеството на технологичните процеси и на изделията в машиностроенето. Обединяването на адаптивното управление и активния контрол при струговане дава възможност за чувствително повишаване на точността, като се използва компютърно управление на процеса чрез системата за ЦПУ. При управление на процеса свредловане в съвременните оборудващи центри с ЦПУ съществено се повишават производителността и надеждността на обработването.

Усъвършенстването и развитието на представените решения ще се осъществява с обогатяване на базата знания, което ще е задача на многостранен обмен на научен и производствен опит.

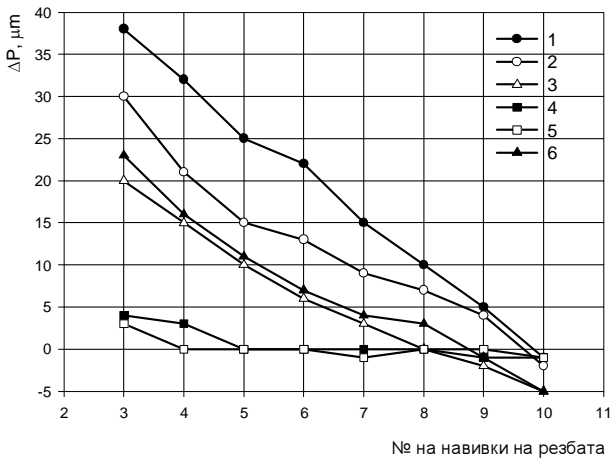
ЛИТЕРАТУРА

1. **Kakino, et al.** High Speed and High Productive Drilling by Intelligent Machine Tools. Proc. Of the Japan – USA Symposium on Flexible Automation. Vol.1, pp. 285-289, 1998.
2. **Sato, et al.** Proposal of the Extended System Framework of Intelligent Machine Tool. Japan-USA Symposium on Flexible Automation. Hiroshima, Japan, July 14-19, 2002.
3. **Sato, et al.** High Speed and High Productive Drilling by Intelligent Machine Tools – Integration of the cutting conditions planning and adaptive control for drilling. Proc. Of the Japan – USA Symposium on Flexible Automation. 13061, 2000.
4. **Yamazaki, et al.** Autonomously Proficient CNC Controller for High-Performance Machine Tools Based on an Open Architecture Concept. Annals CIRP, 46-1, pp.275-278, 1997.
5. **Кабалдин Ю.Г.** и др. Управление технологическим оборудованием на основе искусственного интеллекта. Вестник машиностроения, 2001, №11, стр.52-57.
6. **Кабалдин Ю.Г.** и др. Применение нейросетевых моделей процесса резания в системах адаптивного управления. СТИН, 2002, №3
7. **Под ред. Балакшина Б.С.** Адаптивное управление станками. "МАШИНОСТРОЕНИЕ". Москва, 1973.
8. **Под ред. Бурдуна Г. Д. и Волосова С. С.** Технологическое обеспечение качества продукции в машиностроении (активный контроль). "МАШИНОСТРОЕНИЕ". Москва, 1975.

Department of machine-building technics and technology
Technical University–Sofia, Plovdiv Branch
25 Tsanko Dystabanov St.
4000 Plovdiv
BULGARIA
E-mail: mtpt@tu-plivdiv.bg



Фиг.2. Влияние на формата на калибровачата част на метчика на отклонението на стъпката на нарязваната резба: 1 – метчик А, изходна форма; 2 - метчик А, пълнопрофилна форма; 3 – метчик А, с бъчвообразни зъби на водещата част; 4 – метчик Б, с изходна форма и метчик А след заобляне на опорните ръбове; 5 – метчик Б, пълнопрофилна форма и изходна форма след заобляне на опорните ръбове



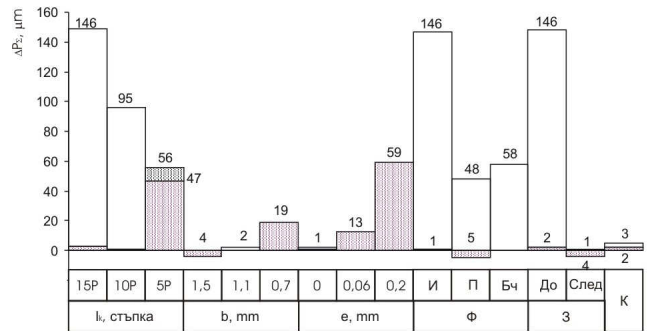
Фиг.3. Влияние на дължината на калибровачата част на метчика върху отклонението на стъпката на нарязваната резба: метчик А: 1 – 15Р; 2 – 10Р; 3 – 5Р; метчик Б: 4 – 15Р; 5 – 10Р; 6 – 5Р

Метчик тип А е много чувствителен към въздействие на осови сили, тъй като те се опират на нарязваната резба не на площадките, а на страничните режещи ръбове. Затова натрупаната грешка на стъпката на резбата, нарязана с такива метчици е $146\mu m$ и намалява до 0 при влошаване на режещите възможности на опорните ръбове вследствие заоблянето. Грешката на стъпката на третата навивка също намалява от 38 до $1\mu m$ (фиг.4). Радиалното биене на главните режещи ръбове на метчика не въздейства на отклонението от стъпката на нарязваната резба, тъй като радиалните колебания не могат да увеличат крайното рязане на спомагателните ръбове вследствие силното разширяване на падните на нарязваната резба от действието на осовите сили.

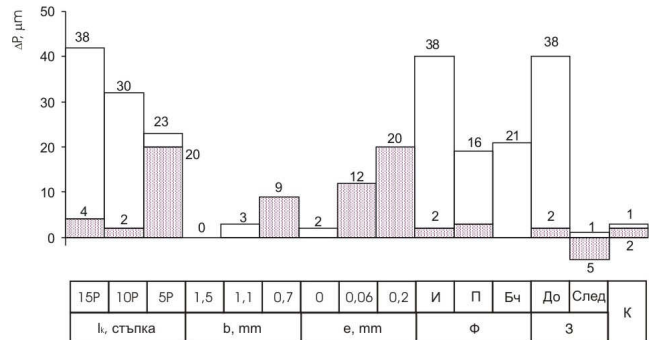
Минималното намаляване на грешката на стъпката на резбата при съкращаване на дължината на калибровачата част за метчици тип А е предизвикано от намаляване на рязането в края във връзка със съкращаване на броя на опорните режещи ръбове.

Пълнопрофилната задна част (II) на метчика и бъчвообразните зъби на метчика на водещата част позволяват да се намали действието на осовите сили и значително да се

намали грешката на стъпката на резбата, нарязвана с метчик тип А (фиг.4 и фиг.5).



Фиг. 4. Влияние параметрите на метчика върху сумарната грешка на нарязваната резба



Фиг.5. Грешка на стъпката на третата навивка на нарязваната резба в зависимост от параметрите на метчика

Приетите обозначения на фиг.4 и фиг.5 са: l_k – дължина на калибровачата част; b – ширина на незатилваната по профила част от перото на метчика тип Б; e – радиално биене на крайните режещи ръбове; Φ – форма на крайната част (II – изходна, П – пълнопрофилна); Бч – бъчвообразни зъби на водещата част на метчика; З – заоблени режещи ръбове; К – нарязване на резба по копир; незатрихованата част – метчик тип А; затрихованата част – метчик тип Б.

3. Заключение

От направените изследвания е установено, че характерът на изменение на натрупаната грешка на стъпката на резбата в зависимост от параметрите на метчика е такъв, какъвто е характера на изменение на средния диаметър на резбата. Най-голямо влияние на отклонението на стъпката на нарязваната резба оказват тези параметри на метчика, които изменят своята чувствителност към въздействието на осовата сила. Именно осовата сила води до значително увеличаване на стъпката на резбата, нарязвана с метчици с такива параметри.

Това се потвърждава при нарязването на резби с метчици тип Б, метчици със заоблени опорни ръбове и нарязването на резба чрез копир, обезпечаващ принудително точно осово подаване на метчика (една стъпка за един оборот на метчика). Грешката на стъпката в тези случаи не превишава $4 - 5\mu m$ при равни други условия с изходните параметри на метчика.

Радиалните сили, предизвикващи радиално биене на метчика влияят на грешката на нарязваната резба само в условията на ограничение на осовата сила.

Литература:

1. Якушев А.И., Мустаев Р.Х., Мавлотов Р.Р. Повышение прочности и надежности резьбовых соединений. М., 1979.
2. Николчева Г. Режещи инструменти. Интерпрес, София, 2003.
3. Шагун В.И., Фельдштейн Э.И. Прибор для измерения внутренних резьб. Измерительная техника, 1963, № 7, с. 7 – 10.