

Manufacturing Engineering and Technology, Technical University Varna, 2003

## ВЛИЯНИЕ НА ТОЧНОСТТА НА ПРОЦЕСА И РАЗМЕРНАТА ТРАЙНОСТ НА ИНСТРУМЕНТА ВЪРХУ ЕФЕКТИВНОСТТА НА АКТИВНИЯ КОНТРОЛ С ПОДНАСТРОЙВАНЕ

THE IMPACT OF THE PRECISION OF THE PROCESS AND THE ENDURANCE OF THE INSTRUMENT UPON THE EFFECTIVENESS OF THE ACTIVE CONTROL WITH SUB-TUNING

Доц. д-р инж. В. И. Георгиев, инж. С. Ч. Салапатева  
ТУ – София, филиал Пловдив

*Abstract. The implementation of active control with sub-tuning requires that the technological process possesses certain parameters. This study defines the conditions for implementing active control with sub-tuning with regard to the precision of the process and the endurance of the instrument.*

*Key words. Mechanical engineering, active control, sub-tuning*

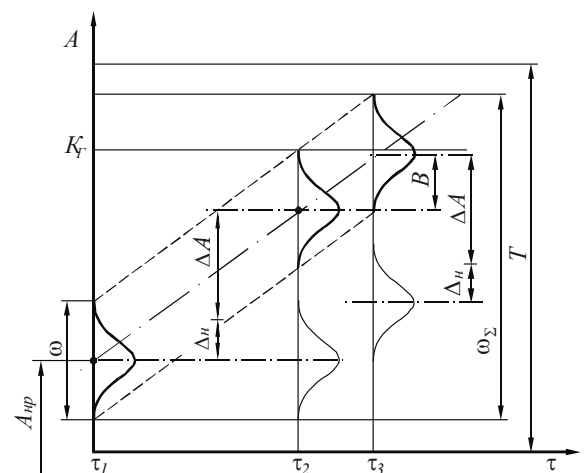
**ВЪВЕДЕНИЕ.** Активният контрол с размерно поднастройване по резултатите от контрола на обработените детайли може да се прилага ефективно в съвременното машиностроене и при производства с малка серийност. Това се обуславя от все по-широкото използване на металорежещи машини с ЦПУ в дребно и средно серийното производство. В тези случаи не се налага създаване на специални изпълнителни механизми за размерно поднастройване. Това се извършва от изпълнителните органи на машината, които имат възможност за прецизно позициониране и въвеждане на размерни корекции с малки стойности. Просто е и свързането на устройството за контрол на обработените детайли със системата за ЦПУ, което със съвременната компютърна техника се решава с подходящ софтуер. Всичко това прави възможно използването на активния контрол и при процеси, които не са типични за него при едросерийното и масово производство, като обстъргване, разстъргване, фрезозане и др.

Освен техническите предпоставки, за въвеждане на активен контрол е необходимо още технологичните процеси да притежават определени качества. Те трябва да са стабилни, добре настроени и точни, с ясно изразено доминиращо влияние на систематичните закономерно променливи фактори. Освен това интензивността на систематичните фактори трябва да е такава, че да дава възможност за многократно поднастройване в границите на размерната трайност на инструмента.

Точностните възможности на активния контрол с поднастройване зависи от изборния метод на контрол, характеристиките на технологичния процес и на системата за активен контрол (САК).

Известни са различни варианти на контрол: по един детайл, по груповите средни, по груповите медиани, по автокорелационната функция. Всички те имат определени предимства и недостатъци, както и целесъобразна област на приложение [2]. В случая обект на разглеждане са първите два метода, които намират най-голямо приложение.

При активен контрол с измерване на един детайл схемата на образуване на сумарното поле на разсейване  $\omega_{\Sigma}$  е показана на фиг.1.



Фиг. 1

ТОЧНОСТ НА ПРОЦЕСА.

### Manufacturing Engineering and Technology, Technical University Varna, 2003

Времето  $\tau_1$  е началото на работа след размерно настройване на технологичната система на размера  $A_{np}$ . Вероятността за възникване на сигнал за поднастройване се появява в момента  $\tau_2$ , когато мигновеното поле на разсейване достига избраната контролна граница  $K_T$ . В момента  $\tau_3$  вероятността за поява на сигнал за поднастройване е 100%. Следователно получаването на детайл с размер по-голям от  $K_T$  се очаква в интервала от време  $\tau_2$  до  $\tau_3$ . През това време центърът на групиране се измества на разстояние  $B$  под действието на систематичните фактори. В момента на възникване на сигнал, САК извършва поднастройване с корекция на размера с големина  $\Delta A$ . Това става с известна грешка  $\Delta_n$ , която зависи от качествата на САК.

При тази схема сумарното поле на разсейване ще се получи:

$$\omega_{\Sigma} = \omega + \Delta A + \Delta_n + B \quad (1)$$

Понеже елементите на сумата (1) са случайни независими величини, за да не се разширява неоправдано очакваното сумарно поле на разсейване, сумирането трябва да е вероятностно:

$$\omega_{\Sigma} = \sqrt{\omega^2 + 3(\Delta A)^2 + \Delta_n^2 + B^2} \quad (2)$$

Приложимостта на метода се определя от отношението на  $\omega_{\Sigma}$  и допуска на размера  $T$  наречено коефициент на точност  $K_T$ . Прието е  $K_T$  да бъде в границите:

$$0,75 \leq K_T \leq 0,85 \quad (3)$$

Възможностите за намаляване на  $\omega_{\Sigma}$  се представят от формули (1) и (2). Основната част от параметрите, които участват в тях характеризират технологичния процес и са даденост, която не подлежи на промяна. Такива са характеристиките на технологичния процес определени от неговата диаграма на точността:

- мигновено поле на разсейване  $\omega$ ;
- уравнение на регресия за средната стойност:

$$\bar{A} = \tilde{a} + \tilde{b}\tau.$$

При избрани елементи на САК известна е и нейната грешка  $\Delta_n$ .

Изместването на центъра на групиране за времето на възникване на сигнал за поднастройване е:

$$B = |\tilde{b}|(\tau_3 - \tau_2) \quad (4)$$

За практически цели се използва емпиричната зависимост [4]:

$$B = 6\sigma^{0,75} b^{0,25} \quad (5)$$

От (4) и (5) следва, че при дефиниран технологичен процес  $B$  също е даденост и не подлежи на промяна.

Следователно при тези предпоставки единственият параметър, с който може да се влияе на точността на САК е големината на импулса за поднастройване  $\Delta A$ .

Ако се пренебрегне грешката на поднастройването, най-малката стойност  $\Delta A_{\min}$  от фиг.1 се получава:

$$\Delta A_{\min} = \omega \quad (6)$$

Условието (6) се определя от изискването да се разграничат извадките от генералната съвкупност преди и след поднастройването т.е., да не се припокриват техните полета на разсейване.

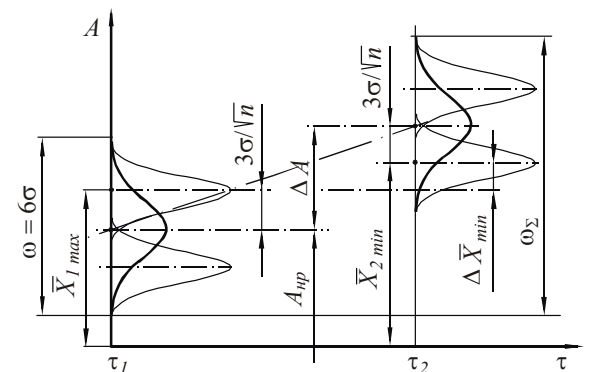
Като се заместят в уравнение (2)  $\Delta A$  и  $B$  с изразите (5) и (6) и се пренебрегне  $\Delta_n$  ще се получи:

$$\omega_{\Sigma} = \omega \sqrt{4 + \left(\frac{b}{\sigma}\right)^{0,5}} \quad (7)$$

Като се отчете препоръката (3), от (7) може да се получи условие за приложимост на АК по контрола на един детайл:

$$\omega \leq \frac{0,8T}{\sqrt{4 + \left(\frac{b}{\sigma}\right)^{0,5}}} \quad (8)$$

При АК по груповите средни, се измерват последователни извадки с обем два и повече детайла. В този случай се променят условията за възникване на сигнал за поднастройване, което се отразява на минималната стойност на импулса за поднастройване  $\Delta A_{\min}$  и съответно на сумарното поле на разсейване  $\omega_{\Sigma}$ . Схемата за формиране на  $\omega_{\Sigma}$  е показана на фиг.2.



Фиг.2

### Manufacturing Engineering and Technology, Technical University Varna, 2003

При условие, че извадката и генералната съвкупност се подчиняват на нормалния закон на разпределение, дисперсията на  $\bar{X}$  спрямо математическото очакване  $m_x$ , представена със средноквадратичното отклонение е:

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (9)$$

където  $\sigma$  е средноквадратичното отклонение на генералната съвкупност;

$n$  – броят на детайлите в извадката.

От тук следва, че максималното отклонение на  $\bar{X}$  на извадката спрямо  $m_x$  е  $\pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ .

На фиг.2 са показани моментите  $\tau_1$  и  $\tau_2$  по време на работа, при което е възникнала ситуация за минимална разлика на груповите средни. В момента  $\tau_1$  извадката се е получила с максимална стойност на отклонението  $\bar{X}_{1 \max} = m_{x_1} + 3\sigma/\sqrt{n}$ , а в момента  $\tau_2$ , с минимална стойност  $\bar{X}_{2 \min} = m_{x_2} - 3\sigma/\sqrt{n}$

$$\Delta \bar{X}_{\min} = \bar{X}_{2 \min} - \bar{X}_{1 \max} \quad (10)$$

За да възникне сигнал за поднастройка на разликата  $\Delta \bar{X}_{\min}$  трябва да е статистически значима. Оценката за значимост се извършва с критерия на Студент:

$$t = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{\sqrt{(n-1)2\sigma^2}} \sqrt{n(n-1)} > t_{\alpha,k} \quad (11)$$

От (11) се получава:

$$\Delta \bar{X}_{\min} = \frac{t_{\alpha,k} \sigma \sqrt{2}}{\sqrt{n}} \quad (12)$$

Ако в (12) се замести  $\sigma = \omega/6$ , се получава:

$$\Delta \bar{X}_{\min} = \frac{t_{\alpha,k}}{3\sqrt{2n}} \omega \quad (13)$$

При известно  $\Delta \bar{X}_{\min}$ , може да се определи най-малката големина на поднастроечния импулс  $\Delta A_{\min}$ . От фиг.2 се вижда, че:

$$\Delta A_{\min} = \Delta \bar{X}_{\min} + \frac{6\sigma}{\sqrt{n}} \quad (14)$$

След заместване на  $\Delta \bar{X}_{\min}$  от формула (13) в (14) се получава:

$$\Delta A_{\min} = \omega \left( \frac{1}{\sqrt{n}} + \frac{t_{\alpha,k}}{3\sqrt{2n}} \right) \quad (15)$$

С получената стойност на  $\Delta A_{\min}$  може да се определи най-малката стойност на  $\omega_{\Sigma}$ :

$$\omega_{\Sigma \min} = \omega + \frac{\omega}{\sqrt{n}} + \Delta \bar{X}_{\min} \quad (16)$$

Ако елементите в уравнение (16) се сумират вероятно ще се получи:

$$\omega_{\Sigma \min} = \omega \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{t_{\alpha,k}^2}{6n}} \quad (17)$$

От препоръката (3) и уравнение (17) може да се получи условието за приложимост на метода с поднастройка по груповите средни:

$$\omega \leq \frac{0,8T}{\sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{t_{\alpha,k}^2}{6n}}} \quad (18)$$

Уравнение за  $\omega_{\Sigma}$  може да се получи още от сумата (2), като за  $B$  се замести емпиричната зависимост [4]:

$$B = 6\sigma^{0,75} b^{0,25} n^{-0,25 + \frac{b}{\sigma}} \quad (19)$$

Като се пренебрегне  $\Delta_n$  и се замести в (2) с израза (14) за  $\Delta A$ , както и с израза (19) за  $B$ , за  $\omega_{\Sigma}$  се получава:

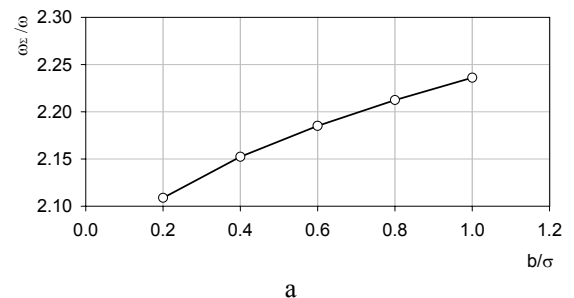
$$\omega_{\Sigma} = \omega \sqrt{1 + 3 \left( \frac{1}{\sqrt{n}} + \frac{t_{\alpha,k}}{3\sqrt{2n}} \right)^2 + \left( \frac{b}{\sigma} \right)^{0,5} n^{0,24 \frac{b}{\sigma} - 0,5}} \quad (20)$$

Като се приеме  $\omega_{\Sigma} = 0,8T$ , от формула (20) се получава условието за приложимост на метода:

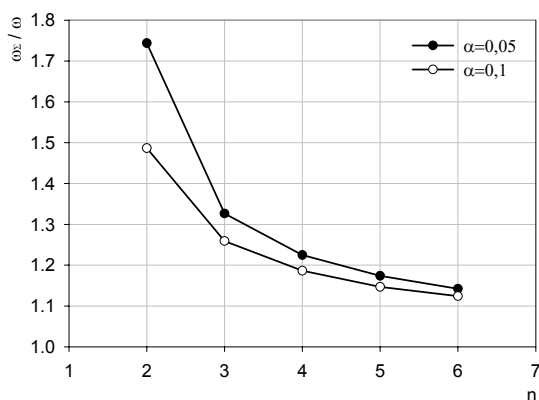
$$\omega \leq \frac{0,8T}{\sqrt{1 + 3 \left( \frac{1}{\sqrt{n}} + \frac{t_{\alpha,k}}{3\sqrt{2n}} \right)^2 + \left( \frac{b}{\sigma} \right)^{0,5} n^{0,24 \frac{b}{\sigma} - 0,5}}} \quad (21)$$

Трябва да се има предвид, че условието (21) стеснява областта на приложимост на метода, сравнено с условието (18). Разликата е до 20% при доверителна вероятност  $\gamma = 0,95$  и над 30% при доверителна вероятност  $\gamma = 0,90$ .

За сравняване на двата метода по точност, на фиг.3 са представени графично зависимостите (7) и (17). Фигура 3а се отнася за АК по един детайл, а фиг.3б за груповите средни.



## Manufacturing Engineering and Technology, Technical University Varna, 2003



б  
Фиг.3

При първия метод с нарастване на интензивността на систематичните фактори точността намалява, като влиянието не е силно изразено. От фиг.3а се вижда, че при значителна промяна на коефициента  $\tilde{b}$  в уравнението на регресия, от  $b = 0,5\sigma$  до  $b = 2\sigma$ ,  $\omega_{\Sigma}$  се увеличава от  $2,17\omega$  на  $2,33\omega$  т.е., със 7,4%. Следователно методът може да се прилага успешно при различна интензивност на систематичните фактори.

От фиг.3б се вижда, че точността се повишава при увеличаване броя на детайлите в извадката. За този случай при доверителна вероятност  $\gamma = 0,90$  сумарното поле на разсейване  $\omega_{\Sigma}$  става по-малко от  $2\omega$ .

Съпоставянето на двата метода показва, че са равностойни по точност.

#### ТРАЙНОСТ НА ИНСТРУМЕНТА.

Трайността на инструмента определя времето на работа от размерното настройване на технологичната система до изчерпване на ресурса и смяна на инструмента. Следователно това е период от време, през който периодично ще се осъществява размерно поднастройване. За да е ефективен активния контрол, необходимо е в периода от време между две смени на инструмента да се осъществят достатъчен брой поднастройки.

Броят на поднастройванията за периода на трайност на инструмента се определя от отношението:

$$N = \frac{h_r}{\Delta A} \quad (22)$$

където  $N$  е броят на поднастройванията;

$h_r$  - допустимото радиално износване на инструмента.

Прието е ресурсът на работоспособност на инструмента да се определя с граничното износване по задната повърхност  $VB_K$ . Връзката между  $h_r$  и  $VB$  се определя от зависимостта:

$$h_r = VB \cdot \text{tg} \alpha_o, \quad (23)$$

където  $\alpha_o$  е задният ъгъл на режещия инструмент.

Критичната стойност на износването по задната повърхнина зависи от много фактори и се изменя в широк диапазон. Според [5] за твърдосплавни инструменти  $VB_K = 1,5 \div 1,8 \text{ mm}$  при обстъргване и  $VB_K = 2,5 \div 3,0 \text{ mm}$  при челно фрезване. Според [1] при чисто обработване ISO3685 препоръчва  $VB_K = 0,3 \text{ mm}$ . Като се има предвид, че АК се прилага при фино обработване и основната цел е постигане на висока точност и качество на обработените повърхнини, от технологични съображения  $VB_K$  не трябва да е голямо.

Максимален брой на поднастройванията ще се постигне, когато се работи с минимален по големина поднастроен импулс:

$$N_{\max} = \frac{h_{r_k}}{\Delta A_{\min}} \quad (24)$$

След заместване на  $h_{r_k}$  и  $\Delta A_{\min}$  се получава:

$$N_{\max} = \frac{VB_K \text{tg} \alpha_o}{\omega}, \quad (25)$$

за АК с поднастройване по един детайл;

$$N_{\max} = \frac{VB_K \text{tg} \alpha_o}{\omega \left( \frac{1}{\sqrt{n}} + \frac{t_{\alpha,k}}{3\sqrt{2n}} \right)}, \quad (26)$$

за АК с поднастройване по групите средни.

Общото условие за приложимост на АК с поднастройване е:

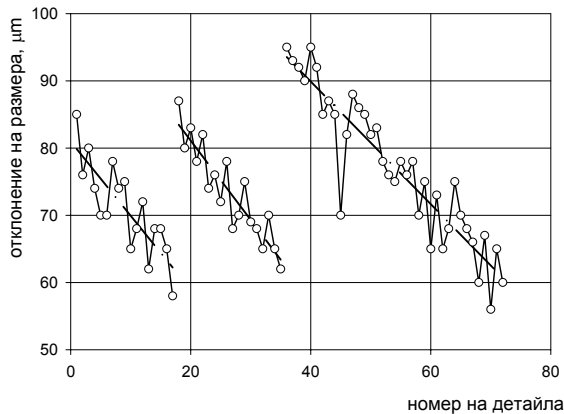
$$N_{\max} > 1 \quad (27)$$

На практика при малки стойности на  $N$  е необходимо да се направи анализ за икономическата целесъобразност на технологията с АК, сравнена с други технологии, които осигуряват зададената точност на детайла.

#### ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ.

На фиг.4 е представена точкова диаграма, която е резултат от производствено изпитване на САК при чисто разстъргване на централния отвор на дорникови фрези върху полуавтоматичен струг АСР-200 със специален разстъргващ инструмент [3]. Диаметърът на отвора е  $21,65^{+0,05}$ .

## Manufacturing Engineering and Technology, Technical University Varna, 2003



Фиг.4

Статистическият анализ на технологичния процес показва, че той е стабилен. Има осреднено мигновено поле на разсейване  $\omega = 12,7 \mu\text{m}$ . Уравненията на регресия за представените на фиг.4 три части от процеса са съответно:

$$\bar{A}_I = 21,68 - 1,034 \cdot 10^{-3} N, \quad (0 < N \leq 17);$$

$$(28) \quad \bar{A}_{II} = 21,702 - 1,05 \cdot 10^{-3} N, \quad (17 < N \leq 35); \quad (29)$$

$$\bar{A}_{III} = 21,732 - 1,0 \cdot 10^{-3} N, \quad (35 < N \leq 72); \quad (30)$$

където  $N$  е поредният номер на детайла.

При тези характеристики на процеса изискванията за приложимост на АК с поднастройване по един детайл са следните:

- минимална големина на поднастроечния импулс според формула (6):  $\Delta A_{\min} = 12,7 \mu\text{m}$ ;

- минимално сумарно пол на разсейване от формула (7):  $\omega_{\Sigma \min} = 27,52 \mu\text{m}$ ;

- изискване към мигновеното поле на разсейване според формула (8):  $\omega < 18,46 \mu\text{m}$ ;

- изискване към броя на поднастройванията според формула (24) при  $VB_K = 0,3 \text{mm}$ ,  $\alpha_0 = 10^\circ$ :  $N_{\max} = 3,74 > 1$ .

Получените резултати показват, че процесът е подходящ за АК с поднастройване по един детайл.

При производственото изследване на САК е приет импулс за поднастройване  $\Delta A = 20 \mu\text{m}$ . В този случай от формула (2) се получава  $\omega_{\Sigma} = 38,38 \mu\text{m}$ . Коефициентът на точност е

$$K_T = \frac{\omega_{\Sigma}}{T} = \frac{38,38}{50} = 0,768. \text{ Получената стойност}$$

удовлетворява условието (3).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Получените резултати дават възможност за оценка на конкретни технологични процеси за

пригодността им към въвеждане на АК с поднастройване. Освен това те дават възможност да се получат оценки за точностните възможности на АК и да се подбере вида на АК.

Приложеният пример от производствено изследване на САК при чисто разстъргване потвърждава достоверността на получените аналитични зависимости.

## REFERENCES.

1. Андонов И. Рязане на материалите. "СОФТТРЕЙД", София, 2001.
2. Гатев Г., В. Георгиев, Г. Ненов. Специален курс по технология на машиностроенето. ВИММЕСС, Русе, 1981.
3. Гатев Г., П. Николов, В. Георгиев и др. Система за адаптивен активен контрол и поднастройване при калиброване на отвори с автоматичен револверен струг АСР-200. Сборник Втора научно-практична конференция "Механизация и автоматизация на контрола-средство за повишаване производителността на труда", Сопот, 1978.
4. Под ред. д-ра техн. наук Г. Д. Бурдуна и д-ра техн. наук С. С. Волосова. Технологическое обеспечение качества продукции в машиностроении (активный контроль). Машиностроение, Москва, 1975.
5. Самойлов В. С. и др. Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент. Справочник. Машиностроение, Москва, 1988.