

RESEARCH OF THE ADAPTIVE CONTROL DURING CNC TURNING AS A PART OF THE INTELLIGENT COMPUTER CONTROL SYSTEM

V. GEORGIEV AND I. CHETROKOV

Abstract. This paper is a research of the adaptive control during CNC turning. A regression equation describing the force induced errors Y depending on the cutting feed f and the depth of cut a is acquired experimentally. An algorithm for adaptive control of the technological process is presented. In this paper a block diagram of the program for adaptive control is presented, too.

ВЪВЕДЕНИЕ. През последните години системите за интелигентно компютърно управление на процесите при механично обработване предизвикват все по-силен научен интерес. Адаптивното управление (АУ) при обработване с металорежещи машини с ЦПУ, е възможно да се разгледа, като една от подсистемите при интелигентно компютърно управление. В настоящата работа се разглежда адаптивно управление на точността при грубо разстъргване с конзолен инструмент. Системата за АУ е контур от общото интелигентно компютърно управление при струговане [1], обединяващо АУ и активен контрол (АК). За реализиране на управлението е използвана концепцията за програмна реализация без въвеждане на допълнителни сензори и механизми в технологичната система [2]. Управлението на процеса се извършва по математически модел на грешките от силови деформации при обработване.

МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ НА СИЛОВИТЕ ДЕФОРМАЦИИ В РАБОТНОТО ПРОСТРАНСТВО НА СТ161 ПРИ РАЗСТЪРГВАНЕ НА ЦИЛИНДРИЧНИ ОТВОРИ. При механично обработване на детайли технологичната система – металорежеща машина, режещ инструмент, обработван детайл (МПИД) се разглежда, като еластична система. В резултат на възникналите сили на рязане, инерционни сили, масата на обработвания детайл и възлите на металорежещата машина настъпват деформации в тази

система, които предизвикват отклонения във формата и размерите на обработваните детайли. Тези отклонения са наречени грешки от силови деформации. В много случаи грешките от силови деформации представляват доминиращ фактор, влияещ на точността на обработваните детайли.

В общ вид математическия модел на процеса може да бъде записан като функция на условията на обработване и координатите на точката в която се извършва процеса рязане[2].

$$(1) \quad y = \varphi[F, M(x_M, y_M, z_M)],$$

където: y е грешката в следствие силовата деформация на технологичната система (силова деформация в зоната на рязане);

F -силата на рязане;

$M(x_M, y_M, z_M)$ -приложна точка на силата на рязане.

За практически цели е целесъобразно вместо силата на рязане да се изследва влиянието на нейните променливи параметри. По този начин отпада необходимостта от включване в технологичната система на динамометрични устройства. В този случай, ако променливите параметри се сведат до елементите на режима на рязане, ще се получи:

$$(2) \quad y = \varphi[a, f, V_c, M(x_M, y_M, z_M)],$$

където: a е дълбочината на рязане;

f – подаването;

V_c - скоростта на рязане.

Получаването на математически модел на силовите деформации, чрез експериментални изследвания, дава възможност да се разкрие връзката на получаваните грешки с елементите на режима на рязане и координатите в работното пространство на машината.

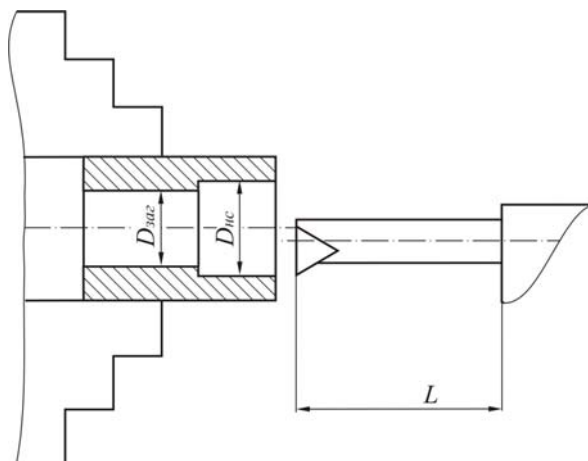
За целите на изследването от всички фактори, които влияят на силовите деформации ще се разглежда само влиянието на дълбочината на рязане a и подаването f при разстъргване на цилиндрични втулки на струг с ЦПУ СТ-161. Останалите условия, при които се осъществява технологичната операция се разглеждат като постоянни.

МЕТОДИКА НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕТО ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА МОДЕЛ НА ГРЕШКИТЕ ОТ СИЛОВИ ДЕФОРМАЦИИ. В математическия модел грешката от силови деформации y се разглежда, като функция на подаването f и дълбочината на рязане a . Влиянието на координата z при разстъргване е незначителна, поради факта, че основен елемент предизвикващ грешки от силови деформации се явява режещия инструмент. Схемата на обработване е представена на фиг.1. Дължината на разстъргващия инструмент L е константа за времето на обработване и не е включена, като фактор при построяване на конкретния

модел. Логично е при различни дължини на инструмента да се построят модели за конкретната дължина с променливи фактори a и f .

Поведението на технологичната система се изследва, чрез планиран експеримент. Обработването на детайлите се извършва по метода на стъпалните заготовки [3]. Предварително се обработва участък, като се сменя необходимата дълбочина за съответния опит. След това се обработва втулката със съответното подаване за опита. Измерва се разликата между предварително обработената базова повърхнина и получената повърхнина при обработване на отвора с конкретното подаване за опита.

За обработване на данните се използва програмен продукт EXPLAN V 1.0 разработен по Темпус проект S_JEP-12417-97. Програмата извършва проверка за адекватност на модела, дефинира уравнения на регресия в нормирани и натурални координати и изчертава графика на реакцията.



Фиг. 1

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ Условието при които е проведен експеримента са следните:

- струг СТ-161;
- обработван материал – стомана БДС EN 10083-2 С35;
- външен диаметър на втулките - 40mm;
- диаметър на обработвания отвор - 28,5mm;
- диаметър на режещия инструмент - 20mm;
- Дължина на конзолната част на режещия инструмент – $L=100\text{mm}$;
- главен установъчен ъгъл на инструмента $\chi_r=90^\circ$;
- Скорост на рязане $V_c=100\text{m/min}$;

Променливи фактори:

- дълбочина на рязане $a_{min}=0,25\text{mm}$, $a_{max}=0,75\text{mm}$;
- подаване $f_{min}=0,1\text{mm/об}$, $f_{max}=0,5\text{mm/об}$;
- измервателен инструмент – дигитален шублер 150/0.01

След извършване на експеримента и обработване на резултатите се получава адекватен модел на грешките от силови деформации в разглежданата технологична система. Моделът е изразен, чрез получените уравнения на регресия, описващи грешките от силови деформации при зададените технологични параметри.

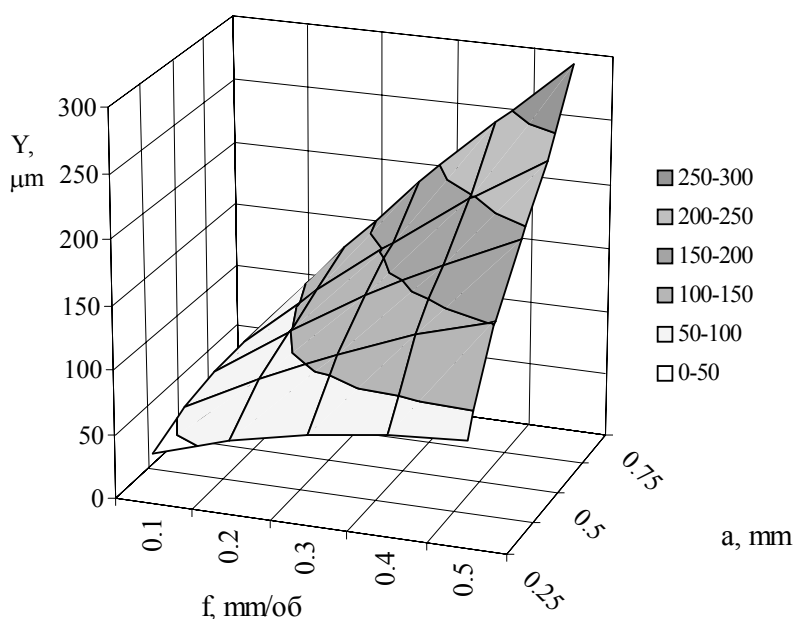
Получено уравнение на регресия в нормирани координати:

$$(3) \quad Y(X_1, X_2) = 135.0275 + 57.1375 + 67.8063X_2 + 46.25X_{12} - 7.5225X_1^2 - 8.7721X_2^2$$

Получено уравнение на регресия в натурални координати:

$$(4) \quad Y(a, f) = 7.9657 + 71.4103a + 8.1134f + 925af - 120.3603a^2 - 219.3035f^2$$

Графичната интерпретация на модела е представена на фиг.2.



Фиг. 2

Полученият модел е възможно да бъде използван за реализиране на управление.

РАЗРАБОТВАНЕ НА АЛГОРИТЪМ ЗА АДАПТИВНО УПРАВЛЕНИЕ НА ТОЧНОСТТА ПРИ РАЗСТЪРГВАНЕ, БАЗИРАН НА МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ ЗА СИЛОВИТЕ ДЕФОРМАЦИИ. Разработването на алгоритъм за адаптивно управление (АУ) е свързано с избор на метода, чрез който ще се осъществява намаляването на грешките

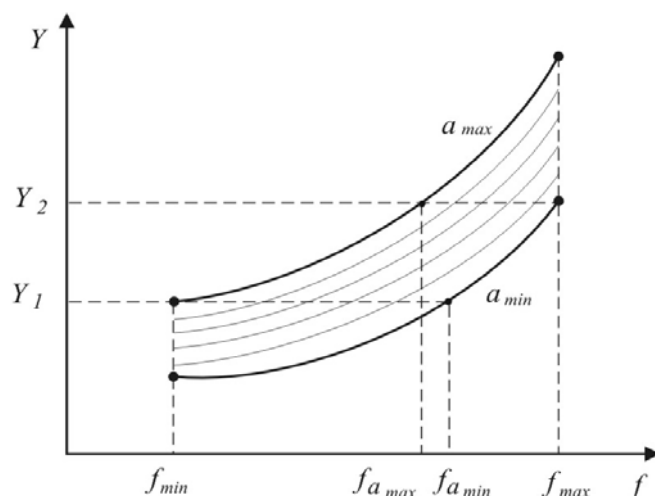
получени в следствие силовите деформации в технологичната система. Често използван подход е стабилизиране на силовите деформации в процеса на механично обработване [4]. При реализиране на този тип АУ най-често за управляван входящ фактор се избира подаването f . Основна задача при разработването на тези системи се явява определянето на нивото на този фактор така, че да се стабилизируют деформациите в определени граници, около стойност, която удовлетворява показателите за ефективност на обработването.

Подхода за избор на нивото за стабилизиране на силовите деформации е свързан със стремежа за поддържане на максимално ниво на подаването, при ниво на грешките от силови деформации Y , удовлетворяващи изискванията за точност.

Полученият математически модел за грешките от силови деформации при разстъргване в най-общ вид може да бъде представен от израза:

$$(5) \quad Y = b_0 + b_1 a + b_2 f + b_3 a f + b_4 a^2 + b_5 f^2$$

Графичната интерпретация на модела (фиг.3) за удобство при разглеждането ще бъде представена в двумерна координатна система, като по абсцисата е подаването f , а по ординатата - грешката от силови деформации Y . Разглеждат се криви при различни дълбочини на рязане a в диапазона $a_{min} - a_{max}$.



Фиг.3

АУ за стабилизиране на деформациите се свежда до определяне на подаване f_i при дълбочина на рязане a_i и определено ниво на деформация $Y=const$. За да се получи решение на уравнение (5) спрямо f за всяко a_i от диапазона a_{min}, a_{max} е необходимо избраното ниво $Y=const$ да пресича цялото семейство криви $a_i=const$. Ако се анализира графиката на фиг.4 се вижда, че

областта от възможните решения се намира в границите от Y_1 до Y_2 . Долната граница Y_1 се получава от уравнение (5) при $a=a_{max}$ и $f=f_{min}$, а горната граница Y_2 при $a=a_{min}$ и $f=f_{max}$. Всяко ниво на деформация в тези граници е решение на задачата за стабилизиране на силовите деформации, чрез промяна на подаването.

Изборът на ниво за стабилизиране се определя от показателите за ефективност на обработването – производителност, себестойност, точност на размерите, точност на микрогеометричната форма и др.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА МЕТОДА

Разгледаният метод е изследван експериментално, като за целта е обработена партида детайли. Диаметърът на който е настроена машината е 30mm. Избрано е ниво на деформация 83 μ m. Обработени са пет групи детайли с различна дълбочина на рязане. Подаването се изчислява по описания метод от получения модел на грешките от силови деформации. Данните за проведеното изследване са отразени в таблица 1.

Таблица 1

№	a, mm	f, mm/об	Изм. диаметър, mm	Y, μ m	№	a, mm	f, mm/об	Изм. диаметър, mm	Y, μ m
1	0.25	0.49	29.76	120	14	0.5	0.16	29.81	95
2	0.25	0.49	29.83	85	15	0.5	0.16	29.84	80
3	0.25	0.49	29.8	100	16	0.6	0.14	29.79	105
4	0.25	0.49	29.77	115	17	0.6	0.14	29.8	100
5	0.25	0.49	29.73	135	18	0.6	0.14	29.82	90
6	0.4	0.2	29.8	100	19	0.6	0.14	29.71	145
7	0.4	0.2	29.78	110	20	0.6	0.14	29.77	115
8	0.4	0.2	29.78	110	21	0.75	0.13	29.8	100
9	0.4	0.2	29.79	105	22	0.75	0.13	29.79	105
10	0.4	0.2	29.8	100	23	0.75	0.13	29.79	105
11	0.5	0.16	29.8	100	24	0.75	0.13	29.81	95
12	0.5	0.16	29.83	85	25	0.75	0.13	29.82	80
13	0.5	0.16	29.8	100					

За получените резултати от обработването на партидата детайли се извършва статистически анализ [5].

Пресмята се средно аритметичната стойност на получената грешка от силови деформация:

$$(6) \quad \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 102,8 \mu\text{m} .$$

Определя се средноквадратичното отклонение:

$$(7) \quad s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1} = 229,333 \mu\text{m}^2 .$$

Определят се практическите граници на разсейването.

$$(8) \quad \omega = 2ks .$$

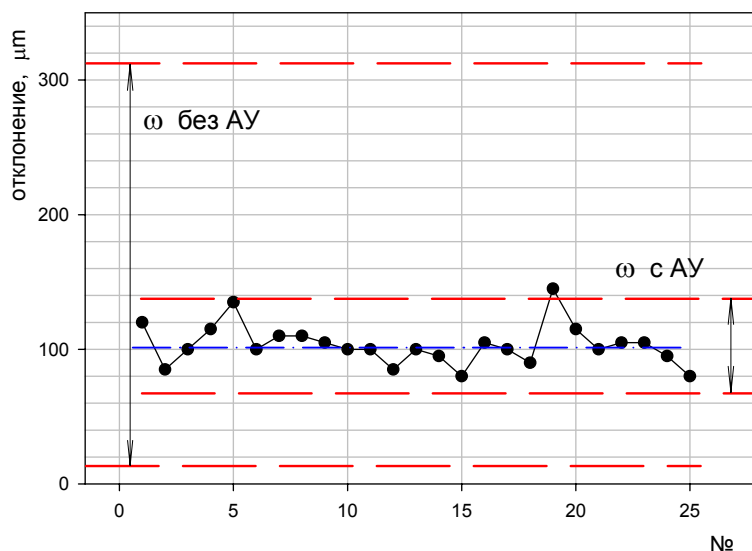
При $k_{25;0,95;0,95} = 2,628$, вероятното поле на разсейване на грешката от силова деформация за обработената партида детайли ще бъде: $\omega = 68.879 \mu\text{m}$.

Известно е от планирания експеримент че вероятното поле на разсейване около повърхнината на регресия е: $\omega = 51.45 \mu\text{m}$

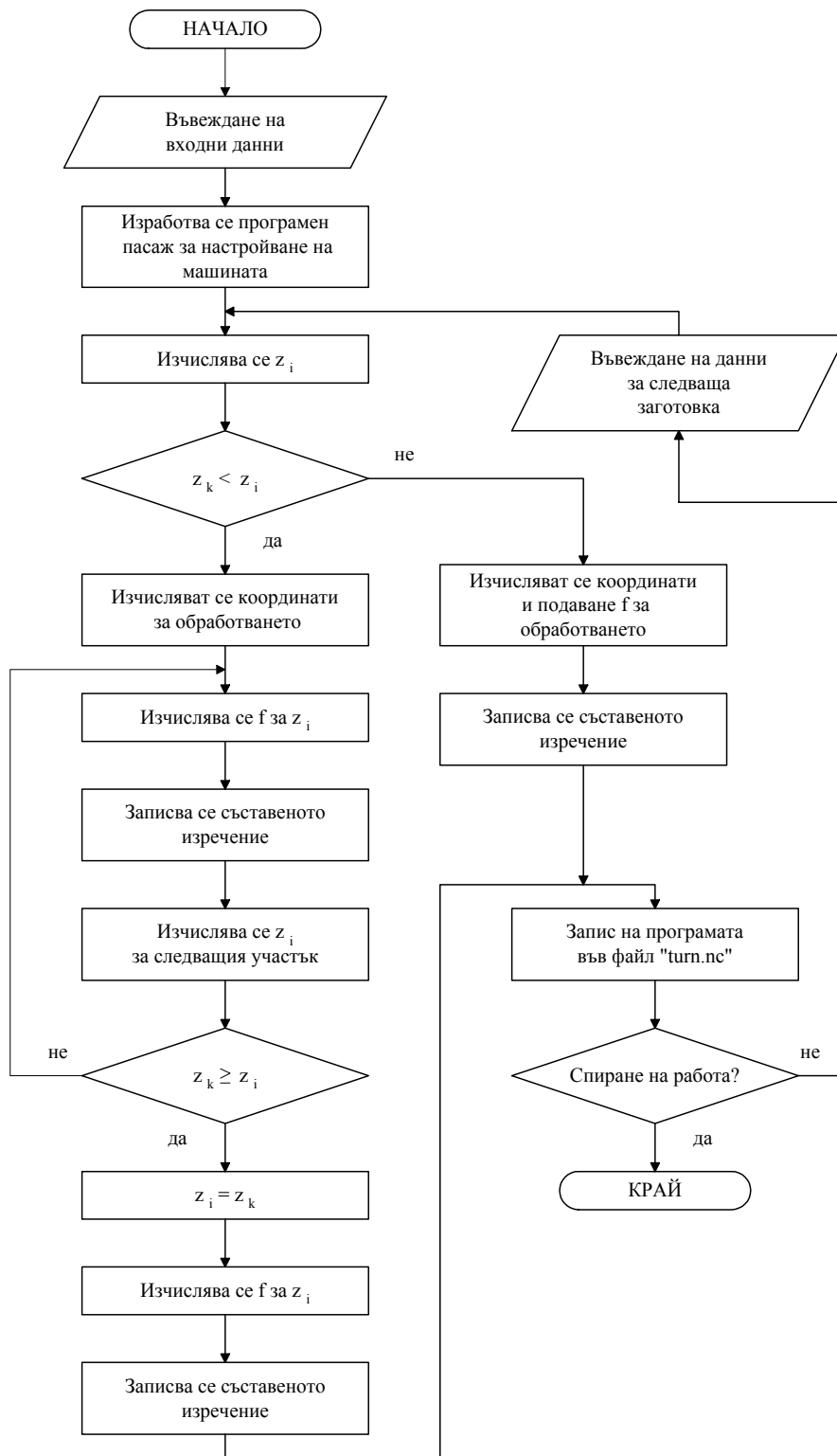
Анализът на получените резултати показва, че без прилагане на стабилизиране на силовите деформации вероятното поле на разсейване при разсейване на размерите на заготовките осигуряващи дълбочини на рязане дефинирани за модела ще бъде: $\omega = 301 \mu\text{m}$.

При прилагане на адаптивно управление за стабилизиране на силовите деформации, вероятното поле на разсейване на размерите ще е равно на полето на разсейване на грешката от силови деформации изчислено при обработване на пробната партида. Точността на обработването се увеличава приблизително четири пъти.

Резултатите от изследването са представени графично, чрез точкова диаграма на фиг.4. На графиката са показани границите на полетата на разсейване с адаптивно управление и без прилагане на адаптивно управление.



Фиг. 4.



Фиг. 5

АЛГОРИТЪМ И ПРОГРАМА ЗА АДАПТИВНО УПРАВЛЕНИЕ

Подходът за осъществяване на АУ по математически модел на процеса създава възможност управлението да се изгради без допълнителни сензорни устройства и намеса в схемата за управление на машината. АУ се реализира по софтуерен път, чрез свързан с машината персонален компютър. Стойностите за дълбочината на рязане a се получават в следствие измерване на заготовката извън работното пространство на машината. За всяка заготовка се генерира управляваща програма за обработване в зависимост от дълбочината на рязане a .

Блок-схема на алгоритъма за АУ, базиран на математическия модел на процеса е показана на фиг.5.

Първоначално се въвеждат входни данни за процеса - заготовка, инструмент, математически модел.

Следва изработване на програмен пасаж за настройване на машината.

Определя се необходимо ли е да се раздели обработването по направление z , в зависимост от това има ли конусност на заготовката и доколко тя е значима за получаваната грешка от силови деформации. Ако няма конусност се изчислява подаването f . Записва се генерираното изречение. Записва се програмата във файл "turn.nc". Извършва се обработването.

Ако съществува конусност дължината на обработвания участък се разделя на необходимия брой части, като за всяка се изчислява необходимото подаване f и се съставя съответното изречение. Генерираната програма се записва във файл "turn.nc". Извършва се обработването.

При продължаване на работа се въвеждат данни за следващата заготовка и се повтаря процедурата на алгоритъма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резултатите от експерименталното изследване доказват ефективността на предложения метод за управление на точността. Вероятното поле на разсейване на грешките от силови деформации при прилагане на алгоритъма за адаптивно управление е четири пъти по-малко от общото получено при моделиране в изследваната област.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vasil Georgiev, I. Chetrokov, S.Salapateva. *INTELLIGENT LATHE TURNING COMPUTER CONTROL SYSTEM MODEL*. Scientific Conference with International Participation "MANUFACTURING AND MANAGEMENT IN 21ST CENTURI". Ohrid, (2004).
2. Георгиев В. И. *Програмно управление на силовите деформации при металорежещи машини с цифрово програмно управление*. Известия на ТУ в Пловдив, том 10 "Технически науки", (2003).

3. Георгиев В. И., И. Четроков. *Изследване на силовите деформации в работното пространство на ММ с ЦПУ*. Известия на ТУ в Пловдив, том 10 “Технически науки”, (2003).
4. Георгиев В. И., И. Четроков. *Адаптивно управление за стабилизиране на силовите деформации при струг с ЦПУ*. Известия на ТУ в Пловдив, том 10 “Технически науки”, (2003).
5. *Ръководство за упражнения по КУК*. По ред. на В. Георгиев. Пловдив, ТУ – София, филиал Пловдив, (2003).

ИЗСЛЕДВАНЕ ЗА АДАПТИВНО УПРАВЛЕНИЕ ПРИ СТРУГОВАНЕ С ЦПУ КАТО ЕЛЕМЕНТ НА СИСТЕМА ЗА ИНТЕЛИГЕНТНО КОМПЮТЪРНО УПРАВЛЕНИЕ

V. GEORGIEV AND I. CHETROKOV

Abstract. В работата е представено изследване на адаптивно управление при струговане със струг с ЦПУ. Експериментално е получено уравнение на регресия описващо грешките от силови деформации Y в зависимост от подаването f и дълбочината на рязане a . Представен е алгоритъм за адаптивно управление на технологичния процес. Извършено е експериментално изследване на този алгоритъм. В работата е предложена блок-схема на програма за адаптивно управление.

SOFIA TECHNICAL UNIVERSITY, PLOVDIV BRANCH
DEPARTMENT OF MACHINE – BUILDING TECHNOLOGIES
AND MANUFACTURING EQUIPMENT
25 Tsanko Dyustabanov St. 4000 Plovdiv, Bulgaria
Tel: +359 32 659 611 Fax: +359 32 659 740
E-mail: mtpt@tu-plovdiv.bg