

## МЕТОД ЗА АКТИВЕН КОНТРОЛ ПРИ НАДЛЪЖНО ШЛИФОВАНЕ

доц. д-р Л. Ж. Стоев, маг. инж. Ст. Я. Христов, ТУ-София

**Анотация:** Предлага се нов експериментално изследван метод за активен контрол при надлъжно шлифоване, който може да се използва и при обработване на детайли с ниска стабилност с подвижен люнет. При проведените опити се установи, че колебанията на показанията на изследваното устройство за активен контрол (УАК) се дължат на грешките във формата на детайлите, а не на принудени трептения на контактните челюсти. Регистрираните отклонения във формата са определящи по отношение на подаването на сигнали към цифровото управление на машината. Експериментално е определено влиянието на режимите на рязане и на грапавостта върху размаха на показанията на УАК. Успешното използване на устройствата за активен контрол и при надлъжно шлифоване повишава чувствително диапазона им за практическо приложение. За предлагания нов метод е подадена заявка за изобретение в Патентното ведомство на Република България.

**Ключови думи:** активен контрол, надлъжно шлифоване, стабилност, люнет, ротационно-центрови детайли

При кръгло шлифоване на партида от многостъпални валове трудно се постига точност на формата и размерите в рамките на допуски от  $5\div 10\ \mu\text{m}$ , без да се използват устройства за активен контрол (УАК). Влияние оказват промяната на режимите на рязане и заточване, режещата способност и характеристиката на инструмента, топлинните и силови деформации и др. Отрицателното влияние на тези фактори не може да се отстрани единствено при използване на пътни измервателни системи, каквито обикновено са достатъчни при машините за реализиране на операциите преди шлифоването. Само посредством пряко измерване на повърхнините по време на окончателното обработване, при използване на устройства за активен контрол (едноразмерни или широкообхватни), се осигурява постигането на висока точност на размерите и формата на детайлите.

Понастоящем единствената област на приложение на устройствата за активен контрол при кръглошлифовъчните машини е при управление на циклите за врезно шлифоване на цилиндрични стъпала на валове и отвори на патронни детайли. Тези измервателни уреди се установяват върху масата, към тялото и в редки случаи във вретеното на предното седло. Понякога се монтират към супорта на машините, преместващ се в напречно направление, (при необходимост от активен контрол при шлифоване на мотовилковите шийки на колянови валове). Значително по-скъпите широкообхватни устройства за активен контрол (ШУАК) се използват при врезно шлифоване на валове с различни диаметри на отделните стъпала. Известно е, че те разполагат с допълнителна надлъжна ос „W”, даваща възможност за измерване на диаметрите на стъпала с различни дължини. Непрекъснатият контрол и при тях понастоящем се осъществява винаги само в рамките на програмираните цикли за врезно шлифоване, дори когато се обработва цилиндрично стъпало с по-голяма дължина от широчината на диска. В този случай се изпълняват няколко повтарящи и припокриващи се цикъла на врезно шлифоване, изместени един спрямо друг по оста на детайла, последвани от надлъжно осцилиращо движение.

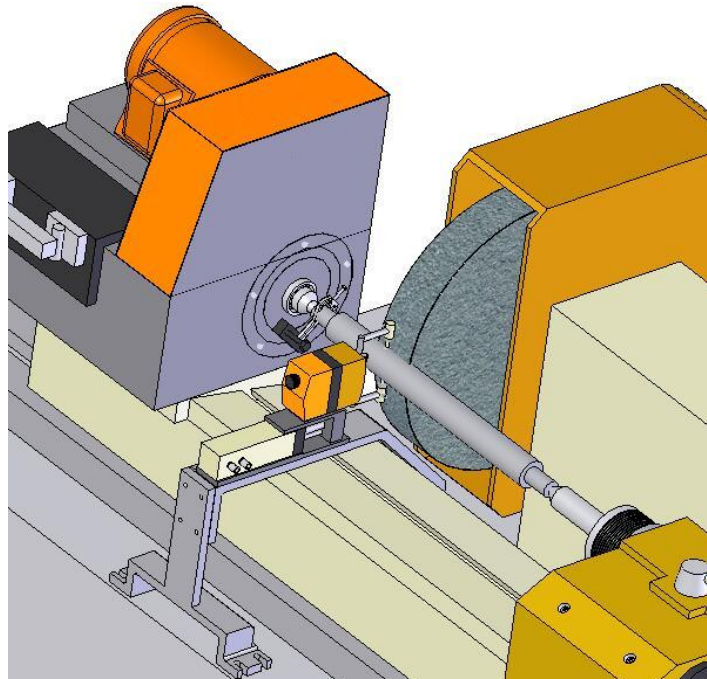
Целта на проведените изследвания е експериментално доказване на приложимостта на *нов метод за активен контрол при надлъжно шлифоване* на цилиндрични стъпала на валове (с дължини по-големи от широчината на диска). Задача при опитите бе да се установи влиянието на режимите за надлъжно шлифоване и заточване върху колебанията (размаха) на показанията за текущия измерван диаметър, отчитани от електронния блок на УАК.

Преди началото на експериментите се очакваше евентуална поява на трептения на контактните крайници поради надлъжното им преместване спрямо обработвания детайл. Прекалено големи колебания на показанията при контролирането на повърхнината биха могли да доведат до изпреварване на моментите за подаване на управляващите сигнали към системата за ЦПУ.

Характерно за предлагания нов метод е относителното преместване в надлъжно направление на устройството за активен контрол спрямо шлифования (или хонингован) детайл. При проведените опити УАК се установи върху мост над надлъжната маса на машина ШУ 322.21, фиг. 1. През цялото време на непрекъснатия контрол УАК е винаги в една и съща позиция срещу шлифовъчния диск. Методът може да се използва както при външно кръгло, така и при вътрешно шлифоване. В позиция за измерване контактните крайници се ориентират по средата на широчината на абразивния инструмент (с оглед усредняване на евентуални грешки от неравномерно износване на инструмента при надлъжното преместване на масата в едната или другата посока). При машини, при които шлифовъчният супорт се придвижва по ос „Z”, е подходящо устройството за контрол да се монтира към супорта. На тази тема са

посветени компоновъчни решения, които се анализират в други материали.

Предлаганият метод може да се прилага при външно и вътрешно шлифване, при хонинговане, притриване и полиране на ротационно-центрови или патронни детайли, както и за адаптивно управление на тези процеси при цялото разнообразие на машините и устройствата за активен контрол.



Фиг. 1 Схема на работната зона на машина ШУ 322.21 с едноразмерно УАК, модел „Микролимит”, установено върху мост над надлъжната маса

Измервателната позиция на УАК (ШУАК), илюстрирана на фиг. 1, дава възможност за осъществяване на непрекъснато измерване на диаметъра на детайла не само в едно напречно сечение, но и по цялата негова дължина при надлъжното му шлифване.

Експериментирането и доказването на приложимостта на устройствата за активен контрол при надлъжно шлифване дава възможност в перспектива за внедряване на *нов метод за адаптивно управление (АУ) на точността на обработваните детайли при надлъжно шлифване с използване на УАК*. Неговата реализация е предмет на бъдещи разработки. В основата на този метод е залегнала идеята за постигане на минимални отклонения от цилиндричност (точна форма в надлъжно сечение на обработваната повърхнина) при всеки ход на процеса надлъжно шлифване при адаптивно управление на процеса от УАК. Измервателното устройство осъществява непрекъснат сигналнообмен със системата за ЦПУ за адаптивно управление на избран/и параметър/ри на режима на рязане, примерно на надлъжната скорост. Предлаганият нов метод, за който е подадена заявка за изобретение в Патентното ведомство на Република България, е съществена стъпка в посока на окончателното разрешаване на проблема с постигането на висока точност при надлъжно шлифване на детайли с големи дължини и ниска стабилност при едновременно достигане на оптимална производителност. Ефектът от приложението на предлаганите нови технологични подходи ще бъде още по-голям при използване на някой от вариантите на автоматични подвижни люнетни, предлагани и изследвани от авторите.

При първоначалните опити на предлагания метод за АК при надлъжно шлифване се шлифоваха стабилни заготовки с едно цилиндрично стъпало с размери  $\varnothing 50 \times 300$  mm с оглед елиминиране на влиянието на податливостта на детайла върху точността на измерванията. Използва се диск с широчина  $B = 50$  mm. Към крайници на УАК се запоиха кръстосани контактни ролки от лагерна стомана ШХ15.

## **ОЦЕНЯВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА НАДЪЛЖНАТА СКОРОСТ $v_{\text{надл.}}$ И НА ДЪЛБОЧИНАТА НА РЯЗАНЕ $a_p$ ВЪРХУ КОЛЕБАНИЯТА НА КОНТАКТНИТЕ НАКРАЙНИЦИ НА УАК**

При проведените експерименти надлъжната скорост на масата се избираше в зависимост от програмираната дълбочина на рязане за всеки ход (или за всеки двоен ход). При използваната машина ШУ 322.21  $v_{\text{надл.}}$  се променяше в интервала от 50 mm/min до 2 m/min. За оценяване на влиянието на  $v_{\text{надл.}}$  и  $a_p$  при всеки ход върху колебанията (хистерезиса на отклоненията) на крайниците на УАК дълбочината на

шлифоване варираше в интервала  $10 \div 15 \mu\text{m}/\sigma/\text{ход}$ . За постоянен фактор се избра честота на въртене на детайла:  $n_{\text{дет.}} = 40 \text{ min}^{-1}$ . При голям обем снеман метал за единица време  $Q_{\text{сп}}$ , т.е. при съчетание на завишени стойности на  $v_{\text{надл.}}$  и  $a_p$ , се установи, че максималната амплитуда на колебанията на показанията по време на шлифоването не надхвърля  $3 \div 4 \mu\text{m}$ .

След всеки надлъжен ход детайлът се измерваше с УАК, без да се обработва, при използване на същите  $v_{\text{надл.}}$  и  $n_{\text{дет.}}$ . Установи се, че размахът на показанията е аналогичен на горепосочения:  $3 \div 4 \mu\text{m}$ . Това налага извода, че доминиращи фактори върху колебанията на резултатите от измерванията са грешките във формата на детайла като: овалност, многостенност, радиално биене, биене на напречното сечение и други, а не трептения на контактните накрайници. Установи се, че и при тежки режими на рязане причината за хистерезиса на текущите показания е същата. При нарочно избиране на неподходящо съчетание на  $v_{\text{надл.}}$  и  $a_p$  се наблюдаваше също съвпадение на резултатите от измерването с УАК по време на шлифоването с тези на регистрираните грешки във формата след обработката. Това потвърждава правилността на извода, че отклоненията във формата на детайла в надлъжно сечение, които се следят от измервателните накрайници, а не техните колебания поради възникнали трептения, са определящи по отношение на моментите за подаване на сигнали към цифровото управление на машината.

В случаи на надлъжно шлифоване, при използване на разнообразни режими на рязане, различни характеристики на инструменти и детайли, евентуално възникнали по-големи трептения биха могли да бъдат демпферирани или намалени и с използване на подходящи по дължина, диаметър и разположение контактни накрайници. Удачно е например приложение на подходящ модел на УАК, например TNU91 [1] на фирма HOMMEL-ETAMIC GmbH, което се използва в случаите на контрол на детайли с некръгло напречно сечение или на шлицеви валове.

Интерес представляват и резултатите от проведените сравнителни експерименти при врезно шлифоване с УАК. Установи се, че размахът на показанията, отчитани от индикацията на електронния блок, се дължи също на отклоненията във формата на детайла в напречно сечение. Следователно евентуално предварение или закъснение на подаването на сигнали (спрямо програмираните стойности) от УАК към ЦПУ на машината се влияе основно от грешките във формата на детайла. Трептенията на контактните накрайници са с малък размах и следят променящия се профил на детайла. Всички резултати от опитите доказаха удачното използване на новия метод за контрол с УАК.

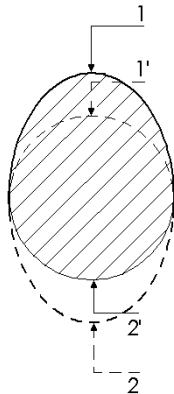
Използваните традиционни цикли за врезно или надлъжно шлифоване съдържат в пълната си структура етапите грубо, получисто, фино шлифоване, междинно и крайно отискряне. Поради програмирано намаляване на обема снеман материал за единица време и при двата метода за обработване грешката във формата на детайла в напречно сечение намалява в посока на постигане на окончателния диаметър, което води до естествено увеличаване на точността на формата на детайла и до намаляване на колебанията на измервателните накрайници на УАК.

## ВЛИЯНИЕ НА ЧЕСТОТАТА НА ВЪРТЕНЕ НА ДЕТАЙЛА $n_{\text{дет.}}$ ВЪРХУ КОЛЕБАНИЯТА НА КОНТАКТНИТЕ НАКРАЙНИЦИ НА УАК

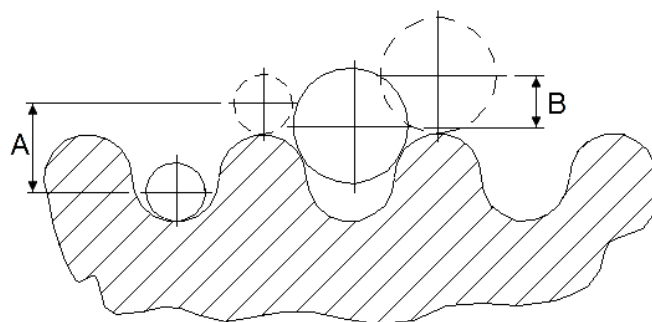
При следващата проведена серия от експерименти честотата на въртене на детайла се променяше в интервала от  $20 \div 100 \text{ min}^{-1}$ . Установи се, че при големи честоти на въртене се получава известно намаляване на хистерезиса на измерваните текущи показания. Аналогично на предходните опити, контролът на детайлите се извършваше по време на шлифоването и след обработването с УАК. Установи се почти пълно съвпадение на отчетените резултати.

Обяснение на „демпферирането на колебанията“ на контактните накрайници:

На фиг. 2 е показано примерно овално напречно сечение на детайл, което се контролира от УАК. При увеличаване на честотата на въртене на детайла се намалява времето за преминаване на двата контактни



Фиг. 2 Ход на контактните накрайници на УАК



Фиг. 3 Различни отклонения на измервателните накрайници при различен диаметър на контактните ролки

накрайника от поз. 1 и поз. 2 в поз. 1' и поз. 2'. Причината е в инерционността на уреда. Получава се естествено демпфиране и размахът на показанията намалява.

## **ВЛИЯНИЕ НА РЕЖИМИТЕ НА ЗАТОЧВАНЕ ВЪРХУ КОЛЕБАНИЯТА НА КОНТАКТНИТЕ НАКРАЙНИЦИ НА УАК**

За променливи фактори при експериментите се избраха дълбочината на заточване  $a_{e\text{ зат.}}$  и надлъжната скорост  $v_{\text{надл.}}$ . Интервалите на вариране на тези фактори са:  $a_{e\text{ зат.}} = 20 \div 50 \mu\text{m}/\varnothing$  и  $v_{\text{надл.}} = 50 \div 400 \text{ mm}/\text{min}$ .

При съчетаване при опитите на горните нива на променливите фактори се измери най-голяма грапавост на детайла. Регистрира се  $5 \mu\text{m}$  максимален размах на отклоненията на контактните накрайници. В този случай влияние оказват не само грешките във формата и биенето на напречното сечение на детайла, но и неговата грапавост. За елиминирание или намаляване на влиянието на грапавостта на детайла върху колебанията на контактните накрайници на УАК, използвано при надлъжно шлифование, се препоръчва да се използват контактни ролки с по-голям диаметър, фиг. 3. Така отклоненията В на контактните ролки с по-голям диаметър са по-малки в сравнение с отклоненията А на ролки с по-малки диаметър.

Резултатите от опитите потвърждават, че устройствата за активен контрол могат да се използват успешно в практиката при надлъжно шлифование.

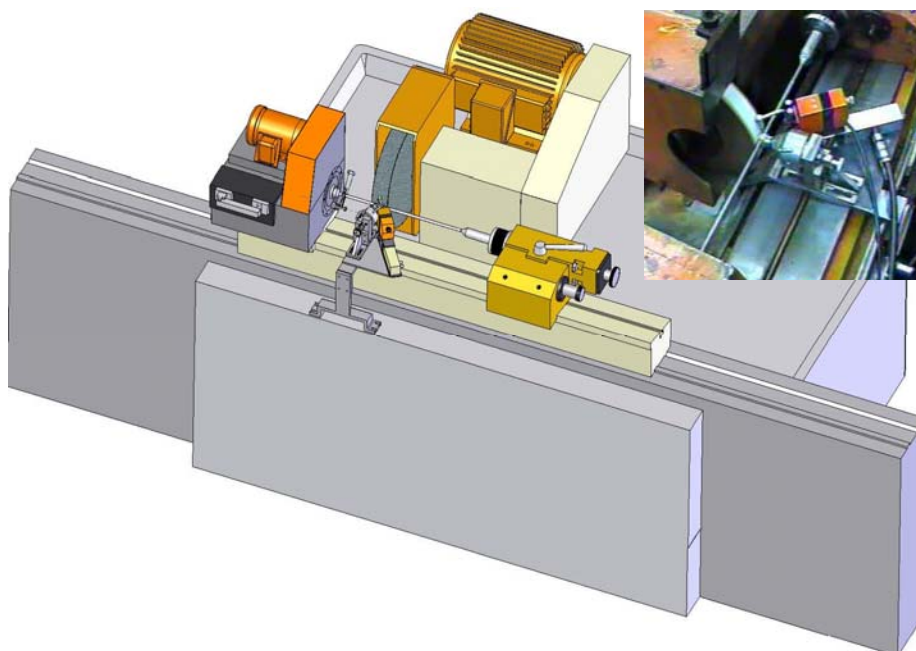
## **ИЗБОР НА РЕЖИМИ ЗА НАДЛЪЖНО ШЛИФОВАНЕ ПРИ РАБОТА С УАК**

В резултат на проведените изследвания може да се направи обобщен извод, че обичайните режими за външно кръгло надлъжно шлифование са подходящи и за активен контрол с УАК. При по-малки диаметри на обработваните детайли, поради намаления специфичен обем на снемания материал за единица време, режимите на рязане могат да бъдат ускорени до постигането на изискваните показатели за качеството на детайлите.

Контролът с УАК на текущия диаметрален размер и формата на обработваната повърхнина може да се използва безпроблемно и при използване на високопроизводителната дълбочинна схема за надлъжно шлифование, при която в рамките на един надлъжен ход се сменя цялата прибавка. При необходимост може да се изпълняват и няколко последователни отискрящи хода за постигане на предписаните точност на размера, форма и грапавост на обработваната повърхнина.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДА ЗА АКТИВЕН КОНТРОЛ ПРИ НАДЛЪЖНО ШЛИФОВАНЕ НА НЕСТАБИЛНИ ДЕТАЙЛИ С ЛЮНЕТ**

За намаляване на грешките във формата на обработвани детайли с ниска стабилност в надлъжно и напречно сечение и за повишаване на производителността при надлъжното им шлифование може да се използват предлаганите от авторите варианти на ръчни и автоматични люнети в съчетание с УАК [2, 3]. На фиг. 4 [2] са показани люнет и УАК, установени върху мост над надлъжната маса на машина ШУ 322.21.



Фиг. 4 Надлъжно шлифование на нестабилен детайл с ръчно поднастроваем люнет и използване на УАК

## **ЦИКЪЛ ЗА НАДЛЪЖНО ШЛИФОВАНЕ НА НЕСТАБИЛНИ ДЕТАЙЛИ С ИЗПОЛЗВАНЕ НА УАК**

При необходимост от шлифование на партида нестабилни детайли с помощта на ръчен или автоматично поднастроиваем люнет и устройство за активен контрол, установени върху мост над надлъжната маса на машината, може да се реализира цикъл за надлъжно шлифование със следната последователност:

Детайлт се установява между центри. Стартира се врезно шлифование с адаптивно управление за зачистване на стъпало в десния (или ляв край) на детайла до подходящ краен диаметър. (В следствие този диаметър ще е начален за осъществяване на следващия цикъл за надлъжно шлифование. Поради тази причина е желателно да се използва междинно и крайно отискряне с оглед повишаване на точността на формата в напречно сечение на образуваното крайно стъпало). Целта на този врезен цикъл е да се получи точна цилиндрична повърхнина на крайното стъпало, която ще е базова за опорната призма на люнета. Използването на УАК при този врезен цикъл не е целесъобразно поради голямото биене в повечето от случаите на осите на изходните заготовки. След достигане на програмирания размер и отработването на крайното отискряне се подвеждат опорната призма на люнета до контакт с детайла и УАК в измервателна позиция. Следва осъществяване на цикъл за надлъжно шлифование с периодични напречни подавания в края на всеки ход или всеки двоен ход при управление на процеса от устройството за активен контрол.

При стандартното изпълнение на машина ШУ 322.21 надлъжната скорост на масата и честотата на въртене на детайла не могат да бъдат променени в рамките на автоматичния надлъжен цикъл. Може да се променя само дълбочината на рязане при грубо и чисто надлъжно шлифование. Подаването на сигнал за въвеждане на УАК в контролна позиция може да се извършва и след първия или втория надлъжен ход на масата. Това ще даде възможност за използване на устройството за контрол, когато по-голяма част от грешките във формата на стругованата заготовка са отстранени. Така ще се гарантира и допиране на контактните крайници до значително по-гладка и точна повърхнина. УАК извършва непрекъснат контрол на размера и на формата на шлифования детайл в надлъжно и напречно сечение, на радиалното биене и на биенето на оста на детайла. При достигане на предварително зададения окончателен диаметър, в произволно напречно сечение по дължината на детайла, измервателното устройство подава сигнал за отработването на един или няколко отискрящи хода.

### **ИЗВОДИ:**

1. Предложен и експериментално изследван е нов метод за активен контрол при надлъжно шлифование, който може да се използва и при обработване на детайли с ниска стабилност с подвижен люнет.
2. Експериментално е установено, че колебанията на показанията отчитани от електронния блок на устройството за активен контрол се дължат на грешките във формата на детайлите, а не на трептения на челюстите. Отклоненията във формата на детайлите са определящи по отношение на подаването на сигнали към цифровото управление на машината.
3. При увеличаване на честотата на въртене се получава „демфериране“ на контактните крайници и намаляване на размаха на показанията.
4. Опитно е установено, че не само грешките във формата и биенето на оста на детайла, но и неговата грапавост оказват влияние върху размаха на показанията на УАК. При необходимост от контрол с УАК при надлъжно шлифование на детайл с относително по-голяма грапавост се препоръчва използването на кръстосани контактни ролки с по-голям радиус.
5. Експериментално установеното успешно използване на устройствата за активен контрол и при надлъжно шлифование повишава чувствително диапазона за практическото им приложение.
6. Проектирана е структура на цикъл за надлъжно шлифование с прилагане на активен контрол.
7. Експериментално е доказана възможността за използване на обичайните режими при външно кръгло шлифование при обработване на нестабилни детайли с подвижен люнет. Поради малките диаметри на обработваните заготовки, режимите на рязане могат и да бъдат увеличавани до граници гарантиращи постигане на изискваните показатели за качеството на детайлите.
8. При надлъжно шлифование на ротационно-центрови детайли с ниска стабилност с подвижен люнет може да се използва и дълбочинна схема за обработване.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБЛАСТИ НА ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДА**

Резултатите от експериментите на предлагания метод с използване на УАК доказват приложимостта на активния контрол и при надлъжно шлифование. Предлаганият нов метод може да се внедри при всички модели продукционни и цифрови кръглошлифовъчни машини след установяване на УАК на подходяща позиция към тялото или към надлъжно преместващия се супорт. Необходими са минимални инвестиции. При машини, разполагащи с ШУАК и надлъжна ос „W“, внедряването на метода за активен контрол в надлъжно направление е улеснено и не се налага влагането на допълнителни средства.

Предлаганият метод може да се използва както за осъществяване на непрекъснат контрол в надлъжно

и напречно направление през целия шлифовъчен цикъл („In-Process-Messen”), така и измерване на точността на размерите и формата на детайла след неговата обработка („Post-Process-Messen”) на същата машина, т.е. шлифовъчната машина може да поеме функциите на измервателна станция. Съществува и допълнителна възможност стругованите заготовки предварително да се измерват (сканират „Pre-Process-Messen”) с помощта на УАК в определени сечения и да се стартира съответен шлифовъчен цикъл, адаптиран с тяхната геометрия.

Използването метода за АК при надлъжно шлифване в съчетание с автоматично поднастроиваем лунет (АПЛ), както и предложената нова технология за АУ на надлъжното обработване с УАК и АПЛ (обект на друга разработка), ще допринесат за окончателното разрешаване на наболелите от години проблеми за постигане едновременно на висока точност и оптимална производителност при обработването на нестабилни детайли.

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

1. [http://www.etamic.com/pages\\_d/Produit\\_Tete\\_de\\_mesure\\_TNU91.htm](http://www.etamic.com/pages_d/Produit_Tete_de_mesure_TNU91.htm), 18.09.2007
2. Стоев Л., Ст. Христов, Точност на формата на ротационно-центрови детайли с ниска стабилност при надлъжно шлифване с ръчно поднастроиваем лунет, конференция с международно научно участие АМТЕСН 2005, 9-11 ноември 2005 г., сборник научни трудове на ТУ-Русе „Прогресивни машиностроителни технологии”, том 44, серия 2, стр. 411÷416
3. Стоев Л., Ст. Христов, Автоматично поднастроиваем лунет за надлъжно шлифване на ротационно-центрови детайли с ниска стабилност, научна конференция на ТУ-Варна „CAD/CAM Технологии”, 02-03 юни 2006 г, сп. „Машиностроителна техника и технологии”, бр. 1 / 2006 г., стр. 31÷34.