



APPLICATION OF DIFFERENTIAL-MORPHOLOGICAL METHOD FOR DEVELOPING A DEVICE FOR SPD BY MEANS OF TOROIDAL ROLLER

Tihomir Atanasov*

Technical University of Gabrovo, Gabrovo, Bulgaria

ARTICLE INFO

Article history:

Received 7 February 2020

Accepted 24 February 2020

Keywords:

Toroidal roller burnishing, rolling contact, burnishing device, differential-morphological method

ABSTRACT

Toroidal roller burnishing is a cost effective process for finishing of metal machine elements by means of surface plastic deformation. The surface integrity of the burnished components is characterized by low roughness, high micro-hardness and beneficial compressive residual stresses. The deforming tool is toroidal roller made of tool steel. In order to study the burnishing process, a corresponding device is necessary. This paper is devoted to synthesis and development of conventional roller burnishing device, allowing easy and quickly set of the geometrical and physical parameters of the process. For this purpose a morphological analysis of existing burnishing devices using rolling contact was made. Using the differential-morphological method, a device functional scheme is justify and chosen. On this basis, a construction of the device is designed and manufactured. The device is intended for comprehensive experimental study of the toroidal roller burnishing process.

© 2020 Journal of the Technical University of Gabrovo. All rights reserved.

ВЪВЕДЕНИЕ

Повърхностните слоеве на конструкционните и машинни елементи са най-натоварени по време на експлоатация. Техните характеристики определят комплекса от свойства, известен като Surface Integrity (SI). Повишената микротвърдост, понижена грапавост и въведени полезни остатъчни напрежения на натиск са характеристиките на SI с определящо значение за повишаване на якостта на умора. Ефективен подход за подобряване на тези характеристики е, подходът, базиран върху повърхностно пластично деформиране (ППД) (burnishing). Методите, реализиращи ППД, се разделят на динамични и статични [1]. Основното приложение на първите е обработването на повърхнини със сложна форма. Статичните методи са особено подходящи задовършващо обработване на външни и вътрешни ротационни повърхнини. Според вида на контакта на деформиращия елемент и обработваната повърхнина, се различават две групи статични методи: с контакт триене при търкаляне и с контакт триене при плъзгане. Световен лидер в областта на burnishing технологиите, базирани върху контакт триене при търкаляне, е компанията ECOROLL. ECOROLL представя две основни концепции – Roller burnishing и Deep rolling [2]. Разликата между тях е ефекта, който се цели да се постигне в аспект на експлоатационни характеристики. Процесът roller burnishing цели преди всичко получаване на минимална грапавост ($R_a \leq 0,2 \mu m$) и висока точност на формата и размерите, използвайки предимно инструменти с множество деформиращи

ролки. При deep rolling акцентът се поставя върху уякчаването (cold work) и създаването на натискови остатъчни напрежения в повърхностните слоеве, а редуцирането на грапавостта е съпътстващ ефект. Разработените приложения на концепцията Deep rolling са във варианти на “Ball hydrostatic burnishing” (“Зарждаване с хидростатична сфера”) и чрез цилиндрични, конусни или профилни (например тороидални) деформиращи ролки. Предимство на процеса ППД на външни цилиндрични повърхнини с тороидални деформиращи ролки (ТДР) е реализацията му с просто устройство върху конвенционални и с ЦПУ стругови машини, което рефлектира в относително ниска стойност на отношението цена/качество.

Основната цел на това изследване е морфологичен анализ на съществуващите конструкции устройства за ППД, използващи контакт триене при търкаляне, и на тази основа – синтез на устройство, предназначено за експериментално изследване на процеса ППД с ТДР на външни цилиндрични повърхнини, позволяващо лесно управление на геометричните и физични параметри на процеса.

ИЗЛОЖЕНИЕ

1. Морфологичен анализ

Ефективен „инструмент“ за анализ и синтез на технически обекти е диференциално-морфологичния метод, разработен и широко прилаган от акад. Ю. Н. Кузнецов. В основата на метода е създаването на т.н. морфологична таблица, съдържаща информация за отличителните характеристики на двата й основни

* Corresponding author. E-mail: tihomir.atanasov@abv.bg

компонента – елементи на структурата и връзки между елементите. От определящо значение за отсяване на съществените отличителни характеристики на техническите обекти е изборът на основните морфологични признаци. На следващи нива в йерархията, основните морфологични признаци се разделят на подпризнаци, характеризиращи специфични особености на конкретния морфологичен признак и т.н.

Разработената морфологична таблица е показана в табл. 1. За основни елементи на структурата са приети:

Таблица 1 Морфологична таблица

Морфология на елементите на структурата				
Елементи на структурата	Основен морфологичен признак	Морфологичен подпризнак от I-во ниво	Морфологичен подпризнак от II - рониво	
1.1. Заготовка	1.1.1. Геометрична форма	1.1.1.1. Външна цилиндрична		
		1.1.1.2. Вътрешна цилиндрична (отвор)		
		1.1.1.3. Равнинна		
		1.1.1.4. Профилна		
		1.1.1.5. Външна конусна		
		1.1.1.6. Вътрешна конусна		
	1.1.2. Движение	1.1.2.1. Въртене около неподвижна ос		
		1.1.2.2. Неподвижна		
		1.1.2.3. Транслация		
		1.1.2.4. Въртене около моментна ос на ротация		
		1.1.2.5. Суперпозиция от въртене около неподвижна ос и транслация (равнинно движение)		
		1.1.2.6. Недефинирано		
		1.2. Деформи-ращ елемент	1.2.1. Геометрична форма	1.2.1.1. Сферична
1.2.1.2. Външна цилиндрична				
1.2.1.3. Външна конусна				
1.2.1.4. Вътрешна конусна				
1.2.1.5. Външна тороидална				
1.2.1.6. Вътрешна тороидална				
1.2.1.7. Профилна ротационна				
1.2.2. Материал	1.2.2.1. Инструмен-тална закалена стомана			
	1.2.2.2. Керамика			
	1.2.2.3. Металокерамика			
	1.2.2.4. Синтерован карбид			
	1.2.2.5. Друг			
1.2.3. Брой	1.2.3.1. Един			
	1.2.3.2. Два			
	1.2.3.3. Три			
	1.2.3.4. Повече от три			
1.3. Силов елемент (елемент за задаване на деформиращото въздействие)	1.3.1. С твърдо действие		1.3.1.1. Налично	
			1.3.1.2. Не е налично	
	1.3.2. С еластично действие		1.3.2.1. Наличност	1.3.2.1.1. Налично е
		1.3.2.1.2. Не е налично		
		1.3.2.2. Според закона на изменение на дефор-миращата сила	1.3.2.2.1. Линейно еластично	
			1.3.2.2.2. Нелинейно еластично	
			1.3.2.2.3. Не съществува	
		1.3.2.3. Според вида на съпротивата	1.3.2.3.1. Опън-натиск	
			1.3.2.3.2. Огъване	
	1.3.2.3.3. Не съществува			
	1.3.3. С вискозно действие	1.3.3.1. Налично		
		1.3.3.2. Не е налично		
	1.3.4. Комбинация от еластично и вискозно действие	1.3.4.1. Налично		
		1.3.4.2. Не е налично		
	1.3.5. С допълнително електромагнитно действие	1.3.5.1. Налично		
1.3.5.2. Не е налично				
1.4. Тяло	1.4.1. Монолитно			
	1.4.2. Съставно			
	1.4.3. Съдържа еластично деформируема част			

Морфология на връзките между елементите				
Връзки между елементите	Основен морфологичен признак	Морфологичен подпризнак от I-во ниво	Морфологичен подпризнак от II-рониво	
2.1. Възможност за подмяна на деформиращия/те елемент/и	2.1.1. Съществува			
	2.1.2. Не съществува			
2.2. Взаимно разположение на деформиращия елемент и заготовката	2.2.1. С фиксирано разположение	2.2.1.1. С успоредни оси		
		2.2.1.2. С пресичащи се оси		
		2.2.1.3. С кръстосани оси		
		2.2.1.4. Без фиксирано разположение		
	2.2.2. Възможност за промяна	2.2.2.1. Наличност	2.2.2.1.1. Съществува	
			2.2.2.1.2. Не съществува	
		2.2.2.2. С транслационно преместване	2.2.2.2.1. Перпендику-лярно на оста на заготовката	
			2.2.2.2.2. По направление на оста на заготовката	
			2.2.2.2.3. В общо направление	
			2.2.2.2.4. Без транслационно преместване	
		2.2.2.3. С въртеливопреместване	2.2.2.3.1. Спрямо ос, перпендикулярна на равнината, определена от осите на заготовката и тялото	
			2.2.2.3.2. Спрямо ос, лежаща в равнината, определена от осите на заготовката и тялото и перпендикулярна на оста на заготовката	
			2.2.2.3.3. Около моментна ос на ротация	
			2.2.2.3.4. Без въртеливо преместване	

На база на морфологичната таблица се съставят двете матрици – матрица на елементите M_{el} и матрица на връзките $M_{вр}$:

$$M_{el} = \begin{vmatrix} 1.1.1.1 & 1.1.2.1 & 1.2.1.1 & 1.2.2.1 & 1.2.3.1 & 1.3.1.1 & 1.3.2.1.1 & 1.3.2.2.1 & 1.3.2.3.1 & 1.3.3.1 & 1.3.4.1 & 1.3.5.1 & 1.4.1 \\ 1.1.1.2 & 1.1.2.2 & 1.2.1.2 & 1.2.2.2 & 1.2.3.2 & 1.3.1.2 & 1.3.2.1.2 & 1.3.2.2.2 & 1.3.2.3.2 & 1.3.3.2 & 1.3.4.2 & 1.3.5.2 & 1.4.2 \\ 1.1.1.3 & 1.1.2.3 & 1.2.1.3 & 1.2.2.3 & 1.2.3.3 & 0 & 0 & 1.3.2.2.3 & 1.3.2.3.3 & 0 & 0 & 0 & 1.4.3 \\ 1.1.1.4 & 1.1.2.4 & 1.2.1.4 & 1.2.2.4 & 1.2.3.4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1.1.1.5 & 1.1.2.5 & 1.2.1.5 & 1.2.2.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1.1.1.6 & 1.1.2.6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (1)$$

$$M_{вр} = \begin{vmatrix} 2.1.1. & 2.2.1.1 & 2.2.2.1.1 & 2.2.2.2.1 & 2.2.2.3.1 \\ 2.1.2. & 2.2.1.2 & 2.2.2.1.2 & 2.2.2.2.2 & 2.2.2.3.2 \\ 0 & 2.2.1.3 & 0 & 2.2.2.2.3 & 2.2.2.3.3 \\ 0 & 2.2.1.4 & 0 & 2.2.2.2.4 & 2.2.2.3.4 \end{vmatrix} \quad (2)$$

1.2. Функционални схеми

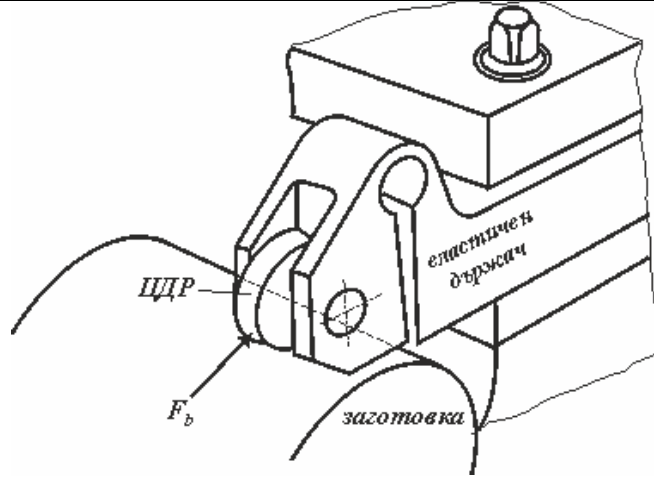
За синтез на функционална схема на устройство за ППД се използват матриците (1) и (2), като се комбинират по един елемент от всяка колона на двете матрици. Не всички възможни комбинации, както и тези, съдържащи „0“, съответстват на функционална схема на устройство за ППД. В таблица 2 са показани функционални схеми на съществуващи устройства за ППД в условията на контакт триене при търкаляне и съответстващите им комбинации според означенията в матриците M_{el} и $M_{вр}$.

Обща характеристика на устройства с поз. 1, 5, 10 и 11 (табл. 2) е наличието на повече от един деформиращ елемент в напречно сечение на обработваните външни цилиндрични повърхнини. Тяхно предимство е възможността за използването на по-голямо подава-

не при равни други условия. От друга страна, използването на повече деформиращи елементи не гарантира по-голяма стабилност на заготовката по време на съответния процес. За тази цел е необходимо деформиращите въздействия от отделните деформиращи елементи да образуват самоуравновесена система сили, респ. необходимо е подходящо разклоняване на силовия поток. Това обаче води до съставно тяло с по-сложна конструкция, каквито са например функционалните схеми с поз. 1 и 5.

В зависимост от елемента за задаване на деформиращото въздействие, устройствата за ППД могат да бъдат с твърдо действие (табл. 2, поз. 3, 6, 8, 9 и 10), с еластично действие (табл. 2, поз. 4 и 11), с вискозно действие (поз. 2, 5 и 7) и много рядко – с допълнително електромагнитно действие (табл. 2, поз. 9).

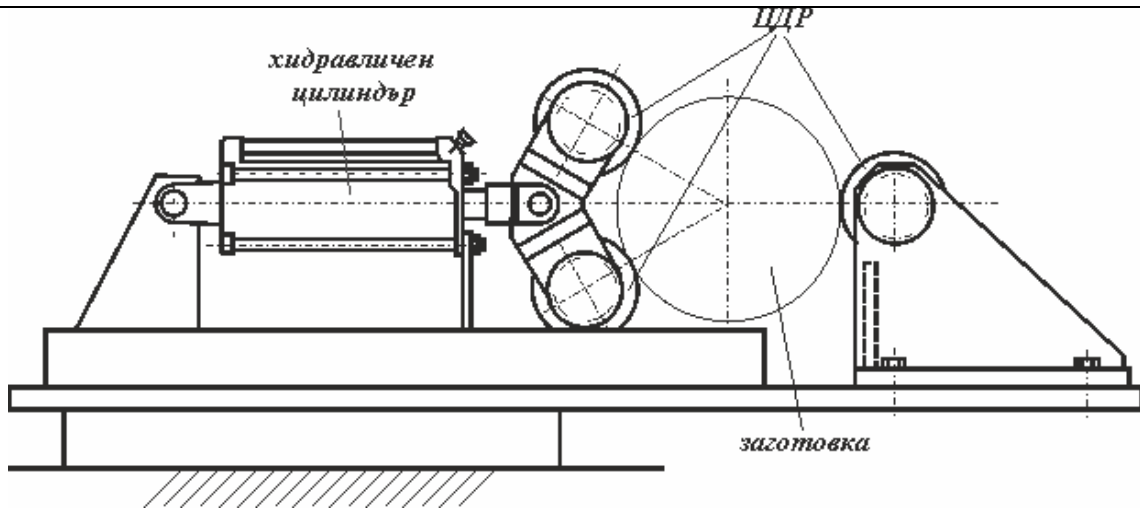
4



[1]

1.1.1.1	1.1.2.1	1.2.1.2	1.2.2.1	1.2.3.1	1.3.1.2	1.3.2.1.1	1.3.2.2.2	1.3.2.3.2	1.3.3.2	1.3.4.2	1.3.5.2	1.4.3
2.1.1	2.2.1.1	2.2.2.1.1	2.2.2.2.1	2.2.2.3.4	0	0	0	0	0	0	0	0

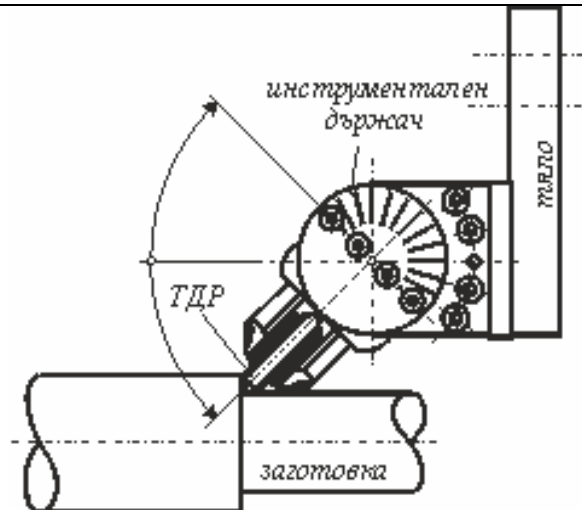
5



[1]

1.1.1.1	1.1.2.1	1.2.1.2	1.2.2.1	1.2.3.3	1.3.1.2	1.3.2.1.2	1.3.2.2.3	1.3.2.3.3	1.3.3.1	1.3.4.2	1.3.5.2	1.4.2
2.1.1	2.2.1.1	2.2.2.1.1	2.2.2.2.1	2.2.2.3.4	0	0	0	0	0	0	0	0

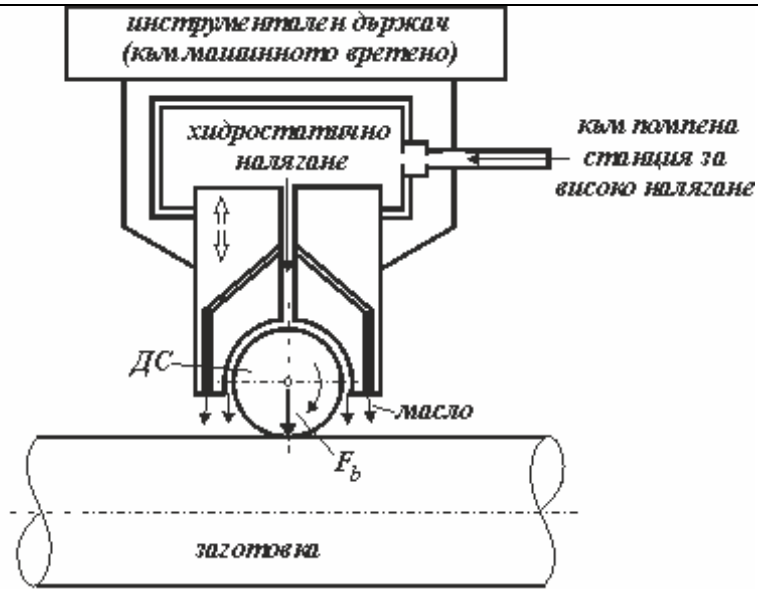
6



[6]

1.1.1.4	1.1.2.1	1.2.1.5	1.2.2.1	1.2.3.1	1.3.1.1	1.3.2.1.2	1.3.2.2.3	1.3.2.3.3	1.3.3.2	1.3.4.2	1.3.5.2	1.4.2
2.1.1	2.2.1.2	2.2.2.1.1	2.2.2.2.4	2.2.2.3.1	0	0	0	0	0	0	0	0

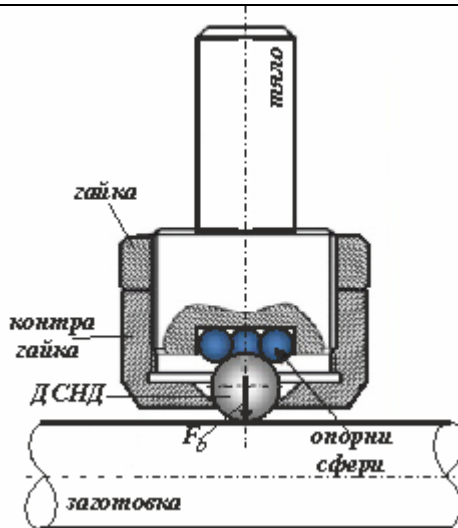
7



[2]

1.1.1.1	1.1.2.1	1.2.1.1	1.2.2.3	1.2.3.1	1.3.1.2	1.3.2.1.2	1.3.2.2.3	1.3.2.3.3	1.3.3.1	1.3.4.2	1.3.5.2	1.4.2
2.1.1	2.2.1.4	2.2.2.1.1	2.2.2.2.1	2.2.2.3.3	0	0	0	0	0	0	0	0

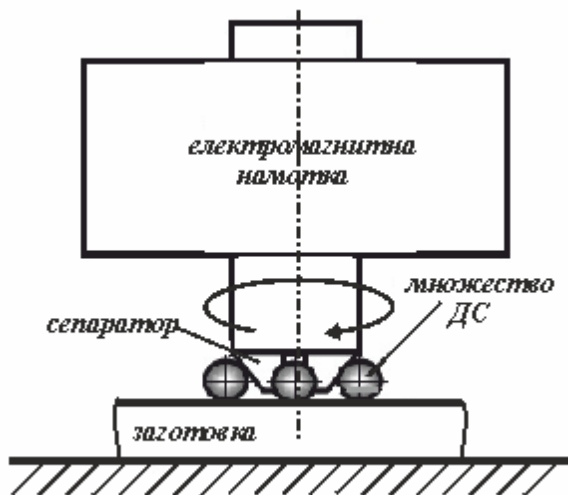
8



[7]

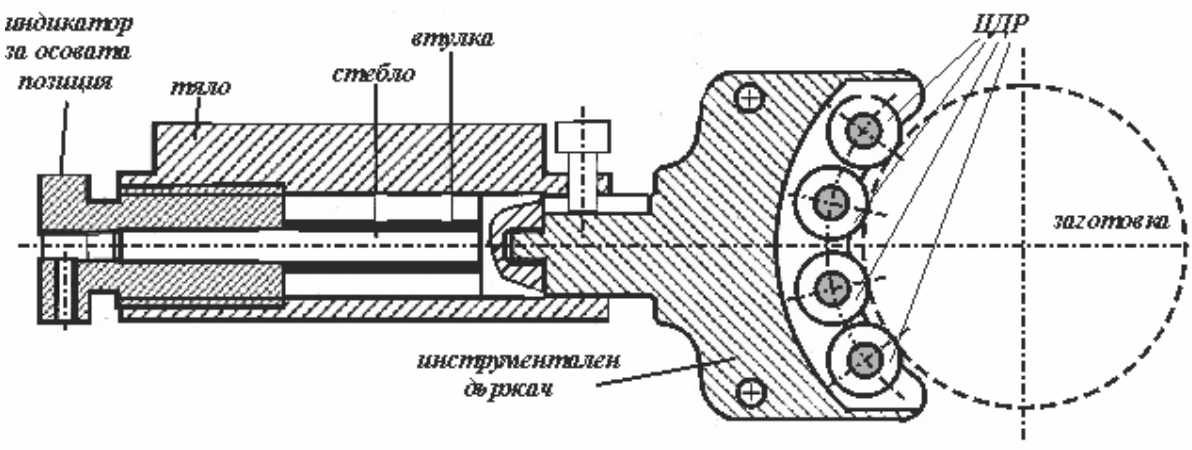
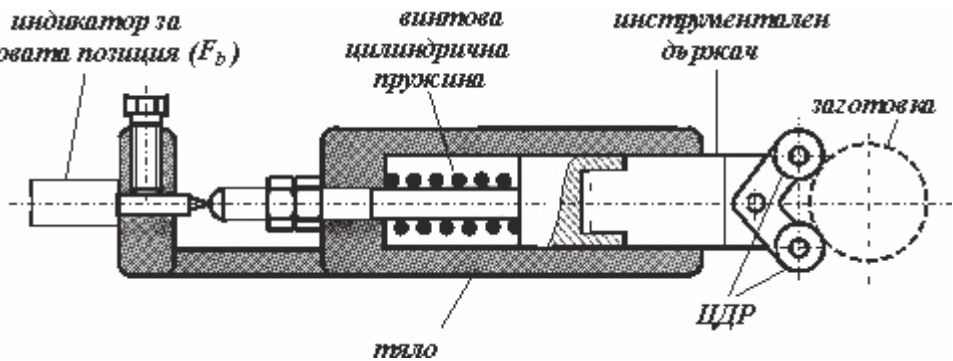
1.1.1.1	1.1.2.1	1.2.1.1	1.2.2.1	1.2.3.1	1.3.1.1	1.3.2.1.2	1.3.2.2.3	1.3.2.3.3	1.3.3.2	1.3.4.2	1.3.5.2	1.4.2
2.1.1	2.2.1.4	2.2.2.1.1	2.2.2.2.1	2.2.2.3.3	0	0	0	0	0	0	0	0

9



[8]

1.1.1.3	1.1.2.2	1.2.1.1	1.2.2.1	1.2.3.4	1.3.1.1	1.3.2.1.2	1.3.2.2.3	1.3.2.3.3	1.3.3.2	1.3.4.2	1.3.5.1	1.4.2
2.1.1	2.2.1.4	2.2.2.1.1	2.2.2.2.1	2.2.2.3.3	0	0	0	0	0	0	0	0

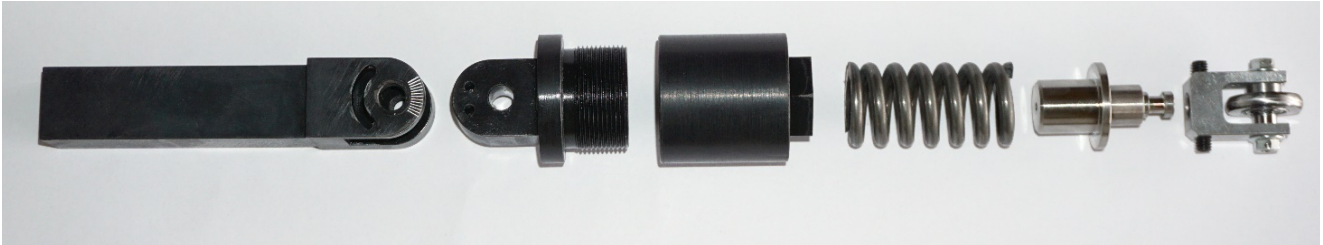
<p>10</p>	 <p>[9]</p> <table border="1" data-bbox="175 604 1468 683"> <tr> <td>1.1.1.1</td> <td>1.1.2.1</td> <td>1.2.1.2</td> <td>1.2.2.1</td> <td>1.2.3.4</td> <td>1.3.1.2</td> <td>1.3.2.1.2</td> <td>1.3.2.2.3</td> <td>1.3.2.3.3</td> <td>1.3.3.2</td> <td>1.3.4.2</td> <td>1.3.5.2</td> <td>1.4.2</td> </tr> <tr> <td>2.1.1</td> <td>2.2.1.1</td> <td>2.2.2.1.1</td> <td>2.2.2.2.1</td> <td>2.2.2.3.4</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </table>	1.1.1.1	1.1.2.1	1.2.1.2	1.2.2.1	1.2.3.4	1.3.1.2	1.3.2.1.2	1.3.2.2.3	1.3.2.3.3	1.3.3.2	1.3.4.2	1.3.5.2	1.4.2	2.1.1	2.2.1.1	2.2.2.1.1	2.2.2.2.1	2.2.2.3.4	0	0	0	0	0	0	0	0
1.1.1.1	1.1.2.1	1.2.1.2	1.2.2.1	1.2.3.4	1.3.1.2	1.3.2.1.2	1.3.2.2.3	1.3.2.3.3	1.3.3.2	1.3.4.2	1.3.5.2	1.4.2															
2.1.1	2.2.1.1	2.2.2.1.1	2.2.2.2.1	2.2.2.3.4	0	0	0	0	0	0	0	0															
<p>11</p>	 <p>[10]</p> <table border="1" data-bbox="175 1097 1468 1176"> <tr> <td>1.1.1.1</td> <td>1.1.2.1</td> <td>1.2.1.2</td> <td>1.2.2.1</td> <td>1.2.3.2</td> <td>1.3.1.2</td> <td>1.3.2.1.1</td> <td>1.3.2.2.1</td> <td>1.3.2.3.1</td> <td>1.3.3.2</td> <td>1.3.4.2</td> <td>1.3.5.2</td> <td>1.4.2</td> </tr> <tr> <td>2.1.1</td> <td>2.2.1.1</td> <td>2.2.2.1.1</td> <td>2.2.2.2.1</td> <td>2.2.2.3.4</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </table>	1.1.1.1	1.1.2.1	1.2.1.2	1.2.2.1	1.2.3.2	1.3.1.2	1.3.2.1.1	1.3.2.2.1	1.3.2.3.1	1.3.3.2	1.3.4.2	1.3.5.2	1.4.2	2.1.1	2.2.1.1	2.2.2.1.1	2.2.2.2.1	2.2.2.3.4	0	0	0	0	0	0	0	0
1.1.1.1	1.1.2.1	1.2.1.2	1.2.2.1	1.2.3.2	1.3.1.2	1.3.2.1.1	1.3.2.2.1	1.3.2.3.1	1.3.3.2	1.3.4.2	1.3.5.2	1.4.2															
2.1.1	2.2.1.1	2.2.2.1.1	2.2.2.2.1	2.2.2.3.4	0	0	0	0	0	0	0	0															

При устройствата за ППД с твърдо действие големината на деформиращата сила зависи от позиционирането на деформирания елемент по отношение на обработваната повърхнина. В условията на твърд контакт за осигуряване на хомогенна обработена повърхнина са необходими относително висока начална точност на размерите и формата и стабилно закрепване. Типичен пример на устройствата за ППД с вискозно действие са устройствата с ДС, подложени на хидростатично налягане (табл. 2, поз. 7), разработени от Escoroll [2]. Предимство е възможността за управляване на деформиращото въздействие посредством контрол на хидростатичното налягане. За реализация на този процес обаче е необходима скъпо-струваща преносима станция за високо налягане. Класически вариант на елемент за задаване на деформиращото въздействие с вискозно действие е използването на хидравлични цилиндри (табл. 2, поз. 2 и поз. 5). От гледна точка на просто и надеждно управляване на деформиращата сила F_b , относително най-функционални са устройствата с еластично действие, при които се използва винтова цилиндрична пружина, тъй като последната осигурява линеен закон на изменение на F_b . Друг вариант за осигуряване на еластично приложено деформиращо въздействие е използването на тяло с еластично деформируема част (табл. 2, поз. 4). В този случай е трудно да се осигури линейна зависимост между преместването на еластичната част и деформиращата сила.

Като цяло, съществуващите устройства за ППД дават възможност за подмяна на деформиращите елементи. По-големи функционални възможности имат устройствата, които дават възможност за настройване и регулиране на взаимното положение на деформиращите елементи по отношение на обработваната повърхнина. Устройството, показано на поз. 3 (табл. 2), е предназначено за ППД на цилиндрични отвори с възможност за регулиране на диаметъра на отвора в относително тесен диапазон. Това се постига посредством осово преместване на сепаратора по отношение на конусната част на опорния вал и фиксиране чрез аксиалния лагер и гайката. За улесняване изваждането на множеството деформиращи ролки от обработения отвор се използва винтова цилиндрична пружина, работеща на натиск. Предимство на устройството, показано на поз. 6 (табл. 2), е възможността да се използва за ППД с ТДР както на външни цилиндрични и челни повърхнини, така и на профилни ротационни повърхнини – например стъпала и канали със закръгления. Това се постига чрез предварително въртеливо преместване на инструменталния държач спрямо ос, перпендикулярна на равнината, определена от осите на заготовката и тялото на устройството. В резултат процесът се осъществява при пресичащи се оси на ТДР и заготовката. В случаите, когато е осигурена възможност за въртеливо преместване на инструменталния държач спрямо ос, лежаща в равнината, определена от осите на заготовката и тялото и перпендикулярна на оста на заготовката (елемент

2.2.2.3.2 от $M_{вр}$), процесът ППД се осъществява при кръстосани оси на деформиращият елемент и заготовката. Следствие от това контактното взаимодействие се характеризира едновременно с търкаляне и плъзгане, което е предпоставка за получаване на различни характеристики на СИ.

1.1.1.1	1.1.2.1	1.2.1.5	1.2.2.1	1.2.3.1	1.3.1.2	1.3.2.1.1	1.3.2.2.1	1.3.2.3.1	1.3.3.2	1.3.4.2	1.3.5.2	1.4.2	(3)
2.1.1	2.2.1.1	2.2.2.1.1	2.2.2.2.1	2.2.2.3.1	0	0	0	0	0	0	0	0	



Фиг. 1. Елементи на разработената конструкция на устройство за ППД с ТДР



Фиг. 2. Общ вид на разработената конструкция на устройство за ППД с ТДР



а



б

Фиг. 3. Комплект ТДР

На фиг. 1 са показани елементите на разработената конструкция, а на фиг. 2 – общият вид на сглобеното устройство.

Разработената конструкция осигурява следните основни предимства:

- Адаптирана е за приложение както върху универсални стругови машини, така и върху стругови обработващи центри;
- Осигурява алтернативна възможност за обработване чрез ППД на външни цилиндрични повърхнини

1.3. Конструкция на устройство за ППД с ТДР на външни ротационни повърхнини

На основа на проведения морфологичен анализ, е избрана следната функционална схема на устройство за провеждане на експерименталните изследвания:

и стъпални повърхнини в ротационни компоненти посредством завъртане на инструменталния държач около ос, перпендикулярна на равнината, определена от осите на заготовката и тялото;

- Посредством винтова цилиндрична пружина осигурява линеен закон на изменение на деформиращата сила в диапазона $F_b = 400 \div 1400 \text{ N}$;

- Позволява лесна подмяна на ТДР, респ. възможност да се управляват геометричните параметри на процеса.

Разработеното устройство е снабдено с комплект ТДР с различен радиус на закръгление на тороидалната работна повърхнина, съответно: $r = 2, 3, 4, 5, 6 \text{ mm}$ (фиг. 3а, б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основата на диференциално-морфологичния метод е проведен анализ на съществуващи конструкции устройства за ППД, използващи контакт триене при търкаляне. На тази основа е избрана функционална схема, в съответствие с която е изработено устройство, предназначено за експериментално изследване на процеса ППД с ТДР на външни цилиндрични повърхнини. Устройството е адаптирано за приложение върху универсални стругови машини и такива с ЦПУ и позволява лесно управление на геометричните и физични параметри на процеса.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сучков А. Г., Костадинов В. С., Кършаков М. К., Григоров В. И., Кънев И. Т. Довършващо обработване посредством Повърхностно пластично деформиране. Техника. София. 1984.
- [2] Ecoroll Catalogue "Tools & Solutions for Metal Surface Improvement". Ecoroll Corporation Tool Technology, USA (2006)
- [3] Mombeini D., Atrian A., Investigation of Deep Cold Rolling Effects on the Bending Fatigue of Brass C38500. Latin American Journal of Solids and Structures 15(4) (2018) e36.
- [4] Hemanth S., Harish A., Nithin Bharadwaj R., Abhishek B Bhat, Design of Roller Burnishing Tool and Its Effect on the Surface Integrity of Al 6061. Materials Today: Proceedings 5 (2018) 12848–12854.
- [5] Borkar A.P., Kamble P.S., Seemikeri C.Y., Surface Integrity Enhancement of Inconel 718 by using Roller Burnishing process. International Journal of Current Engineering and Technology 4 (4) (2014) 2595-2598.
- [6] Baubles surface technology – <http://baubles.com>
- [7] Amdouni Hatem, Bouzaïene Hassen, Montagne Alex, Nasri Mustapha, Iost Alain, Modeling and optimization of a ball-burnished aluminum alloy flat surface with a crossed strategy based on response surface methodology. Int J Adv Manuf Technol (2016) DOI 10.1007/s00170-016-8817-8.
- [8] Kodácsy J., Liska J., Kovács Z., Surface finishing by roller burnishing using apparatus of permanent magnet. Tehnički vjesnik 24, Suppl. 1(2017), 49-54 ISSN 1330-3651 (Print), ISSN 1848-6339 (Online) DOI: 10.17559/TV-20151021205349.
- [9] El-Axir M.H., El-Khabeery M.M., Influence of orthogonal burnishing parameters on surface characteristics for various materials. Journal of Materials Processing Technology 132 (2003) 82–89.
- [10] El-Axir M.H., An investigation in to roller burnishing. International Journal of Machine Tools & Manufacture 40 (2000) 1603–1617.