

Технологични възможности на повърхностното пластично деформиране (ППД) при довършваща обработка на отвори във водещи бронзови втулки

доц. д.т.н. инж. Д. С. Георгиев, Технически университет-Варна

Анотация: Разглеждат се предимствата на безстружкова довършваща обработка, изпълнена посредством ППД, при обработването на точни отвори в бронзови лагерни втулки. Експериментално са установени зависимости между режимните фактори при ППД обработката и параметрите на качеството на получаваната повърхност. Въз основа на сравнителен анализ на двата метода за довършваща обработка – двукратно разстъргване и ППД обработка посредством развалцоване са показани технологичните и експлоатационни предимства от приложението на ППД обработките при довършващо обработване на бронзови втулки.

Ключови думи: точност, грапавост, ППД обработване.

Експлоатационните характеристики на контактните повърхнини от различните типове съединения в машиностроенето са в пряка зависимост от параметрите на тяхното качество. Очевидно е, че при присъединяването на повърхнини с по-висока степен на точност (по-малки допускови полета), по-малка грапавост (или такава с по-добри по форма, височина и посока от гледна точка на трибологичния контакт грапавини) и по-добри физико-механични характеристики (по-висока твърдост, ситно зърнеста структура и натискови остатъчни напрежения в повърхностния слой) те следва да покажат по-добри параметри на контакт, по-висока износоустойчивост и експлоатационна надеждност. Това изискване е особено технологически необходимо, когато една от контактните повърхнини е изработена от цветен метал (бронз, месинг и т.н.). Има се предвид фактът, че посочените по-горе цветни метали или сплави осигуряват оптимален трибологичен контакт със стоманени (или чугунени) контратела, но класическите схеми за механична обработка, базирани на отнемане на стружка, не осигуряват достигане на ефективни стойности на параметрите на качеството им след механична обработка.

Обект на настоящото изследване са параметрите на качеството и свързаните с това особености на трибологичен контакт на бутален прът от стомана 40X2H2MA (БДС 9802-74) с диаметър Ф45h6, воден в бронзова втулка (CuSn7Zn4Pb6, БДС 10092-75) с диаметър Ф45H8, дължина 96 мм и дебелина на стената на втулката 5 мм. Контактната двойка вал – бронзова втулка е елемент от направляващите на избутващ механизъм, работещ в инсталация за производство на изкуствена азотна тор (гранулат) в условията на Химическия завод за азотни торове – гр. Девня. Относителното движение на вала спрямо втулката е линейно и възвратно постъпателно.

Необходимостта от експерименталната оптимизация на параметрите на качеството на контактната повърхнина на бронзовата втулка е продиктувана от честите аварии от задиране или недопустимо увеличаване на хлабината в плъзгащия лагер, водещи до престои за подмяна на износените втулки и загуби от прекъсване на работата на инсталацията.

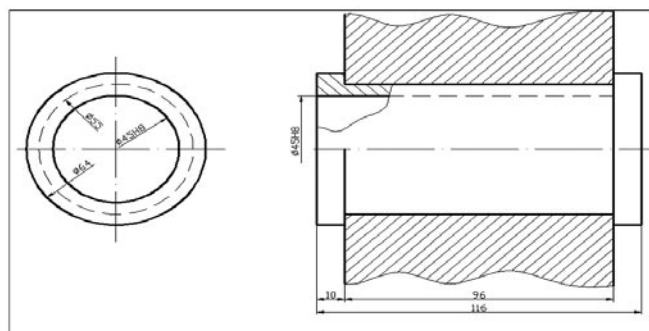
Цел на настоящата работа е изследване на възможността за подобрене на параметрите на качеството на вътрешната (контактната) повърхност на водещата бронзова втулка при изпълнение на нейната довършваща обработка посредством ППД. В настоящото изследване заменяме окончателната обработка на отвора на втулката Ф 45H8, изпълнявана до този момент посредством двукратно разстъргване, с двукратно обработване посредством ППД (изпълнявано на един двоен ход, без регулиране на стегнатостта) с използването на развалцоващ сепараторен многоролков инструмент, наличен в катедра „ТМММ” на ТУ – Варна. Изборът и пресмятането на конструкцията на инструмента и неговото изработване не са обект на настоящото изследване, но са правени с оглед на оптималната му работа [1,2,3,6,8].

Бронзовата втулка влиза в изпълнението на довършващата обработка при двата сравнителни експеримента със следните изходни данни:

- изработваме две серии от по 20 втулки (фиг.1.), като съответно подготвяме посредством чистово разстъргване вътрешната повърхнина на втулките и за двете сравнявани схеми на довършваща обработка;
- грапавостта на повърхнините е $Ra = 0,63 \mu\text{m}$;
- повърхностната твърдост – $HV02 = 140$;
- прибавката за окончателната обработка е $0,8 \text{ mm}$. преди двукратното разстъргване, и $0,14 \text{ mm}$. преди ППД [1,2,3,6,8]. Чистовото разстъргване, предшестващо обработката на повърхнината, подлежаща на довършващо обработване по двете сравнявани схеми и за двете серии от по 20 втулки се прави на една установка, за да осигурим еднаквост на разпределенията на размерите и на отклоненията от правилната геометрична форма (овалност и конусност) за всички обработени повърхнини.

Анализът на схемата за довършващо обработване на отвор, базиращо се на ППД, реализирано с многоорлов сепараторен инструмент показва, че върху параметрите на качеството на обработваната повърхнина най-силно влияят три режимни фактора – $i, \mu\text{m}$. – стегнатостта на контакта между диаметъра на инструмента и обработвания отвор;

$f, \text{mm/ob}$. – относителната подавателна скорост на преминаване на инструмента през сечението на втулката в осова посока и скоростта на пластична деформация, представена посредством големината на оборотите с които се въртят един спрямо друг инструмента и обработваната втулка – $n, \text{ob/min}$) [1,2,3,6,8].



Фиг.1 Работна скица на бронзова втулка- водач, подлежаща на механична обработка посредством ППД.

Експерименталните изследвания изпълняваме в два етапа:

Първият етап представлява еднофакторна оптимизация по схемата на Гаус-Зайдел с трикратно повторение на всяка експериментална точка [5,7,9]. Обект на изследване са параметрите на качеството на отвора на бронзовата втулка: – грапавостта, измерена посредством височинния критерий $Ra, \mu\text{m}$ (БДС [ISO] 4287/17, ISO 4288) и повърхностната твърдост $HV02$. Последователно изменяме стегнатостта при ППД – $i, \mu\text{m}$., която е равна на разликата между настроенния размер на развалцования инструмент и диаметъра на обработвания отвор. По данни от аналогично проведени експерименти [1,2,3,6,8] стегнатостта променяме от $150 \mu\text{m}$. до $900 \mu\text{m}$. с интервал на вариране от $150 \mu\text{m}$. Еднофакторният експеримент провеждаме при постоянна големина на подаването равна на $0,75 \text{ mm/ob}$. Обороти на втулката са равни на 300 ob/min .

По аналогична схема се променя и подаването на инструмента спрямо обработваната втулка. То се изменя в граници от $0,2$ до $1,0 \text{ mm/ob}$. с интервал от $0,2 \text{ mm/ob}$. При провеждането на този втори от схемата на Гаус-Зайдел еднофакторен експеримент, стегнатостта ще приеме постоянна стойност, равна на локалния екстремум, получен за стегнатостта от първия експеримент, като оборотите на втулката остават непроменени и постоянни и равни също на 300 ob/min .

В специализираната литература се твърди, че скоростта на деформация при ППД незначително влияе върху изменението на параметрите на качество на обработваната повърхност. Твърденията се отнасят по скоро до ППД на черни метали [1,2,3,6,8]. Предвид недостатъчната информация за механизма на ППД при обработка на цветни метали, в настоящата схема на експериментално изследване включваме и този режимен фактор. Изменяме оборотите на въртене (скоростта на относително движение на инструмента спрямо обработваемата повърхност на втулката) от 150 до 900 ob/min . Съгласно схемата на Гаус-Зайдел, постоянните стойности на стегнатостта и подаването ще бъдат на тези стойности на тези режимни фактори, при които параметрите на качеството получават локални екстремуми [5,7,9].

Експерименталното изследване провеждаме на универсален струг CU – 502, като обработваемата втулка закрепваме в патронника, а деформиращия инструмент – на задното седло. При тази схема на обработка

стабилността на технологичната система се запазва постоянна по време на обработката и във всичките й сечения.

Измерванията на грапавостта и повърхностната твърдост са извършени с помощта на профилометър-профилографа „Калибр 205” и уред за измерване на твърдост „ZWICK 3202” по стандартни методики – БДС [ISO] 4287/17, ISO 4288, БДС 5066-81 и БДС 13104-82.

Неравномерността на интервалите на изменение на подаването на инструмента и оборотите на въртене на заготовката (скоростта на деформация) предвид особеностите на подреждането им в металорежещите машини (по степенен ред) се апроксимират до равномерни интервали с цел подходящото им представяне в Excell-ски файл и параметризиране на експерименталната зависимост.

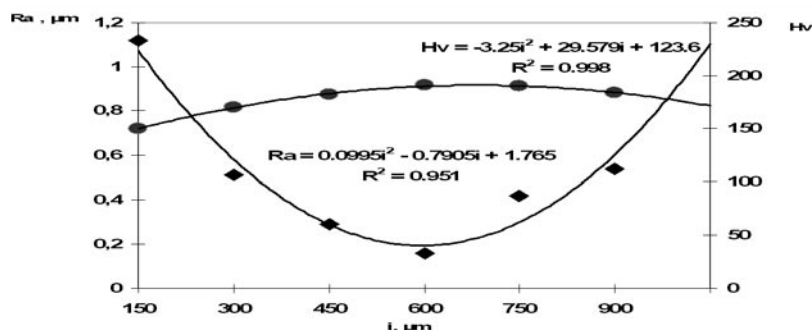
Анализът на получените експериментални резултати показва следното:

1. Зависимост $R_a, H_v02 = f(i)$. (табл.1 и фиг.2).

Увеличаването на стегнатостта i до $600 \mu\text{m}$., пропорционално намалява R_a от $1,12$ до $0,16 \mu\text{m}$., като същевременно увеличава твърдостта H_v02 от 150 до 191 единици. Следващото повишение на i до $900 \mu\text{m}$., увеличава R_a до $0,54 \mu\text{m}$., и намалява H_v02 до 184 единици. Това се обяснява с увеличението на контактното налягане между инструмента и обработваната повърхност, което до $i = 600 \mu\text{m}$., увеличава степента на смачкване на грапавините, а над тази стойност пренаклепва обработваемата повърхност, което влошава нейната грапавост и повърхностна твърдост.

Таблица 1. Изменение на грапавостта- R_a и повърхностната твърдост H_v02 при увеличаване на стегнатостта при ППД

$i, \mu\text{m}$	150	300	450	600	750	900
R_a, mm	1,12	0,51	0,29	0,16	0,42	0,54
H_v	150	170	182	191	190	184



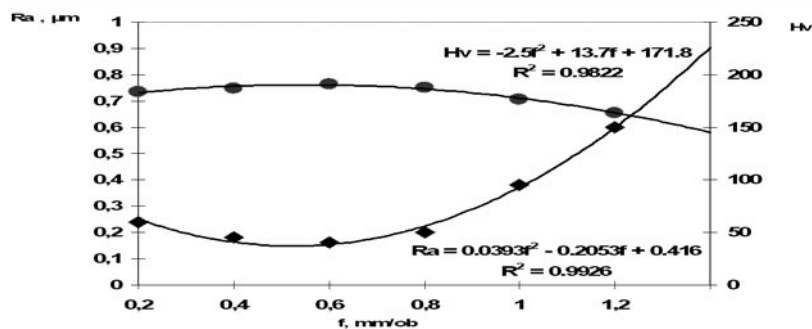
Фиг.2 Изменение на грапавостта- R_a и повърхностната твърдост H_v02 при увеличаване на стегнатостта при ППД

2. Зависимост $R_a, H_v02 = f(f)$. (табл.2 и фиг.3).

Увеличението на f променя кратността на деформационно въздействие върху обработваната повърхност. Очевидно това се свързва с моментите при които наклепа преминава в пренаклеп, което обяснява развитието на зависимостите показани на фиг.3. Вижда се, че и двете зависимости получават оптимум при $f = 0,6 \text{ mm/ob}$.

Таблица 2 Изменение на грапавостта- R_a и повърхностната твърдост H_v02 при увеличаване на скоростта на подаването на деформиращия инструмент при ППД

$f, \text{mm/ob}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
R_a, mm	0,24	0,18	0,16	0,2	0,38	0,6
H_v	184	187	191	188	177	164

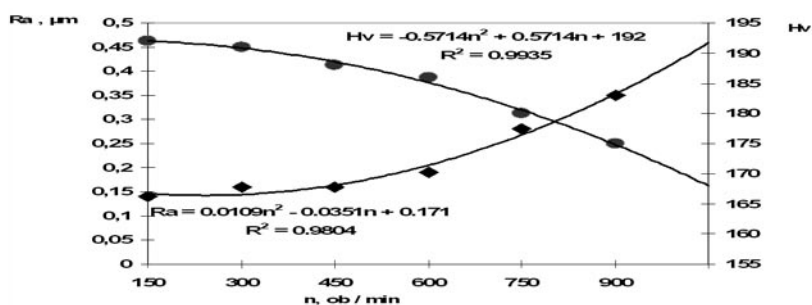


Фиг.3 Изменение на грапавостта-Ra и повърхностната твърдост Hv02 при увеличаване на скоростта на подаването на деформиращия инструмент при ППД

С увеличаване на скоростта на преместване на деформиращия елемент (оборотите на развалцовачия инструмент) степента на деформация на повърхностния слой намалява, което води до влошаване на развитието на зависимостите $Ra, Hv02 = f(n)$.

Таблица 3 Изменение на грапавостта-Ra и повърхностната твърдост Hv02 при увеличаване на оборотите на деформиращия инструмент при ППД

n, ob/min	150	300	450	600	750	900
Ra,mm	0,14	0,16	0,16	0,19	0,28	0,35
Hv	192	191	188	186	180	175



Фиг.4 Изменение на грапавостта-Ra и повърхностната твърдост Hv02 при увеличаване на оборотите на деформиращия инструмент при ППД

Обобщавайки резултатите от първата серия експерименти твърдим, че оптималните параметри на обработваната посредством ППД повърхност се получават при следните стойности на режимните фактори: стегнатост $i = 600 \mu m$., подаване $f = 0,6 mm/ob$. и обороти на детайла (инструмента) $n = 150 ob/min$. При тези режимни фактори получаваме грапавост с $Ra = 0,14 \mu m$., и твърдост на обработената повърхност $Hv02 = 192$ единици.

За сравнение, повърхността получена при обработването посредством двукратно разтъргване има същата грапавост – $Ra = 0,14 \mu m$., но нейната твърдост не се променя след тази обработка, като запазва стойността си от 140 единици.

Вторият етап съдържа сравнителни изследвания на точностните характеристики на обработените по двата метода за довършваща обработка повърхнини на втулката. Статистически обработваме резултатите от измерванията на серия от 20 втулки, обработени посредством установените оптимални режими за довършваща механична обработка посредством ППД като точностните разпределения на получения номинален размер сравняваме с аналогично подбраните 20 втулки, обработени посредством двукратно разтъргване.

Измерват се номиналните размери на втулките, като се пресмятат статистическите оценки на разпределенията на плътността на вероятностите по нормалния закон на разпределение на номиналните размери (фиг. 5.), както и съответните разпределения на отклоненията от правилната геометрична форма на обработените по двата сравняеми метода повърхнини – овалността (фиг. 6.) и конусността (фиг. 7.). Пресметнатите числените стойности на характеристиките на разпределенията и техните доверителни граници са направени при ниво на значимост 0,05. Проверени са хипотезите за вида на закона на разпределение – нормален за диаметри-

те на отворите и закона за абсолютната: стойност на разликите за грешките на формата [4,5,7,9].

Получените от обработката на емпиричните данни аналитични разпределения по нормалния закон – за диаметрите на отворите и закона за абсолютната: стойност на разликите за грешките на формата им са показани на фигури 5, 6 и 7 [4,5,7,9]. Сравнителният анализ на тези разпределения при сравняването на параметрите на чистото райберование и дорноването показват, че и двете полета на разсейване са по-малки от толеранса. При това обработката посредством ППД разсейва размерите на отвора в поле с размер 35,72 μm ., докато това при двукратното разстъргване то е 39,06 μm .

Сравнението на стойностите на отклоненията от правилната геометрична форма показва, че обработката посредством ППД намалява математическото очакване на стойностите на овалността и конусността около 3 пъти спрямо отворите, обработени посредством при двукратно разстъргване (10,74 μm . към 3,34 μm . за овалността и 14,92 μm . към 4,95 μm . за конусността).

Приблизително в същия порядък намаляват и полетата на разсейване на тези отклонения от правилната геометрична форма.

Това осигурява по-добри точностни параметри на сглобката с движение на буталния прът към бронзовата втулка и от там оптимизира трибологичния контакт, повишавайки значително експлоатационната надеждност на съединението.

Обобщавайки получените резултати можем да направим следните изводи:

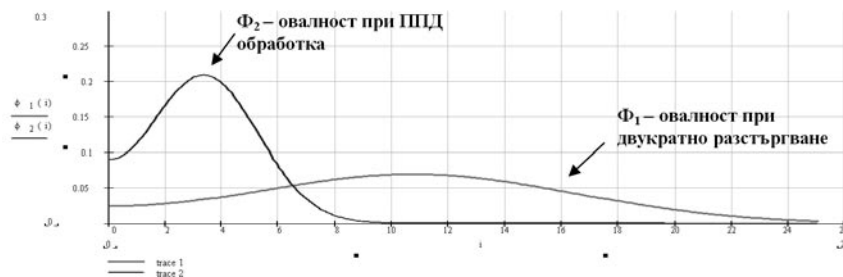
1. Замянето на двукратното разстъргване с ППД обработка значително подобрява параметрите на качеството на обработената повърхност.

1.1. Твърдостта на обработената повърхност се увеличава от 140 на 192.

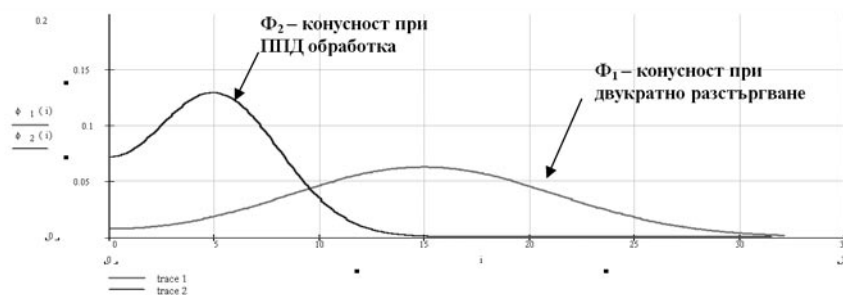
Горесцитираните фигури се строят по данните, систематизирани в таблица 4.



Фиг. 5. Разпределение на плътността на вероятностите по нормалния закон на размерите на отвора на втулката, обработен посредством: Y_1 – двукратно разстъргване, Y_2 – ППД обработка.



Фиг. 6. Разпределение на плътността на вероятностите по закона за абсолютната стойност на разликите за овалността на размерите на отвора на втулката, обработен посредством: Φ_1 – двукратно разстъргване, Φ_2 – ППД обработка.



Фиг. 7. Разпределение на плътността на вероятностите по закона за абсолютната стойност на разликите за конусността на размерите на отвора на втулката, обработен посредством: Φ_1 – двукратно разстъргване, Φ_2 – ППД обработка.

Таблица 4. Статистически обработени резултати от разпределенията на размерите на бронзовата втулка, обработена по двете технологии и нейните отклонения от правилната геометрична форма – овалност и конусност.

Вид на обработката	Номинален размер, гранични отклонения, толеранс. допуск	\bar{X} Матем. очакв. mm.	σ средно квадр. откл. μm .	Поле на разсейване μm .	Овалн., Математ. очакв. μm .	Сов. средно квадр. откл. ов. μm .	Поле на разсейване, овалн. μm .	Конус., Математ. очакв. μm .	Средно квадр. откл. кон. μm .	Поле на разсейване, конус μm .
Двукратно разстъргване	ϕ 45,000 mm. ES=+39 μm . EI=0 μm . T=39 μm .	45,22	6,41	39,06	10,74	5,76	25,58	14,92	6,32	32,03
ППД посредством развалцоване	ϕ 45,000 mm. ES=+39 μm . EI=0 μm . T=39 μm .	45,19	5,12	35,72	3,34	1,91	9,37	4,95	3,1	14,85

1.2. Грапавостта, получена в резултат и от двете сравнявани обработки е приблизително еднаква 0,14 μm ., но формата на грапавините при ППД обработката гарантира по-добър трибологичен контакт [1,2,3,6,8].

1.3. Изпълняването на ППД обработката показва трикратно по-добри характеристики на отклоненията от правилната геометрична форма (грешки във формата), което заедно с по-малкото допусково поле на получавания размер осигурява по-добри точностни характеристики на сглобката между вала и бронзовата втулка.

2. Обобщавайки изводи от 1.1. до 1.3. можем да направим заключението, че ППД обработката предлага по-добри параметри на качеството на контактната повърхност на бронзовата втулка, което гарантира и по-добри експлоатационни, а и от там по-добри икономически характеристики на съединението.

3. Получените изводи и обобщения, както и доказаното подобряване на параметрите на качеството на обработените посредством ППД повърхнини на бронзови лагерни втулки, са основание за препоръчителното използване на тази обработка при тяхното окончателно обработване.

Използвана литература:

- Przybylski W. Technologia obróbki nagniataniem. Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1987.
- Витлиев, Вл. Довършващо обработване чрез ротационно деформиране. «Техника» София, 1971.
- Витлиев Вл., Теория и проектиране на инструменти за обработване чрез повърхностно ротационно обработване; дисерт. за придобиване на науч. ст. д-р на техн. науки. Русе 1987.
Дунин-Барковский Игор В.; Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения., Учебник для студ-тов машиностр. спец. ; 2-е перераб. и доп. издание; М. «Машиностроение» 1975., 352 стр.
Даскалов В.Б.; Проектиране и контрол на технологическите процеси; «Техника» София, 1994; 440 стр.
- Каледин Б.А., Чепя П.А. Повышение долговечности деталей поверхностным деформированием. Минск, 1974.
Колкер Я.Д.; Математический анализ точности механической обработки деталей; «Техника» Киев 1976.; 200 стр.
- Одинцов, Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием; Справочник, Москва, «Машиностроение» 1987. 328 стр.
Солонин И.С.; Математическая статистика в технологии машиностроения; М. «Машиностроение» 1972. 215 стр.