



## EFFECT OF DIAMOND BURNISHING PROCESS ON THE TREATED SURFACE TOPOGRAPHY OF SPECIMENS MADE OF CuAl8Fe3 ALUMINIUM BRONZE

Angel Anchev\*

Technical University of Gabrovo, 5300 Gabrovo, Bulgaria

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 26 May 2021

Accepted 15 June 2021

#### Keywords:

CuAl8Fe3 bronze, surface topography, diamond burnishing, surface integrity

### ABSTRACT

*CuAl8Fe3 aluminum bronze possesses good strength, wear resistance and corrosion resistance, including in salt water. The presence of iron leads to grain refinement, which gives extra strength to this alloy. Thus, this bronze is the preferred construction material for various applications, including marine. As this bronze is not subjected to heat treatment due to the lower aluminum content, surface integrity (SI) is improved by cold work. The article deals with diamond burnishing (DB) of CuAl8Fe3 bronze. The object of study is the surface topography (ST). Usually not all ST parameters are used in practice. The parameter  $R_a$  is one of the most used in the production process and in the process of quality control due to its easy measurement. However, this parameter is not sufficient to describe the features of the surface texture, on which the performance properties of the respective component largely depend. The article examines the effect of DB on eight ST parameters - six height and two shape parameters. Based on the obtained results, the behavior of the respective component is predicted from the point of view of wear resistance.*

© 2021 Journal of the Technical University of Gabrovo. All rights reserved.

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Алуминиевият бронз CuAl8Fe3 се характеризира с добра якост, износостойчивост и корозионна устойчивост, включително във водна среда. Наличието на желязо води до издребняване на зърната, което придава допълнителна якост на тези сплави. Поради това, тези бронзи са предпочитани конструкционни материали за различни приложения, включително и морски. За алуминиевите бронзи е известно, че не се подлагат на термична обработка, ако съдържанието на алуминий е под 8.5%. Но за сметка на това могат да се обработват чрез пластично деформиране на студено. Следователно, подобряването на surface integrity (SI), т.е. съвкупността от свойства на повърхностния слой, на алуминиевия бронз CuAl8Fe3 може да се постигне чрез повърхностно пластично деформиране (ППД) [1]. Резултатът от ППД се изразява в повишена повърхностна микротвърдост, въведени остатъчни напрежения на натиск и издребнена микроструктура на повърхностния и подповърхностните слоеве. Ефективен и същевременно икономичен метод за ППД е диамантно заглаждане (ДЗ) [1]. Кинематиката на метода е аналогична на тази при струговане и при разстъргване, но вместо режещ клин на съответния инструмент се използва деформиращ елемент, направен от естествен или изкуствен диамант. Най-често се използва поликристален диамантен деформиращ елемент. Последният може да бъде със сферичен край или да има цилиндрична форма. Подробно ревю на изследванията върху процеса ДЗ е

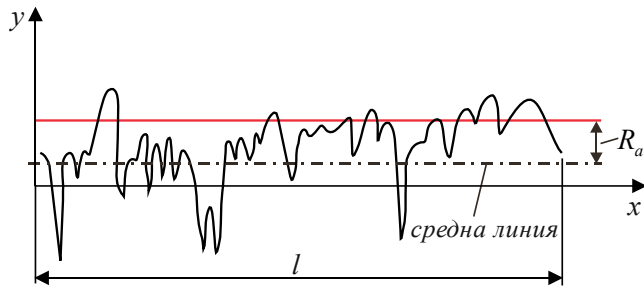
направено в [2]. Установено е, само 35% от изследванията са посветени на цветни метали и сплави. В преобладаващата част от тях обект на изследване е ефектът от ДЗ върху алуминиеви сплави [3-14] и композити [15-17], чиято матрица е алуминиев прах. Ефектът от ДЗ върху титан [18], магнезий [19-20] сплави на никелова основа [21] са изследвани значително по-малко. Приложението на ДЗ върху медни сплави е твърде ограничено – месинг H62 [4-5], мед (OFC) [22]. Ефектът от ДЗ върху SI на алуминиев бронз CuAl8Fe3 подробно е изследван в [1]. Но от геометричните параметри на SI информация е дадена [1] само за средно-аритметичното отклонение на профила от средната линия в обсега на измерената дължина (фиг. 1):

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y(x_i)|, \mu m.$$

Параметърът  $R_a$  е един от най-използваните в производствения процес и в процеса на контрола на качеството поради лесното му измерване. Този параметър обаче, не е достатъчен за описание на особеностите на повърхностната текстура (ПТ), т.е. композицията от определени отклонения, които са типични за реалната повърхнина [22]. ПТ е един от елементите на SI и е в пряка корелация с експлоатационното поведение на съответния компонент. Както е добре известно [23], параметрите, характеризиращи ПТ, са 2D и 3D. Различните групи параметри (височинни, на формата, хибридни, площи и обеми, пространствени, функцио-

\* Corresponding author. E-mail: anchev@mail.bg

нални и др. [24]), както 2D, така и 3D, в различна степен въздействат върху експлоатационното поведение на съответния елемент. Например, в допълнение към височинните параметри, параметрите на формата, съответно skewness (изкривяване)  $S_{sk}$  ( $R_{sk}$ ) и kurtosis (куртоза)  $S_{ku}$  ( $R_{ku}$ ), имат силно влияние върху контактната коравина на контактуващи двойки, уморното поведение, корозия вследствие на умора, триене, износване, мазане и механично запечатване [25]. Установено е, че параметрите на формата  $S_{sk}$  ( $R_{sk}$ ) и  $S_{ku}$  ( $R_{ku}$ ) [26-28] значително влияят на износването на контактуващи повърхнини.



Фиг. 1. Схема, илюстрираща дефинирането на параметъра  $R_a$

Много проблеми, свързани с дефиниране на 2D параметрите са избегнати, когато се дефинират 3D параметри [23]. Корзински [24] отбелязва, че за надеждно и прецизно описание на резултатите от ППД, трябва всички видове параметри на ПТ да се измерват едновременно. Zhang and Pei [25] дават информация за влияние на параметрите на ПТ върху експлоатационното поведение (табл. 1).

За изследвания алуминиев бронз CuAl8Fe3 износостойчивостта е основно изискване, а от табл. 1 се вижда, че изкривяването и куртозата (заедно с височинните параметри) влияят най-силно върху износостойчивостта. В [26] е установено, че когато изкривяването е отрицателно число с голяма абсолютна стойност, а куртозата е голямо положително число,

износостойчивостта е най-голяма. Основна цел на настоящото изследване е установяване на ефекта от ДЗ върху две от групите 3D параметри на ПТ – височинни и на формата.

**2. ЕКСПЕРИМЕНТ**

Химичният състав (в %) на изследвания бронз CuAl8Fe3 е показан в табл. 2. Основните механични характеристики на материала в състояние на доставка са получени чрез тест на чист опън както следва: модул на Young  $E = 0.56 \times 10^5 \text{ MPa}$ , граница на провлачване  $R_{0.2} = 219 \text{ MPa}$ , якост на опън  $R_m = 542 \text{ MPa}$ , удължение  $A_5 = 27.8\%$ .

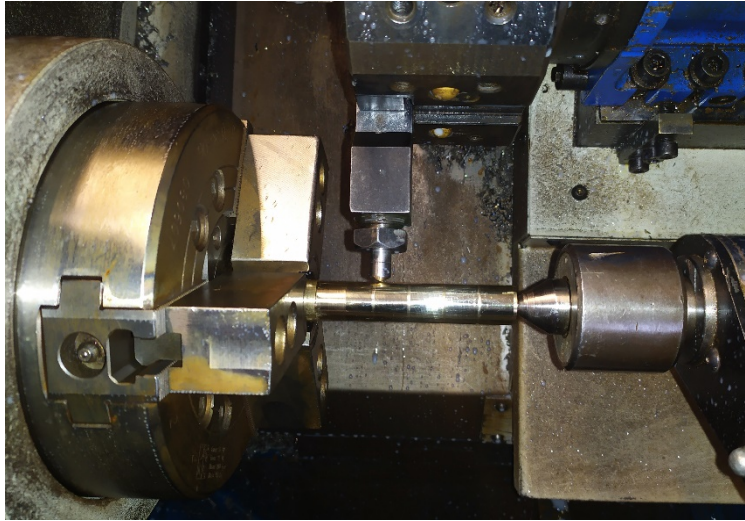
В настоящото изследване височинните параметри и тези на формата (описани в ASME B46.1-2009 [26]) на ПТ на образци, обработени чрез ДЗ, са измерени чрез Zeta-20 3D оптичен профиломерът се цел да се предскаже и обясни експлоатационното поведение на тези образци от гледна точка на износостойчивост. Измерванията са проведени върху три образца, всеки с диаметър от 20mm и дължина от 30mm, обработени както следва: 1) образец 1 (S1) – чрез фино струговане; 2) образец 2 (S2) – чрез ДЗ с един преход и основни параметри, съответно радиус на диаманта  $r = 4 \text{ mm}$ , сила на притискане  $F_b = 345 \text{ N}$ , подаване  $f = 0.07 \text{ mm/rev}$ , скорост на плъзгане  $v = 80 \text{ m/min}$ ; 3) образец 3 (S3) – чрез ДЗ със същите параметри, но с шест прехода при еднопосочна работна схема. По три измервания са направени за всеки образец, използвайки две увеличения -  $\times 20$  и  $\times 50$ , съответно върху площи  $476 \mu\text{m} \times 357 \mu\text{m}$  и  $186 \mu\text{m} \times 141 \mu\text{m}$ . За всяко измерване броят на стъпките е 200. Обработването на образците е извършено върху струг с ЦПУ T200 (фиг. 2). За ДЗ е използвано устройство с еластично закрепване. Използвана е смазочно-охлаждаща течност Носcut 795-Н, както при струговане, така и за ДЗ.

Таблица 1 Влияние на геометричните параметри върху функционалните свойства на повърхнините

Функционални свойства	$R_a, R_q$	$R_p, R_{pm}$	$R_t, R_z$	$R_{sk}$	$R_{ku}$	$R_{sm}$	$R_{DelA}$	$W_a$
Коравина при контакт	□		□□	□	□	□□	□	□
Якост на умора	□	□	□□		□		□□	
Кондуктивна топлопроводимост	□	□□				□□	□	□
Електропроводимост	□					□	□	□
Триене и износване	□		□□	□□	□□	□	□□	□
Мазане	□	□	□□	□□	□		□	□□
Механично уплътняване	□		□□	□□			□□	□□
Корозия при умора	□	□		□		□	□	
Осигуряване на допуските при сглобяване	□		□□				□	□□
Рефлексивност			□□				□□	

Таблица 2 Химичен състав на бронз CuAl8Fe3 %

Cu	Al	Fe	Mn	Sn	Ni	Pb	Si	P	S	Co	Zn
87.70	8.22	3.47	0.24	0.01	0.28	0.02	0.029	0.001	0.005	0.012	0.01



Фиг. 2. Реализиране на процеса ДЗ върху струг с ЦПУ

### 3. РЕЗУЛТАТИ И КОМЕНТАРИ

Резултатите от изследването са показани в таблица 3. Параметрите  $S_a$  – средно аритметично отклонение и  $S_q$  – средно квадратично отклонение осигуряват обща представа за качествата на изследваната повърхност. Очевидно процесът ДЗ (образци S2 и S3) осигурява няколко пъти по-малко стойности на тези параметри в сравнение с процеса струговане. Очаквано те приемат минимални стойности при образец S3 подложен на ДЗ с шест прехода и еднопосочна работна схема. Тази тенденция се наблюдава за всички параметри оценяващи повърхностната грапавост.

Интерес представлява оценката на параметрите на повърхностната топография в аспект на уморно и трибологично поведение на изследваната сплав. Параметърът за оценка на пълната височина -  $S_t$  и височина на грапавините по десет точки -  $S_z$  са значително по-чувствителни при локални отклонения в изследваната повърхнина в сравнение с  $S_a$  и  $S_q$ . Следователно те са по-важни за оценка на якостта на умора [28]. Тези параметри биха могли да се използват за оценка на якостта на умора в малоцикловата област, при която полезния ефект на остатъчните натискови напрежения се редуцира в голяма степен, поради бързата им релаксация. Това дава основание да се счита, че образци обработени посредством ДЗ ще притежават повишена якост на умора.

Въпреки че повърхностите, третирани по различен начин, се характеризират с едни и същи стойности на параметрите на височината  $S_a$  и  $S_z$ , характеристиките на тяхната форма са значително различни. От тази гледна точка решаващата роля на параметрите на изкривяването  $S_{sk}$  и куртозата  $S_{ku}$  в аспект на трибологичното поведение е доказана експериментално в някои изследвания.

В случай на процес реализиращ контакт триене при плъзгане и относително малка средна стойност на  $S_a$  при полирани повърхности, триенето е най-малко, когато изкривяването  $S_{sk}$  е отрицателно с максимална абсолютна стойност, а куртозата  $S_{ku}$  е максимална по стойност. Отрицателна стойност на  $S_{sk}$  се притежава от повърхност с дълбоки падини и без изразени височини, а стойности над 3 описват област от повърхността с

наличието на високи върхове и дълбоки падини. В настоящото изследване получените стойности на параметъра  $S_{sk}$  корелират с повърхност при която преобладават дълбоките падини и липсват ясно изразени височини. Параметъра  $S_{ku}$  има стойности над 3, който отговаря на повърхност с изразени височини и падини. Така измерената комбинация от параметрите на формата осигурява повърхност с формата на плато набраздено с дълбоки падини, осигуряващи резервоари за смазочна течност, водещи до минимизиране на триенето и подобряване на условията за смазване. За образец S2, подложен на ДЗ с един преход, параметъра  $S_{sk}$ , приема предимно отрицателни стойности. Образец S3, шесткратно обработен посредством ДЗ, всички измерени стойности на  $S_{sk}$  са отрицателни. В същото време всички измерени стойности на куртозата за образци S2 и S3 са по-големи от 3. От тази гледна точка, може да се предположи, че образец S2 ще притежава по висока износоустойчивост в сравнение с образец S1, а образец S3 ще има най-голяма износоустойчивост в условията на гранично триене.

### 4. ИЗВОД

Експерименталния тест за определяне на параметрите на ПТ на образци от алуминиев бронз  $CuAl8Fe3$  обработени посредством ДЗ е извършен с параметри на процеса получени от оптимизационна задача целяща едновременно минимална стойност на получаваната грапавост и максимална стойност на повърхностната микротвърдост. Получени са минимални стойности на параметрите на повърхностната топография средно аритметично отклонение  $S_a$  и средно-геометрично отклонение  $S_q$  за образец обработен с шест прехода и еднопосочна схема. Измерените стойности на параметрите изкривяване  $S_{sk}$  и куртоза  $S_{ku}$ , доказват повишената износоустойчивост на образци обработени чрез ДЗ.

Въз основа на получените резултати от измерванията на ПТ е доказано, че ДЗ е ефективен, надежден и икономичен метод за повишаване на износоустойчивостта на компоненти от алуминиев бронз  $CuAl8Fe3$ .

Таблица 3 Резултати от измерване на параметрите на ПТ

Параметри на ПТ		Процес/Образци						
		№	Фино струговане /S1		ДЗ (n=1)/S2		ДЗ (n=6)/S3	
			20x	50x	20x	50x	20x	50x
Средно-аритметично отклонение	$Sa [\mu m]$	1	1.071	0.2747	0.3880	0.0806	0.4249	0.0591
		2	1.093	0.4090	0.7253	0.1013	0.3521	0.0494
		3	0.9937	0.4509	0.29	0.0481	0.2829	0.0478
Средно-геометрично отклонение	$Sq [\mu m]$	1	1.419	0.3553	0.5093	0.1033	0.5346	0.0753
		2	1.434	0.5427	0.9445	0.1270	0.4404	0.0626
		3	1.292	0.5378	0.4202	0.0595	0.3629	0.0606
Максимална височина на върховете	$Sp [\mu m]$	1	7.233	1.056	2.071	0.3683	3.356	0.7131
		2	14.7	1.919	4.07	1.212	2.093	0.4615
		3	6.434	1.757	4.758	0.6287	1.766	0.2666
Максимална дълбочина на падините	$Sv [\mu m]$	1	6.023	2.028	4.427	0.8129	3.954	0.9055
		2	6.718	1.793	4.28	1.720	3.012	0.5302
		3	8.038	1.192	4.848	1.303	3.602	0.5269
Пълна височина	$St [\mu m]$	1	13.256	3.084	6.498	1.181	6.310	1.619
		2	21.418	3.713	8.35	2.932	5.106	0.9917
		3	14.472	2.950	9.606	1.932	5.368	0.7935
10-точкова височина	$Sz [\mu m]$	1	13.43	1.550	4.725	0.7257	4.477	0.7577
		2	12.61	1.988	13.63	1.088	3.478	0.5542
		3	11.55	1.652	6.782	0.6122	3.140	0.4980
Изкривяване	$Ssk$	1	0.2836	0.1720	-1.04	0.0726	-0.1211	-0.3811
		2	0.6237	0.9414	0.4097	-0.5308	-0.1508	-0.0062
		3	0.4223	0.4476	-0.0270	-0.1994	-0.3301	-0.1483
Куртоза	$Sku$	1	7.256	3.285	6.01	3.246	3.303	4.444
		2	7.543	3.884	9.368	4.778	3.236	3.554
		3	6.245	2.492	8.938	6.981	3.954	3.561

## БЛАГОДАРНОСТ

В тези изследвания е използвано оборудване на Разпределената научна инфраструктура ИНФРАМАТ, част от Националната пътна карта на България за научна инфраструктура, подкрепена финансово от Министерството на образованието и науката.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Maximov J., Duncheva G., Amudjev I., Anchev A., Dunchev V. Diamond Burnishing. Ex-Press. Gabrovo. (2021)
- [2] Maximov J., Duncheva G., Anchev A., Ichkova M. Slide burnishing – review and prospects. J Adv Manuf Technol 104 (2019) 785-801
- [3] Luo H, Liu J, Wang L, Zhong Q Study of the mechanism of the burnishing process with cylindrical polycrystalline diamond tools. J Mater Process Technol 180 (1–3) (2006) 9–16
- [4] Luo H., Liu J., Wang L., Zhong Q. The effect of burnishing parameters on burnishing force and surface microhardness. Int J Adv Manuf Technol 28(7–8) (2006) 707–713
- [5] Luo H, Liu J, Zhong Q Investigation of the burnishing process with PCD tool on non-ferrous metals. Int J Adv Manuf Technol 25(5–6) (2005) 454–459
- [6] Pang C, Luo H, Zhang Z, Ma Y Precipitation behavior and grain refinement of burnishing Al-Zn-mg alloy. Progress Nat Sci Mater Int 28 (2018) 54–59
- [7] Szutkowska M., Tobola D., Czechowski K. Burnishing of aluminium alloy surface using diamond matrix composite tools. Key Eng Mater 641 (2015) 39–46
- [8] Teimouri R., Amini S. Bami A. Evaluation of optimized surface properties and residual stress in ultrasonic assisted ball burnishing of AA6061-T6. Measurement 116 (2018) 129–139
- [9] Yu X, Wang L Effect of various parameters on the surface roughness of an aluminium alloy burnished with a spherical surfaced polycrystalline diamond tool. Int J Mach Tools Manuf 39(3) (1999) 459–469
- [10] Esme U. Use of grey based Taguchi method in ball burnishing process for the optimization of surface burnishing and microhardness of AA7075 aluminium alloy. Mater Technol 44 (2010) 129–135
- [11] Gharbi F., Sghaier S., Hamdi H., Benameur T. Ductility improvement of aluminum 1050A rolled sheet by a newly designed ball burnishing tool device. Int J Adv Manuf Technol 60(1–4) (2012) 87–99
- [12] Maximov J., Anchev A., Duncheva G., Ganev N., Selimov K. Influence of the process parameters on the surface roughness, micro-hardness, and residual stresses in slide burnishing of high-strength aluminum alloys. J Braz Soc Mech Sci Eng 39(8) (2017) 3067–3078
- [13] Maximov J., Anchev A., Dunchev V., Ganev N., Duncheva G., Selimov K. Effect of slide burnishing basic parameters on fatigue performance of 2024-T3 high-strength aluminium alloy. Fatigue Fract Eng Mater Struct 40(11) (2017) 1893–1904

- [14] Maximov J., Anchev A., Duncheva G., Ganev N., Selimov K., Dunchev V. Impact of slide diamond burnishing additional parameters on fatigue behaviour of 2024-T3 Al alloy. *Fatigue Fract Eng Mater Struct* 42(1) (2019) 363–373
- [15] Czechowski K., Tobola D. Slide finishing burnishing of metal alloys and metal matrix composites. *Mechanik NR* (7) (2017) 1–3
- [16] Nestler A., Schubert A. Effect of machining parameters on surface properties in slide diamond burnishing of aluminium matrix composites. *Materials Today: Proceedings* (2015) 2S:S156–S161
- [17] Bednarski P., Bialo D., Brostow W., Czechowski K., Polowski W., Rusek P., Tobola D. Improvement of tribological properties of matrix composites by means of slide burnishing. *Mater Sci* 19(4) (2013) 367–372
- [18] He D., Wang B., Zhang J., liao S., Deng W.J. Investigation of interference effect on the burnishing process. *Int J Adv Manuf Technol* 95 (2018) 1–10
- [19] Korzynski M., Zarski T. Slide diamond burnishing influence on surface stereometric structure of AZ91 alloy. *Surf Coat Technol* 307 (2016) 590–595
- [20] Buldum B., Cagan S. Study of ball burnishing process on the surface roughness and microhardness of AZ91D alloy. *Exp Tech* 42(2) (2018) 233–241
- [21] Okada M., Terada S., Miura T., Iwai Y., Takazawa T., Kataoka Y., Kihara T., Otsu M. Fundamental burnishing characteristics of Ni-based alloy using coated carbide tool. *Proc Manuf* 15 (2018) 1278–1283
- [22] ASME B46.1-2009, Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay), An American National Standard, 2009
- [23] Dong W., Sullivan P., Stout K. Comprehensive study of parameters for characterizing three-dimensional surface topography – III: Parameters for characterizing amplitude and some functional properties. *Wear*. 178 (1994) 29-43
- [24] Korzynski M., Dudek K., Kruczek B., Kocurek P. Equilibrium surface texture of valve stems and burnishing method to obtain it. *Tribology International* 124 (2018) 195-199
- [25] Zhang J., Pei Z. (2010) *Characterization Methods for Surface Integrity* (Ed., J. Paulo), *Surface Integrity in Machining*, Springer–Verlag London Limited e-ISBN 978-1-84-882-974-2
- [26] Sedlacek M., Podgornik B., Vizintin J. Correlation between standard roughness parameters skewness and kurtosis and tribological behaviour of contact surface. *Tribology International* 48 (2012) 102-112
- [27] Podgornik B., Jerina J. Surface topography effect on galling resistance of coated and uncoated tool steel. *Surface and Coatings Technology* 206 (2012) 2792-2800
- [28] Shi X., Wang L., Qin F. Relative fatigue life prediction of high-speed and heavy-load ball bearing based on surface texture. *Tribology International* 101 (2016) 364-374