

**Urszula KUDYBA**

Uniwersytet Rzeszowski

**Katarzyna KORZYŃSKA**

Politechnika Rzeszowska

## **WSKAŹNIKI KONTROLNE SGP PNEUMOKULKOWANYCH POWIERZCHNI ELEMENTÓW ZE STOPU MgAl8ZnMn**

Praca stanowi próbę wyłonienia reprezentatywnej grupy wskaźników struktury geometrycznej powierzchni (SGP) obrobionych przez pneumokulkowanie, wystarczającej do pełnej kontroli struktury takich powierzchni. Badania wykonano na próbkach ze stopu MgAl8ZnMn kulowanych na urządzeniu VaporBlast, a analizę wskaźników SGP wykonano na urządzeniu TayScan 150 z oprogramowaniem TallyMap 3D. Obliczono wzajemne korelacje pomiędzy dwudziestoma dwoma wybranymi parametrami, co pozwoliło określić wzajemne ich powiązania i ujawnić istniejące, znaczące korelacje pomiędzy niektórymi z nich. Uznano, że dla kompleksowego scharakteryzowania stanu powierzchni po pneumokulkowaniu wystarczy podać wartości tylko siedmiu parametrów. Są to parametry: Sa, Ssk, Sal, Str, Sp, Ssc oraz STp. Stwierdzono, że pozostałe parametry SGP, jako silnie skorelowane z podanymi, nie muszą być badane po pneumokulkowaniu.

### **Wstęp**

Struktura geometryczna powierzchni (SGP) ma duży wpływ na warunki pracy, a tym samym na jakość i trwałość współpracujących części maszyn i urządzeń. W celu możliwie najbardziej kompleksowego określenia stanu SGP po obróbce, obecnie wykorzystuje się kilkadziesiąt wskaźników – parametrów amplitudowych, powierzchniowych i objętościowych, przestrzennych, funkcjonalnych i hybrydowych [1-3]. W praktyce produkcyjnej, poza parametrem Ra (średnie odchylenie profilu nierówności od linii średniej), bardzo rzadko kontroluje się inne parametry SGP, takie jak: Rz (średnia dziesięciopunktowa wysokość nierówności), Rt (całkowita wysokość profilu), Rp (wysokość najwyższego wzniesienia profilu) i udział nośny liniowy lub powierzchniowy. Przypadki obróbki powierzchni ukierunkowane na uzyskanie konkretnej wartości innego niż wymienione parametru są bardzo rzadkie, podczas gdy inżynieria powierzchni wykazuje istotne znaczenie właśnie i niektórych innych parametrów dla warunków pracy wielu różnych połączeń i odpowiedzialnych części maszyn [4-6]. Na

przykład duże znaczenie mogą mieć promienie zaokrąglenia wierzchołków nierówności powierzchni współpracujących w warunkach tarcia ślizgowego albo promienie zaokrąglenia wgłębień nierówności i głębokość najgłębszego karbu w przypadku elementów pracujących w warunkach obciążeń zmiennych.

Dlatego też, we współczesnej inżynierii powierzchni coraz większe znaczenie przywiązuje się do innych niż Ra parametrów chropowatości. Do ich kształtowania coraz częściej stosuje się różne, niekonwencjonalne technologie pozwalające na kształtowanie SGP obrabianej w sposób najbardziej odpowiedni dla danych warunków pracy. Do takich niekonwencjonalnych technologii należy m.in. pneumokulkowanie – nagniatanie strumieniem okrągłych drobin śrutu lub kulek stalowych [6, 7]. W pracach badawczych stan tak obrobionej powierzchni jest charakteryzowany kompleksowo [7, 8], byłoby jednak pożądane wyłonienie kilku najważniejszych, kontrolnych wskaźników SGP. Niniejsza praca stanowi próbę takiego przedsięwzięcia. Jej celem było wyłonienie reprezentatywnej grupy wskaźników SGP powierzchni obrobionych przez pneumokulkowanie, wystarczających dla pełnej kontroli struktury takich powierzchni.

## Metodyka i wyniki badań

Badania przeprowadzono na próbkach w kształcie wałków o średnicy 35 mm. Próbkę wykonano ze stopu magnezu MgAl8ZnMn. Po wstępnym toczeniu próbki kulowano na kulownicy VaporBlast przy użyciu zespołu dwóch dysz o wylotach odległych od powierzchni obrabianej o 120 mm, w zakresach parametrów podanych w tab. 1., do uzyskania 100% stopnia pokrycia powierzchni obrabianej śladami kulek. Badania przeprowadzono z trzykrotną powtarzalnością, według kompletnego planu statycznego determinowanego dwupoziomowego typu PSDK2<sup>3</sup> [9], w którym czas realizacji obróbki 3 czynników zmiennych był przyjmowany na dwu poziomach, a całkowita liczba doświadczeń (kombinacji czynników wejściowych) wynosiła 8. Matrycę tego planu przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1. Matryca planu PS/DK 2<sup>3</sup>

Numer doświadczenia	x <sub>1</sub> (średnica kulek, mm)	x <sub>2</sub> (ciśnienie rozpylania, MPa)	x <sub>3</sub> (czas obróbki, min)	$\bar{y}$ (mierzony parametr)
1	0,4	0,45	0,55	
2	0,4	0,45	1,35	
3	0,4	0,90	0,55	
4	0,4	0,90	1,35	
5	0,6	0,45	0,55	
6	0,6	0,45	1,35	
7	0,6	0,90	0,55	
8	0,6	0,90	1,35	

Analizę struktury geometrycznej powierzchni kulowanych wykonano z użyciem urządzenia pomiarowego TalyScan 150 z oprogramowaniem do analizy powierzchni TalyMap 3D. Wykorzystano metodę stykową, przy zastosowaniu czujnika indukcyjnego. Pomiary wykonano na obszarze próbkowania 2 x 2 mm, ze skokiem próbkowania 10  $\mu\text{m}$ . Do scharakteryzowania SGP przyjęto parametry podane w tab. 2.

Tabela 2. Badane parametry struktury geometrycznej powierzchni (oznaczenia zgodne z [1, 2])

Rodzaje parametrów	Nazwa polska	Nazwa angielska	Oznaczenie parametru
Amplitudowe	Średnie arytmetyczne odchylenie wysokości nierówności powierzchni od płaszczyzny odniesienia	Arithmetic mean deviation of the roughness profile	Sa, $\mu\text{m}$
	Średnie kwadratowe odchylenie wysokości nierówności powierzchni od płaszczyzny odniesienia	Root-mean-square deviation of the roughness profile	Sq, $\mu\text{m}$
	Wysokość najwyższego wzniesienia powierzchni	Maximum peak height of the roughness profile	Sp, $\mu\text{m}$
	Głębokość najniższego wgłębienia powierzchni	Maximum valley depth of the roughness profile	Sv, $\mu\text{m}$
	Odległość wertykalna między szczytem najwyższego wierzchołka a najniższym zagłębieniem powierzchni	Total height of roughness profile	St, $\mu\text{m}$
	Współczynnik skośności rozkładu wysokości topografii (rzędnych) powierzchni	Skewness of the roughness profile	Ssk
	Współczynnik skupienia rozkładu wysokości topografii (rzędnych) powierzchni	Kurtosis of the roughness profile	Sku
	Wysokość nierówności powierzchni dla 10 punktów (pięć najwyższych wzniesień i pięć najniższych zagłębień)	Ten point height of the roughness profile	Sz, $\mu\text{m}$
Powierzchniowe i objętościowe	Współczynnik pola powierzchni nośnej	Surface material ratio	STp, %
	Wysokość rdzenia powierzchni	Roughness profile section height difference	SHTp, $\mu\text{m}$
	Średnia objętość materiału wzniesień na jednostkowej powierzchni	Average volume of elevated material in a unit area	Smmr, $\text{mm}^3/\text{mm}^2$
	Średnia objętość wgłębień na jednostkowej powierzchni	Average volume of cavities on a unit area	Smvr, $\text{mm}^3/\text{mm}^2$

Tabela 2. (cd.)

Rodzaje parametrów	Nazwa polska	Nazwa angielska	Oznaczenie parametru
Przestrzenne	Gęstość wierzchołków powierzchni	Density of summits of the surface	Sds, pks/mm <sup>2</sup>
	Stopień kierunkowości powierzchni	Texture aspect ratio of the surface	Str
	Wskaźnik autokorelacji powierzchni (najmniejsza długość odcinka, na którym funkcja autokorelacji osiąga wartość 0.2)	Fastest decay autocorrelation length	Sal, mm
	Odchylenie głównego kierunku tekstury powierzchni (od osi 90° prostopadłej do kierunku zbierania danych x)	Texture direction of the surface	Std, °
	Wymiar fraktalny powierzchni	Fractal dimension	Sfd
Hybrydowe	Średnie kwadratowe pochylenie nierówności powierzchni	Root mean square gradient of the surface	Sdq, μm/μm
	Średnia arytmetyczna krzywizna wierzchołków nierówności powierzchni	Arithmetic mean summit curvature of the surface	Ssc, 1/μm
Funkcjonalne	Wskaźnik nośności powierzchni	Surface bearing index	Sbi
	Wskaźnik utrzymania środka smarowego przez wgłębienia rdzenia	Core fluid retention index	Sci
	Wskaźnik utrzymania środka smarowego przez wgłębienia położone poniżej rdzenia	Valley fluid retention index	Svi

Wyniki pomiarów poszczególnych parametrów SGP przedstawiono w tab. 3. Te wyniki stanowiły podstawę do obliczenia zależności korelacyjnych pomiędzy poszczególnymi parametrami SGP. Obliczano współczynnik korelacji liniowej (Pearsona) kolejno pomiędzy wszystkimi parami (każdy z każdym) współczynników, biorąc pod uwagę wszystkie wyniki z tab. 3. Wyniki obliczeń korelacyjnych zamieszczono w tab. 4. Za silnie skorelowane parametry uważano te, dla których bezwzględna wartość współczynnika korelacji wynosiła powyżej 0,7.

Tabela 3. Zestawienie wybranych parametrów SGP po pneumokulkowaniu stopu magnezu MgAl8ZnMn

Lp.	Oznaczenie parametru	Numer doświadczenia								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Sa	0,904	8,42	15,5	36,1	8,07	10,3	10,4	5,29	10,7
2.	Sq	1,04	10,5	19,5	42,4	10	12,7	13	6,63	13,3
3.	Sp	3,03	83,8	53,3	75	33,8	42,1	41,9	30,4	27,1
4.	Sv	3,2	45,6	70,7	118	31,2	36,7	52,4	21,9	49,3
5.	St	6,23	129	124	193	65	78,8	94,3	52,3	76,4
6.	Ssk	0,308	0,109	-0,393	-0,492	0,070	0,257	-0,031	0,106	-0,711
7.	Sku	1,91	3,06	2,93	2,16	2,8	2,73	3,01	2,93	3,06
8.	Sz	5,46	64,4	97,4	118	60,1	71,1	82,4	42,8	85
9.	STp	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0
10.	SHTp	2,14	18	33,1	81,5	17,1	22,2	22,3	11,2	23,2
11.	Smmr	0,0032	0,0456	0,0707	0,118	0,0312	0,0367	0,0524	0,0219	0,0493
12.	Smv	0,0030	0,0838	0,0533	0,075	0,0338	0,0421	0,0419	0,0304	0,0271
13.	Sds	799	461	384	274	287	286	364	301	287
14.	Str	0,0374	0,685	0,247	0,305	0,622	0,87	0,823	0,860	0,353
15.	Sal	0,0313	0,071	0,243	0,31	0,113	0,116	0,119	0,0664	0,364
16.	Std	6,5	26,5	63,5	45	45	26,5	45	45	63,5
17.	Sfd	2,4	2,28	2,16	2,09	2,23	2,21	2,2	2,32	2,2
18.	Sdq	0,0544	0,446	0,432	0,322	0,33	0,416	0,429	0,318	0,291
19.	Ssc	0,0056	0,0904	0,0847	0,0358	0,0536	0,0624	0,0759	0,0451	0,0333
20.	Sbi	0,787	0,158	0,817	2,11	0,593	0,647	0,636	0,347	1,44
21.	Sci	1,59	1,58	1,4	1,19	1,6	1,69	1,56	1,61	1,21
22.	Svi	0,0646	0,104	0,133	0,115	0,106	0,09	0,108	0,108	0,139



## Analiza wyników i wnioski

Przeprowadzona analiza korelacyjna pozwoliła określić wzajemne powiązania między poszczególnymi parametrami SGP. W przypadku próbek pneumokulkowanych wykazała ona znaczące korelacje następujących parametrów SGP:

- Sa jest skorelowany z: Sq, Sv, St, Sku, Sz, Sfd, SHTp, Smmr, Sbi,
- Ssk jest skorelowany z: Sz, Str, Sal, Std, Sbi, Sci, Svi,
- Sal jest skorelowany z: Sfd, Sbi, Sci, Svi, Ssk, Sz, Str,
- Str jest skorelowany z: Sal, Smmr, Sci, Svi, Ssk, Sz, Str,
- Sp jest skorelowany z: St, Smvr,
- Ssc jest skorelowany z: Sds, Sdq,
- parametr niezależny statystycznie to STp.

Na podstawie podanych korelacji pomiędzy poszczególnymi parametrami SGP oraz ich definicji, jako reprezentatywne dla poszczególnych grup parametrów SGP, wybrano 6 niezależnych, nieskorelowanych z sobą. Te parametry to:

- parametry amplitudowe: Sa, Ssk, Sp,
- parametry przestrzenne: Str, Sal,
- parametr hybrydowy: Ssc.

Dla kompleksowego scharakteryzowania stanu SGP po pneumokulkowaniu wystarczy obliczyć podane sześć parametrów oraz jeden parametr niezależny statystycznie. Pozostałe parametry, jako silnie skorelowane z podanymi, nie muszą być określane po tej obróbce. Jeśliby zachodziła potrzeba oszacowania ich wartości, to jest to możliwe przy wykorzystaniu powyżej określonych zależności korelacyjnych.

## Literatura

1. Whitehouse D.: Surfaces and their Measurement. Taylor & Francis Books Inc., New York 2002.
2. Oczoś K., Liubimov V.: Struktura geometryczna powierzchni. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2003.
3. Pawlus P.: Topografia powierzchni – pomiar, analiza, oddziaływanie. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2006.
4. Korzyński M., Pacana A., Cwanek J.: Fatigue strength of chromium coated elements and possibility of its improvement with slide diamond burnishing. Surface and Coatings Technology, Vol. 203, Issue 12, 2009, 1670-1676.
5. Nascimento M.P., Torres M.A.S., Souza R.C., Voorwald H.J.C.: Effect of a shot peening pretreatment on the fatigue behaviour of hard chromium on electroless nickel interlayer coated AISI 4340 aeronautical steel. Materials Research, Vol. 5, No. 2, 2002, 95-100.
6. Korzyński M., Dzierwa A., Pacana A., Cwanek J.: Fatigue strength of chromium coated elements and possibility of its improvement with ball peening. Surface and Coatings Technology, Vol. 204, Issue 5, 2009, 615-620.

7. Dzierwa A., Żarski T.: The effect of selected properties of chromium coating elements after pneumatic ball peening on fatigue strength. *Nonconventional Technologies Review*, 3, 2007, 19-22.
8. Żarski T.: Wpływ pneumokulkowania na wybrane właściwości stopu magnezu MgAl8ZnMn. *Scientific Bulletins of Rzeszów University of Technology*, 209, Mechanics 62, 2004, 427-432.
9. Korzyński M.: *Metodyka eksperymentu*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2006.

#### **THE CONTROL INDICATORS OF SURFACE GEOMETRIC STRUCTURE OF AN MgAl8ZnMn ALLOY AFTER PNEUMATIC BALL PEENING**

##### **S u m m a r y**

The work is an attempt to identify a representative group of indicators of surface geometric structure (SGS) of the samples finished by pneumatic ball peening (PBP), and being sufficient to fully control of the such surface structures. The tests performed on samples made of an alloy MgAl8ZnMn and peened using VaporBlast device. The analysis of SGS indicators has been performed with TayScan 150 profilometer and TalyMap 3D software. The correlations between twenty-two selected parameters were calculated. It was allowed to determine their mutual relations, and to reveal the existing significant correlations between some of them. It was considered that for a comprehensive characterization of the surface after PBP enough to give the value of only seven parameters. These are the parameters: Sa, Ssk, Sal, Str, Sp, Ssc and STp. It was found that the other parameters of the SGS are strongly correlated with the above mentioned and need not be examined after PBP.

*Złożono w redakcji w lipcu 2010 r.*