

TOPOGRAFIA CZYNNEJ POWIERZCHNI ŚCIERNICY Z CBN ZE SPOIWEM GALWANICZNYM

Anna BAZAN¹, Andrzej KAWALEC²

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki pomiarów metodą stykową czynnej powierzchni ściernicy z CBN z osnową galwaniczną o ziarnistościach B25 i B35. Wyniki uzupełniono o dane uzyskane z wykonanych zdjęć fragmentów powierzchni ściernic. Ponadto porównano parametry topografii ściernicy nowej oraz po procesie szlifowania wykończeniowego stali wysokostopowej.

Słowa kluczowe: ściernice ze spoiwem galwanicznym, topografia ściernicy, zużycie ściernicy

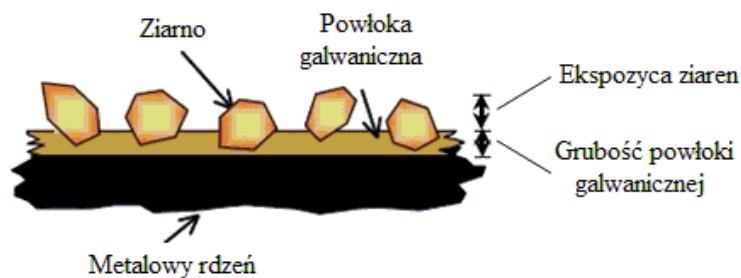
Summary: The paper presents results of contact measurement of CBN electroplated grinding wheels (grain sizes B25 and B35). The results were supplemented with data based on photographs of grinding wheels' surface fragments. In addition, topography parameters of a brand-new grinding wheel and the same grinding wheel after finish grinding of high-alloy steel were compared.

Key words: electroplated grinding wheels, grinding wheel topography, grinding wheel wear

1. WPROWADZENIE

W wielozadaniowych i wieloosiowych centrach obróbkowych – szczególnie przy produkcji elementów dla przemysłu lotniczego i samochodowego – coraz częściej wykorzystuje się ściernice z materiałów supertwardych (regularnego azotku boru – CBN lub polikrystalicznego diamentu – PCD) ze spoiwem galwanicznym [6]. Ściernice te umożliwiają stosowanie większych prędkości szlifowania co prowadzi do zmniejszenia sił skrawania, a zatem wydłużenia okresu żywotności ściernicy oraz polepszenia jakości szlifowanej powierzchni [4, 8].

Ściernice z materiałów supertwardych są jednowarstwowe (rys. 1). Dlatego nie mogą one być obciążane.



Rys.1. Przekrój przez ściernicę ze spoiwem galwanicznym [wg 11]

¹ Politechnika Rzeszowska, abazan@prz.edu.pl

² ak@prz.edu.pl

Grubość powłoki galwanicznej jest związana z wielkością ziarna ściernego, a wysokość ziaren ponad spoiwem zależy od naprężeń występujących podczas procesu szlifowania. Przy bardzo małych naprężeniach ekspozycja ziaren może sięgać do 70% średnicy ziarna, natomiast przy szlifowaniu materiałów trudnoskrawalnych jedynie 20%. Wysokość ziaren ponad spoiwem decyduje o objętości przestrzeni dostępnej na formowanie oraz gromadzenie wiórów oraz o siłach wiązania ziarna w spoiwie. Wraz ze wzrostem grubości powłoki galwanicznej siły wiązania rosną, natomiast maleje przestrzeń dostępna na wióry, stąd też konieczne jest wypracowanie w tym względzie kompromisu [5].

Topografia ściernicy ma znaczący wpływ na interakcje zachodzące pomiędzy ściernicą a szlifowanym przedmiotem [1, 9-11]. Wiąże się ona też ze zdolnością skrawną ściernicy [7] dlatego też szczegółowa wiedza na jej temat może być przydatna do lepszego poznania możliwości skrawnych ściernicy oraz pozwolić na wnikliwszą analizę procesu szlifowania.

2. METODYKA BADAŃ

Badaniom poddano po 5 nowych ściernic z regularnego azotku boru ze spoiwem galwanicznym o wielkości ziarna B25 (nominalna średnia wielkość ziarna 25 μm) oraz B35 (nominalna średnia wielkość ziarna 35 μm). Jedną ściernicę o ziarnistości B25 przebadano również po procesie szlifowania wykończeniowego stali wysokostopowej o twardości 52 HRC. Topografię ściernicy zmierzono po usunięciu ok. 200 mm³ objętości materiału przypadającej na 1 mm szerokości ściernicy.

Zdjęcia fragmentów powierzchni ściernic wykonano za pomocą mikroskopu InfiniteFocus Alicona (rys. 2) używając obiektywu x10.



Rys.2. Mikroskop InfiniteFocus Alicona

MECHANIK NR 8-9/2013
XXXVI NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKI ŚCIERNEJ

Przetwarzanie i analizę zarejestrowanych obrazów przeprowadzono używając programu ImageJ. Na podstawie wykonanych zdjęć dokonano pomiarów wielkości ziaren ściernych d oraz gęstości ziaren ściernych (liczby ziaren przypadającej na jednostkę powierzchni ściernicy) G_z .

Pomiarów topografii czynnej powierzchni ściernicy dokonano na profilometrze 3D Tayliscan 150 firmy TaylorHobson metodą stykową za pomocą końcówki pomiarowej o promieniu zaokrąglenia ostrza $2\ \mu\text{m}$ (rys. 3). Mierzono fragmenty powierzchni o wielkości $3\text{mm} \times 3\text{mm}$ z krokiem próbkowania w osi X oraz Y wynoszącym $5\ \mu\text{m}$ oraz rozdzielczością pionową $60\ \text{nm}$. Prędkość skanowania była równa $2\ \text{mm/s}$.



Rys. 3. Widok stanowiska pomiarowego Talyscan 150 do pomiarów topografii powierzchni

Na każdej ściernicy topografię zmierzono w 6 równomiernie rozłożonych miejscach na czynnej powierzchni ściernicy (CPS). Dzięki wykonanemu w Katedrze Techniki Wytwarzania i Automatyzacji Politechniki Rzeszowskiej przyrządowi służącemu do pozycjonowania badanych ściernic możliwy był pomiar wybranej ściernicy przed i po procesie szlifowania w przybliżeniu w tych samych miejscach. Ta sama powierzchnia na ściernicy nowej i po procesie szlifowania stanowiła ok. $2/3$ mierzonego obszaru.

Analizę zmierzonych powierzchni ściernic przeprowadzono za pomocą programu TalyMap 2.0.19 wyznaczając stereometryczne parametry profilu chropowatości oraz rozkład wysokości wzniesień.

Do analizy topografii ściernic wybrano niżej wymienione parametry struktury geometrycznej powierzchni (SGP) wykorzystywane w tym celu także przez innych badaczy [2, 3, 7, 12].

MECHANIK NR 8-9/2013
XXXVI NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKI ŚCIERNEJ

- **Średnie kwadratowe odchylenie wysokości powierzchni Sq** niosące zgrubną informację o wielkości ziaren ściernych, wyrażone wzorem:

$$Sq = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \eta^2(x_i, y_j)} \quad (1)$$

gdzie M i N są liczbami kolumn w macierzy próbkowania w kierunkach x i y , $\eta(x,y)$ jest odległością punktu od płaszczyzny średniej.

- **Gęstość wierzchołków powierzchni Sds** dostarczająca informacji o liczbie ziaren ściernych lub ostrzy skrawających przypadających na jednostkę powierzchni, wyrażona wzorem (uwzględniającym wszystkie wierzchołki):

$$Sds = \frac{\text{Liczba_wzniesień}}{(M-1)(N-1)\Delta x \Delta y} \quad (2)$$

gdzie M i N są liczbami kolumn w macierzy próbkowania w kierunkach x i y , Δx i Δy są odstępami próbkowania.

- **Średnia arytmetyczna krzywizna wierzchołków Ssc** informująca o ostrości ziaren ściernych, wyrażona wzorem:

$$Ssc = -\frac{1}{2n} \sum_{k=1}^n \left(\frac{\eta(x_{p+1}, y_q) + \eta(x_{p-1}, y_q) - 2\eta(x_p, y_q)}{\Delta x^2} + \frac{\eta(x_{p1}, y_{q+1}) + \eta(x_p, y_{q-1}) - 2\eta(x_p, y_q)}{\Delta y^2} \right) \quad (3)$$

gdzie $\eta(x,y)$ jest odległością punktu od płaszczyzny średniej, Δx i Δy są odstępami próbkowania.

- **Średni promień wierzchołków R** , który jest odwrotnością parametru Ssc :

$$R = \frac{1}{Ssc} \quad (4)$$

- **Parametry Sc (objętość pustek w strefie rdzenia) i (objętość pustek w strefie wgłębień) Sv** , których suma dostarcza informacji na temat przestrzeni dostępnej na kształtowanie i gromadzenie się wiórów:
 - **objętość pustek w strefie rdzenia Sc** wyrażona wzorem:

$$S_c = \frac{V_v(h_{0,05}) - V_v(h_{0,80})}{(M - 1)(N - 1)\Delta x \Delta y} \quad (5)$$

gdzie: $V_v(h_{0,05}) - V_v(h_{0,80})$ jest objętością pustek zawartą pomiędzy poziomami 5% i 80% udziału nośnego, M i N są liczbami kolumn w macierzy próbkowania w kierunkach x i y , zaś Δx i Δy są odstępami próbkowania.

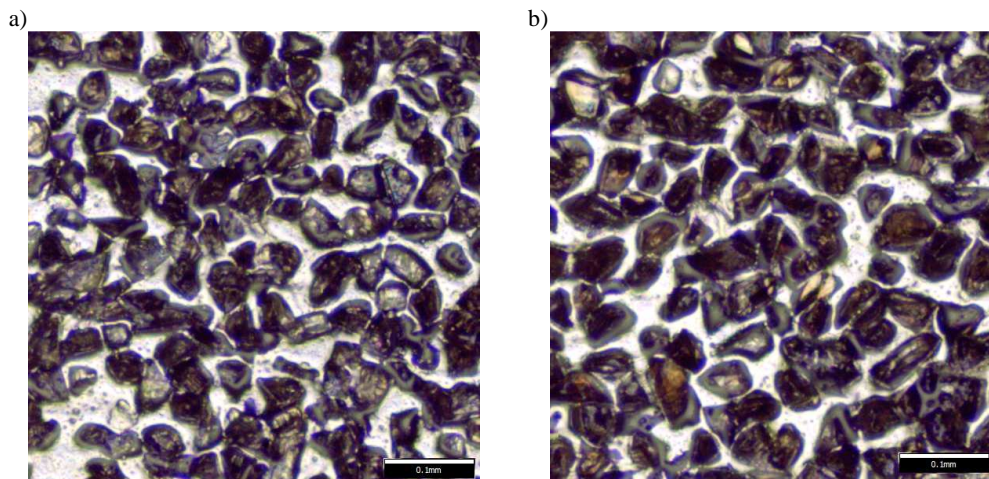
• **objętość pustek w strefie wgłębień S_v** wyrażona wzorem:

$$S_v = \frac{V_v(h_{0,80})}{(M - 1)(N - 1)\Delta x \Delta y} \quad (6)$$

gdzie: $V_v(h_{0,80})$ jest objętością pustek poniżej poziomu 80% udziału nośnego, M i N są liczbami kolumn w macierzy próbkowania w kierunkach x i y , Δx i Δy są odstępami próbkowania.

3. WYNIKI BADAŃ

Rysunek 4 przedstawia zdjęcia fragmentów ściernic o rozmiarze ziarna B25 i B35 wykonane za pomocą mikroskopu. Wybrane wyniki pomiarów topografii powierzchni ww. ściernic wykonanych profilometrem stykowym zestawiono w tab. 1.



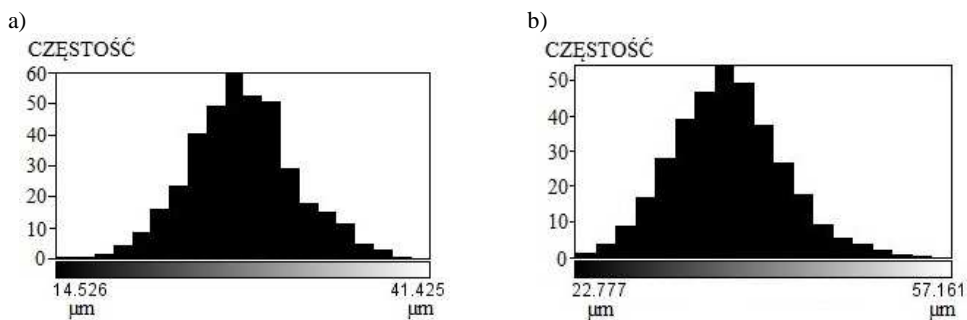
Rys. 4. Zdjęcia fragmentów CPS o wymiarach 0,5 mm x 0,5 mm ściernic o ziarnach: a) B25, b) B35

MECHANIK NR 8-9/2013
XXXVI NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKI ŚCIERNEJ

Tab. 1. Wartości parametrów opisujących CPS o rozmiarze ziarna B25 i B35

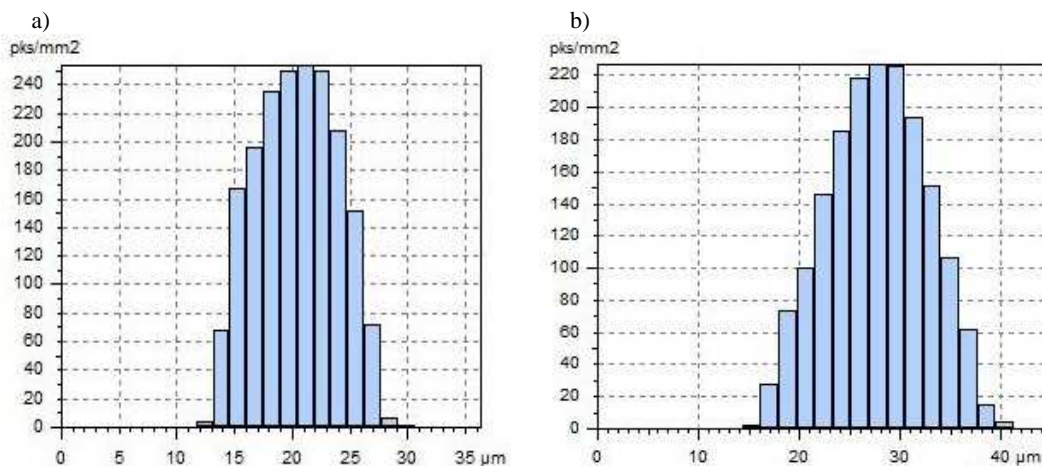
Wielkość ziarna \ Parametr	d_{sr} [μm]	G_z [1/mm ²]	S_q [μm]	S_{ds} [pks/mm ²]	S_{sc} [1/ μm]	R [μm]	$S_c + S_v$ [$\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$]
B25	27,9	532	3,67	1030	0,0805	12,7	7,52
B35	36,7	464	5,68	818	0,1200	8,3	10,43

Rysunki 5 oraz 6 prezentują odpowiednio rozkład wielkości ziaren ściernych oraz rozkład wysokości wzniesień dla ściernic o rozmiarze ziarna B25 i B35.



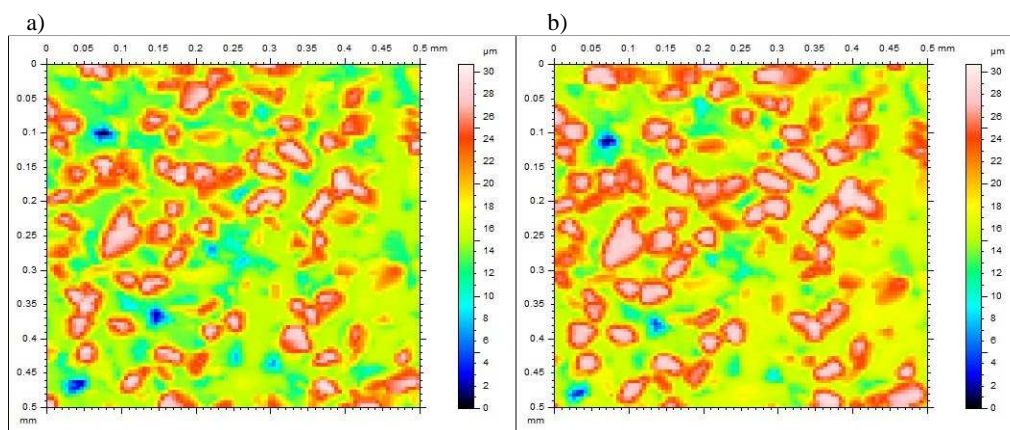
Rys. 5. Rozkład wielkości ziaren d na ściernicy: a) B25, b) B35

Analiza rozkładu wielkości ziaren d (rys. 5) wskazuje na to, że na badanych wycinkach CPS średnia wielkość ziarna d ściernicy B25 jest o ok. 11 % większa, zaś w przypadku ściernicy B35 o ok. 5 % większa od nominalnej.



Rys. 6. Rozkład wysokości wzniesień na ściernicy: a) B25, b) B35

Fragment topografii zmierzonej powierzchni ściernicy B25 przed i po procesie szlifowania przedstawiono na rys. 7. Wartości wybranych parametrów SGP: średniego kwadratowego odchylenia wysokości powierzchni Sq , gęstości wierzchołków powierzchni Sds , średniej arytmetycznej krzywizny wierzchołków Ssc , średniego promienia wierzchołków R , i sumy parametrów Sc i Sv , opisanych wzorami (1)-(6), oraz ich zmianę, związaną ze zużyciem ściernicy, zestawiono w tab. 2.



Rys. 7. Mapa topografii powierzchni ściernicy: a) nowej, b) po procesie szlifowania

Tab. 2. Wartości parametrów opisujących CPS o rozmiarze ziarna B25 przed i po procesie szlifowania

Parametr Stan CPS	Sq [μm]	Sds [pks/ mm^2]	Ssc [1/ μm]	R [μm]	$Sc + Sv$ [$\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$]
Przed szlifowaniem	4,24	933	0,0921	10,9	8,46
Po szlifowaniu	4,23	817	0,0564	17,7	8,14
Zmiana	0,31%	12,43%	38,78%	62,80%	3,85%

4. PODSUMOWANIE

Rozkład wielkości ziaren ściernych oraz rozkład wysokości ziaren zarówno dla ściernicy B25, jak i B35 mają charakter rozkładu normalnego. Średnia wielkość ziarna d_{sr} dla ściernicy B25 wynosi $27,9 \mu\text{m}$ z odchyleniem standardowym $SD = 3,92 \mu\text{m}$, a dla ściernicy B35 wynosi $36,7 \mu\text{m}$ z $SD = 5,13 \mu\text{m}$. Dla ściernicy B25 parametr Sq przyjmuje mniejszą wartość, co również potwierdza mniejszy rozmiar ziarna.

Gęstość wzniesień Sds jest niemal dwukrotnie większa niż gęstość ziaren ściernych G_z dla obu typów badanych ściernic. Świadczy to o konieczności zwiększenia kroku próbkowania lub zmiany sposobu obliczania parametru Sds , jeśli

miałyby on wyznaczać gęstość ziaren na badanych ściernicach. Gęstość ziaren ściernych G_z oraz gęstość wzniesień Sds jest większa dla ściernicy o mniejszym rozmiarze ziarna.

Promień zaokrąglenia wierzchołka R jest większy dla ściernicy o mniejszym rozmiarze ziarna. Wynik ten należy postrzegać w kontekście tego, że zaobserwowane wierzchołki nie są tożsame z ziarnami, gdyż liczba ziaren jest mniejsza od liczby wierzchołków. Szczególnie widoczne jest to dla ściernicy B35, dla której promień zaokrąglenia wzniesienia wynosi jedynie 8,3 μm .

Badania wykazały, że suma parametrów Sc i Sv jest większa dla ściernicy B35 niż B25. Wiąże się to z tym, że przestrzeń na tworzenie i gromadzenie się wiórów wzrasta wraz ze wzrostem rozmiaru ziarna.

Analizując mapy topografii oraz zmiany parametrów SGP ściernicy przed i po procesie szlifowania można wnioskować o charakterystyce zmian zachodzących w procesie ścierania ziaren. W sposób najbardziej istotny zmianom uległy zarówno średni promień zaokrąglenia wzniesień jak i liczba wzniesień.

LITERATURA

- [1] ASPINWALL D.K., SOO S.L., CURTIS D.T., MANTLE A.L., *Profiled superabrasive grinding wheels for the machining of a nickel based superalloy*. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 2007, 56(1), 335-338.
- [2] BLUNT L., EBDON S., *The application of three-dimensional surface measurement techniques to characterizing grinding wheel topography*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 1996, 36, 1207-1226.
- [3] BUTLER D.L., BLUNT L.A., SEE B.K., WEBSTER J.A., STOUT K.J., *The characterisation of grinding wheels using 3D surface measurement techniques*. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 127(2), 234-237.
- [4] DING W., XU J., CHEN Z., SU H., FU Y., *Wear behavior and mechanism of single-layer brazed CBN abrasive wheels during creep-feed grinding cast nickel-based superalloy*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2010, 51(5-8), 541-550.
- [5] KLOCKE F., *Manufacturing Processes 2. Grinding, Honing, Lapping*, Berlin, Springer, 2009.
- [6] MALKIN S., GUO C., *Grinding Technology: The Way Things Can Work: Theory and Applications of Machining with Abrasives*. New York, Industrial Press, 2008.
- [7] NGUYEN A., BUTLER D., *Correlation of grinding wheel topography and grinding performance: A study from a viewpoint of threedimensional surface characterisation*. Journal of Materials Processing Technology, 2008, 208(1-3), 14-23.
- [8] SALMON S. C., *Grinding is high-tech*. Manufacturing Engineering, SME, 2009, 143(2), 53-59.
- [9] SHI Z., MALKIN S., *An investigation of grinding with electroplated (CBN) wheels*. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 2003, 52(1), 267 – 270.
- [10] SHI Z., MALKIN S., *Wear of Electroplated CBN Grinding Wheels*. Journal of Manufacturing Science and Engineering, Trans ASME, 2005, 128(1), 110-118.
- [11] UPADHYAYA R. P., MALKIN S., *Thermal Aspects of Grinding With Electroplated CBN Wheels*. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2004, 126(1), 107-114.
- [12] YAN L., RONG Y.M., JIANG F., ZHOU Z., *Three-dimension surface characterization of grinding wheel using white light interferometer*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2011, 55, 133-141.