

## WPŁYW ZAGŁĘBIENIA ZIAREN ŚCIERNYCH W SPOIWIE NA TRWAŁOŚĆ NARZĘDZI GALWANICZNYCH W SZLIFOWANIU Z KINEMATYKĄ DOCIERANIA

Mariusz DEJA<sup>1</sup>, Aleksandra NIEWOLAK<sup>2</sup>

**Streszczenie:** W pracy określono wpływ zagłębienia ziaren diamentowych D107 w spoiwie na trwałość ściernych narzędzi galwanicznych. Zagłębienie wynosiło 65%, 50% i 35% wymiaru charakterystycznego ziaren. Zużycie narzędzia określono na podstawie liczby i rodzaju ziaren ściernych w określonych obszarach narzędzia w kierunku promieniowym. Analizowano również powierzchniowy udział ziaren na czynnej powierzchni narzędzi po przeprowadzonej obróbce.

**Słowa kluczowe:** szlifowanie, kinematyka docierania, narzędzia galwaniczne

**Summary:** In the paper, the effect of different grain exposure (65%, 50% and 35% of its characteristic dimension) above the nickel bond on the tool life was tested. Tool wear was determined on the basis of the number and type of abrasive grains in certain areas of the tool in the radial direction. The area of the grains on the active tool surface after experiments was also calculated.

**Key words:** grinding, lapping kinematics, electroplated tools

### 1. WPROWADZENIE

Proces szlifowania z kinematyką docierania łączy zalety szlifowania i docierania, pozwalając na uzyskanie wysokich dokładności wymiarowo-kształtowych i niskich parametrów chropowatości przy zachowaniu wysokiej wydajności procesu [1, 6]. Wielkość zagłębienia ziaren w spoiwie galwanicznym wpływa na osiągnięte efekty technologiczne oraz na intensywność zużycia czynnej powierzchni narzędzi [7]. Mniejsza głębokość osadzenia ziarna pozwala na uzyskanie niższej chropowatości, przy łatwiejszym wykruszaniu ostrzy ze spoiwa, co skraca okres trwałości ściernicy. Wzrastają siły obciążające ziarna, nadal osadzone w spoiwie, powodując ich rozkruszanie lub stępienie krawędzi skrawających. Cząstki ziaren ściernych tworzą z doprowadzaną cieczą chłodząco-smarującą, zawieszinę ścierną typową dla docierania. Zwiększa to wydajność obróbki, ale również powoduje zanieczyszczenie i skażenie przedmiotów obrabianych. W przeprowadzonych badaniach określono wpływ zagłębienia ziaren diamentowych D107 w spoiwie na trwałość ściernych narzędzi galwanicznych. Zmiana zagłębienia ziaren wynikała z grubości spoiwa wynoszącej 65%, 50% (typowe zagłębienie) i 35% wymiaru charakterystycznego ziaren. Zużycie czynnej powierzchni ściernicy (CPS) określono z zastosowaniem komputerowej analizy obrazu na podstawie liczby i rodzaju ziaren w określonych obszarach ściernicy w kierunku promieniowym. Analizowano również powierzchniowy udział ziaren na CPS po przeprowadzonej obróbce. Uzyskane wyniki odpowiadały promieniowemu rozkładowi zastosowanych parametrów kinematycznych [3].

<sup>1</sup> Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji  
Produkcji, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, mdeja@pg.gda.pl

<sup>2</sup> aleksandra.niewolak@gmail.com

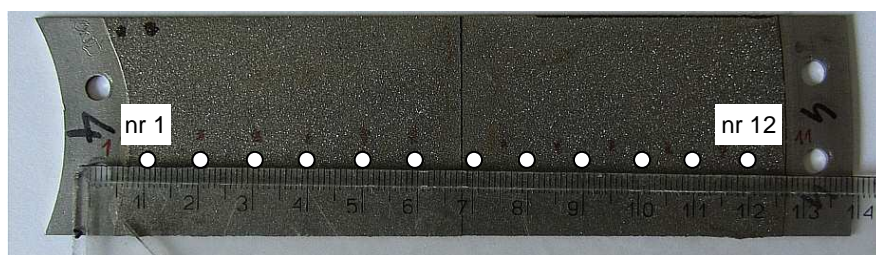
## 2. SZLIFOWANIE POWIERZCHNI PŁASKICH Z ZASTOSOWANIEM ŚCIERNIC ZE SPOIWEM GALWANICZNYM

W celu określenia wpływu grubości spoiwa, a w konsekwencji wielkości zagłębienia ziaren ściernych na osiągnięte efekty technologiczne oraz na trwałość ściernic ze spoiwem galwanicznym przeprowadzono szlifowanie ceramiki technicznej  $Al_2O_3$  z kinematyką docierania przy zastosowaniu parametrów podanych w Tabeli 1. Dla każdego narzędzia wykonano 12 testów przy takich samych parametrach obróbkowych i przy stałej wartości parametru kinematycznego  $K = -1$ . Łączny czas trwania każdej z dwóch serii testów wynosił  $t = 9$  min. Dla początkowych testów T1÷T6 zastosowano nacisk powierzchniowy  $p = 10$  kPa, który zwiększono w kolejnych testach T7 ÷ T12 do wartości  $p = 14$  kPa.

Tabela 1. Parametry obróbkowe dla ściernic ze spoiwem galwanicznym z ziarnami D107 – obróbka  $Al_2O_3$

Nr testu	Nacisk $p$ [kPa]	Prędkość obrotowa narzędzia $n_t$ [obr/min]	Prędkość obrotowa separatora $n_s$ [obr/min]	Parametr kinematyczny $K$	Prędkość szlifowania $v$ [m/s]	Czas trwania testu $t$ [s]
T1÷T6	10	60	121	-1	0,76	90
T7÷T12	14	60	121	-1	0,76	90

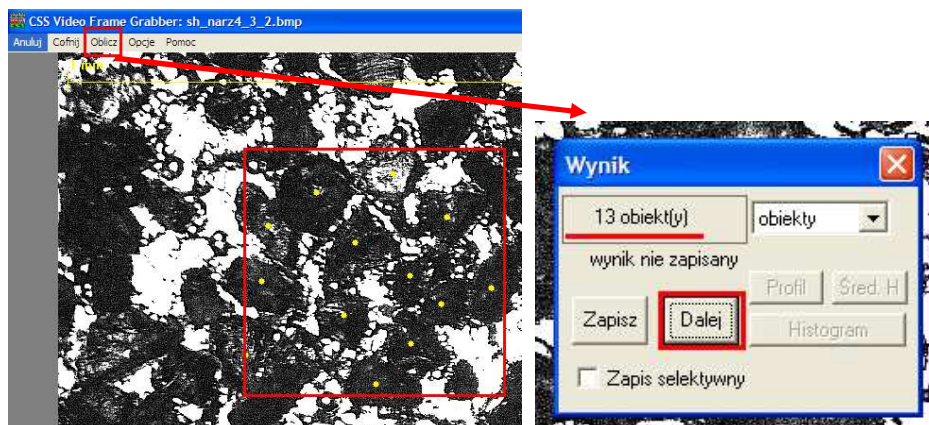
W badaniach analizowano trzy ściernice oznaczone symbolami N4, N5 i N6 z różnymi grubościami spoiwa galwanicznego w stosunku do wymiaru charakterystycznego ziarna oznaczonego jako  $d$ . Ściernica N4 cechowała się największą grubością spoiwa równą  $w = 0,65d$ , ściernica N5 – typową dla narzędzi galwanicznych grubością  $w = 0,5d$ , a ściernica N6 – najpłytszym osadzeniem ziaren przy  $w = 0,35d$ . Ściernice o średnicy zewnętrznej  $\phi 380$  zostały pocięte po zakończeniu badań oraz oczyszczone z utworzonej zawiesiny ścierniej w celu przeprowadzenia badań mikroskopowych. Zdjęcia mikroskopowe wykonywano co 10 mm wzdłuż promienia narzędzia - Rys. 1 [5].



Rys. 1. Fragment ściernicy ze spoiwem galwanicznym z analizowanymi obszarami rozmieszczonymi promieniowo na czynnej powierzchni

### 3. ANALIZA ILOŚCIOWA I JAKOŚCIOWA CZYNNEJ POWIERZCHNI ŚCIERNICY ZE SPOIWEM GALWANICZNYM

Metodę oceny czynnej powierzchni ściernicy przedstawiono m.in. w pracach [1, 2, 4]. Do komputerowej analizy zdejmowanych obrazów mikroskopowych wykorzystano oprogramowanie MultiscanBase v. 18.03. W metodzie powierzchniowej wyznaczano liczbę pikseli białych i czarnych po zastosowaniu określonych filtrów (głównie filtru *grey4.clt*) oraz binaryzacji wg poziomu 128. Na tak przygotowanych zdjęciach czarne obszary odpowiadały ziarnom ściernym, a białe niklowemu spoiwieniu. Dla każdego z badanych obrazów obliczano współczynnik powierzchniowy  $\gamma$ , jako stosunek liczby pikseli czarnych do liczby pikseli białych. W metodzie ilościowej i jakościowej wyznaczano liczbę ziaren ściernych na badanym obszarze, a także określano stopień ich zużycia. Przygotowanie obrazów w tej analizie obejmowało zastosowanie filtru koloru *zielony* oraz filtru wyostrzającego *sharpen1*. Widoczne ziarna ściernic zliczano z wykorzystaniem standardowej funkcji pomiarowej programu MultiScan - Rys. 2. Uzyskane wyniki wykorzystano do obliczenia koncentracji powierzchniowej ziaren w wybranych obszarach ściernic. Koncentrację powierzchniową ziaren ( $C$ ) wyznaczano jako liczbę ziaren przypadającą na jednostkę powierzchni badanego obszaru ściernicy.



Rys. 2. Zliczanie ziaren ściernych na przykładowym obszarze czynnej powierzchni ściernicy z automatycznym zapisem wyniku

Ostatnim etapem analizy była ocena zużycia widocznych ziaren ściernych oraz wyznaczenie liczby wykruszonych ostrzy. Zbadano fragmenty uzyskanych zdjęć mikroskopowych, stanowiące losowo wybrane obszary o wielkości  $\frac{1}{4}$  oryginalnych obrazów. Ziarna podzielono na następujące grupy:

- ziarna wyrwane – wyznaczenie miejsc, w których znajdowały się ziarna,

widocznych na zdjęciach mikroskopowych najczęściej w postaci białych obszarów;

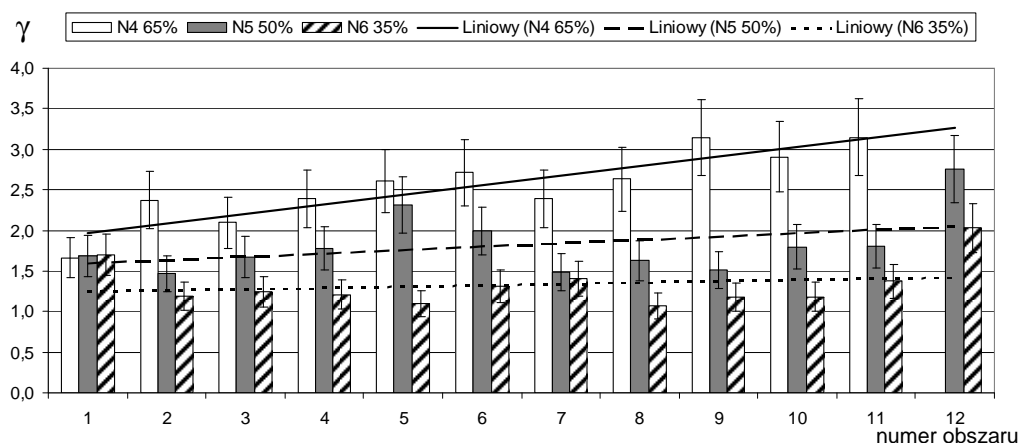
- ziarna z ostrymi krawędziami;
- ziarna ze stępionymi krawędziami - widoczne płaskie powierzchnie lub stępione krawędzie;
- ziarna nie wystające ze spoiwa - mniejsze ziarna lub fragmenty rozkruszonych ziaren pozostałych w spoiwie.

### 3.1. ANALIZA POWIERZCHNIOWA

W analizie powierzchniowej wyznaczono średnie wartości współczynnika  $\gamma$ , jako stosunek pikseli ciemnych do jasnych, dla wszystkich analizowanych obszarów czynnej powierzchni badanych narzędzi. Wartości obliczonych współczynników wynosiły po obróbce:

- dla ściernicy N4:  $\gamma_{N4} = 2,55$ ,
- dla ściernicy N5:  $\gamma_{N5} = 1,82$ ,
- dla ściernicy N6:  $\gamma_{N6} = 1,33$ .

Wartości współczynnika powierzchniowego  $\gamma$  potwierdziły największe zużycie ściernicy N6. Udział powierzchniowy spoiwa po obróbce był prawie dwukrotnie większy niż w przypadku ściernicy N4, której ziarna były również głębiej utwardzone w prawie dwukrotnie grubszym spoiwie. Wykres współczynnika  $\gamma$  dla wybranych obszarów wzdłuż promienia ściernicy przedstawiono na Rys. 3.



Rys. 3. Współczynnik  $\gamma$  (stosunek pikseli ciemnych do jasnych) na obszarach CPS o różnej grubości spoiwa

Ściernice zużywały się najbardziej równomiernie w obszarze bezpośrednio przy średnicy wewnętrznej – współczynnik powierzchniowy wynosi  $\gamma \approx 1,7$ . Najmniejszy stopień zużycia CPS charakteryzował ściernicę N4, największy zaś – ściernicę N6, dla

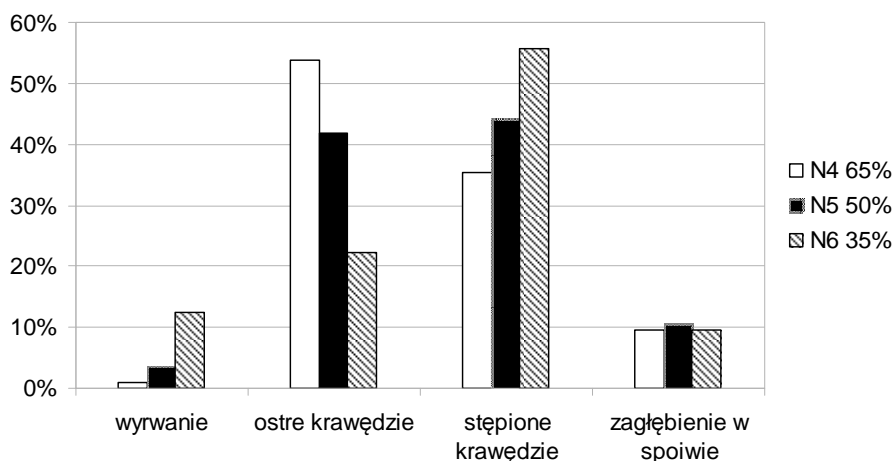
której współczynnik  $\gamma$  w większości badanych obszarów jest bliski wartości 1. Całkowite pole powierzchni ziaren jest w tym przypadku zbliżone do pola powierzchni spoiwa. Przedstawione linie trendu wskazują na większe zużycie ściernic w obszarze średnicy wewnętrznej, co jest zgodne z rozkładem parametrów kinematycznych dla zastosowanego współczynnika kinematycznego  $K = -1$  [3]. Prędkość szlifowania oraz kontakt pomiędzy przedmiotem i CPS przyjmują w tym obszarze również wyższe wartości, w porównaniu do obszaru średnicy zewnętrznej ściernicy [3].

### 3.2. KONCENTRACJA POWIERZCHNIOWA ZIAREN

Wyznaczone w trakcie analizy ilościowej średnie wartości koncentracji powierzchniowej ziaren wynosiły:

- dla ściernic przed obróbką:  $C_p = 70 \text{ mm}^{-2}$ ,
- dla ściernicy N4 po obróbce:  $C_4 = 59,3 \text{ mm}^{-2}$ ,
- dla ściernicy N5 po obróbce:  $C_5 = 51,1 \text{ mm}^{-2}$ ,
- dla ściernicy N6 po obróbce:  $C_6 = 48,8 \text{ mm}^{-2}$ .

Średnia koncentracja ziaren malała zgodnie z oczekiwaniami wraz ze zmniejszeniem ich zagłębienia w spoiwie, z uwagi na cieńsze spoiwo, obniżając wydajność obróbki. Pozytywnym efektem było natomiast znaczne obniżenie osiąganych wartości parametrów chropowatości i falistości przy najpłytszym osadzeniu ziaren w spoiwie o 35-cio procentowej grubości. Udział procentowy ziaren o różnej formie zużycia w stosunku do początkowej ich liczby przedstawiono na Rys. 4.



Rys. 4. Udział procentowy ziaren o różnej formie zużycia po obróbce ceramiki technicznej  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ściernicami ze spoiwem galwanicznym z ziarnami D107



Procentowy udział wyrwanych ziaren wzrasta, wraz ze zmniejszeniem ich zagłębienia w spoiwie, co wpłynęło również na obniżenie koncentracji powierzchniowej. Powoduje to wzrost obciążenia ziaren nadal utwierdzonych w spoiwie, skutkując większą liczbą ostrzy o stępionych krawędziach. Udział procentowy ziaren z widocznymi ostrymi krawędziami wynosił 54% początkowej liczby ziaren dla ściernicy N4. W przypadku ściernic N5 i N6 udziały te były mniejsze i wynosiły odpowiednio 42% i 22%.

#### 4. PODSUMOWANIE

Przedstawione wyniki analiz ilościowych potwierdzają obniżenie trwałości ściernic ze spoiwem galwanicznym dla płytszego zagłębienia ziaren w cieńszym spoiwie. Przy słabszym utwierdzeniu, ziarna szybciej wykruszają się z CPS, przyspieszając zużycie ściernicy ze spoiwem galwanicznym w szlifowaniu z kinematyką docierania. Cząstki wyrwanych i rozkruszonych ziaren ściernych tworzą z doprowadzaną cieczą chłodząco-smarującą, zawiesinę ścierną typową dla docierania. Zwiększa to wydajność obróbki, ale również powoduje zanieczyszczenie i skażenie przedmiotów. Pozytywnym efektem płytszego osadzenia ziaren jest możliwość osiągnięcia niższych wartości parametrów chropowatości i falistości.

*Praca naukowa częściowo finansowana ze środków na naukę w latach 2010-2011 jako projekt badawczy N N503 157638.*

#### LITERATURA

- [1] Barylski A., Deja M.: Microgrinding of flat surfaces on single-disc lapping machine. *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 2009, Vol. 5, Nos. 2/3, s.245–267.
- [2] Deja M.: Correlation between shape errors in flat grinding. *Journal of Vibroengineering*, 2012, Vol. 14, Issue 2, s. 520-527.
- [3] Deja M.: Modelowanie zużycia narzędzia w mikroszlifowaniu powierzchni płaskich z kinematyką docierania. W: *Podstawy i technika obróbki ścierniej*. Red. Gołąbczak A., Kruszyński B., Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, 2010, s. 218-228. ISBN 83-920269-4-2.
- [3] Deja M.: Zużycie narzędzi ze spoiwem galwanicznym w mikroszlifowaniu powierzchni płaskich z kinematyką docierania. W: *Problemy i tendencje rozwoju obróbki ścierniej*. Red. Cichosz P., Politechnika Wrocławska, Wrocław, 2012, s. 177-184. ISBN 978-83-917677-6-4.
- [4] Niewolak A.: Analiza kinematyki docierania w aspekcie zużycia narzędzia. Praca dyplomowa magisterska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2013, maszynopis, promotor: Deja M.
- [5] Sanchez L.E.A., Jun N.Z.X., Fiocchi A.A.: Surface finishing of flat pieces when submitted to lapping kinematics on abrasive disc dressed under several overlap factors. *Precision Engineering*, 2011, Vol. 35, Issue 2, s. 355–363.
- [6] Shi Z., Malkin S.: An investigation of grinding with electroplated CBN wheel. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 2003, Vol. 52, Issue 1, s. 267-270.

