

# Wpływ prędkości szlifowania na zużywanie się ściernicy z nasypem z cBN, ze spoiwem nanoszonym galwanicznie

## Influence of grinding wheel velocity on the wear of electroplated cBN grinding wheel

ANDRZEJ KAWALEC  
ANNA BAZAN  
MAREK KROK\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.101>

Zaprezentowano wyniki badań zmian składowych siły szlifowania oraz wybranych parametrów topografii CPS pod wpływem zużycia czynnej powierzchni ściernicy z cBN ze spoiwem nanoszonym metodą galwaniczną, pracujących z różną prędkością obrotową.

**SŁOWA KLUCZOWE:** zużycie ściernicy, ściernice z nasypem z cBN ze spoiwem nanoszonym metodą galwaniczną

*Presented are the results of research on changes of the grinding force components and selected topography parameters of grinding wheel active surface during grinding wheel life. Electroplated cBN grinding wheels working with different rotation speeds were examined.*

**KEYWORDS:** grinding wheel wear, electroplated cBN grinding wheels

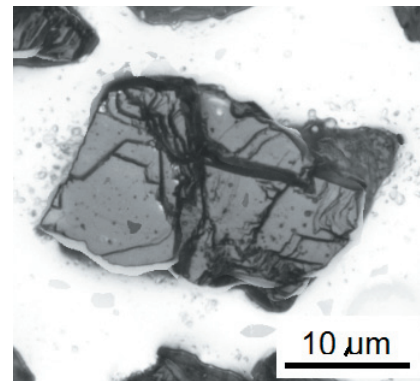
Prędkość szlifowania  $v_s$  może wpływać na efekty obróbki w różny sposób. Wzrost wartości  $v_s$  podnosi temperaturę w strefie szlifowania, co prowadzi do obniżenia twardości materiału i jego wytrzymałości na ścinanie. Zmniejsza się również zagłębienie ziarna w materiale obrabianym, co z jednej strony przekłada się na mniejsze obciążenie ziaren, ale z drugiej niekorzystnie wpływa na efektywny kąt natarcia i może prowadzić do wzrostu wytrzymałości na ścinanie na skutek umocnienia materiału przy formowaniu wióra [1].

W przypadku ściernicy jednowarstwowej z nasypem z cBN częściej obserwuje się sytuację, w której wzrostowi prędkości szlifowania towarzyszy obniżenie wartości siły szlifowania [2–6]. Poza pracą [2] publikacje nie omawiają jednak kwestii zmian zachodzących na czynnej powierzchni ściernicy (CPS) pod wpływem zużycia przy różnej prędkości szlifowania.

W artykule zaprezentowano wyniki badań zmian siły szlifowania oraz topografii CPS pod wpływem zużycia czynnej powierzchni ściernicy z cBN ze spoiwem nanoszonym metodą galwaniczną, pracujących z różną prędkością obrotową.

### Metodyka badań

Szlifowanie stali wysokostopowej Pyrowear 53 w stanie utwardzonym prowadzono na szlifierce Fortis firmy Michael Deckel, z wykorzystaniem ściernicy jednowarstwowej ze spoiwem nanoszonym metodą galwaniczną, ze ścierniwem z cBN o numerze ziarna B35. Producent ściernicy (firma Shinhan Diamond) określił zastosowane ziarna jako monokrystaliczne, na wpół bryłowate (*semi-blocky*) (rys. 1).



Rys. 1. Monokrystaliczne ziarno cBN typu *semi-blocky* na nowej ściernicy

Ściernica miała kształt stożkowy o maksymalnej średnicy  $d_s = 100$  mm i kącie stożka  $140^\circ$ . Minimalna twardość szlifowanej warstwy wynosiła 81 HRA.

W badaniach użyto trzech ściernicy, które pracowały z innym zestawem parametrów nastawnych. W każdym z trzech przypadków prędkość posuwu wynosiła  $v_w = 4250$  mm/min, głębokość szlifowania  $a_p = 20$   $\mu$ m, natomiast prędkość obrotową  $n$  zmieniano i była ona równa: 4000, 6000 oraz 8000 obr/min. Ze względu na dostępną ilość materiału obrabianego każda ze ściernicy mogła usunąć jednostką szerokości ściernicy (1 mm) do 2850 mm<sup>3</sup>.

Podczas szlifowania składowe siły szlifowania mierzono za pomocą dynamometru obrotowego Kistler 9123C, połączonego ze wzmacniaczem 5223B i kartą pomiarową NI USB-6009. Rejestrację sygnałów prowadzono w programie LabVIEW Signal Express 2012 z częstotliwością próbkowania 5 kS/s. Do dalszego przetwarzania sygnałów, w tym wyznaczenia wartości siły stycznej ( $F_t$ ) i normalnej ( $F_n$ ), wykorzystano środowisko programistyczne Python.

Cel badań zakładał, że pomiary topografii CPS będą prowadzone na różnym etapie zużycia ściernicy. Przerwanie procesu szlifowania daną ściernicą, aby zmierzyć jej mikrogeometrię, okazało się jednak za bardzo czasochłonne, dlatego topografię CPS zdecydowano się odwzorowywać za pomocą replik.

Repliki wykonano z wykorzystaniem systemu RepliSet firmy Struers. Materiałem replik była guma silikonowa barwy czarnej, o możliwościach reprodukcji szczegółów powyżej 0,1  $\mu$ m. Do pomiarów topografii replik odwzorowujących CPS wykorzystano mikroskop InfiniteFocus firmy Alicona oraz obiektyw 20 $\times$ . Po usunięciu danej objętości materiału mierzono sześć obszarów w każdej ściernicy o wymiarach 2,35  $\times$  2,59 mm. Rozdzielczość pionowa wynosiła 0,1  $\mu$ m, rozdzielczość pozioma: 5  $\mu$ m, krok próbkowania: 0,44  $\mu$ m  $\times$  0,44  $\mu$ m. Analizę danych pomiarowych z wyznaczeniem parametrów topografii powierzchni przeprowadzono w programie SPIP 6.4.2.

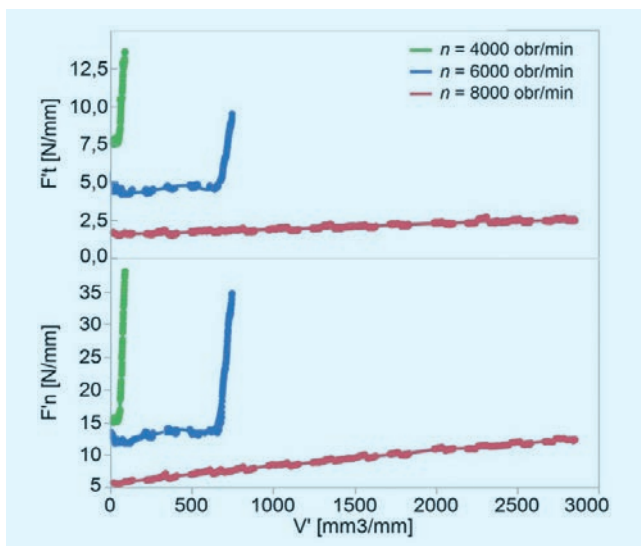
Mikroskop InfiniteFocus posłużył również do wykonania wszystkich zdjęć CPS przedstawionych w artykule.

\* Dr hab. inż. Andrzej Kawalec (ak@prz.edu.pl), mgr inż. Anna Bazan (abazan@prz.edu.pl), mgr inż. Marek Krok (mkrok@prz.edu.pl) – Politechnika Rzeszowska

## Przebieg wartości składowych siły szlifowania

Prędkość szlifowania, która zależy m.in. od prędkości obrotowej ściernicy, miała bardzo istotny wpływ na żywotność ściernicy oraz wartość i przebieg składowych siły szlifowania (rys. 2). Większa prędkość szlifowania była związana z mniejszymi wartościami właściwej siły stycznej ( $F'_t$ ) i normalnej ( $F'_n$ ) oraz większą trwałością ściernicy.

W przypadku wszystkich trzech ściernic można zauważyć okres stabilnego zużycia charakteryzujący się w przybliżeniu równomiernym wzrostem wartości składowych siły szlifowania wraz z objętością usuniętego materiału. W badaniu ściernic przy prędkościach obrotowych 4000 obr/min oraz 6000 obr/min zaobserwowano także fazę intensywnego zużycia ściernicy objawiającego się bardzo gwałtownym wzrostem siły szlifowania. W przypadku ściernicy o najmniejszej prędkości szlifowania faza intensywnego zużycia rozpoczęła się po zeszlifowaniu właściwego ubytku materiału  $V'$  wynoszącego ok.  $58 \text{ mm}^3/\text{mm}$ . Faza stabilnego zużycia ściernicy o prędkości obrotowej  $n = 6000$  obr/min zakończyła się przy wartości właściwego ubytku materiału ok.  $V' = 680 \text{ mm}^3/\text{mm}$ . Ściernica o prędkości obrotowej  $n = 8000$  obr/min zeszlifowała całą założoną objętość materiału  $V' = 2850 \text{ mm}^3/\text{mm}$  bez wkroczenia w fazę intensywnego zużycia.

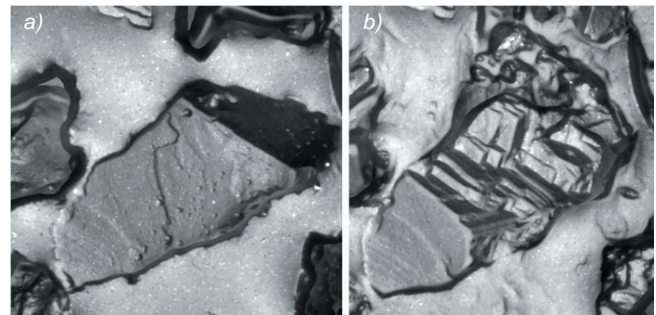


Rys. 2. Przebieg wartości właściwej siły stycznej szlifowania ( $F'_t$ ) oraz właściwej siły normalnej szlifowania ( $F'_n$ ) w zależności od właściwego ubytku materiału  $V'$

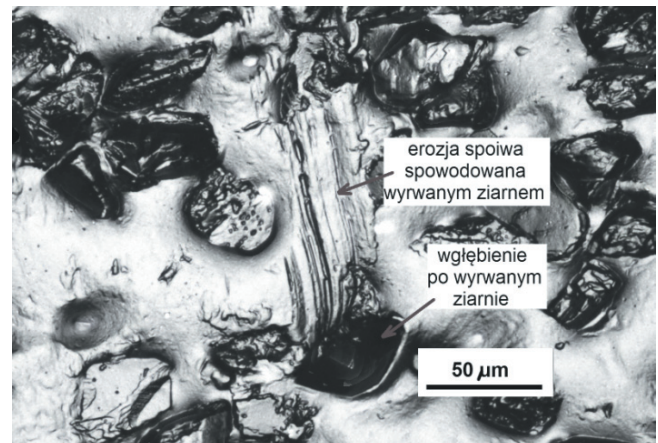
## Obserwowane formy zużycia CPS

Bezpośrednia obserwacja mikroskopowa CPS wszystkich ściernic po zakończeniu procesów szlifowania pozwoliła na rozpoznanie następujących form zużycia:

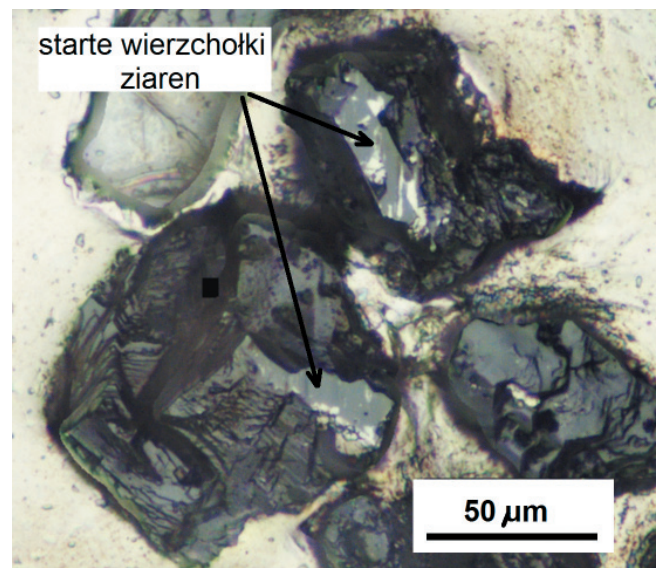
- wykruszania ziaren (rys. 3) – dominująca forma zużycia wszystkich badanych ściernic. Ze względu na nieregularny kształt ziaren nowych oraz zbyt małe powiększenie uzyskiwane za pomocą mikroskopu nie było możliwe zaobserwowanie mikrowykruszeń,
- wyrwania ziaren (rys. 4) – forma zużycia ściernic obserwowana na wszystkich ściernicach; najrzadziej występująca na ściernicy o prędkości obrotowej 8000 obr/min,
- ścierania ziaren (rys. 5) – stosunkowo rzadko obserwowana forma zużycia ziaren na ściernicy o największej prędkości obrotowej,
- zalepiania CPS (rys. 6) – występującego na wszystkich badanych ściernicach.



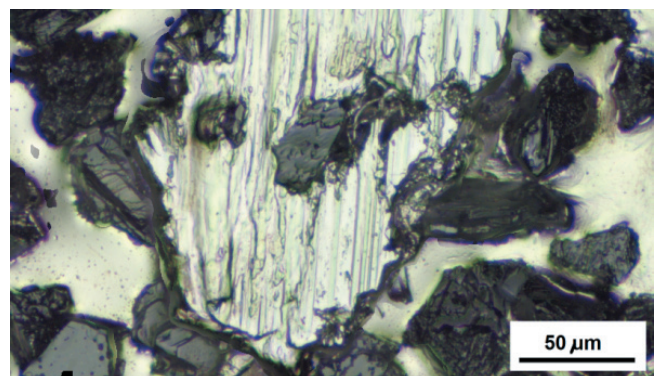
Rys. 3. Przykład wykruszenia ziarna: a) ziarno nowe, b) ziarno z makrowykruszeniami



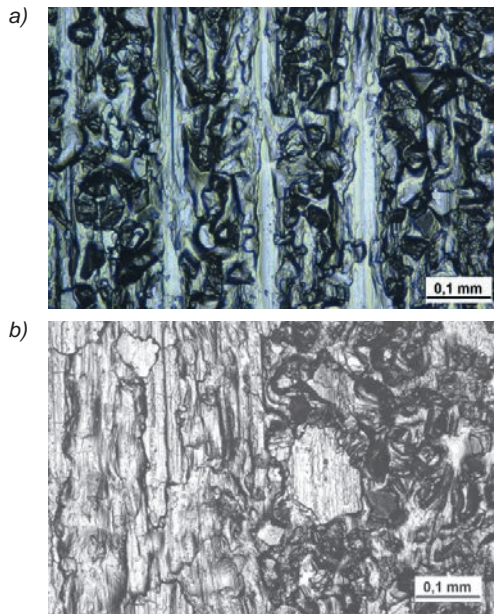
Rys. 4. Przykład wyrwania ziarna



Rys. 5. Przykład starcia ziaren cBN



Rys. 6. Zalepianie na czynnej powierzchni ściernicy



Rys. 7. Zdzieranie ścierniwa: a) początkowa faza z wąskimi pasami zdarłego ścierniwa, b) rozległy ubytek ścierniwa (po lewej)

W przypadku ściernicy o najmniejszej prędkości obrotowej testy prowadzono na tyle długo, że pojawiły się pasma z całkowicie usuniętym ścierniwem, rozłożone równoległe do wektora prędkości szlifowania (rys. 7).

### Zmiana parametrów topografii CPS wraz ze zużyciem

Do analizy topografii CPS wybrano parametry, które w innych badaniach poświęconych ściernicom z cBN ze spoiwem nanoszonym metodą galwaniczną wykazały największą zdolność klasyfikacyjną między ściernicą nową a zużytą oraz największą „czułość” na zużycie, tj.:  $V_{mp}$ ,  $S_{bi}$ ,  $S_{ci}$  oraz  $S_{sk}$  [7]. Na rys. 8 przedstawiono przebieg wartości tych parametrów w zależności od objętości usuniętego materiału. Każdy punkt pomiarowy na wykresie powstał po uśrednieniu wartości wyznaczanego parametru dla sześciu powierzchni na określonej ściernicy.

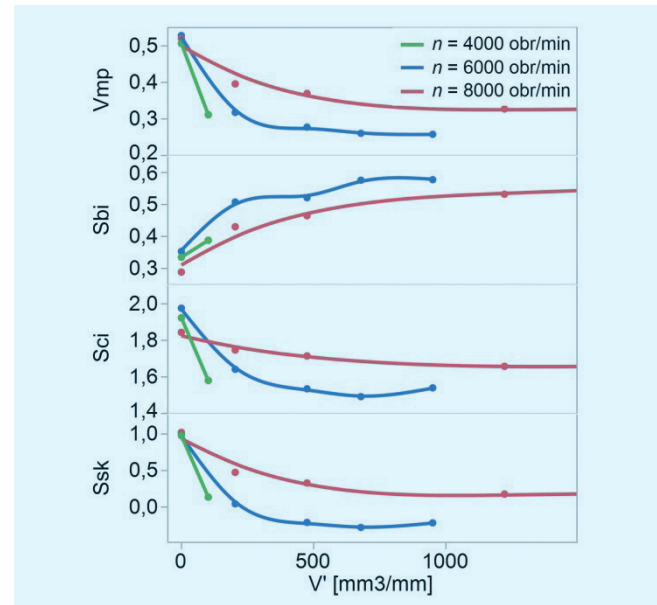
Dla wszystkich ściernic wraz z objętością usuniętego materiału wartości parametrów  $V_{mp}$ ,  $S_{ci}$  oraz  $S_{sk}$  spadają. W przypadku ściernic pracujących z prędkościami obrotowymi 6000 i 8000 obr/min widoczne jest, że intensywność zmian wartości parametrów jest większa w początkowej fazie testów. Dla ściernicy z  $n = 4000$  obr/min nie można zweryfikować tej obserwacji ze względu na zbyt małą liczbę zbadanych stanów CPS ze względu na jej bardzo szybkie zużycie. Można jednak ustalić, że mniejsza prędkość szlifowania jest związana z większą intensywnością spadku wartości omawianych parametrów.

Parametr  $V_{mp}$  informuje o objętości najwyższych wzniesień. Jego zmniejszenie może być spowodowane wrywaniem najwyższych ziaren, wykruszaniem wierzchołków ziaren lub ich ścieraniem.

Wskaźnik zatrzymania cieczy przez rdzeń  $S_{ci}$  jest związany z objętością pustek w strefie rdzenia oraz średnią kwadratową nierównością powierzchni. Jego zmniejszenie wynika prawdopodobnie z występowania zalepień, a przede wszystkim ze zmniejszenia wysokości strefy rdzenia spowodowanego wykruszaniem lub ścieraniem ziaren.

Wartość parametru  $S_{sk}$  (wskaźnika asymetrii powierzchni) wskazuje na dominowanie wzniesień ( $S_{sk} > 0$ ) lub wgłębień ( $S_{sk} < 0$ ) na powierzchni. Zmniejszenie tego parametru sugeruje, że na ściernicy dominują procesy związane z ubywaniem materiału ścierniwa.

Wartość parametru  $S_{bi}$  rośnie wraz z objętością usuniętego materiału. Może to być związane tak z obniżaniem najwyższych wzniesień, jak i z ogólnym spłaszczeniem topografii, objawiającym się zmniejszeniem parametru  $S_q$ . To z kolei wiąże się ze zużywaniem się ściernicy i wyraża w kategoriach parametrów wysokościowych i objętościowych.



Rys. 8. Wartości wybranych parametrów topografii czynnych powierzchni ściernic szlifujących dla różnych prędkości obrotowych  $n$  w zależności od właściwego ubytku materiału  $V'$

### Podsumowanie

Prędkość obrotowa ściernicy podczas badań miała znaczący wpływ na wartości składowych siły szlifowania. Różne warunki obciążenia ziaren wpływały na intensywność zużycia.

Zużycie CPS odzwierciedla się w zmianach topografii powierzchni, które można śledzić za pomocą parametrów ilościowych. Dla żadnego z analizowanych parametrów topografii CPS nie można było określić, że ściernice wchodzi w fazę intensywnego zużycia po przekroczeniu jakiejś granicznej wartości tego parametru.

### LITERATURA

1. Ghosh S., Paul S., Chattopadhyay A. "Experimental investigations on grindability of bearing steel under high efficiency deep grinding (HEDG)". *International Journal of Abrasive Technology*. 2, 2 (2009): s. 154-172.
2. Shi Z. "Grinding with electroplated cubic boron nitride (CBN) wheels". Praca doktorska. Amherst: University of Massachusetts, 2004.
3. Ding W. i in. "Grindability and surface integrity of cast nickel-based superalloy in creep feed grinding with brazed CBN abrasive wheels". *Journal of Aeronautics*. 23, 4 (2010): s. 501-510.
4. Pal A. i in. "Performance study of brazed type cBN grinding wheel on hardened bearing steel and high speed steel". *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*. 13, 5 (2012): s. 649-654.
5. Ichida Y. i in. "Formation mechanism of finished surface in ultrahigh-speed grinding with cubic boron nitride (cBN) wheels". *JSME International Journal Series C Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing*. 49, 1 (2006): s. 100-105.
6. Burrows J. i in. "Grinding of Inconel 718 and Udimet 720 using superabrasive grinding points mounted on a high speed machining centre". *Proceedings of the 33rd International MATADOR Conference: Formerly The International Machine Tool Design and Research Conference* (2000).
7. Kawalec A., Bazan A., Krok M., Chmielik I. „Porównanie wyników badań stykowych dotyczących parametrów topografii CPS ściernic z CBN zmieniających się wraz z jej zużyciem”. *XXXVIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Mechanik*. 87, 8-9 (2015): CD s. 190-193. ■