

	Organizatorzy: Politechnika Łódzka Wydział Mechaniczny	XXXVIII NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKI ŚCIERNEJ Łódź - Uniejów 09-11.09.2015	
	• Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn • Katedra Technologii Maszyn		

Ocena właściwości użytkowych ściernic supertwardych ze spoiwem metalowym na podstawie stereometrycznych parametrów CPS

Assessment of metal-bonded super-hard grinding wheels performances on the basis of stereometric parameters of cutting surface of grinding wheel

ANDRZEJ GOŁĄBCZAK
MARCIN GOŁĄBCZAK
ROBERT ŚWIĘCIK
MARCIN GALANT
DARIUSZ KACZMAREK *

DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.354

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczące oceny stanu zużycia i zdolności skrawnych ściernic supertwardych ze spoiwem metalowym na podstawie stereometrycznych parametrów czynnej powierzchni ściernicy (CPS). Zużycie ściernic określono na podstawie profilogramów poprzecznych CPS, a ocenę ich zdolności skrawnych w oparciu o stereometryczne parametry CPS, w tym: licznosc ziaren ściernych, licznosc ostrzy statycznych S_n , ostrzy kinematycznych H_n i niezdeformowaną grubość wiórów T_n .

SŁOWA KLUCZOWE: ściernice supertwarde, czynna powierzchnia ściernicy, zużycie ściernic, zdolność skrawna

In the paper investigation results concerning assessment of wear and cutting abilities of metal-bonded super-hard grinding wheels on the base of stereometric parameters of cutting surface of grinding wheel have been presented. Wear of grinding wheels has been estimated basing on lateral profilograms of CSGW, however their cutting ability basing on stereometric parameters of CSGW, including: amount of abrasive grains, static cutting edges S_n , kinematical edges H_n and undeformed thickness of chips T_n .

KEYWORDS: super-hard grinding wheels, cutting surface of grinding wheels (CSGW), wear of wheel, cutting ability

Wprowadzenie

Parametry charakterystyki technicznej ściernic, takie jak: ziarnistość, twardość, struktura, rodzaj spoiwa, mają istotne znaczenie dla użytkowników i producentów ściernic, zwłaszcza przy identyfikacji ściernic oraz ich doborze do realizowanych operacji szlifierskich. Ocena właściwości użytkowych ściernic na podstawie ich charakterystyki technicznej jest jednak niewystarczająca, ponieważ ściernice opisane takimi samymi parametrami mogą znacząco różnić się właściwościami użytkowymi [2, 5, 11]. Te rozbieżności spowodowane są m.in. zróżnicowaniem procesów technologicznych wytwarzania ściernic, właściwościami materiałów ściernych i spoiwowych oraz dużymi tolerancjami parametrów opisujących charakterystykę techniczną ściernic. Z tych też powodów, w porównywalnych warunkach szlifowania ściernicami o podobnej charakterystyce technicznej, nie uzyskuje się powtarzalnych wyników szlifowania oraz obserwuje się zróżnicowane procesy zużycia czynnej powierzchni ściernic (CPS). Konsekwencją zużycia CPS jest utrata zdolności skrawnych ściernicy, objawiająca się m.in. zmniejszeniem wydajności szlifowania oraz pogorszeniem jakości wyników szlifowania [2, 5].

Racjonalne i ekonomiczne wykorzystanie ściernic supertwardych ze spoiwem metalowym w procesie szlifowania uzasadnia uzupełnienie charakterystyki technicznej ściernic dodatkowymi, miarodajnymi parametrami oceny ich właściwości użytkowych. W literaturze można spotkać wiele różnych metod i parametrów opisujących w sposób pośredni lub bezpośredni właściwości użytkowe, w tym zdolności skrawnych ściernic supertwardych [1, 3, 6]. Do parametrów pośredniej oceny właściwości użytkowych ściernic zalicza

* prof. dr hab. inż. Andrzej Gołąbczak (andrzej.golabczak@p.lodz.pl)
 dr inż. Marcin Gołąbczak (marcin.golabczak@p.lodz.pl)
 dr inż. Robert Święcik (robert.swiecik@p.lodz.pl)
 mgr inż. Marcin Galant
 mgr inż. Dariusz Kaczmarek

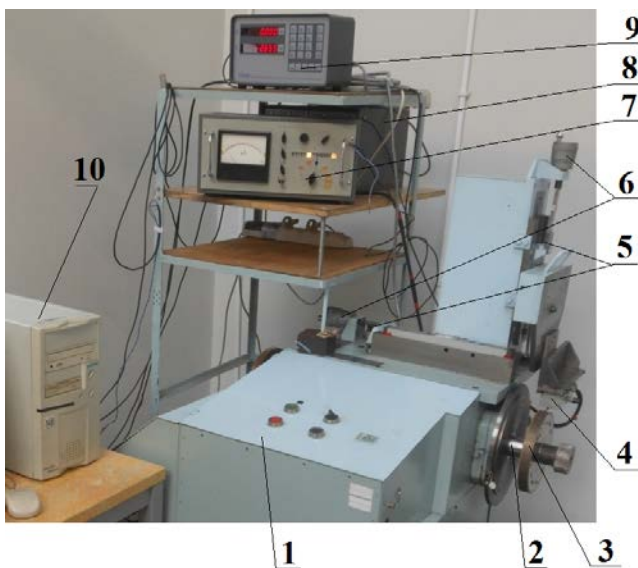
się m.in.: składowe siły szlifowania, moc szlifowania, energochłonność właściwą, temperaturę szlifowania, drgania, poziom emisji akustycznej oraz wskaźniki szlifowania [1, 2, 6, 7, 8, 10, 11]. Parametrami bezpośredniej oceny zdolności skrawnych są natomiast: chropowatość i falistość szlifowanej powierzchni, makrozużycie ściernicy, makro- i mikrogeometria CPS, zalepianie CPS produktami szlifowania oraz wskaźniki szlifowania testerów itp. [2, 4, 6, 10].

Celem artykułu jest sprawdzenie przydatności metody bezpośredniego profilografowania CPS oraz określonych na tej podstawie stereometrycznych parametrów CPS do oceny właściwości użytkowych ściernic supertwardych ze spoiwem metalowym. Zakres badań obejmował długotrwałe próby szlifowania płaskich próbek z materiałów trudnoobrabialnych (węglików spiekanych i stopu tytanu) ściernicami diamentowymi o charakterystyce technicznej SD 125/100 M75 i ściernicami CBN o charakterystyce CBN 125/100 M75 oraz ocenę ich zużycia i zdolności skrawnych w tych procesach. W artykule przedstawiono wybrane wyniki badań dotyczące oceny właściwości użytkowych ściernic supertwardych, które obejmują:

- ocenę zużycia promieniowego ściernic na podstawie profilogramów poprzecznych (wzdłuż tworzącej ściernicy),
- porównawczą ocenę zdolności skrawnych ściernic na podstawie zbioru stereometrycznych parametrów CPS, określanych metodą bezpośredniego profilografowania CPS wzdłuż obwodu ściernicy i komputerowej symulacji procesu szlifowania.

Metodyka i stanowisko pomiarowe do określania zbioru stereometrycznych parametrów oceny CPS

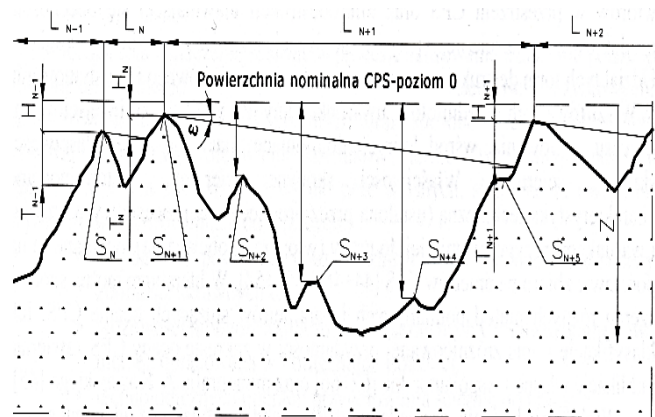
Profilografowanie ściernic wykonano na specjalnym stanowisku badawczym (profilograf do ściernic), którego widok przedstawiono na rysunku 1 [9]. Profilografowane ściernice - 3 mocuje się na końcówce wrzeciona - 2 ułożyskowanego aerostatycznie. Wrzeciono napędzane jest silnikiem krokowym, poprzez sztywne sprzęgła i trójstopniowy reduktor ślimakowy. Przekładnie ślimakowe reduktora wyposażone są w mechanizmy do samoczynnego kasowania luzów.



Rys. 1. Stanowisko do profilografowania CPS: 1 – pulpit sterowniczy, 2 – wrzeciono łożyskowane aerostatycznie, 3 – ściernica, 4 – głowica profilografu, 5 – płytki wzorcowe, 6 – śruby mikrometryczne zakończone pokrętkiem do regulacji położenia głowicy profilografu, 7 – wzmacniacz sygnału, 8 – filtr sygnałów, 9 – licznik impulsów rejestrujący odcinek obwodu CPS, 10 – komputer

Podczas profilografowania wrzeciono wraz ze ściernicą wykonuje powolny ruch obrotowy, a stożkowa końcówka pomiarowa profilografu - 4 odwzorowuje obwodowy zarys profilu CPS. Rzeczywista prędkość obrotowa wrzeciona kontrolowana jest czujnikiem fotoelektrycznym, zamontowanym na pierwszym stopniu reduktora ślimakowego. Wskazania czujnika obrazuje licznik impulsów - 9. Długość profilografowanego obwodu ściernicy ustala się wycytując zadaną liczbę impulsów w liczniku - 9. W czasie profilografowania sygnał pomiarowy z profilografu - 6 doprowadzany jest do wzmacniacza - 7 i po odfiltrowaniu przez filtr - 8 rejestrowany na dysku komputera - 10. Warunki profilografowania CPS ustalono na podstawie wcześniejszych badań [2, 4]: długość profilografowanego odcinka obwodu CPS - 200 mm, prędkość profilografowania - 16 mm/min oraz krok próbkowania sygnału pomiarowego 1,33 μm .

Opracowanie zbioru stereometrycznych parametrów CPS polega na odwzorowaniu obwodowego profilu ściernicy metodą bezpośredniego profilografowania CPS oraz komputerowej symulacji procesu szlifowania. Składowymi zbioru stereometrycznych parametrów CPS są rozkłady statystyczne następujących parametrów: licznosc ostrzy statycznych - S_N , licznosc ostrzy kinematycznych - H_N , średnia grubość niezdeformowanych wiórów - T_N [2, 9]. Geometryczną interpretację parametrów CPS tego zbioru przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Stereometryczne parametry oceny CPS, z - głębokość profilu CPS

Statyczne ostrza skrawające - S_N identyfikowane są z profilogramów CPS jako kolejne wierzchołki profilu CPS, oddzielone obustronnie wgłębieniami o minimalnej głębokości 1 μm . Ich położenie określają odległości między najwyższymi wierzchołkami ziaren a powierzchnią nominalną CPS (poziom - 0).

Aktywne ostrza skrawające - H_N identyfikowane są spośród zbioru ostrzy statycznych metodą komputerowej symulacji przenikania się CPS i szlifowanego przedmiotu (rys. 1). Warunkiem identyfikacji ostrzy aktywnych jest współczynnik symulacji procesu szlifowania - k , który dla zadanych warunków szlifowania określony jest zależnością (1).

$$k = 2 \frac{v_f}{v_s} \sqrt{\frac{a}{D_{eq}}} = \arctg \varepsilon \quad (1)$$

gdzie: v_s - prędkość obwodowa ściernicy, v_f - prędkość posuwu stołu szlifierki, D_{eq} - średnica zastępcza ściernicy, a - dosuw ściernicy.

Średnią grubość niezdeformowanych wiórów - T_N wyznaczają poszczególne ostrza kinematyczne, jako funkcję wy-

sokości ostrzy kinematycznych i odległości między nimi (rys. 1), określoną wzorem (2):

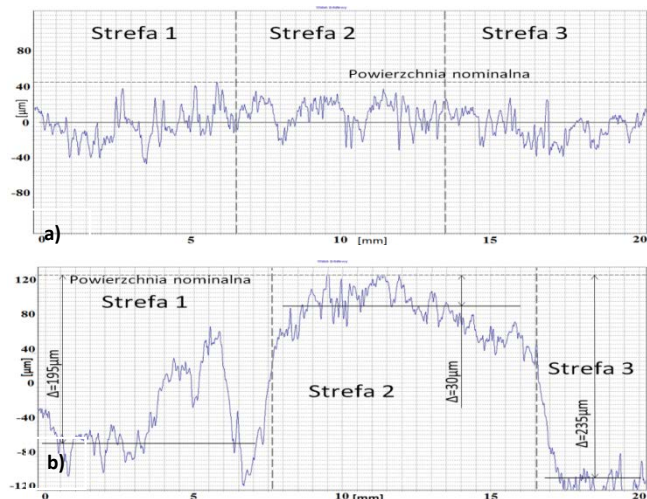
$$T_n = kL_n - (H_n - H_{n-1}) \quad (2)$$

Komputerową symulację procesu szlifowania przeprowadzono za pomocą programu ESTPOINT, w wyniku której opracowano histogramy statystycznych rozkładów stereometrycznych parametrów CPS. W symulacji komputerowej uwzględniono rzeczywiste warunki szlifowania zastosowane w długotrwałych próbach szlifowania płaskich próbek z węglików spiekanych i ze stopu tytanu tymi ściernicami, a mianowicie: prędkość szlifowania $v_s = 30$ m/s, posuw wzdłużny $v_f = 0.5$ m/min, dosuw szlifowania $a = 0.03$ mm.

Ocena właściwości użytkowych ściernic diamentowych

Prezentowane wyniki badań dotyczą porównawczej oceny właściwości użytkowych dwóch ściernic ze ścierniwi diamentowych o charakterystyce technicznej SD 125/100 M75, z których pierwsza była ściernicą „ostrą”, natomiast druga ściernicą „stępioną” w długotrwałych próbach szlifowania elektroerozyjnego AEDM węglików spiekanych.

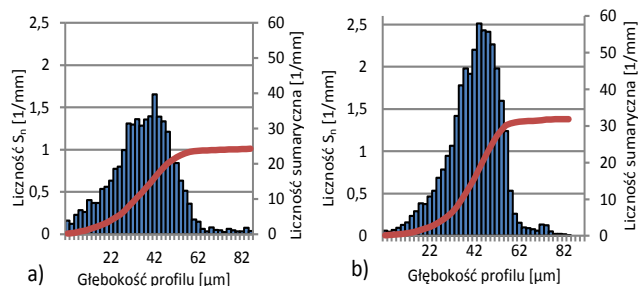
Ocenę promieniowego makrozużycia ściernic dokonano na podstawie profilogramów CPS wzdłuż profilu poprzecznego ściernicy (wzdłuż tworzącej), których przykłady przedstawiono na rysunku 3. Profilogram dla ściernicy „ostrej” (rys. 3a) charakteryzuje się prostoliniowym zarysem CPS, natomiast dla ściernicy „stępionej” ujawnia trzy strefy jej zużycia promieniowego (rys. 3b), powstałego wskutek długotrwałych prób szlifowania elektroerozyjnego wąskich próbek (o szerokości 4 mm) z węglików spiekanych. Określone tą metodą wartości promieniowego makrozużycia ściernicy wynoszą odpowiednio: 195 μm - w strefie 1, 30 μm - w strefie 2 oraz 235 μm - w strefie 3.



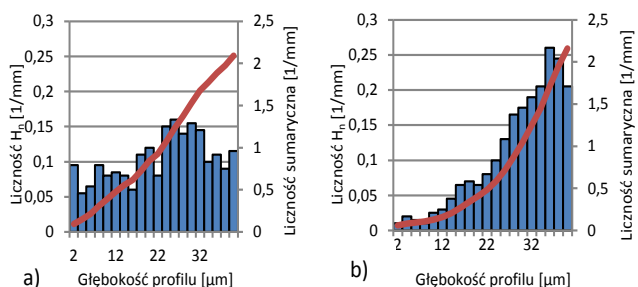
Rys. 3. Porównanie profilogramów poprzecznych CPS ściernic SD 125/100 M75: a) ściernicy „ostrej”, b) ściernicy „stępionej”

Uwzględniając strefowy charakter zużycia profilu poprzecznego ściernic dokonano porównawczej oceny ich stereometrycznych parametrów CPS, tj. dla ściernicy „ostrej” i „stępionej”. W tym celu wykonano profilografowanie obwodowe CPS w poszczególnych strefach tych ściernic oraz komputerową symulację procesu szlifowania. Przykładowe histogramy stereometrycznych parametrów CPS, dotyczące porównania ściernicy „ostrej” (strefa 2) i ściernicy „stępionej” (strefa 3), przedstawiono na rysunkach 4-6.

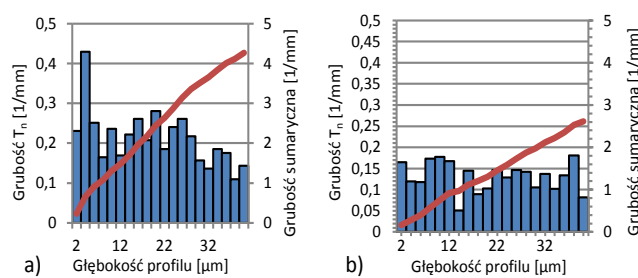
Analiza porównywanych histogramów rozkładu stereometrycznych parametrów CPS ujawniła istotne różnice jakościowe i ilościowe pomiędzy tymi ściernicami. Stwierdzono, że dla ściernicy „stępionej” w długotrwałych próbach szlifowania elektroerozyjnego zwiększa się sumaryczna licznosc statycznych krawędzi skrawających S_n o około 22%, w porównaniu do ściernicy „ostrej” (rys. 4).



Rys. 4. Histogramy rozkładu statycznych krawędzi skrawających S_n dla ściernic SD 125/100 M75: a) ściernicy „ostrej” (strefa 2), b) ściernicy „stępionej” (strefa 3)



Rys. 5. Histogramy rozkładu aktywnych krawędzi skrawających CPS H_n dla ściernic SD 125/100 M75: a) ściernicy „ostrej” (strefa 2), b) ściernicy „stępionej” (strefa 3)



Rys. 6. Histogramy rozkładu grubości niezdeformowanych wiórow T_n dla ściernic SD 125/100 M75: a) ściernicy „ostrej” (strefa 2), b) ściernicy „stępionej” (strefa 3)

Dla ściernicy „ostrej” obserwuje się jednak większą licznosc statycznych krawędzi, które skupione są w pobliżu powierzchni nominalnej CPS oraz w strefie rzeczywistej głebokosci szlifowania ($a < 0,03$ mm). Dla ściernicy „stępionej” natomiast wzrost licznosci krawędzi statycznych występuje na większej głebokosci profilu CPS ($a > 0,03$ mm), a więc już poza strefą szlifowania. Krawędzie te nie uczestniczą w procesie szlifowania i formowaniu wiórow. Te różnice obrazują również dystrybuanty licznosci statycznych krawędzi w tych rozkładach. Dla ściernicy „ostrej” dystrybuanta rozkładu ma bowiem charakter progresywny, natomiast dla ściernicy „stępionej” degresywny.

Analiza histogramów rozkładu aktywnych krawędzi skrawających (rys. 5) oraz grubosci niezdeformowanych wiórow (rys. 6) wskazuje na istotne pogorszenie właściwości

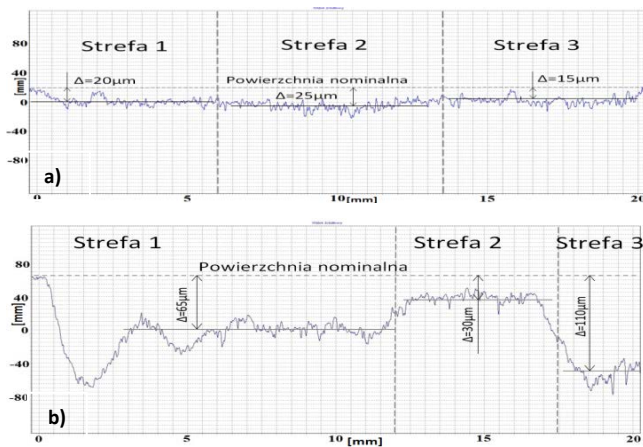
skrawnych CPS ściernicy „stępionej”, w porównaniu do ściernicy „ostrej”. Świadczy o tym m.in. zmniejszenie o około 33% liczności aktywnych krawędzi skrawających w strefie głębokości szlifowania ($a < 0,03$ mm) oraz zmniejszenie średniej grubości niezdeformowanych wiórów o około 45%, w porównaniu do ściernicy „ostrej”. Ponadto, dystrybuanta rozkładu tych dwóch parametrów oceny CPS ma charakter progresywny dla ściernicy „ostrej”, natomiast dla ściernicy „stępionej” ma przebieg degresywny. Podobne tendencje zmian stereometrycznych parametrów CPS w ukształtowaniu CPS ujawniły się także w pozostałych dwóch strefach zużycia ściernicy „stępionej”.

Ocena właściwości użytkowych ściernic CBN

Przedstawione wyniki dotyczą porównawczej oceny właściwości użytkowych dwóch ściernic o charakterystyce technicznej CBN 125/100 M75, z których pierwsza oznaczona jako CBN 1 była użytkowana w krótkotrwałych próbach szlifowania i traktowana jako „ostra”, natomiast druga oznaczona jako CBN 2 była ściernicą „stępioną” w długotrwałych próbach elektroerozyjnego szlifowania AEDM stopu tytanu.

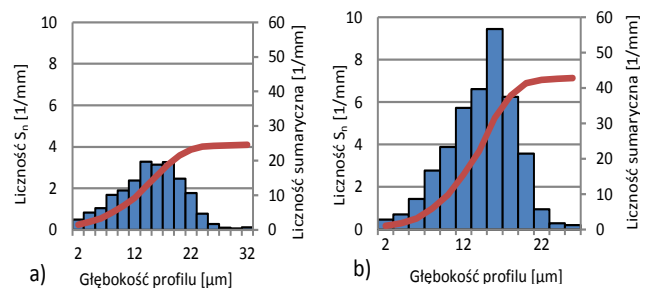
Określono promieniowe makrozużycie tych ściernic na podstawie profilogramów CPS wzdłuż profilu poprzecznego, które przedstawiono na rysunku 7. Wartości promieniowego zużycia ściernic oszacowane tą metodą wynoszą w poszczególnych strefach CPS odpowiednio:

- dla ściernicy CBN 1: 20 μm w strefie 1, 25 μm w strefie 2, 15 μm - w strefie 3,
- dla ściernicy CBN 2: 65 μm w strefie 1, 30 μm w strefie 2, 110 μm - w strefie 3.

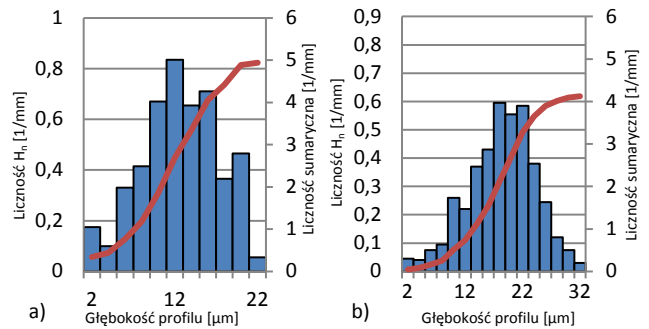


Rys. 7. Porównanie profilogramów poprzecznych CPS dla ściernic CBN 125/100 M75: a) ściernica „ostra”, b) ściernica „stępiona”

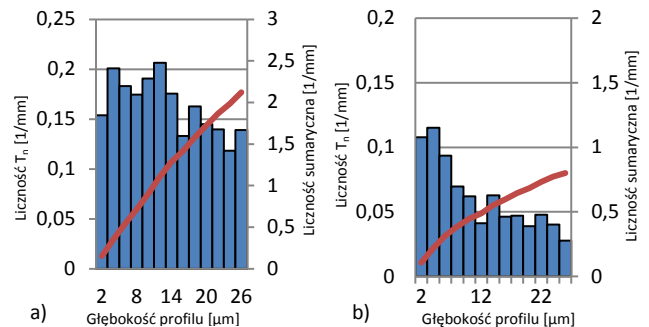
Zdolności skrawne ściernic oceniano na podstawie profilogramów obwodowych wykonanych dla poszczególnych stref CPS oraz komputerowej symulacji procesu szlifowania. Przykładowe histogramy stereometrycznych parametrów CPS, dotyczące porównania ściernicy „ostrej” - CBN 1 (strefa 2) oraz ściernicy „stępionej” - CBN 2 (strefa 3), przedstawiono na rysunkach 8÷10.



Rys. 8. Histogramy rozkładu statycznych krawędzi skrawających S_n dla ściernicy CBN 125/100 M75: a) ściernica „ostra” (strefa 2), b) ściernica „stępiona” (strefa 3)



Rys. 9. Histogramy rozkładu aktywnych krawędzi skrawających CPS H_n dla ściernicy CBN 125/100 M75: a) ściernica „ostra” (strefa 2), b) ściernica „stępiona” (strefa 3)



Rys. 10. Histogramy rozkładu grubości niezdeformowanych wiórów T_n dla ściernicy CBN 125/100 M75: a) ściernica „ostra” (strefa 2), b) ściernica „stępiona” (strefa 3)

Porównanie histogramów stereometrycznych parametrów CPS ujawnia różnice ilościowe i jakościowe między tymi ściernicami. Stan CPS dla ściernicy „stępionej” (CBN 2) w długotrwałych próbach szlifowania elektroerozyjnego charakteryzuje się większą licznnością sumaryczną statycznych krawędzi skrawających (wzrost o około 20%), w porównaniu do ściernicy „ostrej” (CBN 1). Statyczne krawędzie skrawające dla ściernicy „ostrej” (CBN 1) zgrupowane są w pobliżu nominalnej powierzchni CPS, natomiast dla ściernicy „stępionej” (CBN 2) są rozproszone na większej głębokości profilu CPS. Dystrybuanta rozkładu krawędzi skrawających dla ściernicy „ostrej” ma charakter progresywny, natomiast dla „stępionej” charakter degresywny. Niezdecydowanie różnice w wysokości położenia krawędzi statycznych dla ściernicy „stępionej” (CBN 2) powodują, że większość z nich jest nieaktywna i nie uczestniczy w procesie formowania wiórów. Potwierdzeniem tego faktu jest zmniejszenie licznności sumarycznej krawędzi aktywnych o około 20% (rys. 9) i sumarycznej średniej grubości niezdeformowanych wiórów o około 60% dla ściernicy „stępionej” (CBN 2) (rys. 10), świadczące o istotnej utracie jej zdolności

skrawnych. Utratę zdolności skrawnych ściernicy „stępionej” (CBN 2) potwierdzono także innymi metodami w realizowanych badaniach procesu szlifowania [4].

Podsumowanie

Ściernice supertwarde ze spoiwem metalowym charakteryzują się bardzo długim okresem trwałości swoich właściwości użytkowych w procesach szlifowania. W długotrwałych procesach szlifowania tymi ściernicami postępują jednak procesy zużycia CPS, których konsekwencją jest utrata zdolności skrawnych CPS. Uzasadnia to potrzebę stosowania obiektywnych metod do oceny właściwości użytkowych ściernic supertwardych.

Przeprowadzone badania potwierdziły przydatność metody bezpośredniego profilografowania CPS oraz wyznaczone na tej podstawie zbioru stereometrycznych parametrów CPS do oceny właściwości użytkowych ściernic supertwardych ze spoiwem metalowym.

Do oceny promieniowego zużycia ściernic supertwardych przydatne są profilogramy wzdłuż tworzącej profilu CPS, natomiast do oceny ich zdolności skrawnych zbior stereometrycznych parametrów CPS, obejmujący rozkłady statystyczne: statycznych krawędzi skrawających - S_n , aktywnych krawędzi skrawających - H_n oraz niezdeformowanej grubości wiórów - T_n .

LITERATURA

1. Blunt L., Ebdon S., The application of three-dimensional surface measurement techniques to characterizing grinding wheel topography, *International Journal of Materials Processing Technology*, 127(2), 234-237, 2002.
2. Gołąbczak A., Metody kształtowania właściwości użytkowych ściernic, Monografia, Politechnika Łódzka, Łódź, 2004.
3. Gołąbczak A., Kryteria oceny procesu ostrzenia ściernic ze ścierniwi supertwardych i spoiw metalowych, *Materiały XVII Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej*, PAN, Sekcja Podstaw Technologii Komitetu Budowy Maszyn, Wrocław 201-206, 1995.
4. Gołąbczak A., Święcik R., Gołąbczak M., Stańczyk B.: Badania porównawcze temperatury warstwy wierzchniej w procesie elektroerozyjnego szlifowania (AEDG) materiałów trudnoobrabialnych, *Mechanik*, 8-9, 134-137/723, 2014.
5. Hvang T. Evans C.J., Malkin S. Wheel topography and grinding mechanisms, *Transactio of the ASME*, 122(2), 242-50, 2000.
6. Kawalec A., Bazan A., Krok M., Chmielik I., Analiza wybranych parametrów ziaren ściernych CBN n podstawie pomiarów topografii, *Mechanik*, 8-9, 49-52/721, 2014.
7. Kacalak W., Szafranec F., Lipiński D., Probabilistyczna analiza aktywności ziaren ściernych na czynnej powierzchni ściernicy, *Mechanik*, 8-9, 176-185/724, 2014.
8. Karpuschewski B., Wehmeier M., Inasaki I., Grinding monitoring system based on power and acusting emission sensor. *Annals of the CIRP*, 49(1), 235-240, 2000.
9. Koziarski A., Gołąbczak A., Urbaniak M., Uniwersalne stanowisko od oceny roboczej powierzchni ściernicy, *Mechanik*, 9, 457-458, 1980.
10. Nadolny K., Plichta J., Jednoprześciowe szlifowanie ściernicami o różnicowanej budowie, Monografia, Politechnika Koszalińska, Koszalin, 2008.
11. Nguyen A.T., Butler D.L., Correlation of grinding wheel topography and grinding performance: A study from a viewpoint of three-dimensional surface characterization, *Journal of Materials Processing Technology*, 208(1-3), 14-23, 2008.