



Wytrzymałość ściernic cBN z korpusem ceramicznym i szklanokrystalicznym spoiwem w warstwie ścierniej

Strength of cBN grinding wheels with ceramic body and glass-crystalline binder in the abrasive layer

DANIELA HERMAN
 ANDRZEJ GOŁĄBCZAK
 RYSZARD DĘBKOWSKI
 WIESŁAW WALKOWIAK
 TOMASZ POBOL*

Artykuł przedstawia wyniki badań wytrzymałości ściernic cBN przeprowadzonych w warunkach obciążeń statycznych i dynamicznych. Przedmiotem badań były ściernice z korpusem ceramicznym i warstwą ścierną wykonaną z ziaren cBN i spoiwa szklanokrystalicznego. Zastosowano dwa rodzaje polikrystalicznego cBN, tj. cBN 550 i cBN 100 firmy GE Superabrasives oraz spoiwo szklanokrystaliczne o symbolu VGH2. Wykazano, że wytrzymałość na rozciąganie zależy od mikrostruktury ziaren cBN i ich odporności korozyjnej. Badania wytrzymałości dynamicznej na rozerwanie dowiodły, że ściernice spełniają wymagania bezpieczeństwa dotyczące narzędzi ściernych spojonych stawiane w normie EN-12413.

SŁOWA KLUCZOWE: polikrystaliczne ziarno ściernie, spoiwo szklano krystaliczne, korpus ceramiczny

The article presents results of testing the cBN grinding-wheel strength carried out under static and dynamic loads. The subject of study concerned the grinding wheels with the ceramic body and the abrasive layer made of cBN grains and glass-crystalline binder. Two types of polycrystalline cBN, ie cBN 550 and cBN 100, manufactured by GE Superabrasives and the glass-crystalline binder with the symbol for VGH2 were applied. It has been shown that the tensile strength depends on the microstructure of cBN grains and corrosion resistance. The dynamic breaking strength tests showed that the wheels fulfill safety requirements for bonded abrasive tools placed in the standard

dr hab. inż. Daniela Herman (daniela.herman@tu.koszalin.pl), prof. dr hab.inż. Andrzej Gołabczak (andrzej.golabczak@p.lodz.pl), dr inż. Ryszard Dębowski (Ryszard.debkowski@p.lodz.pl), dr inż. Wiesław Walkowiak (wieslaw.walkowiak@tu.koszalin.pl), inż. Tomasz Pobel (tomekpb@op.pl)

EN-12413.

KEYWORDS: polycrystalline abrasive grains, glass-crystalline binder, ceramic body

Wprowadzenie

Motywacją do badań nad technologią wytwarzania polikrystalicznego azotku boru wynika głównie z problemów występujących przy obróbce trudnoobrabialnych stopów na bazie tytanu, niklu, kobaltu i stali szybko tnących [1,2]. Polikrystaliczny azotek boru jest doskonałą alternatywą w odniesieniu do procesów z udziałem monokrystalicznego cBN, zwłaszcza do obróbki wysokoprecyzyjnej, takiej jak szlifowanie wysokoszybkosciowe czy mikroszlifowanie. W przeciwieństwie do monokrystalicznych ziaren cBN, ilość informacji dotyczących wyników badań właściwości ziaren polikrystalicznych jak i kompozytów ściernych z ich udziałem nie jest imponująca. Polikrystaliczny PcBN jest produkowany przez spiekanie cBN przy wysokim ciśnieniu (5-9 GPa) i temperaturze 1500-2000°C w obecności chemicznego katalizatora. Ziarna są połączone w polikrystaliczną matrycę materiałem wiążącym. Zastosowany materiał wiążący, wypełniający granice międzyziarnowe jest odpowiedzialny za jego wytrzymałość. W takim procesie ziarna są zorientowane przypadkowo, formując izotropowy materiał. PcBN jest zwykle klasyfikowany na dwie grupy; - z wysoką zawartością cBN (80-90%) i wielkością ziaren 0,5-10 μm i z niską zawartością cBN (45-60%) i wielkością ziaren mniejszą niż 2 μm [3].

W odpowiedzi na rosnący popyt na cBN opracowano niedawno nowe rodzaje ziaren polikrystalicznych o submikronowej i nanometrycznej wielkości kryształków oraz wysokiej odporności na kruche pękanie [4,5].

Niezwykłe właściwości fizyko-mechaniczne i chemiczne, takie jak stabilność termiczna i chemiczna, wysoki moduł E, wysoka twardość regularnego azotku boru w połączeniu z mikrokryształiczną strukturą umożliwiającą szlifowanie w warunkach tzw. zużycia wytrzymałościowego powodują że, materiały te są wyjątkowo atrakcyjne. Zarówno monojak i polikryształiczny cBN jest doskonałym materiałem do wytwarzania różnego rodzaju kompozytów, materiałów narzędziowych i kompozytów ściernych. Szeroki zakres zastosowania narzędzi z cBN wymaga stosowania różnych systemów wiązań ziaren ściernych galwanicznych, metalicznych, żywicznych, ceramicznych, wśród których jedynie ceramiczne wiązania ułatwiają ciągłe samoostrzenie ściernicy. Dotychczasowe rozwiązania technologiczne w tym obszarze dotyczą przede wszystkim wykorzystaniu ziaren cBN o budowie monokryształicznej [6,7,8]. Z nielicznych publikacji dotyczących badań właściwości ceramicznych narzędzi z udziałem PcBN wynika szereg korzyści ich zastosowania, przede wszystkim niższe zużycie narzędzi dzięki większej skali mikrospękań ziarnowych w PcBN niż w McBN[9,10]. Sunatra [11] stosując narzędzia ścierne z submikrokryształicznego azotku boru do szlifowania stopów na bazie niklu zredukował siły szlifowania w porównaniu do monokryształicznego cBN o 30-40% a wskaźnik szlifowania był czterokrotnie wyższy.

Niestety, wysoka cena tych ziaren często ogranicza zakres ich wykorzystania mimo, że wysokie koszty mogą być zredukowane zarówno przez wyższe wydajności i jakość obrabianych powierzchni. Wychodząc naprzeciw tym ograniczeniom firma GE Superabrasives oferuje znacznie tańsze ziarna z polikryształicznego cBN100. W niniejszym artykule przeprowadzono wstępną ocenę właściwości mechanicznych narzędzi ściernych z ziarnem cBN100 w porównaniu do dobrze znanego już ziarna cBN550 z udziałem szkła krystalicznego materiału wiążącego.

Metodyka eksperymentu

Do wykonania kształtek ściernych, stanowiących warstwę ścierną ściernicy cBN na korpusie ceramicznym użyto dwóch gatunków ziarna polikryształicznego cBN100 100/120, cBN 550 100/120 firmy GE Superabrasives i spoiwa szkła krystalicznego VGH2 [12]. Do wytworzenia korpusu ceramicznego zastosowano ziarno elektrokorundowe 99A100 firmy Norton. Najważniejsze właściwości tych materiałów przedstawiono w tablicy 1.

Tab. 1. Wybrane właściwości materiałów zastosowanych do wytwarzania kształtek ściernych

	cBN / Borazon	$\alpha - Al_2O_3 / 99A$	VGH2
Rodzaj materiału	Mikrokrystaliczny	Polikryształiczny	Spoiwo szkła krystaliczne
Rola	Supertwarde ziarno ścierne	Wypełniacz, Materiał korpusu	Materiał wiążący warstwę ścierną i korpus
Gęstość [g/cm ³]	3,48	3,96	2,74
Rozszerzalność cieplna α [1/K], T = 297 ÷ 700 K	$4,8 \cdot 10^{-6}$	$8,6 \cdot 10^{-6}$	$4,8 \cdot 10^{-6}$
Twardość [GPa]	50 – 70	22 ± 2	6 – 7

Współczynnik odporności na krusze pękanie K_{Ic} [MPa m ^{1/2}]	6 – 9	2,5	1,81
--	-------	-----	------

Z materiałów tych wykonano serię kształtek ściernych o następującej charakterystyce:

- a) 1A8-35 x10 x10 cBN550-B151-C100 Q6 VGH2
- b) 1A8-35 x10 x10 cBN100-B151-C100 Q6 VGH2

kształtki ścierne z cBN bez korpusu ceramicznego:

- c) 1A8-25 x10 x10 cBN550-B151-C100 Q6 VGH2
- d) 1A8-25 x10 x10 cBN100-B151-C100 Q6 VGH2

kształtki ścierne z cBN bez korpusu ceramicznego

- e) 15 x10 x10 cBN550-B151-C100 Q6 VGH2
- f) 15 x10 x10 cBN100-B151-C100 Q6 VGH2

kształtki na korpus ceramiczny

- g) 15x10x10 99A100 Q6 VGH2

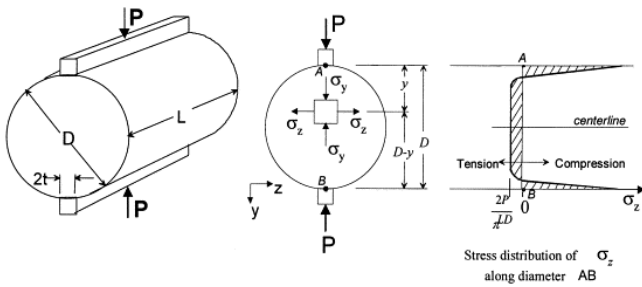
Kształtki a-d przeznaczone są do badań wytrzymałości dynamicznej, natomiast kształtki e-g do badań wytrzymałości na rozciąganie w warunkach statycznych. Temperaturę obróbki termicznej zaprojektowanych kształtek dobierano na podstawie wartości kąta zwilżania określonego w mikroskopie wysokotemperaturowym firmy Leitz w zakresie temperatur od 20 do 1100°C. Proces wypalania kształtek ściernych przeprowadzono w piecu komorowym PK-4/1700 (kanthal Super 1800 4/9), regulator/programator temperatury typ PRT911, mikroprocesorowy, programowalny PID. Obserwacje mikrostruktury ściernicy dokonano w elektronowym mikroskopie skaningowym JEOL JSM-5500 LY Japonia. Analizę TG wykonano przy użyciu analizatora termicznego firmy MOM Węgry systemu F. Paulik, J. Paulik, L. Evoley, Tmax=1000°C, czułość wagi = 20÷2000mg, obciążenia maksymalne = do 10g, zakres nastaw DTA i DTG = 1/1÷1/200. Analizę XRD wykonano na aparacie SIEMENS D5000, promieniowanie CuK α , monochromator grafitowy, napięcie lampy = 40kV, natężenie lampy = 35mA, przesłony: S1=1,0mm, S2=2,0mm, S3=0,2mm, krok = 0,04°, czas zliczeń = 5s, rotacja próbki = 15RPM, zakres pomiaru = 10÷60°.

Badania wytrzymałości mechanicznej na rozciąganie (metoda DCT) prowadzono na maszynie wytrzymałościowej Tensometer typ W firmy Monsanto UK, wyposażonej w komponenty pomiarowe firmy HBM (wzmacniacz pomiarowy dwukanałowy MP85A oraz czujniki siły i drogi). Próbkę umieszczano pomiędzy płytkami mocującymi i rozpoczynano ściskanie z prędkością 1,6 mm/min. Wartość niszczących naprężeń rozciągających wyznacza się z zależności:

$$\sigma_{max} = \frac{2P}{\pi DL} [Pa] \quad (1)$$

gdzie: P – siła, przy której nastąpiło zniszczenie próbki [N]; D – średnica próbki [m]; L – grubość próbki [m].

Metoda ta polega na średnicowym ścisaniu walcowej próbki umieszczonej pomiędzy dwiema płasko równoległymi płytkami. W wyniku przyłożonego obciążenia P (rys. 1) w próbce generowane są naprężenia rozciągające, co prowadzi do zerwania próbki.



Rys. 1. Rozkład naprężeń w próbce cylindrycznej podczas ściskania. [13]

Podczas badania stosuje się serię minimum pięciu jednakowych próbek, jednak w celu uwiarygodnienia wyników zwiększa się ich ilość [13].

Badania wytrzymałości dynamicznej zostały przeprowadzone na stanowisku o symbolu RS 20-70 skonstruowanym w Instytucie Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn PŁ, przeznaczonym do badania wytrzymałości dynamicznej ściernic małogabarytowych i trzpieniowych, wyposażonym we wrzeciono łożyskowane aerostaticznie i napęd turbiny. Maksymalna rozwijana przez wrzeciono prędkość obrotowa wynosi ok. 100 tys. obr/min. Prędkość obrotowa wrzeciona regulowana jest bezstopniowo poprzez zmianę ciśnienia powietrza kierowanego na turbinę a jej pomiar zapewnia czujnik optoelektroniczny. Wymaganiom bezpieczeństwa dotyczących narzędzi ściernych spojonych poświęcono niewiele prac [14].

Wymagania wytrzymałościowe stawiane ściernicom opisuje norma PN-EN-12413:2008 „Wymagania bezpieczeństwa dotyczące narzędzi ściernych spojonych”. W normie tej za kryterium spełnienia wymagań wytrzymałościowych przyjmuje się dwa współczynniki:

- **współczynnik bezpieczeństwa ze względu na rozerwanie pod wpływem siły odśrodkowej** S_{br} , określane jako kwadrat ilorazu prędkości rozerwania v_{br} i największej dopuszczalnej prędkości roboczej v_s – wzór (1)

$$S_{br} = \left(\frac{v_{br}}{v_s} \right)^2 \quad (2)$$

- **współczynnik prędkości rozerwania** f_{br} , będący ilorazem najmniejszej prędkości rozerwania $v_{br \min}$ i największej prędkości roboczej v_s – wzór (2)

$$f_{br} = \frac{v_{br \min}}{v_s} \quad (3)$$

Użyte we wzorach trzy pojęcia odnoszące się do prędkości ściernicy mają następujące znaczenie:

- **największa prędkość robocza** v_s – jest to największa dopuszczalna prędkość obwodowa obracającej się ściernicy,
- **prędkość rozerwania** v_{br} – jest to prędkość obwodowa, przy której ściernica uległa rozerwaniu pod wpływem siły odśrodkowej,
- **najmniejsza prędkość rozerwania** $v_{br \min}$ – prędkość obwodowa, którą ściernica co najmniej powinna osiągnąć bez rozerwania pod wpływem siły odśrodkowej.

Wymagane wartości współczynników określonych wzorami (2) i (3) norma ustala w zależności od typu ściernicy i rodzaju stosowanej szlifierki. Ściernicę uznaje się za spełniającą wymagania wytrzymałościowe, jeśli z pozytywnym wynikiem przejdzie próbę prędkości rozerwania, tj. osiągnie najmniejszą prędkość rozerwania $v_{br \min}$ bez rozerwania.

Próba polega na obciążaniu ściernicy siłą odśrodkową wywołaną przez równomiernie wzrastającą prędkość obrotową, aż do osiągnięcia najmniejszej prędkości rozerwania, wynikającej z wymaganej wartości wskaźnika f_{br} . Próbę taką można przeprowadzić jednokrotnie dla pojedynczej sztuki ściernicy.

Dyskusja wyników badań

■ Korozja ziarna a zwilżanie spoiwem szklanokrystalicznym

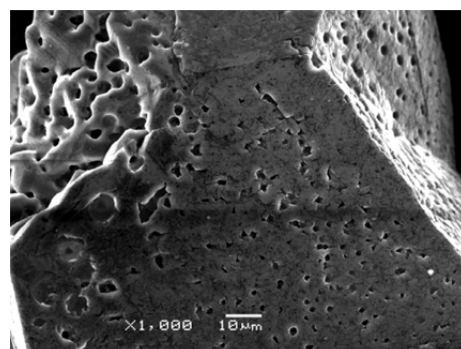
Warunkiem prawidłowo ukształtowanej struktury ściernicy ceramicznej jest wytworzenie ciągłego systemu mostków wiążących ziarna ściernic. Układ ten zależy od zdolności zwilżania spoiwem ceramicznym ziaren ściernych. Wytypowane do łączenia ziaren spoiwo szklano krystaliczne VGH2 z układu $ZnO-B_2O_3-Al_2O_3-SiO_2$ dobrze zwilża oba gatunki ziaren ściernych i ziarna z elektrokorundu szlachetnego (tab. 2).

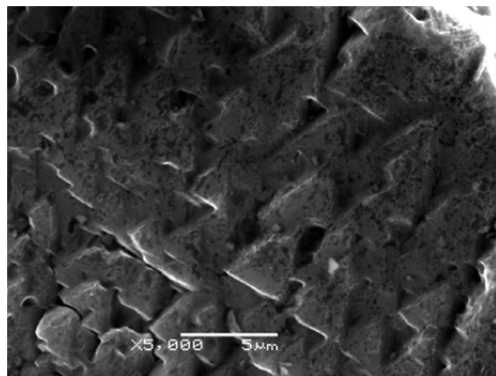
Tab. 2. Zmiana konturów spoiwa szklano krystalicznego na podłożu wykonanym z supertwardych ziaren ściernych i elektrokorundu szlachetnego

1050°C	
cBN 100	
cBN550	
99A	

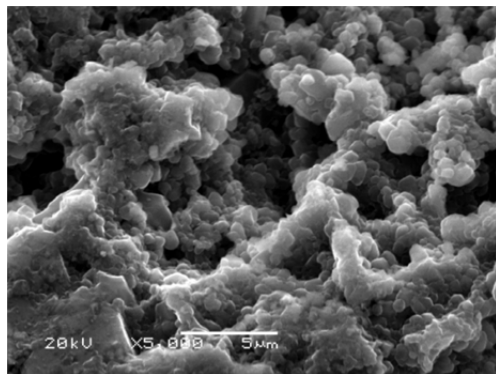
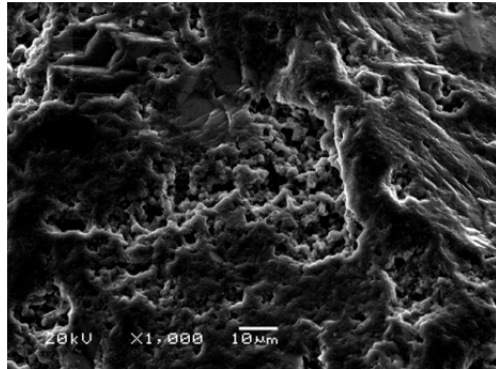
Niższy kąt zwilżania obserwuje się dla ziarna cBN100. Efekt ten związany jest ze złożonymi zjawiskami na granicy ziarno-spoivo, zależnymi od budowy strukturalnej ziarna jak i jego składu chemicznego. Ziarna cBN550 o bardziej rozwiniętej powierzchni (rys. 2b) ulegają łatwiej korozji, tworząc warstwę B_2O_3 co potwierdzają badania termogravimetryczne przeprowadzone w zakresie stosowanych temperatur obróbki termicznej ściernic (rys. 3).

a)

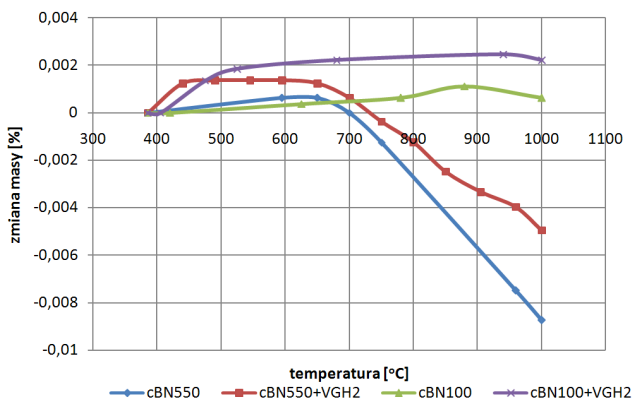




b)



Rys. 2. Mikrostruktura ziaren ściernych: a) ziarno cBN100, b) ziarno cBN550

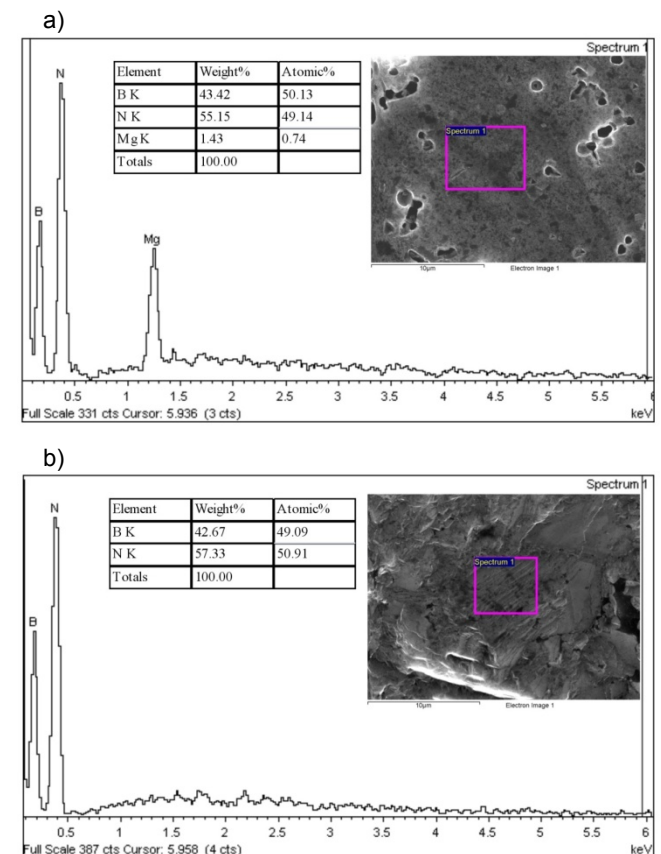


Rys.3. Nieizotermiczne zmiany masy ziaren ściernych z cBN

Z badań termogravimetrycznych wynika, że korozja ziarna cBN550 zaczyna się już w temperaturze ok. 700°C. W miarę wzrostu temperatury na skutek gazowania produktów korozji obserwuje się wyraźne straty masy. Strata masy wynosi ok. 0,01%. Dla swobodnej powierzchni ziaren cBN100 w badanym zakresie temperatur obserwuje się z kolei nieznaczny przyrost masy. Większy przyrost masy

cBN100 w obecności spoiwa w badanym zakresie temperatur może być związany z tworzeniem się nowych produktów reakcji w strefie ziarno-spoivo typu $2n\text{BN}+3\text{Me}_2\text{O}_n \rightarrow n\text{B}_2\text{O}_3+6\text{Me}+n\text{N}_2$. Niezbędna zatem w przyszłości będzie analiza identyfikacyjna możliwych produktów reakcji.

Powierzchnia ziarno cBN100 jest bardziej stabilna w badanym zakresie temperatur. Przyczyna takiego zachowania się ziarna jest jego budowa strukturalna i skład chemiczny, będące efektem rodzaju syntezy, najprawdopodobniej w obecności katalizatora Mg_3N_2 , Mg i $\text{Li}_3\text{N-B}$ [15,16,17]. Obecność Mg wynikająca z rodzaju zastosowanego katalizatora w tym ziarnie, wykazały badania przeprowadzone w mikroanalizatorze rentgenowskim (rys. 4).



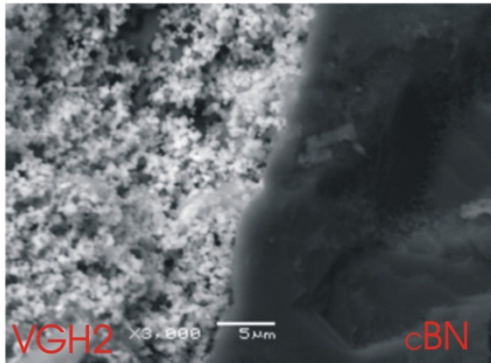
Rys. 4. Analiza składu chemicznego ziarna: a) cBN100, b) cBN550

Biorąc pod uwagę wartości kątów zwilżania ziaren cBN i 99A i na podstawie przeprowadzonej serii badań wytrzymałości na rozciąganie w warunkach statycznych kształtek z 99A i spoiwem szklanokrystalicznym ($\sigma_r = 22,15\text{MPa}$), ustalono parametry obróbki termicznej wszystkich kształtek ściernych i korpusu na 1050°C /2h.

Wpływ budowy strukturalnej ziaren na wytrzymałość mechaniczną ściernic

Fakt dekompozycji powierzchni ziarna cBN550 i bardziej drobnokrystalicznej struktury ($d \leq 1 \mu\text{m}$) ma wpływ, chociaż nieznaczny na wytrzymałość mechaniczną na rozciąganie i wynosi $\sigma_r = 21,74\text{MPa}$, natomiast dla kształtek ściernych z cBN100 odpowiednio $\sigma_r = 23,05\text{MPa}$. Kryształki z cBN ($d \leq 10 \mu\text{m}$) w ziarnie cBN100 wyraźnie połączone są fazą wiążącą wypełniającą granice międzyziarnowe (rys. 2a), które mogą mieć wpływ na jego wytrzymałość. Zarówno tworzenie się cienkiej, szklistej warstwy B_2O_3 w strefie złącza (możliwa

transformacja $[BO_4] \rightarrow [BO_3]$ może mieć negatywny wpływ na wytrzymałość, ale także mniej zwarta w porównaniu do cBN100 struktura ziarna cBN550 (rys. 2b). Wpływ budowy strukturalnej szklanokrystalicznego spoiwa, zdolnego do ograniczania propagacji pęknięć, wiążącego oba gatunki ziaren ściernych, na wytrzymałość kształtek ściernych jest w tym przypadku mniej istotny. Mikrostrukturę spoiwa szklano krystalicznego ($d \leq 1 \mu m$) tworzącą się we wszystkich typach badanych kształtek ściernych i korpusu ceramicznego pokazano na rys. 5.



Rys 5. Mikrostruktura spoiwa szklano krystalicznego. Przełom ściernicy po trawieniu 10% roztworem HF

Ze względu na dobre dopasowanie współczynników rozszerzalności termicznej ziaren cBN i spoiwa (tab. 1) można wykluczyć wpływ niekorzystnych naprężeń na granicach fazowych. W przypadku granicy fazowej ziarna 99A – spoiwo współczynnik rozszerzalności termicznej spoiwa jest mniejszy od współczynnika ziarna. W takim układzie wokół „rozciągniętej” fazy ziarna generowane są styczne naprężenia ściskające i promieniowe naprężenia rozciągające, prowadzące do ewentualnego tworzenia półsferycznych pęknięć wokół ziaren, które nie tylko nie są niebezpieczne ale mogą powodować tzw. „umocnienie” strefy. Potwierdzeniem tego jest fakt wysokich dopuszczalnych największych prędkości roboczych, $v_s = 132,2$ m/s (tab. 3). Pomimo, że ściernice na korpusie ceramicznym wykonane z różnych gatunków ziaren cBN ulegają zniszczeniu przy podobnych prędkościach obrotowych, to jednak mechanizm ich pęknięcia różni się istotnie.

Przeprowadzone badania wytrzymałościowe nowego typu ściernic miały także na celu wskazanie największych prędkości roboczych v_s , z jakimi mogą być użytkowane w czasie szlifowania. Próby polegały na jednokrotnym rozpedzeniu poszczególnych ściernic do maksymalnej prędkości obrotowej, możliwej do osiągnięcia na zastosowanej w badaniach rozrywarcie. W zależności od wyniku próby, wartość największej prędkości roboczej v_s wyznaczano uwzględniając wymagane normą EN-12413 wartości współczynników f_{br} oraz S_{br} wymagane dla ściernic stosowanych na szlifierkach stacjonarnych i szlifierkach stacjonarnych całkowicie obudowanych oraz przyjmując, że badane ściernice nie będą użytkowane do przecinania ani jako wysokonaciskowe.

Badaniom poddano 6 sztuk ściernic ceramicznych typu 1 o oznaczeniach:

- 1A8-25 x10 x10 cBN100-B151-C100 Q6 VGH2
- 1A8-35 x10 x10 cBN100-B151-C100 Q6 VGH2
- 1A8-25 x10 x10 cBN550-B151-C100 Q6 VGH2
- 1A8-35 x10 x10 cBN550-B151-C100 Q6 VGH2
- 1A8-25x10x10 99A100 Q6 VGH2

Wyniki przeprowadzonych prób zestawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Wyniki badań wytrzymałości ściernic na rozrywanie pod wpływem siły odśrodkowej

Lp.	Oznaczenie ściernicy	Prędkość testowania [obr./min]	Prędkość testowania [m/s]	Uwagi
1	1A8-25 x10 x10 cBN100-B151-C100 Q6 VGH2	100 000	130,9	Test przerwany przez operatora
2	1A8-35 x10 x10 cBN100-B151-C100 Q6 VGH2	100 000	130,9	Test przerwany przez operatora
3	1A8-25 x10 x10 cBN550-B151-C100 Q6 VGH2	49 400	90,5	Test przerwany rozerwaniem ściernicy
4	1A8-35 x10 x10 cBN550-B151-C100 Q6 VGH2	49 000	89,8	Test przerwany rozerwaniem ściernicy
5	1A8-25x10x10 99A100 Q6 VGH2	101000	132,2	Test przerwany przez operatora

W trzech przypadkach próby doprowadziły do rozerwania ściernicy a w pozostałych, po osiągnięciu maksymalnej możliwej prędkości wrzeczona, zostały przerwane przez operatora. Na rys. 6 przedstawiono sposoby destrukcji, jakim ulegały ściernice w następstwie rozerwania i uderzenia odłamków o osłonę rozrywarki.



Rys.6. Zniszczenie ściernicy w wyniku rozerwania

Na przedstawionych zdjęciach uwagę zwraca wielkość powstałych odłamków ściernic. Przy podobnej prędkości rozerwania odłamki ściernic 1A8-35 x10 x10 cBN550-B151-C100 Q6 VGH2 po zderzeniu z osłoną rozpadły się na większą liczbę drobnych kawałków aniżeli ściernicy 1A8-35 x10 x10 cBN100-B151-C100 Q6 VGH2. Może to świadczyć o większej kruchości kompozytów tych ściernic.

Wyniki przeprowadzonych badań pozwoliły na określenie wartości największej prędkości roboczej, z jaką mogą pracować ściernice wytworzone według nowej technologii w określonych warunkach stosowania. W tab. 4 przedstawiono wyniki obliczeń wraz z zaczerpniętymi z normy EN-12413 wymaganymi wartościami współczynników bezpieczeństwa.

Tab. 4. Największe prędkości robocze

Typ szlifierek	Współczynnik bezpieczeństwa S_{br}	Współczynnik prędkości rozerwania f_{br}	Oznaczenie ściernicy	Dopuszczalna prędkość robocza v_s [m/s]	Największa prędkość robocza v_s wg szeregu prędkości EN-12413 [m/s]
Szlifarki stacjonarne	3	1,73	1A8-25 x10 x10 cBN100-B151-C100 Q6 VGH2	75,7	63
			1A8-25 x10 x10 cBN550-B151-C100 Q6 VGH2	75,7	63
			1A8-35 x10 x10 cBN100-B151-C100 Q6 VGH2	52,3	50
			1A8-35 x10 x10 cBN550-B151-C100 Q6 VGH2	51,9	50
			1A8-25x10x10 99A100 Q6 VGH2	77,2	63
Szlifarki stacjonarne całkowicie obudowane	1,75	1,32	1A8-25 x10 x10 cBN100-B151-C100 Q6 VGH2	99,2	80
			1A8-25 x10 x10 cBN550-B151-C100 Q6 VGH2	99,2	80
			1A8-35 x10 x10 cBN100-B151-C100 Q6 VGH2	68,6	63
			1A8-35 x10 x10 cBN550-B151-C100 Q6 VGH2	68	63
			1A8-25x10x10 99A100 Q6 VGH2	101,1	100

Podsumowanie

Zastosowane spoiwo szklano krystaliczne o drobnokrystalicznej strukturze (wielkość kryształków fazy krystalicznej ok. 1 μm) umożliwia łączenie ziaren zarówno cBN100 jak cBN550 w kompozyt ścierny i ziaren 99A100 w korpus ceramiczny. W jednym ciągłym procesie obróbki termicznej możliwe jest wytworzenie ceramicznych narzędzi z polikrystalicznego cBN o wysokiej wytrzymałości mechanicznej na rozrywanie badanej w warunkach statycznych.

Badania wytrzymałości dynamicznej ściernic wskazują na łatwiejszą propagację pęknięć w ściernicach z udziałem ziarna cBN550, mimo ich submikrokrystalicznej budowy. Z uwagi jednak na obecność w jego mikroobszarach niezwiązanymi ze sobą kryształków cBN, możliwe jest łatwiejsze propagowanie pęknięcia. Niższa wytrzymałość ściernic z korpusem ceramicznym niż ściernic z ziarnem cBN wynika głównie z możliwych niejednorodności będących efektem procesu formowania ściernic na korpusie ceramicznym i ewentualnych naprężeń w strefie korpus 99A - warstwa ścierna z cBN powstających w procesie obróbki termicznej.

W wyniku przeprowadzonych prób wytrzymałości na rozrywanie można stwierdzić, że poddane badaniom ściernice spełniają wymagania wytrzymałościowe stawiane w normie EN-12413. Zgodnie z tą normą, wytwarzając ściernice z przestrzeganiem reżimu nowej technologii, wszystkie można użytkować na szlifierkach stacjonarnych z tzw. prędkością roboczą zwykłą, która dla tego typu ściernic (płaskich o spoiwie ceramicznym) dla posuwu mechanicznego wynosi

do 40 m/s a posuwu ręcznego do 35 m/s. W przypadku zastosowania szlifierek z całkowicie zamkniętą przestrzenią roboczą, ściernice mogą być użytkowane z prędkością roboczą specjalną, która nie może przekraczać wartości podanej w ostatniej kolumnie tabeli 4.

LITERATURA

- Xu X.P., Yu Y.Q., Xu H.J., Effect of grinding temperatures on the surface integrity of a nickel-based superalloy, Journal of Materials Processing Technology, 129, 359-363, 2002.
- Zhao B., Ding W.F., et al., A comparison between conventional speed grinding and super-high speed grinding of (TiC_p+TiB)/Ti-6Al-4V composites using vitrified cBN wheel, Int.J.Adv.Manuf.Technol., 72, 69-75, 2014.
- Denkena B., Kohler J., Ventura C.E.H., Grinding of PcBN cutting inserts, Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 42, 91-96, 2014.
- Sumiya H., Harano K., Ichida Y., Mechanical properties of nanopolycrystalline cBN synthesized by direct conversion sintering under HPTHTm, Diamond & Related Materials, 41, 14-19, 2014.
- Carolan D., Ivankovic A., Murphy N., A combined experimental-numerical investigation of fracture of polycrystalline cubic boron nitride, Engineering Fracture Mechanics, 99, 101-117, 2013.
- Shan D., Li Z., Zhu Y., Ye H. et al., Influence of TiO₂ on the physical properties of low temperature ceramic vitrified bond and mechanical properties of cBN composites, Ceramic International, 38, 4573-4578, 2012.
- Zhao B., Li Z., Zhu Y., Effect of mullite particles on the mechanical strength and chemical durability of vitrified cBN composites, Composites, Part B, 54, 265-268, 2013.
- Zhang A., Li Z., Zhu Y., Raw materials selection applied to glass bonding for vitrified cBN grinding wheels, Journal of Materials Science, 43, 4303-4308, 2008.
- Herman D., Krzos J., Influence of vitrified bond structure on radial wear of cBN grinding wheels, Journal of Materials Processing Technology, 209, 5377-5386, 2009.
- Ichida Y., Mechanical properties and grinding performance of ultrafine-crystalline cBN abrasive grains. Diamond & Related Materials, 17, 1791-1795, 2008.
- Sunatro, Ichida Y., Creep feed profile grinding of Ni-based superalloys with ultrafine-polycrystalline cBN abrasive grits, Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology, 25, 274-283, 2001.
- Herman D., Walkowiak W., Okupski T., Nadolny K., Patent nt. Sposób wytwarzania ceramicznych narzędzi ściernych, nr Zgł. P.393462, 14 list.2013.
- Tolosa M.C.C.G. et al., Influence of composite restorative materials and light-curing on diametral tensile strength, Brazilian Oral Research, 19(2), 123-126, 2005.
- Fiks W., Wytrzymałość ściernic ze spoiwem ceramicznym, Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, Zeszyt Nr 895, 54-63, 2002.
- Wang X.C., Jia X.P., et al., cBN synthesis in the system of hBN-Mg and bonded water, Diamond and Related Materials, 12, 57-60, 2003.
- Sumiya H., Vesaka S., Satoh S., Mechanical properties of high purity polycrystalline sintered metod, Journal of Materials Science, 35, 1181-1186, 2000.
- Du Y., Su Z., et al., Synthesis of black cBN single crystal in hBN-Li₃N-B system, Materials Letters, 61, 3409-3412, 2007.