



## Określenie granicznych wartości porowatości pozornej ceramiki korundowej i cyrkonowej w stanie białym dla potrzeb obróbki ściernicami z mikrokrystalicznego korundu spiekane

**Determination of apparent porosity limit values of pre-sintered  $Al_2O_3$  and  $ZrO_2$  based ceramics for grinding process using microcrystalline sintered corundum grinding wheels**

WITOLD HABRAT  
ROMAN WADOWIK  
JANUSZ PORZYCKI  
JANUSZ ŚWIDER\*

Przedstawiono wyniki badań doświadczalnych procesu szlifowania ceramiki korundowej i cyrkonowej w stanie białym ściernicą z korundu spiekane. Do badań zastosowano próbki ceramiczne o różnej porowatości pozornej. Określono możliwości obróbki ceramiki korundowej i cyrkonowej w zależności od wartości porowatości pozornej ściernicą z korundu spiekane. Ustalono zależności składowych siły szlifowania od dosuwu ściernicy dla wybranych próbek o określonej porowatości pozornej, dla których możliwa była realizacja procesu szlifowania.

**SŁOWA KLUCZOWE:** szlifowanie, obróbka ceramiki, mikrokrystaliczny korund spiekany

*The article presents the results of experimental investigations of grinding pre-sintered  $Al_2O_3$  and  $ZrO_2$  based ceramic materials with grinding wheel made of microcrystalline sintered corundum. Ceramic workpieces having different porosity were applied. The possibilities of machining of  $Al_2O_3$  and  $ZrO_2$  based ceramics depending on the sintering state were defined. The dependence of grinding forces on cutting depth for machinable ceramic samples was stated.*

**KEYWORDS:** grinding, machining of ceramics, microcrystalline sintered corundum

Obróbka ścierna ceramiki stanowi duże wyzwanie technologiczne ze względu na specyficzne właściwości tej grupy materiałów. Dobór narzędzi ściernych jest szczególnie istotny ze względu na koszt oraz wydajność procesu [3]. Optymalna technologia musi uwzględniać szereg czynników wejściowych przy założonej funkcji celu. Efektem procesu ma być najczęściej uzyskanie założonej jakości przy minimalizacji kosztów lub zwiększeniu wydajności obróbki [4].

Przebieg obróbki materiałów ceramicznych uzależniony jest od właściwego doboru narzędzi oraz wartości parametrów technologicznych. Szczególnie istotne, dla wspólnych zastosowań przemysłowych, jest kompleksowe podejście do obróbki ceramiki inżynierskiej, uwzględniające także możliwości kształtowania ubytkowego półwyrobów w różnych stanach spiekania. Obróbka może być realizowana zarówno w stanie zielonym (po prasowaniu izostaticznym), białym (wstępnie spieczona) oraz po końcowym spieczeniu [1, 2].

Ceramika techniczna w stanie białym cechuje się niższą niż końcowa temperaturą wypału co przekłada się na specyficzną jej właściwość jaką jest porowatość pozorna. Po końcowym spieczeniu wartość porowatości pozornej jest bliska zeru. Właściwości ceramiki inżynierskiej w różnych stanach jej spiekania wpływają nie tylko na jej podatność do określonej metody obróbki ubytkowej, ale również na stabilność prowadzenia procesu, zużycie narzędzi, powstawanie niepożądanych ubytków materiału obrabianego, itp.

Zastosowanie ściernic innych niż z materiałów supertwardych do szlifowania ceramiki w stanie białym jest

\* dr inż. Witold Habrat (witekhab@prz.edu.pl),  
mgr inż. Roman Wdowik (rwdowik@prz.edu.pl),  
dr hab. inż. Janusz Porzycki (jpor@prz.edu.pl),  
dr inż. Janusz Świder (swider@cerel.pl)

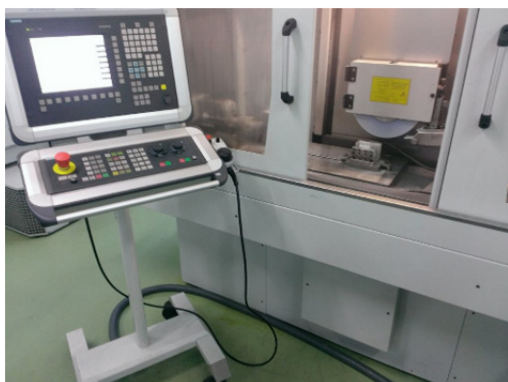
możliwe tylko w ograniczonym zakresie jej porowatości pozornej. W artykule przedstawiono badania wstępne pokazujące możliwości określenia granicznych wartości porowatości pozornej ceramiki korundowej i cyrkonowej w stanie białym dla jakich możliwa jest realizacja procesu przy użyciu określonej ściernicy z korundu spiekane.

### Warunki badań doświadczalnych

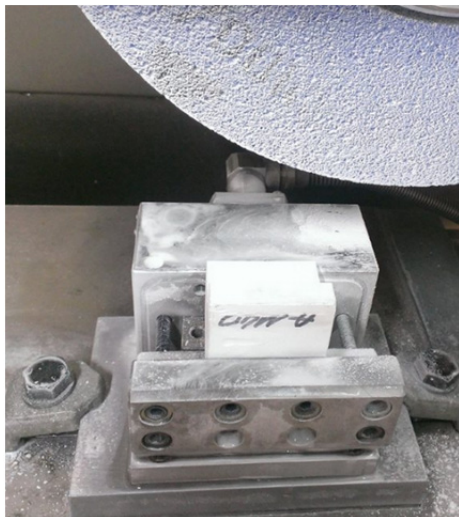
Badania doświadczalne realizowano w Katedrze Techniki Wytwarzania i Automatykacji Politechniki Rzeszowskiej we współpracy z Oddziałem Ceramiki CEREL Instytutu Energetyki.

#### ■ Stanowisko badawcze

Do badań zastosowano szlifierkę do płaszczyzn G+H FS 640 Z (rys. 1). Siły mierzone z użyciem 3-składowego dynamometru piezoelektrycznego Kistler 9121 (rys. 2), w którym mocowano próbki ceramiczne.



Rys. 1. Szlifierka do płaszczyzn G+H FS 640 Z



Rys. 2. Mocowanie próbki ceramicznej w dynamometrze piezoelektrycznym Kistler 9121

#### ■ Materiał obrabiany

Próbki do badań zostały przygotowane w Oddziale Ceramiki CEREL Instytutu Energetyki w formie sześciątów o określonych właściwościach. Właściwości próbek z ceramiki korundowej zestawiono w tab. 1.

W przypadku ceramiki cyrkonowej przyjęto większy niż dla ceramiki korundowej zakres porowatości ze względu powszechnie znane większe trudności z obróbką ścierną.

Właściwości próbek z ceramiki cyrkonowej zestawiono w tab. 2.

Tab. 1. Właściwości próbek z ceramiki korundowej

Próbka	Temperatura wypału [°C]	Porowatość pozorna [%]	Nasiąkliwość wodą [%]	Gęstość pozorna [g/cm <sup>3</sup> ]
A1	1140	<b>36,34</b>	14,57	2,50
A2	1310	<b>31,73</b>	11,85	2,68
A3	1420	<b>18,84</b>	5,93	3,17

Tab. 2. Właściwości próbek z ceramiki cyrkonowej

Próbka	Temperatura wypału [°C]	Porowatość pozorna [%]	Nasiąkliwość wodą [%]	Gęstość pozorna [g/cm <sup>3</sup> ]
Z1	1160	<b>47,22</b>	14,99	3,15
Z2	1190	<b>34,97</b>	8,94	3,91
Z3	1240	<b>26,09</b>	5,86	4,45
Z4	1300	<b>16,35</b>	3,24	5,05

#### ■ Narzędzia i parametry skrawania

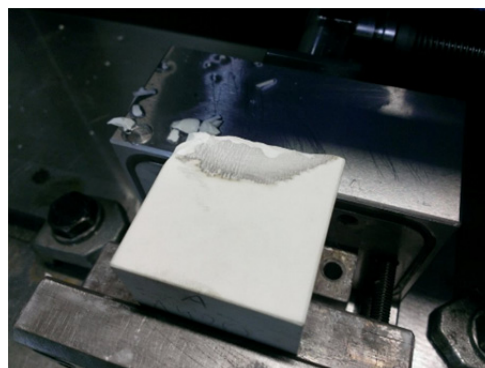
Do realizacji badań wybrano ściernicę 9A7X60H12VE01 firmy Andre Abrasive Articles z 70% udziałem mikrokrystalicznego korundu spiekane. Do badań wytypowano ściernicę z dwustronnym wybraniem walcowym otworu (typ 7), ze spoiwem ceramicznym i strukturą o zwiększonej porowatości (tzw. ściernice wielkoporowe). Ściernice tego typu, o otwartej strukturze, ze względu na charakteryzujące je parametry fizyczne znajdują zastosowanie do precyzyjnej obróbki materiałów trudnoobrabialnych.

Zakres parametrów nastawnych procesu obejmował:

- prędkość szlifowania  $v_s$  [m/s]: 25;
- prędkość posuwu stycznego  $v_{ft}$  [mm/min]: 200;
- szerokość szlifowania  $b$  [mm]: 30;
- głębokość obciążania  $a_{ed}$  [mm]: 0,02;
- prędkość posuwu obciążania  $f_d$  [mm/min]: 100.

#### Realizacja i wyniki badań doświadczalnych

Realizacja badań doświadczalnych wymagała dużej ostrożności ze względu istotne różnice we właściwościach próbek przygotowanych do badań, które decydowały o przebiegu procesu. W przypadku próbek o najmniejszej porowatości dosuw ściernicy nawet w granicach 1-2  $\mu\text{m}$  powodował przypalenie oraz pęknięcia na krawędziach próbek (rys. 3).




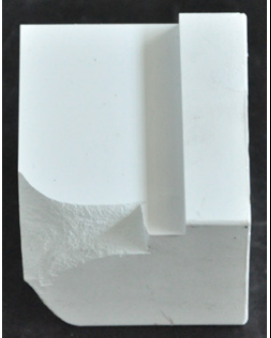

Rys. 3. Przypalenia oraz pęknięcia próbek występujące podczas obróbki

Z tego względu parametr dosuwu ściernicy  $a_e$  ustalano indywidualnie dla każdej badanej próbki przyjmując graniczną górną granicę obszar badawczego na poziomie, na którym występowały pęknięcia w pobliżu krawędzi.





Ze względu na to, że w większości przypadków szlifowanie próbek było praktycznie niemożliwe nawet dla minimalnych wielkości dosuwu. Ze względu na wspomniane wyżej pęknięcia, przypalenia oraz drgania nie było możliwości przyjęcia, jako kryterium stosowania obróbki ścierniej, poziomu składowych siły szlifowania czy wskaźnika szlifowania G. Przyjęto zatem, dla potrzeb określenia granicznych wartości porowatości pozornej, opisową formę charakterystyki procesu szlifowania.

Efekty szlifowania poszczególnych próbek z ceramiki korundowej dla różnych porowatości pozornych wraz z charakterystyką przebiegu procesu zestawiono w tab. 3. Analogiczną, jak dla ceramiki korundowej, charakterystykę możliwości obróbki ścierniej ceramiki cyrkonowej ściernicą z korundu spiekanego przedstawiono w tab. 4.

Tab. 3. Charakterystyka możliwości obróbki ścierniej ceramiki korundowej ściernicą z korundu spiekanego

Porowatość pozorna [%]	Efekt próby szlifowania	Charakterystyka procesu szlifowania
<b>A1</b> 36,34		Szlifowanie próbki przebiegało bezproblemowo bez względu na głębokość $a_e$ .
<b>A2</b> 31,73		Szlifowanie próbki było możliwe w ograniczonym zakresie głębokości szlifowania
<b>A3</b> 18,84		Szlifowanie próbki było praktycznie niemożliwe

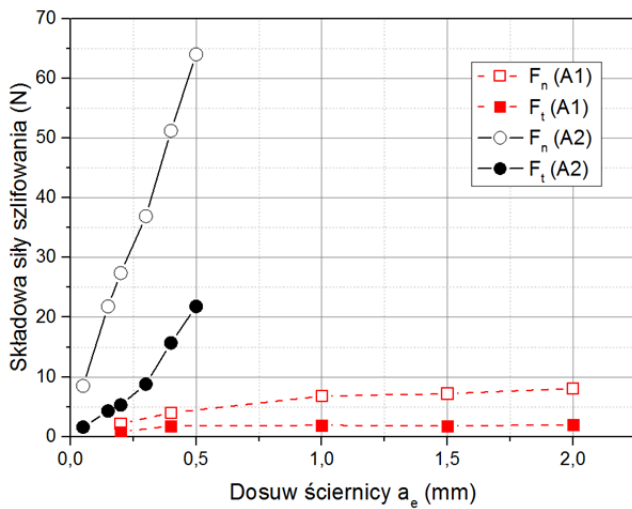
Tab. 4. Charakterystyka możliwości obróbki ścierniej ceramiki cyrkonowej ściernicą z korundu spiekanego

Porowatość pozorna [%]	Efekt próby szlifowania	Charakterystyka procesu szlifowania
<b>Z1</b> 47,22		Szlifowanie próbki było możliwe dla niewielkich głębokości szlifowania
<b>Z2</b> 34,97		Szlifowanie próbki było praktycznie niemożliwe
<b>Z3</b> 26,09		Szlifowanie próbki było praktycznie niemożliwe
<b>Z4</b> 16,35		Szlifowanie próbki było praktycznie niemożliwe

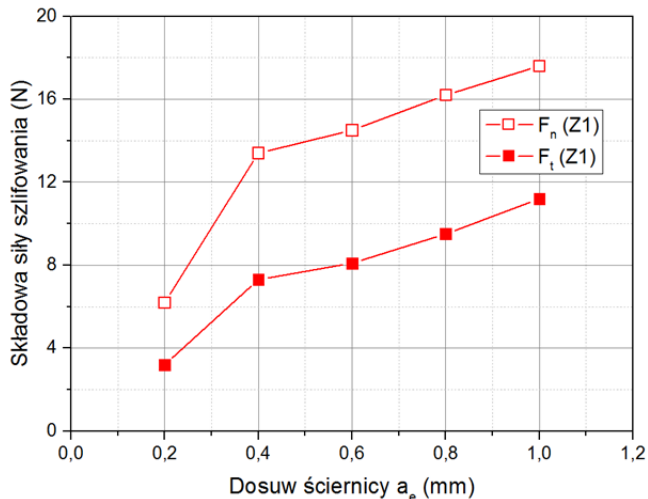
Dla próbek, dla których możliwa była realizacja procesu szlifowania zarejestrowano wartości składowych siły szlifowania dla ustalonych wielkości dosuwu (rys. 4,5).

Uzyskane wyniki pokazują w przypadku ceramiki korundowej znaczący wzrost składowych (zarówno normalnej jak i stycznej) siły szlifowania nawet przy niewielkiej zmianie porowatości pozornej. Zatem można wnioskować o tym, że w tym obszarze (pomiędzy wartościami porowatości pozornej uwzględnionymi na wykresie – rys. 4) będzie znajdować

się graniczna wartość porowatości pozornej, dla której możliwa jest realizacja obróbki ścierniej przyjętą ściernicą z korundu spiekaneego.



Rys. 4. Składowe siły szlifowania w zależności od dosuwu ściernicy przy obróbce ceramiki korundowej o porowatości 36,34% (A1) oraz 31,73% (A2)



Rys. 5. Składowe siły szlifowania w zależności od dosuwu ściernicy przy obróbce ceramiki cyrkonowej o porowatości 47,22% (Z1)

W przypadku ceramiki cyrkonowej trudno jest znaleźć obszar tak gwałtownego jak w przypadku ceramiki korundowej wzrostu składowych siły szlifowania z powodu dużych trudności z realizacją procesu dla próbek o porowatości niższej od 35%. Jedynie dla próbki Z1 zarejestrowano składowe siły szlifowania, których wartości były na akceptowalnych poziomach nie powodującym pęknięcia ceramiki na krawędzi próbki.

## Podsumowanie

Zrealizowane badania pokazały możliwość obróbki ścierniej ceramiki korundowej i cyrkonowej w stanie białym w ograniczonym obszarze jej sterowalnych właściwości zdefiniowanych parametrem porowatości pozornej.

Dla ceramiki korundowej graniczna wartość porowatości pozornej, dla której możliwe jest zastosowanie ściernic z mikrokrystalicznego korundu spiekaneego, znajduje się w obszarze pomiędzy 31,7÷36,3%, w którym następuje gwałtowny wzrost składowych siły szlifowania.

W przypadku ceramiki cyrkonowej można przyjąć, że porowatość pozorna powyżej 47% jest wartością graniczną, dla której możliwa jest realizacja procesu z zastosowaniem przyjętej ściernicy z mikrokrystalicznego korundu spiekaneego.

Dla porowatości powyżej wartości granicznych możliwe jest prowadzenie dalszych badań celem określenia wskaźnika szlifowania G.

Badania potwierdziły również złożoność problemów technologicznych w procesie obróbki ścierniej ceramiki korundowej i cyrkonowej, co stanowi podstawę do realizacji dalszych badań w przedmiotowym zakresie tematycznym.

Publikacja powstała w ramach projektu „Technologia wysokowydajnej obróbki ze wspomaganiami ultradźwiękowym przedmiotów ceramicznych o złożonej geometrii” realizowanego w ramach Programu Badań Stosowanych Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (PBS2/B6/17/2013).

## LITERATURA

1. El-Wardany T., Barth R., Holowczak J., Tredway W., Chen L. J.: Optimum process parameters to produce green ceramic complex parts. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 58, 2009, 109-112.
2. Klocke F.: Modern Approaches for the Production of Ceramic Components. *Journal of the European Ceramic Society*, 15, 1997, 457-465.
3. Marinescu I. D. (red.): *Handbook of Advanced Ceramics Machining*, CRC Press Taylor & Francis Group, 2007, 327-353.
4. Sikalidis C. (red.): *Advances in Ceramics - Synthesis and Characterization, Processing and Specific Applications*, InTech, 2011, 311-336.