

# Kształtowanie ubytkowe wyrobów ceramicznych zawierających cienkie ścianki (poniżej 1 mm) z wykorzystaniem obrabiarki CNC.

MGR INŻ. ANDRZEJ ŁOSIEWICZ, MGR INŻ. TADEUSZ JAKUBIUK,  
MGR INŻ. ZDZISŁAW WIŚNIEWSKI

INSTYTUT CERAMIKI I MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH, WARSZAWA

## Wprowadzenie

Szybkie prototypowanie jest często stosowane na samym początku cyklu produkcji, głównie w celu wykonania prototypu przyszłego produktu. Pojedyncze elementy lub krótkie serie wykonane tradycyjnymi metodami są zazwyczaj drogie, więc połączenie szybkiej i taniej metody kształtowania zgrubnego poprzez prasowanie proszków i obróbki ubytkowej może znacząco obniżyć koszty i skrócić czas wykonania detali. Wykonany prototyp nadaje się idealnie do wszelkiego rodzaju testów – zarówno pod kątem konstrukcji, wyglądu, jak i funkcjonalności. Metoda ta coraz częściej stosowana jest do wykonywania dużych detali. W pracy podjęto próbę wykonania tą metodą kształtek cienkościennych. Efektem końcowym miała być kształtka z materiału litego (wypalona na gotowo) zawierająca ścianki o grubości poniżej 1 mm.

## Przygotowanie eksperymentu

Do badań wytypowano najczęściej wykorzystywane w Zakładzie Doświadczalnym Ceramik Specjalnych tworzywa korundowe o zawartości 99 i 93% tlenku glinu [1, 2] oraz tworzywo steatytowe. Wszystkie tworzywa były przygotowane w postaci granulatów „Ready to Press”.

TAB. 1. Charakterystyki granulatów.

	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 93%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 99%	Steatyt
Barwa	biała	biała	szaro-beżowa
Ciężar Nasypowy [g/cm <sup>3</sup> ]	1,25 ± 0,1	1,15 ± 0,1	0,76 ± 0,3
Wilgotność [%]	0,3–0,7	0,4–0,7	0,5–1,0
Temperatura Wypalania [°C]	1460–1490	1550–1600	1280–1300
Skurczliwość wypalania mat. lity [%]	15–16	16–17	11–12

Zakład Technologii Ceramik ma na wyposażeniu FREZARKE CNC Kimla HSM BFN 0705 (rys. 1). Jest to wysokoobrotowa frezarka bramowa CNC przeznaczona do obróbki materiałów skrawalnych frezami trzpieniowymi, grawerskimi, wiertłami. Obszar roboczy umożliwia obróbkę detalu o wymiarach 700 × 500 × 300 mm. Maszyna wyposażona jest w serwonapędy umożliwiające osiągnięcie prędkości dochodzących do 350 mm/s. Dzięki zastosowaniu wrzeciona

mgr inż. Andrzej Łosiewicz



Absolwent Politechniki Warszawskiej Wydziału Chemicznego. Kierownik Zakładu Doświadczalnego Ceramik Specjalnych ICI MB. Obszar pracy naukowej: ceramika techniczna, materiały konstrukcyjne: lite i porowate,

tworzywa ceramiczne o wysokiej odporności mechanicznej.

e-mail: a.losiewicz@icimb.pl

## STRESZCZENIE

Obróbka mechaniczna ceramiki w stanie surowym lub wypalonym jest często wykonywaną operacją w technologii produkcji wyrobów ceramiki technicznej. Niniejszy artykuł przedstawia wyniki pracy związanej ze sprawdzeniem możliwości wykorzystania techniki frezowania (obrabiarką sterowaną numerycznie CNC) do wykonania krótkich serii elementów zawierających cienkie ścianki. Badania wykonano dla popularnych tworzyw ceramicznych, tj. korundowych i steatytowego. Założona do wykonania kształtka była zbliżona do struktury sitka z wzdłużnymi kanałami i ściankami grubości poniżej 1 mm.

## SUMMARY

**Loss-shaping of ceramic products containing thin walls (less than 1 mm) using a CNC machine tool.**

The machining of raw or burned ceramics elements is frequently used operation in conventional technical ceramics. The article presents the results of work carried out in order to provide information about the capabilities of a CNC machining when making short series of thin-walled components. Research has been conducted on the most popular ceramic materials such as alumina and steatite. Shape used in the process had similar structure to a honeycomb with longitudinal channels and less than 1 mm thick walls.

## SŁOWA KLUCZOWE

tworzywa ceramiczne korundowe, wyroby cienkościennie, kształtowanie ubytkowe, frezarka CNC, prototypowanie

## KEYWORDS

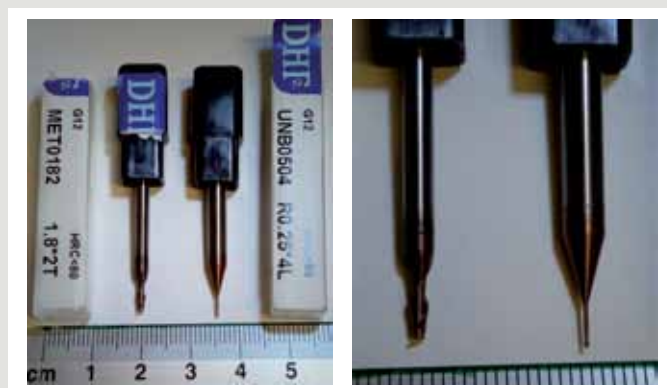
alumina materials, thin-walled products, machining, CNC milling machine, prototyping proces



Rys. 1. Maszyna CNC.

o mocy 9 kW i 24.000 obr/min z uchwytem ISO 30 oraz zainstalowanemu systemowi sterowania 3D z dynamiczną analizą wektorów możliwa jest obróbka HSM (High Speed Machining). Maszyna ma wyeliminowany problem ścinania rogów przy dużych prędkościach [3]. Dzięki temu skomplikowany detal może być obrobiony w kilkakrotnie krótszym czasie.

Do obróbki materiałów ceramicznych zakupiono do maszyny narzędzia skrawające DHF mikrofrezy do planowania powierzchni MET0182 1,8\*2T oraz mikrofrezy do obróbki właściwej cienkich warstw UNB0504 R0.25\*4L. Frezy przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Narzędzia skrawające.

Do wykonania obróbki napisany został program pozwalający na wyfrezowanie w obrabialnym materiale kształtki prostopadłościennej 20×20×5 mm z 14 przelotowymi kanałami.

### **Eksperyment**

#### **Przygotowanie kształtek do wycinania cienkich ścianek**

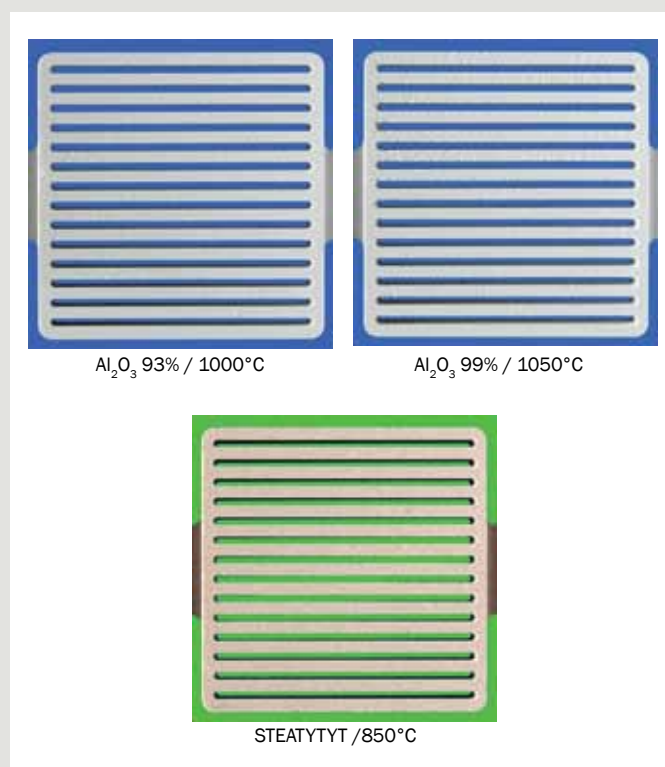
Z wytypowanych tworzyw wyprasowano w prasie jednoosiowej w formach stalowych kształtki prostopadłościenne o wymiarach 60×60×6 mm. Prasowanie granulatu prowadzono przy ciśnieniu 80 MPa. Następnie płytki poddawane były wstępnemu wypalaniu

(biskwitowaniu) w piecu z programowaną krzywą wypalania. Dla każdego tworzywa przygotowano kilkanaście płytek wypalonych w różnych temperaturach. Dobór temperatur wstępnego wypalania był wykonywany w zależności od rodzaju tworzywa na podstawie danych literaturowych i własnych doświadczeń. Dla tworzyw korundowych próby przeprowadzane były co 50°C, dla temperatur z zakresu 900–1100°C dla tworzywa steatytowego również wypalanie prowadzono co 50°C w przedziale 750–900°C.

#### **Wycinanie założonego kształtu**

Elementy posiadające cienkie ścianki wycinano począwszy od płytek wypalonych w najniższej temperaturze, a skończywszy na płytkach wypalonych w temperaturze najwyższej. Na początku obróbki kształtki były planowane z obydwu stron, co zapewniało ich płasko-równoległość. Umożliwiało to ustalenie grubości końcowej wycinanej kształtki na 5 mm. Następnie frezowano kanały. Parametry pracy maszyny CNC dla poszczególnych narzędzi przedstawiały się następująco: frez planujący 20 mm/s przy 22000 rpm, frez do cienkich warstw 15 mm/s przy 24000 rpm.

Operator maszyny CNC na bieżąco obserwował pracę frezów i jakość otrzymywanej powierzchni. Jego spostrzeżenia pozwalały ograniczyć liczbę badanych płytek, bowiem przy zbyt mocnym spieczeniu kształtki frez zaczynał się mocno rozgrzewać i pojawiał się charakterystyczny dźwięk (pisk), co skutkowało znaczącym zmniejszeniem szybkości frezowania. Takie objawy uznano za eliminujące, a temperaturę wypalania wstępnego za przekroczoną. Następnie wycięte kształtki z cienkimi ściankami obserwowano w mikroskopie optycznym. Oceniano jakość uzyskanych powierzchni. Dla każdego tworzywa wybrano najlepszej jakości powierzchnie, wyznaczając tym samym optymalną temperaturę ceramiczacji wstępnej. Na rys. 3 przedstawiono zdjęcia wybranych kształtek uznanych za najlepszej jakości dla badanych tworzyw.



Rys. 3. Obraz kształtek po obróbce CNC tworzyw wypalonych wstępnie w optymalnych dla nich temperaturach.

### Badanie właściwości tworzyw

Do badań tworzyw wykonano próbki w postaci belek o wymiarach  $6 \times 6 \times 60$  mm. Belki prasowano w formie stalowej, stosując ciśnienie 80 MPa. Wykonano po 15 belek dla każdego tworzywa. Próbki te wypalono wstępnie w temperaturach określonych jako optymalne ze względu na obróbkę dla poszczególnych tworzyw. 12 beleczek z każdej serii posłużyło do wykonania badań wytrzymałościowych (wytrzymałość na zginanie trójpunktowe). Pozostałe 3 posłużyły do określenia gęstości, porowatości, nasiąkliwości wodnej. Badania te prowadzono zgodnie z normą PN EN 993-1. Uśrednione wartości badanych parametrów wraz z odchyleniem standardowym dla wytrzymałości przedstawia poniższa tabela.

Tab. 2. Właściwości fizykochemiczne wypalonych wstępnie tworzyw ceramicznych.

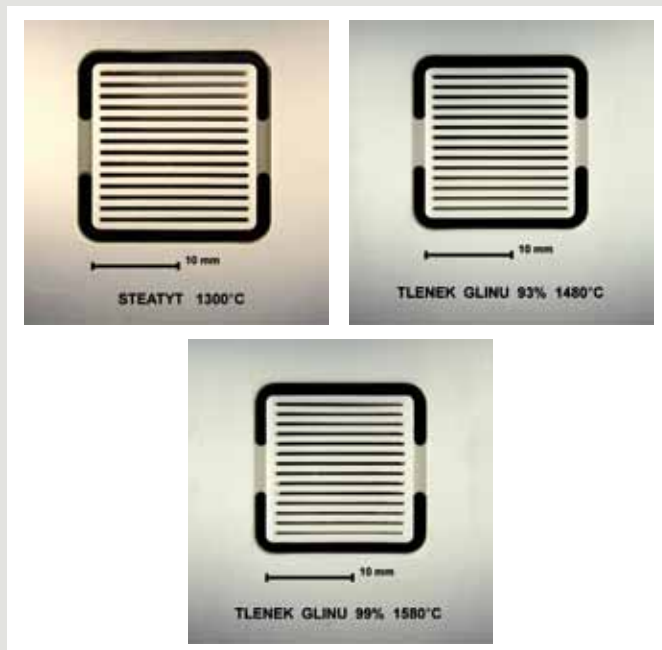
Rodzaj tworzywa	Wytrzymałość mechaniczna [MPa]	Gęstość [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]	Porowatość [%]	Nasiąkliwość wodna [%]
$\text{Al}_2\text{O}_3$ 93	$6,6 \pm 0,8$	2,0	38	19
$\text{Al}_2\text{O}_3$ 99	$5,3 \pm 0,8$	2,1	39	19
Steatytowe	$10,9 \pm 1,2$	1,7	27	13

Przedstawione w tabeli 2 właściwości charakteryzują optymalne parametry wypalonych wstępnie tworzyw przeznaczonych do frezowania cienkich ścianek. Generalnie można stwierdzić, że optymalnie przygotowana kształtka do frezowania cienkich ścianek powinna charakteryzować się wytrzymałością mechaniczną na zginanie nie mniejszą niż 5 MPa i nie większą niż 11 MPa. W końcowym etapie badań sprawdzono, czy frezowanie cienkich ścianek nie wprowadza do kształtek naprężeń, które spowodują ich uszkodzenia w trakcie wypalania właściwego (ostrego). Tworzywa korundowe wypalono stosując 60 min. izotermiczne wygrzewanie odpowiednio dla tworzywa o zawartości 93%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  w temperaturze  $1480^\circ\text{C}$  [1] i w  $1580^\circ\text{C}$  [2] dla tworzywa o zawartości 99%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Tworzywo steatytowe wypalono w temperaturze  $1300^\circ\text{C}$  przetrzymując również izotermicznie 60 min. Otrzymano lite tworzywa o parametrach przedstawionych w tabeli 3.

Tab. 3. Właściwości wypalonych tworzyw.

Rodzaj tworzywa	Gęstość [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]	Porowatość [%]	Nasiąkliwość wodna [%]
$\text{Al}_2\text{O}_3$ 93	3,68	0	0
$\text{Al}_2\text{O}_3$ 99	3,89	0	0
Steatytowe	2,60	0	0

W wypalonych płytkach i zawartych w nich kształtkach (rys. 4) nie zaobserwowano żadnych defektów, które można by było łączyć z zastosowaną metodą kształtowania cienkich ścianek.



Rys. 4. Obraz płytek z wyfrezowanymi kształtkami po wypaleniu właściwym.

### Podsumowanie

- Wykazano, że metoda obróbki CNC może służyć do szybkiego kształtowania wyrobów posiadających cienkie ścianki do 1 mm.
- Ustalono, że masowo dostępne narzędzia do metali (frezy), wykorzystywane w obróbce CNC, można stosować do specjalnie przygotowanej kształtki ceramicznej.
- Zaobserwowano, że za jakość obrabianych powierzchni odpowiada temperatura wypalania wstępnego tworzywa ceramicznego i parametry pracy maszyny CNC.
- Wyznaczono optymalne temperatury wypalania prasowanych tworzyw przeznaczonych do obróbki CNC.
- Oszacowano wartość wytrzymałości na zginanie tworzyw ceramicznych na poziomie 5–11 MPa, która gwarantuje dobrą obrabialność materiału metodą frezowania CNC, pozwalającą otrzymać cienkie ścianki wyrobu.

### LITERATURA

- [1] Tadeusz Jakubiuk, Andrzej Łosiewicz, Piotr Taźbierski (2014), *Metoda obniżenia temperatury spiekania tworzyw alundowych zawierających powyżej 90%  $\text{Al}_2\text{O}_3$* , „Szkło i Ceramika”, nr 2
- [2] Charakterystyka granulatu przedstawiona przez producenta. [http://www.nabaltec.de/download/produkte/Granalox\\_NM98-99xx\\_Datasheet\\_EN.PDF](http://www.nabaltec.de/download/produkte/Granalox_NM98-99xx_Datasheet_EN.PDF)
- [3] Materiały firmowe Kimla. <http://www.kimla.pl/>