

Prof. dr hab. inż. Maciej Jan KUPCZYK (Politechnika Poznańska):

OPIS MECHANIZMÓW WZMACNIANIA NARZĘDZIOWEJ CERAMIKI TLENKOWEJ PRZEZ WISKERSY NITKOWE LUB PŁATKOWE NA PODSTAWIE ANALIZ TEORETYCZNYCH ORAZ OBSERWACJI DOKONANYCH PRZY UŻYCIU MIKROSKOPII SKANINGOWEJ

Streszczenie

Omówiono jedną z możliwości wzmocnienia ceramiki białej przez zastosowanie bardzo wytrzymałych włókien z węgla krzemu. Wiskersy SiC wbudowane w ceramikę Al₂O₃ istotnie zwiększają wytrzymałość na zginanie płytek skrawających wykonanych z tego materiału kompozytowego, a także ich twardość i odporność na pękanie. W artykule schematycznie pokazano mechanizmy wzmocnienia ceramiki przez dodatek wiskersów powodujących zmianę kierunku propagacji pęknięcia, mostkowanie szczeliny i przenoszenie obciążeń przez włókna oraz mostkowanie przez monokrystaliczne płatki o podwyższonej wytrzymałości. Ponadto przedstawiono metodę wytwarzania ceramiki tlenkowej wzmocnionej wiskersami opartą na zmodyfikowanej technologii metalurgii proszków. W opisie mechanizmów wzmocnienia ceramiki narzędziowej posłużono się m.in. mikroskopią skaningową – obrazami elektronów wtórnych i odbitych oraz przeprowadzono analizy teoretyczne.

Słowa kluczowe: ceramika narzędziowa, mechanizm wzmocnienia ceramiki, wytwarzanie

ELABORATION OF MECHANISM OF STRENGTHENER OF WHITE CERAMICS BY FILIFORM OR FLAKE WHISKERS ON THE BASE OF THEORETICAL ANALYSIS AND BY USING SCANNING MICROSCOPY OBSERVATIONS

Abstract

In the article is presented one of possibilities of strengthener of white ceramics among other things by application of very tough fibres made of silicon carbide. Very tough SiC whiskers built in Al₂O₃ ceramics essentially increase of bending strength of cutting inserts made of this composite material and also its hardness and crack resistance, particularly with ZrO₂ addition. In the article are schematic presented mechanism of strengthener of white ceramics by addition of filiform or flake whiskers. In the article the method of manufacturing of white ceramics with whiskers using modified technology of powder metallurgy are also presented. For elaboration of mechanism of strengthener of white ceramics by filiform or flake whiskers were used among other things images obtained by using scanning electron microscope (secondary electron images and backscattered electron images) and theoretical analysis.

Keywords: tool ceramics, mechanism of ceramics strengthener, manufacturing

OPIS MECHANIZMÓW WZMACNIANIA NARZĘDZIOWEJ CERAMIKI TLENKOWEJ PRZEZ WISKERSY NITKOWE LUB PŁATKOWE NA PODSTAWIE ANALIZ TEORETYCZNYCH ORAZ OBSERWACJI DOKONANYCH PRZY UŻYCIU MIKROSKOPII SKANINGOWEJ

Maciej Jan KUPCZYK¹

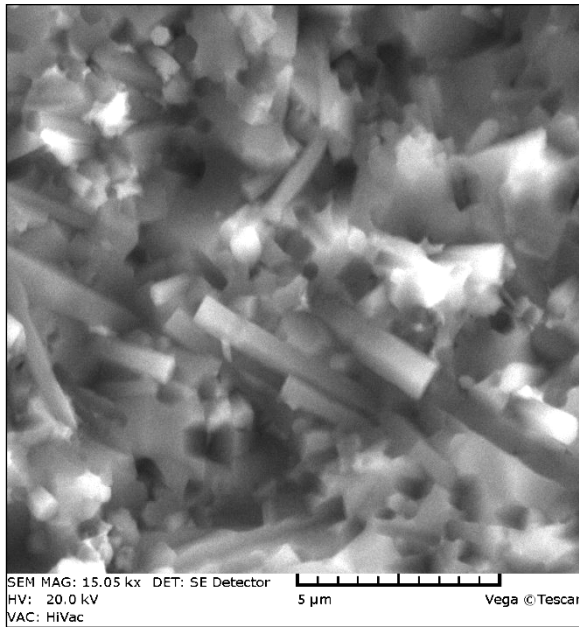
1. WŁAŚCIWOŚCI CERAMIKI TLENKOWEJ Z WISKERSAMI

Znaczną poprawę właściwości mechanicznych ceramiki tlenkowej można uzyskać m.in. przez zastosowanie włókien z węgla krzemu tzw. wiskersów SiC. Najczęściej mają one średnicę od 0,1 do 1 μm i długość od 5 do 50 μm . Wiskersy te mają bardzo dużą wytrzymałością na rozciąganie, dochodzącą do 14 000 MPa. Te niezwykle wytrzymałe włókna z węgla krzemu wbudowane w ceramikę Al_2O_3 znacznie zwiększają wytrzymałość na zginanie płytek skrawających wykonanych z tego materiału kompozytowego oraz ich twardość i odporność na pękanie, zwłaszcza z dodatkiem tlenku cyrkonu (ZrO_2). Najkorzystniejsza zawartość włókien SiC w ceramice Al_2O_3 , zapewniająca maksymalną jej ciągliwość, wynosi około 20% wagowych [6, 11, 20]. Ceramika wzmocniona wiskersami charakteryzuje się ponadto dużą odpornością na szoki termiczne ze względu na dobrą przewodność cieplną i niewielką rozszerzalność cieplną włókien SiC. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono przykładowe obrazy przełomu i zglądów ceramiki białej wzmocnionej wiskersami, utworzone przez elektrony wtórne (SE) na mikroskopie skaningowym.

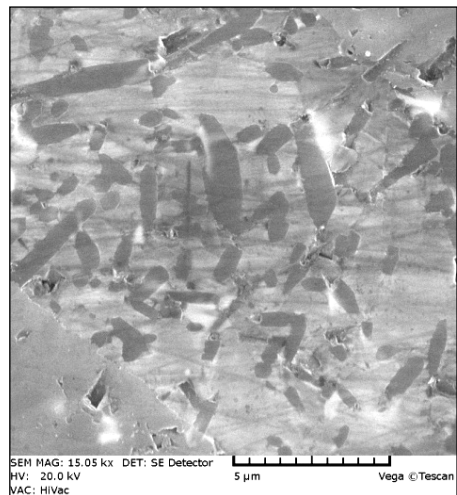
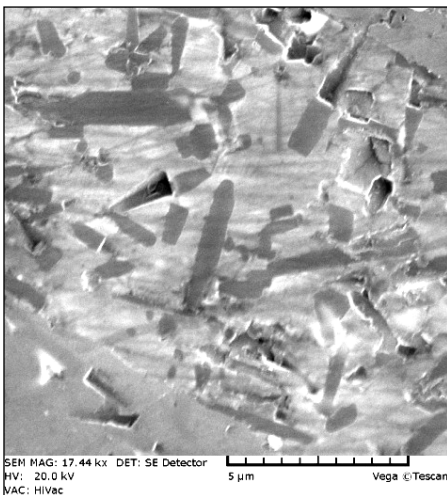
Ceramika wzmocniona wiskersami, jak wynika z danych literaturowych [4, 5, 9, 11, 13, 16-20], ma znacznie lepsze właściwości skrawne niż ceramika biała ze względu na dużą twardość i jednocześnie dobrą ciągliwość. Ostrza z tej ceramiki pozwalają na obróbkę ze znacznie większymi prędkościami skrawania niż ostrza z węglików spiekanych. Warto jest ponadto podkreślenia, że pod względem właściwości skrawnych ceramika Al_2O_3 wzmocniona wiskersami z SiC okazała się również znacznie lepsza od ceramiki tlenkowo-węglkowej $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}/\text{TiN}$.

¹ Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej, 60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3

Powyższe właściwości stały się przedmiotem analizy i dociekań dotyczących mechanizmu wzmocnienia wiskersami ceramiki białej (tlenkowej).



Rys. 1. Obraz SE przełomu ceramiki białej wzmocnionej wiskersami SiC [11, 12]



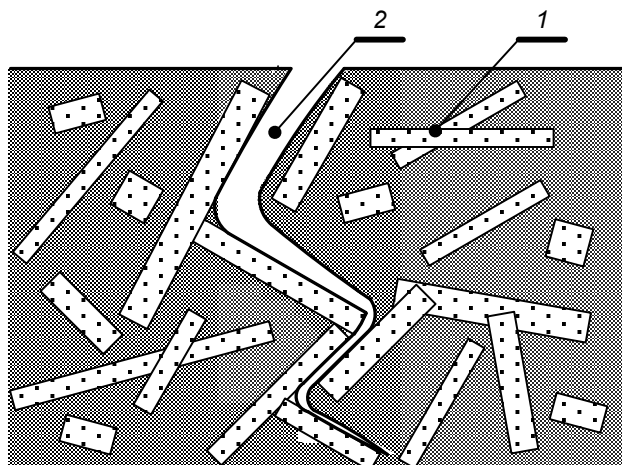
Rys. 2. Obrazy SE zglądów metalograficznych ceramiki białej umocnionej wiskersami SiC [11, 12]

2. ROLA WISKERSÓW – MECHANIZM WZMACNIANIA CERAMIKI TLENKOWEJ

Zastosowanie wiskersów SiC w ceramice białej może prowadzić do jej wzmocnienia poprzez [1, 11]:

- zmianę kierunku propagacji pęknięcia,
- mostkowanie szczeliny,
- przenoszenie obciążeń przez włókna,
- mostkowanie przez monokrystaliczne płatki o podwyższonej wytrzymałości.

Na rysunku 3 schematycznie pokazano mechanizm wzmocnienia ceramiki tlenkowej przez dodatek wiskersów nitkowych na skutek zmiany kierunku propagacji pęknięcia.



Rys. 3. Schematyczne przedstawienie mechanizmu wzmocnienia ceramiki tlenkowej z wiskersami nitkowymi na skutek zmiany kierunku propagacji pęknięcia (opracowano na podstawie [1, 3-4, 11, 14])

Na rysunkach 4a i b pokazano schematycznie mechanizm wzmocnienia ceramiki tlenkowej przez dodatek wiskersów nitkowych na skutek mostkowania szczeliny i przenoszenia obciążeń przez włókna [10, 11, 15].

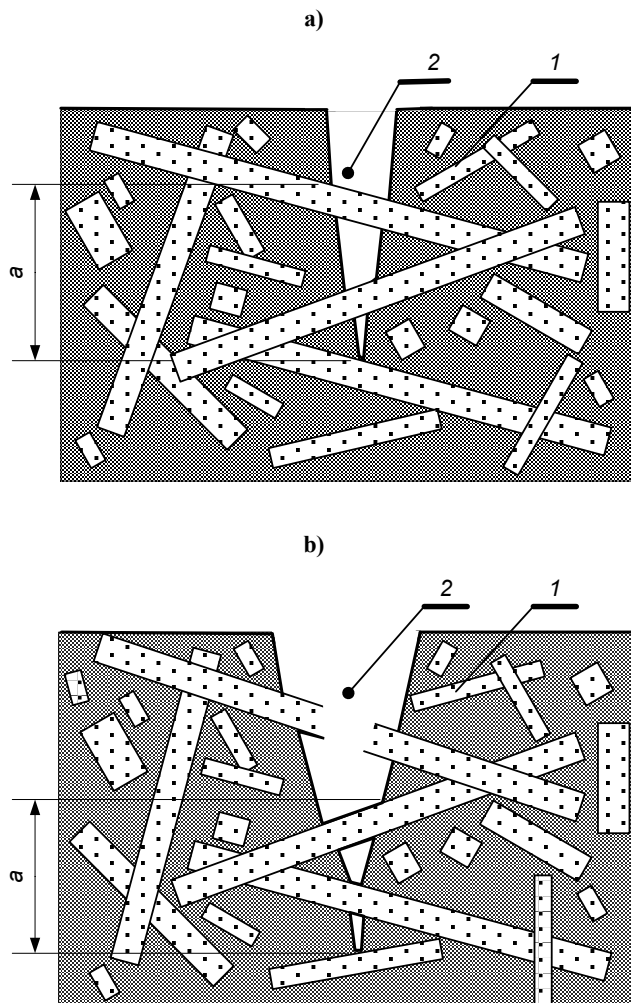
Powstające mostki przeciwstawiają się rozszerzaniu pęknięcia przez zwiększenie pracy pęknięcia materiału. Przy określonej długości mostkowania a , rozwarcie szczeliny osiąga wartość krytyczną, przy której włókna SiC ulegają zerwaniu [1, 11, 15]. Za czołem pęknięcia przesuwa się strefa mostkowania o długości a , a praca pęknięcia ceramiki narzędziowej osiąga maksymalną wartość [15].

Pracę pęknięcia ceramiki narzędziowej, w której występuje mechanizm mostkowania można przedstawić za pomocą zależności [2, 14]:

$$G_c = K_c^2/E = G_o + \Delta G^{MW}$$

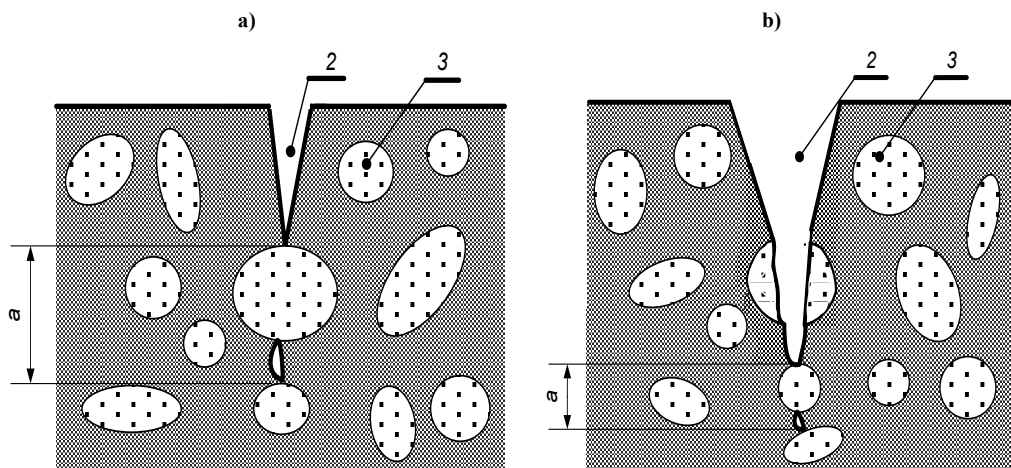
gdzie:

- G_o – praca pęknięcia materiału osnowy, z którego „usunięto” wytrzymałe mostki,
- ΔG^{MW} – wzrost wartości pracy pęknięcia wywołany występowaniem zjawiska mostkowania pęknięć przez wytrzymałe mostki,
- K_c – współczynnik intensywności naprężeń,
- E – moduł Younga.



Rys. 4. Schematyczne przedstawienie mechanizmu wzmocnienia ceramiki tlenkowej przez dodatek wiskersów na skutek mostkowania szczeliny i przenoszenia obciążeń przez włókna, gdzie: 1 – wiskersy nitkowe, 2 – propagująca szczelina (opracowano na podstawie [1, 2-4, 11, 14])

W ostatnich latach, w miejsce wiskersów nitkowych, stosuje się coraz częściej wiskersy w postaci monokrystalicznych płatków SiC. Na rysunku 5 przedstawiono mechanizm wzmacniania ceramiki tlenkowej przez dodatek wiskersów w postaci monokrystalicznych płatków. Podobnie jak w przypadku wiskersów nitkowych, przy określonej długości mostkowania a , rozwarcie szczeliny osiąga wartość krytyczną, przy której pękają wiskersy w postaci monokrystalicznego płatka (rys. 5).



Rys. 5. Schematyczne przedstawienie mechanizmu wzmacniania ceramiki tlenkowej przez dodatek wiskersów w postaci monokrystalicznych płatków, gdzie: 2 – propagująca szczelina, 3 – monokrystaliczne płatki (opracowano na podstawie [1, 3-4, 11, 14, 15])

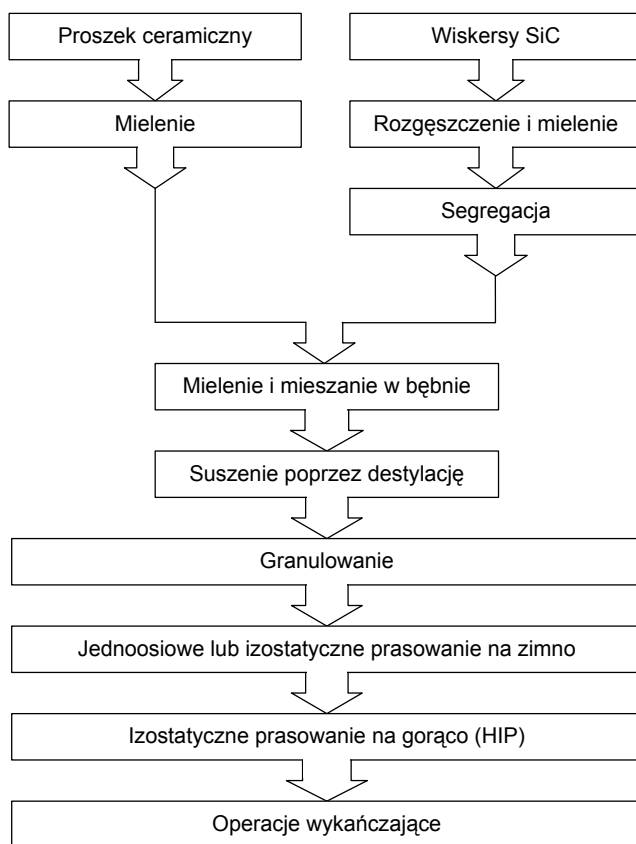
3. WYTWARZANIE CERAMIKI TLENKOWEJ WZMOCNIONEJ WISKERSAMI SiC

Wytwarzanie ceramiki białej wzmocnionej wiskersami SiC jest oparte na zmodyfikowanej technologii metalurgii proszków. W celu otrzymania płytek skrawających z ceramiki wzmocnionej wiskersami, w pierwszej kolejności po wytworzeniu proszku Al_2O_3 i wiskersów SiC, następuje proces ich mieszania z zachowaniem właściwej proporcji składników.

Z powodu wymiarów wiskersów nitkowych (długość: $5\div 100\ \mu m$, średnica mniejsza niż $3\ \mu m$) mieszanie proszku ceramicznego z nimi należy przeprowadzać z dużą ostrożnością, gdyż włókna SiC ze względu na swoje rozmiary, podobne do rozmiarów włókien azbestu, stanowią po ich wchłonięciu do płuc duże zagrożenie dla zdrowia człowieka. Aby uniknąć tego niebezpieczeństwa, wprowadzane są w ostatnich latach monokrystaliczne wiskersy płatkowe w miejsce wiskersów nitkowych. Obróbka wykańczająca i użytkowanie płytek ceramicznych wzmocnionych wiskersami nitkowymi nie są szkodliwe.

Po wymieszaniu wyżej wymienionych składników, następuje kształtowanie płytek i nadawanie im odpowiednich właściwości w procesie jednostopniowego spiekania metodą HIP lub spiekania swobodnego. W tych procesach uzyskuje się dobrze zagęszczone spieki, lecz wyłącznie w przypadku, gdy zawartość wiskersów nie przekracza 15% wagowych. Przy większym udziale wiskersów bardziej efektywne jest stosowanie jednoosiowego prasowania na gorąco w matrycach grafitowych [3, 4, 10, 11, 20]. Na rysunku 6 przedstawiono schemat wytwarzania ceramiki tlenkowej z wiskersami SiC.

Jak już nadmieniono, prowadzone są również próby zastąpienia wiskersów nitkowych, niekorzystnych pod względem zdrowotnym, monokrystalicznymi płatkami. Proces wytwarzania płytek skrawających z monokrystalicznymi płatkami najczęściej jest prowadzony z zastosowaniem prasowania na zimno oraz spiekania swobodnego z ewentualnym dogęszczaniem izostatycznym na gorąco [4, 11, 20].



Rys. 6. Schemat procesu wytwarzania ceramiki narzędziowej wzmocnionej wiskersami SiC (opracowano na podstawie [11, 20])

4. PODSUMOWANIE

Oprócz opisanych w artykule zalet ceramiki tlenkowej wzmocnionej wiskersami, występują ograniczenia jej stosowania. Za główną wadę ceramiki narzędziowej wzmocnionej wiskersami z węgla krzemu uważa się ograniczony zakres jej stosowania ze względu na rozpad włókien SiC w czasie obróbki stopów zawierających żelazo [20]. Z tego powodu trwają poszukiwania nowego materiału, który nie wykazywałby tej wady. Należy ponadto podkreślić, że wytwarzanie tej ceramiki obecnie stosowanymi metodami jest kosztowne, zwłaszcza gdy udział wiskersów mieści się w zakresie 15÷35% wagowych. Zadowalającą gęstość uzyskuje się wtedy w procesie jednoosiowego prasowania na gorąco w matrycach grafitowych [8, 20].

Ostrza skrawające z ceramiki białej wzmocnionej wiskersami są w efektywny sposób stosowane m.in. do obróbki zgrubnej stopów na bazie niklu i tytanu [4-7, 9, 11, 13-20]. Poprzez zastosowanie ceramiki wzmocnionej wiskersami SiC udało się zwiększyć prędkość skrawania superstopu na bazie niklu z 30 do 180 m/min [6].

LITERATURA

- [1] CICHOSZ P., *Narzędzia skrawające*, WNT, Warszawa 2006.
- [2] CAHN R.W., HAASEN P., KRAMER E.J., *Materials Science and Technology – Structure and Properties of Ceramics*, VCH, Weinheim 1994.
- [3] DOBRZAŃSKI L.A., *Metaloznawstwo i obróbka cieplna stopów metali*, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 1995.
- [4] DOBRZAŃSKI L.A., HAJDUCZEK E., MARCINIAK J., NOWOSIELSKI R., *Metaloznawstwo i obróbka cieplna materiałów narzędziowych*, WNT, Warszawa 1990.
- [5] Feldmühle – SPK, *Katalogi*, RFN, 2001.
- [6] GRZESIK W., *Podstawy skrawania materiałów metalowych*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1998.
- [7] Kennametal Inc. International Group, *Katalogi*. Latrobe, USA, 1997.
- [8] KÖNIG U., *Fertigungsverfahren*, Band 1, Drehen, Fräsen, Bohren (Reihe Studium und Praxis) 3 Neubearb. Auflage, VDI-Verlag, Düsseldorf 1990.
- [9] Krupp Widia GmbH, *Katalogi*, Werkzeugtechnik, Eisen, RFN, 2003.
- [10] KUPCZYK M., *Ostrza skrawające z twardymi i supertwardymi powłokami. Wytwarzanie – badanie – eksploatacja*, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2005.
- [11] KUPCZYK M.J., *Wytwarzanie i eksploatacja narzędzi skrawających z powłokami przeciuzużyciowymi*, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2009.
- [12] KUPCZYK M., JÓŹWIAK K., *Dokumentacja z badań powłok przeciuzużyciowych*, Pracownia Podstaw Technologii Instytutu Technologii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej, Poznań 1998-2009 (materiały niepublikowane).
- [13] MELDNER B., DARLEWSKI J., *Narzędzia skrawające w zautomatyzowanej produkcji*, WNT, Warszawa 1991.
- [14] OLSZYNA A., *Ceramika supertwarda*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2001.
- [15] OLSZYNA A., *Twardość a kruchość tworzyw ceramicznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004.

- [16] Poradnik mechanika. *Nauki matematyczno-fizyczne. Materialoznawstwo*, t. I, WNT, Warszawa 1984.
- [17] Sumitomo Electric Industries Ltd., *Katalogi*, Itami Hyogo, Japan.
- [18] Uddeholm, *Katalogi*, Söderfors, Szwecja.
- [19] Valenite Ceramic Inerts, *Katalogi*, USA.
- [20] WYSIECKI M., *Nowoczesne materiały narzędziowe*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1997.