

Dr inż. Piotr SIWAK (Politechnika Poznańska),  
dr inż. Dariusz GARBIEC (Instytut Obróbki Plastycznej w Poznaniu),  
mgr inż. Tadeusz CHWALCZUK (Politechnika Poznańska):

## **BADANIA WŁAŚCIWOŚCI TECHNOLOGICZNYCH PŁYTEK SKRAWAJĄCYCH Z WĘGLIKÓW SPIEKANYCH TYPU WC-6Co WYTWARZANYCH METODĄ IMPULSOWO- PLAZMOWĄ**

### Streszczenie

Prezentowane wyniki badań właściwości technologicznych płytek skrawających z węglików spiekanych typu WC-6% wag. Co. Proszki były spiekane metodą *spark plasma sintering*, za pomocą urządzenia SPS HP D 25, które znajduje się w Instytucie Obróbki Plastycznej w Poznaniu. Do wytwarzania płytek skrawających z węglików spiekanych zastosowano mieszaninę proszków z węgla wolframu i kobaltu typu WC- 6% wag. Co. Próbkę wytwarzano w tej samej temperaturze, lecz w różnym czasie spiekania i z różną prędkością nagrzewania, w próżni 5·10<sup>-2</sup> Pa, pod ciśnieniem 60 MPa.

**Słowa kluczowe:** *węglik spiekane, płytki skrawające, metoda impulsowo-plazmowa*

## **THE RESEARCH OF TECHNOLOGICAL CUTTING EDGES WITH CEMENTED CARBIDES TYPE WC-6CO PRODUCES BY PULSE PLASMA METHOD**

### Abstract

The paper presents the investigation of technological cutting edges with cemented carbides type WC-6%Co-wt. Powder was sintered by Spark Plasma Sintering method and device SPS HP D 25. This device is in Metal Forming Institute in Poznan. In researches used powders with microscopic tungsten carbide size 30-50 μm and cobalt size 4-10 μm. Samples sintered at different time and temperatures in vacuum 5·10<sup>-2</sup> Pa and pressure 50 MPa.

**Keywords:** *carbides, insert, spark plasma sintering method*

# **BADANIA WŁAŚCIWOŚCI TECHNOLOGICZNYCH PŁYTEK SKRAWAJĄCYCH Z WĘGLIKÓW SPIEKANYCH TYPU WC-6CO WYTWARZANYCH METODĄ IMPULSOWO-PLAZMOWĄ**

Piotr SIWAK<sup>1</sup>, Dariusz GARBIEC<sup>2</sup>, Tadeusz CHWALCZUK<sup>1</sup>

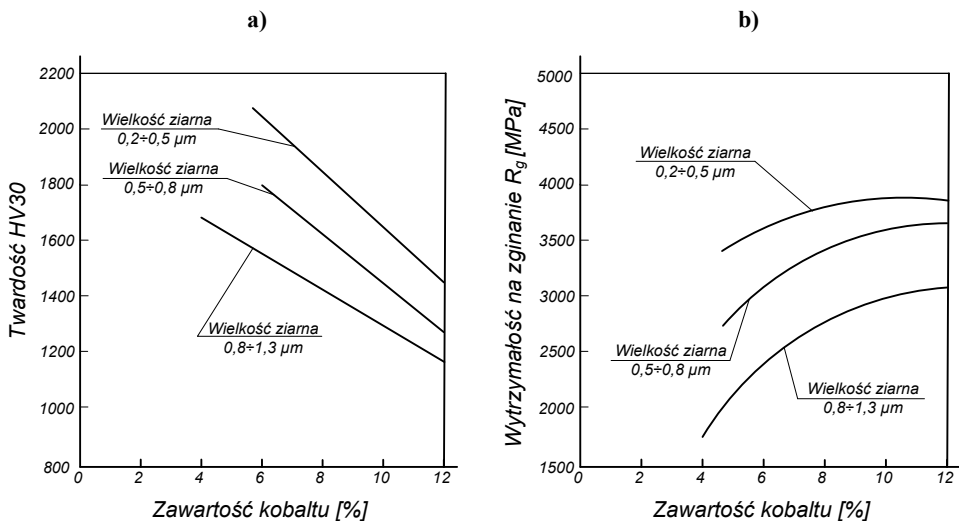
## **1. WPROWADZENIE**

Węglik spiekany typu WC-Co są powszechnie stosowane na ostrza skrawające oraz różne elementy części maszyn. Głównym składnikiem węglików spiekanych jest węgiel wolframu WC. Metalem wiążącym jest najczęściej kobalt Co. Wybór kobaltu nie jest przypadkowy. Odznacza się on bowiem dużą wytrzymałością na zginanie, bardzo dobrze przewodzi ciepło, ma wysoką temperaturę topnienia 1764 K oraz co istotne ma bardzo dobrą zwilżalność z węglnikami. Węglik typu WC-Co wykazują dużą odporność na działanie wysokiej temperatury. Do temperatury 1273 K nie tracą znacznie swej twardości i odporności na ścieranie. Rozmiar ziarna WC obok zawartości kobaltu ma olbrzymi wpływ na właściwości ostrzy z węglików spiekanych, a szczególnie na ich wytrzymałość na zginanie i twardość [1, 3, 5, 6, 17] (rys. 1).

---

<sup>1</sup> Politechnika Poznańska, Pl. Marii Skłodowskiej-Curie 5, 60-965 Poznań

<sup>2</sup> Instytut Obróbki Plastycznej, ul. Jana Pawła II nr 14, 61-139 Poznań



Rys. 1. Wpływ zawartości kobaltu i wielkość ziarna WC na: a) twardość  $HV_{30}$ , b) wytrzymałość na zginanie  $R_g$ , węglików spiekanych typu WC-Co [3, 5, 17]


Do najważniejszych metod zalicza się konwencjonalne spiekanie w próżni w temperaturze od 1350 do 1650°C w czasie do kilkunastu godzin [1, 2, 5]. Oprócz spiekania konwencjonalnego w ostatnich latach do wytwarzania kompozytów WC-Co stosuje się m. in. HP, HIP i spiekanie mikrofalowe oraz techniki FAST (SPS, PPS) [6-8, 11, 13]. W metodach FAST, spośród których najpopularniejsza jest metoda iskrowego spiekania plazmowego, do nagrzewania konsolidowanego proszku wykorzystuje się periodycznie powtarzane impulsy prądu stałego, które podczas przepływu przez proszek powodują wydzielanie nagrzewającego go ciepła Joule'a. Ponadto, impulsowy charakter dostarczania energii wpływa na obniżenie energii aktywacji procesów dyfuzyjnych, dzięki czemu spiekanie odbywa się w niższej temperaturze i w krótszym czasie niż w metodach konwencjonalnych. Szybkie nagrzewanie i chłodzenie oraz krótki czas spiekania zabezpieczają ziarna proszku przed nadmiernym rozrostem w związku z czym metoda SPS może być z powodzeniem stosowana do spiekania proszków o ultradrobnej lub nanostrukturze.

Aktualne badania nad węglnikami typu WC-6% wag. Co mają na celu zwiększenie ich twardości przy zachowaniu korzystnej odporności na kruche pękanie [8, 9, 10]. W tym celu stosuje się najnowsze techniki wytwarzania, takie jak spiekanie impulsowo-prądowe, iskrowo-plazmowe. Poprzez zmianę parametrów procesów modyfikuje się strukturę spieków kształtując przy tym istotne dla węglików spiekanych właściwości takie jak twardość i kruchość. W przypadku metody SPS obecne badania koncentrują się nad poprawą właściwości mechanicznych spieków poprzez zmianę szybkości nagrzewania, czasu spiekania, a także ciśnienia prasowania [8, 9, 11, 12].

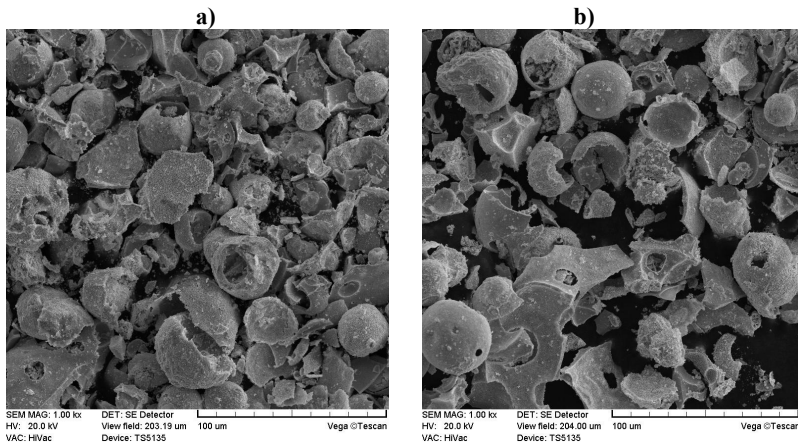
W pracy przedstawiono wyniki badań wybranych właściwości węglików spiekanych WC-6% wag. Co spiekanych metodą SPS w temperaturze 1450°C, pod ciśnieniem 60 MPa, przy zastosowaniu różnych szybkości nagrzewania i czasu spiekania.

## 2. METODYKA BADAŃ

W badaniach zastosowano mieszaniny nanoprošków proszków WC-6% wag. Co o czystości 99,9%. Proszki zostały wyprodukowane i dostarczone przez firmę Inframat Advanced Materials, USA (rys. 2). Następnie proszek spiekano za pomocą urządzenia HP D 25-3 (FCT Systeme GmbH) w temperaturze 1450°C w czasie 150 s, (2,5 min), 300 s (5 min) i 600 s (10 min) z szybkością nagrzewania wynoszącą odpowiednio 400 i 500°C/min. Ciśnienie prasowania wynosiło 60 MPa. Spiekanie odbywało się w próżni. Otrzymano płytki o wymiarach Ø20x6 mm, które następnie poddano badaniom.

Inframat <sup>®</sup> Advanced Materials <sup>™</sup>	
<b>Tungsten Carbide-Cobalt WC-6%Co</b>	
<b>Nano Composite Powder</b>	
Catalog #	74N-062705
Lot #	IMCMC49WCC5
Purity	99.9% (metal basis)
WC grain size 40-80 nm, wet chemically synthesized, WC & Co molecularly mixed, agglomerated, flowable powder, for press-and-sintering	
Net Wt.	kg
<a href="http://www.advancedmaterials.us">www.advancedmaterials.us</a>	
151 Progress Drive Manchester CT 06042	
tel: (860) 432-3177	
fax: (860) 432-3722	

Rys. 2. Charakterystyka i opis otrzymanych od producenta proszków z węgliku wolframu i kobaltu WC-6 % wag. Co

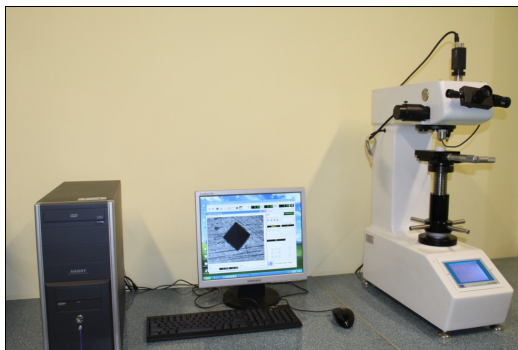


Rys. 3. Obrazy SE aglomeratów składających się z ziaren nanoproszków WC-Co wykonane przy powiększeniach wynoszących około: a) x6000, b) x23000

Na rysunku 3 przedstawiono zdjęcie wykonane pod mikroskopem skaningowym ziaren z nanoproszków WC-Co z widocznymi pojedynczymi ziarnami spiekanego proszku oraz tworzącymi się aglomerotami.

Gęstość spieków wyznaczono metodą Archimedesza za pomocą wagi analitycznej WA 33 typ PRL T A13 (ZMP) w raz z dodatkowym oprzyrządowaniem.

Pomiary twardości metodą Vickers'a przeprowadzono za pomocą twardościomierza FV700 (Future-Tech) pod obciążeniem 294,2 N przyłożonym w czasie 7 s (rys.4).



Rys. 4. Widok stanowiska badawczego do wykonywania pomiarów twardości metodą Vickers'a

Odporność na kruche pęknięcie ( $K_{Ic}$ ) wyznaczono na podstawie pomiaru długości pęknięć metodą Palmquista powstałych podczas pomiaru twardości Vickers'a, stosując zależność Shetty'ego (1) [13].

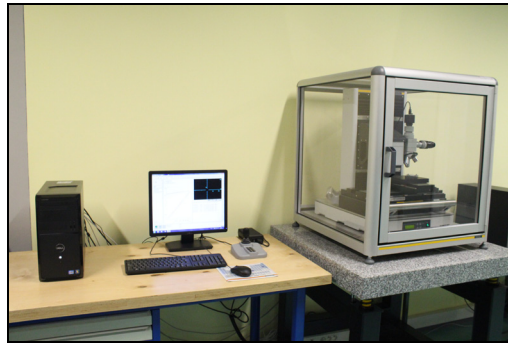
$$K_{Ic} = 0,15 \cdot \sqrt{\frac{HV30}{\Sigma l}} \quad (1)$$

gdzie:

HV 30 – twardość mierzona pod obciążeniem 294,2 N

$\Sigma l$  – suma długości pęknięć zgodnie z metodą Palmquista [mm]

Badanie modułu sprężystości ( $E_{IT}$ ) dokonano zgodnie z normą PN-EN ISO 14577-1:2002 za pomocą urządzenia Picodentor HM 500 (Fischer). Zastosowano węglbnik Vickers'a i obciążenie 300 mN przyłożone w czasie 5 s (rys. 5).



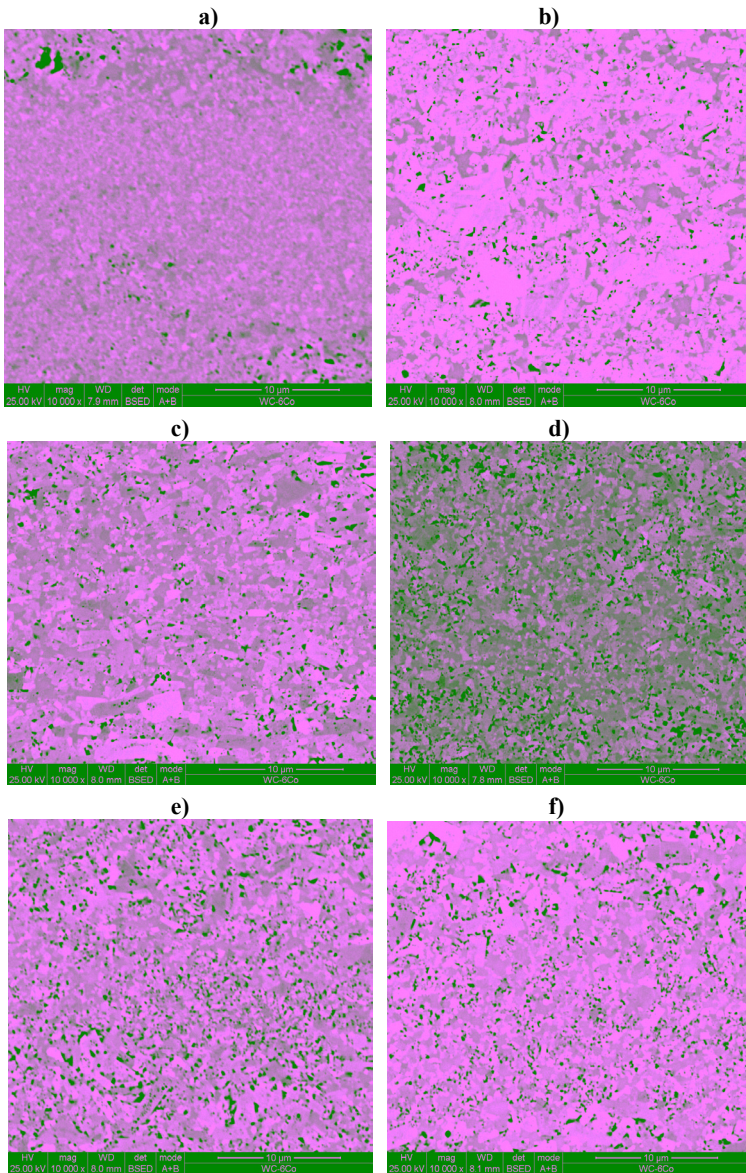
Rys. 5. Stanowisko badawcze firmy Fischera wyposażone w twardościomierz Picodentor HM 500 z płytą stabilizacyjną, komorą oraz stołem wibroizolacyjnym

### 3. WYNIKI BADAŃ

Tabela 1. Wyniki pomiarów twardości, gęstości i odporności na kruche pęknięcie węglków spiekanych WC-6% wag. Co wytwarzanych w temperaturze 1450°C przy różnym czasie spiekania metodą SPS

L.p.	Oznaczenie płytek	Temperatura spiekania [°C]	Czas spiekania [s]	Twardość [HV30]	Gęstość [g/cm <sup>3</sup> ]	Odporność na kruche pęknięcie ( $K_{Ic}$ ) [MPa·m <sup>1/2</sup> ]	Odchylenie standardowe
1	WC-6Co_1	1450	150	1901	14,64	9,1	0,43
2	WC-6Co_2	1450	300	1813	14,08	8,69	0,96
3	WC-6Co_3	1450	600	1827	14,25	8,09	0,32
4	WC-6Co_4	1450	150	1801	13,53	8,69	0,37
5	WC-6Co_5	1450	300	1679	13,87	9,54	0,32
6	WC-6Co_6	1450	600	1710	14,49	10,25	1,3

Na rysunku 6 przedstawiono obrazy SEM (elektronów wtórnych) zglądów metalograficznych węglików spiekanych wytworzonych z użyciem iskrowego spiekania plazmowego.



Rys. 6. Obrazy zglądów metalograficznych węglików spiekanych wytworzanych metodą SPS, przy różnych parametrach procesu spiekania: a) WC-6Co\_1, b) WC-6Co\_2, c) WC-6Co\_3, d) WC-6Co\_4, e) WC-6Co\_5, f) WC-6Co\_6

W wyniku przeprowadzonych badań oraz procesu spiekania przy różnych parametrach procesu spiekania uzyskano największą twardość dla próbek: WC-6Co\_1, WC-6Co\_3, WC-6Co\_2. W celu potwierdzenia uzyskanych wyników wykonano analizę ich mikrostruktury powierzchni. Na rys. 6. zamieszczono zdjęcia obrazów metalograficznych płytek z węglików spiekanych wytworzonych przy zastosowaniu urządzenia SPS HP D 25.

Można zauważyć, że wraz ze zmianą parametrów procesu spiekania zmieniają się również właściwości technologiczne spiekanych próbek oraz ich mikrostruktura.

Tabela 2. Wyniki pomiarów modułu sprężystości węglików spiekanych WC-6% wag. Co wytwarzanych w temperaturze 1450°C przy różnych wartościach szybkości nagrzewania oraz czasu spiekania

L.p.	Oznaczenie płytek	Szybkość nagrzewania [°C/min.]	Czas spiekania [s]	Moduł sprężystości ( $E_{IT}$ ) [MPa]	Odchylenie standardowe
1	WC-6Co_1	400	150	640	0,23
2	WC-6Co_2		300	638	0,31
3	WC-6Co_3		600	636	0,28
4	WC-6Co_4	500	150	621	0,41
5	WC-6Co_5		300	607	0,24
6	WC-6Co_6		600	611	0,38

Wytworzone metodą SPS węgliki spiekane WC-6% wag. Co charakteryzują się dobrą gęstością w zakresie od 13.53 do 14.64 g/cm<sup>3</sup>. Wraz ze zmianą szybkości nagrzewania lub czasu spiekania i związanymi z tym zmianami struktury zmienia się gęstość spieków. Materiałem o największej gęstości (14.64 g/cm<sup>3</sup>) determinowanej intensyfikacją zjawisk dyfuzyjnych na skutek zmiany szybkości nagrzewania i długiego czasu spiekania w czasie 150 s (2,5 min) z szybkością nagrzewania 400°C/min jest płytka WC-6Co\_1, która charakteryzuje się również najlepszym modułem sprężystości wynoszącym 640 MPa.

Tabela 3. Wybrane właściwości węglików typu WC-6 % wag. Co wytworzonych metodą SPS i drobnoziarnistych węglików spiekanych gatunku H20

Próbka	Oznaczenie / gatunek	Skład chemiczny [%]		Moduł sprężystości ( $E_{IT}$ ) [MPa]	Twardość [HV30]	Gęstość [g/cm <sup>3</sup> ]
		WC	Co			
Węgliki spiekane wytworzone metodą SPS	WC-6Co_1	94	6	640	1901	14,64
Konwencjonalne węgliki spiekane	H20	94	6	610	1550	14,5



Duża twardość węglików spiekanych (1901 HV30) otrzymywanych metodą SPS w temperaturze 1450°C, w czasie spiekania 150 s (2,5 min) oraz szybkości nagrzewania 400°C/min, pozwala przypuszczać, że wykonane z nich ostrza skrawające powinny charakteryzować się większą odpornością na zużycie ściernie niż powszechnie dostępne na rynku płytki skrawające z węglików spiekanych o takim samym składzie chemicznym, lecz o dużo mniejszej twardości (1550 HV30).

#### 4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych wyników badań właściwości technologicznych płytek z węglików spiekanych typu WC-6% wag. Co wytwarzanych metodą impulsowo plazmową należy stwierdzić, że: 1) zastosowanie nanoproszków o rozmiarach ziaren wynoszących ok. 40 nm do spiekania płytek z węglików spiekanych pozwala na istotne zwiększenie ich twardości: z 1550 do 1901 HV30; 2) zastosowanie metody SPS do konsolidacji proszków WC-6Co daje możliwość uzyskania węglików spiekanych o większej gęstości i większym module sprężystości w porównaniu do węglików wytwarzanych metodami konwencjonalnymi. Wynika to z faktu, że zjawiska w proponowanym procesie przebiegają znacznie intensywniej niż w metodach konwencjonalnych. Dodatkowo większa twardość węglików spiekanych powinna wpłynąć na wzrost ich odporności na ścieranie.

Kierunkiem kolejnych badań będzie szczegółowa ocena wpływu kolejnych parametrów oraz występujących zjawisk i mechanizmów procesu SPS (*Spark Plasma Sintering*) do wytwarzania węglików spiekanych. Ponadto należy przeprowadzić badania eksploatacyjne ostrzy skrawających z węglików spiekanych o różnym składzie chemicznym.

*Prezentowane wyniki badań, zrealizowano w ramach zadania badawczego nr 22-1207/2015/DS/PT zostały sfinansowane z dotacji na naukę przyznanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.*

#### LITERATURA

- [1] CICHOSZ P., *Narzędzia skrawające*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2006.
- [2] DEORSOLA F.A., VALLAURI D., ORTIGOZA VILLALBA G.A., De BENEDETTI B., *Densification of ultrafine WC-12Co cermets by Pressure Assisted Fast Electric Sintering*, International Journal of Refractory Metals & Hard Materials 28 (2010) 254–259.
- [3] DOBRZAŃSKI A., *Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Materiały inżynierskie z podstawami projektowania materiałowego*, WNT, Warszawa 2002.
- [4] HEBDA M., WACHAL A., *Trybologia*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1990.
- [5] KUPCZYK M. J., *Wytwarzanie i eksploatacja narzędzi skrawających z powłokami przeciwiużyciowymi*, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2009.
- [6] KUPCZYK M. J., *Ostrza skrawające z twardymi i supertwardymi powłokami*, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2005.

- [7] MICHALSKI A., JAROSZEWICZ J., ROSIŃSKI M., SIEMIASZKO D., K. J. KURZYDŁOWSKI, *Nanocrystalline Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composites Sintered by the Pulse Plasma Technique*, Solid State Phenomena, 114, 2006.
- [8] MICHALSKI A., SIEMIASZKO D., *Nanocrystalline cementem carbides sintered by the pulse plasma metod.*, Refractory metals & Hard materials 25, 2007, 153-158.
- [9] MICHALSKI A., ROSIŃSKI M.: *Metoda impulsowo-plazmowego spiekania: podstawy i zastosowanie*, Inżynieria Materiałowa, styczeń-luty 2010 nr 1 (173) s. 7-11.
- [10] NISHIMURA T., MITOMO M., HIROTSURU H., and KAWAHARA M., *Fabrication of Silicon Nitride Nano-ceramics by Spark Plasma Sintering*, Journal of Materials Science Letters, pp. 1046-1047, 1995.
- [11] PERERA D.S., TOKITA M., MORICCA S., *Comparative Study of Fabrication of Silicon Nitride by Spark Plasma Sintering and Hot Isostatic Pressing*, Proceedings of the 2nd International Meeting of Pacific Ceramic Societies, 1996.
- [12] ROSIŃSKI M., WACHOWICZ J., ZIĘTALA M., MICHALSKI A., *Właściwości kompozytu WC-Co spiekane metodą PPS*, Materiały Ceramiczne (Ceramic Materials) 3 (2012) 319-323.
- [13] RUMMAN R., XIE Z., HONG S.-J., GHOMASHCHI R., *Effect of spark plasma sintering pressure on mechanical properties of WC-7.5wt% Nano Co*, Materials and Design 68 (2015) 221-227.
- [14] SIEMIASZKO D., MICHALSKI A., *Węgliki spiekane otrzymywane z proszków W, C, Co metodą impulsowo plazmową w jednym procesie technologicznym*, Ceramika/Ceramics vol. 91,2005, 405-410.
- [15] TAMARI R., TANAKA T., TANAKA K., KAWAHARA M. and TOKITA M., *Effect of Spark Plasma Sintering on Densification and Mechanical Properties of Silicon Carbide.*, J. Ceram. Soc. Japan, 103, pp. 740-742, 1995.
- [16] TOKITA M., *Mechanism of Spark Plasma Sintering and its application to ceramics*, Nyn Seramikkasu 10, 1997, s. 43-53.
- [17] WYSIECKI M., *Nowoczesne materiały narzędziowe*, WNT, Warszawa 1997.