

Lucyna Jaworska<sup>1</sup>, Barbara Smuk<sup>2</sup>, Dagmara Królicka<sup>3</sup>, Janusz Wszolek<sup>4</sup>  
Instytut Obróbki Skrawaniem, ul. Wrocławska 37a, 30-011 Kraków

## TWORZYWA CERMETALOWE PRZEZNACZONE NA OSTRZA NARZĘDZI SKRAWAJĄCYCH

Z uwagi na plastyczność i twardość cermetale można umieścić pomiędzy węglnikami spiekаныmi a ceramiką skrawającą. Dzięki małemu powinowactwu do stali i odporności na utlenianie w podwyższonych temperaturach cermetale wykazują znacznie lepsze własności skrawne oraz znakomitą odporność na zużycie adhezyjne i dyfuzyjne w porównaniu z węglnikami spiekаныmi. Jako podstawowe składniki spiekanych cermetalu wybrano: TiC, Ti(CN), Mo<sub>2</sub>C oraz Ni i Mo. Wstępne próby spiekania prowadzono dla mieszanek z Ti(CN) w atmosferze azotu, argonu i w próżni, natomiast dla mieszanek z TiC zastosowano atmosferę argonu i próżnię.

W wyniku przeprowadzonych badań wstępnych wybrano następujący skład materiału: 55% masy TiC oraz mieszaninę proszków Ni i Mo. Uzyskano materiał praktycznie bezporowaty, o twardości HV1 18,2 GPa. Badania użytkowe płytek wykonanych z materiału z TiC potwierdzają możliwość zastosowania tego materiału do celów skrawania. Przedstawiono wyniki wstępnych prób otrzymania materiału o strukturze gradientowej. Materiał gradientowy zapewnia narzędziu skrawającemu twardą, odporną na zużycie ścierną warstwę powierzchniową i mniej kruchy, wytrzymały korpus. Zastosowanie materiałów gradientowych jest korzystne także ze względów ekonomicznych oraz ułatwia połączenie płytek z cermetalem z korpusem narzędzi drogą lutowania. Materiały gradientowe zagęszczano dwoma sposobami: metodą sedimentacyjną oraz metodą warstwowego zasypywania mieszanek proszków o zróżnicowanym składzie fazowym. Przedstawiono analizę makro- i mikrostruktury otrzymanych cermetalu oraz zmiany twardości wzdłuż przekroju tych materiałów.

Słowa kluczowe: TiC, cermetale, materiały na narzędzia skrawające, funkcjonalne materiały gradientowe

### CERMETALS FOR CUTTING EDGES

Cermets have very good plasticity and high hardness. Properties of these materials are placed between carbides and cutting ceramics. Due to their low chemical affinity to steel and the resistance for high temperatures oxidation of cermets have better cutting properties than carbides. Application of cermet inserts guarantees the high quality of machining surface (low roughness). Cermets could be used in „dry cutting” process. Materials were sintered at N<sub>2</sub>, Ar<sub>2</sub> and vacuum atmospheres at various temperatures. For these researches were used: TiC, TiCN, Mo<sub>2</sub>C (Tables 1, 2). These materials have low porosity of about 0.05% (Fig. 2). Material with 55 wt.% of TiC and 45 wt.% of (Ni+Mo) has hardness of HV1 18.2 GPa (Tab. 3). Material is characterized by high wear resistance similar to Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> compacts, which was measured on the special IOS apparatus. Cutting inserts were prepared using these cermets. Wear land width  $VB_B$ , cutting time, tools live are tested. The 45 steel was machining. Wear land of this inserts  $VB_B = 30$  was reached after 12 min (Tab. 4). TiC grains have significant influence on the cutting process. In the future works the finer grains of TiC powders are needed. In this moment material has properties predisposition for cutting tool applications.

The functionally graded materials (FGM) were prepared by the layers pressing method (Fig. 1) and the sedimentation method. Functionally graded cermets have more amount of hard phase in the surface layer and lower participation of this phase in the body frame. FGM secure obtaining of tools (inserts) with hard wear resistance surface layer and the ductile body frame. The gradient of hardness measurement is presented in Figure 4. The functionally graded materials have high porosity. It is a result of various content and conditions of sintering for its layers.

Key words: TiC, cermets, materials for cutting edges, functionally graded materials

### WSTĘP

Cermetale tworzą oddzielną grupę materiałów, które nie są przyporządkowane ani do węglików spiekanych, ani do ceramiki narzędziowej. Nazwa cermetale powstała z połączenia dwóch określeń: ceramika i metal. Pierwsze cermetale narzędziowe wyprodukowano już w 1931 roku (Metallwerk Plansee), ale nie znalazły one szerszego zastosowania z powodu zbyt dużej kruchości i braku zwilżania przez większość lutowi. Następną generację cermetalu narzędziowych wyprodukowano w latach pięćdziesiątych XX wieku w firmie Ford Motor

Co. W tych cermetalach narzędziowych jako fazę twardą wykorzystano TiC z Mo<sub>2</sub>C, a fazą wiążącą były kobalt i nikiel [1]. W obecnym czasie pod pojęciem cermetalu rozumie się cząstki ceramiczne, najczęściej TiC i TiN (ale także Mo<sub>2</sub>C, TaC, WC, TaN i VC) w osnowie Co, Ni lub Mo [2]. Cermetale są prawie niewrażliwe na rozrost ziaren podczas procesu spiekania. Nikiel lub nikiel/kobalt, jako metalowa faza wiążąca, zapewniają pożądane zwilżanie węglików, stabilne wiązanie ziaren i niezbędną ciągliwość, przy czym jednak

<sup>1</sup> dr hab. inż., <sup>2,3,4</sup> mgr inż.

zawartość Co zwiększa zużycie ściernie. Pierwszym pomysłem wdrożeniem koncepcji materiału gradientowego FGM była produkcja narzędzi skrawających przez firmę Sumitro Electric Industries Ltd. w 1996 roku [3]. Ceramiczna warstwa powierzchniowa o dużej twardości zapewnia wysoką odporność na zużycie ściernie, natomiast ciągliwy rdzeń - odporność na naprężenia zginające i wykruszenia. W ten sposób podwyższono trzykrotnie trwałość narzędzia [4]. Duża wytrzymałość cieplna ostrzy cermetalowych pozwala na stosowanie wyraźnie większych prędkości skrawania w porównaniu z ostrzami z węglików spiekanych [2]. Dzięki małemu powinowactwu do stali i odporności na utlenianie w podwyższonych temperaturach cermetale wykazują znacznie lepsze własności skrawne oraz znakomitą odporność na zużycie adhezyjne i dyfuzyjne w porównaniu z węglnikami spiekany. Cermetale są tańsze od węglików spiekanych i wykazują dużo wyższą twardość. Zastosowanie ich przynosi znaczne efekty ekonomiczne.

Na płytkach cermetalowych są wykonywane odpowiednio zwijacze i łamacze wiórów [2]. Płytki z cermetali należą do najlepszych rozwiązań w przypadku obróbki wykańczającej i półwykańczającej prowadzonej z dużymi prędkościami przy małych głębokościach skrawania. Narzędzia te są uniwersalne, mogą być stosowane do obróbki stali węglowej i stopowej, stali nierdzewnej oraz do żeliwa. Ostrza z cermetali zwykle zapewniają gładszą powierzchnię obrabianego materiału niż węgliki i bardzo często eliminują operację szlifowania. Cermetale mogą być użyte bez chłodziw, których obecność w procesie skrawania ogranicza się ze względu na szkodliwość dla środowiska i problemy z utylizacją [5].

Cermetale charakteryzują się: małą gęstością, dużą twardością, dużą wytrzymałością na zginanie, wystarczająco dużą odpornością na pękanie, odpornością na utlenianie w podwyższonych temperaturach, odpornością chemiczną, ograniczoną wrażliwością na szoki termiczne, niskim współczynnikiem tarcia, dużą odpornością na zużycie, stabilnością krawędzi skrawających i relatywnie niską ceną głównych składników (TiC, Ni) w porównaniu z podstawowymi składnikami węglików spiekanych [1]. Cermetale narzędziowe, mimo dobrych własności, wykazują wady w porównaniu z węglnikami spiekany. Należą do nich przede wszystkim: mniejsza odporność na kruche pękanie, mniejsza odporność na odkształcenia oraz możliwość pęknięć cieplnych podczas przerywanego skrawania w wyniku większej rozszerzalności cieplnej [1].

Cermetale, podobnie jak inne spiekane materiały narzędziowe, są wytwarzane metodą metalurgii proszków. W celu nadania kształtu materiału najczęściej stosuje się jednostronne doprasowywanie, natomiast spiekanie w zależności od składu chemicznego prowadzi się w temperaturze 1400÷1550°C (w piecu próżniowym).

W celu polepszenia własności, tzn. zmniejszenia porowatości spieku, stosowane jest izostatyczne prasowanie na gorąco HIP (ang. Hot Isostatic Pressing).

Wytwarzanie takich materiałów w Polsce jest uzasadnione zapotrzebowaniem na narzędzia specjalne.

## CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Na osnovę metaliczną materiałów cermetalowych wytypowano mieszaninę niklu z molibdenem. Jako składnik twardy cermetalu do badań eksperymentalnych wybrano TiC, TiCN oraz Mo<sub>2</sub>C. Mieszanki przeznaczone do spiekania przygotowano z proszków, których charakterystykę przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1. Charakterystyka proszków stosowanych do otrzymywania cermetali  
TABLE 1. Characteristic of powders applied for cermets preparing

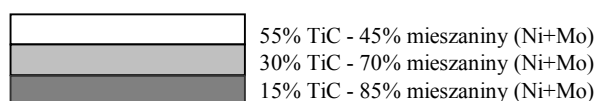
Lp.	Proszek	Wielkość ziarna $\mu\text{m}$	Czystość %	Producent
1	Mo	2	99,9	GoodFellow, UK
2	Ni	3	99,4	Zakłady Metalurgiczne Trzebinia, Polska
3	TiC	1,4	98,5	H.C. Starck
4	TiC	3	-	GoodFellow, UK
5	TiCN <sub>30/70</sub>	1÷1,3	-	H.C. Starck, Germany
6	Mo <sub>2</sub> C	3,8	99,0	GoodFellow, UK

Mieszanki, przygotowane według składów zestawionych w tabeli 2, mieszano z dodatkiem roztworu glikolu polietylowego w alkoholu etylowym. Następnie naważki prasowano jednostronnie w matrycach stalowych pod ciśnieniem 200 MPa. Uzyskano próbki w kształcie walca o średnicy 15 mm oraz próbki o wymiarach 16,5x16,5x6 mm (przeznaczone do badań skrawalności). Podczas spiekania próbki umieszczano na podłożu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i blaszce tantalowej.

W celu otrzymania materiału gradientowego TiC+Mo+Ni przygotowano trzy warianty składu chemicznego kompozytu o następujących udziałach masowych:

- 15% TiC - 85% (Mo+Ni),
- 30% TiC - 70% (Mo+Ni),
- 55% TiC - 45% (Mo+Ni).

Przygotowane w opisany powyżej sposób trzy mieszanki proszków posłużyły do wykonania kształtek gradientowych zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat materiału gradientowego TiC-mieszanki (Ni+Mo)

Fig. 1. Scheme of TiC-mixture (Ni+Mo) graded material

Poszczególne warstwy o określonym składzie prasowano pod ciśnieniem 200 MPa. Uzyskano próbki o kształcie walca o średnicy 15 mm. Następnie całość połączonych warstw dogęszczano izostatycznie na zimno pod ciśnieniem 250 MPa.

Drugą próbkę przygotowano metodą sedymentacyjną. Wykorzystano różnice czasów opadania ziaren ceramicznych w stosunku do ziaren metalowych. Ni i Mo mają zbliżony czas opadania, biorąc pod uwagę różnice wielkości ziaren i gęstości, dla Ni  $8,99 \text{ g/cm}^3$ , dla molibdenu  $10,22 \text{ g/cm}^3$ . Przygotowano zawiesinę mieszanki proszków w alkoholu etylowym. Próbkę do badań wycięto tulejką o średnicy wewnętrznej 15 mm, a następnie poddano ją prasowaniu i dogęszczono izostatycznie na zimno. Tak przygotowane próbki spiekano w piecu firmy *GERO HTK 8/22G* oraz w obecności gazów ochronnych - azotu (w przypadku spiekania mieszanek z TiCN) i argonu, o zróżnicowanej prędkości przepływu gazów. Do spiekania mieszanek z TiCN zastosowano następujące warianty spiekania: w zasypce h-BN, 5 w obecności azotu i w próżni.

TABELA 2. Składy mieszanek przygotowanych do spiekania  
TABLE 2. Mixtures compositions prepared for the sintering process

Lp.	Skład			
	TiCN % masy	TiC % masy wielkość ziarna	Mieszanka (TiC+Mo <sub>2</sub> C) 55% masy	Mieszanka (Mo+Ni) 45% masy
1	55	–	–	Mo - 45 Ni - 55
2	–	55/3 $\mu\text{m}$	–	Mo - 45 Ni - 55
3	–	55/1,4 $\mu\text{m}$	–	Mo - 45 Ni - 55
4	–	–	TiC - 75 Mo <sub>2</sub> C - 25	Mo - 45 Ni - 55

## ZASTOSOWANE METODY BADAWCZE

Gęstość pozorną  $\rho_p$ , porowatość otwartą  $P$  i nasiąkliwość  $N$  mierzono metodą hydrostatyczną. Analizę mikrostruktury kompozytów przeprowadzono z wykorzystaniem mikroskopu optycznego Neophot II i mikroskopu skaningowego JEOL JXA-50A. Twardość cermetali wyznaczono na zglądach metalograficznych metodą Vickersa przy obciążeniu 294,2 N za pomocą twardościomierza Frankoskop i cyfrowego miernika twardości FM-7 firmy Future Tech. Corp. Do badań tych przygotowano zglądy metalograficzne z wykorzystaniem urządzeń i środków polerskich firmy Struers.

Odporność na ścieranie wybranych tworzyw wyznaczono na urządzeniu własnej konstrukcji, wykonanym w IOS, w oparciu o dokument *DIN 50330*. Metoda ta polega na ścieraniu próbki w kształcie beleczki 22

o wymiarach 5x5x14,2 mm, umieszczonej w uchwycie 99 przemieszczającym się po obrotowej tarczy z papieru ze ścierniwem SiC o wielkości ziarna 80  $\mu\text{m}$ , od jej obwodu do środka, pod obciążeniem 29,4 N. Pozostałe parametry pomiaru:

- droga ścierania  $s = 10,3 \text{ m}$ ,
- czas próby  $t = 1/60 \text{ h}$ ,
- prędkość obrotowa 30 obr/min.

Jako miarę zużycia ściernego próbki przyjęto szybkość ubytku masy  $v_n$

$$v_n = \frac{1000 \cdot \Delta m}{F \cdot \rho_p \cdot t}, \mu\text{m/h} \quad (1)$$

gdzie:

$v_n$  - szybkość ubytku masy,  $\mu\text{m/h}$ ,

$\Delta m$  - bezwzględne masowe zużycie próbki, mg,

$\rho_p$  - gęstość próbki,  $\text{g/cm}^3$ ,

$F$  - przekrój ścieranej próbki/powierzchnia styku,  $\text{mm}^2$ ,

$t$  - czas trwania próby, h.

Próbki po procesie spiekania przygotowano do badań metodą szlifowania i cięcia mechanicznego.

Trwałość ostrza płytek wyznaczono w próbie skrawania. Z cermetalu o składzie 45% (Ni, Mo) i 55% TiC przygotowano płytki *SNGN 120812*. Próby przeprowadzono w następujących warunkach:

- prędkość skrawania  $v_c = 120 \text{ m/min}$ ,
- głębokość skrawania  $a_p = 1,6 \text{ mm}$ ,
- posuw  $f = 0,16 \text{ mm/obrót}$ .

Materiałem obrabianym był pręt ze stali konstrukcyjnej 45 o średnicy 180 i długości 850 mm o następującym składzie chemicznym: 0,5% C, 0,7% Mn, 0,32% Si. Jego twardość wynosiła HB 185  $\pm 5$ . Próby ciągłego toczenia wzdłużnego przeprowadzono na tokarce numerycznej *TZG 32N*. Płytki skrawające zostały zamocowane w korpusie składanego noża tokarskiego (oprawka typu *CSRPR 25x25*). Zastosowano łamacz wióra wykonany z węglika spiekane. Badania prowadzono do momentu zniszczenia ostrza.

## WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Jako wstępne kryterium oceny próbek przyjęto pomiar gęstości i twardości przeprowadzony metodą Vickersa przy obciążeniu 9,8 N. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 3.

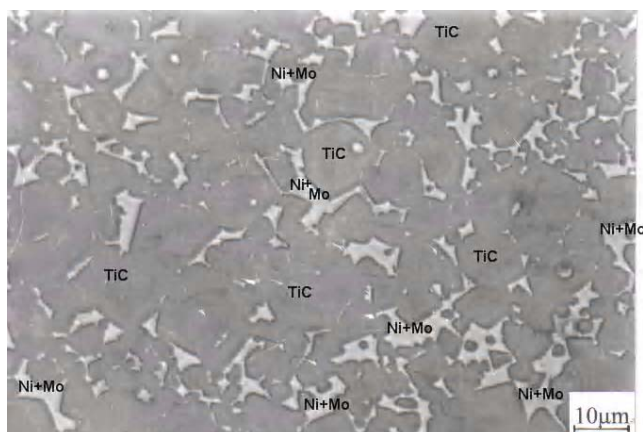
Analizę mikrostrukturalną przeprowadzono dla wszystkich materiałów, które nie uległy defragmentacji. Na zdjęciach przedstawiono mikrostruktury cermetali o największych wartościach gęstości i twardości. Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono mikrostruktury cermetali: pierwszego o składzie 55% masy TiC oraz 45% masy mieszaniny Ni+Mo, którego twardość HV1 wynosi 18,2 GPa (rys. 2), oraz drugiego o składzie 55% masy TiC+Mo<sub>2</sub>C (75;25) i 45% masy mieszaniny

Ni+Mo, którego twardość HV1 wynosi 12,4 GPa (rys. 3).

TABELA 3. Wyniki pomiarów twardości i gęstości cermetali z 45% masy mieszanin Ni i Mo (55;45)

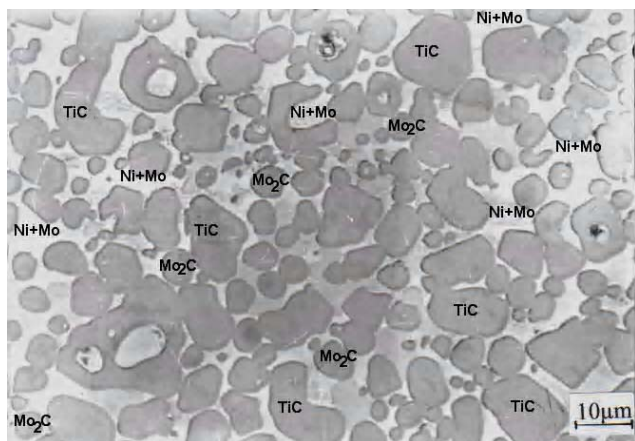
TABLE 3. Results of hardness and density measurements of cermet with 45 wt.% of Ni and Mo mixture (55;45)

Lp.	Rodzaj fazy twardej	Udział fazy twardej % masy	Atmosfera spiekania	Gęstość g/cm <sup>3</sup>	Twardość HV1 GPa
1	TiCN	55	próżnia	–	–
2	TiC	55	azot	5,26	15,83 ±0,63
3	TiCN	55	argon	–	–
4	TiC	55	próżnia	dekohezja	12,86 ±0,57
5	TiC	55	próżnia	5,58	17,7 ±0,2
6	TiC Mo <sub>2</sub> C	75 25	próżnia	6,83	12,0 ±0,6
7	TiC	55	próżnia	5,84	18,2 ±1,0
8	TiC Mo <sub>2</sub> C	75 25	próżnia	6,61	12,4 ±0,7



Rys. 2. Mikrostruktura cermetu o składzie 55% masy TiC oraz 45% masy mieszaniny Ni+Mo (55;45), powiększenie 1000x

Fig. 2. Cermet composed of 55 wt.% TiC and 45 wt.% of Ni+Mo mixture (55;45) microstructure, magnification 1000x



Rys. 3. Mikrostruktura cermetu o składzie 55% masy mieszaniny TiC i Mo<sub>2</sub>C (75;25) oraz 45% masy mieszaniny Ni+Mo (55;45), powiększenie 1000x

Fig. 3. Cermet composed of 55 wt.% TiC and Mo<sub>2</sub>C (75;25) and 45 wt.% of Ni+Mo mixture (55;45) microstructure, magnification 1000x

Materiały charakteryzują się jednorodną mikrostrukturą i małą porowatością, np. dla próbki oznaczonej nr 7 (tab. 3) porowatość wynosi 0,05%, nasiąkliwość 0,017%, natomiast dla próbki oznaczonej nr 8 (tab. 3) porowatość wynosi 0,11%, nasiąkliwość 0,02%. Dla prezentowanych materiałów (rys. rys. 2 i 3) obserwuje się wzrost ziaren TiC, średnio do wielkości 7 μm.

Badania odporności na ścieranie oraz próby skrawania zostały przeprowadzone dla najtwardszej próbki o składzie 55% masy TiC oraz 45% masy mieszaniny (Ni+Mo).

W tabeli 4 zestawiono wyniki badań trybologicznych przeprowadzonych na urządzeniu opisanym w rozdziale Zastosowane metody badawcze.

TABELA 4. Wyniki pomiarów odporności na ścieranie cermetu o składzie 55% masy TiC oraz 45% masy mieszaniny (Ni+Mo)

TABLE 4. Results of wear resistance measurements of cermet with 55 wt.% TiC and 45 wt.% of the Ni+Mo mixture

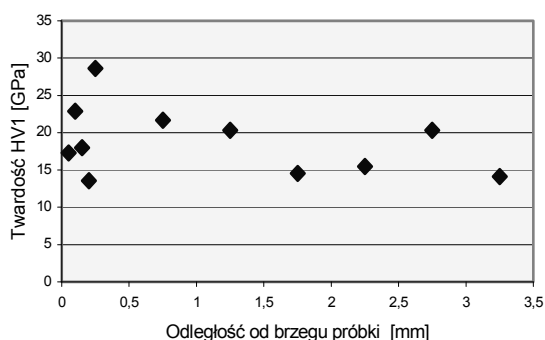
Skład próbki	Przekrój ścieranej próbki mm <sup>2</sup>	Gęstość g/cm <sup>3</sup>	Średni ubytek masy Δm <sub>sr</sub> mg	Czas trwania próby h	Szybkość ubytku masy v <sub>n</sub> · 10 <sup>3</sup> μm/h
TiC 55% masy +45% masy mieszaniny (Ni+Mo)	24,354	5,43	18,8	1/60	8,53

Szybkość ubytku masy dla badanego materiału wynosi 8,53x10<sup>3</sup> μm/h. Dla porównania szybkość ubytku masy mierzona na tym samym urządzeniu tworzywa ceramicznego TA (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) wynosi 8,0x10<sup>3</sup> μm/h.

Wynik wstępnych testów skrawania jest zadowalający. W zastosowanych warunkach skrawania współczynnik starcia  $VB_B$  ostrza z cermetu wyznaczony na poziomie 0,30 uzyskano w 12 minucie pracy narzędzia. Przeprowadzone badania wykazały konieczność zmniejszenia wielkości ziarna zastosowanych proszków TiC. Ziarna proszku TiC o wielkości wyjściowej 3 μm są bowiem wrywane z osnowy w procesie przygotowywania płytek skrawających, co rzutuje na wielkość zużycia ściernego  $VB_B$ .

W przypadku cermetu gradientowego otrzymanego zarówno metodą sedymentacyjną, jak i metodą zasypywania warstw uzyskano materiały charakteryzujące się nadmierną porowatością. Materiały te spiekano w optymalnych warunkach dla materiałów o jednorodnym składzie w całej objętości. W przypadku materiałów gradientowych uzyskano próbki, w których jedna strona posiada przewagę osnowy metalowej (Ni+Mo), druga natomiast zbudowana jest głównie z ziaren TiC. Porowatość jest następstwem procesu odparowywania niklu i

wyraźnie wpływa na obniżenie twardości na powierzchni próbki (rys. 4). Spiekanie materiałów gradientowych wymaga optymalizacji warunków spiekania, co zostanie zrealizowane w dalszych pracach. Wstępne pró- by spiekania i pomiary twardości materiału zgodnie z gradientem składu cermetalu wskazują na gradientowy charakter zmian twardości. Na rysunku 4 przedstawiono zmiany twardości cermetalu gradientowego przeprowadzone wzdłuż gradientu jego składu.



Rys. 4. Rozkład twardości w cermetalu o mikrostrukturze gradientowej otrzymanej metodą sedymentacyjną

Fig. 4. The hardness distribution in the cermet with graded microstructure, prepared by the sedimentation method

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Badania miały charakter wstępny i uzyskane wyniki wskazują na konieczność rozwiązania kilku problemów, m.in.:

- doboru wielkości ziarna proszku TiC,
- optymalizacji warunków spiekania dla materiałów gradientowych.

Właściwości cermetalu otrzymanego z 55% masy TiC oraz 45% masy mieszaniny (Ni+Mo), odporność na ścieranie oraz testowe próby pracy wskazują na możliwość zastosowania tego materiału jako ostrza w narzędziach skrawających.

## LITERATURA

- [1] Dobrzański L., Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo, WNT, Warszawa 2002.
- [2] Oczko K., Cermetale - charakterystyka, zakres zastosowań i szlifowanie, Mechanik 1995, 2, 37-44.
- [3] Tsuda K. i in., Technical Report „Sumitomodeni” 1995, 147, 71.
- [4] CERMET (cermetale) - wydajna i ekonomiczna obróbka dokładna i wykańczająca, Artykuły promocyjne firmy SUMITO ELECTRIC, Mechanik 1998, 4.
- [5] Artykuły promocyjne firmy ISCAR: CERMET - nowe płytki i narzędzia do obróbki powierzchni o małych średnicach, ISCAR, 2000.

Recenzent  
Jacek Kaczmar