

**WPŁYW STĘŻENIA WĘGLA NA STRUKTURĘ I WŁASNOŚCI
GRADIENTOWYCH MATERIAŁÓW NARZĘDZIOWYCH**L.A. DOBRZAŃSKI¹, A. KLOC-PTASZNA², G. MATULA³, J.M. TORRALBA⁴^{1,2,3}Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Politechnika Śląska,
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice,⁴Universidad Carlos III de Madrid, 28911 Leganes, Spain**STRESZCZENIE**

Celem niniejszej pracy jest opracowanie nowoczesnych materiałów gradientowych z wykorzystaniem konwencjonalnych metod metalurgii proszków, w celu zapewnienia wymaganych własności i struktury projektowanego materiału. Prezentowany materiał gradientowy posiada z jednej strony warstwę ze stali niestopowej, a z drugiej strony – warstwę ze stali szybko tnącej, charakteryzującej się dużą ciągliwością. Pomiedzy nimi znajdują się warstwy przejściowe o wzrastającej zawartości węgla (twardości). Materiał taki testowany jest na noże tokarskie.

Keywords: powder metallurgy; gradient tool materials, high-speed steel

1. WPROWADZENIE

Wytwarzanie materiałów gradientowych polega na sterowaniu składem wyjściowym wypraski, w celu otrzymania spieku o zmiennym składzie faz w objętości materiału. Spiek zostaje wytworzony z wypraski uformowanej z proszków dwu różnych faz. Polikryształ jednej fazy przechodzi w sposób ciągły w polikryształ drugiej fazy. Związane jest to z ukształtowaniem własności produktu. Materiały takie noszą nazwę narzędziowych materiałów gradientowych. W materiałach gradientowych występuje

¹ dr h.c. prof. zw. dr hab., leszek.dobrzanski@polsl.pl

² mgr inż., anna.kloc@polsl.pl

³ dr inż., grzegorz.matula@polsl.pl

⁴ prof., torralba@ing.uc3m.es

kontrolowana zmiana składu fazowego w objętości materiału. Taka budowa materiału pozwala na otrzymanie specyficznych własności w zależności od warunków pracy elementów, np.: w miejscach, gdzie produkt narażony jest na ścieranie stosuje się warstwę z twardego materiału a w innych, gdzie może być bardziej narażony na uderzenia można stosować materiały charakteryzujące się dużą ciągliwością [9, 13, 16]. Materiały gradientowe można wytwarzać m. in. metodami metalurgii proszków, związanymi ze zróżnicowaniem składu chemicznego w poszczególnych warstwach, a co za tym idzie zmianą struktury wewnątrz materiału, a także z gradientem temperatury w czasie spiekania i z udziałem fazy ciekłej. Można otrzymywać je drogą spiekania kształtek uformowanych przez prasowanie, stosując zasypywanie w matrycy kolejnych warstw proszku o różnym składzie. Zastosowanie metody metalurgii proszków stwarza możliwość zachowania wysokiej odporności na zużycie ścierne (charakterystycznej dla węglików spiekanych, lub cermetali) przy zapewnieniu dużej ciągliwości (odpowiadającej stalom szybko tnącym i tradycyjnym węglkostalom) przy jednoczesnym obniżeniu kosztów wytwarzania [12]. Główną zaletą takich rozwiązań jest połączenie bardzo dużej odporności na zużycie ścierne z relatywnie wysoką ciągliwością rdzenia materiałów, co jest szczególnie istotne w materiałach przeznaczonych na narzędzia wykrojnikowe i do obróbki plastycznej na gorąco, wysokowydajne narzędzia do skrawania z bardzo dużymi prędkościami oraz narzędzia skrawające kształtowe. Celem niniejszej pracy jest opracowanie nowoczesnych materiałów gradientowych z wykorzystaniem metod metalurgii proszków, w celu zapewnienia wymaganych własności i struktury projektowanego materiału.

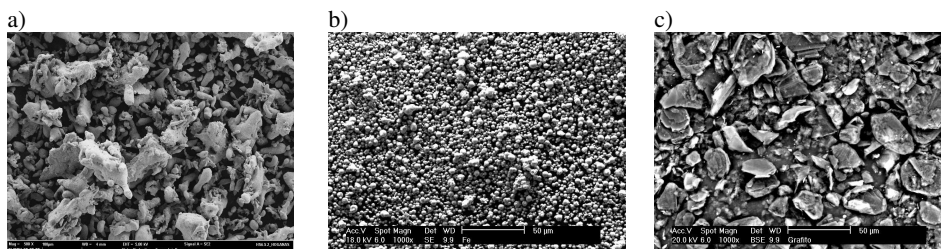
2. MATERIAŁ DO BADAŃ

Badania wykonano na próbkach wytworzonych konwencjonalną metodą metalurgii proszków polegającą na prasowaniu proszku w matrycy zamkniętej i następnym spiekaniu. Proszki użyte do wykonania próbek zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Proszki użyte do wytwarzania materiałów
Table 1. Powders used for specimen production

Proszek	Wielkość ziarna, μm	Informacje dodatkowe
HS6-5-2	>150	Proszek stali szybko tnącej, rozpylany wodą, firmy HOEGANAES
Fe	>50	Firma Eckagranules, Sénécourt, F-60140 Baileval
C	99,5%<40 50%<18	Węgiel naturalny, warstwowy klasa EDM96-97, ISMAF

Cząstki proszków stali szybko tnącej HS6-5-2 rozpylanych wodą oraz proszku żelaza i węgla przedstawiono na rysunku 1. Skład chemiczny proszku stali szybko tnącej HS6-5-2 rozpylanego wodą przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 1. Morfologia proszku: a) HS6-5-2 rozpylanego wodą, b) żelaza, c) węgla
 Fig. 1. Powder morphology: a) HS6-5-2 atomised with water, b) iron, c) carbon

Tabela 2. Skład chemiczny proszku stali HS 6-5-2 firmy Hoeganaes
 Table 2. Chemical composition of the Hoeganaes HS 6-5-2 steel powder

Pierwiastek	Stężenie masowe HS 6-5-2, [%]
C	0,75÷0,90
Mn	0,20÷0,45
Si	≤0,45
P	≤0,04
S	≤0,04
Cr	3,75÷4,5
Ni	0,2
Mo	4,5÷5,5
W	5,50÷6,75
V	1,6÷2,2
Co	0,1
Cu	0,1

Do wytwarzania kształtek zastosowano konwencjonalną metodę prasowania jednoosiowego (rys. 2a).

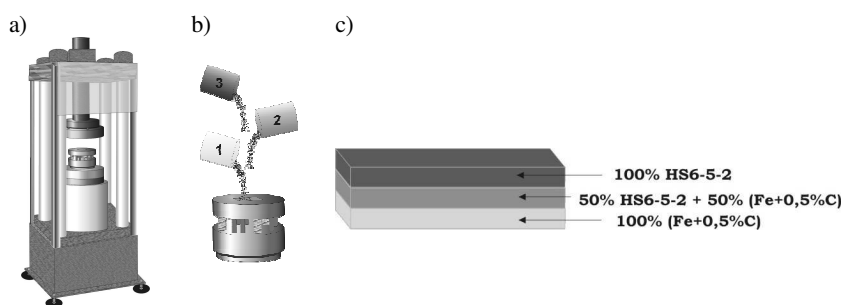


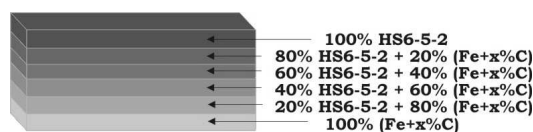
Fig 2. Prasowanie jednoosiowe: a) urządzenie, b) kolejność i sposób wsypywania, c) proporcje formowania proszków

Fig 2. Uniaxial compacting: a) device, b) pouring sequence, c) powders forming proportions.

Próbki prasowane i spiekane wykonano z proszku HS6-5-2 oraz proszku stali niestopowej o różnej zawartości węgla. W pierwszej próbie do matrycy wsypano trzy warstwy (rys. 2b). Pierwsza warstwa składa się z proszku stali niestopowej o zawartości węgla 0,5%, druga - tzw warstwa przejściowa –to mieszanina proszków stali niestopowej i stali szybko tnącej HS6-5-2 w proporcji jak pokazano na rysunku 2c, a warstwa trzecia składa się z proszku stali HS6-5-2. Prasowanie przeprowadzono w matrycy jednoosiowej, jednostronnej przy ciśnieniu 500 MPa.

Próbki prasowane poddawano spiekaniu w piecu próżniowym w temperaturze 1100÷1350°C ze stopniowaniem co 50°C.

Na podstawie obserwacji materiałów stwierdzono, że udział porów w poszczególnych warstwach materiałów gradientowych zmniejsza się wraz ze zwiększeniem stężenia węgla w poszczególnych warstwach. Wzrost stężenia węgla obniża temperaturę spiekania we wszystkich warstwach. W związku z tym wykonano pięć próbek z różną zawartością węgla, w celu wyselekcjonowania optymalnej wartości stężenia węgla i temperatury spiekania. Zmodyfikowano również sposób wsypywania mieszanek proszków. Wykonano próbki z sześcioma warstwami w celu uzyskania słynniejszej zmiany składu (rys. 3).



$x = 0,9\%C; 1,1\%C; 1,3\%C; 1,5\%C; 1,7\%C$

Rys. 3. Kolejność i proporcje formowania proszku przy prasowaniu jednoosiowych

Fig. 3. Powder forming sequence and proportions uniaxially pressed

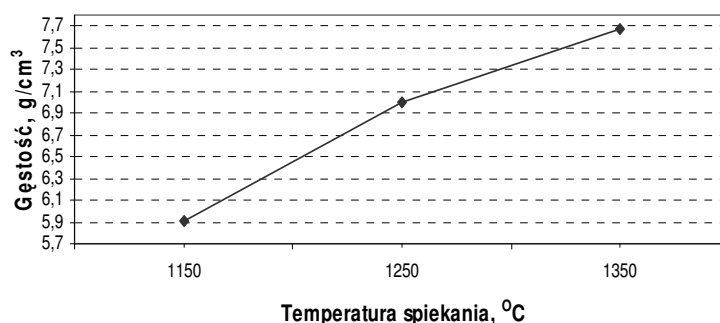
Wszystkie zmodyfikowane próbki były spiekane w piecu próżniowym w temperaturze 1250°C.

Wszystkie próbki w stanie spiekany poddano pomiarom gęstości, porowatości i twardości oraz przeprowadzono obserwacje na elektronowym mikroskopie skaningowym (SEM) wyposażonym dodatkowo w detektor elektronów wstecznie rozproszonych (BSE) i analizator energii dyspersyjnej (EDAX D4). Do pomiaru gęstości wykorzystano metodę Archimedesza polegającą na pomiarze pozornej masy próbki zanurzonej w wodzie. Twardość mierzono za pomocą twardościomierza Vickersa przy obciążeniu wgłębnika wynoszącym 9,8 N. Pomiaru dokonano na całej szerokości przekroju próbki. W próbkach z trzema warstwami, na każdą warstwę przypada siedem punktów pomiarowych. W próbkach z sześcioma warstwami na każdą z warstw przypadają natomiast około dwa punkty. Dokładne określenie liczby punktów

jest trudne ze względu na niemożność zidentyfikowania granic oraz małą szerokość warstw. Pomiar porowatości przeprowadzono za pomocą mikroskopu optycznego na próbkach niezmodyfikowanych. Do pomiaru obierano każdorazowo po pięć przypadkowych punktów z obszaru każdej z warstw.

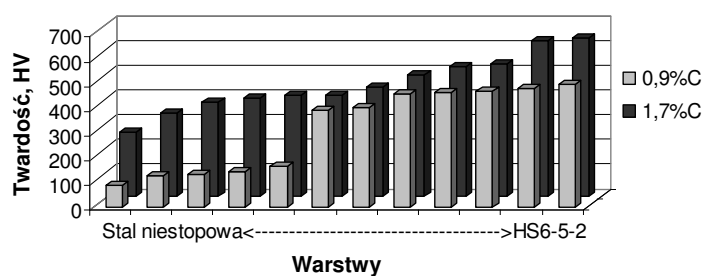
3. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Gęstość próbek prasowanych i spiekanych rośnie wraz ze wzrostem temperatury spiekania (rys. 4).



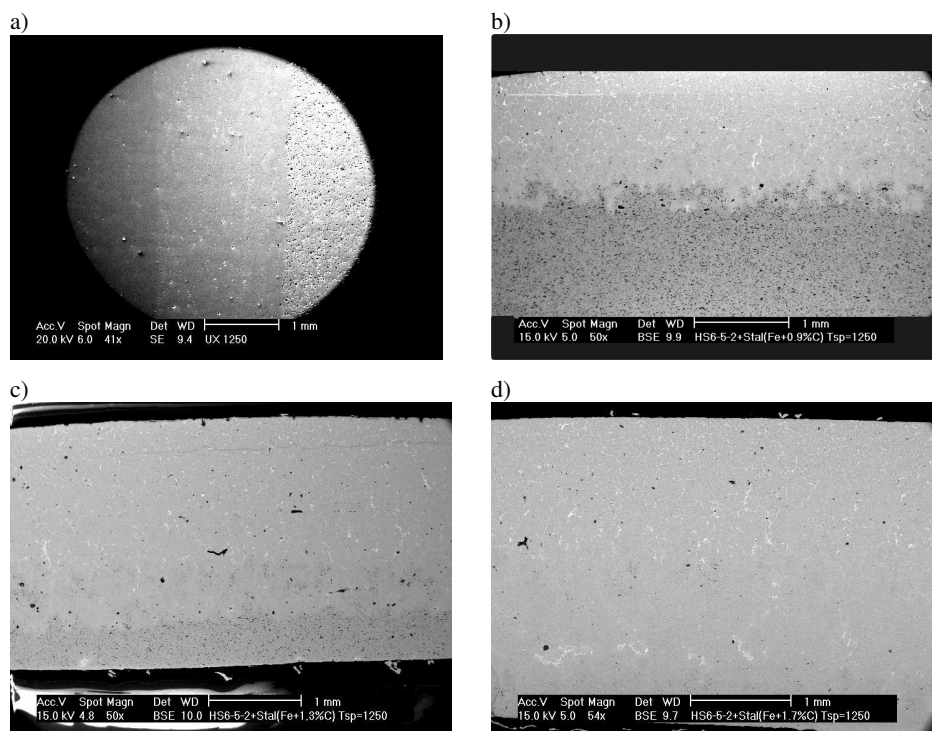
Rys. 4. Zależność gęstości od temperatury spiekania próbek
Fig. 4. The density/sintering temperature chart for PM specimens

Twardość próbek prasowanych i spiekanych wzrasta wraz ze wzrostem stężenia węgla i temperaturą spiekania. Warstwa zbudowana ze stali bez dodatku jakichkolwiek pierwiastków stopowych wykazuje bardzo niską twardość w porównaniu z warstwami przejściowymi i warstwą ze stali szybko tnącej HS6-5-2 (rys. 5).



Rys. 5. Wyniki twardości spiekanych próbek z sześcioma warstwami
Fig. 5. Hardness values (for six layers) for PM specimens

W przypadku próbek a trzema warstwami można zaobserwować granice warstw (rys. 6a). W próbkach z większą ilością warstw -granice zanikają w miarę wzrostu stężenia węgla w warstwie stali niestopowej (rys 6 b, c, d). W przypadku materiałów o największej zawartości węgla w warstwie stali niestopowej (1,7%), granice pomiędzy warstwami przestają być widoczne. Widoczne pory w warstwach ze stalą niestopową wskazują na niepełny proces spiekania. Pory te zanikają wraz z podwyższeniem temperatury spiekania i zawartością węgla w poszczególnych warstwach.



Rys. 6. Struktura próbek prasowanych i spiekanych w temperaturze 1250°C, a) z trzema warstwami; b),c),d) z sześcioma warstwami w strukturze o różnej zawartości węgla w warstwie stali niestopowej

Fig. 6. The structure of specimens sintered at the temperature of 1250°C after uniaxial pressing, a) with three layers; b),c),d) with six layers in their structure, with the non-alloy steel with various carbon content

PODZIĘKOWANIA

Badania doświadczalne wykonano w ramach Programu Socrates / Erasmus w Uniwersytecie Karola III w Madrycie. Badania są realizowane w ramach projektu finansowanego przez KBN, grant nr PBZ – KBN -100/T08/2003.

LITERATURA

- [1] L.A. Dobrzański, E. Hajduczek, J. Marciniak and R. Nowosielski: *Physical metallurgy and heat treatment of tool materials*, WNT, Warsaw, 1990.
- [2] L.A. Dobrzański, A. Kloc, G. Matula, J.M. Contreras, J.M. Torralba: *The impact of production methods on the structure and properties of gradient tool materials of unalloyed steel matrix reinforced with HS6-5-2 high-speed steel*, CAM3S'2005, Gliwice-Zakopane, 2005 (w druku).
- [3] L.A. Dobrzański, G. Matula, G. Herranz, A. Várez, B. Levenfeld, J.M. Torralba: *Injection Moulding of HS12-1-5-5 high-speed using a PW-HDPE based binder*, 12th Scientific International Conference "Achievements in Mechanical and Materials Engineering" AMME'2003, Gliwice-Zakopane, 2003, 237-240
- [4] L.A. Dobrzański, G. Matula, A. Várez, B. Levenfeld, J.M. Torralba: *Structure and Properties of the Heat-treated High-Speed Steel HS6-5-2 and HS12-1-5-5 Produced by Injection Molding Process*, Materials Science Forum, vol 437-438, 2003, 133-136.
- [5] E.C. Lee, C.Y. Nian, Y.S. Tarn: *Design of a dynamic vibration absorber against vibrations in turning operations*, Journal of Materials Processing Technology 108 (2001) 278–285.
- [6] N. Khattab, J. M. Torralba, E. Gordo, V. Trabadelo, I. Iturriza: *Development of HCxO stainless steel - based materials for its application as valve seat inserts in diesel engines*, Proc. of EuroPM2003, Valencia, Spain, 2003, 225-231.
- [7] G. Matula, L.A. Dobrzański, A. Várez, B. Levenfeld, J.M. Torralba: *Sintering under different atmosphere of T15 and M2 HSS produced by a modified MIM process*, Technologies AMPT01", Leganes-Madrid, Spain, 2001, 758-761
- [8] W.M. Smith: *Surface Materials Processing*. Second Edition, Backmann Verlag, Berlin-London-Paris-Warsaw, 2001.
- [9] Varez A., Levenfeld B., Torralba J.M., Matula G., Dobrzański L.A.: *Sintered in different atmospheres of T15 and M2 high speed steels produced by modified metal injection moulding process*, Materials Science and Engineering, 2004.
- [10] X.L. Wu: *In situ formation by laser cladding of a TiC composite coating with a gradient distribution*, Surface and Coatings Technology 115 (1999) 111–115.
- [11] Z. Miyamoto, W.M. Kaysser, B.H. Rabin, A. Kawasaki, R.G. Ford: *Functionally Graded Materials*, Kluwer Academic Publisher, Boston, 1999.
- [12] B. Kieback, A. Neubrand, H. Riedel: *Processing techniques for functionally graded materials*, Materials Science and Engineering: A Volume:362, Issue: 1-2, Grudzień 5, 2003, p.81-106.
- [13] W. Lengauer, K. Dreyer: *Functionally graded hardmetals*, Journal of Alloys and Compounds, 338, 2002, p. 194-212.
- [14] M.B. Bever, P.F. Duwez, Mater. Sci. Eng., 10, 1972, p.1–8.
- [15] Shen M., Bever M.B., J. Mater. Sci. 7, 1972, p.741–746.
- [16] J. Lis, R. Pampuch, *Spiekanie*, AGH Uczelniane Wydawnictwo Naukowo - Dydaktyczne, Kraków 2000.

EFFECT OF CARBON CONCENTRATION ON STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE GRADIENT TOOL MATERIALS

SUMMARY

The goal of this project is development of the contemporary gradient materials using the powder metallurgy methods to ensure the required properties and structure of the designed material. Material presented in this paper has layers consisting on one side from the non-alloy steel with hardness growing with the increase of carbon content, and on the other side the high-speed steel, characteristic of the high ductility. Such material is tested for turning tools.

Recenzował: prof. Jan Szajnar.