Jarosław Indra<sup>1</sup>, Jan Leżański<sup>2</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Metalurgii i Inżynierii Materiałowej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

# WĘGLIKOSTALE NA OSNOWIE STALI SZYBKOTNĄCEJ M35 Z DODATKIEM WĘGLIKA WC - KSZTAŁTOWANIE MIKROSTRUKTURY I WŁASNOŚCI

Przedstawiono wyniki badań w zakresie wytwarzania i badania własności spiekanych węglikostali na osnowie stali szybkotnącej z dodatkiem węglika WC. Do badań zastosowano mieszanki proszków o składach: M oraz M+10WC, gdzie M - stal szybkotnąca M35, a liczba przy WC oznacza zawartość węglika wolframu w procentach masowych. Własności technologiczne i fizyczne proszków użytych do badań przedstawiono w tabelach 1 i 2. Próbki do badań wykonano metodą pojedynczego prasowania i spiekania. Mieszanie proszków prowadzono w ceramicznym ucieraku moździerzowym przez 30 minut. Mieszanki o składach: M i M+10WC prasowano w cylindrycznej jednostronnie działającej matrycy pod ciśnieniem 800 MPa. Kształtki spiekano w różnych temperaturach: 1160, 1175, 1200 lub 1220°C przez 60 minut w próżni. Wyniki badań gęstości i zmian wymiarów kształtek spiekanej stali szybkotnącej M i węglikostali M+10WC przedstawiono odpowiednio na rysunkach 2 i 3. Badanie twardości otrzymanych spieków wykonano za pomocą twardościomierza Brinella. Zależność twardości spiekanej stali szybkotnacej M oraz węglikostali M+10WC od temperatury spiekania pokazano na rysunku 4. W celu ustalenia zmian strukturalnych zachodzących w spiekach M i M+10WC przeprowadzono jakościową analizę fazową proszków stali szybkotnącej M i węglika WC oraz spiekanej stali szybkotnącej M, a także węglikostali M+10WC (rys. rys. 5 i 6). Rentgenowską analizę półilościową spiekanej węglikostali M+10WC pokazano na rysunku 7. Mikrostruktury stali szybkotnącej M i węglikostali M+10WC spiekanych w temperaturze 1220°C przedstawiono na rysunkach 8-10. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że parametry wytwarzania oraz dodatek węglika wolframu WC mają istotny wpływ na strukturę i własności węglikostali stal szybkotnąca-węglik wolframu WC.

Słowa kluczowe: stal szybkotnąca, węglik wolframu WC, węglikostal, spiekanie

# SINTERED HIGH SPEED STEEL M35 - BASE MATERIALS WITH TUNGSTEN CARBIDE WC ADDITION - FORMING MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES

In this paper production process parameters and properties of high speed steel (HSS) - tungsten carbide (WC) carbide--steel have been studied. The high speed steel powder was mixed with the tungsten carbide in ceramic mortar for 30 minutes. The investigated compositions were M, M+10WC (M-high speed steel M35 + wt.% WC). The mixtures were uniaxially cold compacted in a cylindrical die at 800 MPa. The green compacts were sintered in vacuum at 1160, 1175, 1200 and 1220°C for 60 minutes. Properties of the raw powders are given in Table 1 and 2. The as-sintered densities, densification during sintering high speed steel M and carbide-steel M+10WC are presented in Figures 2 and 3. The hardness was measured using the Brinell test. The results are presented in Figure 4. Selected carbide-steels were also subjected to XRD measurements. The results are presented in Figures 5 and 6. Additionally specimens of the M+10WC material, which was fully densities, were analyzed for linear distribuation of selected elements Figure 7. Microstructures high speed steel M and carbide-steel M+10WC sintered at 1220°C are presented in Figures 8-10. From the analysis of the obtained experimental data and microstructural observation it may be concluded that as- sintered properties of carbide-steel is affected to a large extent by the production process variables and the tungsten carbide content as well.

Key words: high speed steel, tungsten carbide, carbide-steel, sintering

## WSTĘP

Ostatnie lata to okres wzmożonych badań nad materiałami, które spełniałyby wysokie wymagania, takie jak duża wytrzymałość mechaniczna, odporność na ścieranie oraz niski koszt wytwarzania. Do materiałów narzędziowych spełniających powyższe kryteria należą węglikostale.

Dotychczas przeprowadzone badania dotyczące wytwarzania materiałów na osnowie stali szybkotnącej

<sup>1</sup> mgr inż., <sup>2</sup> dr hab. inż., prof. AGH

opierały się głównie na określeniu wpływu dodatku: węglika tytanu TiC [1, 2, 5], węglika niobu NbC [3, 4], węglika wanadu VC [4]. Chęć obniżenia kosztów produkcji materiałów narzędziowych zmusza do rezygnacji z zastosowania węglików TiC, VC, NbC jako fazy umacniającej, ze względu na ich wysoki koszt. Przeprowadzono zatem badania nad zastosowaniem węglika wolframu WC [2, 5-9] jako fazy umacniającej i aktywatora procesu spiekania. Konsekwencją takiego zabiegu było otrzymanie materiałów o wysokiej gęstości, charakteryzujących się dobrymi własnościami mechanicznymi. Dodatkową zaletą zastosowania dodatku węglika wolframu WC było obniżenie temperatury spiekania, w której uzyskano wysoką gęstość spieków. Obniżenie temperatury spiekania osiągnięto w wyniku aktywacyjnego działania fazy ciekłej [10-14], pojawiającej się na granicy rozdziału osnowa-węglik wolframu.

Celem niniejszych badań jest określenie wpływu dodatku węglika wolframu WC oraz temperatury spiekania na gęstość, strukturę i twardość spieków.

# MATERIAŁY I PRZEBIEG BADAŃ

#### Materiały stosowane do badań

Do badań stosowano proszek stali szybkotnącej M oraz proszek węglika wolframu WC. Własności stosowanych proszków przedstawiono w tabelach 1 i 2, natomiast morfologię cząstek tych proszków pokazano na rysunku 1.

TABELA 1. Własności materiałów użytych do badań TABLE 1. Properties of materials used to the research

Rodzaj proszku		Gęstość nasy- powa g/cm <sup>3</sup>		Gęstość nasypowa z usadem g/cm <sup>3</sup>		Gęstość teore- tyczna g/cm <sup>3</sup>		Sypkość s/50 g		Zgęszczal- ność przy 600 MPa g/cm <sup>3</sup>			Średnia wielkość cząstek μm	
Stal szybko- tnąca M35		2,34		3,21		8,1		40,7		6,24		0÷160		
Węglik wolfra- mu		2,70		4,55		15,7		-		-		2÷3		
Skład chemiczny proszku stali szybkotnącej M, % masowe														
С	Cr	Co	Cu	Mn	Mo	Ni	Р	S	Si	v	W	Fe	0	
0,94	4,30	4,83	0,17	0,19	5,02	0,35	0,022	2 0,029	0,17	1,79	6,35	75,8	293 ppm	

- TABELA 2. Analiza rozkładu wielkości cząstek proszku stali szybkotnącej
- TABLE 2. Grain size distribution of high speed steel analization

Klasa ziarnowa µm	>160	120÷160	$100 \div 120$	$80{\div}100$	63÷80	£0÷63	$40 \div 50$	0+÷0
Udział frakcji %	0	6,8	5,9	17,3	31,6	17,5	8,7	12,2

### Metodyka wykonania próbek

Z proszku stali szybkotnącej M i węglika wolframu WC w wyniku mieszania w ceramicznym ucieraku moź-

dzierzowym przez 30 minut wytworzono mieszankę o zawartości 10% masowych węglika wolframu WC.



- Rys. 1. Morfologia cząstek proszku, SEM: a) stal szybkotnąca M, b) węglik wolframu WC
- Fig. 1. Morphology of powder particles, SEM: a) high speed steel M, b) thungsten carbide WC

Próbki do badań formowano metodą prasowania w jednostronnie działającej matrycy o średnicy 15 mm, pod ciśnieniem 800 MPa i następnie spiekano w piecu próżniowym pod ciśnieniem próżni poniżej  $10^{-1}$  Pa.

Proces spiekania składał się z trzech etapów:

- wyżarzania w temperaturze 950°C przez 30 minut,
- spiekania właściwego w temperaturach: 1160, 1175, 1200, 1220°C przez 60 minut,
- chłodzenia wraz z piecem z prędkością 3,5°C/min.

# WYNIKI BADAŃ

# Własności spiekanej stali i węglikostali

Pomiar gęstości otrzymanych spieków wykonano metodą ważenia w powietrzu i w wodzie. Wyniki badań gęstości, zmian gęstości oraz twardości spiekanej stali szybkotnącej M i węglikostali M+10WC przedstawiono na rysunkach 2-4.







Rys. 3. Wpływ temperatury spiekania na gęstość spiekanej stali M i węglikostali M+10WC

Fig. 3. Relative densities as a function of sintering temperature



Rys. 4. Wpływ temperatury spiekania na twardość spiekanej stali M i węglikostali M+10WC

Fig. 4. Influence of sintering temperature on hardness of steel M and carbide-steel M+10WC

### Badania rentgenowskie

Rentgenowską dyfrakcyjną analizę fazową przeprowadzono na dyfraktometrze TUR M62 z goniometrem HZG4, stosując promieniowanie lampy o anodzie kobaltowej, metodą zliczania krokowego o wielkości kroku  $\Delta 2\Theta = 0.02$ , w zakresie  $2\Theta = 30 \div 105$ . Czas zliczeń  $\tau =$ 5 s. W celu wykazania zmian składu fazowego zachodzących podczas spiekania weglikostali zestawiono dyfraktogramy proszków stali szybkotnącej M, węglika wolframu WC oraz stali szybkotnącej М i weglikostali M+10WC, spiekanych w temperaturze 1220°C (rys. rys. 5 i 6). Rentgenowską analizę półilościową weglikostali M+10WC, spiekanej w temperaturze 1220°C, wykonano za pomocą mikroskopu skaningowego oraz mikrosondy rentgenowskiej, a wyniki przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 5. Dyfraktogram rentgenowski proszku stali szybkotnącej M oraz węglika WC

Fig. 5. X-ray diffraction of high speed steel M and tungsten carbide WC powders



- Rys. 6. Dyfraktogram rentgenowski spiekanych w temperaturze 1220°C stali szybkotnącej M i węglikostali M+10WC
- Fig. 6. X-ray diffraction of high speed steel M and cermet M+10WC sintered in 1220°C



Rys. 7. Rentgenowska analiza półilościowa na granicy stal szybkotnąca Mwęglik WC w węglikostali M+10WC spiekanej w temperaturze 1220°C

Fig. 7. Distribution of elements on high speed steel M-tungsten carbide boundary in M+10WC sintered in 1220°C

Temperatura spiekania oraz dodatek węglika wolframu WC ma istotny wpływ na proces zagęszczania spieków. Zwiększenie temperatury spiekania pozwala na uzyskanie materiałów o większej gęstości (rys. 2) oraz twardości (rys. 4). W wyniku spiekania kształtek o składzie M+10WC w temperaturze 1220°C otrzymano węglikostal charakteryzującą się gęstością względną wynoszącą 99,5% oraz bardzo dużą twardością 780 HB.

Na podstawie przeprowadzonej dyfrakcyjnej analizy rentgenowskiej stwierdzono, że struktura otrzymanej węglikostali M+10WC składa się z martenzytu, austenitu szczątkowego oraz wtrąceń węglików typu MC, M<sub>6</sub>C. W wyniku spiekania w węglikstali M+10WC pojawia się nowa faza  $W_2C$ , która nie występuje w strukturze proszku i spiekanej stali szybkotnącej M. Jej pojawienie się w węglikostali M+10WC jest prawdopodobnie wynikiem reakcji chemicznej pomiędzy węglikiem wolframu WC a stalą szybkotnąca M, co stwierdzono na podstawie rentgenowskiej analizy półilościowej (rys. 7).

### Struktura spiekanej stali oraz węglikostali

Struktury stali szybkotnącej M oraz węglikostali M+10WC spiekanych w temperaturze 1220°C przedstawiono na rysunkach 8-10.



- Rys. 8. Mikrostruktury stali szybkotnącej M spiekanej w temperaturze 1220°C: a) mikroskop optyczny, 500x, b) SEM
- Fig. 8. Microstructures of high speed steel M sintered at 1220°C: a) optical, 500x, b) SEM



- Rys. 9. Mikrostruktury węglikostali M+10WC spiekanej w temperaturze 1220°C; mikroskop optyczny: a) jasne pole, 500x, b) ciemne pole, 500x
- Fig. 9. Optical micrographs of carbide-steel M+10WC sintered at 1220°C: a) bright field, 500x, b) dark field, 500x



- Rys. 10. Mikrostruktury węglikostali M+10WC spiekanej w temperaturze 1220°C, SEM: a) 500x, b) 2500x
- Fig. 10. SEM micrograph of carbide-steel M+10WC sintered at 1220°C: a) 500x, b) 2500x

Na podstawie obserwacji mikrostruktury badanych materiałów stwierdzono, że węglikostale M+10WC spiekane w temperaturze 1220°C charakteryzują się dużą gęstością oraz małą niejednorodności (rys. rys. 9 i 10). Dodatkowo wykonane obserwacje mikrostruktury M+10WC w jasnym i ciemnym polu widzenia (rys. 8) wskazują na osiągnięcie prawie całkowitego zagęszczenia spieków.

## WNIOSKI

- Możliwe jest uzyskanie wysokiej gęstości i małej niejednorodności struktury spiekanej węglikostali M+10WC w wyniku odpowiedniego doboru parametrów spiekania.
- Dodatek węglika wolframu WC do stali szybkotnącej M powoduje aktywację procesu spiekania. W wyniku reakcji chemicznych pomiędzy węglikiem wolframu a stalą szybkotnącą M w układzie pojawia się faza ciekła, która aktywuje proces spiekania.

 Mikrostruktura węglikostali M+10WC spiekanej w temperaturze 1220°C składa się z martenzytu oraz austenitu szczątkowego, natomiast wydzielenia występujące w węglikostali to węgliki typu MC, M<sub>6</sub>C oraz węglik WC wprowadzony do węglikostali

w postaci proszku. Stwierdzono również występowanie w strukturze węglikostali M+10WC węglika W<sub>2</sub>C.

Praca finansowana przez KBN w ramach badań statutowych.

Autorzy dziękują Pani Prof. Wiktorii Ratuszek za wykonanie dyfrakcyjnej analizy fazowej.

## LITERATURA

- Saha B.P., Upadhyaya G.S., Liquid phase sintering of T15 and T42 HSS composites containing Ti(C, N), Powder Metallurgy International 1992, 24, 6.
- [2] Torralba J.M., Cambronero L.E.G., Ruiz-Prieto J.M., Das Neves M.M., Sinterability study of M2 and T15 high speed steel reinforced with tungsten and titanium carbides, Powder Metallurgy 1993, 36, 1, 55-66.
- [3] Zapata W.C., Da Costa C.E., Torralba J.M., PM high speed steels reinforced with NbC, Powder Metallurgy 1994.
- [4] Talacchia S., Andonegui A., Urcola J.J., Decreasing the sintering temperature of HSS powders in a nitrogen atmosphere by addition of VC or NbC, Powder Metallurgy 1994.
- [5] Saidi A., Reaction synthesis of Fe-(W, Ti) C composites, Journal of Material Processing Technology 1999, 89-90, 141-144.
- [6] Lou D., Hellman J., Luhulima D., Liimatainen J., Lindroos V.K., Interactions between tungsten carbide (WC) particulates and metal matrix in WC-reinforced composites, Material Science and Engineering 2003, A340, 155-162.
- [7] Leżański J., Wpływ węglika WC i miedzi fosforowej na strukturę i własności spiekanych kompozytów na osnowie stali szybkotnącej, Rudy Metale 2001, 46, 12.
- [8] Indra J., Leżański J., Wpływ dodatku węglika WC i parametrów wytwarzania na strukturę i własności węglikostali na osnowie stali szybkotnącej, Kompozyty (Composites) 2003, 3, 7, 187-191.
- [9] Indra J., Leżański J., Wpływ dodatku węglika wolframu WC i temperatury spiekania na własności spiekanych kompozytów na osnowie stali szybkotnącej, XXXI Szkoła Inżynierii Materiałowej, Kraków-Krynica 7-10 X 2003, 289-296.
- [10] Wright C.S., Youseffi M., Wroński A.S., Ansara I., Durand--Charré M., Mascarenhas J., Oliveira M.M., Lemoisson F., Bienvenu Y., Supersolidus liquid phase sintering of high speed steel - the computer aided design of sinterable alloys, Powder Metallurgy 1999, 42, 2, 131-145.
- [11] Kar P.K., Upadhyaya G.S., Liquid phase sintering of P/M high speed steels, Powder Metallurgy International 1990, 22, 1.
- [12] Randall M., German, Supersolidus liquid phase sintering, Part I: Process Review, The International Journal of Powder Metallurgy 1990, 26, 1.

- [13] Randall M., German, Supersolidus liquid phase sintering, Part II: Densification theory, The International Journal of Powder Metallurgy 1990, 26, 1.
- [14] Takajo S., Nitta M. Observation of liquid phase sintering of a high speed steel powder, Sintering'85, eds. G.C. Kuczyń-

ski, D.P. Uskokovic, H. Palmour III, M.M. Ristic, Plenum Press, New York 1987.

Recenzent Andrzej Olszyna