



Wpływ stosunku masy kul do masy proszku oraz czasu mieszania w mieszalniku planetarnym na wybrane charakterystyki mieszanki W-Cu i wykonanych z niej spieków

ADAM JACKOWSKI, MAREK DĄBROWSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechatroniki, Instytut Elektromechaniki,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu wyselekcjonowanych warunków przygotowania mieszanek zawierających 55% wag. proszku wolframu i 45% wag. proszku miedzi i temperatury spiekania na gęstość otrzymanych spieków oraz ich jednorodność strukturalną. Mieszanki proszkowe przygotowywano, stosując mieszanie w obecności kul, których stosunek masy do proszku wynosił: 1:1, 5:1 i 10:1. Czas mieszania był zmienny i wynosił: 0,5; 4; 6; 8; 30 godzin. Spiekanie prowadzono w atmosferze zdysocjowanego amoniaku w dwóch temperaturach 900 i 1000°C. Określano gęstość spieków oraz jakościowo ich jednorodność strukturalną. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że temperatura spiekania, w badanym zakresie, nie wpływa istotnie na właściwości spieków. Zaobserwowano, że spiekanie nie wpływa na jednorodność strukturalną materiału wyprasek.

Słowa kluczowe: metalurgia proszków, technologia spieków

Symbole UKD: 621.762

1. Wstęp

Przedstawiona w pracach [1-11] koncepcja wykorzystania kompozytów metalicznych, otrzymywanych z proszków konsolidowanych w wyniku prasowania w metalowych formach, znalazła zastosowanie w istniejących rozwiązaniach konstrukcyjnych i technologicznych amunicji strzeleckiej. W niektórych krajach podjęto produkcję takiej amunicji. Pojawiły się także informacje o jej zastosowaniu militarnym.

Podstawowym założeniem twórców takiej koncepcji technologicznej i materiałowej był warunek opracowania nowych pocisków zastępujących istniejące bez konieczności zmian konstrukcyjnych broni. To założenie wymuszało opracowanie materiału zastępczego o zbliżonej do ołowiu gęstości. Z jednej strony zastosowanie odpowiednich materiałów wyjściowych, a przede wszystkim wolframu, umożliwiło spełnienie tego warunku, z drugiej zaś wprowadzenie odpowiednich komponentów pozwoliło na uproszczenie procesu produkcyjnego dzięki wyeliminowaniu operacji spiekania wyprasek. Wyniki badań technologicznych wykonanych przez Autorów pracy dotyczące takiego sposobu wytwarzania części składowych pocisków przedstawiono w [12-15].

Konsolidacja „na zimno” kompozytu W-x występuje wtedy, gdy istnieją warunki umożliwiające powstawanie połączeń adhezyjnych w temperaturze otoczenia lub dyfuzyjnych w fazie ciekłej. Warunki te mogą być spełnione podczas prasowania proszków, a mianowicie przemieszczanie się cząstek proszku względem siebie powoduje, na skutek odkształcenia plastycznego oraz siły tarcia, usunięcie z powierzchni cząstek proszku warstwy tlenków i ich zbliżenie do siebie na odległość umożliwiającą zaistnienie efektu Van der Valsa. Ponadto mogą także wystąpić lokalne strefy silnego nagrzewania się cząstek proszku w mikroobjętości wywołane tarcieniem wzajemnym cząstek. W wyniku tego, na skutek zastosowania składnika proszkowego o niskiej temperaturze topnienia w objętości prasowanych proszków mogą pojawić się strefy płynnego metalu. Taki stan rzeczy prowadzi do powstania lokalnych połączeń powstałych z fazy ciekłej. Przebieg procesu jest trudny do skontrolowania, gdyż zależy od: właściwości fizycznych składników mieszanki proszkowej, charakterystyki granulometrycznej zastosowanych proszków, warunków i sposobu prasowania oraz pośrednio od geometrii wyrobu [16-25]. Biorąc pod uwagę złożoność zjawiska, można się spodziewać, że proces konsolidacji w ograniczonym zakresie spełni wymagania techniczne postawione rdzeniom i pociskom, zwłaszcza w zakresie balistyki końcowej, ograniczając ich obszar zastosowania.

Przedstawiony problem konsolidacji „na zimno” jest znany w klasycznej technologii spieków i jest wykorzystywany do nadawania wypraskom cech wytrzymałościowych umożliwiających realizację wszystkich faz technologicznych. Wypraski muszą być na tyle wytrzymałe, aby mogły być usunięte z formy i dalej transportowane na stanowiska spiekania w stanie nieuszkodzonym. Obciążenia zewnętrzne występujące w tych fazach procesu są nieporównywalne z tymi, którym poddawane są elementy pocisku podczas strzału oraz uderzenia w przegrodę.

Stosowany w procesach metalurgii proszków sposób konsolidowania wyprasek na drodze spiekania umożliwia stworzenie warunków tworzenia się połączeń dyfuzyjnych pomiędzy cząstkami wybranych składników zarówno w fazie stałej, jak i ciekłej. Możliwa jest także pełna kontrola nad tym procesem [25]. Należy także nadmienić, że proces spiekania może przyczynić się do polepszenia jednorodności spieków [26-30].

Dlatego, mając na uwadze możliwości, jakie daje metalurgia proszków w zastosowaniu m.in. w amunicji, przyjęto alternatywny sposób wykonania elementów składowych pocisków, zdając sobie sprawę z możliwości wykorzystania wyników w innych rozwiązaniach pocisków.

Celem pracy jest powiązanie warunków przygotowania mieszanek proszkowych i temperatury spiekania wyprasek z nich wykonanych z jednorodnością strukturalną uzyskiwanych spieków.

2. Przebieg i wyniki badań

2.1. Przygotowanie próbek do badań

Na podstawie wyników badań przedstawionych w [15] przyjęto, że prasowaniu i spiekaniu poddane będą proszki poddawane mieszaniu w wybranych warunkach, a mianowicie:

- stosunek masy kul do proszku równy 1:1, 5:1 i 10:1,
- czas mieszania równy 0,5; 4; 6; 8; 30 godzin.

Wybór warunków przygotowania mieszanek proszkowych uwzględniał zarówno charakterystyki ilościowe wyprasek — gęstość prasowania, jak i obserwowaną jednorodność rozkładu składników proszkowych w objętości wyprasek [15].

Badania spiekania przeprowadzono na wypraskach, które prasowano w formie metalowej pod ciśnieniem 600 MPa.

W pracy przyjęto, że spiekanie wyprasek wykonywane będzie w temperaturze poniżej temperatury topnienia składników spieku w dwóch wariantach technologicznych, a mianowicie 900 i 1000°C. Wybór tych dwóch wariantów spiekania podyktowany był możliwością uzyskania spiekanych kompozytów o różnych właściwościach fizycznych, a przede wszystkim gęstości zbliżonej do ołowiu.

Przyjęto następujące warunki spiekania:

wariant I

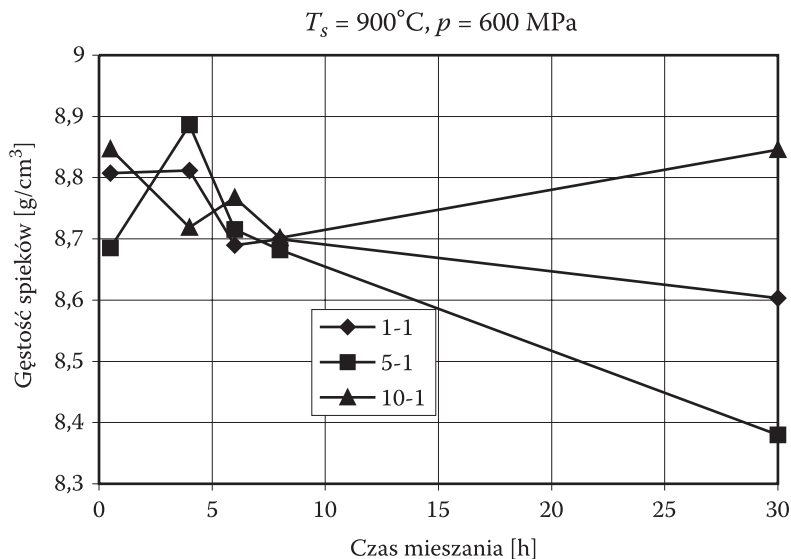
- atmosfera redukująca zdysocjowanego amoniaku;
- spiekanie wstępne — 600°C przez 1 h;
- spiekanie zasadnicze — 900°C przez 1 h;

wariant II

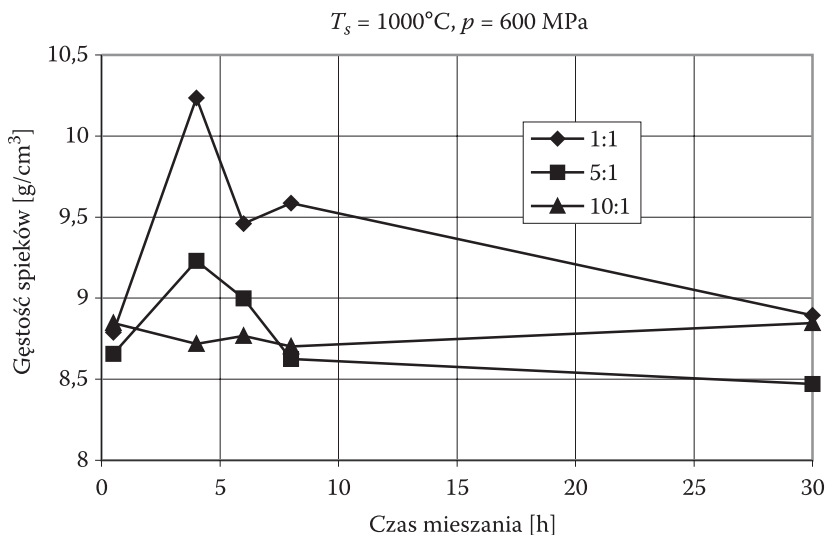
- atmosfera redukująca zdysocjowanego amoniaku;
- spiekanie wstępne — 600°C przez 1 h;
- spiekanie zasadnicze — 1000°C przez 1 h.

2.2. Wyniki badań

Po spiekaniu określono gęstość uzyskanych spieków oraz wykonano badania metalograficzne mikrostruktury otrzymanych spieków dla zastosowanych wariantów badawczych. Na rysunkach 1 i 2 zestawiono wyniki badania gęstości spieków.



Rys. 1. Zależność gęstości spieków od zastosowanych warunków przygotowania mieszanki proszkowej dla wariantu technologicznego spiekania w 900°C



Rys. 2. Zależność gęstości spieków od zastosowanych warunków przygotowania mieszanki proszkowej dla wariantu technologicznego spiekania w 1000°C

Otrzymane rezultaty badań spiekania (zestawione na rysunkach 1 i 2) nie dają jednoznacznej odpowiedzi odnośnie roli warunków przygotowania mieszanki oraz spiekania wyprasek na końcową gęstość spieków. Zaobserwowane zmiany gęstości

spieków uzyskiwanych z proszków mieszanych w czasie nieprzekraczającym 10 h są najintensywniejsze. Uzyskiwane z tych mieszanek wypraski i spieki osiągają najwyższe gęstości.

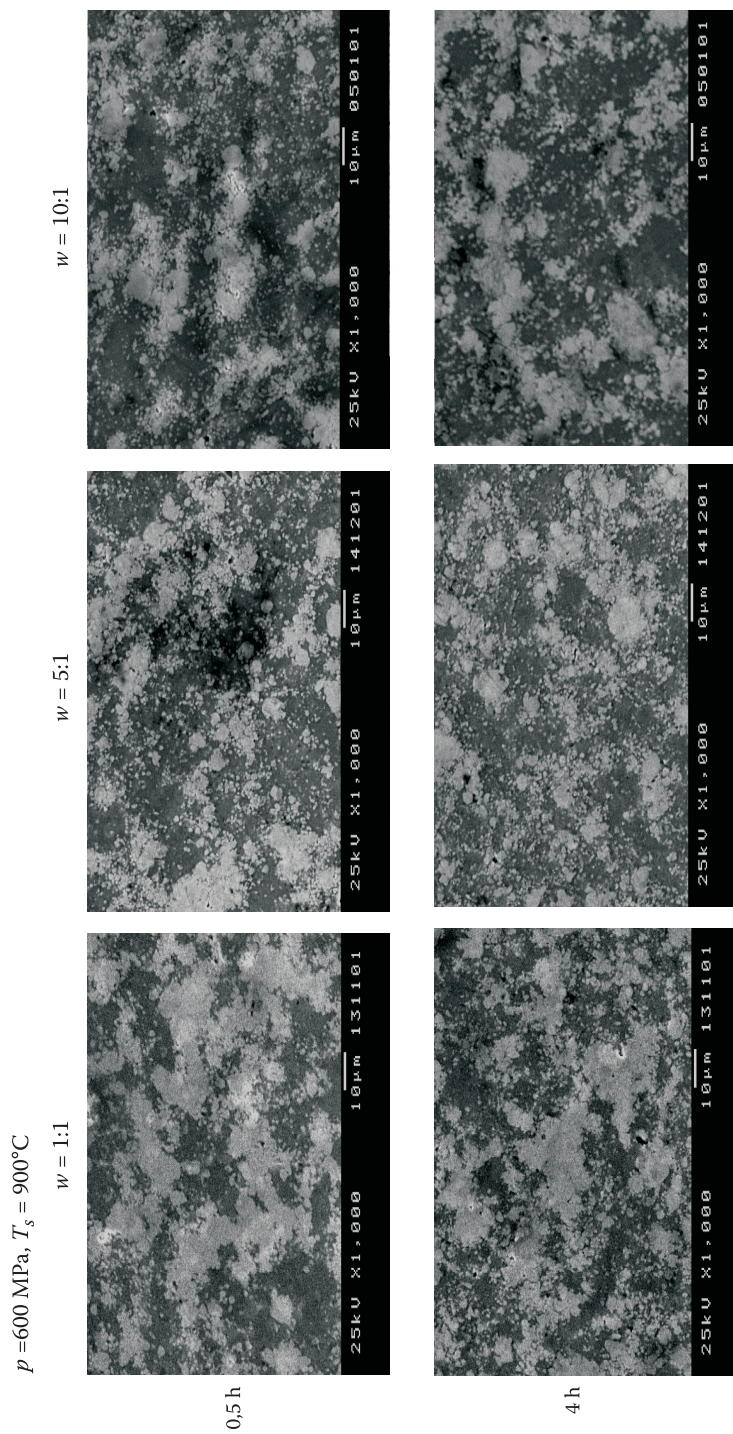
Jeśli chodzi o wpływ temperatury spiekania na gęstość spieków, to można to zaobserwować na porównawczym zestawieniu tych wartości przedstawionym w tabeli 1. Uzyskane wyniki nie odbiegają od znanych powszechnie w metalurgii proszków, a mianowicie zwiększenie temperatury spiekania powoduje wzrost gęstości spieków. Można także zauważyć, że wzrost gęstości w badanym zakresie temperatur jest nieznaczny.

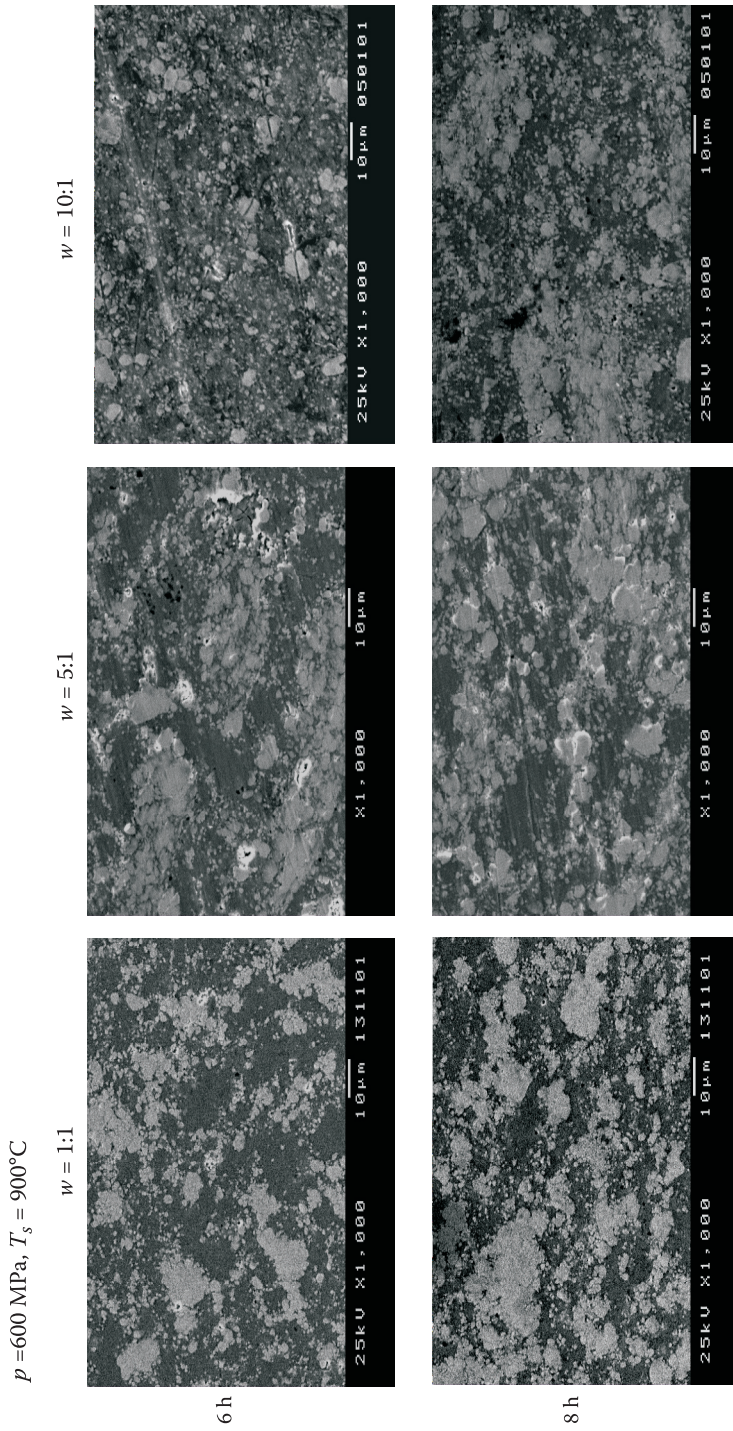
TABELA 1

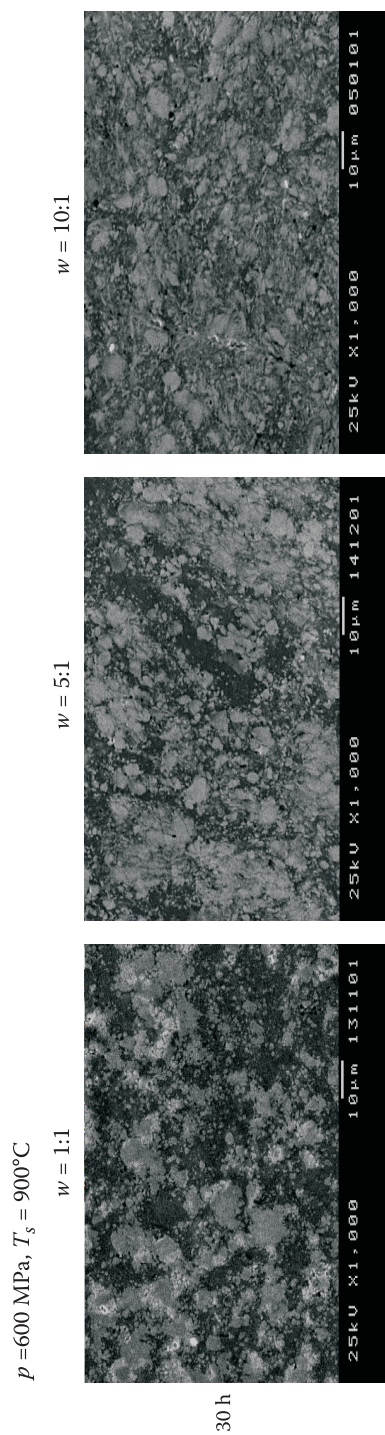
Porównanie gęstości spieków otrzymywanych z proszków po różnym czasie mieszania i spiekanych w różnej temperaturze

Masa kul do masy proszku	Temp. spiekania	Czas mieszania, h				
		0,5	4	6	8	30
1:1	wypraska	8,54	8,58	8,68	8,64	8,47
	900	8,81	8,81	8,69	8,70	8,60
	1000	8,79	10,24	9,46	9,59	8,89
5:1	wypraska	8,58	8,84	8,70	8,67	8,07
	900	8,69	8,89	8,72	8,68	8,38
	1000	8,66	9,23	9,00	8,62	8,47
10:1	wypraska	8,56	8,69	8,69	8,81	7,74
	900	8,85	8,72	8,77	8,70	8,85
	1000	8,89	8,92	8,75	9,19	8,68

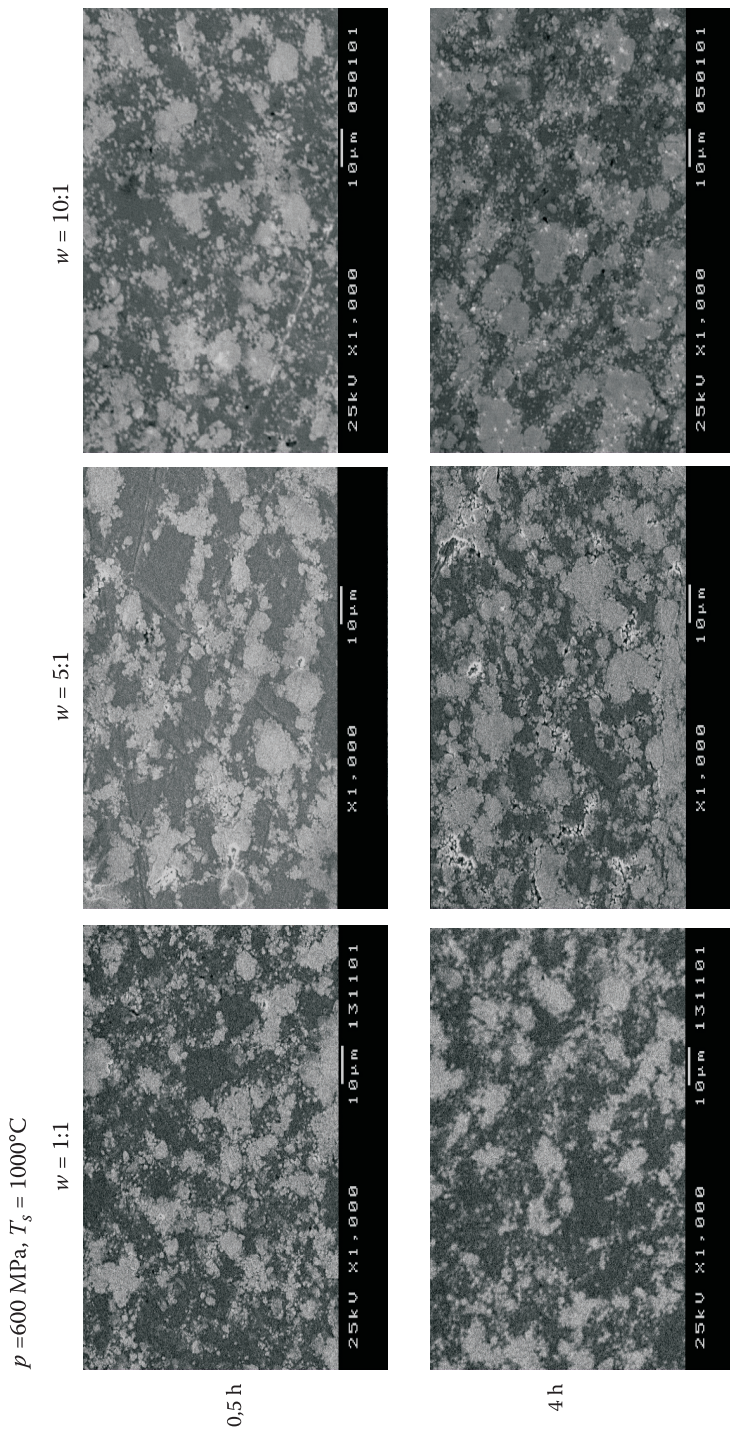
Na rysunkach 3 i 4 zaprezentowano mikrostruktury spieków otrzymanych zgodnie z zastosowanymi wariantami mieszania i spiekania.

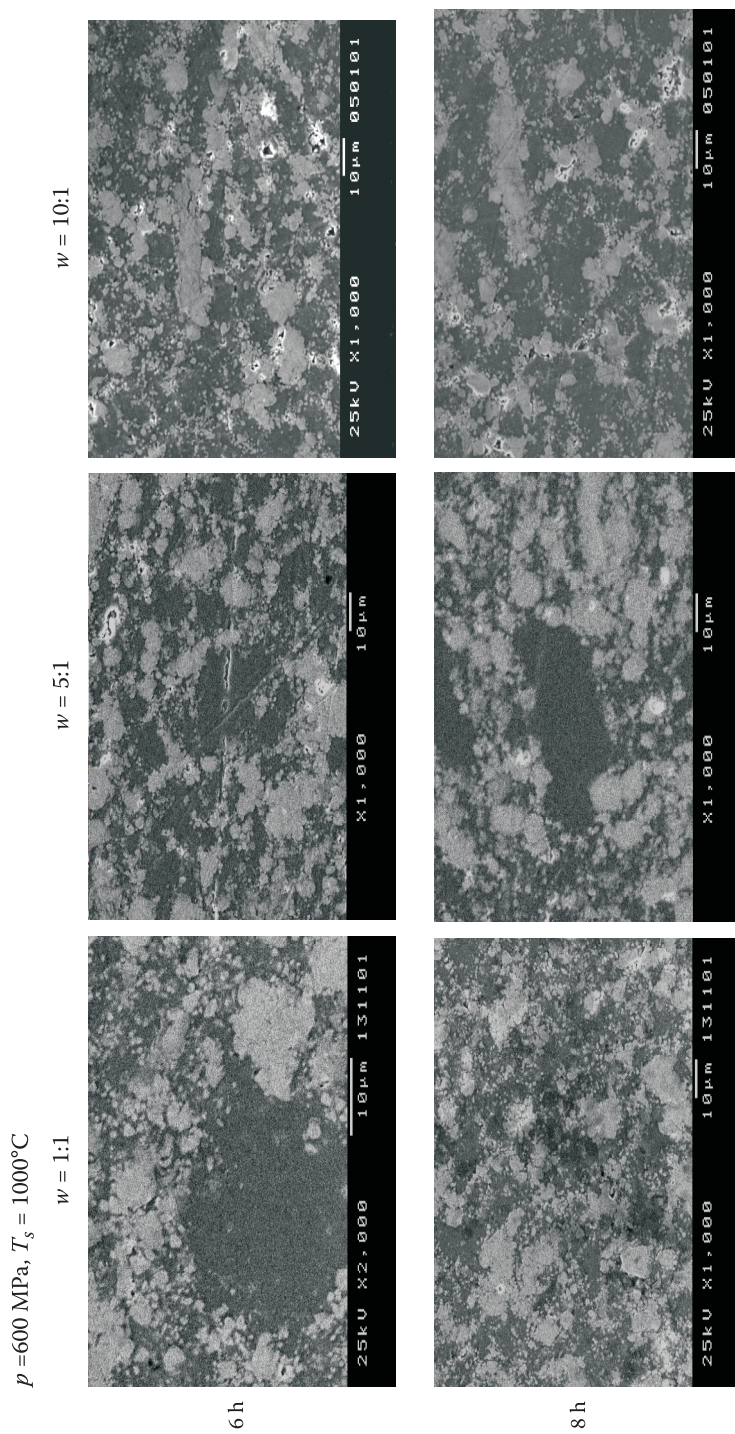


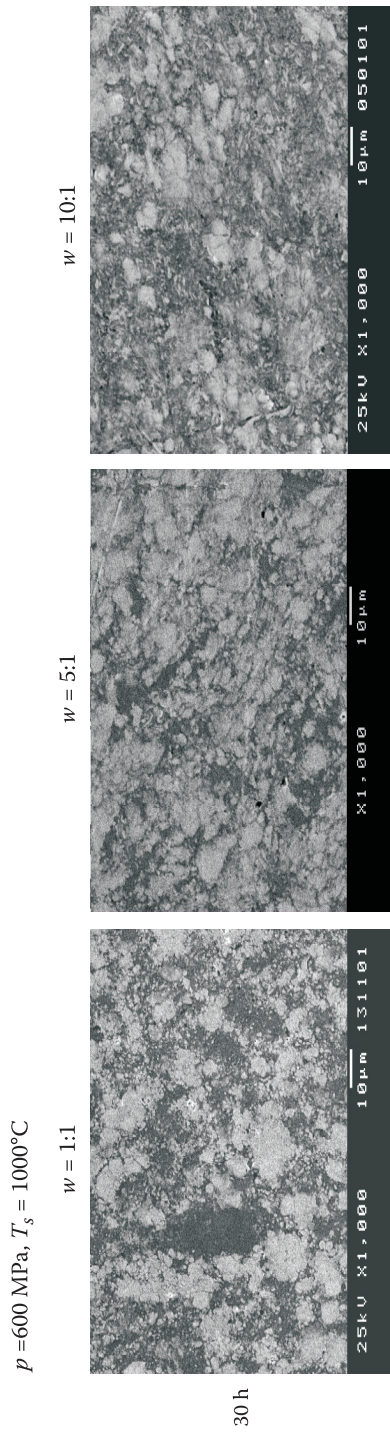




Rys. 3. Fotografie mikrostruktury spieków otrzymanych z wyprasek prasowanych z mieszanek po różnych czasach mieszania proszków i wartościach współczynnika w dla wariantu technologicznego spiekania $T_s = 900^\circ\text{C}$







Rys. 4. Fotografie mikrostruktury spieków otrzymanych z wyprasek prasowanych z mieszanek po różnych czasach mieszania proszków i wartościach współczynnika w dla wariantu technologicznego spiekania $T_s = 1000^\circ\text{C}$

3. Podsumowanie

Na podstawie zaprezentowanych fotografii mikrostruktur spieków W-Cu w różnych warunkach przygotowania mieszanki i spiekania można zauważyć, że jednorodność rozkładu cząstek wolframu w osnowie zależy od czasu mieszania i wartości stosunku masy kul do proszku. Zadowalającą jednorodność mikrostruktury można zauważyć w spiekach otrzymanych z mieszanek poddawanych mieszaniu przez 30 godzin.

Podobnie wyraźny wpływ na jednorodność mikrostruktury ma obecność kul podczas mieszania. Wzrost wartości współczynnika w wpływa korzystnie na rozdrobnienie i homogenizację mieszanki proszkowej. Dla wartości współczynnika $w = 1:1$ w całym przedziale czasów mieszania nie zaobserwowano znaczącej zmiany w rozkładzie cząstek wolframu w osnowie miedzianej. Najszybciej efekt ujednorodniania mikrostruktury spieków występuje w przypadku największej wartości w wynoszącej 10:1. Już po 6 godzinach mieszania widoczne są pierwsze efekty homogenizacji.

Nie zaobserwowano istotnego wpływu temperatury w badanym zakresie na zmiany rozkładu cząstek wolframu w osnowie miedzianej.

Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2004-2006 jako projekt badawczy OT00B 015 26.

Artykuł wpłynął do redakcji 28.03.2007 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w maju 2007 r.

LITERATURA

- [1] R. R. DURKEE, D. W. DOUGLAS, *Development of lead-free 5.56 mm ammunition using a tungsten/nylon composite material*, Tungsten, Hard Metals, and Refractory alloys 5, Metal Powder Industries Federation, Princeton, 2000, 9-12.
- [2] J. R. MIDDLETON, *Elimination of toxic/hazardous materials from small caliber ammunition*, Tungsten, Hard Metals, and Refractory alloys 5, Metal Powder Industries Federation, Princeton, 2000, 3-8.
- [3] L. S. MAGNESS, DEEPAK KAPOOR, *Tungsten composite materials with alternative matrices for ballistic applications*, Tungsten, Hard Metals, and Refractory alloys 5, Metal Powder Industries Federation, Princeton, 2000, 15-23.
- [4] M. R. MARBY, *Lead-free 5.56 mm ammunition*, Joint Services Small Arms Symposium, Session VII — Ammunition and the Environment, August 2000.
- [5] K. J. A. BROOKES, *PM materials take aim at wast munitions markets*, Metal Powder Review, Marzec 2001 (dostępne on-line w www.elsevier.com).
- [6] J. L. JONES, *Frangible and non-toxic ammunition*, (dostępne on-line w www.policeandsecuritynews).
- [7] R. KELLY, *Advantages in lead-free frangible bullets for training ammunition*, Joint Services Small Arms Symposium, Session VII — Ammunition, August 2001.

- [8] *BMP for lead at Outdoor Shooting Ranges*, Appendix B: Lead Shot Alternatives, (dostępne on-line w www.epa.gov).
- [9] N. VAUGHN, R. LOWDEN, *Powder metallurgy replacements for lead in small calibre bullets*, NDIA 1998 Small Arms Systems Section, Annual Conference, Culumbus, Georgia, 1998 (dostępne on-line www.dtic.mil).
- [10] R. LOWDEN, *U.S. Military "Green Bullet"*, (dostępne on-line w www.firearmsid.com).
- [11] R. LOWDEN and al., *Non-lead environmentally safe projectiles and method of making same*, United States Patent N^o 5, 760, 331.
- [12] A. JACKOWSKI, *Zależność gęstości i porowatości wyprasek od sposobu przygotowania mieszanki proszkowej*, Biul. WAT, vol. LIII, nr 9, 2004, 75-85.
- [13] A. JACKOWSKI, J. MICHAŁOWSKI, *Badanie procesu homogenizacji mieszanek proszków metali w mieszalnikach kulowych. Część I. Wpływ stosunku masy kul do masy proszku oraz czasu mieszania na wybrane charakterystyki mieszanki W-Sn i wykonanych z niej wyprasek*, Biul. WAT, LIV, nr 12, 2005.
- [14] A. JACKOWSKI, *Wpływ stosunku masy kul do masy proszku oraz czasu mieszania na wybrane charakterystyki mieszanki W-Zn i wykonanych z niej wyprasek*, Biul. WAT, LVI, nr 2, 2007, 59-76.
- [15] A. JACKOWSKI, M. DĄBROWSKI, *Wpływ stosunku masy kul do masy proszku oraz czasu mieszania w mieszalniku planetarnym na wybrane charakterystyki mieszanki W-Cu i wykonanych z niej wyprasek*, Biul. WAT, LVI, nr 2, 2007, 77-94.
- [16] E. WŁODARCZYK, J. MICHAŁOWSKI, M. MICHAŁOWSKI, J. PIĘTASZEWSKI, *Wpływ sposobu przygotowania mieszanek proszkowych na mikrostrukturę i wybrane właściwości spieków W-Ni-Fe-Re*, Biul. WAT, nr 5-6, 2003.
- [17] N. T. ROCHMAN, S. KURAMOTO, R. FUJIMOTO, H. SUEYOSHI, *Effect of milling speed on an Fe-C-Mn system alloy prepared by mechanical alloying*, J. of Materials Processing Technology, 138, 2003, 41-46.
- [18] F. ALVES DA COSTA, A. G. P. DA SILVA, U. U. GOMES, *The influence of the dispersion technique on the characteristics of the W-Cu powders and on the sintering behavior*, Powder Technology, 134, 2003, 123-132.
- [19] C. SURYANARAYANA, E. IVANOV, V. V. BOLDYREV, *The science and technology of mechanical alloying*, Materials Science and Engineering A, 304-306, 2001, 151-158.
- [20] F. BINCZYK, W. POLECHOŃSKI, S. J. SKRZYPEK, *Intensive grinding of powders in an electro-magneto-mechanical mill*, Powder Technology, 114, 2001, 237-243.
- [21] R. B. SCHWARZ, *Introduction to the Viewpoint set on: mechanical alloying*, Scripta Materialia, vol. 34, no. 1, 1996, 1-4.
- [22] LI LU, M. O. LAI, *Formation of new materials in the solid state by mechanical alloying*, Materials & Design, vol. 16, no. 1, 1995, 33-39.
- [23] L. LÜ, M. O. LAI, S. ZHANG, *Modeling of the mechanical-alloying process*, J. of Materials Processing Technology, 52, 1995, 539-546.
- [24] S. EROGLU, T. BAYAKARA, *Effects of powder mixing technique and tungsten powder size on the properties of tungsten heavy alloys*, J. of Materials Processing Technology, 103, 2000, 288-292.
- [25] T. H. COURTNEY, D. MAURICE, *Process modeling of the mechanics of mechanical alloying*, Scripta Materialia, vol. 34, no. 1, 1996, 5-11.
- [26] R. M. GERMAN, *Powder Metallurgy Science*, Metal Powder Industries Federation, USA, 1994.
- [27] W. SCHATZ, K.-P. WIETERS, *Powder metallurgy — processing and materials*, EPMA, 1997.
- [28] J. LEŻAŃSKI, *Proszki metali i wysokotopliwych faz. Metody wytwarzania*, AGH, Kraków, 1994.

- [29] *Powder Metallurgy Equipment Manual*, Metal Powder Industries Federation, USA, 1986.
[30] *Compaction and Other Consolidation Processes*, Metal Powder Industries Federation, USA, 1992.

A. JACKOWSKI, M. DĄBROWSKI

Effect of ball-to-powder weight ratio and mixing time on selected characteristics of W-Cu mixtures and made from it sinters

Abstract. Investigation results of the influence of the condition preparation mixtures contained 55% wt. of tungsten and 45% wt. of copper and sintering temperature on sinters density and their structural homogeneity were presented in this paper. Mixtures were prepared in the following conditions: ball-to-powder weight ratios were — 1:1, 5:1, and 10:1, the mixing time was — 0.5, 4, 6, 8, and 30 hours. Sintering was made at two temperatures, 9000°C and 10000°C in the atmosphere of dissociated amonia. The sinters density and their structural homogeneity were estimated. On the basis of the investigation results one can see that a sintering temperature does not affect sinters properties.

Keywords: powder metallurgy, sinters technology

Universal Decimal Classification: 621.762