



## Badania wybranych właściwości spieku 80W-20Re

TOMASZ MAJEWSKI<sup>1</sup>, TOMASZ DUREJKO<sup>2</sup>, MARCIN ROSIŃSKI<sup>3</sup>,  
ANDRZEJ MICHALSKI<sup>3</sup>

Wojskowa Akademia Techniczna, <sup>1</sup>Wydział Mechatroniki,

<sup>2</sup>Wydział Nowych Technologii i Chemii,

00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2, tmajewski@wat.edu.pl

<sup>3</sup>Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Materiałowej,

02-507 Warszawa, Wołoska 141, ninmar@inmat.pw.edu.pl

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki wstępnych badań spieków 80W-20Re. Próbkę do badań wytworzono, wykorzystując trzy warianty procesu technologicznego: spiekanie rezystancyjne (RS), metodę PPS oraz spiekanie w piecu próżniowym. Dwie pierwsze metody pozwoliły otrzymać spiek o zbliżonych właściwościach (porowatość, twardość), natomiast w wyniku spiekania wysokotemperaturowego w piecu próżniowym uzyskano materiał o bardzo dużej porowatości. Jednocześnie stwierdzono, że spiekanie metodami RS i PPS powoduje powstanie mikrostruktury anizotropowej, o wydłużonym kształcie cząstek.

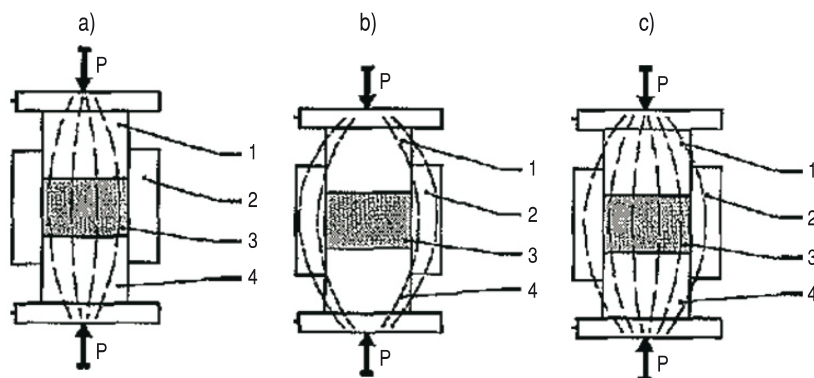
**Słowa kluczowe:** spieki ciężkie, spiekanie rezystancyjne, Pulse Plasma Sintering

### 1. Wstęp

W trakcie przepływu prądu elektrycznego przez proszek następuje łączenie jego cząstek, wskutek energii cieplnej wytwarzanej bezpośrednio w materiale w wyniku przemiany elektrotermicznej [1]. Miejscowy gradient temperatury przyspiesza zachodzącą dyfuzję, co skraca czas procesu spiekania. W przeciwieństwie do konwencjonalnego spiekania, energia cieplna wydziela się przede wszystkim w miejscach styku cząstek proszków. Metoda ta, ze względu na swój specyficzny przebieg, pozwala na znaczne przyspieszenie procesu wytwarzania wyrobów spiekanych, a także na wyeliminowanie niektórych operacji występujących w tradycyjnej metalurgii proszków, zawierającej przede wszystkim prasowanie i spiekanie.

Do spiekania rezystancyjnego zalicza się te procesy, w których półfabrykat uzyskuje się w wyniku przepływu prądu elektrycznego przez proszek lub elementy oprzyrządowania technologicznego (rys. 1). Według tego kryterium można wyróżnić [2]:

- spiekanie wskutek przepływu prądu przez proszek,
- spiekanie poprzez przepływ prądu przez matrycę (w tym przypadku nie występują zjawiska typowe dla spiekania rezystancyjnego),
- spiekanie, podczas którego prąd przepływa jednocześnie przez proszek i matrycę.



Rys. 1. Metody spiekania proszku z wykorzystaniem przepływu prądu elektrycznego [3]: a) przez materiał spiekany (proszek); b) przez matrycę; c) jednocześnie przez proszek i matrycę; 1 — elektroda górna, 2 — matryca, 3 — spiekany proszek, 4 — elektroda dolna

Przepływ prądu przez proszek generuje szereg zjawisk, z których część jest charakterystyczna dla tej metody spiekania. Warunki grzania wsadu proszkowego umożliwiają uzyskiwanie materiałów o specyficznych właściwościach fizykomechanicznych, co z kolei powoduje zainteresowanie nimi naukowców i technologów.

Źródła literaturowe [3-5] zgodnie podają, że przepływ prądu elektrycznego przez proszek znacznie przyspiesza procesy transportu masy pomiędzy sąsiadującymi cząstkami, powodując szybsze spiekanie proszku. Przykładem mogą być wyniki analizy spiekanych rezystancyjnie proszku chromu [4-6] i żelaza [7, 8], na podstawie której stwierdzono, że po kilkunastu minutach grzania poprzez przepływ prądu elektrycznego otrzymano taką samą gęstość próbek, jak po kilku godzinach spiekania tych samych materiałów w piecu (przy uzyskaniu zbliżonych właściwości mechanicznych). Spowodowane jest to między innymi silnym polem elektrycznym wytworzonym w wyprasce oraz wysokim gradientem temperatury występującym w miejscach styku cząstek.

Ważnym aspektem tego typu spiekania jest zjawisko wymiany ciepła z otoczeniem. Ma to duży wpływ na strukturę i właściwości uzyskanego elementu. Najwyższa temperatura występuje w osi spieku. Im bliżej warstwy wierzchniej, tym temperatura niższa i większy jej gradient. Dlatego też w strefie przypowierzchniowej istnieje

możliwość uzyskania gorszej jakości metalurgicznej spieku (większa porowatość i mniejsza twardość itp.). Oprócz rozkładu temperatury, na stopień połączenia cząstek w różnych obszarach spieku ma również wpływ niejednorodność materiału spiekane. Rozkład gęstości prądu w objętości wypraski może być niejednakowy, co zwykle prowadzi do różnic temperatury [2].

Proces spiekania wywołany przepływem prądu elektrycznego przez proszek posiada wiele zalet w stosunku do tradycyjnych metod z obszaru metalurgii proszków, tj.:

- a) wytwarzanie ciepła bezpośrednio w całej objętości spiekane materiału,
- b) krótki czas trwania procesu spiekane,
- c) możliwość uzyskania wysokiej temperatury stosunkowo niskim kosztem,
- d) małe zużycie energii,
- e) możliwość prowadzenia procesu bez atmosfery ochronnej.

Do wad tego procesu można zaliczyć:

- a) trudności związane z pomiarem temperatury spiekane,
- b) trudności z uzyskaniem jednorodnej struktury spieku,
- c) problemy z trwałością narzędzi (stemple i matryce) ze względu na duży gradient temperatury,
- d) nierównomierny rozkład gęstości prądu przy spiekaniu elementów o małym stosunku wysokości do wymiarów poprzecznych.

Zaawansowaną technicznie i technologicznie odmianą spiekane rezystancyjnego jest metoda spiekane plazmowego Pulse Plasma Sintering (PPS), która permanentnie rozwijana, znajduje coraz szersze zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu.

Do nagrzewania spiekane proszku wykorzystuje się w tym przypadku silno-prądowe wyładowania elektryczne. Wysoka energia (znacznie wyższa niż w innych metodach — dochodząca do 600 MW) jest dostarczana do wsadu proszkowego w bardzo krótkim czasie. Umożliwia to skrócenie czasu trwania procesu spiekane do kilku minut [9, 10].

Metoda PPS może być wykorzystywana do wytwarzania spieków o wysokiej gęstości z szerokiej grupy materiałów, tj.: metali (wolfram, tytan, żelazo) i ich stopów, cermetali ( $Al_2O_3$ , TiN,  $TiB_2$ ), kompozytów (WC-Co, WCu, Cu-diamant, NiAl-TiC, NiAl- $Al_2O_3$ ), F oraz materiałów z gradientem składu chemicznego [9, 10].

Stosując tę metodę, można również spiekać proszki o strukturze nanokrystalicznej, uzyskując materiały o gęstości bliskiej teoretycznej, z zachowaniem nanometrycznej wielkości ziarna. Dlatego metoda Pulse Plasma Sintering umożliwia realizację procesów spiekane wykorzystujących reakcję SHS (*Self Propagating High Temperature Synthesis*). Przykładem materiałów uzyskanych tym sposobem mogą być spieki na podstawie faz z układów Ni-Al i Fe-Al otrzymane z czystych proszków niklu, żelaza i aluminium oraz spieki ciężkie WC-Co [9, 10].

W technice PPS silnoprądowe impulsy elektryczne przepływają zarówno przez matrycę, jak i konsolidowany proszek. Podczas procesu spiekane można zastosować

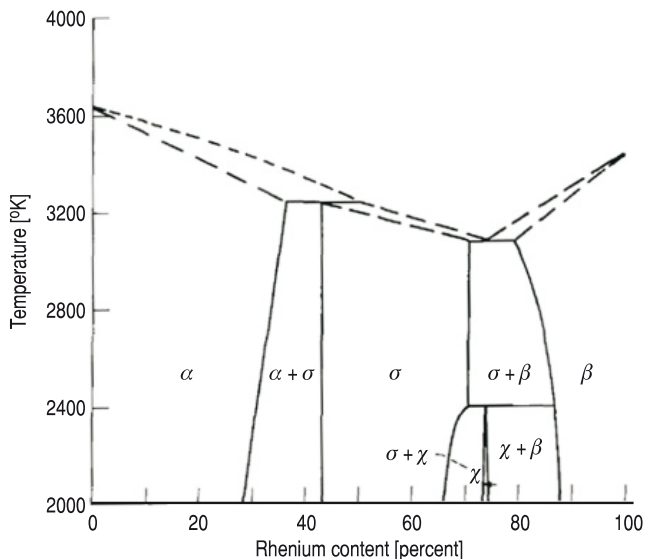
średnią ustaloną temperaturę spiekania, w której prowadzony jest proces spiekania, oraz znacznie wyższą temperaturę występującą podczas kolejnych wyładowań elektrycznych. Natężenie prądu płynącego przez spiekany proszek w trakcie rozładowania kondensatorów osiąga wartość rzędu kilkudziesięciu kA, a czas jego trwania wynosi kilkaset mikrosekund.

Opisane w pracy badania dotyczą spieków 80W-20Re wytwarzanych różnymi metodami. Materiał ten oprócz bardzo dobrych właściwości mechanicznych [11] charakteryzuje się dobrą przewodnością elektryczną, wysoką odpornością na korozję i erozję oraz dużą odpornością na działanie łuku elektrycznego. Stopy wolframu z renem odznaczają się kilkukrotnie większą zdolnością do odkształcenia plastycznego niż czysty wolfram. W związku z tym istnieje możliwość kształtowania elementów, wytworzonych z tych spieków, na drodze obróbki plastycznej zarówno na gorąco, jak i w temperaturze otoczenia.

Od wielu lat prowadzone są badania nad wykorzystaniem tego typu stopów na rdzenie pocisków przeciwpancernych podkalibrowych [12, 13].

Znajdują one również zastosowanie jako materiały na wysokoprądowe styki elektryczne [14], a także wykorzystuje się je do wytwarzania niektórych rodzajów termoelementów, szczególnie do pomiarów temperatury w zakresie 1700-2300°C [15, 16].

Powyżej zawartości 26% (wag.) Re tworzy się krucha i twarda faza międzymetaliczna  $\sigma$  i dlatego w przemyśle wykorzystuje się spieki W-Re o zawartości renu poniżej 26% (rys. 2) [18].



Rys. 2. Układ równowagi W-Re ([17] P.L. Raffo, Yielding and Fracture in Tungsten and Tungsten-Rhenium Alloys, National Aeronautics and Space Administration, Waszyngton, 1968)

## 2. Metodyka badań

Spieki W-Re otrzymano, wykorzystując następujące materiały wyjściowe:

- proszek wolframu niepreparowanego o czystości 99,98% i średniej wielkości cząstek 2,5  $\mu\text{m}$  prod. BAILDONIT — Węgliki Spiekane sp. z.o.o.;
- ren metaliczny uzyskany po redukcji renianu VII amonu ( $\text{NH}_4\text{ReO}_4$ ) wytworzony w Zakładzie Hydroelektrometalurgii Instytutu Metali Nieżelaznych w Gliwicach.

Z czystych technicznie proszków elementarnych sporządzono mieszanę zawierającą 80% W i 20% Re (wag.). Proces mieszania zrealizowano w młynku planetarnym typu PULVERISETTE 5 firmy FRITSH w czasie 10 godzin w alkoholu etylowym  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  skażonym eterem etylowym  $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$ .

Próbki do badań otrzymano przy zastosowaniu trzech procesów technologicznych, różniących się głównie sposobem realizacji spiekania wysokotemperaturowego, tj.:

- spiekanie w piecu próżniowym,
- spiekanie rezystancyjne prądem stałym (RS),
- spiekanie metodą Pulse Plasma Sintering.

W pierwszym przypadku wsad proszkowy zagęszczano metodą CIP (*Cold Isostatic Pressing*) pod ciśnieniem 300 MPa, wykorzystując do tego celu laboratoryjną prasę izostatyczną typu SO 5-7451-0 firmy NATIONAL-FORGE. Otrzymane wypraski spiekano wstępnie w piecu rurowym, w atmosferze dysocjowanego amoniaku (o temperaturze punktu rosy =  $-30^\circ\text{C}$ ), w temperaturze  $1150^\circ\text{C}$  i czasie 60 minut. Proces ten miał głównie na celu zredukowanie powłok tlenkowych na cząstkach proszków.

Spiekanie zasadnicze zrealizowano w piecu próżniowym typu 20VP-411/14 HV firmy SECO-WARWICK. Kształtki spiekano w temperaturze  $1650^\circ\text{C}$  w czasie 120 minut.

Drugi wariant technologiczny obejmował prasowanie matrycowe przygotowanej mieszanki proszków pod ciśnieniem 300 MPa, spiekanie wstępne (obydwa te procesy prowadzone były w takich samych warunkach jak w pierwszym przypadku) oraz spiekanie rezystancyjne, które zrealizowano w matrycy wykonanej z  $\text{Al}_2\text{O}_3$  w atmosferze argonu w temperaturze  $1650^\circ\text{C}$  w czasie 5 minut pod ciśnieniem ok. 70 MPa. Do spiekania końcowego wykorzystano urządzenie własnej konstrukcji znajdujące się na Wydziale Mechatroniki Wojskowej Akademii Technicznej.

Trzeci wariant technologiczny obejmował prasowanie matrycowe pod ciśnieniem ok. 15 MPa oraz spiekanie w próżni metodą Pulse Plasma Sintering w temperaturze  $1700^\circ\text{C}$  w czasie 5 minut pod ciśnieniem 60 MPa w grafitowej matrycy.

Proces ten realizowano przy pomocy urządzenia znajdującego się w Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej.

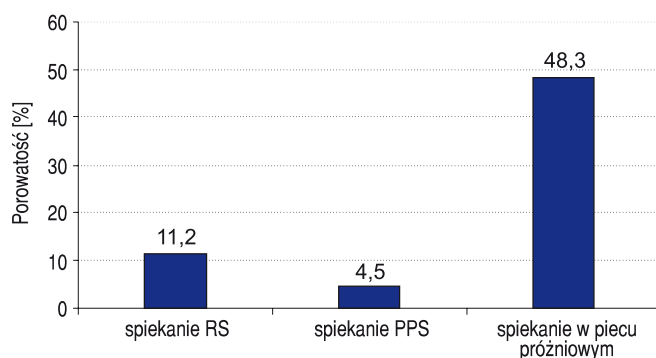
Spieki otrzymane według zaplanowanych wariantów technologicznych poddano badaniom obejmującym:

- hydrostatyczny pomiar porowatości,
- pomiary twardości i mikrotwardości przeprowadzone przy zastosowaniu twardościomierza firmy ZWICK typu 32120002/00,
- analizę składu chemicznego w wybranych mikroobszarach metodą EDS przy wykorzystaniu mikroskopu skaningowego PHILIPS z przystawką EDAX.

### 3. Badania wybranych właściwości spieków W-Re

W pierwszej fazie badań dokonano porównania wybranych właściwości spieków otrzymanych metodami RS i PPS w zbliżonych warunkach spiekania zasadniczego oraz spiekanych w piecu próżniowym.

Spiek wytworzony metodą PPS posiada porowatość rzędu 4,5%, co jest ponaddwukrotnie mniejszą wartością niż dla spieku otrzymanego w wyniku spiekania RS (rys. 3). Jednakże porównanie to nie może być uznane za całkowicie miarodajne ze względu na stosunek wysokości próbki do jej średnicy, równy 2 dla spiekania RS i 0,3 dla metody PPS.

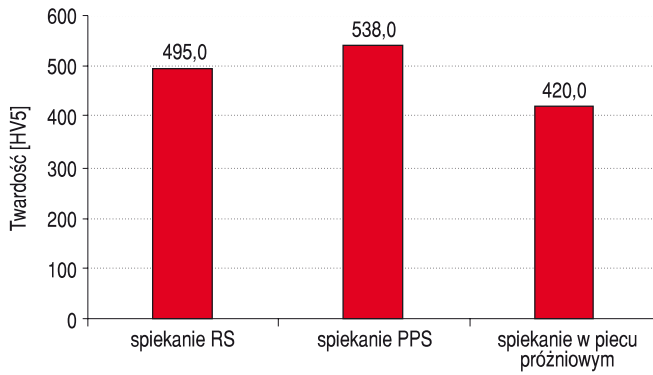


Rys. 3. Wpływ przyjętej metody wytwarzania spieków 80W-20Re na ich porowatość

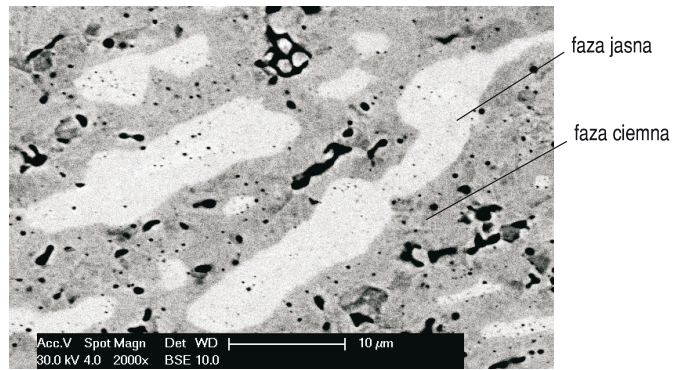
Przeprowadzone pomiary twardości wykazały, że spieki wykonane metodą PPS posiadają największą twardość (rys. 4).

W celu określenia budowy strukturalnej spieków W-Re otrzymanych według przyjętych wariantów technologicznych, przeanalizowano ich skład chemiczny. Temperatura spiekania we wszystkich przypadkach była zbliżona, a czas spiekania wynosił 5 minut — dla metody RS i PPS oraz 2 godziny — dla procesu spiekania w piecu próżniowym. Parametry te przyjęto na podstawie wcześniej wykonanych badań [2, 9].

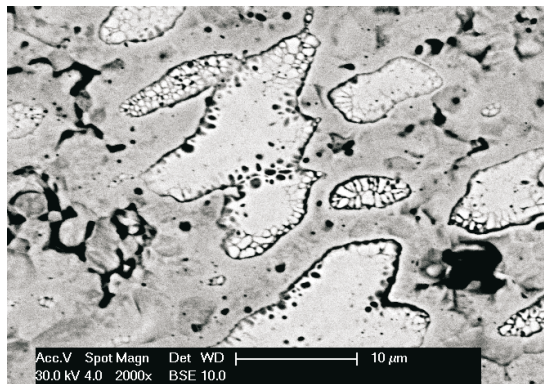
Na rysunkach 5-12 przedstawiono mikrostrukturę wytworzonych spieków 80W-20Re.



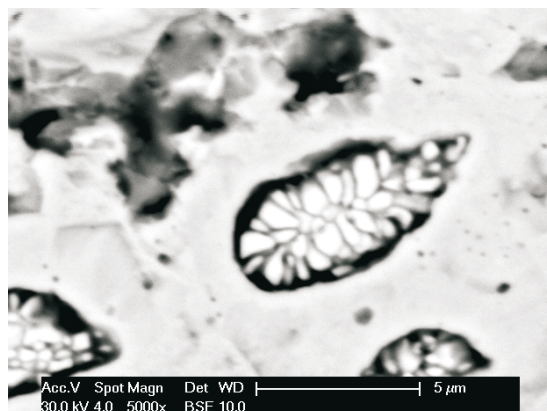
Rys. 4. Porównanie twardości spieków 80W-20Re wytworzonych według przyjętych wariantów technologicznych



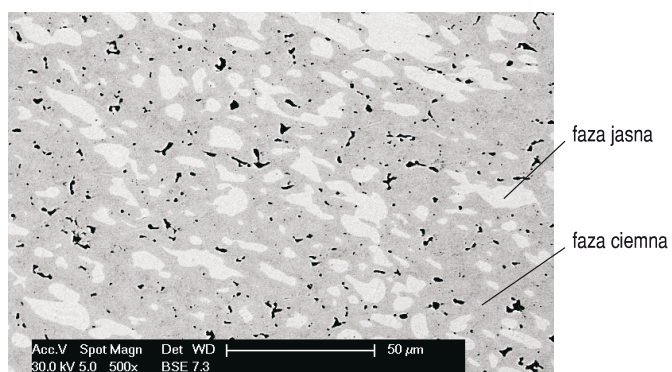
Rys. 5. Mikrostruktura spieku 80W-20Re wykonanego metodą RS — obszar położony przy powierzchni bocznej spieku (pow. 2000×)



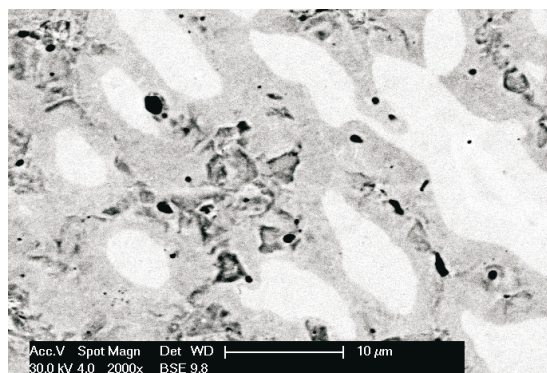
Rys. 6. Mikrostruktura spieku 80W-20Re wykonanego metodą RS — obszar w osi spieku (pow. 2000×)



Rys. 7. Mikrostruktura spieku 80W-20Re wykonanego metodą RS (pow. 5000×)

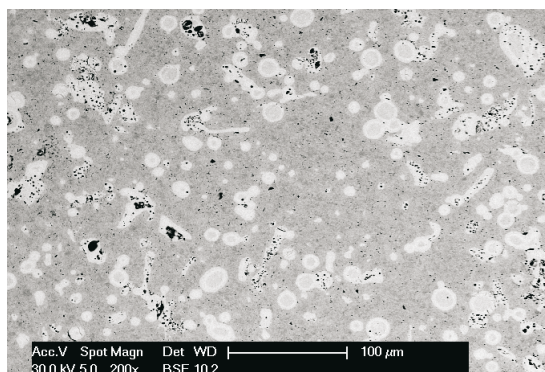


Rys. 8. Mikrostruktura spieku 80W-20Re wykonanego metodą PPS (pow. 500×)

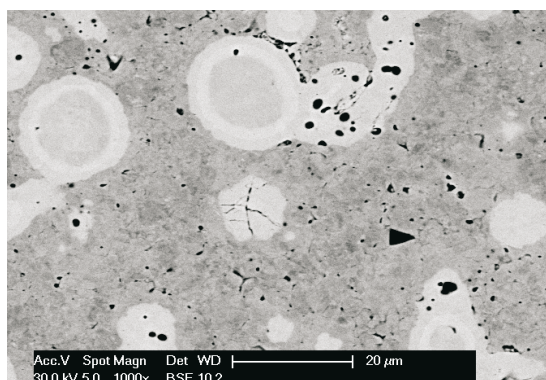


Rys. 9. Mikrostruktura spieku 80W-20Re wykonanego metodą PPS (pow. 2000×)

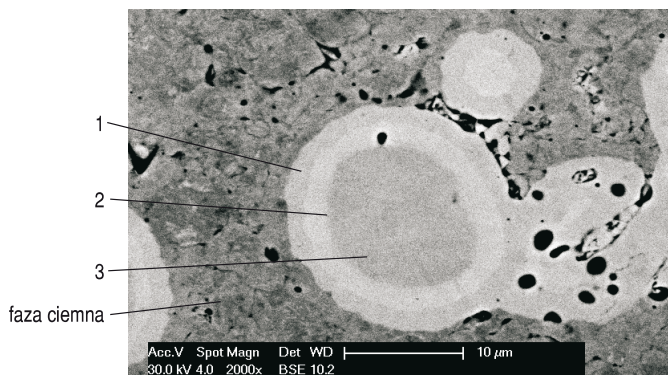




Rys. 10. Mikrostruktura spieku 80W-20Re wykonanego w piecu próżniowym (pow. 200×)



Rys. 11. Mikrostruktura spieku 80W-20Re wykonanego w piecu próżniowym (pow. 1000×)



Rys. 12. Mikrostruktura spieku 80W-20Re wykonanego w piecu próżniowym (pow. 2000×)

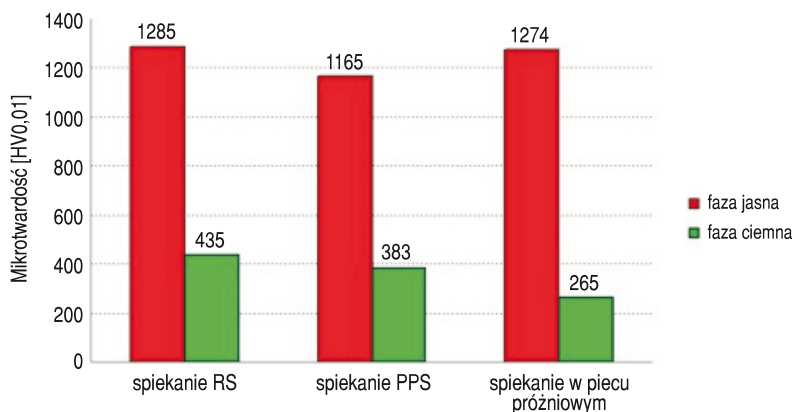
W próbkach wykonanych metodą RS widać wyraźnie asymetrię (wydłużenie) elementów mikrostruktury — jasnych cząstek. Podobną tendencję (choć nieco w mniejszym stopniu) można zauważyć w próbkach spiekanych metodą PPS. W próbkach spiekanych metodą RS można stwierdzić występowanie struktury dendrytycznej (rys. 7). Wskazywałoby to na fakt, że w trakcie spiekania w materiale mogły istnieć obszary, w których temperatura była wyższa od temperatury topnienia spiekanych proszków i nastąpiło miejscowe przetopienie materiału. W próbkach wytwarzanych metodą RS i PPS zaobserwowano mikrostrukturę dwufazową — jasne cząstki są otoczone ciemną fazą. Fazy te, dla rozróżnienia, nazwano fazą jasną i fazą ciemną.

W tabeli 1 pokazano rezultaty badań składu chemicznego w wybranych mikroobszarach, a na rysunkach 13 i 14 mikrotwardość badanych próbek.

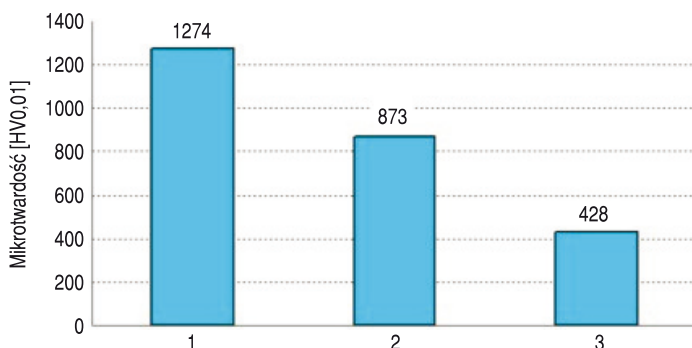
TABELA 1

Udział procentowy (mas.) pierwiastków w spiekach 80W-20Re

Metoda spiekania	Mikroobszary fazy jasnej (2 i 3 dot. próbki spiekanej w piecu próżniowym)						Faza ciemna	
	1		2		3		W	Re
	W	Re	W	Re	W	Re	W	Re
rezystancyjna	40,36	59,64	–	–	–	–	93,79	6,21
PPS	41,53	58,47	–	–	–	–	95,64	4,36
w piecu próżniowym	40,81	59,19	31,07	68,93	9,18	90,82	97,61	2,39



Rys. 13. Mikrotwardość spieków 80W-20Re (dla mikroobszaru 1 — patrz tab. 1)



Rys. 14. Mikrotwardość fazy jasnej spieków 80W-20Re spiekanych w piecu próżniowym

Przedstawione wyniki wskazują, że dla próbek spiekanych metodami RS i PPS skład chemiczny w poszczególnych mikroobszarach jest zbliżony. Fazę ciemną stanowi głównie wolfram, w którym rozpuszczona jest niewielka (ok. 5%) ilość renu. Natomiast faza jasna, charakteryzująca się bardzo wysoką twardością (ok. 1200 HV 0,01), to prawdopodobnie faza międzymetaliczna.

W materiale spiekany w piecu próżniowym budowa mikrostruktury jest bardziej złożona. W sferycznych cząstkach można wyróżnić trzy charakterystyczne obrazy — w środku prawie czysty ren, następnie faza zubożona w ren (68,93% Re), a na zewnątrz faza zawierająca 59,19% renu. Taki skład fazowy wynika z faktu, że w ostatniej próbce czas spiekania był na tyle długi, że dyfuzja mogła zajść w o wiele większym zakresie niż w przypadku materiałów spiekanych w krótkim czasie. Dlatego jasna faza próbek wytworzonych przy zastosowaniu dwóch pierwszych metod ma skład chemiczny zbliżony do takiego, jaki występuje w zewnętrznej otoczce okrągłych cząstek materiału spiekane w piecu próżniowym. W tych cząstkach daje się również zauważyć pęknięcia (rys. 11).

#### 4. Podsumowanie

Przedstawione powyżej wyniki stanowią wstępną fazę badań dotyczących wytwarzania spieku 80W-20Re różnymi metodami. Można wyciągnąć ogólny wniosek, że metody spiekania wewnętrznym źródłem ciepła (RS i PPS) pozwalają uzyskać materiał o zbliżonych właściwościach, charakteryzujący się wyższą gęstością w stosunku do wytworzonego w piecu próżniowym. Są to metody dające obiecujące wyniki i dlatego w dalszych pracach należałoby przeprowadzić badania nad wytwarzaniem tymi metodami spieków W-Re-Ni oraz W-Re-Ni-Fe, które charakteryzują się niską porowatością i znacznie wyższą plastycznością niż spieki W-Re [19].

Powstające w procesie spiekania fazy międzymetaliczne charakteryzują się zazwyczaj wysoką twardością, stąd m.in. kruchość spieków W-Re. Stąd również

wniosek na przyszłość może być następujący: należy przeprowadzić obróbkę plastyczną tych spieków; być może kucie na gorąco spowoduje jej rozbitcie i równomierne rozproszenie twardych faz — będą wtedy stanowiły fazę wzmacniającą.

Dlatego też otrzymane spieki mogą stanowić półprodukt, z którego po odpowiednio zaprojektowanej obróbce plastycznej (i cieplnej) można będzie wytworzyć materiał o małej porowatości i wysokich właściwościach wytrzymałościowych.

Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki.

Artykuł wpłynął do redakcji 5.09.2011 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w grudniu 2011 r.

#### LITERATURA

- [1] L. JAWORSKA, *Dobór metalicznej fazy wiążącej i sposobu jej wprowadzania do kompozytu diamentowo-metalowego*, Prace Instytutu Obróbki Skrawaniem, 77, 1994.
- [2] T. MAJEWSKI, W. PRZETAKEWICZ, *Technologiczne aspekty spiekania elektrycznego proszków*, Przegląd Mechaniczny, Oficyna Wydawnicza Instytutu Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa, 1998.
- [3] A.I. RAJZENKO, *Osnovy processa spiekaniya poroszkow propuskaniem elektriczieskovo toka*, Metalurgija, Moskwa, 1987.
- [4] Ł.O. ANDRUSZCZIK i in., *Metodika issledowanija elektrokontaktynogo spiekaniya poroszkowych materjalow*, Poroszkowaja Metalurgija, 1, 1986, 23.
- [5] M. TRZASKA, *Analiza zjawisk w procesie spiekania rezystancyjnego prętów wolframowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1995.
- [6] Ł.O. ANDRUSZCZIK i in., *Plasticznost poroszkowego chroma, poluczennogo elektrokontaktynym spiekaniem*, Poroszkowaja Metalurgija, 6, 1992, 11.
- [7] Ł.O. ANDRUSZCZIK i in., *Struktura i mechniczieskije swojstwa spieczennogo elektrokontaktynym nagrewom železa*, Poroszkowaja Metalurgija, 1, 1991, 17.
- [8] Ł.B. BOJKO, *Spiekaniye poroszkowych materijalow na osnowie železa w uslowijach skorostnogo elektronagriewa TWCz*, Poroszkowaja Metalurgija, 11, 1981, 50.
- [9] Ł. CIUPIŃSKI, D. SIEMIASZKO, M. ROSIŃSKI, A. MICHALSKI, K.J. KURZYDŁOWSKI, *Heat Sink Materials Processing by Pulse Plasma Sintering*, Advanced Materials Research, 59, 2009, 120.
- [10] A. MICHALSKI, M. ROSIŃSKI, *Sintering Diamond/Cemented Carbides by the Pulse Plasma Sintering Method*, Journal of the American Ceramic Society, 91, 11, 2008, 3560.
- [11] V. HOHLER, A. STILP, K. WEBER, *Terminal ballistic behavior of tungsten-rhenium rod projectiles*, Proceedings 14th International Symposium of Ballistics, Quebec, Canada, 26-29 September 1993, 479-487.
- [12] A. LUO, K.S. SHIN, D.L. JACOBSON, *Effects of theories particles on the high-temperature tensile properties of W-26%Re alloy*, Materials Science and Engineering A150, 1992, 67-74.
- [13] V. HOHLER, A.I. STILP, K. WEBER, *Terminal Ballistic Behaviour of Tungsten — Rhenium Rod Projectiles*, Proceedings, 2, 14 th International Symposium on Ballistics, Quebec, Canada, 26-29 September 1993, 479-487.
- [14] S. STOLARZ, *Materiały na styki elektryczne*, WNT, Warszawa, 1968.
- [15] W. SHATT, K.P. WIETERS, *Powder Metallurgy Processing and Materials*, EPMA, 1997.

- [16] E. LASNER, W.D. SCHUBERT, *Tungsten. Properties, Chemistry, Technology of the Element, Alloys and Chemical Compounds*, Kluwer Academic Plenum Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow, 1999.
- [17] *Tungsten Properties Chemistry Technology of the Element Alloys and Chemical Compounds 1999*, <http://www.springermaterials.com>.
- [18] E.M. SAWICKIJ, M.A. TYLKINA, K.B. POWAROWA, *Splawy rhenija*, Izd. Nauka, Moskwa, 1965.
- [19] T. MAJEWSKI, *Investigations of production processes of W-Re-Ni and W-Re-Ni-Fe heavy metals*, Solid State Phenomena, 165, 2010, 124-129.

T. MAJEWSKI, T. DUREJKO, M. ROSIŃSKI, A. MICHALSKI

### Investigation of selected properties of 80W-20Re sinter

**Abstract.** The results of preliminary investigation of 80W-20Re sinters were presented in the paper. The samples were prepared using 3 variants of technological process: resistance sintering (RS), Pulse Plasma Sintering and sintering in the vacuum furnace. First and second methods allowed us to obtain the sinters possessing similar properties (porosity and hardness), however as a result of final sintering at high temperature in the vacuum furnace, very porous materials were obtained. Moreover it was observed, that sintering by RS and PPS methods caused development of anisotropy microstructure with characteristic elongated shape of particles.

**Keywords:** heavy alloys, resistance sintering, Pulse Plasma Sintering

