



Wpływ warunków redukcji renianu (VII) amonu w atmosferze zdysocjowanego amoniaku na wybrane właściwości wytworzonego proszku renu

TOMASZ MAJEWSKI, JERZY MICHAŁOWSKI, JAN PIĘTASZEWSKI

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

Streszczenie. W artykule przedstawiono procesy redukcji renianu (VII) amonu w atmosferze zdysocjowanego amoniaku (75% obj. H_2 + 25% obj. N_2), które prowadzą do otrzymania proszku renu. Zaprezentowano również właściwości wytworzonego proszku renu, który może być wykorzystany przy wytwarzaniu metali ciężkich W-Ni-Fe-Re i stopów specjalnych W-Re.

Słowa kluczowe: renian (VII) amonu, redukcja, metale ciężkie WHA, wolfram, ren

Symbole UKD: 621.762

1. Wstęp

W jednej z dziedzin inżynierii materiałowej, poświęconej spiekaniem metalom ciężkim, istotną rolę przypisuje się między innymi wolframowi, którego gęstość wynosi $19,33 \text{ g/cm}^3$. W wielu takich metalach wolfram jest głównym składnikiem; stanowi on osnowę, którą nazywa się również matrycą lub szkieletem. Charakterystyczna ich budowa to kuliste, lekko spłaszczone cząstki wolframu, otoczone plastyczną fazą wiążącą. W „klasycznych” metalach typu W-Ni-Fe faza ta jest stopem potrójnym nikiel-żelazo-wolfram. Zgodnie ze słownictwem stosowanym w Polskiej Normie PN-73/H-01014 do roku 2004 metale te nazywano spiekami ciężkimi. Obecnie w oparciu o normę PN-EN ISO 3252 nazywa się je metalami ciężkimi.

Jednym z głównych zastosowań omawianych metali jest ich wykorzystanie w przemyśle zbrojeniowym (do produkcji rdzeni pocisków przeciwpancernych), z uwagi na ich bardzo dużą gęstość i wysokie właściwości mechaniczne.

Współcześnie jednak, w niektórych przypadkach, właściwości te są już niewystarczające. Dlatego w wielu krajach obserwuje się intensywny rozwój badań, dotyczący opracowania nowych metod wytwarzania metali ciężkich. Wszystkie podejmowane działania zmierzają do osiągnięcia poprawy właściwości zarówno osnowy, jak i fazy wiążącej [1-3]. Jako jeden ze sposobów wymienia się zastosowanie niekonwencjonalnych dodatków stopowych, a wśród nich renu [4-21].

Ren z wolframem tworzy stopy. W jednofazowym roztworze stałym renu w wolframie (α) maksymalna rozpuszczalność renu wynosi 37% atomowych w temperaturze 3000°C, a minimalna rozpuszczalność kształtuje się na poziomie 28-32% atomowych w temperaturze pomiędzy 1100°C i 1600°C [4]. Rozpuszczalność wolframu w renie w temperaturze 1600°C jest równa 11% atomowych. Stopy wolframu z renem charakteryzują się przeważnie wyższą gęstością od gęstości wolframu, ponieważ gęstość renu jest równa 21,02 g/cm³.

Ren, jako czysty metal, charakteryzuje się specyficznymi właściwościami. W odróżnieniu od wolframu i molibdenu wykazuje dobrą plastyczność w temperaturze otoczenia, co jest wyjątkowo cenne. Plastyczność tę zachowuje w temperaturze rekrytalizacji (1200-1750°C dla zgniotów od 5 do 60%). Zrekrytalizowany ren ma wydłużenie 25÷28%, podczas gdy wolfram w takich warunkach jest kruchy i wykazuje wydłużenie 0%. Wysokie właściwości mechaniczne renu ($R_m = 1150-1200$ MPa i twardość HV = 250-280 po rekrytalizacji), wzrastają wyraźnie po odkształceniu plastycznym ($R_m = 2400$ MPa, twardość HV = 500-800) [4, 7]. Wyjątkiem jest wydłużenie, które wskutek umocnienia zmniejsza się z 10-25% (w stanie rekrytalizowanym) do 5% (po odkształceniu plastycznym). Korzystną właściwością stopów wolframu z renem jest ich dobra skrawalność.

Na temat stopów wolframu z renem, ich zastosowania oraz pozytywnego wpływu renu na właściwości takich stopów, istnieje obszerna literatura.

Istotnym mankamentem renu jest jego bardzo wysoka cena. Wynika ona między innymi z faktu, że zawartość renu w skorupie ziemskiej jest niewielka; ocenia się ją na 10⁻⁷ % wagowych.

Pomimo tego faktu, metal ten jest często uważany za materiał strategiczny. Istnieje pogląd, według którego ren jest trudny do zastąpienia w określonych metalach ciężkich i stopach z innymi metalami.

W produkcji stopów wolframu z renem metodami metalurgii ren stosuje się w postaci granulek. W procesach wytwarzania spiekanych metali ciężkich z dodatkiem renu źródłem tego metalu są proszek metaliczny renu lub jego związki chemiczne: renian (VII) amonu — NH_4ReO_4 i renian (VII) potasu — $KReO_4$. Obydwa związki występują również w postaci proszków. Zastosowanie proszku metalicznego renu jest poprzedzone jego wytworzeniem z powyższych związków poprzez ich redukcję czystym wodorem [4, 15, 22, 23]. W przypadku zastosowania jednego lub drugiego związku w mieszkankach proszkowych, ich redukcja do renu metalicznego następuje w procesach spiekania wyprasek.

W realizowanych od siedmiu lat w Wojskowej Akademii Technicznej badaniach dotyczących wytwarzania i zastosowania spieków W-Ni-Fe-Re używano podczas spiekania z fazą stałą atmosfery zdysocjowanego amoniaku (75% H₂ + 25% N₂) w miejsce powszechnie stosowanego wodoru. W tej atmosferze spiekano zarówno wypraski z dodatkiem proszku metalicznego renu, jak i z dodatkiem renianu (VII) amonu. W przypadku, gdy w wypraskach znajdował się renian (VII) amonu, jego redukcja do renu metalicznego miała miejsce w temperaturze pomiędzy 600 a 900°C. W procesach spiekania z fazą ciekłą ren (już jako metal) dyfundował do wolframu, tworząc osnowę w postaci stopu podwójnego wolfram-ren. Ponadto część renu, reagując z pozostałymi składnikami metali, tworzyła czteroskładnikową plastyczną fazę wiążącą. Tym samym zmieniały się końcowe właściwości tej fazy i całego materiału.

Wytwarzanie renu metalicznego z renianu (VII) amonu w atmosferze zdysocjowanego amoniaku w trakcie spiekania wyprasek z fazą stałą zostało wielokrotnie sprawdzone i udokumentowane opublikowanymi wynikami badań właściwości metali W-Ni-Fe-Re [24-29].

Celem niniejszej publikacji jest przedstawienie warunków redukcji renianu (VII) amonu w atmosferze zdysocjowanego amoniaku i określenie wpływu zmian tych warunków na właściwości uzyskiwanego metalicznego proszku renu.

Należy podkreślić, że wytworzony w opisanych warunkach proszek renu znajduje praktyczne zastosowanie nie tylko jako źródło renu w wieloskładnikowych metalach ciężkich, ale także jako składnik stopów podwójnych wolfram-ren.

2. Opis badań i uzyskane wyniki

W przeprowadzonych eksperymentach wyżarzania redukującego zastosowano krajowy renian (VII) amonu, wytworzony przez Zakład Hydroelektrometalurgii Instytutu Metali Nieżelaznych w Gliwicach. Skład chemiczny jednej z użytych partii tego związku przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1

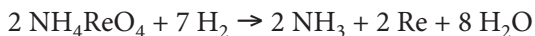
Skład chemiczny renianu (VII) amonu — NH₄ReO₄ zastosowanego w badaniach redukcji

Materiał	Skład chemiczny											
	Re [%]	H ₂ O [%]	K	Cu	Fe	Mg	Mo	Na	Ni	Pb	Ca	Zn
	ppm											
Renianu (VII) amonu — NH ₄ ReO ₄ (IMN — Gliwice)	> 69,2	0,17	< 10	< 3	< 3	< 3	< 5	< 3	< 5	< 5	< 3	< 5

Wyżarzanie redukujące realizowano w atmosferze zdysocjowanego amoniaku (75% H₂ + 25% N₂), o temperaturze punktu rosy (wilgotności) –20°C. Pojemniki ze szkła kwarcowego z dokładnie zważonymi porcjami proszku renianu (VII) amonu umieszczono w przepychowym piecu rurowym, do którego doprowadzana była wymieniona atmosfera. Przepływ jej przez piec odbywał się w kierunku przeciwnym do kierunku transportu pojemników. Wielkość przepływu atmosfery ustalono w ilości 15 wymian objętości komory pieca w czasie jednej godziny. Pojemniki z renianem (VII) amonu, w początkowej strefie pieca, wygrzewano w temperaturze 350°C przez 60 minut. W tej atmosferze, zgodnie z informacjami literaturowymi, istnieje niebezpieczeństwo powstania azotku renu ReN_{0,43} — jeśli w atmosferze jest amoniak [4]. Ponieważ przez piec przepływała atmosfera całkowicie zdysocjowanego amoniaku, czyli wodór i azot oraz szczątkowa ilość pary wodnej, brak było zatem wolnego amoniaku. Azotek renu w takich warunkach nie został wytworzony.

Wyżarzanie właściwe (redukujące) realizowano w kolejnej strefie pieca, w której wartość temperatury ustalono w zależności od partii próbek badawczych. Zastosowano następującą temperaturę wyżarzania: 600, 700, 800 i 900°C. W każdym przypadku czas wyżarzania był jednakowy i wynosił 60 minut. Szybkość nagrzewania pojemników z renianem (VII) amonu od temperatury 350°C do przyjętej wartości temperatury wyżarzania redukującego była również jednakowa (10 K/min).

Redukcja renianu (VII) amonu do renu metalicznego przebiegała według reakcji



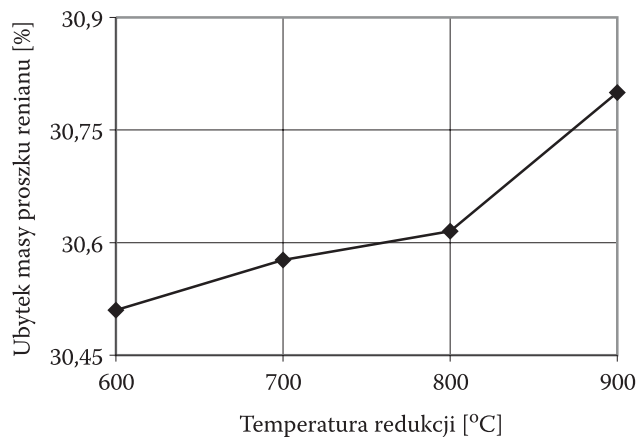
przedstawianej w wielu źródłach literatury [4]. Zakres temperatury, w której reakcja powyższa zachodzi, to 600-900°C [4, 22, 23].

Azot, jeden z dwóch głównych składników atmosfery, nie reaguje z renem aż do temperatury topnienia renu (3180°C). Pełnił więc w tym przypadku wyłącznie funkcję gazu obojętnego (osłonowego).

Jednym z produktów redukcji renianu (VII) amonu był amoniak. W przyjętym zakresie temperatury redukcji (600-900°C) nie mógł być on jednak źródłem tworzenia się azotku renu. Ponadto, przepływająca przez piec atmosfera skutecznie usuwała każdą wytworzoną jego ilość.

Trzecim i zasadniczym produktem redukcji był proszek renu. Zgodnie ze wzorem chemicznym, redukcja całkowita renianu (VII) amonu nastąpi wówczas, gdy ilość wytworzonego proszku renu będzie stanowić 69,52% wagowych początkowej masy renianu poddanego wyżarzaniu. Dlatego po przeprowadzonych procesach redukcji we wszystkich próbach badawczych dokonano dokładnych pomiarów ich masy końcowej.

Wyniki tych pomiarów dla czterech wartości temperatury redukcji i czasu redukcji równego 60 minut przedstawiono na rysunku 1.

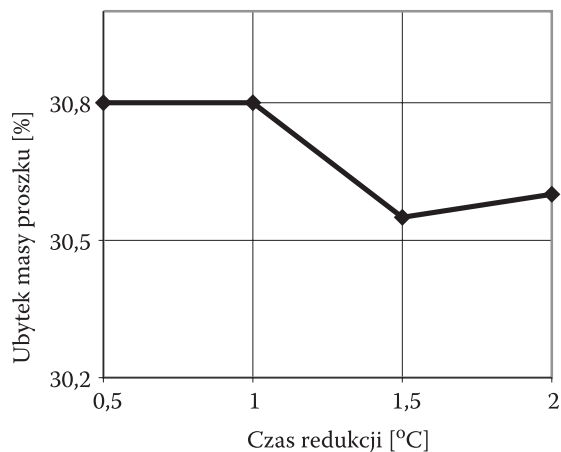


Rys. 1. Wpływ temperatury redukcji na ubytek masy proszku renianu amonu (czas redukcji 1 h)

Jak widać, wraz ze wzrostem temperatury redukcji zwiększył się wyraźnie ubytek masy początkowej proszku renianu (VII) amonu. Po wyżarzeniu w temperaturze 900°C wartość ubytku wyniosła 30,78%, co oznacza, że końcowa masa proszku reniu stanowiła 69,22% masy renianu (VII) amonu.

Kolejne eksperymenty wyżarzania redukującego wykonano w temperaturze równej 900°C i czasie 30, 90 i 120 minut. Następnie, analogicznie jak poprzednio, dokonano pomiarów mas końcowych wytworzonych partii reniu. Wyniki tych pomiarów przedstawiono na rysunku 2.

Podobnie jak poprzednio, redukcja renianu była prawie całkowita w zakresie badanego czasu wyżarzania.



Rys. 2. Wpływ czasu redukcji na ubytek masy proszku renianu amonu (temperatura 900°C)

Kolejną fazą badań wytworzonego proszku renu były analizy jego składu chemicznego. Analizy te wykonano w dwóch etapach. Etap pierwszy dotyczył oceny jakościowej, do wykonania której zastosowano metodę spektrometrii emisyjnej (AES), z wykorzystaniem spektrografu pryzmatycznego firmy ZEISS. W drugim etapie wykonano badania ilościowe metodą ICP-OES (Inductively Coupled Plasma) na sekwencyjnym spektrometrze emisyjnym IY 138 „Ultrace” firmy Jobin-Yvon. Próbkę badano także metodą AAS (Atomic Absorption Spectrometry) z wykorzystaniem dwuwiązkowego spektrometru absorpcyjnego Solaar M6 firmy Thermo.

Wyniki przeprowadzonych pomiarów zamieszczono w tabeli 2.

TABELA 2

Charakterystyka metalicznego proszku Re wytworzonego z renianu (VII) amonu w atmosferze zdysocjowanego amoniaku NH_3 w zmiennej temperaturze redukcji i zmiennym czasie wyżarzania

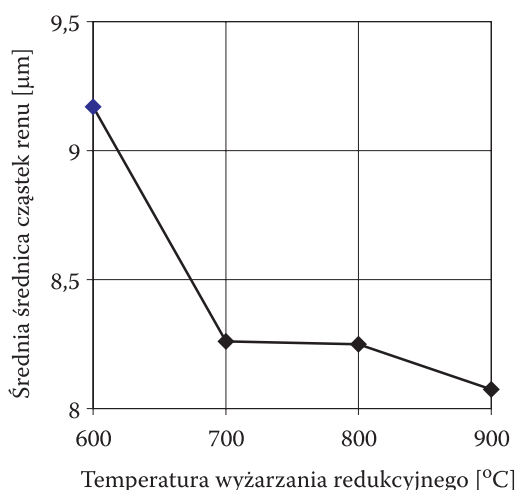
Lp.	Parametry procesu redukcji	Skład chemiczny											Średnia wielkość cząstek proszku [μm]
		Re [%]	K	Cu	Fe	Mg	Mo	Na	Ni	Pb	Ca	Zn	
		ppm											
1	Temp 600°C czas 1,0 h	99,5	< 20	21	< 10	< 3	< 5	< 5	< 10	< 5	< 20	< 5	9,17
2	Temp 700°C czas 1,0 h	99,6	< 20	40	< 10	< 3	< 5	< 5	< 10	< 5	< 20	< 5	8,26
3	Temp 800°C czas 1,0 h	99,9	< 20	< 3	< 10	< 3	< 5	< 5	< 10	< 5	< 20	< 5	8,25
4	Temp 900°C czas 1,0 h	99,9	< 20	< 3	< 5	< 3	< 5	< 5	< 10	< 5	< 20	< 5	8,07
5	Temp 900°C czas 1,5 h	99,9	< 20	< 5	< 5	< 3	< 5	< 5	< 10	< 5	< 20	< 5	8,09
6	Temp 900°C czas 2,0 h	99,9	< 20	< 3	< 5	< 3	< 5	< 5	< 10	25	< 5	< 5	8,96

Jak z niej wynika, najwyższą zawartość renu uzyskano po redukcji renianu (VII) amonu w temperaturze 900°C i w czasie od 60 minut do 2 godzin (przyjęto, że najkorzystniej jest — ze względów ekonomicznych — stosować czas najkrótszy). Zauważono, że ilości niektórych zanieczyszczeń renu okazały się wyższe aniżeli w przypadku renianu (tab. 1).

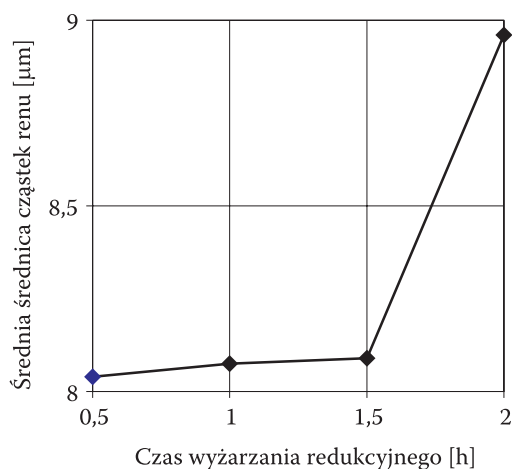
Zaobserwowane różnice mogą być skutkiem przeprowadzania pomiarów w dwóch różnych placówkach badawczych i być może różnej kalibracji aparatur badawczych. Wydaje się jednak, że są one dopuszczalne i nie dyskwalifikują wytworzonego proszku renu.

Dane literaturowe dotyczące ilości zanieczyszczeń renu wytworzonego w drodze redukcji renianu (VII) amonu wodorem, pokazują dość szeroki ich zakres. Ponadto przedstawiają dużą rozpiętość wielkości cząstek wytworzonego proszku: od 2 do 20 μm i większych [4].

Na kolejnych rysunkach 3 i 4 zamieszczono uzyskane rozkłady średniej wielkości cząstek otrzymanego proszku renu. Pomiary wykonano metodą analizy granulometrycznej przy użyciu mikroskopu metalograficznego NEOPHOT2 z oprogramowaniem komputerowym LUCIA 3.52.



Rys. 3. Wpływ temperatury wyżarzania redukującego na średnią średnicę cząstek renu (czas redukcji 1 h)

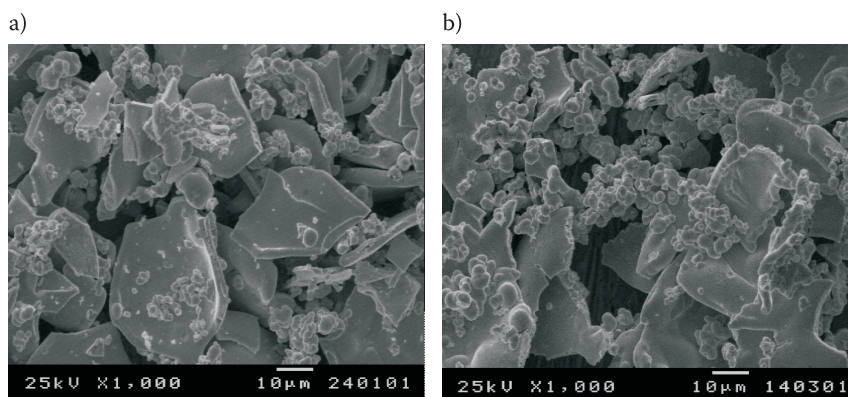


Rys. 4. Wpływ czasu wyżarzania redukującego na średnią średnicę cząstek renu (temperatura 900°C)

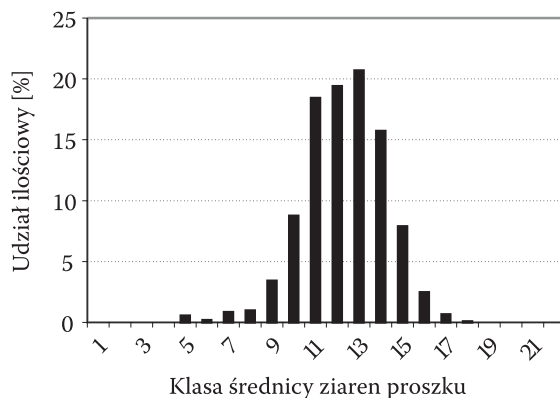
Z rysunku 3 wynika, że wraz ze wzrostem temperatury redukcji, w zakresie 600-900°C zmniejszyła się średnia wielkość cząstek proszku z 9,27 do 8,07 μm (o 12%). Wydłużenie czasu redukcji z 30 do 120 minut, w temperaturze 900°C doprowadziło natomiast do wzrostu średniej wielkości cząstek z 8,05 do 8,96 μm (czyli o 11,02%).

Na kolejnym rysunku pokazano przykładowe zdjęcia cząstek wytworzonego proszku renu otrzymanego według opisanej metody redukcji.

Jak widać, cząstki wytworzonego proszku renu mają kształty nieregularne, typowe dla proszków redukowanych. Ponadto występuje wyraźne zróżnicowanie wielkości cząstek proszku od bardzo małych około 1-2 μm do dużych w granicach 15-20 μm . To zróżnicowanie potwierdzają wykonane rozkłady granulometryczne. Przykładowy rozkład pokazano na rysunku 6.



Rys. 5. Cząstki proszku renu wytworzonego przez redukcję renianu (VII) amonu w atmosferze zdysocjowanego NH_3 (75% H_2 + 25% N_2) o wilgotności poniżej -20°C (pow. 1000x): a) po redukcji w temperaturze 600°C w czasie 60 min; b) po redukcji w temperaturze 900°C w czasie 60 min



Rys. 6. Przykład rozkładu granulometrycznego cząstek proszku renu wytworzonego przez redukcję renianu (VII) amonu w atmosferze zdysocjowanego amoniaku NH_3 o wilgotności poniżej -20°C (temperatura 900°C, czas 60 min)

W efekcie wszystkich przeprowadzonych eksperymentów redukcji w atmosferze zdysocjowanego amoniaku użytego renianu (VII) amonu ustalono, że właściwą temperaturą procesu jest 900°C, a odpowiednim czasem jest 60 minut.

3. Podsumowanie

Opisana metoda redukcji krajowego renianu (VII) amonu z wykorzystaniem do tego celu atmosfery zdysocjowanego amoniaku posiada cechę nowości, w części dotyczącej zastosowania w miejsce powszechnie używanego wodoru, mieszaniny wodoru z azotem, (zdysocjowanego amoniaku) o niskim stopniu wilgotności.

Różnice na korzyść zdysocjowanego amoniaku można dostrzec w bardziej bezpiecznej eksploatacji urządzeń do rozprężania ciekłego amoniaku i jego dysocjacji, w porównaniu do baterii butli ze sprężonym wodorem oraz instalacji wodoru doprowadzanego do pieców.

Niezaprzeczalną zaletą atmosfery zdysocjowanego amoniaku są koszty jej wytwarzania i eksploatacji. Według uśrednionych danych krajowych i amerykańskich, koszty te w odniesieniu do 1 m³ zdysocjowanego amoniaku są o 60 do 80% niższe od kosztów 1 m³ czystego wodoru [28].

Badane właściwości wytwarzanego opisaną metodą proszku renu są porównywalne do właściwości proszków renu wytworzonych z renianu (VII) amonu w atmosferze wodoru, zarówno pod względem czystości, jak i uzyskiwanych wielkości cząstek proszku.

Wydaje się, że istotne znaczenie odgrywa głównie czystość otrzymanego proszku renu. Zróżnicowanie wielkości cząstek nie stwarza problemów, ponieważ w technologii wytwarzania stopów podwójnych W-Re istnieją procesy przygotowania mieszanek proszkowych, w których ma miejsce rozdrobnienie proszków i ich homogenizacja. W innych technologiach również przewiduje się ujednoczenie granulacji cząstek.

Przedstawione w artykule informacje stanowią część pracy naukowej finansowanej ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2006-2009 jako projekt badawczy rozwojowy Nr R 00 024 02.

Artykuł wpłynął do redakcji 29.01.2008 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w lutym 2008 r.

LITERATURA

- [1] P. S. DUNN, B. D. BAKER, *Target penetrator interaction: 70 volume percent tungsten — 30 volume percent uranium penetrator materials*, Proceedings of the First International Conference on Tungsten and Tungsten Alloys, 15-18 November, 1992, Arlington, Virginia, USA, 487-496.

- [2] R. M. GERMAN, *Critical Development in use Heavy Alloys*, Proceedings of the First International Conference on Tungsten and Tungsten Alloys, 15-18 November, 1992, Arlington, Virginia, USA, 3-13.
- [3] A. LUO, D. L. JACOBSON, *Solution Softening and Dispersion Strengthening in Tungsten*, Proceedings of the First International Conference on Tungsten and Tungsten Alloys, Nov. 15-18, 1992, Arlington, Virginia, USA, 233-240.
- [4] Э. М. Савицкий, М. А. Тьлькина, К. Б. Поварова, *Сплавы реия*, Изд. Наука, Москва, 1965.
- [5] Э. М. Савицкий, Г. С. Бурханов, *Металловедение сплавов тугоплавких, и редких металлов*, Изд. Наука, Москва, 1971.
- [6] М. В. Малцер, *Термическая обработка тугоплавких, редких металлов и их сплавов*, Металлургия, Москва, 1974.
- [7] Э. М. Савицкий, Г. С. Бурханов, *Редкие металлы и сплавы физикохимический анализ и металловедение*, Изд. Наука, Москва, 1980.
- [8] A. K. ZUREK, G. T. GRAY, *Dynamic Strength and Strain Rate Effects on Fracture Behaviour of Tungsten and Tungsten Alloys*, 3-rd Conference on Mechanical and Physical Behavior of Materials under Dynamic Loading, October 14-18, 1991, Strasbourg, France.
- [9] V. HOHLER, A. I. STILP, K. WEBER, *Terminal Ballistic Behaviour of Tungsten — Rhenium Rod Projectiles*, Proceedings vol. 2, 14 th International Symposium on Ballistics, Quebec, Canada, 26-29 September 1993, 479-487.
- [10] W. E. PANIN, A. P. SAWICKI, I. I. KOCZEPASOW, G. W. TIUKAŁOW, *Vlijanije naprovlennowo legirovanija wolframa na miechanizm jego aktiwirovannovo spiekania*, IV Międzynarodowa Konferencja o Proszkowej Metalurgii, CSSR 1974, PM-74, Wysokie Tatry, 1-3.10.1974, 243-256.
- [11] E. WŁODARCZYK, J. MICHAŁOWSKI, J. PIĘTASZEWSKI, *Wpływ dodatku renu na właściwości i strukturę spieków ciężkich z osnową wolframową*, Biul. WAT, 50, 12, 2001, 87-101.
- [12] E. WŁODARCZYK, J. MICHAŁOWSKI, J. PIĘTASZEWSKI, *Możliwości podwyższania fizycznych właściwości rdzeni pocisków wytworzonych z metali ciężkich wzbogaconych renem*, IV Międzynarodowa Konferencja Uzbrojenia, Waplewo 2002, Materiały Konferencyjne.
- [13] U.S. Patent 4.498.395, Feb. 12.1985.
- [14] U.S. Patent. 4.981.512, Jan. 1.1991.
- [15] W. RUTKOWSKI, S. STOLARZ, M. RAŻNIEWSKA, B. WINSCH, H. RUTKOWSKA, *Nowe metale techniczne*, WNT, Warszawa, 1962.
- [16] R. THAM, V. HOHLER, H. NAHME, *Ballistic Performance of Tungsten Sintered Alloys, with Respect to Dynamic Material Properties*, Proceedings of the Fourth International Conference on Tungsten refractory Metals and Alloys; Properties and Applications, Tungsten, Refractory Metals and Alloys 4-1998, Princeton, New Jersey USA, 1998, 31-41.
- [17] В. В. Скороход, С. М. Солонин, *Физикометаллургические основы спекания порошков*, Металлургия, Москва, 1984.
- [18] A. A. KHAN, I. C. LABBE, A. GRIMAUD, P. FAUCHAIS, *Plasma sprayed tungsten coatings for x-ray targets: Study of the behavior of powder particles under plasma conditions*.
- [19] K. B. POVAROVA, O. A. BANNYKH, E. K. ZAVARZINA, B. D. BRYSKIN, *Tungsten Alloys with Rhenium, Carbides and Oxides: Production and Properties*, Proceedings of the Fourth International Conference on Tungsten Refractory Metals and Alloys; Properties and Applications, Tungsten, Refractory Metals and Alloys 4-1998, Princeton, New Jersey, USA, 1998, 279-291.

- [20] S. W. WEEB, K. A. ROGERS, *High Pressure Consolidation of Refractory Metals*, Proceedings of the Fifth International Conference on Tungsten Refractory Metals and Alloys; Properties and Applications, Tungsten, Refractory Metals and Alloys 4-1998, Princeton, New Jersey, USA, 2000, 59-63.
- [21] R. H. THAM, H. НАНМЕ, *Dynamic Behaviour of Tungsten-Rhenium-Alloys*, Proceedings of the First International Conference on Tungsten and Tungsten Alloys, Nov. 15-18, 1992, Arlington, Virginia, USA, 335-342.
- [22] J. LEŻAŃSKI, *Proszki metali i wysokotopliwych faz, metody wytwarzania*, Wyd. AGH, Kraków, 1994, 134-141.
- [23] М. Федорченко и др., *Справочник Порошковая металлургия, материалы, технология, свойства, области, применения*, Наукова Думка, Киев, 1985.
- [24] E. WŁODARCZYK, J. MICHAŁOWSKI, J. PIĘTASZEWSKI, *Wpływ dodatku renu na właściwości i strukturę spieków ciężkich z osnową wolframową*, Biul. WAT, 50, 12, 2001, 87-101.
- [25] E. WŁODARCZYK, J. MICHAŁOWSKI, J. PIĘTASZEWSKI, *Możliwości podwyższania fizycznych właściwości rdzeni pocisków wytworzonych z metali ciężkich wzbogaconych renem*, IV Międzynarodowa Konferencja Uzbrojenia, Waplewo 2002, Materiały Konferencyjne.
- [26] E. WŁODARCZYK, J. MICHAŁOWSKI, J. PIĘTASZEWSKI, *Właściwości spieków WHA z dodatkiem renu*, Biul. WAT, 52, 2, 2003, 17-23.
- [27] E. WŁODARCZYK, J. MICHAŁOWSKI, J. PIĘTASZEWSKI, M. MICHAŁOWSKI, *Wpływ parametrów procesu technologicznego wytwarzania spieków W-Ni-Fe-Re na ich wybrane właściwości*, V Międzynarodowa Konferencja Uzbrojenia, Waplewo 2004, Materiały Konferencyjne.
- [28] W. WŁODARCZYK, M. MICHAŁOWSKI, J. PIĘTASZEWSKI, A. JACKOWSKI, *Sposób wytwarzania spieków ciężkich z osnową wolframową*, Zgłoszenie Patentowe, U.P.R.P P 351291 2001.
- [29] Sprawozdanie z projektu badawczego KBN nr 0 T00C 008 27 pt. *Badania wpływu zgniotu w metalach ciężkich WHA zawierających ren, na końcową ich budowę i właściwości statyczne oraz dynamiczne*, WAT, Warszawa, 2006.

T. MAJEWSKI, J. MICHAŁOWSKI, J. PIĘTASZEWSKI

Influence of ammonium perrhenate reduction conditions in dissociated ammonia atmosphere on selected properties of manufactured rhenium powder

Abstract. The investigation results of ammonium perrhenate reduction processes in dissociated ammonia atmosphere are presented in this paper. The described method is applied for rhenium manufacturing. This metal can be used for heavy W-Ni-Fe-Re alloys and special W-Re alloys production. Moreover, the properties of rhenium powder are shown.

Keywords: ammonium perrhenate, reduction, heavy alloys, tungsten, rhenium

Universal Decimal Classification: 621.762

