



Analiza możliwości zastosowania renianu (VII) niklu (II) w procesach wytwarzania metali ciężkich zawierających ren

TOMASZ MAJEWSKI, JERZY MICHAŁOWSKI,
JAN PIĘTASZEWSKI

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

Streszczenie. W pierwszej części artykułu zamieszczono informacje o związku renu i niklu — renianu (VII) niklu (II) o wzorze $\text{Ni}(\text{ReO}_4)_2$. Druga część dotyczy ogólnych zasad projektowania procesów wytwarzania metali ciężkich (spieków ciężkich) z osnową wolframową, w tym metali typu W-Ni-Fe-Re i W-Re-Ni. W trzeciej części przedstawiono przykładowe składy chemiczne metali W-Ni-Fe-Re i W-Re-Ni, które zostały opracowane z wykorzystaniem renianu (VII) niklu (II), bez konieczności stosowania proszków elementarnych renu i niklu lub renianu (VII) amonu, jako źródła renu w omawianych metalach.

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

Symbole UKD: 621.762

1. Wstęp

W procesach wytwarzania metali ciężkich z osnową wolframową (MC), dawniej nazywanymi spiekami ciężkimi, materiałami wyjściowymi są najczęściej proszki metaliczne poszczególnych składników. Zawartość ich jest dobierana tak, aby gwarantowała otrzymanie w produkcie końcowym zaprojektowanych wcześniej składów chemicznych.

W poszczególnych etapach wykonywania MC, począwszy od projektowania ich składu, poprzez użycie odpowiedniej jakości materiałów wsadowych, skończywszy na zastosowanej technologii, obowiązują ścisłe zasady, opisane w literaturze [1]. Przestrzeganie ich umożliwia uzyskanie materiałów, które charakteryzują się

specyficzną budową i strukturą, a także wysokimi właściwościami mechanicznymi oraz użytkowymi.

Zasady te dotyczą również wytwarzania mniej do tej pory zbadanych MC z dodatkiem renu. W tym przypadku materiałami wyjściowymi są również proszki metaliczne. Jednakże z uwagi na bardzo wysoką cenę metalicznego proszku renu, w procesach wytwarzania spieków W-Re jako jego źródło, stosuje się najczęściej związki chemiczne tego metalu, tzn. renian (VII) amonu lub (zamiennie) renian (VII) potasu [2].

W przypadku klasycznych MC z dodatkiem renu, pozostałymi składnikami są proszki metaliczne wolframu, niklu i żelaza.

Ostatnio, oprócz wymienionych wyżej renianów uzyskano całkowicie nowy, oryginalny związek chemiczny dwóch metali wsadowych, tzn. renu i niklu.

Związkiem tym jest renian (VII) niklu (II) — $\text{Ni}(\text{ReO}_4)_2$ opracowany w Zakładzie Hydrometalurgii Instytutu Metali Nieżelaznych w Gliwicach [3].

Renian (VII) niklu (II) [nickel perrhenate(VII) – $\text{Ni}(\text{ReO}_4)_2$] jest substancją stałą w postaci drobnokrystalicznej soli bez zapachu o pH obojętnym. Jest bardzo dobrze rozpuszczalny w wodzie i higroskopijny. Właściwości fizykochemiczne oraz jego skład stechiometryczny przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Właściwości fizykochemiczne i skład stechiometryczny renianu (VII) nilu (II) [3]

Odmiana		Zawartość stechiometryczna		
		$\text{Ni}(\text{ReO}_4)_2$	$\text{Ni}(\text{ReO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ni}(\text{ReO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Masa molowa	g/mol	558,70	594,70	630,70
Barwa		żółty	seledynowy	zielony
Symbol		Skład		
Ni	%	10,51	9,87	9,31
Re	%	66,58	62,55	58,98
O	%	22,91	26,90	30,44
H	%	–	0,68	1,27
H ₂ O	%	–	6,05	11,42
Rozpuszczalność w wodzie (30°C)	%	75,6	80,3	85,0
Gęstość (30°C)	g/cm ³	–	–	3,95

Jak wynika z powyższych danych, wydaje się, że najbardziej korzystną jego postacią (ze względu na zawartość Re i Ni) jest odmiana $\text{Ni}(\text{ReO}_4)_2$ — bezwodna o barwie żółtej.

Wzajemny udział masowy metali Re/Ni w omawianym związku równa jest 6,34.

W niniejszej publikacji przedstawiono analizę możliwości wykorzystania powyższego związku do wytwarzania metali ciężkich typu W-Ni-Fe-Re oraz metali trójskładnikowych W-Re-Ni.

2. Zasady projektowania składów chemicznych metali ciężkich, w tym z dodatkiem renu

W „klasycznych” metalach ciężkich typu W-Ni-Fe wolfram tworzy osnowę (szkielet) natomiast nikiel i żelazo są składnikami plastycznej fazy wiążącej. Faza wiążąca zawiera również określoną ilość wolframu.

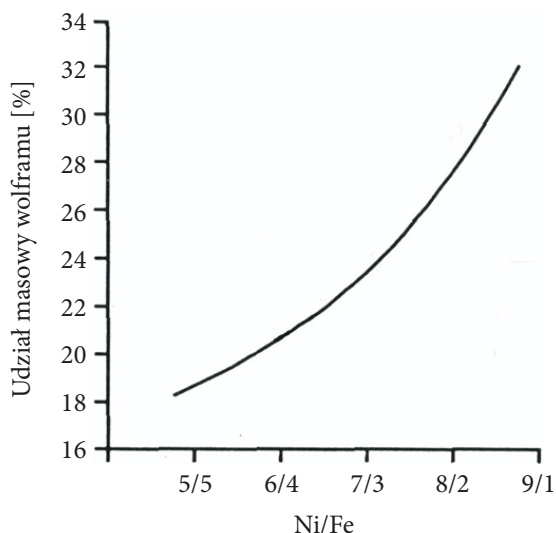
Jedną z istotnych zasad projektowania końcowych składów powyższych metali określa ustalenie takiej ilości użytego proszku wolframu, aby po spiekaniu z fazą ciekłą osnowa wolframowa stanowiła minimum 85% masowych MC. Jeżeli osnowa w spieku będzie miała mniejszy udział, to może wystąpić poważne niebezpieczeństwo zniekształcania się wyprasek w procesie spiekania, po pojawieniu się fazy ciekłej [1].

Kolejnym warunkiem jest ustalenie objętości fazy wiążącej w całkowitej objętości spiekane go metalu. Objętość tej fazy jest równocześnie uzależniona od ilości stosowanych proszków niklu i żelaza oraz proporcji pomiędzy tymi proszkami. Stosowane najczęściej proporcje Ni/Fe wynoszą: 5/5, 7/3, 8/2 i 9/1.

Powyższe warunki zależą od rozpuszczalności wolframu w stopie niklu i żelaza podczas tworzenia się plastycznej fazy wiążącej. Taką zależność dla spieków ciężkich typu W-Ni-Fe przedstawiono na rysunku 1 [4].

Jak wynika z powyższego wykresu, rozpuszczalność wolframu w niklu i żelazie wzrasta (podczas spiekania z fazą ciekłą) w funkcji proporcji Ni/Fe. Dla wartości 8/2 rozpuszczalność ta osiąga wartość równą ok. 30%. Udział masowy fazy wiążącej w spiekany m metalu jest zatem konsekwencją zarówno rozpuszczalności wolframu w fazie ciekłej, jak i relacji pomiędzy nikiem i żelazem. Skutkiem tego jest objętość, jaką zajmuje faza wiążąca w spiekany m materiale. Objętość tej fazy dla typowych zawartości osnowy i różnych proporcji Ni/Fe, w spiekach W-Ni-Fe przedstawiono w tabeli 2 [4].

Jak widać, udział objętościowy fazy wiążącej kształtuje się w granicach od 9,7% do 24,1%. Dla określonej zawartości osnowy w materiale, różne relacje ilościowe pomiędzy nikiem i żelazem powodują niewielkie zmiany objętości fazy wiążącej. Natomiast wzrost zawartości osnowy przyczynia się oczywiście do znacznego zmniejszenia objętości tej fazy.



Rys. 1. Rozpuszczalność wolframu w fazie wiążącej dla metali W-Ni-Fe [4]

TABELA 2

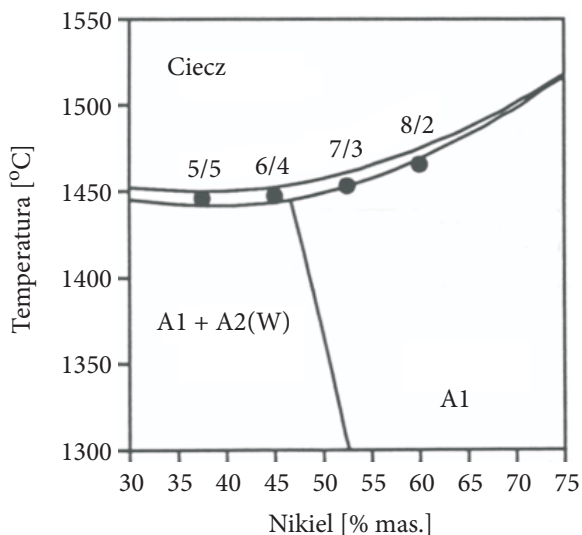
Udział objętościowy fazy wiążącej w metalach W-Ni-Fe [4]

Udział masowy osnowy [%]	Proporcje Ni/Fe			
	5/5	7/3	8/2	9/1
	Udział objętościowy [%]			
90	22,5	22,9	23,2	24,1
93	16,3	16,5	16,8	17,4
96	9,7	9,8	9,9	10,3

Do kolejnej zasady projektowania optymalnych właściwości metali ciężkich W-Ni-Fe zaliczyć należy kształtowanie składu chemicznego fazy wiążącej. Podobnie jak poprzednio, istnieją dane literaturowe poświęcone temu zagadnieniu [4]. Na rysunku 2 przedstawiono graficzną zależność pomiędzy temperaturą spiekania a końcową ilością niklu w fazie wiążącej, dla różnych proporcji Ni/Fe. Stałym parametrem w tych eksperymentach była zawartość wolframu w fazie wiążącej, która wynosiła 25%.

Jak wynika z powyższego rysunku, końcowa zawartość niklu w fazie wiążącej kształtuje się w granicach od około 37 do 60% (masowo). Nikiel jest zatem dominującym jej składnikiem.

Następną zasadą wytwarzania metali ciężkich z osnową wolframową jest projektowanie takich składów końcowych metali (spieków), które umożliwiłyby



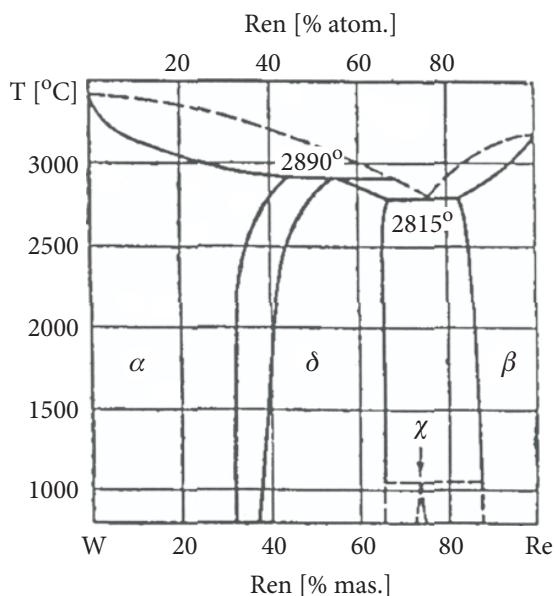
Rys. 2. Wpływ zawartości niklu w fazie wiążącej na temperaturę spiekania metali W-Ni-Fe przy różnych proporcjach Ni/Fe i przy 25% zawartości wolframu w tej fazie [4]

otrzymanie struktur metali zgodnych z układami równowagi. Spełnienie tego warunku stwarza możliwość otrzymania materiałów charakteryzujących się wysokimi właściwościami. W zakresie metali W-Ni-Fe podwójne układy równowagi W-Ni-W-Fe i Ni-Fe oraz układ równowagi W-Ni-Fe są opisane w literaturze [5-9]. Przestrzeganie zasady doboru składników metali na podstawie wymienionych układów nie stwarza więc istotnych problemów.

W projektowaniu i wytwarzaniu metali ciężkich typu W-Ni-Fe-Re wszystkie przedstawione wyżej zasady powinny również mieć logiczne uzasadnienie. Jednakże niewiele dostępnych opisów tych materiałów może świadczyć o problemach w tym zakresie. Nie są one obecnie dostatecznie rozpoznane i tym bardziej rozwiązane. Można ponadto domniemywać, że istnieje ścisła ochrona technologii wytwarzania tych metali i ochrona praw autorskich.

W metalach W-Ni-Fe-Re osnowa jest stopem dwóch metali wysokotopliwych wolframu i renu. Powinna być zatem tworzona zgodnie z układem równowagi tych metali, który zamieszczono na rysunku 3.

Jak wynika z tego rysunku, stopy wolframu z renem o zawartości do 30% masowych Re charakteryzują się jednofazową strukturą roztworu stałego α renu w wolfranie. Plastyczność takich stopów, w odróżnieniu od czystego wolframu, jest wysoka. Można je poddawać obróbce plastycznej, zarówno w temperaturze otoczenia („na zimno”), jak i w podwyższonej temperaturze („na gorąco”). Osnowa spieków W-Ni-Fe-Re charakteryzuje się więc wysokimi właściwościami, co jest bardzo korzystne i odróżnia ją od osnowy „klasycznych” metali ciężkich W-Ni-Fe.



Rys. 3. Wykres równowagi W-Re [1, 5]

Pozostałe składniki, czyli nikiel i żelazo włącznie z pewną ilością wolframu oraz renu tworzą plastyczną fazę wiążącą. Faza ta jest w konsekwencji złożoną czteroskładnikową strukturą nikiel-wolfram-ren-żelazo.

Na temat składu chemicznego osnowy i fazy wiążącej oraz udziałów w nich poszczególnych składników, a także objętości fazy wiążącej w metalach W-Ni-Fe-Re nie znaleziono informacji literaturowych. Można więc w tym miejscu przytoczyć tylko niektóre wyniki badań realizowanych od 2002 roku w Wojskowej Akademii Technicznej, dotyczących tych metali [10]. W tabeli 3 zamieszczono wyniki pomiarów zawartości renu w osnowie oraz objętości fazy wiążącej w trzech różnych metalach W-Ni-Fe-Re.

TABELA 3

Wyniki pomiarów zawartości renu w osnowie spiekanych metali W-Ni-Fe-Re [10]

Skład chemiczny metali spiekanych	Udział masowy Re w osnowie metalu [%]	Udział objętościowy fazy wiążącej [%]
87W-7Ni-3Fe-3Re	2,90÷3,05	32,50
85W-7Ni-3Fe-5Re	4,62÷5,03	35,30
80W-7Ni-3Fe-10Re	9,72÷10,00	30,40

Porównując przedstawione powyżej dane z informacjami na temat objętości fazy wiążącej w metalach W-Ni-Fe można zauważyć, że dodatek renu wpłynął na wyraźny wzrost ilości czteroskładnikowej fazy wiążącej (por. tab. 2). Może to być związane ze znaczącym zmniejszeniem się wielkości cząstek osnowy wolframowej w metalach W-Ni-Fe-Re. Średnia wielkość cząstek osnowy w metalach „klasycznych” zawiera się w granicach 20÷60 μm , natomiast w metalach z dodatkiem renu średnia wielkość cząstek osnowy zawiera się w granicach 8,5÷15 μm [10, 11].

Opisane powyżej zasady i zaprezentowane wyniki badań dotyczą metali W-Ni-Fe-Re. Mogą być więc tylko w niewielkim zakresie przydatne w projektowaniu składów i technologii wytwarzania metali trójskładnikowych W-Re-Ni. Te materiały to głównie stopy W-Re z niewielkim ilościowo dodatkiem niklu. W nielicznych dostępnych źródłach literaturowych natrafiono na opis spiekania takich metali, lecz tylko z maksymalnym dodatkiem niklu równym 3% masowo [12].

W stopach podwójnych W-Re nie występuje podczas spiekania faza ciekła, a więc w spiekach nie ma typowej fazy wiążącej. Wydaje się, że dodatek niklu do wolframu i renu podczas spiekania pełnią głównie rolę aktywatora dyfuzji pomiędzy tymi dwoma metalami wysokotopliwymi.

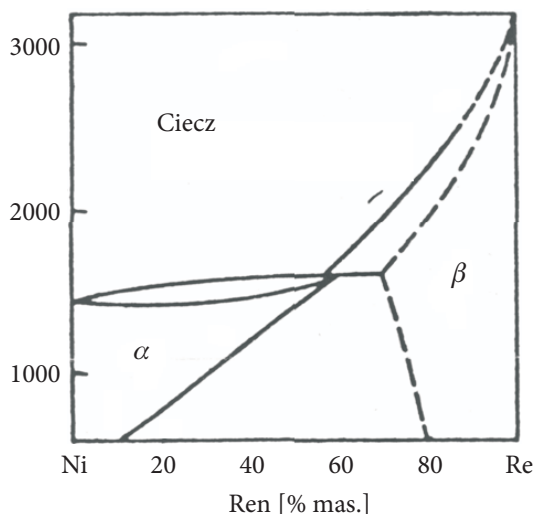
Hipotezę tę można sformułować, nawiązując do opisów oddziaływania niklu na cząstki spiekane wolframu. W tym przypadku wielu badaczy formułuje opinie, że mechanizm aktywowania spiekania wolframu w obecności niklu sprowadza się do obecności fazy ciekłej w przestrzeni bezpośredniego kontaktu cząstek tych metali. Inni, na podstawie wyników mikroanalizy rentgenowskiej, przypuszczają, że w niskich temperaturach spiekania nikiel intensywnie dyfunduje wzdłuż powierzchni cząstek wolframu i wzdłuż granic ziaren. Wolfram w tym czasie dyfunduje w nikiel, tworząc fazę wtórną na granicy ziaren [13].

Występujące obniżenie temperatury spiekania i duża szybkość zagęszczenia podczas spiekania wolframu z niklem nie znajduje uzasadnienia w mechanizmie spiekania z obecnością fazy ciekłej. Może to być tłumaczone zwiększeniem się liczby defektów w strukturze metalu.

Mechanizm aktywowania spiekania wolframu przez dodatki uzależniony jest od stosunku cząstkowych współczynników dyfuzji, może mieć to wpływ na stan energetyczny dyslokacji. Zatem wzrost stężenia dyslokacji powoduje zwiększoną aktywność w procesie spiekania [13].

Wymienione w literaturze mechanizmy aktywowania procesu spiekania wolframu przez dodatek niklu mogą być również interpretowane na podstawie budowy elektronowej spiekanych metali. Według niektórych wyników badań zjawisko jednokierunkowej dyfuzji wolframu do niklu jest rezultatem dodawania swobodnych elektronów przez atomy wolframu do niklu i tym samym dopełnienia jego trzeciej orbity. Prowadzi to do zmniejszenia nadmiaru energii swobodnej w całym układzie [13].

Wzajemne oddziaływanie renu i niklu w podwyższonej temperaturze przebiega zgodnie z układem równowagi przedstawionym na rysunku 4.



Rys. 4. Układ równowagi Re-Ni [2]

Jak wynika z tego rysunku, układ równowagi Re-Ni jest układem typu perytektycznego. Obydwa metale charakteryzują się ograniczoną rozpuszczalnością w stanie stałym. Postać roztworów stałych renu na osnowie niklu występuje do zawartości 40% Re w temperaturze 1200°C i zmniejsza się do 31% Re w temperaturze 1000°C.

Rozpuszczalność niklu w reniu w temperaturze 1200°C dochodzi do 26%.

Roztwór stały renu na osnowie niklu tworzy perytektykę z roztopionego metalu i roztworu stałego niklu na osnowie renu, przy zawartości 63% mas. Re w temperaturze 1600°C.

Według źródeł literaturowych wiedza o układzie równowagi Re-Ni w zakresie roztworów stałych na osnowie niklu jest znacznie większa niż w roztworach stałych na osnowie renu. Ta część układu równowagi Re-Ni wymaga jeszcze wielu dalszych badań [2].

Opinia powyższa wydaje się bardzo ważna w kontekście analizowanej możliwości projektowania składów metali ciężkich W-Ni-Fe-Re, a w szczególności metali W-Re-Ni z wykorzystaniem produktów pochodzących z redukcji renianu (VII) niklu (II).

3. Zastosowanie renianu (VII) niklu (II) do wytwarzania metali W-Ni-Fe-Re i W-Re-Ni

Zgodnie z masą molową renianu (VII) niklu (II) — $\text{Ni}(\text{ReO}_4)_2$ stosunek ilości renu do ilości niklu w tym związku wynosi 6,34 (masowo). Zawartość obu metali w tym związku wynosi zatem: Re — 86,37%, Ni — 13,63%.

Na podstawie powyższych danych zaprojektowano składy chemiczne metali ciężkich W-Ni-Fe-Re i W-Re-Ni, w których dodatki renu i niklu przewidziano odpowiednio do użytego renianu (VII) niklu (II).

W projektowaniu metali czteroskładnikowych uwzględniono zasady opisane w poprzednim rozdziale. Założono zawartość renu w obu grupach metali od 5 do 25% masowych. Ilości pozostałych składników, tzn. wolframu, niklu i żelaza, wynikały z przyjętego stosunku Re/Ni równego w przybliżeniu 6,34 oraz typowych proporcji Ni/Fe (5/5; 7/3 i 8/2).

W metalach W-Re-Ni również przyjęto taki sam przedział zawartości renu (5÷25% masowych). Ponieważ dodatek niklu był uwarunkowany jego zawartością w renianie (VII) niklu (II), to zawartość wolframu była konsekwencją zastosowanych dodatków renu oraz niklu.

Poniżej w tabelach 4 i 5 przedstawiono zaproponowane przykładowe składy chemiczne obydwu grup metali.

TABELA 4

Przykładowe składy chemiczne metali ciężkich W-Re-Fe-Ni wynikające z zastosowania w procesie wytwórczym renianu (VII) niklu (II) — $\text{Ni}(\text{ReO}_4)_2$

Lp.	Stosunek ilości Ni/Fe	Skład chemiczny metalu W-Re-Ni-Fe [% mas.]	Udział masowy osnowy w metalu [%]
1	5/5	93,4W-5Re-0,8Ni-0,8Fe	98,4
2		73,8W-20Re-3,1Ni-3,1Fe	93,8
3		67,2W-25Re-3,9Ni-3,9Fe	92,2
4	7/3	93,9W-5Re-0,8Ni-0,3Fe	98,9
5		75,4W-20Re-3,2Ni-1,4Fe	95,4
6		69,4W-25Re-3,9Ni-1,7Fe	94,4
7	8/2	94,0W-5Re-0,8Ni-0,2Fe	99,0
8		76,1W-20Re-3,1Ni-0,8Fe	96,1
9		70,0W-25Re-4,0Ni-1,0Fe	95,0

TABELA 5

Przykładowe składy chemiczne metali ciężkich W-Re-Ni wynikające z zastosowania w procesie wytwórczym renianu (VII) niklu (II) — $\text{Ni}(\text{ReO}_4)_2$

Lp.	Składy chemiczne metalu W-Re-Ni [% mas]
1	94,2W-5Re-0,8Ni
2	76,9W-20Re-3,1Ni
3	71,1W-25Re-3,9Ni

Analizując zaprezentowane składy obu grup metali, należy zwrócić uwagę na następujące fakty:

1. Zaproponowane ilości wolframu i niklu umożliwiają we wszystkich przedstawionych spiekach W-Re-Ni-Fe otrzymanie po spiekaniu struktury osnowy w postaci roztworu stałego renu w wolframie α . Przeprowadzony prawidłowo proces spiekania z obecnością fazy ciekłej powinien doprowadzić zatem do otrzymania osnowy spiekanych metali w postaci jednofazowego stopu W-Re, pomimo że część renu razem z niklem i żelazem oraz pewną ilością wolframu utworzą fazę wiążącą.
2. Ren biorący udział w tworzeniu fazy wiążącej razem z niklem dąży podczas spiekania do tworzenia stopów zgodnie z układem równowagi obu metali (rys. 4). Ponieważ w tych warunkach ren może również tworzyć stopy z żelazem, a żelazo z niklem, to trudno jest bez dodatkowych badań ustalić, nawet w przybliżeniu, jakie będą struktury końcowe faz wiążących. Z dotychczasowych wyników badań metali W-Re-Ni-Fe przeprowadzonych w oparciu o proszki metaliczne wszystkich składników oraz proszek renianu (VII) amonu wynika, że niektóre właściwości czteroskładnikowych faz wiążących są zdecydowanie wyższe od takich samych właściwości faz wiążących „klasycznych” metali W-Ni-Fe. Szczegółowych badań strukturalnych tych faz w metalach W-Re-Ni-Fe dotychczas nie przeprowadzono [10, 11].
3. Metale ciężkie typu W-Re-Ni różnią się zasadniczo od typowych MC (np. W-Ni-Fe). Są to praktycznie stopy dwuskładnikowe W-Re z niewielkim dodatkiem niklu. Głównym celem obecności w tych metalach niklu jest prawdopodobnie uaktywnienie spiekania wolframu z renem. Podobnie interpretowane jest aktywowanie spiekania wolframu przy udziale niklu.

W metalach W-Re-Ni istotne znaczenie może mieć postać dodawanego renu i niklu. Wydaje się, że wprowadzone do składów metali proszki metaliczne wolframu, renu oraz niklu podczas spiekania będą brały udział w tworzeniu stopów podwójnych W-Re przy niewielkiej ilości dodanego niklu i jego aktywującego oddziaływania.

W przypadku, gdy w procesie tworzenia metali zostanie użyty renian (VII) niklu (II), istotna może okazać się postać produktów redukcji tego związku. Jeżeli produktami redukcji podczas spiekania będą nie proszki elementarne, lecz proszki częściowo lub całkowicie stopowe (Re-Ni), to wówczas wpływ takich proszków na tworzenie się końcowych struktur aktywowanych niklem jest obecnie trudny do ustalenia.

Można zatem stwierdzić, że istnieje potrzeba podjęcia wielu badań, które powinny doprowadzić do ustalenia mechanizmów tworzenia optymalnych struktur, a w konsekwencji najlepszych właściwości omawianych metali.

4. Podsumowanie

Podjętej próbie omówienia zasad projektowania składów chemicznych metali ciężkich typu W-Re-Ni-Fe i W-Re-Ni oraz ich wytwarzania przyswiecały trzy przesłanki.

Pierwsza, odnosząca się do mało jeszcze znanych metali czteroskładnikowych, miała wskazać na występowanie podobieństw tych materiałów do „klasycznych” spieków W-Ni-Fe. Oprócz tego zwrócono także uwagę na problemy wynikające ze złożonych oddziaływań na siebie metali składowych. W wyniku spiekania z obecnością fazy ciekłej w spiekach W-Re-Ni-Fe prawdopodobnie będą powstawały skomplikowane struktury końcowe. Ich wpływ na ostateczne właściwości metali ciężkich może ściśle ukierunkować praktyczne wykorzystanie tej grupy materiałów.

Metale ciężkie W-Re-Ni są w literaturze opisane w znacznie mniejszym stopniu niż metale W-Re-Ni-Fe. Można je tylko w niewielkim stopniu porównywać do stopów podwójnych W-Re prezentowanych w specjalistycznym piśmiennictwie.

Druga przesłanka łączyła się ze sposobem komponowania składów chemicznych obu grup metali ciężkich wynikającym z faktu zastosowania renianu (VII) niklu (II). W dotychczasowej praktyce doboru składników końcowych metali ciężkich kierowano się powszechnie znanymi komponentami proszkowymi i znaną technologią wytwarzania.

Tym razem podjęto próbę zastosowania nowego związku chemicznego, który umożliwia wprowadzenie do składu chemicznego metali jednocześnie renu i niklu. Rozwiązanie to, oprócz nowatorstwa i wielu potencjalnych rozwiązań wymaga odpowiedzi na pytania związane z teorią procesów spiekania takich układów metalicznych.

Trzecia przesłanka miała na celu wskazanie istnienia ewentualnych możliwości zastąpienia kancerogennego proszku niklu proszkiem częściowo lub całkowicie ustopionym ren-nikiel. Można przypuszczać, że szkodliwość takiego proszku będzie zdecydowanie niższa od proszku niklu.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-2010 jako projekt badawczy rozwojowy nr R 00 024 02.

Artykuł wpłynął do redakcji 11.08.2008 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano we wrześniu 2008 r.

LITERATURA

- [1] R. M. GERMAN, *Liquid phase sintering*, Plenum Press, New York and London, 1985.
- [2] Э. М. Савицкий, М. А. Тьлькина, К. Б. Поварова, *Сплавы реия*, Изд. Наука, Москва, 1965.
- [3] Zgłoszenie patentowe w U.P.R.P. 384585.

- [4] J. R. SPENCER, J. A. MULLENDORE, *The Effect of Nickel: Iron Ratios on the Mechanical Properties, Microstructure and Processing of W-Ni-Fe — Alloys*, International Conference on Tungsten and Tungsten Alloys — 1992, Metal Powder Industries Federation, Princeton, New Jersey, USA, 1992, 111-119.
- [5] S. STOLARZ, W. RUTKOWSKI, *Wolfram i Molibden*, PWT, Warszawa, 1961.
- [6] A. DINADALE, T. CHART, Unpublished work, 1986.
- [7] T. B. MOSSALSKI, *Binary Alloy Phase Diagrams*, A.S.M. International, 1990.
- [8] E. T. HENING, H. HOFMANN, G. PETZOV, *Die constitution von W-Fe-Ni Schwerkmetallegerungen und Ihr Einfluss auf die Mechanischen Eigenschaften*, Plansee Seminarium 1981, ed. H. M. Ortner, Reutte, Austria, 335-359.
- [9] A. FERNANDEZ GUILLERMET, L. OSTLUND, *Experimental and Theoretical Study of the Phase Equilibria in the W-Ni-Fe System*, Metallurgical Transactions A, vol. 17, 1986, 1809-1828.
- [10] J. PIĘTASZEWSKI, J. MICHAŁOWSKI, *Badania wpływu zgniotu w metalach ciężkich WHA zawierających ren, na końcową ich budowę i właściwości statyczne oraz dynamiczne*, Sprawozdanie merytoryczne z realizacji projektu badawczego nr 0 T00C.008 27 WAT, Warszawa, 2006, 71 i 84.
- [11] E. WŁODARCZYK, J. MICHAŁOWSKI, J. PIĘTASZEWSKI, *Opracowanie podstaw technologii wytwarzania spieku ciężkiego z osnową wolframową o unikatowych właściwościach użytkowych, w zastosowaniu na rdzenie pocisków przeciwpancernych*, Sprawozdanie merytoryczne z realizacji projektu badawczego nr 0 T00C 021 21 WAT, Warszawa, 2004, 90.
- [12] В. Е. Панин, А. П. Савицкий, И. И. Кочепасов, Г. В. Тюкалов, *Влияние направленно легирования вольфрама на механизм его активированного спекания*, V Международная Конференция по порошковой Металлургии, Vysoke Tatry, 1-3.X.1974, C.S.R., 243-256.
- [13] A. ВУКАТ, W. RUTKOWSKI, *Teoretyczne podstawy procesów spiekania*, Wyd. Śląsk, 1974, 157-168.

T. MAJEWSKI, J. MICHAŁOWSKI, J. PIĘTASZEWSKI

Analysis of nickel perrhenate using possibilities of production of heavy metals contained rhenium

Abstract. The information about new rhenium and nickel compound is included in the paper. The described material is used for heavy metals production. The methodology of designing W-Ni-Fe-Re and W-Re-Ni metals is described. Moreover, the examples of using this compound for heavy metals manufacturing are shown.

Keywords: nickel perrhenate, reduction, heavy alloys, rhenium, sintered materials, powdered metallurgy

Universal Decimal Classification: 621.762