



BIULETYN WAT
VOL. LV, NR 2, 2006

Wpływ niektórych procesów obróbki plastycznej metali ciężkich 87W-7Ni-3Fe-3Re na ich wybrane właściwości

JAN PIĘTASZEWSKI, JERZY MICHAŁOWSKI,
EDWARD WŁODARCZYK

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

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki wstępnych badań walcowania i młotowania na zimno metali ciężkich o składzie 87%W-7%Ni-3%Fe-3%Re. Osiągnięte rezultaty wskazują, że zarówno jeden jak i drugi proces wpływają na poprawę niektórych właściwości mechanicznych wymienionych metali. O wyborze młotowania w realizacji szerokiego programu badawczego zdecydowała jego wysoka przydatność do obróbki długich okrągłych profili wykorzystywanych w technologii wytwarzania rdzeni pocisków przeciwpancernych.

Słowa kluczowe: metale ciężkie WHA, wolfram, ren, obróbka plastyczna, rdzenie pocisków
Symbole UKD: 621.762

1. Wstęp

Obróbka plastyczna stosowana od dawna w procesach wytwarzania metali wysokotopliwych, między innymi takich, jak: wolfram, molibden, ren lub stopów tych metali, jest obszernie opisana i udokumentowana w specjalistycznej literaturze [1-8].

W literaturze dotyczącej klasycznych metali ciężkich typu W-Ni-Fe istnieją liczne informacje o metodach wytwarzania tych materiałów, także z wykorzystaniem obróbki plastycznej [9-14].

W obu przypadkach wymienione są często te same rodzaje stosowanej obróbki, a więc: kucie na kowarkach (młotowanie), walcowanie, ciągnięcie i niekiedy wyciskanie.

Na temat uzyskiwanych efektów odkształcenia plastycznego klasycznych metali ciężkich W-Ni-Fe przedstawiane są niekiedy różne opinie. Istnieje między innymi pogląd, że celem młotowania i walcowania wymienionych metali jest poprawa ich właściwości wskutek wyraźnego wydłużenia ziaren (cząstek) osnowy wolframowej.

Tymczasem, w jednej z publikacji [11] natrafiono na informacje, z których wynika, że najlepsze właściwości osiągnięto po wyciskaniu hydrostatycznym, a młotowanie i walcowanie spowodowało uzyskanie gorszych rezultatów. Jednakże wydaje się, że uzyskanie takich wyników mogło być skutkiem wadliwej metodyki badań.

Wykonane przed kilkoma laty w WAT eksperymenty na ten sam temat doprowadziły do uzyskania interesujących wyników, zarówno w przypadku młotowania, jak i walcowania spiekanych prętów z metalu o składzie 90W-7Ni-3Fe. Powyższy metal po spiekaniu z fazą ciekłą charakteryzował się:

- granicą plastyczności przy rozciąganiu R_e — 685 MPa;
- wytrzymałością na rozciąganie R_m — 940 MPa;
- wydłużeniem A_5 — 35%.

Po procesie walcowania ze zgniotem równym 15% osiągnięto:

- granicę plastyczności przy rozciąganiu R_e — 870 MPa;
- wytrzymałość na rozciąganie R_m — 1170 MPa;
- wydłużenie A_5 — 7,5%.

Młotowanie ze zgniotem 14,5% doprowadziło natomiast do uzyskania:

- granicy plastyczności przy rozciąganiu R_e — 1320 MPa;
- wytrzymałości na rozciąganie R_m — 1386 MPa.

W tym ostatnim przypadku wydłużenie A_5 osiągnęło zaledwie wartość 1,4%, co jest prawdopodobnie skutkiem wyraźnego umocnienia materiału [15-17].

Na temat metali ciężkich typu W-Ni-Fe-Re obrabianych plastycznie nie znaleziono dotychczas żadnych wzmianek. Specjaliści zajmujący się metalami wysokotopliwymi publikują głównie wyniki badań obróbki plastycznej czystego renu lub takich metali, jak np. wolfram-ren.

W jednej z publikacji stwierdzono, że walcowanie i kucie na gorąco renu oraz metali z jego dodatkiem, powinno być realizowane w atmosferze ochronnej. Jako powód podano kruchość renu występującą w podwyższonej temperaturze. Te same obróbki plastyczne renu na zimno powinny być realizowane z częstymi wyżarzaniemmi międzyoperacyjnymi, z uwagi na wysoką zdolność tego metalu do umocnienia [3].

Mając na uwadze powyższe zalecenia oraz szereg informacji o obróbce plastycznej klasycznych metali ciężkich W-Ni-Fe, można domniemywać, że zastosowanie znanych i opisanych metod w odniesieniu do podobnych metali z dodatkiem renu umożliwi poprawę niektórych ich właściwości.

W niniejszym artykule, drugim z cyklu publikacji poświęconych badaniom możliwości zastosowania obróbki plastycznej metali W-Ni-Fe-Re, przedstawiono rezultaty wstępnych badań. Eksperymenty te dotyczyły młotowania i walcowania na zimno metali o składzie chemicznym 87%W-7%Ni-3%Fe-3%Re, spiekanych i przesycanych, o kształtach długich walcowych prętów.

W poprzedniej publikacji, dotyczącej zawartych w literaturze informacji literaturowych na temat obróbki plastycznej metali wysokotopliwych i metali ciężkich, występowały zamiennie pojęcia: „przeróbka plastyczna” i „obróbka plastyczna” oraz „młotkowanie”. Uznano więc, że zaistniała potrzeba dokonania dwóch wyjaśnień.

Pierwsze z nich dotyczy przeróbki plastycznej i obróbki plastycznej.

W literaturze opisującej procesy wytwarzania metali wysokotopliwych, między innymi takich jak: wolfram, molibden i ren, wymienione i omawiane są różne metody odkształcenia plastycznego, określane jako ich przeróbka plastyczna. Słusznie podaje się, że bez zastosowania tych metod niemożliwe jest wytworzenie półfabrykatów i gotowych wyrobów, charakteryzujących się określonymi wysokimi powtarzalnymi właściwościami. Jednakże Polska Norma PN-89/M-66001, dotycząca obróbki plastycznej metali i stosowanej terminologii, definiuje wyraźnie wszystkie metody jako obróbkę plastyczną. Termin „przeróbka plastyczna” nie jest w tej normie w ogóle wymieniony. Dlatego można przypuszczać, że nazwa „przeróbka plastyczna” jest określeniem tradycyjnym i zwyczajowym.

Drugie wyjaśnienie dotyczy określenia „młotkowanie”.

Podobnie jak poprzednio, również w tym przypadku jest to prawdopodobnie nazwa potoczna i zwyczajowa. Niestety, jest ona niewłaściwa, ponieważ młotkowaniem nazywana jest także zupełnie inna obróbka metali. Dotyczy ona odkształcenia warstwy wierzchniej obrabianego metalu — powoduje zmiany właściwości tej warstwy. W procesach kucia półfabrykatów metali wysokotopliwych realizowanych na kowarkach i opisywanych w literaturze, odkształcenie plastyczne występuje natomiast w całej objętości obrabianego materiału, powodując zmiany jego struktury i właściwości. W kolejnej Polskiej Normie PN-89/M-66003, dotyczącej kucia matrycowego metali i stosowanych określeń, nazywa się jednoznacznie kucie na kowarkach „młotowaniem”, a kowarki nazywa się także „młotownicami”.

Z powyższych powodów autorzy niniejszej i następnych publikacji będą używać nazw „obróbka plastyczna” i „młotowanie”, odnosząc się jednocześnie z całym szacunkiem i zrozumieniem do określeń tradycyjnych, które istnieją w wielu cennych pozycjach literaturowych.

2. Przebieg i wyniki badań

Jak napisano we wstępie, eksperymenty obróbki plastycznej wykonano na metalach o składzie 87%W-7%Ni-3%Fe-3%Re. Źródłem renu był związek che-

miczny renian VII amonu NH_4ReO_4 , określanej dawniej jako nadrenian amonu. Półfabrykatami do odkształcenia plastycznego były spiekane i przesycone pręty o średnicy w zakresie od 11,0 do 12,0 mm oraz długości pomiędzy 120 i 130 mm.

Pręty obrabiono dwiema metodami obróbki plastycznej. Jedną partię przekuto (młotowano) na kowarce, inaczej nazywanej młotownią, w temperaturze otoczenia, stosując całkowity sumaryczny zgniot równy 15%. Drugą partię walcowano na dwuwalcowej walcierce, również w temperaturze otoczenia, z przekroju kołowego na przekrój prostokątny, do uzyskania zgniotu sumarycznego 14,5%. W obu obróbkach nie stosowano wyżarzania międzyoperacyjnego.

Po obróbce plastycznej na żadnym z prętów nie zaobserwowano jakichkolwiek wad powierzchniowych w postaci pęknięć lub wykruszeń.

Pręty walcowane o kształcie płaskowników uległy natomiast znacznym wygięciom poosiowym na całej ich długości. Było to spowodowane zastosowaniem walcarki dwuwalcowej. Tego typu zniekształcenia nie powstają zwykle podczas walcowania metali na walcarkach wielowalcowych (np. czterowalcowych).

Po obróbce plastycznej wszystkie pręty poddano wyżarzaniu w temperaturze 500°C w czasie 1 godziny.

Z prętów młotowanych wykonano obróbkę — skrawaniem — próbki do badań właściwości mechanicznych oraz zgłady metalograficzne do obserwacji mikrostruktury. Wygięcia prętów walcowanych uniemożliwiły wykonanie próbek do pomiaru wytrzymałości na rozciąganie, granicy plastyczności i wydłużenia. Ograniczono się więc w tym przypadku do wykonania zgładów metalograficznych, przeznaczonych do pomiarów twardości i rozkładu twardości oraz do obserwacji mikrostruktury.

Pomiary właściwości mechanicznych metali młotowanych przeprowadzono zgodnie z obowiązującymi normami, na próbkach pięciokrotnych o średnicy 4 mm.

Twardość obrabionych plastycznie próbek pomierzono metodą Vickersa przy obciążeniach 0,098 N (HV0,01) i 49,03 N (HV5), na przekrojach wzdłużnych, zgodnych z kierunkiem obróbki plastycznej.

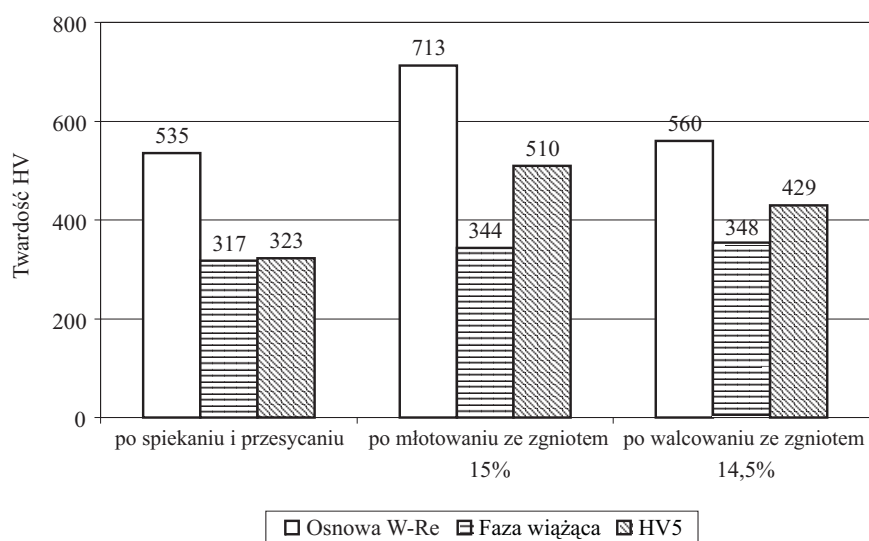
W tabeli 1 zamieszczono wybrane właściwości mechaniczne badanych metali w stanie: po spiekaniu i przesycaaniu oraz młotowaniu ze zgniotem równym 15%.

TABELA 1

Wybrane właściwości mechaniczne metali ciężkich o składzie 87W-7Ni-3Fe-3Re w stanie po spiekaniu i przesycaaniu oraz dodatkowo poddanych młotowaniu ze zgniotem $z = 15\%$

Wyszczególnienie właściwości mechanicznych		Stan badanych próbek	
		Spiekane i przesycone	Spiekane, przesycone i młotowane $z = 15\%$
Granica plastyczności	R_e [MPa]	740	1380
Wytrzymałość na rozciąganie	R_m [MPa]	1020	1400
Wydłużenie	A_5 [%]	21,7	3,7
Udarność	K [J/cm ²]	88,6	32

Na rysunku 1 przedstawiono wyniki pomiarów twardości Vickersa HV0,01 osnowy badanych metali (stopu W-Re) i fazy wiążącej, zarówno po spiekaniu i przesycaniu, jak też po młotowaniu oraz walcowaniu. Zamieszczono także wyniki pomiarów twardości Vickersa HV5.



Rys. 1. Wyniki pomiarów twardości metali ciężkich 87W-7Ni-3Fe-3Re po spiekaniu i przesycaniu, młotowaniu i walcowaniu

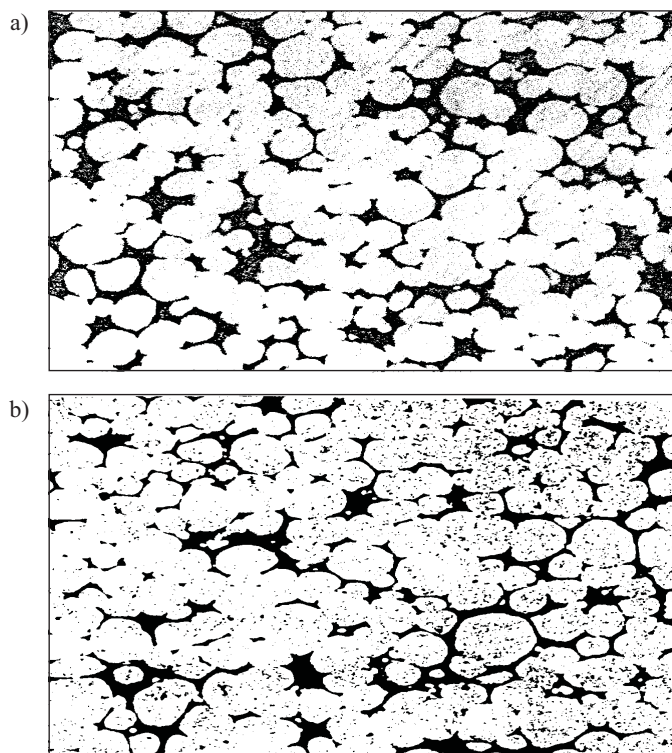
Jak wynika z tabeli 1, proces młotowania badanych metali spowodował znaczący wzrost granicy plastyczności i wytrzymałości na rozciąganie w porównaniu do analogicznych właściwości otrzymanych po spiekaniu i przesycaniu. Zmniejszeniu uległa natomiast plastyczność (A_5).

Obserwując wyniki twardości osnowy i fazy wiążącej, przedstawione na rysunku 1, można zauważyć, że twardość osnowy po procesie młotowania jest zdecydowanie większa aniżeli po walcowaniu. Wzrost twardości osnowy po walcowaniu wyniósł 4,7%, w porównaniu do twardości osnowy po spiekaniu i przesycaniu, podczas gdy po procesie młotowania wyniósł 33,2%.

Obrazy mikrostruktur powierzchni wzdłużnych (zgodnych z kierunkiem odkształcenia plastycznego) próbek przedstawiono na rysunku 2.

Obie struktury wydają się podobne do siebie. Zarówno po młotowaniu, jak i po walcowaniu można zaobserwować spłaszczenie ziaren (cząstek) osnowy metalu (W-Re). Ponadto można dostrzec układanie się ziaren osnowy w pasma zgodne z kierunkiem obróbki plastycznej. Plastyczna faza wiążąca została częściowo wyciśnięta z obszarów pomiędzy ziarnami osnowy, skupiając się niekiedy nad osnową

i pod nią. Taki obraz jest nieco bardziej widoczny w mikrostrukturze prętów walcowanych (rys. 2b).



Rys. 2. Mikrostruktury metalu 87W-7Ni-3Fe-3Re poddanego: a — młotowaniu ze zgniotem 15%; b — walcowaniu ze zgniotem 14,5%. Obrazy przekrojów wzdłużnych. Powiększenie x500

3. Omówienie wyników badań

Opisane badania obróbki plastycznej na zimno metali ciężkich z dodatkiem renu stanowiły wstępny etap szerokiego programu badawczego. W tym etapie poddano próbom młotowania i walcowania metale tylko o jednym składzie chemicznym, czyli 87%W-7%Ni-3%Fe-3%Re. W obu metodach przyjęto jeden stopień odkształcenia plastycznego równy 15% i uzyskany bez stosowania wyżarzania międzyoperacyjnego.

Jako główny cel przyjęto w opisanych eksperymentach sprawdzenie możliwości zastosowanych urządzeń do obróbki plastycznej, w odniesieniu do poddanych takiej obróbce badanych metali. W dostępnej literaturze nie znaleziono dotychczas żadnych wzmianek o obróbce plastycznej metali ciężkich typu W-Ni-Fe-Re.

Ponadto istotne było ustalenie kierunku i wartości zmian właściwości mechanicznych powyższych metali poddanych odkształceniom plastycznym na zimno.

Uzyskane i przedstawione powyżej wyniki eksperymentów młotowania i walcowania badanych metali na dostępnych urządzeniach pokazały, że w wyniku młotowania osiągnięto wyraźny wzrost zarówno granicy plastyczności, jak i wytrzymałości na rozciąganie. Obie te właściwości wzrosły odpowiednio o 83,7% i 37,2% w porównaniu do analogicznych właściwości otrzymywanych po spiekanii i przesycaaniu.

Przedstawiona na rysunku 1 twardość osnowy (W-Re) odkształconych plastycznie metali skłania do dwóch interesujących spostrzeżeń.

Pierwsze dotyczy wysokiej skłonności renu i metali z jego dodatkiem do szybkiego umocnienia wskutek obróbki plastycznej na zimno. Wynikiem umocnienia jest między innymi znaczący wzrost twardości, co potwierdza twardość ziaren (cząstek) osnowy.

Drugie spostrzeżenie, jakkolwiek cenne, można obecnie uznać tylko jako hipotezę. Otóż przeprowadzone procesy młotowania i walcowania metalu o tym samym składzie chemicznym przy zastosowaniu porównywalnego zgniotu całkowitego (15 i 14,5%) spowodowały uzyskanie znaczącej różnicy w twardości ziaren (cząstek) osnowy. Zdecydowanie większą twardość osnowy uzyskano po młotowaniu. Można przypuszczać, że tak znacząca twardość jest w tym przypadku skutkiem większego umocnienia ziaren stopu wolframu z renem, które wynika z działania dużej jednostkowej energii odkształcenia plastycznego, występującej podczas młotowania. Pewnym potwierdzeniem takiej interpretacji mogą być wyniki pomiarów twardości fazy wiążącej. Zarówno w metalach młotowanych, jak i walcowanych różnica twardości tej fazy jest niewielka (344 HV_{0,01} i 348 HV_{0,01}).

Wynika więc z tego, że plastyczna faza wiążąca, która jest stopem niklu, żelaza, wolframu i renu nie uległa tak znaczącemu umocnieniu jak osnowa metalu.

Analiza wyników pomiarów twardości HV₅ potwierdza fakt większej dynamiki procesu młotowania i prawdopodobnie z tym związanej większej twardości młotowanego metalu w porównaniu do twardości po walcowaniu. Wzrost twardości HV₅ po walcowaniu w stosunku do twardości metalu spiekane go wyniósł 32,8%, natomiast po młotowaniu był równy 57,9%.

Przydatność zastosowanych procesów obróbki plastycznej, tzn. młotowania i walcowania, okazała się zadowalająca. Pewnym mankamentem zastosowanej walcarki jest jej skłonność do zniekształcania walcowanych płaskowników. Ponadto walcowane płaskowniki mogą być w ograniczonym stopniu użyte do zastosowań militarnych, gdzie preferowane są głównie długie i okrągłe profile.

Młotowanie na zimno badanych metali z dodatkiem renu powoduje niestety szybkie umocnienie materiału. Konieczne jest więc właściwe dobranie wielkości zgniotu, który nie powoduje zniszczenia półfabrykatu. Szybkie umocnienie młotowanego metalu wpływa także na wzrost obciążeń narzędzi. Stosując większe

zgnioty, należy zatem przewidzieć procesy wyżarzania międzyoperacyjnego (rekrytalizującego).

Wszystkie doświadczenia nabyte podczas opisanych wstępnych badań młotowania i walcowania na zimno badanych metali typu W-Ni-Fe-Re spowodowały, że w kolejnych eksperymentach skoncentrowano się na procesie młotowania.

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych i opisanych powyżej badań sformułowano następujące wnioski:

1. Za pomocą młotowania i walcowania na zimno badanych metali, w zakresie zastosowanego zgniotu, udowodniono, że istnieje możliwość poprawy niektórych ich właściwości mechanicznych. Plastyczność metali, określana przez pomiar wydłużenia podczas rozciągania, zdecydowanie maleje.
2. Stwierdzono większą przydatność młotowania metali W-Ni-Fe-Re, w zastosowaniach na rdzenie pocisków przeciwpancernych, w porównaniu do procesu walcowania, z uwagi na ekonomikę wykorzystania obrobionych profili.
3. Rozwiązanie szeregu problemów badawczych i technologicznych dotyczących obróbki plastycznej rozpatrywanych metali ciężkich wymaga realizacji szerokiego programu. Program ten jest kontynuowany, a uzyskane wyniki będą sukcesywnie publikowane.

Przedstawione w artykule wyniki stanowią część pracy naukowej finansowanej ze środków Ministerstwa Nauki i Informatyzacji w latach 2004-2006 jako projekt badawczy nr 0 T00C 008 27.

Artykuł wpłynął do redakcji 30.01.2006 r. Poprawioną wersję po recenzji otrzymano w marcu 2006 r.

LITERATURA

- [1] W. RUTKOWSKI, *Metalurgia proszków w nowoczesnej technice*, Śląsk, Katowice, 1963.
- [2] S. STOLARZ, W. RUTKOWSKI, *Wolfram i molibden*, PWT, Warszawa, 1961.
- [3] E. M. САВИЦКИЙ, Г. С. БУРХАНОВ, *Металловедение сплавов тугоплавких и редких металлов*, Наука, Москва, 1971.
- [4] М. В. МАЛЦЕВ, *Термическая обработка тугоплавких металлов и их сплавов*, Металлургия, Москва, 1974.
- [5] Э. М. САВИЦКИЙ, Г. С. БУРХАНОВ, *Редкие металлы и сплавы, физикохимический анализ и металловедение*, Изд. Наука, Москва, 1980
- [6] 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.

- [7] Э. М. САВИЦКИЙ, М. А. ТЫЛЬКИНА, К. Б. ПОВАРОВА, *Сплавы реня*, Изд. Наука, Москва, 1965.
- [8] W. RUTKOWSKI, S. STOLARZ, M. RAŻNIEWSKA, B. WINSCH, H. RUTKOWSKA, *Nowe materiały techniczne*, WNT, Warszawa, 1962.
- [9] I. I. BURKE, V. WEISS, *Powder Metallurgy for High-Performance Applications*, Syracuse University Press, 1972.
- [10] H. A. KUHN, B. L. FERGUSON, *Powder Forging*, Metal Powder Industries Federation, Princeton, New Jersey, 1990.
- [11] K. SIKORSKI, E. FORTUNA, K. J. KURZYDŁOWSKI, *Zmiany mikrostruktury i właściwości mechanicznych stopu W-Ni-Fe pod wpływem odkształcenia plastycznego i obróbki cieplnej*, Inżynieria Materiałowa nr 2, rok XXIII, marzec-kwiecień 2002.
- [12] EDITED BY A. BOSE AND R. J. DOWDING, *Tungsten and Tungsten Alloys — 1992*, Proceedings of the first International Conference on Tungsten and Tungsten Alloys, Metal Powder Industries Federation, Princeton, New Jersey, 1993.
- [13] L. CYBULA, Z. NIȚA, *Właściwości stopów ciężkich na rdzenie pocisków podkalibrowych i dobór technologii wytwarzania*, Mat. Konf. cz. II, Amunicja 99, Kołobrzeg 21-24 kwiecień 1999, 1-11.
- [14] A. BOSE, D. KAPOOR, L. S. MAGNESS, R. J. DOWDING, *Processing strategies for tungsten heavy alloys*, Tungsten Refractory Metals and Alloys-4, Proceedings of the Fourth International Conference on Tungsten Refractory Metals and Alloys: Processing, Properties and Applications, Metal Powder Industries Federation, Princeton, New Jersey, 1998, 321-339.
- [15] 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.
- [16] E. WŁODARCZYK, J. MICHAŁOWSKI, J. PIĘTASZEWSKI, *Właściwości spieków WHA z dodatkiem renu*, Biul. WAT, 52, 2, 2003, 17-23.
- [17] Sprawozdanie z projektu badawczego KBN nr 0 T00C 021 21 pt. *Opracowanie podstaw technologii wytwarzania spieku ciężkiego z osnową wolframową o unikatowych właściwościach użytkowych, w zastosowaniu na rdzenie pocisków przeciwpancernych*, WAT, Warszawa, 2004.

J. PIĘTASZEWSKI, J. MICHAŁOWSKI, E. WŁODARCZYK

Influence of the plastic forming of heavy metals of the 87W-7Ni-3Fe-3Re type on their chosen properties

Abstract. In this paper, there have been presented results of preliminary researches of rolling and cold hammering of heavy metals consisting of 87%W-7%Ni-3%Fe-3%Re. Obtained results indicate that the first process and the second one inflict on increasing of some of the mechanical properties of the metals. Hammering as a process incorporated into the wide research program was chosen because of its usefulness in forming of long cylindrical profiles used in the manufacturing of cores of armour-piercing projectiles.

Keywords: heavy metals WHA, tungsten, rhenium, plastic working, cores of projectiles

Universal Decimal Classification: 621.762

