



Badania balistyczne pocisków z rdzeniami wykonanymi z kompozytów bezołowiowych

ADAM JACKOWSKI

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

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań balistycznych pocisków do amunicji strzeleckiej kal. 5,56×45 mm, w których zastosowano elementy — rdzenie wykonane z materiałów niezawierających ołowiu. Rdzenie do badań wykonywano metodami metalurgii proszków z następujących materiałów: mieszaniny proszków wolframu i cyny w proporcjach 57/43, wolframu i cynku w proporcjach 60/40 i wolframu z miedzią o składzie 55/45. Badania balistyczne obejmowały: pomiary ciśnienia w przewodzie lufy i prędkości wylotowej pocisków, określenie prędkości pocisków na torze lotu V_{25} oraz wartość promienia rozrzutu R_{50} przy strzelaniu na 100 i 300 m. Ponadto określano przesunięcie średniego punktu trafienia (SMT) pociskami eksperymentalnymi w tarczę w odniesieniu do amunicji standardowej. Uzyskane rezultaty badań balistyki wewnętrznej wykazały pełną zgodność z wymaganiami. Na podstawie badań z zakresu balistyki zewnętrznej można stwierdzić, że uzyskano wyniki odbiegające od warunków określonych w odpowiednich wymaganiach technicznych.

Słowa kluczowe: metalurgia proszków, amunicja bezołowiowa

Symbole UKD: 623.45

1. Wstęp

Specyficzne właściwości fizyczne uzyskiwanych produktów charakteryzują metalurgię proszków jako technologię wytwarzania części maszyn. Są to przede wszystkim: obecność porów w strukturze materiału występująca zarówno w fazie przygotowywania wypraski, jak i po jej spiekaniu, a także ich morfologia oraz rozkład w objętości wypraski i spieku [1]. Powyższe stwierdzenia dotyczą głównie procesów spiekania prowadzonych w temperaturze niższej od topnienia jednego ze składników proszkowych mieszanki. Znany jest także efekt niejedno-

rodności rozkładu porów w wypraskach prasowanych w formach metalowych z zastosowaniem szczególnie metody jednostronnego prasowania [2-4]. Wynikiem tego jest niejednorodna gęstość wypraski i spieku.

Należy dodać, że wymienione wyżej zjawiska mają charakter losowy, zależny od wielu czynników procesu, zarówno wewnętrznych, jak i zewnętrznych, np. parametrów granulometrycznych stosowanych proszków [5-7].

Wymienione cechy strukturalne wyprasek i spieków mogą wpływać na parametry balistyki zewnętrznej pocisków zawierających elementy z nich wykonane, a zwłaszcza na wymagany tor lotu pocisku oraz stabilność jego ruchu w przestrzeni. Związane jest to m.in. z powtarzalnością masy pocisku oraz położenia środka masy pocisku względem środka parcia, odpowiednio do założonych konstrukcyjnie danych [8 i 9]. Masa pocisku i jej odchyłki są łatwe do ustalenia. Możliwe jest statystyczne opracowanie wyników pomiarów i porównanie ich z przyjętymi.

W drugim przypadku zastosowanie w procesie wytwarzania rdzeni pocisków metody jednostronnego prasowania wyprasek i związany z tym niejednorodny rozkład gęstości uzyskiwanego materiału mogą być powodem występowania zakłóceń w locie pocisku.

Powyższe stwierdzenia mają swoje odniesienie do pocisków z rdzeniami wykonanymi z kompozytów W-Sn, W-Zn i spieków wytworzonych z mieszanek W-Cu.

Wydaje się zatem, że eksperyment balistyczny daje największe możliwości obiektywnej oceny koncepcji technologicznej zastąpienia w pociskach z ołowiu innymi materiałami o małej toksyczności.

Przedstawiona praca podsumowuje cykl artykułów [9-11], w których zaprezentowano wybrane wyniki badań materiałowo-technologicznych związanych z oceną możliwości zastosowania nowych materiałów w konstrukcji pocisków.

2. Materiały użyte do badań oraz warunki przygotowania rdzeni

W pracy zaproponowano, aby badania modelowe przeprowadzone były z zastosowaniem badanych rdzeni do pocisków amunicji strzeleckiej kal. 5,56 mm oznaczanych wg NATO — M-109, a według oznaczeń krajowego producenta Z.M. „Mesko” FMJ. Na rysunku 1 przedstawiono schemat budowy pocisku 5,56×45 mm oraz jego główne wymiary.

W wymienionych nabojach zastosowano pocisk z jednowarstwowym płaszczem mosiężnym (1), w którym w części przedniej umieszczony jest rdzeń stalowy (2) oraz „podpierający go” rdzeń ołowiany (3). Wymienione elementy pocisku wykonywane są oddzielnie. Na rysunku 2 przedstawiono kształt i wymiary półfabrykatu rdzenia ołowianego pocisku.

kompozycje proszkowe konsolidowane jedynie w wyniku prasowania (wypraski) oraz w drugim jako kompozyty spiekane otrzymywane z wyprasek.

Mieszanki do badań oraz warunki ich przygotowania określono na podstawie wyników badań zaprezentowanych w [10-13], stosując kryterium gęstości oraz jednorodności strukturalnej wyprasek bądź spieków. Mając to na uwadze do badań technologicznych wykonania rdzeni, wytypowano mieszanki otrzymywane w następujących warunkach:

1. 53W — 47Sn

mieszanie	młynek bębnowy
stosunek masy kul do proszku	1:1
czas mieszania	20 h

2. 60W — 40 Zn

mieszanie	młynek bębnowy
stosunek masy kul do proszku	1:1
czas mieszania	6 h

3. 55W — 45 Cu

mieszanie	młynek planetarny
stosunek masy kul do proszku	10:1
czas mieszania	10 h

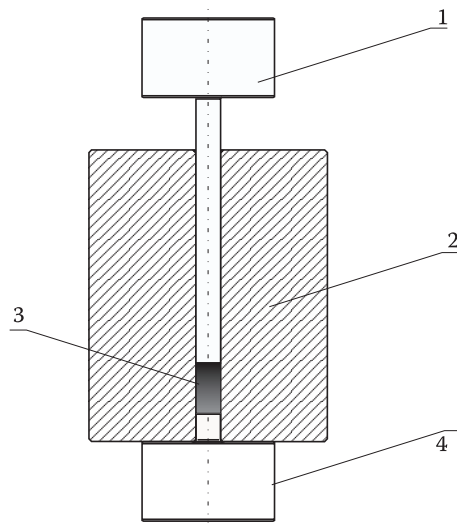
Pierwszy wariant technologiczny zastosowano do wytwarzania rdzeni z kompozycji nr 1 i nr 2. Drugi wariant technologiczny zastosowano do wytwarzania rdzeni z kompozycji nr 3.

W opisie rodzaju mieszanki zastosowano oznaczenie: litery — symbol chemiczny pierwiastków, składników mieszank, cyfry — udział masowy składnika proszkowego mieszanki w procentach.

2.2. Badania technologiczne wykonania rdzeni pocisków

Wykonanie badań technologicznych, a przede wszystkim ustalenie wymaganego ciśnienia prasowania rdzeni, wynika z jednej strony z konieczności uzyskania odpowiedniej gęstości materiału rdzenia, z drugiej zaś uzyskania rdzeni o wymiarach zapewniających prawidłowy montaż pocisków prowadzony na urządzeniach i oprzyrządowaniu technologicznym obecnego producenta amunicji. Szczególnie istotne, ze względu na prawidłowość montażu, jest utrzymanie odpowiedniej długości rdzenia (rys. 3).

Prasowanie rdzeni realizowano w laboratoryjnym prasowniku, którego schemat przedstawiono na rysunku. Składa się on z matrycy (2) stempla górnego (1) oraz dolnego (4). Konstrukcja prasownika umożliwia jednostronne zagęszczanie mieszanki proszkowej w formie.



Rys. 3. Schemat prasownika laboratoryjnego do wykonywania wyprasek rdzeni: 1 — stempel górny; 2 — forma; 3 — zasypiana mieszanka proszkowa; 4 — stempel dolny

Przebieg prasowania był następujący: odważoną porcję mieszanki proszkowej zasypywano do gniazda formy zamkniętej od dołu stemplem dolnym (4) następnie formę zamykano stemplem górnym (1). Ruch osiowy stempla górnego wywołany siłą odpowiednią dla przyjętego ciśnienia prasowania powodował zagęszczenie proszku. Otrzymaną w ten sposób wypraskę usuwano z formy w wyniku wypychającego ruchu osiowego stempla górnego po wyjęciu stempla dolnego.

Badania wykonano dla dwóch ciśnień prasowania, tzn. 600 i 800 MPa. Po wstępnych próbach prasowania, przy zastosowaniu ciśnienia 600 MPa, stwierdzono, że dla wszystkich wariantów badawczych otrzymano rdzenie o zbyt dużej długości. Mogło to uniemożliwić prawidłowy montaż pocisków. Zdecydowano zwiększyć ciśnienie prasowania do wartości 800 MPa i dzięki temu uzyskać wpraski o wymaganej długości. Po prasowaniu określano: masę wyprasek, ich średnicę oraz długość. Wyznaczano także gęstość wyprasek. Wyniki pomiarów wyprasek uzyskanych w wymienionych warunkach prasowania przedstawiono w tabeli 1.

W przypadku wyprasek wykonywanych z mieszanki W-Cu pomiary wykonano po spiekaniu. Spiekanie prowadzono w atmosferze zdysocjowanego amoniaku w następujących warunkach spiekania:

1. spiekanie wstępne: temperatura — 600°C; czas — 1 godz.
spiekanie zasadnicze: temperatura — 900°C; czas — 1 godz.
2. spiekanie wstępne: temperatura — 600°C; czas — 1 godz.
spiekanie zasadnicze: temperatura — 1000°C; czas — 21 godz.

TABELA 1

Wybrane właściwości wyprasek po prasowaniu pod ciśnieniem 800 MPa (I wariant)

Rodzaj materiału		Gęstość [g/cm ³]	Masa [g]	Długość rdzenia [mm]
57W — 43Sn	średnia	10,12	2,00	11,65
	max.	10,29	2,00	11,77
	min.	10,04	1,99	11,46
	przedział ufności	0,03	0,002	0,036
60W — 40Zn	średnia	10,46	2,00	11,27
	max.	10,62	2,01	11,46
	min.	10,32	1,98	11,10
	przedział ufności	0,031	0,002	0,041

Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 2.

TABELA 2

Wybrane właściwości wyprasek po prasowaniu pod ciśnieniem 800 MPa i po spiekaniu

Rodzaj materiału		Gęstość [g/cm ³]	Masa [g]	Długość rdzenia [mm]
55W— 45Cu spiekanie 900°C	średnia	10,42	1,96	11,34
	max.	10,75	2,01	11,66
	min.	10,21	1,93	11,00
	przedział ufności	0,045	0,006	0,061
55W — 45Cu spiekanie 1000°C	średnia	10,85	1,96	11,55
	max	11,00	1,97	11,68
	min	10,23	1,93	11,36
	przedział ufności	0,073	0,004	0,029

Na podstawie otrzymanych rezultatów prób wykonywania rdzeni można założyć, że otrzymane wyroby spełniają wymagania technologiczne zapewniające ich właściwy montaż w pocisku.

3. Porównawcze badania wybranych parametrów balistycznych pocisków niezawierających ołowiu

3.1. Badania w zakresie balistyki wewnętrznej

Zakres przeprowadzonych badań zawierał wyznaczenie dwóch podstawowych parametrów balistycznych, a mianowicie ciśnienia w komorze nabojeowej p oraz

prędkości wylotowej pocisków *V*. Badania wykonano strzelaniem na laboratoryjnym stanowisku pomiarowym, wykorzystując ogólnie znaną metodykę. Mierzone wartości wyznaczano na podstawie 20 strzałów w serii pomiarowej. Wyniki przedstawiono w tabeli 3.

TABELA 3

Wyniki pomiarów ciśnienia w komorze nabojeowej i prędkości wylotowej badanych pocisków

Lp	Nazwa badania	Wymagania wg ZT		Pociski z rdzeniami			
				Standard	W-Sn	W-Zn	W-Cu
1	Ciśnienie [MPa]	p_{sr}	379	333,43	349,09	338,77	344,92
		p_{max}	≤ 400	337,50	350,49	350,78	345,21
		p_{min}	≥ 310	333,96	347,17	325,01	344,53
		Δp	90	3,54	3,32	25,78	0,68
2	Prędkość <i>V</i> [m/s]	V_{sr}	915	895,14	910,75	904,49	909,72
		V_{max}	≤ 927	900,09	911,16	912,82	911,16
		V_{min}	≥ 903	892,06	909,91	895,25	907,85
		ΔV	24	8,03	1,52	6,57	3,31

Na podstawie otrzymanych wyników można zauważyć, że dla wszystkich wariantów materiałowo-technologicznych badanych rdzeni uzyskano w porównaniu z obecnie używaną amunicją (standard) zadowalające rezultaty. W przypadku pomiarów ciśnienia pociski z badanymi rdzeniami spełniają Zakładowe Wymagania Techniczne Z.M. „MESKO”. Na podkreślenie zasługuje fakt bardzo małej wartości rozrzutu wyników pomiarów.

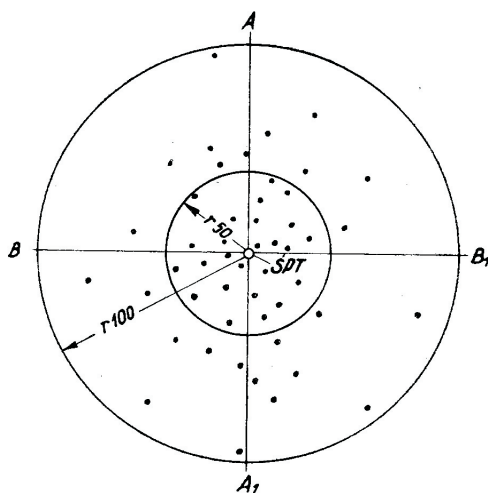
Jeśli chodzi o wyniki pomiarów prędkości wylotowej pocisków, to można zauważyć, że otrzymane wyniki dotyczące wartości średniej i maksymalnej prędkości praktycznie spełniają wymagania techniczne.

3.2. Badania wybranych parametrów balistyki zewnętrznej pocisków niezawierających ołowiu

3.2.1. Wyznaczanie parametrów rozrzutu punktów trafienia pocisków w tarczy

Parametry rozrzutu punktów trafienia pociskami w tarczę podczas strzelania na małe odległości określa promień koła w którego wnętrzu zawarte są ślady po trafieniach. Środek koła wyznacza średni punkt trafienia (SPT).

Do oceny rozrzutu stosowane są: promień koła opisanego na całej populacji trafień zwany R_{100} lub promień koła opisanego na zredukowanej ilości trafień zwany R_{50} — w tym przypadku przy wyznaczaniu pomija się trafienia leżące najdalej od SPT w liczbie równej połowie wszystkich trafień.



Rys. 4. Zasada wyznaczania wartości R_{50} i R_{100} [9]

Współrzędne SPT wyznacza się analitycznie ze wzorów

$$x_{SPT} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

$$y_{SPT} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n},$$

gdzie x_{SPT} i y_{SPT} współrzędne średniego punktu trafienia, x_i oraz y_i współrzędne kolejnych punktów trafienia.

Badania balistyczne wykonano w dwóch wariantach badawczych, a mianowicie strzelając do tarcz ustawionych w odległości 100 i 300 m od wylotu lufy w seriach po 40 sztuk naboju kal. 5,56 mm × 45 FMJ z pociskami zawierającymi rdzenie wykonane z wytypowanych do prób materiałów. W przypadku strzelania na odległość 100 m do wyznaczenia założonych parametrów wykorzystywano wyniki strzelania uzyskane z 40 strzałów (ze względu na małe i powtarzalne wartości rozrzutu). Strzelanie na 300 m prowadzono w dwóch seriach pojedynczych strzałów. Ilość strzałów wynosiła 40 szt. w każdej z serii. Parametry rozrzutu wyznaczano zgodnie z przedstawioną metodyką.

Ponadto wykonano balistyczne badania porównawcze w celu określenia położenia SPT badanych pocisków względem uzyskanego SPT pocisków standardowych. Badanie przeprowadzono, strzelając do tarczy pociskami standardowymi i bada-

nymi bez zmiany położenia lufy. Na podstawie uzyskanych wyników określano współrzędne położenia średnich punktów trafienia. Odległość pomiędzy punktami określa wartość przesunięcia SPT. Podobnie jak wyżej, do wyznaczenia wartości przesunięcia średniego punktu trafienia podczas strzelania na 100 m oddawano 40 strzałów, natomiast podczas strzelania na 300 m wartość przesunięcia wyznaczano na podstawie dwóch prób po 40 strzałów każda.

Na podstawie wyników strzelań wyznaczono wartości parametrów rozrzutu oraz przesunięcia średniego punktu trafienia pocisków eksperymentalnych względem standardowych (obecnie używanych). Ponadto podczas badań strzelaniem dokonywano pomiarów prędkości pocisku na torze lotu w odległości 25 m od wylotu z lufy. Wyniki zestawiono w tabeli 4.

TABELA 4

Wyniki badań wybranych parametrów balistyki zewnętrznej badanych pocisków eksperymentalnych

Lp	Nazwa badania	Wymagania wg ZT		Pociski z rdzeniami			
				W-Sn	W-Zn	W-Cu	
1	Prędkość V_{25} [m/s]	V_{sr}	915	903	904	906	
		V_{max}	≤ 927	911	913	910	
		V_{min}	≥ 903	895	897	901	
		ΔV	30	16	16	9	
2	Rozrzut R_{50} odległość tarczy 100 m	$\leq 2,5$		2,6	3,0	5,0	
3	Rozrzut R_{50} odległość tarczy 300 m	$\leq 7,5$		I seria	8,5	8,8	10,5
				II seria	9,0	8	8,2
				średnia	8,75	8,4	9,35
4	Przesunięcie SPT na 100 m			2,64	2,28	1,62	
5	Przesunięcie SPT na 300 m			I seria	11,75	5,47	11,4
				II seria	13,15	4,86	1,66
				średnia	12,45	5,16	6,53

Z przedstawionych wartości R_{50} po strzelaniu na 100 m i 300 m wynika, że uzyskane rezultaty co do wartości średniej nie spełniają warunków określonych w ZT. Względne różnice między wynikami badań a dopuszczalną wartością wynoszą dla badanych rdzeni W-Sn, W-Zn i W-Cu odpowiednio: 4%, 20% i 100% na odległości 100 m i 16%, 12% i 24% na odległości 300 m. Najbardziej niekorzystny wynik uzyskano dla przypadku rdzeni W-Cu spiekanych.

Mając dane dotyczące masy i gęstości poszczególnych rdzeni (tab. 1 i 2) oraz wyniki pomiarów prędkości pocisków na torze lotu, można przyjąć, że przyczynami

uzyskanych rezultatów nie są: nadmierny rozrzut masy rdzeni od wartości średniej oraz zbyt mała powtarzalność prędkości pocisków na torze lotu. Można zauważyć, że odpowiednio dla wariantu badawczego rdzeni ich średnia wartość przedziału ufności dla prawdopodobieństwa 95% w odniesieniu do masy nie przekroczyła 0,004 g. Jeśli zaś chodzi o prędkość pocisków na torze lotu, to otrzymane wyniki wykazują dużą jej powtarzalność, a określone z prób wartości odchylenia ΔV są mniejsze od dopuszczalnych.

Wyniki pomiarów prędkości pocisków na torze lotu są powtarzalne co do wartości średniej i maksymalnej. Można zatem przyjąć, że przyczyną zwiększonego rozrzutu pocisków jest niewłaściwe położenie środka masy pocisku wynikające z przesunięcia osiowego lub promieniowego środka masy rdzenia na skutek niejednorodnego rozkładu gęstości materiału rdzenia w jego objętości. Efekt takiej niejednorodności występuje często w wypraskach i spiekach prasowanych jednostronnie. Rdzeń montowany w pocisku zajmuje przypadkowe położenie w koszulce, a zatem położenie jego środka masy jest także przypadkowe. Powoduje to losowe zmiany wybranych charakterystyk balistycznych pocisków i wpływa na parametry toru ich lotu.

Dodatkowym uzasadnieniem przedstawionej tezy mogą być wyniki wartości przesunięcia średniego punktu trafienia obserwowane w poszczególnych seriach badań podczas strzelania na 100 i 300 m.

4. Podsumowanie

Podsumowując otrzymane wyniki badań balistycznych, można z całą pewnością stwierdzić, że:

1. naboje z pociskami, w których zastąpiono elementy ołowiane kompozycjami bez ołowiu spełniają postawione wymagania odnośnie maksymalnego ciśnienia w przewodzie lufy oraz prędkości wylotowej pocisków,
2. w balistyce zewnętrznej zgodność parametrów balistyki zewnętrznej uzyskano jedynie dla prędkości pocisków na torze lotu,
3. w przypadku porównywania wartości promienia rozrzutu punktów trafienia pocisków w tarczę umieszczaną w odległości 100 i 300 m nie uzyskano zadowalających wyników. Rozrzut punktów trafienia był większy niż wymagany. Analiza otrzymanych wyników strzelania w poszczególnych seriach jest niejednoznaczna. Należy przypuszczać, że spowodowane było to efektem niejednorodności rozkładu składników proszkowych w objętości wyprasek i spieków. Uzyskany rezultat może być spowodowany zastosowaną metodą wytwarzania wyprasek.

Konieczne są dodatkowe badania technologiczne, w których zastosowane będą metody zagęszczania proszków umożliwiające uzyskiwanie jednorodnej mikrostruktury wyprasek i spieków.

Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2004-2006 jako projekt badawczy 0T00B 015 26.

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

LITERATURA

- [1] R. M. GERMAN, *Powder Metallurgy Science*, Metal Powder Industries Federation, USA, 1994.
- [2] W. SCHAT, K.-P. WIETERS, *Powder metallurgy — processing and materials*, EPMA, 1997.
- [3] *Powder Metallurgy Equipment Manual*, Metal Powder Industries Federation, USA, 1986.
- [4] *Compaction and Other Consolidation Processes*, Metal Powder Industries Federation, USA, 1992.
- [5] F. A. DA COSTA, A. G. PEREIRA DA SILVA, U. U. GOMES, *The influence of the dispersion technique on the characteristics of the W-Cu powders and on sintering behavior*, Powder Technology, 134, 2003, 123-132.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] J. GACEK, *Balistyka zewnętrzna*, cz. 1 i 2, WAT, Warszawa, 1999.
- [9] A. JACKOWSKI, *Zależność gęstości i porowatości wyprasek od sposobu przygotowania mieszanki proszkowej*, Biul. WAT, vol. LIII, nr 9, 2004, 75-85.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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 spieków*, Biul. WAT, LVI, nr 2, 2007, 95-108.

A. JACKOWSKI

Ballistic research of bullets with cores made from non-lead composites

Abstract. The results of ballistic research of bullets of ammunition cal. 5.56×45 mm with cores made from non-lead composites are presented in this paper. The cores were made by powder metallurgy from the following materials: tungsten and tin powders in chemical composition 57/43% by weight and tungsten and zinc in composition 60/40% and tungsten and copper in composition 55/45%. The ballistics research include the measurement of gas pressure in a barrel and leaving velocity of bullets, their local velocity on the flight path V25 and values of the radius of hit points dispersion of bullets during firing at 100-m and 300-m distance. Moreover, deviation of the average point bullets

hit the target was determined in comparison with standard ammunition. The results of interior ballistics research were in accordance with the standards. The results of external ballistics research did not bring good effects.

Keywords: powder metallurgy, non-lead ammunition

Universal Decimal Classification: 623.45