

Bartłomiej **PŁONKA**  
Krzysztof **REMSAK**  
Marek **RAJDA**  
Jacek **WILCZEWSKI**

## STOPY METALI LEKKICH W WIELOWARSTWOWYCH PANCERZACH PASYWNYCH DLA POJAZDÓW WOJSKOWYCH

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono przegląd wyników prac badawczych realizowanych w Instytucie Metali Nieżelaznych, Oddział Metali Lekkich (IMN OML), których celem było opracowanie konstrukcji oraz technologii wytwarzania pancerzy pasywnych. Przedstawiono wyniki badań paneli wytwarzanych na dwa sposoby. Pierwszy w technologii odlewania kokilowego i drugi poprzez łączenie poszczególnych warstw metodami klejenia i laminowania przy zastosowaniu żywic epoksydowych utwardzanych chemicznie lub termicznie. W obydwu technologiach testowano jak w pancerzach pasywnych sprawdzą się stopy metali lekkich. Przeprowadzone badania ostrzałem modeli pasywnych pancerzy wykazały przydatność obydwu technologii oraz stosowania metali lekkich i uzyskano skuteczne zatrzymanie pocisków kalibru 7,62 mm i 12,7 mm typu B-32 dla różnych wariantów.

**Słowa kluczowe:** metale lekkie, ceramika specjalna, pancerze.

### 1. WSTĘP

W osłonach balistycznych, przeznaczonych do ochrony nieopancerzonych obiektów, takich jak helikoptery, pojazdy do przewozu osób i kosztowności itp., niezwykle istotne jest użycie bardzo lekkich materiałów. Do takich materiałów należą: tkanina aramidowa lub węglowa, ceramika specjalna w postaci monolitycznych lub gradientowych płytek, stopy metali lekkich (np. stopy tytanu, aluminium lub magnezu), tworzywa sztuczne, żywice zbrojone włóknami.

Wymienione materiały mogą występować jednocześnie w pancerzu wielowarstwowym, tworząc jego poszczególne warstwy. Niektóre materiały mogą występować kilkakrotnie, spełniając różne role w zależności od miejsca ich występowania w pancerzu. Podstawowe zadania poszczególnych warstw takiego pancerza można przedstawić w sposób następujący:

- zewnętrzne warstwy, penetrowane w pierwszej kolejności, powinny wywołać stopień;  
i skruszenie ostrza pocisku, zmniejszenie jego prędkości oraz zmianę kierunku penetracji pocisku;
- wewnętrzna warstwa lub wewnętrzne warstwy pancerza powinny spowodować w pocisku: pęknięcie i rozcalenie, zmianę kierunku penetracji oraz radykalne wyhamowanie prędkości pocisku;

- tylna warstwa pancerza powinna spowodować: całkowite wyhamowanie pocisku lub jego fragmentów, wychwycenie wszystkich jego odłamków oraz fragmentów pancerza [1, 2].

Pod koniec XX wieku pojawiło się zainteresowanie materiałami, które zaczęto określać jako wysokoodporne na uderzenie. Klasycznym przykładem był radykalny wzrost zdolności ochronnej pojazdów z pancerzem kompozytowym zawierającym małogabarytową ceramikę specjalną. Osłony z warstwami ceramicznymi mają większą - w porównaniu z homogenicznymi osłonami metalowymi - efektywność masową [2]. Oznacza to, że taki sam skutek, jeśli chodzi o zatrzymanie pocisku, osiąga się przy mniejszej masie pancerza. Warstwy ceramiki, mogące mieć zastosowanie w pancerzach pasywnych mogą być wykonane z materiałów typu  $Al_2O_3$ , SiC,  $B_4C$ , AlN itp. i występować w postaci: monolitycznych płytek, gradientowych płytek lub kulek ułożonych jednowarstwowo lub wielowarstwowo. Możliwe jest również zastosowanie nowego rodzaju spiekanych płytek z materiałów na bazie faz międzymetalicznych NiAl, wytwarzanych metodą wysokotemperaturowej egzotermicznej reakcji syntezy proszków. Ceramika jako materiał konstrukcyjny osłon ma jednak i określone wady, a mianowicie zniszczenie materiału ceramicznego występuje podczas małych odkształceń oraz jej wytrzymałość na naprężenia rozciągające jest stosunkowo mała. Ze względu na te ostatnie cechy ceramika jest stosowana w osłonach tylko w połączeniu z innymi warstwami, np. metalowymi.

IMN OML posiada duże doświadczenie w zakresie badań i technologii wytwarzania metali lekkich. Główne prace były nakierowane na stopy aluminium i magnezu (głównie tworzywa do przeróbki plastycznej) [3,4]. Wiele z tych materiałów są szeroko stosowane w przemyśle zbrojeniowym, ze względu na swoje charakterystyczne właściwości: korzystny stosunek wytrzymałości do wagi, plastyczność oraz dużą odporność korozyjną. Podobnie jak kompozyty metalowe, ze względu na kombinację wytrzymałej, ale plastycznej metalowej osnowy i twardych niemetalicznych (ceramicznych) komponentów mogą być użyte jako elementy pancerza kompozytowego. Stopy aluminium przeznaczone na pancerze można zaklasyfikować albo do grupy stopów niewymagających obróbki cieplnej: stopy serii 5XXX (AlMg) lub do grupy stopów wymagających obróbki cieplnej, lecz znacznie bardziej wytrzymałych: stopy serii 2XXX (AlCuMg), 6XXX (AlMgSi), 7XXX (AlZnMgCu) [5]. Korzystne właściwości stopów aluminium kształtowane są za pomocą oddziaływania na ich mikrostrukturę poprzez skład chemiczny, mikrodotatki i obróbkę cieplną. Podobnie jest ze stopami magnezu ale ze względu na ich małą popularność badania ich stopów są w Polsce znacznie mniej zaawansowane i dopiero w ostatnich latach nabrały tempa. W ostatnich latach obserwuje się duży przyrost zapotrzebowania na stopy magnezu. Najpopularniejszymi obecnie stopami magnezu są stopy z aluminium, cynkiem i manganem. Głównymi odbiorcami tych stopów jest przemysł motoryzacyjny i lotniczy. Opracowane już technologie wytwarzania wysokowytrzymałych stopów Mg przez IMN OML Skawina oraz uruchomienie pierwszej w kraju pilotowej linii wytwarzania tych stopów do przeróbki plastycznej stwarzają warunki do rozwoju tych technologii w kraju [4].

Na pozostałe warstwy pancerza najlepiej nadają się tworzywa sztuczne jak polietylen, laminaty zbrojone włóknami lub tkaniną aramidową.

Celem wszystkich badań było opracowanie konstrukcji oraz technologii wytwarzania materiałów wielowarstwowych o minimalnej masie i grubości oraz o maksymalnym poziomie odporności na przebicie pociskami przeciwpancernymi AP (*ang. armour piercing*) typu B-32 kalibru 7,62 mm i 12,7 mm. Przedstawione testowane warstwy przeznaczone mogą być do użycia w różnych dodatkowych pancerzach pasywnych do ochrony obiektów nieopancerzonych (helikopterów itp.) i opancerzonych (lekkich wozów bojowych, pojazdów rozpoznania, wsparcia

i specjalnego przeznaczenia oraz pojazdów cywilnych do przewozu VIP-ów i wartościowych ładunków).

## 2. MATERIAŁY DO BADAŃ I TECHNOLOGIE ICH WYTWARZANIA

Do projektowanego lekkiego warstwowego pancerza wykorzystano materiały, takie jak:

- stopy metali lekkich: tytanu, aluminium, magnezu;
- ceramikę (np.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , SiC,  $\text{B}_4\text{C}$ , materiały na bazie faz międzymetalicznych NiAl);
- tkaninę aramidową (np. kevlar);
- tworzywo polietylenowe;
- żywice epoksydowe zbrojone włóknami.

W pracach projektowych uwzględniono różne warianty kolejności i grubości poszczególnych warstw pancerza. Z racji prowadzonych w dalszym ciągu prac badawczo-rozwojowych nad lekkimi wielowarstwowymi pancerzami nie podaje się dokładnego opisu technologii ich wytwarzania, jak również ułożenia i grubości materiałów składowych. Do badań zostały wykorzystane płytki ceramiki  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , SiC,  $\text{B}_4\text{C}$  o grubościach od 6 do 12 mm. Ich podstawowe właściwości zamieszczono w tabelicy 1. Drugą ważną grupą materiałów były stopy metali lekkich, czyli tytanu, aluminium i magnezu. Właściwości mechaniczne stopów lekkich standardowych (powszechnie dostępnych) i specjalnych (opracowanych w IMN OML Skawina) podano w tabelicy 2. Jako warstwy dodatkowe, np. w celu zespolenia całego pancerza, zastosowano żywicę epoksydową zbrojoną włóknami oraz w celu „wylapania” ewentualnych odłamków testowano materiały, takie jak tkanina aramidowa, polietylen.

Po wytypowaniu materiałów mających wchodzić w skład warstwowego pancerza opracowano różne warianty paneli ochronnych, konfiguracji warstw dla różnych ich grubości.

Tablica. 1. Przykładowe właściwości materiałów ceramicznych (dane producentów)

Właściwości	$\text{Al}_2\text{O}_3$	SiC	$\text{B}_4\text{C}$
Gęstość ( $\text{g/cm}^3$ )	3,88	3,13	2,51
Współczynnik Poissona	0,31-0,34	0,14	0,18
Twardość ( GPa )	14,4	23	30
Twardość (Knoop obciążenie 100g)	1700÷2300	2000÷3500	2400÷2800
Twardość HV <sub>1</sub>	1350÷1550	2200÷2500	2300÷2900
Wytrzymałość na ściskanie ( MPa )	>2000	3900	3900
Wytrzymałość na zginanie 4pt. ( MPa )	320	380	425

W ramach badań została przeprowadzona analiza projektu pancerza warstwowego pod kątem technologii jego wykonania. Badania prowadzono na modelach wykonywanych w dwóch różnych technologiach, a mianowicie wytwarzanych poprzez odlewanie w kokilach metalowych oraz poprzez łączenie poszczególnych warstw za pomocą klejenia i laminowania

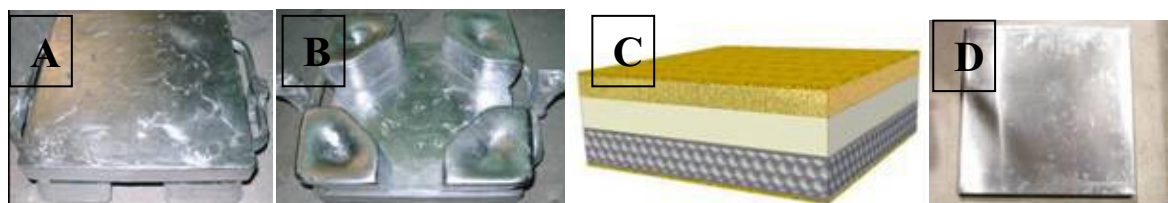
z użyciem żywic epoksydowych utwardzanych chemicznie lub termicznie. Panele odlewane projektowane były jako dodatkowy pasywny pancierz zewnętrzny (na pancierz podstawowy), natomiast panele klejone i laminowane miały mieć zastosowanie jako elementy pasywnego pancerza przestrzennego, niewymagającego podparcia ani współdziałania z pancerzem podstawowym lub innym [6,7].

Tablica. 2. Właściwości mechaniczne stopów lekkich

Rodzaj stopu	Typ stopu	$R_{p0,2}$ [MPa]	$R_m$ [MPa]	A[%]	Twardość		Moduł Younga [GPa]
					[HB]	[HV]	
Al	AlZnCuMg	525	640	6	160	---	66
	AlCuMg	325	470	22,1	120	240	71
	AlMg	221	327	19,3	110	200	72
Mg	MgZn	270	320	23	77	155	36
	MgAlZn	250	330	8	85	235	38
Ti	Ti Gr2	460	513	7	152	175	110
	Ti Gr4	660	737	11	220	253	107
	Ti Gr5	1070	1087	3,6	319	351	105
Specjalne	AlZnCuMg	600	720	8	175	---	68
	AlCuMg	420	530	17	125	---	73
	MgAlZn	280	360	10	92	---	43

W pierwszym wariantcie, zasadniczym celem było wytworzenie partii prototypowych paneli pancerza ze stopów Al i Mg zbrojonych płytkami ceramiki specjalnej oraz ze stopów na osnowie faz międzymetalicznych NiAl. Wykorzystując specjalnie zaprojektowaną kokilę, odlewano płyty o wymiarach 300x300 mm i różnej grubości (rys. 1A i 1B) wraz z płytkami ceramiki.

Do odlania płyt wytypowano stop AlSi i MgAlZn.



Rys.1. Odlany panel (A - widok z dołu i B - z góry). Wizualizacja laminatu wielowarstwowego (C) i wykonany panel wielowarstwow

W drugiej fazie, analizie poddano materiały przewidziane w projekcie pancerza pod kątem możliwości łączenia ich ze sobą różnymi dostępnymi obecnie technologiami klejenia. W wyniku tej analizy przyjęto, że do łączenia materiałów, np. płytki ceramicznej z metalem lekkim, tkaniną aramidową lub polietylenem, zasadne będzie zastosowanie kleju epoksydowego termoutwardzalnego lub chemoutwardzalnego. Do wykonania próbek klejonych przy użyciu kleju epoksydowego termoutwardzalnego zastosowany został proces autoklawowy, który jest nowoczesnym procesem, stosowanym w produkcji lotniczych struktur o wysokiej wytrzymałości.

Przy zastosowaniu obu rodzajów klejów epoksydowych (termo i chemoutwardzalnych) wykonano próbki paneli o wymiarach od 200x200 mm do 500x500 mm (rys. 1C i D). Wytworzone panele, według dwóch opracowanych technologii, przeznaczono do badań ostrzałem pociskami przeciwpancernymi AP typu B-32, które prowadzono w Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia w Zielonce oraz w Wojskowym Instytucie Techniki Pancernej i Samochodowej w Sulejówku.

### 3. BADANIA OSTRZAŁEM PANELI OSŁON

Modele pancerzy kompozytowych były ostrzeliwane pod kątem  $\alpha=0^\circ$  od normalnej do powierzchni próbki. Ze względu na charakter realizowanych badań (postawione wymagania), testów ostrzału nie prowadzono zgodnie z normą STANAG 4569. Pociski wystrzeliwane były z luf balistycznych kalibru 7,62 mm i 12,7 mm, które były instalowane na stendzie stałym (rys. 2A) lub mobilnym (rys. 2B). Badane modele montowane były do specjalnych ramek (rys. 2A i B) lub bezpośrednio na płycie RHA - w przypadku ostrzału pociskami kalibru 12,7 mm (rys. 2C).



**Rys. 2. Widok stanowiska badawczego w WITU dla ostrzału pociskami kalibru 7,62 mm (A) i 12,7 mm (B) oraz panel odlewany przed ostrzelaniem, umieszczonych na płycie RHA (C)**

W badaniach zdolności ochronnej paneli pancerzy użyto następujących pocisków:

- 12,7mm B-32 - o zdolności przebicia  $DP_{ref}= 20$  mm RHA [1,2] ( $v=817,5$  m/s,  $m=48,2$ g,  $E=16106$  J),
- 7,62x54R mm B-32/API- o zdolności przebicia  $DP_{ref}= 10$  mm RHA [1,2] ( $v=847,5$  m/s,  $m=9,95$ g,  $E=3573$  J),
- 7,62 x 39 mm API ( $V=695$  m/s +20 m/s).

### 3.1. Osłony odlewane

W pierwszej kolejności badaniom zdolności ochronnej, na ostrzał pociskami kalibru 12,7 mm typu B-32, poddano modele pancerzy pasywnych wykonywane techniką odlewania kokilowego z różnymi gatunkami ceramiki oraz różnymi jej konfiguracjami ułożenia i grubości. Wszystkie próbki umieszczone były na blasze RHA o grubości 9,6 mm. Uzyskane wyniki ostrzału przedstawiono w tablicy 3. Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe zdjęcia paneli po badaniach ostrzałem.

Tablica. 3. Przykładowe wyniki ostrzału paneli odlewanych pociskiem kalibru 12,7 mm

Rodzaj ceramiki i stopu osnowy	Głębokość odkształcenia lub penetracji RHA, [mm]	Uwagi (wymiary, mm)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> stop AlSi7	0,9	śląd Ø 11, wznórek 0,7
SiC stop AlSi7	0,4	śląd Ø 15, wznórek 3
AlN stop AlSi7	1	śląd Ø 16, wznórek 3,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> stop MgAlZn	3,5	śląd Ø 14, wznórek 4,5
SiC stop MgAlZn	4	śląd Ø 15, wznórek 5
NiAl10Ni, stop AlSi7 i 9	9,6	przebicie
NiAl10NiSi, stop AlSi7	3	niewielkie wybrzuszenie RHA
NiAl10NiSi, stop AlSi9	4	niewielkie wybrzuszenie RHA
NiAl10NiSi, stop AlSi12	0	pocisk utkwiał w panelu, pęknięcie;
	4	pocisk utkwiał w panelu, panel pękł
NiAl10Ni, stop AlSi12	2	pocisk utkwiał w panelu, pęknięcie;
	2	pocisk utkwiał w panelu



Rys. 3. Widok przodu i tyłu panelu nr 8 po uderzeniu dwoma pociskami oraz widok części pocisku tkwiącej w panelu

Uzyskano zdolność ochronną na ostrzał 12,7 mm pociskami przeciwpancernymi AP (*ang. armour piercing*) typu B-32 dla paneli odlewanych ze stopów Al i Mg z płytkami Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC, AlN oraz NiAl10Ni+ AlSi12 i NiAl10NiSi w osnowie stopów AlSi7, 9 i 12. Po przebicciu płytek, w tylnej części panelu z reguły tkwiły części pocisku o długości ~ 2/3 początkowej długości pocisku (rys 3). Umieszczenie tego typu paneli na płycie kadłuba (np.



o grubości 9,6 mm) lekko opancerzonego pojazdu, może ochronić go przed przebiciem 12,7 mm przeciwpancernymi pociskami B-32.

### 3.2. Osłony wytwarzane technikami klejenia i laminowania

W kolejnych pracach przedmiotem badań były wielowarstwowe modele wytwarzane technikami klejenia i laminowania, które miały mieć zastosowanie jako elementy pasywnego pancerza przestrzennego, niewymagającego podparcia lub współdziałania z pancerzem podstawowym. Ze względu na przewidywane zastosowanie ich głównie dla ochrony obiektów latających, duże znaczenie przywiązywano do uzyskania zakładanej odporności przy najmniejszej ich grubości i masie. W badanych panelach stosowano małogabarytowe płytki ceramiczne  $Al_2O_3$ , SiC oraz  $B_4C$  (o grubości 7-10 mm). W skład tych modeli wchodziły również takie materiały jak klejona tkanina aramidowa, polietylen, stopy metali lekkich, żywice epoksydowe, prepregi węglowe, tkanina z włókna szklanego. Poniżej na rysunkach od 4 do 7 przedstawiono przykładowe pozytywne wyniki z prób ostrzału, w podpisach zamieszczono informacje o materiałach tworzących główne warstwy modeli oraz o całkowitej grubości modelu i masie przypadającej na  $1m^2$ .



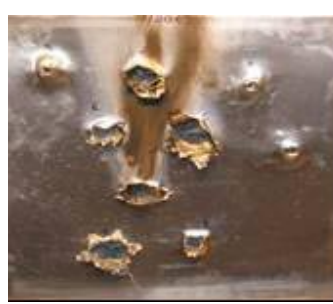
**Rys. 4. Panel pancerza z ceramiką  $B_4C$**   
(grubość - 20 mm, masa -  $32 \text{ kg/m}^2$ )  
przód i tył



**Rys. 5. Panel pancerza z ceramiką SiC**  
(grubość - 20 mm, masa -  $38 \text{ kg/m}^2$ )  
przód i tył



**Rys. 6. Panel pancerza z ceramiką  $B_4C$**   
(grubość - 15 mm, masa -  $26 \text{ kg/m}^2$ )  
przód i tył



**Rys. 7. Panel pancerza z ceramiką SiC**  
(grubość - 15 mm, masa -  $30 \text{ kg/m}^2$ )  
przód i tył

W tabelicy 4 przedstawiono zestawienie najkorzystniejszych modeli wielowarstwowych osłon dla jakich uzyskano odporność na ostrzał pociskami kalibru 7,62 mm należącymi do poziomów II i III wg STANAG 4569.

Tablica. 4. Zestawienie paneli wielowarstwowych różnych konfiguracji

Główne materiały tworzące panel	Ceramika	Grubość całkowita [mm]	Masa całkowita [kg/m <sup>2</sup> ]
<b>pocisk kaliber 7,62x39 mm API (z poziomu II)</b>			
Polietylen żywice epoksydowe, metale lekkie	SiC	15	26
	B <sub>4</sub> C	15	30
<b>pocisk kaliber 7,62x54R mm B-32/API (z poziomu III)</b>			
Tkanina aramidowa, żywice epoksydowe, metale lekkie	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20	44
Polietylen żywice epoksydowe, metale lekkie	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18	40
	SiC	20	38
	B <sub>4</sub> C	20	32

#### 4. PODSUMOWANIE

Prowadzone badania nad zastosowaniem różnych materiałów na osłony balistyczne jak metale lekkie, ceramika, tworzywa sztuczne, wykazały szerokie możliwości stosowania ich w różnych konfiguracjach warstw. Z uzyskanych wyników badań ostrzałem wynika, że zastosowanie w modelach pancerzy stopów metali lekkich zarówno ogólnie dostępnych, jak i nowych, zaawansowanych daje dobre wyniki. Warunkiem jest odpowiednie dobranie stopu o założonych właściwościach mechanicznych, grubości i prawidłowe usytuowanie go w panelu wielowarstwowym. Spełnienie tych warunków pozwoli na zapewnienie odpowiedniej odporności balistycznej panelu, jak i jego wytrzymałości na warunki eksploatacyjne. Zrealizowane do tej pory badania pozwalają stwierdzić, iż możliwe jest szersze stosowanie stopów metali lekkich w pancerzach. Obecnie realizowany jest kolejny projekt, który ma na celu dopracowanie technologii wytwarzania wielowarstwowych materiałów, z udziałem metali lekkich, a przeznaczonych na dodatkowe opancerzenie różnego typu pojazdów wojskowych. Stwierdzono, że najkorzystniejsze z punktu widzenia odporności na przebicie jest zastosowanie w przedniej warstwie ceramiki. Następnie warstwy z tworzyw sztucznych, metali lekkich, żywic zbrojonych (w odpowiednich konfiguracjach) a łączone w różny sposób poprzez zalewanie, klejenie winny spełniać funkcje pochłaniania energii oraz wychwytywania całego, względnie rozczłonkowanego rdzenia pocisku przeciwpancernego wraz z resztkami pancerza.

Zastosowanie w pancerzach pasywnych może mieć ceramika typu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC, B<sub>4</sub>C, AlN lub na bazie faz międzymetalicznych np. NiAl. Ceramika ta została przetestowana w różnych wariantach modeli pancerzy wielowarstwowych. Próby zastosowania nowych, syntetycznych materiałów, jak NiAl10Ni i NiAl10NiSi w odlewanych panelach ze stopu Al dały wynik pozytywny i zapewniły zatrzymanie pocisków kalibru 12,7mm typu B-32. Główną najskuteczniejszą warstwą scalającą i przejmującą energię uderzenia pocisku okazała się warstwa bardzo lekkiego, a zarazem bardzo wytrzymałego polietylenu. Podobne właściwości wykazuje wielowarstwowa tkanina aramidowa.



Oslony balistyczne wykonywane w technologii odlewania mogą służyć jako dodatkowa ochrona dla transporterów i pojazdów specjalnych zabezpieczając je przed pociskami przeciwpancernymi typu B-32 kalibru 12,7mm i większym. Natomiast lekkie osłony wielowarstwowe, oprócz zastosowania dla ochrony w obiektach latających (np. śmigłowcach) mogą być stosowane dla pojazdów specjalnych, chroniąc je przed ostrzałem pociskami przeciwpancernymi kalibru 7,62 mm.

## 5. LITERATURA

- [1] Wiśniewski A.: *Pancerze, budowa, projektowanie i badanie*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2001. ISBN 83-204-2609-X.
- [2] Wiśniewski A., Żurowski W.: *Amunicja i pancerze*. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom, 2001. ISBN 83-88001-58-2.
- [3] Senderski J., Lech-Grega M., Płonka B.: „Studies of advanced technologies used in the manufacture of products from aluminium alloys”, *Archives of Metallurgy and Materials*, Vol. 56, 2011, s. 475-486.
- [4] Płonka B., Kut J., Korczak P., Lech-Grega M., Rajda M.: „The influence of extrusion process parameters and heat treatment on the mechanical properties of high-strength magnesium alloy”, *Archives of Metallurgy and Materials*, Vol 57, 2012, s. 619-626.
- [5] Senderski J., Płonka B.: *Przetwórstwo Metali „Plastyczność a struktura”* praca pod redakcją Eugeniusza Hadasika, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006, rozdział 8 pt.: „Aluminium i stopy aluminium” str. 185-214.
- [6] Płonka B., Senderski J., Wisniewski A.: „Light metal-ceramic passive armour for special application”, *DEStech Publications Inc., Proceedings 26<sup>th</sup> International Symposium on Ballistics*, 2011, s.1576-1586
- [7] Senderski J., Płonka B., Wisniewski A.: „Multilayer metal-ceramic passive armour for helicopters and special vehicles”, *Biuletyn Naukowy WITU „Problemy Techniki Uzbrojenia”*, Wyd. Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia, Zeszyt 118, 2011, s. 57-64.

## LIGHT METAL ALLOYS IN MULTILAYER PASSIVE ARMOURS FOR MILITARY VEHICLES

**Abstract.** The article presents an overview of the results of studies carried out at the Institute of Non-Ferrous Metals, Light Metals Division (OML IMN). The aim of the studies was to develop a design of passive armours and a technology for their manufacture. The results of studies of panels produced by two different manufacturing techniques are presented. The first manufacturing technique is permanent mould casting; the second consists in bonding of individual layers with adhesives and lamination using chemically or thermally cured epoxy resins. For both technologies, tests were made to check the applicability and behaviour of light metal alloys in passive armours. The tests under fire of passive armour models have demonstrated the usefulness of both technologies and the applicability of light metals. For different variants, an effective stopping of B-32 bullets calibre 7.62 mm and 12.7 mm was achieved.

**Keywords:** light metals, special ceramics, armour.

*Badania częściowo zrealizowano w ramach projektu nr DOBR-BIO4/024/13237/2013 pt. „Dodatkowe modułowe opancerzenie kołowych transporterów opancerzonych i platform gąsienicowych” finansowanego przez NCBiR w ramach 4 konkursu BiO, okres realizacji 2013- 2016.*