

Badania odporności na przestrzelenie karabinowym pociskiem wielowarstwowych kompozytów metalicznych zgrzewanych i umacnianych wybuchowo oraz jarzeniowo azotowanych

Testing the resistance to bullet penetration of multi-layer sandwich structures explosively welded, hardened and ion nitrided

Jerzy Nowaczewski¹⁾, Wojciech Koperski²⁾, Ryszard Woźniak²⁾, Jacek Rudnicki³⁾

1) Wydział Nowych Technologii i Chemii, Wojskowa Akademia Techniczna,
ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, Polska

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

3) Wydział Inżynierii Materiałowej, Politechnika Warszawska, ul. Wołoska 141, 02-507 Warszawa, Polska

Streszczenie: W pracy przedstawiono układ do badania odporności na przebicie karabinowym pociskiem (kalibru 7,62 mm) wielowarstwowych płytek kompozytów metalicznych (stal/Al/Ti) otrzymywanych w wyniku wybuchowego zgrzewania i obróbki termo-chemicznej. Opisano metodykę wykonywania przestrzeliwania płytek i zamieszczono zdjęcia kompozytów po przestrzeleniu. Porównano odporność na przestrzelenie wybranych kompozytów z odpornością na przestrzelenie odpowiadających im zestawów płytek niepołączonych. Przedstawiono także wyniki rozkładów mikrotwardości przestrzeliwanych kompozytów.

Abstract: The paper presents a system for testing resistance to puncture rifle bullet (caliber 7.62 mm) laminated composite plates of metal (steel/Al/Ti) obtained by explosive welding and thermo-chemical treatment. It describes the methodology of execution overshooting plates and there are presented photos of overshoot composites. Compared the resistance to overshoot of the selected composites with resistance to overshoot the corresponding sets of uncombined tiles. It also provides charts of microhardness distributions in the various composites overshooting layers.

Słowa kluczowe: karabinowy pocisk, zgrzewanie wybuchowe, wielowarstwowy kompozyt

Keywords: bullet of gun, explosive welding, multilayer composite

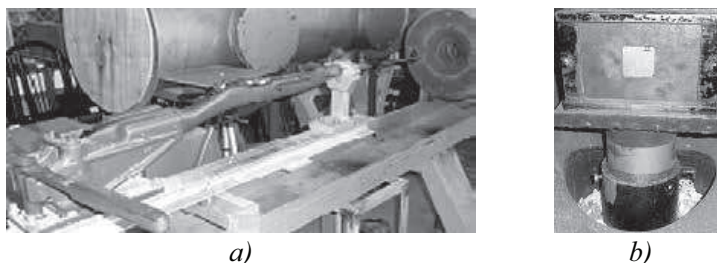
1. Wstęp

W latach 2008 ÷ 2011 był realizowany w Wojskowej Akademii Technicznej projekt badawczy na temat wytwarzania, metodą wybuchowego zgrzewania i dalszej obróbki termo-chemicznej, warstwowych kompozytów składających się z płytek stalowych, aluminiowych i tytanowych [1,2]. Taki zestaw łączonych metali podyktowany był zamiarem sprawdzenia, czy w warunkach wybuchowej obróbki lub potem po jarzeniowym azotowaniu powstają, w strefach złącza kompozytów, fazy międzymetaliczne Ti/Al i Ti/Fe [3,4], które charakteryzują się wysoką twardością i mogą nadawać tym kompozytom bardzo korzystne właściwości, kwalifikujące je do zastosowania w konstrukcji pancernych osłon wojskowych pojazdów bojowych. Końcowym zadaniem tego projektu było sprawdzenie odporności na przebicie karabinowym pociskiem otrzymanych kompozytów. Niniejsza praca zawiera opis przeprowadzonych eksperymentów i uzyskane wyniki.

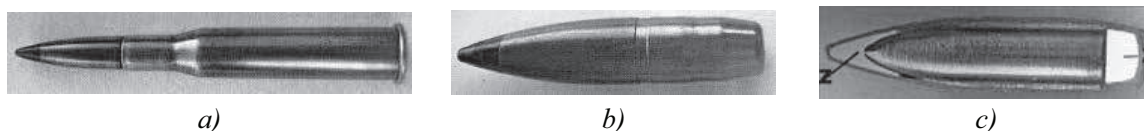
2. Stanowisko badawcze i jego wyposażenie

Przestrzeliwanie próbek kompozytów wykonywano na specjalnym stanowisku (rys. 1a), na którym zamocowany był karabin „Mosin” wzór 1891/1930, a w odległości 1,5 m od wylotu lufy umieszczono uchwyt (rys. 1b)

do montażu płytek kompozytu. Do przestrzeliwania stosowano naboje kalibru 7,62 mm o długości 54 mm z pociskiem przeciwpancerno-zapalającym B-32, o masie 10,4 g (rys. 2). Rdzeń pocisku wykonany był ze stali typu Y 12, o twardości ($65 \div 68$) HRC. Pocisk osiągał prędkość początkową (830 ± 20) ms^{-1} w wyniku spalania naważki (3,2 g) prochu nitrocelulozowego (WT) [5].



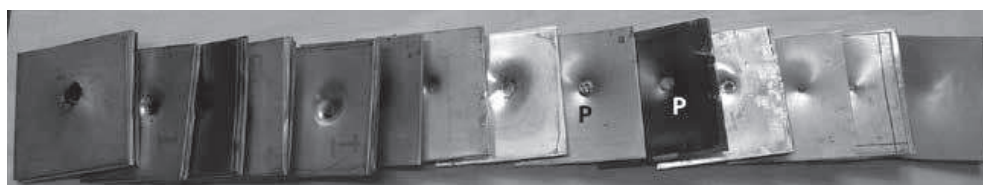
Rys. 1. Widok stanowiska do przestrzeliwania płytek kompozytów (a) i uchwytu do mocowania próbek (b) [5]



Rys. 2. Widok amunicji stosowanej do przestrzeliwania płytek: a) nabój B-32; b) pocisk przeciwpancerno-zapalający; c) rdzeń pocisku z masą zapalającą (z) [5]

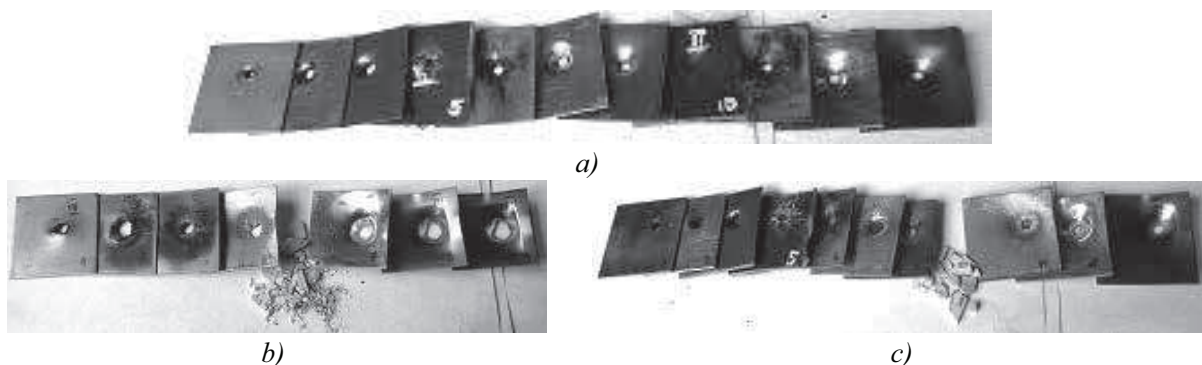
3. Przestrzeliwanie zestawów płytek przeznaczonych do budowy kompozytu

Pierwsze próby przestrzeliwania wykonano na zestawach płytek, z których otrzymywano kompozyty. Płytki w stanie wyjściowym składano w wielowarstwowe pakiety, układając je w kolejności: stal/Al/Ti = 3 mm / 3 mm / 2 mm. Na początku przygotowano pakiet o grubości 60 mm złożony z siedmiu ww. warstw, aby przekonać się na jaką głębokość wniknie pocisk. Pakiet nie został przebity, a po jego rozłożeniu okazało się, że pocisk utkwiał na głębokości 52 mm (rys. 3).



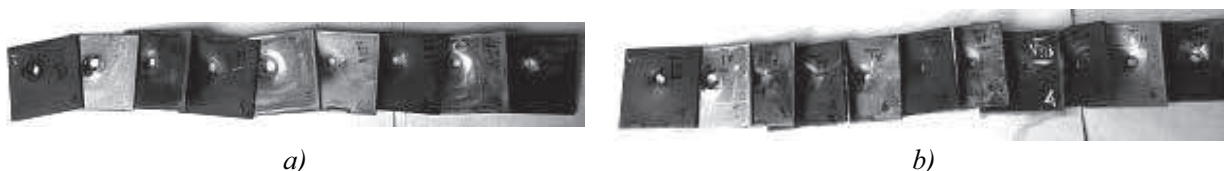
Rys. 3. Widok rozłożonego po przestrzeleniu zestawu płytek stal/Al/Ti o grubości 60 mm z zaznaczonym sfragmentowanym pociskiem (p)

Dalsze próby przestrzeliwania zestawów płytek (w stanie wyjściowym) przeprowadzono z udziałem warstw kevlaru o grubości 5 mm i płytek ceramicznych o grubości 7 mm – materiałów stosowanych jako przekładki w kamizelkach kuloodpornych. Chodziło o sprawdzenie, jak skuteczne są te materiały w stawianiu oporu na drodze karabinowego pocisku. Okazało się, że przy tak wysokich prędkościach początkowych pocisku (830ms^{-1} kevlar praktycznie nie stanowi dla niego przeszkody, natomiast płytki ceramiczne dają skutek, ale przy zaproponowanych grubościach całych zestawów (rys. 4) nie były w stanie uchronić ich przed przestrzeleniem.



Rys. 4. Przykłady przestrzelonych zestawów płytek stal/Al/Ti: a) grubość 34 mm (trzy komplety płytek metalowych przedzielone dwiema warstwami kevlaru); b) grubość 23 mm (dwa komplety płytek metalowych z jedną płytką ceramiczną); c) grubość 34 mm (trzy komplety płytek metalowych przedzielone warstwą kevlaru i płytką ceramiczną)

W następnej kolejności do przestrzeliwania użyto płytek stalowych i tytanowych powierzchniowo azotowanych do twardości rzędu $1000 \text{ HV}_{0,05}$, aby przekonać się, jak skuteczny – dla ochrony metalowych zestawów przed przebiciem – jest proces jarzeniowego azotowania. Efekt tych zabiegów ilustruje widok płytek na rys. 5.

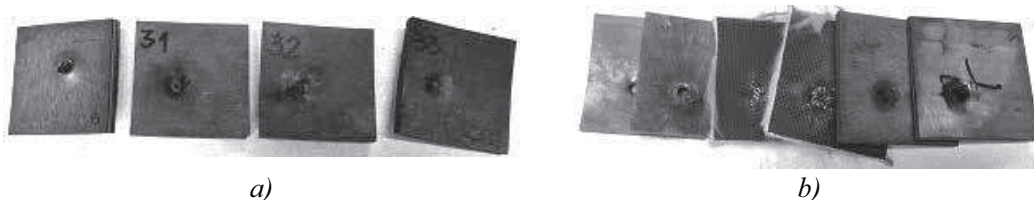


Rys. 5. Widok zestawów płytek azotowanych rozłożonych po przestrzeleniu: a) grubość zestawu 24 mm (trzy komplety stal/Al/Ti); b) grubość zestawu 45 mm (pięć kompletów stal/Al/Ti i warstwa kevlaru)

Jarzeniowe azotowanie prowadzone przez kilkanaście godzin dawało na powierzchni kompozytu warstwę azotków grubości rzędu 40 mikrometrów. Warstwa taka nie stanowiła dla stosowanego pocisku zauważalnej przeszkody, czego dowodem był fakt, że nawet pięć kompletów płytek (przewidzianych do utworzenia kompozytów) przedzielonych warstwą kevlaru nie zdołały zatrzymać pocisku.

4. Przestrzeliwanie zestawów kompozytów

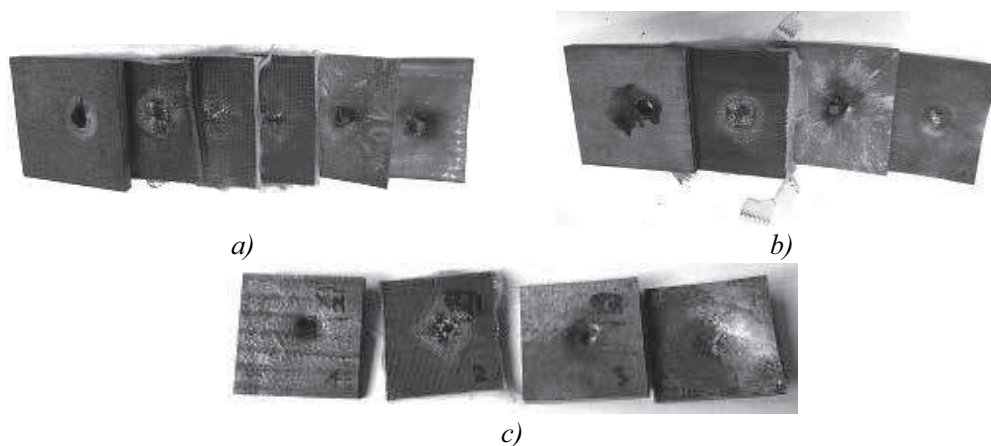
Do przestrzeliwania użyto trójwarstwowych kompozytów stal/Al/Ti o grubości średnio 8 mm, które składano w pakiety. Biorąc pod uwagę dotychczasowe wyniki, próby przebijania rozpoczęto od czterech warstw (rys. 6).



Rys. 6. Widok rozłożonych przebitych kompozytów: a) cztery kompozyty stal/Al/Ti (grubość 32 mm); b) cztery kompozyty przedzielone w środku podwójną warstwą kevlaru (grubość 42 mm)

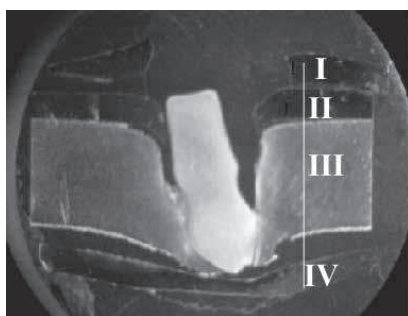
Okazało się, że zarówno same pakiety kompozytów (grubości 32 mm) jak i przedzielone warstwą 10 mm kevlaru (grubości 42 mm) nie stanowią bariery zdolnej powstrzymać stosowany pocisk. Dopiero zwiększenie grubości pakietu kompozytów i dodanie jeszcze jednej warstwy kevlaru zdołało zatrzymać pocisk (rys. 7a). Również zastosowanie warstwy ceramiki (7 mm) i jednej warstwy kevlaru (5 mm), przy całkowitej grubości zestawu 41 mm spowodowało zatrzymanie pocisku (rys. 7b). Najkorzystniejszy wariant pakietu (grubości 36 mm),

powstrzymującego pocisk B-32 kalibru 7,62 mm uzyskano stosując warstwę kompozytu, warstwę kevlaru, warstwę ceramiki i dwie warstwy kompozytu. Na rys. 7c widoczny jest na ostatniej warstwie fragment pocisku.

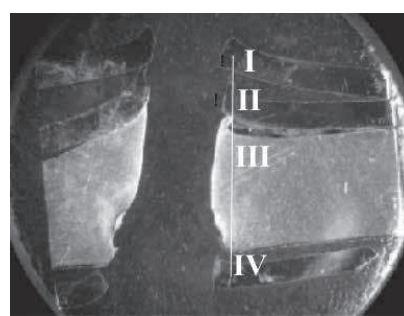


Rys. 7. Widok rozłożonych kompozytów nieprzeбитych do końca przez pocisk: a) grubość pakietu 39 mm, penetracja 37 mm; b) grubość pakietu 41 mm, penetracja 41 mm; c) grubość pakietu 36 mm, penetracja 36 mm

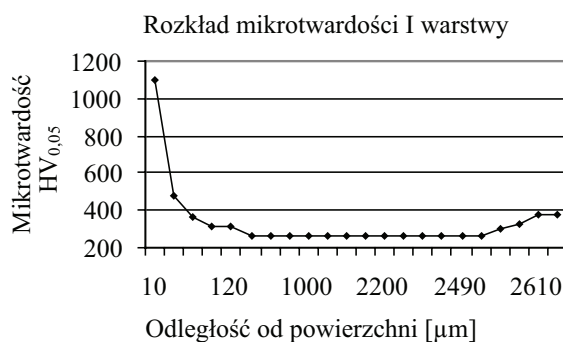
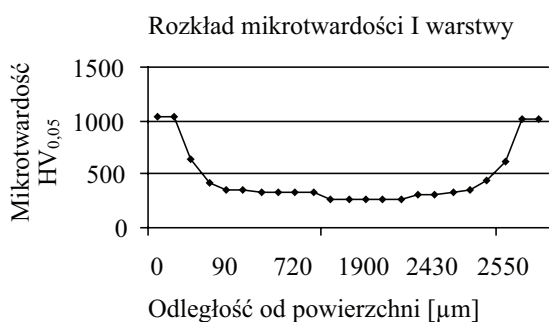
5. Rozkłady mikrotwardości w przekrojach przebitych kompozytów

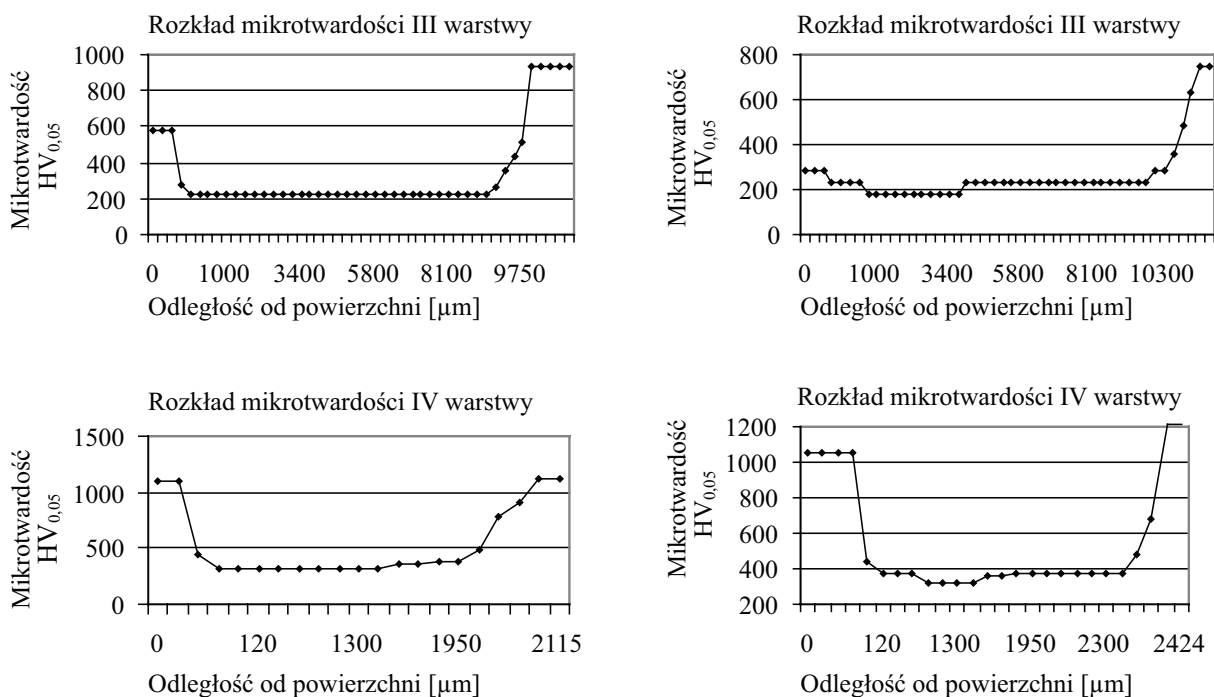


a)



b)





Rys. 8. Widok przekrojów kompozytu: nieprzebitego (a) i przebitego (b) oraz rozkładów mikrotwardości w odpowiadających rysunkom warstwach kompozytu

Na rys. 8 przedstawiono przekrój dwóch próbek tego samego kompozytu Ti/stal składającego się z czterech warstw (trzech warstw Ti o grubości 3 mm każda i jednej stalowej o grubości 11 mm). Kompozyt był poddany jarzeniowemu azotowaniu, o czym świadczą wyniki pomiarów mikrotwardości wykonywane w przekrojach poszczególnych warstw. Podczas prób przebijania, w jednym przypadku nastąpiło zatrzymanie pocisku (rys. 8a, a w drugim przypadku przebicie próbki (rys. 8b). Na podstawie porównania rozkładów mikrotwardości trudno uzasadnić otrzymany wynik badań ponieważ przedstawione wykresy nie wykazują istotnych różnic. Można jedynie przypuszczać, że takie połączenie warstw w kompozycie o grubości 20 mm stanowi wartość graniczną i aby mieć pewność zatrzymania pocisku należy użyć kompozytu o grubości kilka milimetrów większej.

6. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że dla zwiększenia odporności warstw metalicznych na przebicie karabinowym pociskiem B-32 kalibru 7,62 mm wskazane jest tworzenie z nich kompozytów i składanie ich w pakiety. Luźno złożone płytki zatrzymywały pocisk na głębokości 52 mm, a pakiety kompozytowe już przy grubości (36 ÷ 41) mm. Zastosowanie między warstwami kompozytu dodatkowych warstw kevlaru nie przyniosło oczekiwanych korzyści. Skuteczne okazało się natomiast dodanie warstwy ceramicznej (nawet o niewielkiej grubości np. 7 mm). Nie zaobserwowano wyraźnego wzrostu odporności na przebicie warstw (płytek metalicznych i kompozytów) poddanych dodatkowej obróbce cieplno-chemicznej w postaci jarzeniowego azotowania. Azotowane warstwy, mimo wysokiej twardości (rzędu 1000 HV_{0.05}), stanowią zbyt cienką (zaledwie kilkadziesiąt mikrometrów) przeszkodę na drodze stosowanego pocisku.

Podziękowanie

Praca naukowa finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na naukę w latach 2008-2011 jako projekt badawczy nr 0 N507 014634.

Literatura

- [1] Nowaczewski J., Bożik B., Pluta R., Rudnicki J., *Zgrzewanie wybuchowe płytek metalowych w celu uzyskania wielowarstwowych kompozytów*, Materiały Wysokoenergetyczne, Tom 2, red.: A. Maranda, T. Sałaciński, A. Lewandowska, IPO, str. 43-48, Warszawa 2010.
- [2] Nowaczewski J., Kita M., Świeczak J., Rudnicki J., *Obróbka wybuchowa i cieplno-chemiczna wielowarstwowych kompozytów metalicznych*, Materiały Wysokoenergetyczne, Tom 3, red.: A. Maranda, T. Sałaciński, A. Lewandowska, IPO, str. 77-82, Warszawa 2011.
- [3] Bojar Z., Przetakiewicz W., *Materiały metalowe z udziałem faz międzymetalicznych*, Wyd. Bellona, Warszawa 2006.
- [4] Szkliniarz W., *Stopy na osnowie faz międzymetalicznych z układu Ti-Al*, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
- [5] Bogdanowicz Z., Bożejko J., Klimpel A., Koperski W., Surma Z., Szmit Ł., Woźniak R., *Badania przebijalności wielowarstwowych przegród metalowych*, VIIIth International Armament Conference „Scientific Aspects of Armament and Safety Technology” Pułtusk, 06-08 October 2010.