

# Analiza eksperymentalno-metalograficzna osłony energochłonnej obciążonej wybuchem ładunku EFP

Adam Kurzawa<sup>1, b)</sup> Dariusz Pyka<sup>2, c)</sup>, Krzysztof Jamroziak<sup>2, a)</sup>, Mirosław Bocian<sup>2, d)</sup>,  
Janusz Śliwiński<sup>3)</sup>

<sup>1</sup>*Katedra Odlewnictwa, Tworzyw Sztucznych i Automatyki, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wroclawska ul. Lukaszewicza 5, 50-371 Wrocław, Polska*

<sup>2</sup>*Katedra Mechaniki i Inżynierii Materiałowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wroclawska ul. Smoluchowskiego 25, 50-372 Wrocław, Polska*

<sup>3</sup>*Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej, ul. Obornicka 136, 50-961 Wrocław, Polska*

<sup>a)</sup>Corresponding author: krzysztof.jamroziak@pwr.edu.pl

<sup>b)</sup>adam.kurzawa@pwr.edu.pl, <sup>c)</sup>dariusz.pyka@pwr.edu.pl, <sup>d)</sup>miroslaw.bocian@pwr.edu.pl

**Abstract.** W pracy omówiono zagadnienia wpływu pocisków formowanych wybuchowo (EFP) na proces penetracji elementów opancerzenia. Analizowano zdolności ochronne jednorodnych płyt pancernych oraz ich strukturę w wyniku szybkozmiennych przemian fazowych. Zjawisko obciążenia wybuchem EFP analizowanej przegrody energochłonnej rozpatrywano także w ujęciu metod numerycznych. Uzyskane wyniki były podstawą do wnioskowania efektu hydrodynamicznego działania pocisku EFP na strukturę pancerza. Zaprezentowano obszerną analizę metalograficzną zmian struktury elementów pancerza stalowego w obrębie powstawania krateru i wybijanego czopa celem porównania ze strukturą pancerza przed ostrzeleniem.

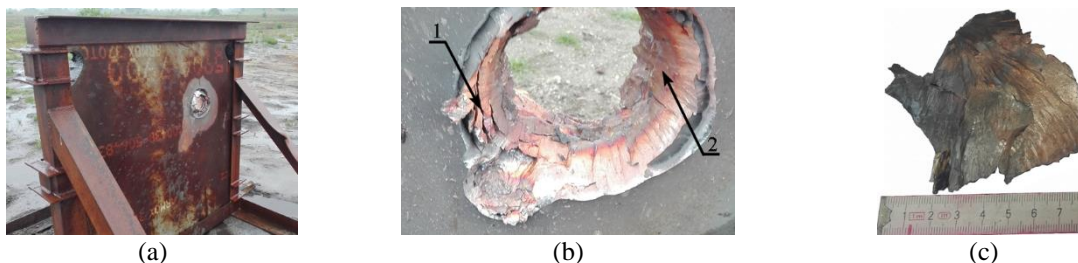
## WSTĘP

Wkładka kumulacyjna jest to ta część całego ładunku kumulacyjnego, która w największym stopniu warunkuje zdolności penetracyjne pocisku z głowicą kumulacyjną, zachowując także optymalizowanie wysokości ładunku, rodzaj materiału wybuchowego, gabaryty obudowy ładunku oraz sposób inicjacji. Wkładki najczęściej mają kształt stożka, półsfery lub czaszy kulistej o małej wysokości ale wkładki w kształcie z płaskiego półkolistego dysku tworzą Explosively Formed Projectile (EFP), który podczas detonacji zamienia się w twardy kawałek metalu o regularnych kształtach lub penetrator, a nie wydłużony strumień. Taki pręt jest aerodynamicznie stabilny i może osiągać prędkość do 2000 m/s. Na temat formowania się pocisku EFP poświęcono wiele opracowań [1]. Także dość dobrze rozpoznane zostały metody numeryczne [2, 3], w których główną uwagę skupiono na niezawodności głowicy i powstawania zbitki EFP. Autorzy zauważają, że mało jest prac poświęconych wpływom zmian struktury w wyniku wybuchu EFP w osłonę energochłonną. Zasadniczym problemem rozważanym w niniejszej pracy jest określić w jaki sposób obciążona dynamicznie i termicznie osłona energochłonna zmienia swą strukturę na skutek ostrzelenia miną o działaniu EFP.

## OBJEKT BADAŃ

Przygotowaną osłonę energochłonną z płyty pancerniej ARMOX 370T o wymiarach 1000×1500 mm i grubości 100 mm ostrzelano miną przeciwburtową MPB-ZN, w wyniku czego w osłonie został „wybity” otwór o średnicy ok. 105-110 mm (rys. 1a). Na przedstawionym złomie płyty stalowej po przeprowadzonej próbie przebicia powstał charakterystyczny dla odkształceń powstałych w pancerzach po próbach strzelniczych wypływka o wysokości 50 mm. Powierzchnia wnętrza krateru składa się z odkształconych plastycznie ostrokrawędziowych łusek nachodzących na siebie i ułożonych w kierunku przebicia pociskiem (Fig. 1b-c). Kolor łusek świadczy o osadzeniu na ich powierzchni

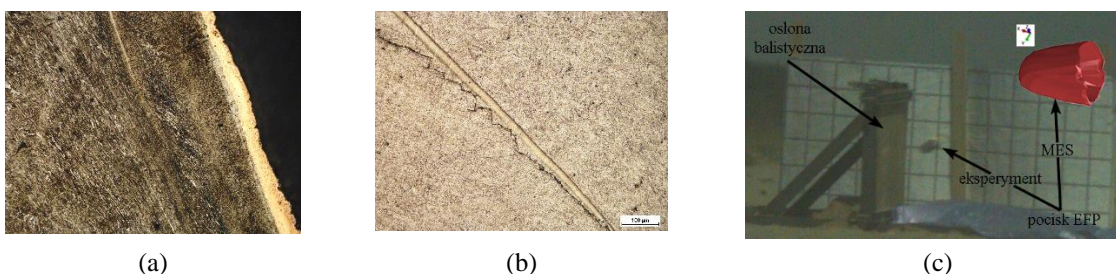
materiału (Cu) pochodzącego z półkolistego dysku głowicy pocisku. Łuski mocno przywierają do powierzchni krateru i są trudne do oderwania.



**RYSUNEK 1.** Uszkodzenie osłony po ostrzeleniu ładunkiem EFP: a) otwór po przestrzeleniu, b) mechanizm uszkodzenia ostrokrawędziowego (1) oraz fragment z naniesioną warstwą materiału Cu (2), c) fragment łuski z wybitego czopa pancerza

## WYNIKI I DYSKUSJA

Na powierzchni materiału stalowej płyty wskutek wybuchu formuje się warstwa materiału zbitki pocisku z miedzi o grubości od kilku mikrometrów do nawet kilku milimetrów. W warstwie tej, szczególnie w środkowej części otworu utworzonego wskutek wybuchu, jak również, od strony wylotu pocisku znajdują się odłamki materiału stalowej płyty adhezyjnie z nią związane. W obszarze wybuchu w odkształconej plastycznie warstwie materiału następuje deformacja pierwotnej struktury (rys. 2a). Wzrost szybkości odkształcania powoduje utworzenie adiabaticznych pasm ścinania (rys. 2b) w okolicach których obserwuje się propagację pęknięć. Jednocześnie na podstawie analizy numerycznej można potwierdzić, że w części plastycznej następuje hydrodynamiczne oddziaływanie pocisku EFP na strukturę przegrody energochłonnej (rys. 2c).



**RYSUNEK 2.** Mikrostruktura powierzchni pancerza po przejściu pocisku EFP: a) przekrój pancerza z widocznymi deformacjami struktury pod powierzchnią, b) propagacja pęknięcia w okolicy adiabaticznego pasma ścinania, c) fragment analizy MES pocisku EFP w ujęciu eksperymentu rejestrowanego kamrą szybko

## PODSUMOWANIE

Na podstawie obserwacji w materiale pancerza stwierdzono rozległe odkształcenie plastyczne z konturem wyraźnie równoległym do kierunku poślizgu przed penetracją. W tej strefie badanie materiału potwierdziło obecność licznych porowatości, szczególnie obfitych na głębokości 1 mm w materiale pancerza.

## LITERATURA

1. P.O.K. Krehl, History of Shock Waves, Explosions and Impact. A chronological and Biographical Reference, Springer, Berlin Heidelberg 2009.
2. M. Ahmed, A. Q. Malik, S.A. Rofi and Z.X. Huang, Penetration Evaluation of Explosively Formed Projectiles Through Air and Water Using Insensitive Munition: Simulative and Experimental Studies, Engineering, Technology & Applied Science Research **6(1)**, 913–916 (2016).
3. A. Morka and J.W. Wekezer, Analysis Of The Kinetic Energy Transfer To The Target During Impact Of The Antitank Projectiles, WIT Transactions on Modelling and Simulation **40**, 31–40 (2005).