

WPLYW WYBRANYCH TYPÓW USZKODZEŃ/DEFORMACJI ŁADUNKÓW KUMULACYJNYCH NA ICH EFEKTYWNOŚĆ

Robert PANOWICZ*, Damian KOŁODZIEJCZYK**, Leszek SZYMAŃCZYK***

* Wydział Mechaniczny, Wojskowa Akademia Techniczna im. gen. J. Dąbrowskiego
e-mail: rpanowicz@wat.edu.pl

** Wydział Mechaniczny, Wojskowa Akademia Techniczna im. gen. J. Dąbrowskiego
e-mail: dkolodziejczyk@wat.edu.pl

*** Wydział Nowych Technologii i Chemii, Wojskowa Akademia Techniczna im. gen. J. Dąbrowskiego
e-mail: lszymanczyk@wat.edu.pl

Artykuł wpłynął do redakcji 14.06.2014 r., Zweryfikowaną i poprawioną wersję po recenzjach i korekcie otrzymano w marcu 2014 r.

© Zeszyty Naukowe WSOWL

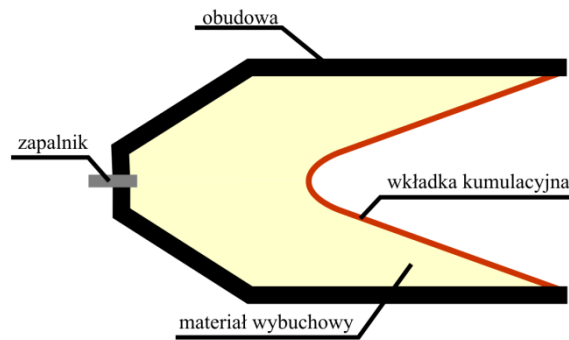
W poniższej pracy przedstawione zostały wyniki badań eksperymentalnych procesu tworzenia się strumienia kumulacyjnego z uszkodzonej wkładki kumulacyjnej. Badania te w dużej mierze są wynikiem prac prowadzonych w ramach projektu obrony biernej pojazdów. Celem badań było określenie wpływu imperfekcji wkładki kumulacyjnej na strumień kumulacyjny. W wyniku przeprowadzonych badań udało się pokazać niekorzystny wpływ deformacji wkładki na proces kumulacji. Sposób uszkodzenia wkładek nie był przypadkowy, odzwierciedlał on między innymi deformacje możliwe do osiągnięcia podczas zderzenia głowicy pocisku typu PG-7 z pancierzem ochronnym. Badania te są potwierdzeniem skuteczności działania tego typu panczerzy. Przedstawione tu wyniki badań obejmują kilka rodzajów imperfekcji wkładek kumulacyjnych od deformacji poprzez ścięcie aż do pokruszenia materiału wybuchowego. Do oceny deformacji wkładki wykorzystano skaner 3D, natomiast proces formowania się strumienia kumulacyjnego zarejestrowano przy użyciu aparatury do rejestracji rentgenowskiej.

Słowa kluczowe: ładunki kumulacyjne, strumień kumulacyjny, imperfekcja ładunku

WSTĘP

Odkrycie efektu kumulacji i jego pierwsze badania przypisuje się Charlesowi E. Munroe (1885). Jednak pierwszym odkrywcą ukierunkowanego działania ładunków wnątkowych był Förster [1, 2]. Z innych źródeł wynika, że górnicy znali i wykorzystywali to zjawisko około 100–200 lat wcześniej. Swoją wiedzę czerpali z wieloletnich doświadczeń, zarówno własnych, jak i swoich poprzedników, nie wnikając w istotę zjawiska.

Ładunek wnątkowy, obecnie powszechnie nazywany kumulacyjnym, składa się z obudowy, materiału wybuchowego oraz wkładki rysunek 1.



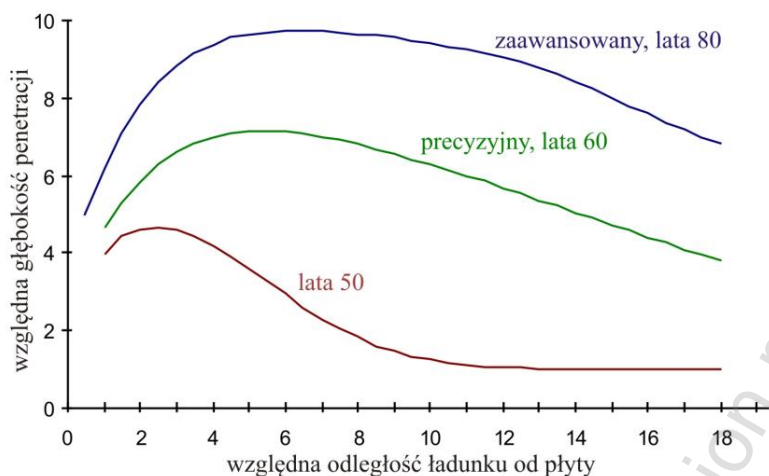
Rys. 1. Budowa ładunku kumulacyjnego

Źródło: Opracowanie własne

Materiał wybuchowy umieszczony w ładunku jest odpowiednio ukształtowany, co pozwala na ukierunkowanie i skupienie energii detonującego materiału wybuchowego. Ukształtowanie ładunku polega na wykonaniu w jego przedniej części stożkowej wnęki o kącie rozwarcia ok. 60°. W celu zwiększenia skuteczności takiego ładunku we wnęce umieszcza się wkładki wykonane z różnego rodzaju materiałów, np. miedzi.

Gdy materiał wybuchowy zostanie pobudzony, na osi symetrii układu zaczyna poruszać się w nim osiowosymetryczna fala detonacyjna, która w pewnej chwili dociera do miedzianej wkładki i zaczyna poruszać się wzdłuż niej od środka na zewnątrz. Ciśnienie produktów detonacji, będących skutkiem egzotermicznej przemiany detonującego materiału wybuchowego, oddziaływujące na wkładkę powoduje jej deformację oraz ruch wzdłuż i ku osi symetrii. Na osi symetrii dochodzi do gwałtownej kumulacji materiału wkładki, co powoduje także gwałtowny wzrost ciśnienia szczególnie na osi układu. W kierunku, gdzie ciśnienie jest niższe (oś symetrii) dochodzi do propagacji materiału i utworzenia się strumienia kumulacyjnego. Stanowi on ok. 20% masy wkładki i porusza się z prędkością kilku kilometrów na sekundę wzdłuż osi symetrii ładunku. Reszta materiału wkładki tworzy tzw. zbitek, który porusza się ze stosunkowo niedużą prędkością. Strumień kumulacyjny ma postać cienkiej metalowej nici o gradientie prędkości pomiędzy czołem strumienia, którego temperatura wynosi ok. 800 K, a tyłem mającym kontakt ze zbitkiem o temperaturze około 400 K. Gradient prędkości odpowiedzialny jest za rozerwanie integralności strumienia i zmniejszenie jego efektywności. Jego grubość w środkowej części wynosi kilka milimetrów. Strumień jest czynnikiem odpowiedzialnym za zniszczenia. Tworzy on niewielki otwór o głębokości dochodzącej do 9 kalibrów wkładki. Inicjacja detonacji ładunku kumulacyjnego nie może nastąpić w bezpośrednim sąsiedztwie obiektu, który ma zniszczyć, gdyż nie utworzy się strumień. Stąd we wszystkich ładunkach tego typu występuje czepiec balistyczny odsuwający miejsce tworzenia się strumienia od pancerza. Odsunięcie od tarczy nie może być też zbyt duże, bo jego efektywność będzie zbyt mała.

Wytworzenie strumienia wymaga wykonania części ładunku kumulacyjnego i jego złożenia z bardzo wysoką dokładnością zachowującą symetrię całości. Z zasady działania ładunku kumulacyjnego wynika, że im większa symetria, tym przebiec rośnie. Symetria ładunków rośnie wraz z rozwojem technologii, co zostało przedstawione na rysunku 2 [3]. Nowoczesne ładunki spełniające takie warunki potrafią przebić do 9 kalibrów (ładunek o średnicy 100 mm przebija do 900 mm stali RHA).



Rys. 2. Zależność głębokości penetracji przez strumień panczerza od odległości ładunku kumulacyjnego od płyty odniesiona do kalibru ładunku kumulacyjnego dla trzech generacji ładunków

Źródło: [3]

Jedną z podstawowych publikacji opisujących zagadnienia związane z ładunkiem kumulacyjnym jest książka Waltersa i Zukasa [1]. Zawiera ona informacje na temat teorii tworzenia się strumienia kumulacyjnego oraz budowy ładunków kumulacyjnych. Na świecie występuje dużo prac związanych z modelowaniem i badaniami eksperymentalnymi różnych typów ładunków kumulacyjnych. W Polsce tym zagadnieniem zajmowali się między innymi Jach [4 ÷ 7], Jackowski [8, 9], Cudziło [6, 7], Janiszewski [10, 11], Trębiński [6, 7, 13], Włodarczyk [8 ÷ 12], Wilk [14 ÷ 16]. Tylko prof. Jach zajmował się wykorzystaniem komputerowych metod mechaniki do symulacji zjawiska kumulacji [4, 5].

W literaturze przedmiotu natomiast niewiele jest prac związanych z wpływem niesymetryczności lub niejednorodności elementów ładunków kumulacyjnych na ich skuteczność. Praca [17] przedstawia analityczny model tworzenia się strumienia kumulacyjnego i zbitka dla symetrycznego i asymetrycznego ładunku. Wpływa to na rozkład prędkości wzdłużnej i poprzecznej strumienia kumulacyjnego, co przekłada się na jego zakrzywienie. Proces ten eksperymentalnie badany był przez Browna i Edwardsa [18] rysunek 3. Wyniki obu prac są zgodne. Wraz ze wzrostem niecentryczności pobudzenia ładunku kumulacyjnego rośnie prędkość poprzeczna strumienia objawiająca się jego zakrzywieniem na torze lotu i spadkiem skuteczności.

Inne przypadki powodujące osłabienie skuteczności strumienia zostały przedstawione w pracy [19] rysunek 4. Wymienione przypadki związane są z różnego rodzaju imperfekcjami (niecentryczność pobudzenia, niecentryczność montażu, niehomogeniczność materiału wybuchowego – różna prędkość detonacji i energia).

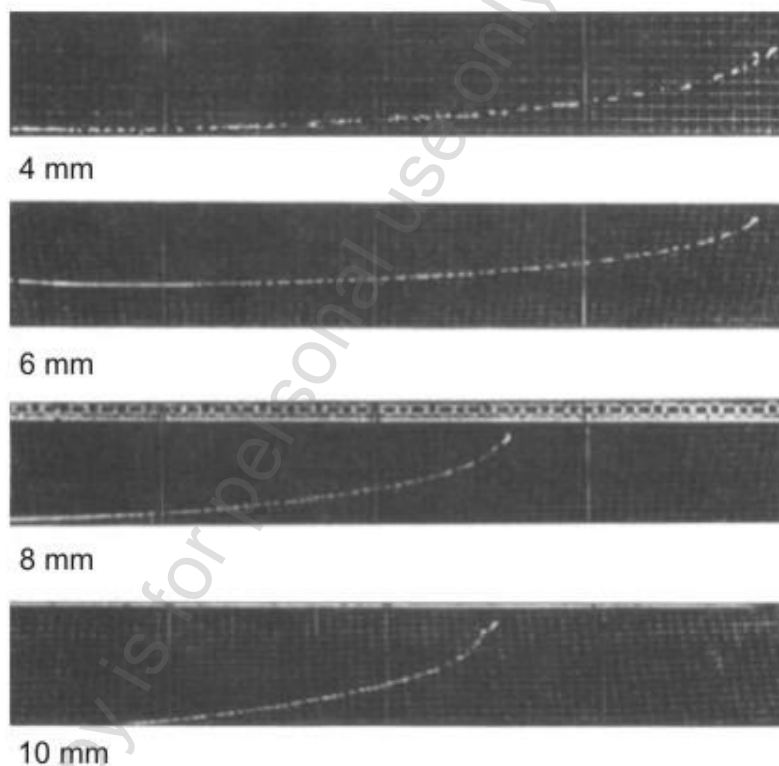
Podczas działań wojsk ONZ i NATO w Iraku i Afganistanie, w których brały udział również polskie oddziały, okazało się, że dużym zagrożeniem są pociski typu RPG-7 z głowicami kumulacyjnymi potrafiącymi przebić ok. 300 mm stali RHA. Broń ta stanowi jedno z głównych zagrożeń dla pojazdów logistycznych i lekko opancerzonych pojazdów wojskowych. Pojazdy tego typu stanowią trzon obecnych misji, a ich

sprawność i przeżywalność na współczesnym polu walki asymetrycznej decyduje o powodzeniu wielu zadań.

Przed tego typu zagrożeniem możemy bronić się za pomocą pancerzy reaktywnych, grubych pancerzy właściwych oraz pancerzy prętowych. Ze względu na masę, prostotę wykonania i brak materiałów wybuchowych ostatnie z wymienionych rozwiązań jest obecnie szeroko stosowane [20] rysunek 5.

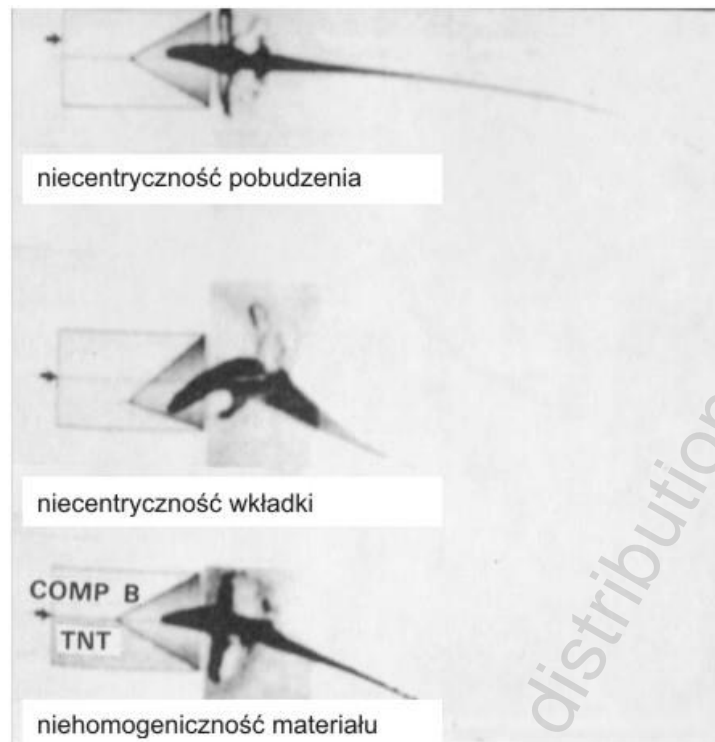
W Polsce badaniami eksperymentalnymi pancerzy prętowych zajmował się Wojskowy Instytut Techniki Panczernej i Samochodowej [21] oraz Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej Wojskowej Akademii Technicznej [22–25]. Druga z wymienionych grup zajmowała się również analizami numerycznymi związanymi z procesem oddziaływania pancerza prętowego z pociskiem wyposażonym w głowicę kumulacyjną [23, 24]. Okazało się, że na skutek oddziaływań pomiędzy tymi elementami dochodzi do uszkodzenia pocisku – deformacji wkładki kumulacyjnej, uszkodzenia obudowy i pokruszenia materiału wybuchowego.

Brakuje jednak badań dotyczących wpływu różnego typu deformacji ładunku kumulacyjnego na to, czy z takiego ładunku utworzy się strumień kumulacyjny, a jeżeli tak, to jaka będzie jego skuteczność. Dlatego w niniejszym artykule zostanie przedstawiony wpływ wybranych deformacji ładunku kumulacyjnego na proces tworzenia się strumienia kumulacyjnego i jego skuteczność. Dla porównania zostaną wykonane również badania skuteczności układu niezdeformowanego.



Rys. 3. Wpływ niecentryczności pobudzenia ładunku kumulacyjnego na zakrzywienie strumienia

Źródło: [18]



Rys. 4. Wpływ imperfekcji na tworzenie się strumienia kumulacyjnego

Źródło: [19]



Rys. 5. Demonstrator pojazdu klasy MRAP z pancerzem prętowym

Źródło: [20]

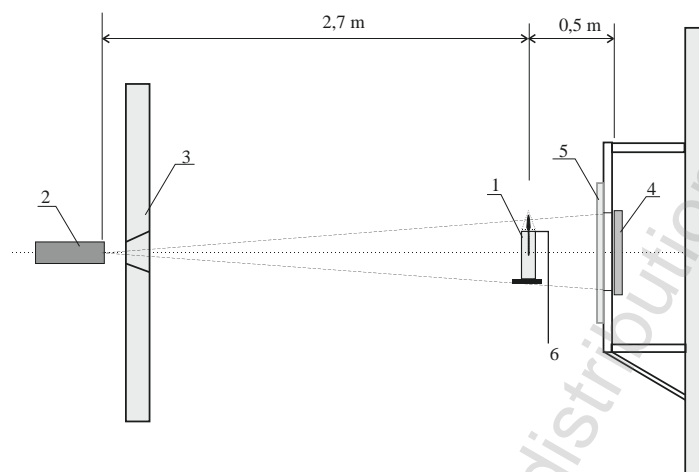
1. BADANIA EKSPERYMENTALNE

Przedstawione poniżej badania eksperymentalne zostały przeprowadzone na wydziale Nowych Technologii i Chemii Wojskowej Akademii Technicznej. Opisy przygotowanych do tego celu stanowiska oraz próbek zamieszczone zostały poniżej.

1.1. Stanowisko badawcze

Wykorzystane do badań stanowisko badawcze zostało przedstawione na rysunku 6. Stanowisko składa się z elementu badanego w postaci ładunku kumulacyjnego (1) o stożkowej wkładce miedzianej oraz aluminiowej obudowie wypełnionej plastycznym materiałem wybuchowym stojącym na rurze dystansowej i płytach świadkach, pro-

miennika rentgenowskiego (2) wraz z osłoną (3), a także kasety z filmem rentgenowskim (4) i jej osłoną (5) oraz czujnikiem zwarciovym wyzwalającym lampę rentgenowską (6). Na stanowisku tym przebadano ładunki o wkładce mającej 40 mm średnicy i kącie rozwarcia wynoszącym 42°. Ładunek kumulacyjny umieszczono w odległości 20 cm od płyt świadców (150 x 150 mm i grubości 10 mm każda). Jedna taka płyta odpowiada średniej grubości pancerza lekko opancerzonego pojazdu.



Rys. 6. Schemat stanowiska do rejestracji rentgenowskiej 1 – ładunek kumulacyjny stojący na rurze dystansowej i płytach świadców, 2 – promiennik, 3 – osłona promiennika, 4 – kasecja z filmem rentgenowskim, 5 – osłona kasetki, 6 – czujnik wyzwalający lampę rentgenowską

Źródło: Opracowanie własne

Do rejestracji tworzącego się strumienia wykorzystano zestaw rentgenografii impulsowej Scandiflash 450. Zasadniczym elementem zestawu jest lampa rentgenowska rysunek 7, w której poprzez układ kondensatorów aparatura sterująca generuje wyładowanie elektryczne o napięciu do 450 kV w czasie 20 ns. Odpowiednio dobrany skład stopu, z którego wykonane są elektrody lampy, powoduje powstanie ukierunkowanego promieniowania rentgenowskiego. Pozwala to na rejestrację bez zniekształceń zjawisk szybkozmiennych na standardowych filmach RTG. W czasie próby wykonywane jest jedno zdjęcie. Układ jest wyzwalany falą ciśnienia detonującego materiału poprzez zwarciovym czujnik zamocowany na badanym ładunku.



Rys. 7. Promiennik rentgenowski – część zestawu Scandiflash 450

Źródło: Opracowanie własne

1.2. Obiekt badań

Do przygotowania zdeformowanych ładunków kumulacyjnych wykorzystano plastelinę, która zastąpiła materiał wybuchowy rysunek 8, 9. Plastelina miała gęstość porównywalną z gęstością plastycznego materiału wybuchowego.



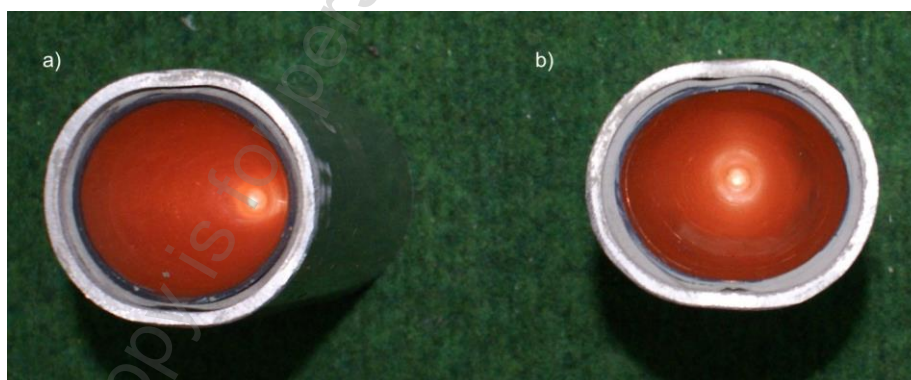
Rys. 8. Ładunek kumulacyjny częściowo wypełniony plasteliną

Źródło: Opracowanie własne



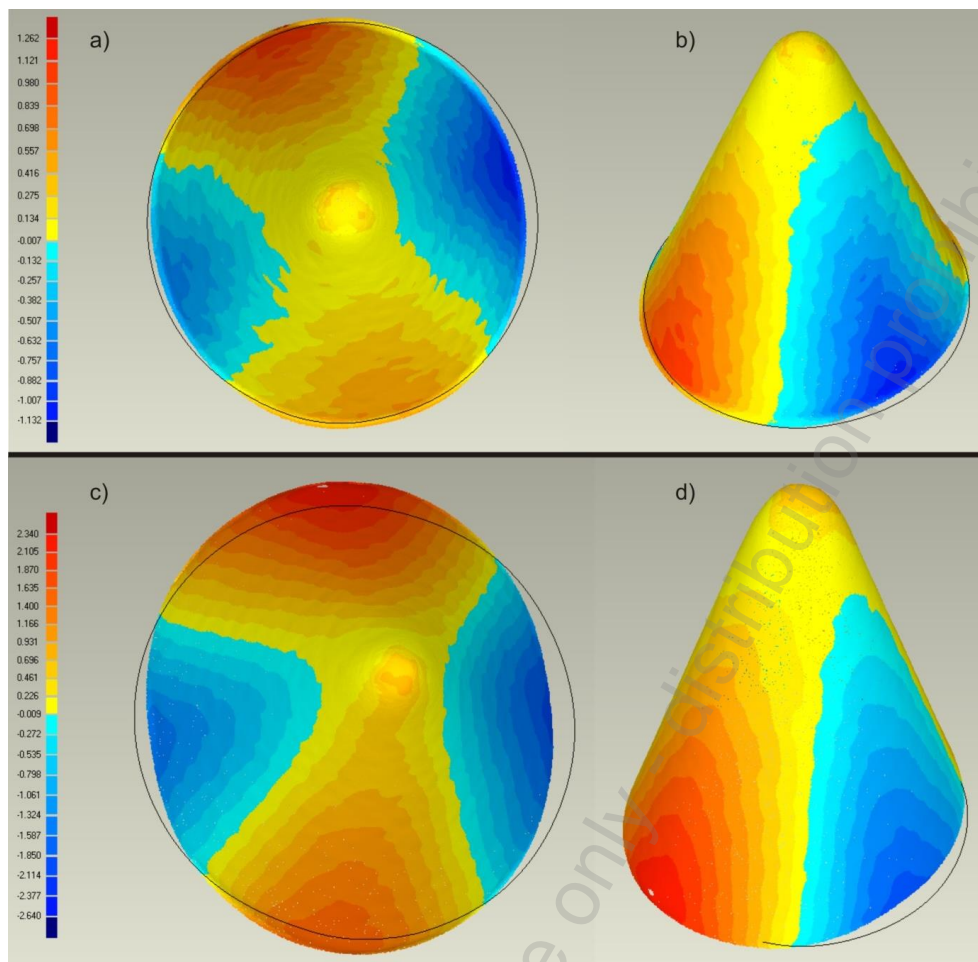
Rys. 9. Ładunki kumulacyjne wypełnione plasteliną (a) widok od strony wkładki kumulacyjnej, (b) widok od strony pobudzenia

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 10. Ładunki kumulacyjne po deformacji poprzez przyłożenie siły (a) mniejsza deformacja, (b) większa deformacja

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 11. Kształt obudowy ładunku kumulacyjnego oraz wkładki po deformacji a) i b) mniejsza deformacja, c) oraz d) większa deformacja

Źródło: Opracowanie własne

Pierwsze dwa z badanych ładunków zostały zdeformowane przez przyłożenie prostopadłej do osi ładunku siły rysunek 10. Po deformacji, za pomocą skanera *EXAscAn 3D handheld* [26], została określona geometria obudowy ładunku kumulacyjnego oraz wkładki rysunek. 11. Niesymetryczność pierwszego układu zdefiniowana jako (1):

$$\delta = \Delta R / R \quad (1)$$

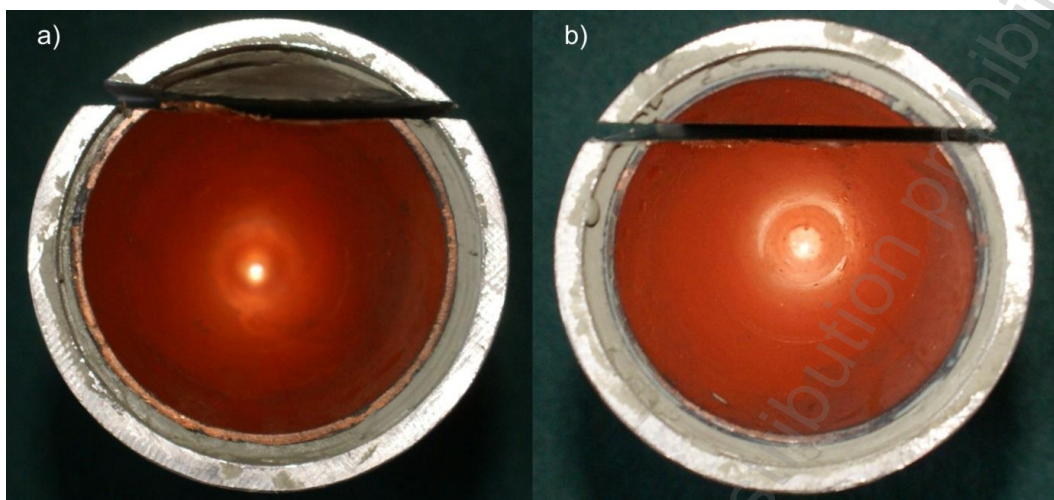
gdzie: R – odległość od osi symetrii, ΔR – różnica w odległości pomiędzy elementem symetrycznym i zdeformowanym.

Wynosiła ona w przypadku przedstawionym na rysunku 9a 0,063, a w drugim przypadku rysunek 9b, 0,117.

Następne ładunki zostały zdeformowane poprzez ścięcie części wkładki kumulacyjnej i obudowy rysunek. 12. Wielkość ścięcia została opisana na rysunku 12.

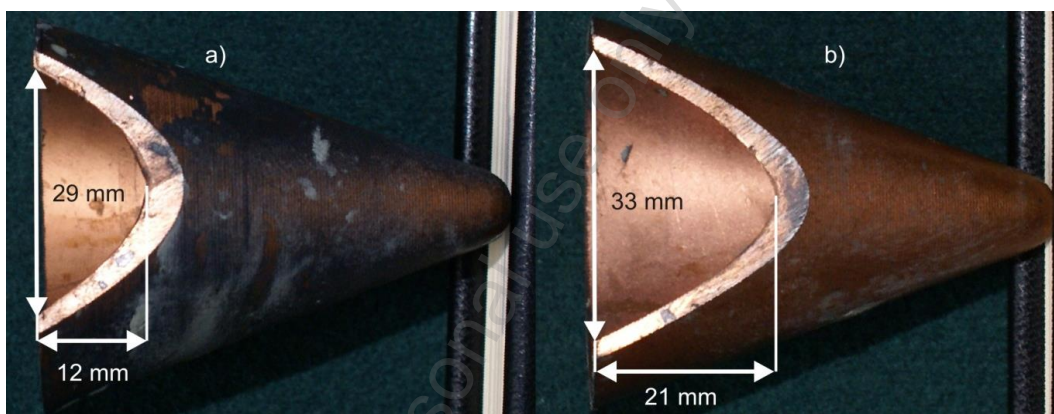
Niesymetryczność liczona zgodnie ze wzorem (1) dla przypadków z rysunku 12 wynosiła 0,26 dla mniejszego ścięcia rysunek 12a oraz 0,38 dla większego ścięcia rysunek 12b.

Jednym z możliwych przypadków, kiedy nie tworzy się strumień, jest sytuacja, w której następuje pokruszenie materiału wybuchowego i nie dochodzi do detonacji. W takiej sytuacji w najlepszym przypadku możemy mówić o deflagracji materiału wybuchowego, a w najgorszym o jego rozrzuceniu.



Rys. 12. Deformacja ładunku kumulacyjnego poprzez ścięcie jego części:
a) mniejsze ścięcie, b) większe ścięcie

Źródło: Opracowanie własne

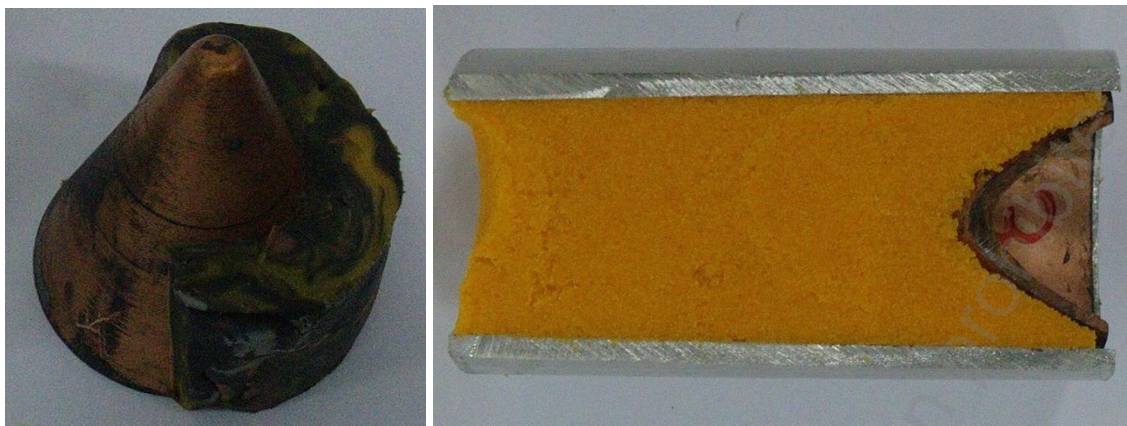


Rys. 13. Wkładki ze zdeformowanego poprzez ścięcie ładunku kumulacyjnego:
a) mniejsze ścięcie, b) większe ścięcie

Źródło: Opracowanie własne

Ze względów bezpieczeństwa niemożliwe jest pokruszenie materiału wybuchowego. Dlatego zastąpiono go w pewnej objętości materiałem obojętnym rysunek 14a. Materiał obojętny obejmował połowę wkładki jeżeli chodzi o obwód i wysokość.

Po przeprowadzonych deformacjach z ładunków usunięto plastelinę balistyczną. Następnie ładunki te, wraz z ładunkiem zawierającym materiał obojętny oraz ładunkiem niezdeformowanym (wzorcowym), napełniono plastycznym materiałem wybuchowym rysunek 14b. Była to mieszanina 80 % heksogenu z 20 % lepiszcza (woski i produkty ropopochodne). Najwięcej materiału wybuchowego umieszczono we wzorcowym, niezdeformowanym ładunku. Masa ta wyniosła 125 g.



Rys. 14. a) Wkładka z materiałem obojętnym, b) Zdeformowany ładunek kumulacyjny z plastycznym materiałem wybuchowym

Źródło: Opracowanie własne

2. WYNIKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

Na stanowisku laboratoryjnym rysunek 6 przeprowadzono badania eksperymentalne skuteczności zdeformowanych ładunków kumulacyjnych. Przykładowe zdjęcie układu przed detonacją przedstawiono na rysunku 15.



Rys. 15. Zdjęcie stanowiska do rejestracji rentgenowskiej strumienia zdeformowanych ładunków kumulacyjnych

Źródło: Opracowanie własne

Przebadano trzy typy deformacji:

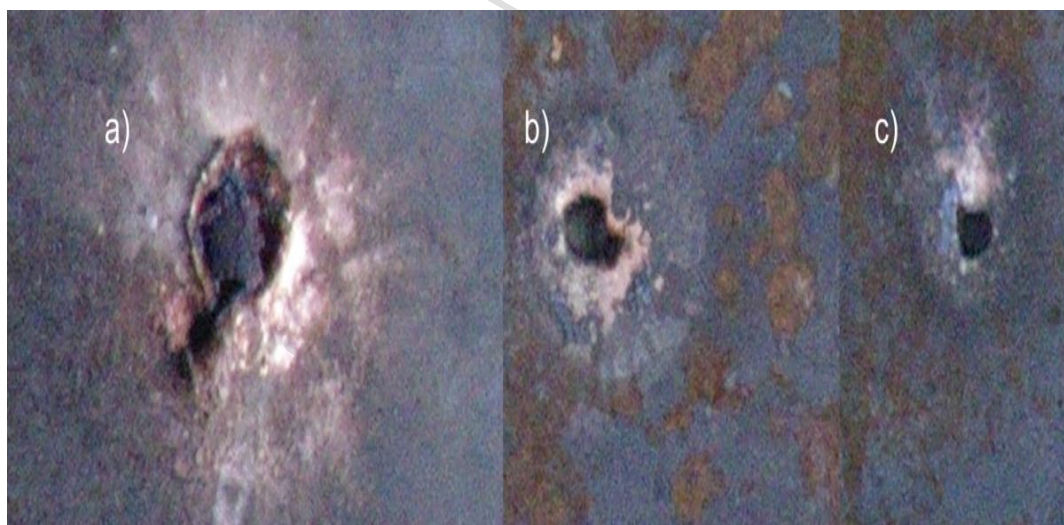
- odkształcenie przez przyłożenie siły;
- ścięcie;
- pokruszenie materiału wybuchowego (materiał obojętny) oraz ładunek niezdeformowany – wzorzec, do którego będą odniesione wyniki pozostałych eksperymentów.

Jako pierwszy przebadano ładunek niezdeformowany (wzorcowy), który przebił 8 płyt świadków (łącznie 80 mm) rysunek 16. Otwór, który wykonał strumień w pierwszej płycie miał średnicę 5–6 mm rysunek 17a.

Następnie wykonano badania pozostałych ładunków. Żaden z badanych ładunków nie przebił więcej niż jednej płyty. Na rysunku 17b przedstawiono przykładową rejestrację strumienia z ładunku zdeformowanego (obudowa i wkładka o kształcie owalu). W lewym dolnym rogu rysunku zaprezentowano ustawienie ładunku względem kierunku rejestracji. Na zdjęciu rentgenowskim widać rozrzucenie i porwanie strumienia. Jego główna część jest mocno odchylona od osi ładunku. Dlatego na rysunku 18, gdzie widoczne są skutki oddziaływania strumienia z metalowymi przeszkodami w postaci płyt świadków, największy otwór znajduje się praktycznie na brzegu płytki.

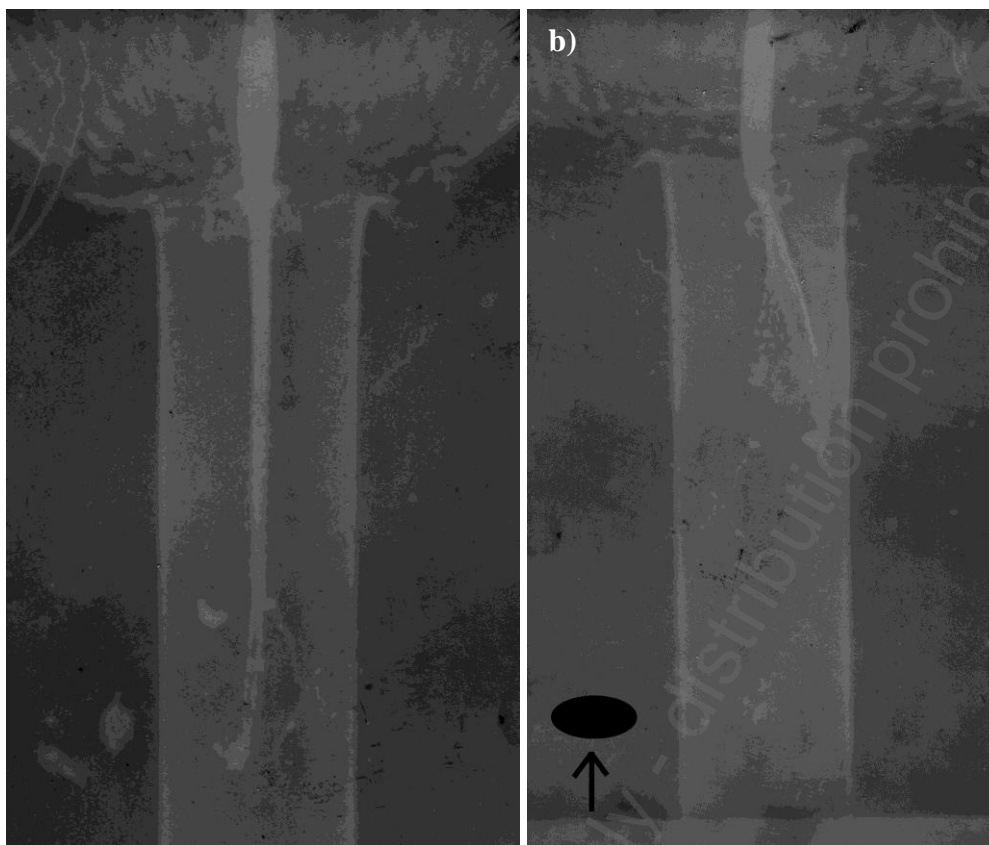
Analogiczne wyniki dla przypadku ściętego ładunku o $\delta = 0,26$ przedstawiono na rysunku 19a (strumień) i 20a (płyta świadek), a także dla ładunku częściowo wypełnionego materiałem obojętnym rysunek 19b – strumień, rysunek 20b – płyta świadek.

W przypadku ścięcia ładunku nie ma praktycznie mowy o strumieniu kumulacyjnym rysunek 19a. Możemy jedynie mówić o miedzianych „łzach”, które, uderzając w płytę świadka tworzą słabo widoczne ślady. Ostatni z analizowanych przypadków – ładunek kumulacyjny zawierający materiał obojętny tworzy widoczny na zdjęciu 19b bardzo mocny zakrzywiony strumień, co objawia się mocno rozrzuconymi śladami miedzi na płycie świadka rysunek 20b.



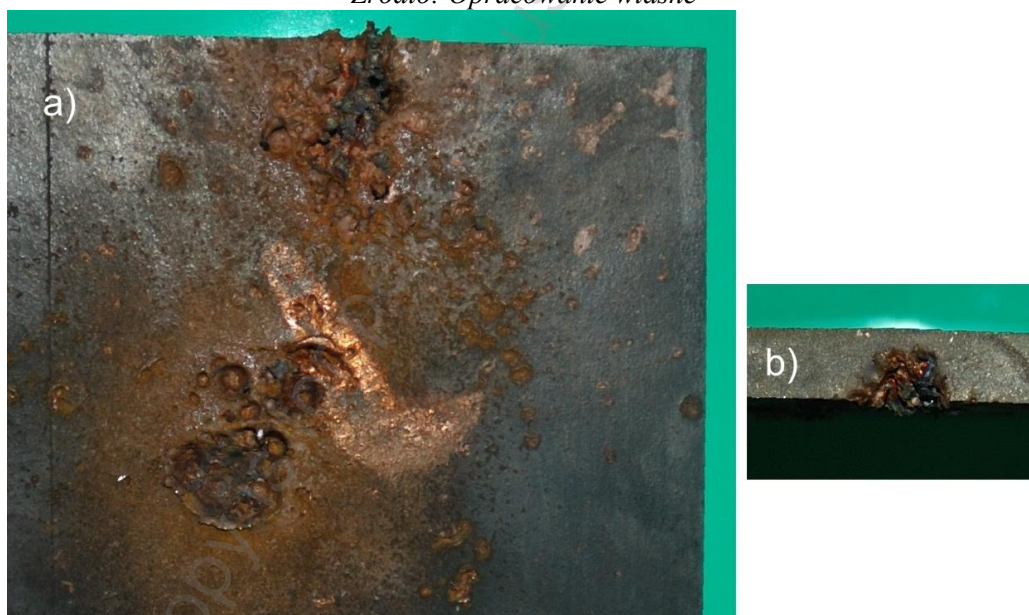
Rys. 16. Płyty świadkowie po oddziaływaniu strumienia z niezdeformowanego ładunku kumulacyjnego: a) pierwsza, b) trzecia, c) szóstą licząc od strony ładunku kumulacyjnego

Źródło: Opracowanie własne



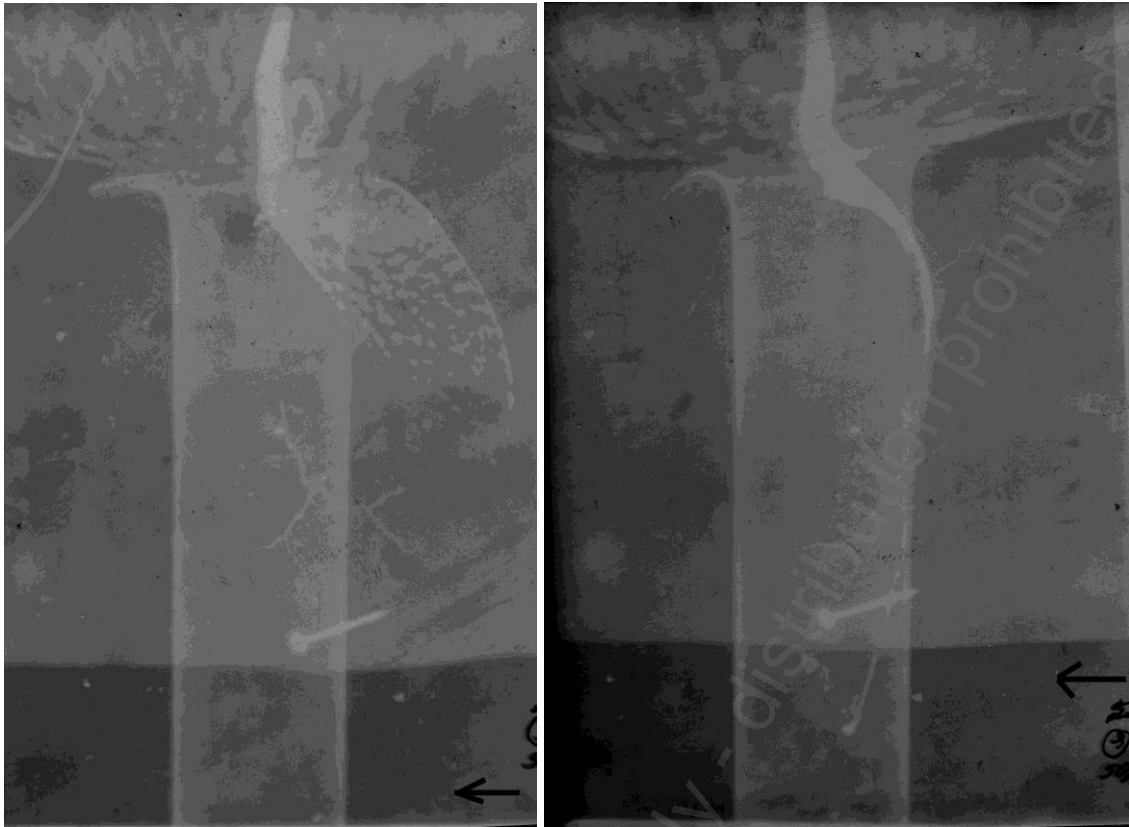
Rys. 17. Zdjęcie rejestracji rentgenowskiej
a) strumienia niezdeformowanego ładunku kumulacyjnego,
b) strumienia ze zdeformowanego ładunku

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 18. Oddziaływanie strumienia z owalnego ładunku kumulacyjnego na płytę świadka:
a) widok z przodu, b) widok z boku

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 19. Zdjęcie rejestracji rentgenowskiej
a) strumienia ze zdeformowanego poprzez ścięcie ładunku kumulacyjnego,
b) strumienia tworzącego się z ładunku kumulacyjnego zawierającego materiał obojętny

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 20. Oddziaływanie
a) strumienia ze ściętego ładunku kumulacyjnego na płytę świadka,
b) strumienia tworzącego się z ładunku kumulacyjnego zawierającego materiał obojętny na płytę świadka

Źródło: Opracowanie własne



3. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych zdeformowanych ładunków kumulacyjnych. Analizowano trzy przypadki imperfekcji ładunków:

- deformacja przez przyłożenie siły;
- ścięcie ładunku;
- pokruszenie materiału wybuchowego – brak przeniesienia detonacji.

Badania dokonano przez porównanie z ładunkiem wzorcowym, który przebił 80 mm stali.

Uzyskane rentgenogramy, jak i ślady oddziaływania ładunków na płyty pokazują brak skutecznego przebijania przeszkód przez zdeformowane wkładki kumulacyjne. Sposób deformacji odpowiada przypadkom, jakie spotyka się w sytuacjach oddziaływania pocisków z ładunkami kumulacyjnymi z elementami pancerza prętowego. Rozpatrzone przypadki potwierdzają, że na skutek oddziaływania pomiędzy pancerzem i pociskiem może dojść do takiego zniszczenia głowicy, że nie utworzy się strumień kumulacyjny.

LITERATURA

1. Walters W. P. and Zukas J. A., *Fundamentals of shaped charges*, Wiley Interscience, New York, 1989.
2. Kennedy D. R., *History of the shaped charge effect, the first 100 years*, U. S. Department of Commerce, AD-A220 095, 1983.
3. Ogorkiewicz R. M., *Advances in armour materials, International Defense Review*, 4, 1991.
4. Jach K., *Modelowanie komputerowe zjawisk kumulacyjnych*, Wydawnictwo WAT rozprawa habilitacyjna, Warszawa, 1991
5. Jach K., Morka A., Mroczkowski M., Panowicz R., Sarzyński A., Stępniewski W., Świerczyński R., Tyl J., *Modelowanie komputerowe dynamicznych oddziaływań ciał metodą punktów swobodnych*, pod red. Jach K., PWN, Warszawa 2001.
6. Cudziło S., Mroczkowski M., Świerczyński R., Jach K., Sarzyński A., Trębiński R., *Doświadczalna weryfikacja teoretycznego modelu procesu formowania się strumienia kumulacyjnego*, [w:] Biuletyn WAT, nr 12/2000.
7. Cudziło S., Jach K., Mroczkowski M., Sarzyński A., Świerczyński R., Trębiński R., *Experimental verification of a theoretical model of the shaped charge jet formation process*, [in:] "Journal of Technical Physics", no. 4/2000
8. Jackowski A., Włodarczyk E., *Wstępne badania charakterystyk strumieni kumulacyjnych formowanych z wkładek ze spieków miedzi o różnej porowatości*, [w:] „Biuletyn WAT”, nr 5/1999.
9. Jackowski A., Kajak R., Włodarczyk E., *Badania wpływu przeróbki plastycznej jako operacji końcowego kształtowania wkładek ze spieków miedzi na formowanie się strumienia kumulacyjnego*, [w:] „Biuletyn WAT”, nr 12/1999.

10. Janiszewski J., Włodarczyk E., *Rola materiału wkładki w formowaniu strumienia kumulacyjnego*, [w:] „Biuletyn WAT”, nr 3/2002.
11. Janiszewski J., Włodarczyk E., *Badanie strumieni kumulacyjnych formowanych z wkładek półsferycznych wykonanych ze spieków Fe i Cu oraz parametry geometryczne wydrążonych przez nie kraterów* [w:] „Biuletyn WAT”, nr 12/2000.
12. Włodarczyk E., *Efektywność cylindrycznego ładunku kumulacyjnego bez wkładki i obudowy*, [w:] „Prace Naukowe Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych”, nr 10/2000.
13. Trębiński R., *Assesment of usefulness of analytical model for predicting shaped charge jet parameters*, [in:] “Problemy Techniki Uzbrojenia”, no. 2/2009.
14. Nikolczuk K., Hadzik J., Wilk Z., *New shaped charges of flexible characteristics as an ex ample of using silicone polymers in the technology of explosives*, [in:] “Chemik”, no. 1/2013.
15. Wilk Z., Zygmunt B., *Zastosowanie ładunków kumulacyjnych do perforacji odwiertów geologicznych*, Prace Naukowe GIG, special editio, 2006.
16. Wilk Z., Zygmunt B., *Badania ładunków kumulacyjnych z ciężkimi wkładkami proszkowymi*, VI Międzynarodowa Konferencja Uzbrojeniowa Naukowe aspekty techniki uzbrojenia, Waplewo 2006.
17. Mahdiana A., Liaghatb G. H., Ghayoura M., *Generalized closed-form model for analysis of asymmetric shaped charges*, [in:] “Journal of Applied Mechanics and Technical Physics”, Vol. 54, no. 2/2013.
18. Brown J., Edwards P.J., *Studies of shaped charges with built-in asymmetries*, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 21, 1996.
19. Held M., *Characterizing shaped charge performance by stand-off behavior*, 7th Int. Symp. on Ballistics, The Hague, Netherlands, 19 – 21 April.
20. Zdobinsky M., *Vega nowy czeski pojazd opancerzony*, [w:] „Nowa Technika Wojskowa”, nr 6/2011.
21. Szudrowicz M., *Analysis of bar and net screens structure protecting vehicles against anti-tank grenades fired from RPG-7* [in:] “Journal of Kones”, no.1/2011.
22. Panowicz R. i inni, *Obliczenia analityczne prawdopodobieństwa zadziałania pancerza wykonanego z prętów o przekroju kołowym*, Materiały konferencyjne XVIII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej Problemy rozwoju, produkcji i eksploatacji techniki uzbrojenia, Uzbrojenie 2011.
23. Niezgoda T., Panowicz R., Sybilski K., Barnat W., *Numerical analysis of a Shell with a main shaped charge warhead stroke into a bar armor with square section*, [in:] “Journal of KONES”, Vol. 17, no. 3/2010.
24. Panowicz R., Sybilski K., Niezgoda T., Barnat W.: *Numeryczna ocena zniszczenia elementów pocisku PG-7G przy kontakcie z pancerzem prętowym*, [w:] „Górnictwo odkrywkowe”, nr 3/2010.
25. Panowicz R., Sybilski K., Gieleta R., Kupidura P., Bazela R., Magier M., *Badania eksperymentalne wybranego typu pancerza prętowego*, [w:] „Biuletyn Naukowy Wojskowego Instytutu Technicznego Uzbrojenia”, nr 2/2011.

26. [online]. [dostęp: 02.03.2014] Dostępny w Internecie <http://www.creaform3d.com/en/metrology-solutions/products/portable-3d-scanner/technical-specifications-handyscan-3d>

INFLUENCE OF SOME TYPES OF DAMAGE/DEFORMATION SHAPE CHARGES ON THEIR EFFICIENCY

Summary

The paper presents the results of experimental studies of the process of creating a shape charge jet from the damaged/deformed shape charge. The aim of the study was to determine the effect of the different types of shape charge imperfections on the jet forming process. As a result of the conducted studies, it was possible to show an adverse effect of the different deformations on the formation of the shape charge jet and its interaction with the armour.

The presented results include several types of imperfections: from the shape charge deformation through chamfer of its part to the impact of heterogeneity of explosive materials. A 3D scanner was used for the evaluation of liner deformation, while the formation of the shape charge jet was recorded using X-ray photography. The effect of deformation on the formation of the shape charge jet and its effectiveness were compared with the normal, typical shape charge – undeformed. The tested types of shape charge deformation caused eightfold reduction in the effectiveness of the jet.

The method of shape charge damage/deformation was not random but corresponded, inter alia, to deformations possible to obtain during interaction between a PG-7 missile and a bar armuor.

Keywords: *shaped charges, shaped charge jet, imperfection of charge*

NOTA BIOGRAFICZNA

dr inż. Robert PANOWICZ – doktor nauk technicznych w zakresie mechaniki (2003 r., Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej), absolwent i pracownik Wojskowej Akademii Technicznej, obecnie adiunkt naukowo-badawczy w Katedrze Mechaniki i Informatyki Stosowanej. Zainteresowania badawcze: dynamiczne własności materiałów, modelowanie numeryczne i badania eksperymentalne zjawisk szybkozmiennych (szybkości odkształceń większe niż 10³ 1/s). Brał udział w pracach naukowo-badawczych związanych ze swoimi zainteresowaniami, do których można zaliczyć: opracowanie lekkiego pancerza prętowego, badania numeryczne i eksperymentalne oddziaływania impulsu ciśnienia na struktury i panele energochłonne oraz oddziaływanie elementów małogabarytowych na pociski z głowicami kumulacyjnymi w aspekcie ich neutralizacji. Organizator badań poligonowych i laboratoryjnych.

mgr inż. Damian KOŁODZIEJCZYK – absolwent Wojskowej Akademii Technicznej, na kierunku Mechanicznym, od 2010 doktorant w Katedrze Mechaniki i Informatyki

ki Stosowanej w Wojskowej Akademii Technicznej. Jego działalność obejmuje analizy zjawisk szybkozmiennych – przebicia oraz detonacje w ujęciu analityczno-eksperymentalnym. Specjalizuje się w dziedzinie komputerowej mechaniki konstrukcji. Brał udział w pracach naukowo-badawczych realizowanych w ramach projektów obrony aktywnej oraz pasywnej pojazdów lekko opancerzonych. Uczestnik licznych badań poligonowych.

dr inż. Leszek SZYMAŃCZYK – jest absolwentem Wojskowej Akademii Technicznej (1993). Doktorat uzyskał na Wydziale Mechatroniki WAT w 2004 r. Obecnie pracuje na stanowisku adiunkta w Wydziale Nowych Technologii i Chemii WAT. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z badaniem i zastosowaniem materiałów wybuchowych. Jest współautorem kilkudziesięciu artykułów i referatów w czasopismach lub konferencjach krajowych i zagranicznych.

