

Cezary GALIŃSKI

PANCERZE PASYWNE

Streszczenie: Artykuł omawia zasady działania podstawowych rodzajów pancerzy pasywnych. Opracowany został w oparciu o materiały ze szkolenia Survivability of Armoured Vehicles.

1. WSTĘP

W historii ludzkich konfliktów szczególne znaczenie odgrywała zawsze konkurencja pomiędzy stosowanymi pociskami, a ochroną balistyczną. Szczególnego tempa konkurencja ta nabrała wraz z pojawieniem się, w czasach I wojny światowej, czołgów. Ich pancerz początkowo chronić miał załogę przed prostą bronią lufową małego kalibru i odłamkami artyleryjskimi. Rozwój broni przeciwpancernych bardzo szybko zwiększał wymagania co do skuteczności ochrony. Już w czasach drugiej wojny światowej stosowanie zwykłych pancerzy monolitycznych przestało być praktyczne. Prawie wszystkie opracowane później systemy ochrony balistycznej zapewniały zadziałanie „mechanizmu” zwielokrotniającego efektywność pancerza zasadniczego. Niniejszy artykuł omawia te z nich, które działają tylko lokalnie, w miejscu i w momencie bezpośredniego trafienia.

2. PANCERZE MONOLITYCZNE I PRZESTRZENNE

Najstarszym typem opancerzenia jest płyta stalowa o odpowiednio dużej grubości. Początkowo zdolność ochronna pancerza była zwiększana wyłącznie przez zmianę jej grubości. Wraz z rozwojem metalurgii pojawiła się możliwość poprawiania zdolności ochronnej przez zwiększenie twardości stosowanej stali. Okazało się jednak, że stale o większej twardości stają się kruche i poprawianie ich własności tą drogą jest ograniczone. Kolejna generacja pancerzy miała już strukturę warstwową z zewnętrzną warstwą o dużej twardości i wewnętrzną, miękką, ale o dużej wytrzymałości. Stosowano przy tym różne techniki od obróbki cieplnej począwszy aż do wybuchowego łączenia blach o różnych własnościach. Pojawienie się jednak pocisków z głowicami kumulacyjnymi całkowicie przekreśliło ten kierunek rozwoju. Okazało się bowiem, że ciśnienie spiętrzenia przy uderzeniu strumieniem kumulacyjnym kilkaset razy przekracza wytrzymałość jakiegokolwiek istniejącego materiału. Oznaczało to w praktyce, że głębokość penetracji takim strumieniem, będzie równa długości tego strumienia niezależnie od wytrzymałości zastosowanych materiałów. Biorąc zaś pod uwagę typową długość strumienia, grubość odpornego na jego działanie pancerza powodowałaby taki wzrost masy, że nie byłoby możliwe zbudowanie chronionego nim pojazdu. Co gorsza, ze względu na strukturę strumienia, nie pomagało tu nawet pochylenie pancerza. Kilka pierwszych fragmentów strumienia mogło co prawda od takiego pochylenia rykoszetować, ale tworzyły przy okazji niewielki krater, wystarczający jednak aby wszystkie następne fragmenty uderzały prostopadle. Do dnia dzisiejszego, tego typu pancerze przetrwały więc tylko jako wzorce do oceny innych pancerzy, lub jako ochrona przeciw odłamkom i pociskom małego kalibru. W tym miejscu warto jeszcze dodać, że co prawda głębokość penetracji jest odwrotnie proporcjonalna do gęstości materiału pancerza, to jednak w wielu słabo opancerzonych pojazdach stosuje się pancerze ze stopów lekkich. Wykorzystuje się tu fakt, że z lekkiego materiału można zbudować pancerz o dużo większej grubości, a mimo to lżejszy od stalowego. W takim przypadku nawet większa głębokość

penetracji może nie spowodować przebicia pancerza. Wykorzystanie stopów lekkich przeciw pociskom większych kalibrów i głowicom kumulacyjnym nie jest jednak praktyczne ze względu na znaczne rozmiary wymagane w takim wypadku.

Następne generacje pancerzy musiały już więc zawierać mechanizmy rozpraszające energię pocisku (strumienia), lub zastępujące zużyty materiał pancerza nowym. Pierwszą próbą tego typu było stosowanie ekranów antykumulacyjnych, odsuniętych na pewną odległość od pancerza zasadniczego. Miały one za zadanie uaktywniać głowice zanim jeszcze uderzą w pancerz zasadniczy. Oczekiwano, że strumień kumulacyjny rozproszy swoją energię i przestanie być szkodliwy. Szybko jednak okazało się, że skuteczność ekranów jest iluzoryczna. Okazało się bowiem, że poprawnie zaprojektowany ładunek kumulacyjny osiąga

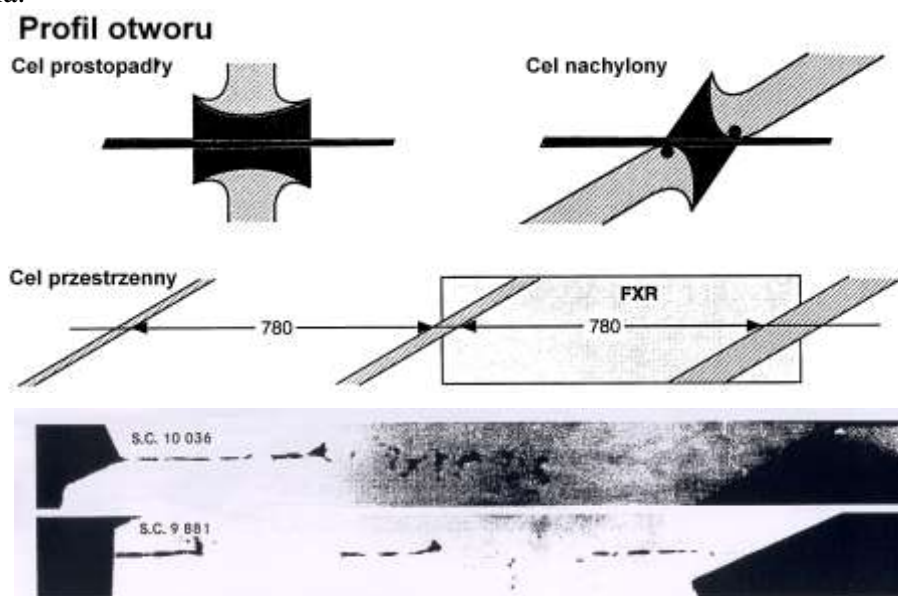
maksimum swojej zdolności penetracji jeśli zostanie aktywowany w pewnej odległości od pancerza. Odległość ta jest zazwyczaj równa 6-8 kalibrów ładunku. Oznacza to, że największą zdolność penetracji, głowica o kalibrze 100 mm osiąga, jeśli zostanie aktywowana w odległości ~700 mm. Zmniejszenie zaś skuteczności takiej głowicy poniżej poziomu aktywacji w bezpośrednim kontakcie osiąga się dopiero przy odsunięciu ekranu o ponad 1,5 m. Pojazdy o takim opancerzeniu stawałyby się zaś łatwym celem ze względu na duże rozmiary. Niedawno co prawda



Rys. 1. Ciekawe rozwiązanie ekranów przeciwkumulacyjnych czołgu T-55. Zwracają uwagę: "parasol" na lufie i pionowe płyty osłaniające układ jezdny ustawione pod kątem do kierunku jazdy. (TDW)

powrócono do tej metody w sposób bardzo pomysłowy i skuteczny w przypadku modernizacji T-55 (Rys. 1). Trudno jednak wyobrazić sobie dalszy rozwój w tym kierunku.

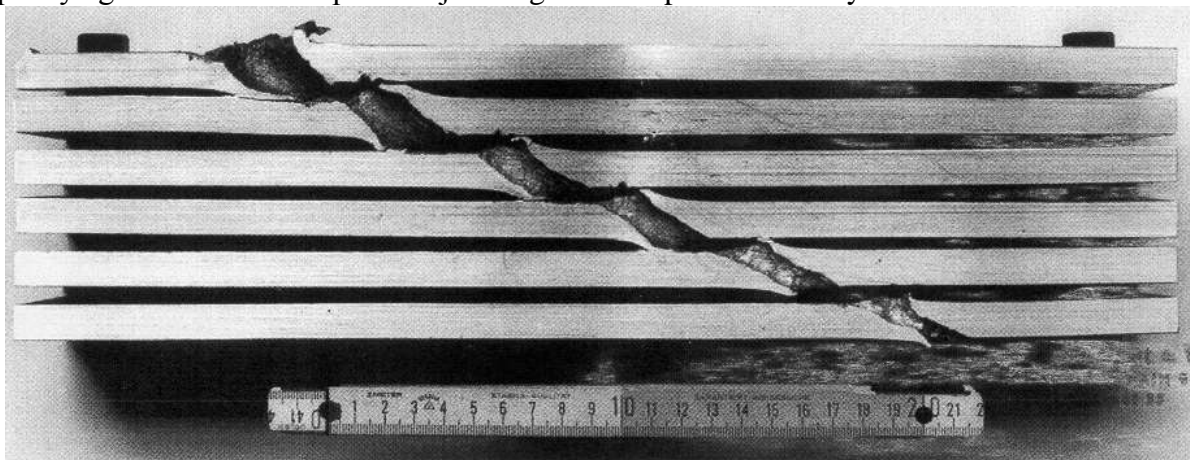
Nieco lepsze rezultaty osiągnięto przy dużym pochyleniu ekranu. Wynika to z faktu, że w przypadku uderzenia prostopadłego, wargi powstającego krateru odsuwają się od strumienia.



Rys. 2. Zasada działania pochylonego ekranu przeciwkumulacyjnego. (DASA)

W przypadku zaś przebijania płyty skośnej dolna wargę wejścia do krateru i górna wyjścia odchylając się kolidują ze strumieniem jak to pokazano na Rys. 2. Rozproszony w ten sposób strumień ma mniejszą zdolność penetracji pancerza zasadniczego

Efekt ten można wzmocnić ustawiając w niewielkiej odległości kilka warstw pochylego ekranu. Postać penetracji takiego ekranu przedstawia Rys. 3.

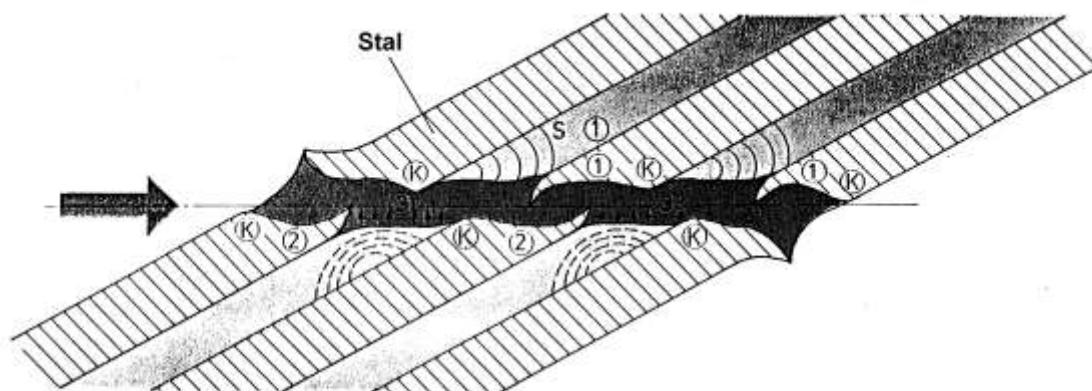


Rys. 3. Warstwowy pancerz przestrzenny. (Battle-Institute-Frankfurt)

Widać na nim przemieszczenie osi poszczególnych kraterów względem najbardziej prawdopodobnego kierunku penetracji.

3. PANCERZE KOMPOZYTOWE

Tworzenie się warg można zintensyfikować przez wstawienie pomiędzy płyty pancerne przekładek z bardzo twardego i kruchego materiału. Powstaje w ten sposób pancerz kompozytowy. Schemat jego działania przedstawiony jest na Rys. 4.

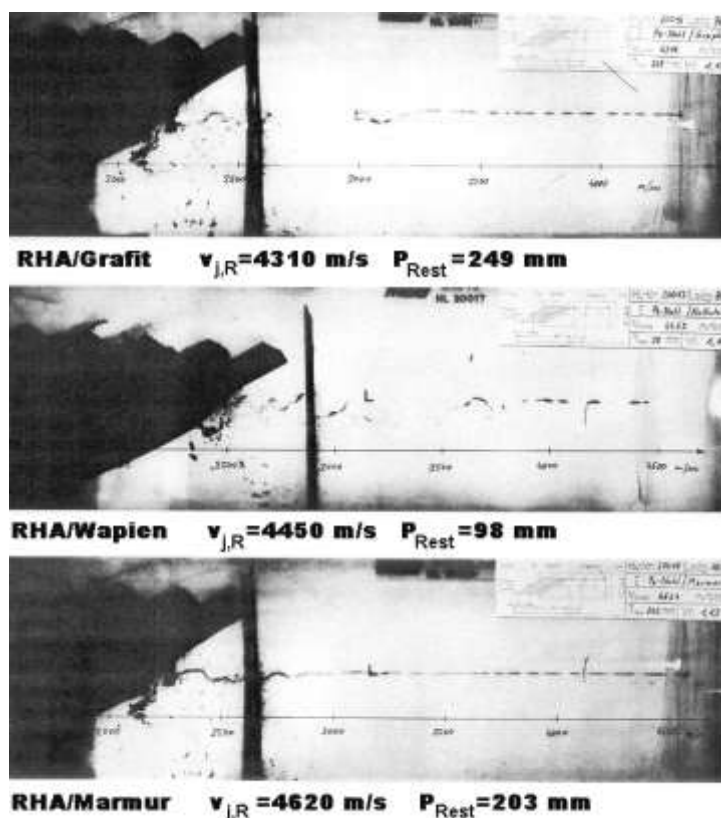


- Ⓚ Efekty narożnikowe
- ① Pancerz poruszający się do przodu
- ② Pancerz poruszający się do tyłu
- ③ Wykruszanie się materiału przekładek

MBB
Unternehmensbereich Apparate
Werk Schraubenhausen

Rys. 4. Zasada działania pancerza kompozytowego

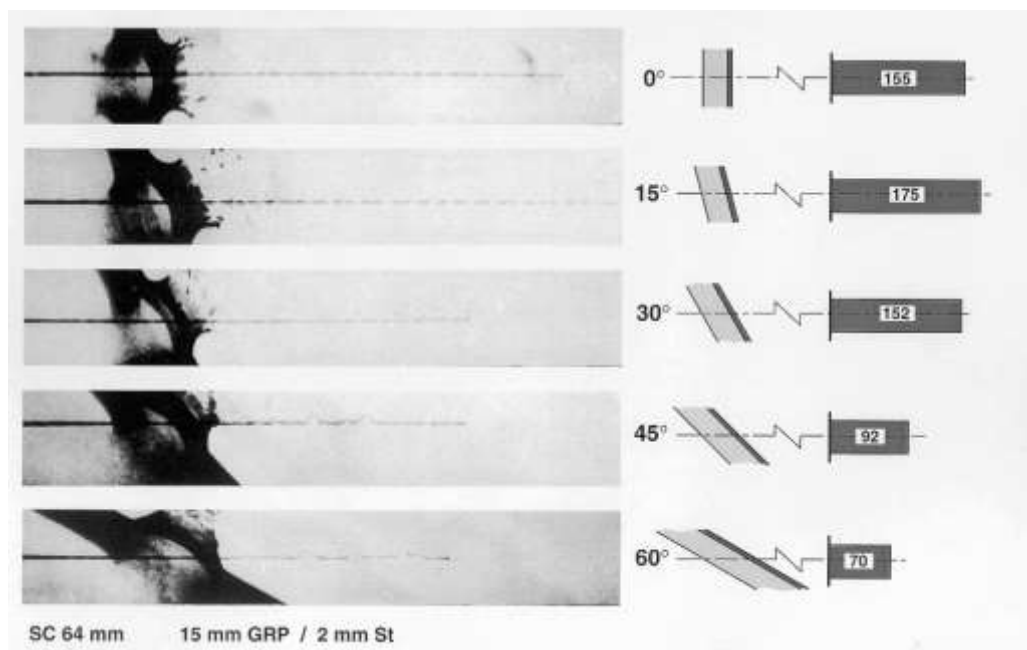
W momencie rozpoczęcia penetracji w pancerzu takim zaczynają się rozchodzić fale uderzeniowe. Odbijają się one od granic przekładek i wracają w kierunku krateru. Gdy doń docierają, odginają brzegi płyt pancernych do środka i wykruszają ścianki przekładek. W ten sposób materiał pancierza zerodowany przez penetrator jest stale zastępowany przez nowy materiał pochodzący ze ścianek. W przypadku penetracji pociskiem rdzeniowym przyspiesza to proces jego erozji. W przypadku zaś strumienia kumulacyjnego oprócz przyspieszonej erozji dochodzi również do wytrącenia z toru lotu jego poszczególnych fragmentów. W obu przypadkach zdolność penetracji zostaje więc znacznie ograniczona. Rys. 5 przedstawia wpływ pancierza kompozytowego wykonanego z różnych materiałów na strumień kumulacyjny.



Rys. 5. Rozproszenie strumienia kumulacyjnego przez pancierz kompozytowy w zależności od materiału przekładki. (TDW)

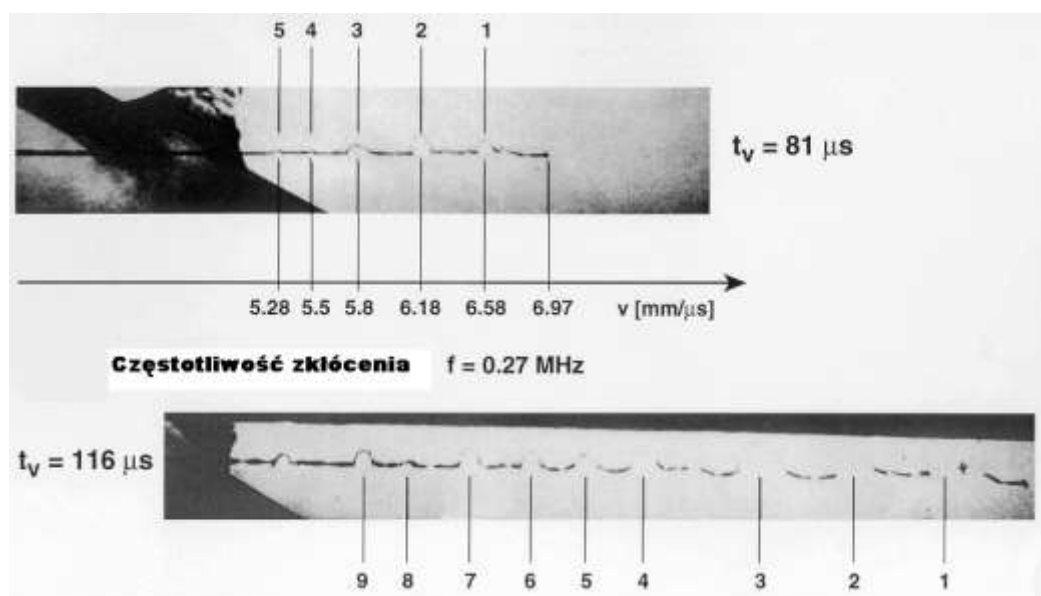
4. PANCERZE PĘCZNIEJĄCE I DRGAJĄCE

Inną metodą intensyfikacji tworzenia warg wokół krateru jest wstawienie pomiędzy płyty pancerne przekładek z materiałów elastycznych takich jak PCV, Pleksiglas, guma. Wykorzystuje się tu fakt, że w czasie penetracji elastyczny materiał zostaje nie tylko przeбит, ale również rozsunięty promieniowo od osi krateru. Dzięki odpowiedniemu doborowi grubości płyt pancernych i modułu ściśliwości przekładki, możliwe jest odkształcenie płyt w taki sposób aby zasłoniły osł krateru, co z kolei, podobnie jak poprzednio przyspiesza erozję penetratora i rozprasza fragmenty strumienia kumulacyjnego. Porównanie efektywności tworzenia warg dla różnych kątów pochylenia pancierza pęczniejącego przedstawia Rys. 6. Cyfry po prawej stronie tego rysunku przedstawiają tzw penetrację reszkową. Jest to głębokość penetracji jednorodnej stali walcowanej po przejściu przez badaną próbkę.



Rys. 6. Wpływ pochylenia na efektywność pancerza pęczniającego. (TDW)

Innym ciekawym efektem możliwym do uzyskania dzięki zastosowaniu elastycznych przekładek jest możliwość wywołania drgań pancerza. Jeśli bowiem stworzy się moduły składające się z dwu płyt stalowych i elastycznej przekładki, oraz zapewni separację między modułami, to mogą one zacząć drgać. Pozwala to na cykliczne zasłanianie osi krateru. Efekty działania jednego takiego modułu przedstawiono na Rys. 7.

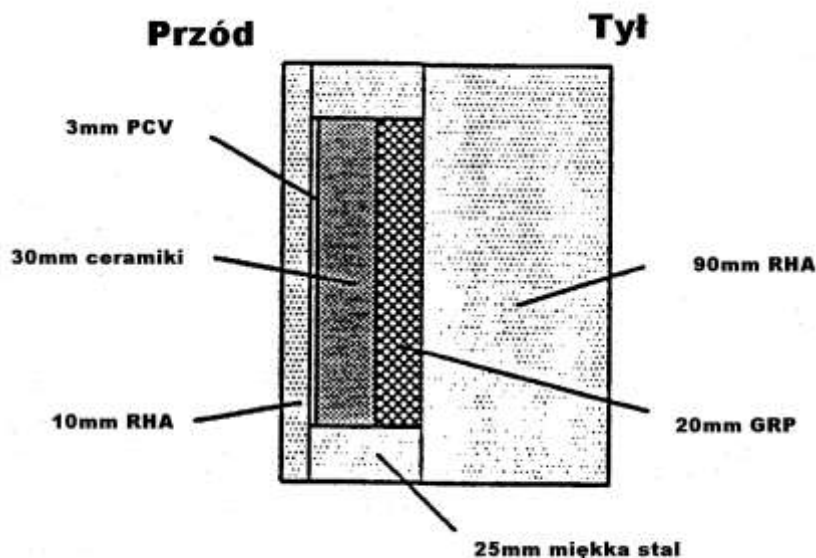


Rys. 7. Efekt zastosowania pancerza drgającego. (TDW)

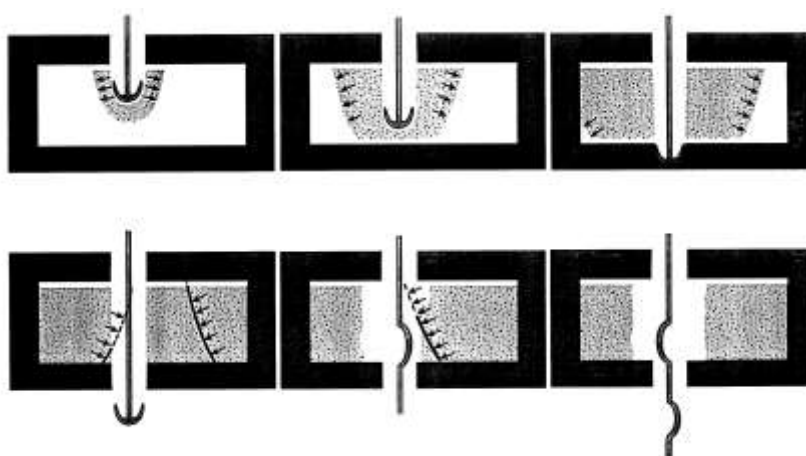
5. PANCERZE CERAMICZNE

Efekt zasypywania krateru wykorzystuje się również w pancerzach ceramicznych. Pancerz tego rodzaju (Rys. 8) tworzy się przez umieszczenie bloków ceramicznych w

stalowej obudowie. Obudowa taka składa się zazwyczaj z przedniej i tylnej płyty ze stali pancerniej oraz ze ścianek bocznych z miękkiej stali. Za ściankami można umieszczać następne bloki ceramiki. Bloki te mają grubość porównywalną z pozostałymi wymiarami. Pomiędzy płytami pancernymi a blokiem ceramicznym umieszcza się często elementy z tworzyw sztucznych. Zasadę działania takiego pancerza wyjaśnia Rys. 9.



Rys. 8. Przykład konstrukcji segmentu pancerza ceramicznego. (wg Cullis, Lynch)

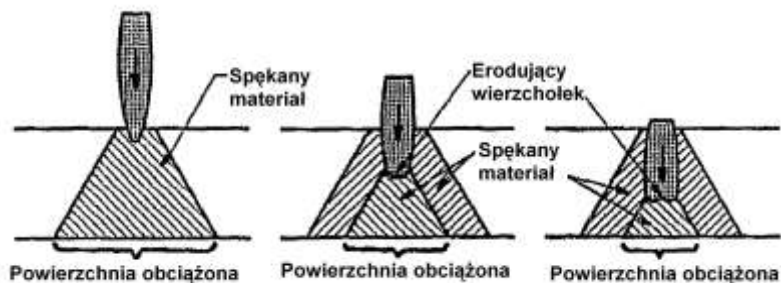


Rys. 9. Zasada działania czołgowego pancerza ceramicznego. (TDW)

Po przebiciu przedniej płyty pancerniej penetrator wywołuje w bloku ceramicznym falę uderzeniową, która odbija się od bocznych ścianek bloku i powraca w kierunku tworzącego się krateru. Po dotarciu do niego fala taka wykrusza ścianki, których odłamki zasypują krater. Jak poprzednio powoduje to przyspieszoną erozję penetratora i rozproszenie fragmentów strumienia kumulacyjnego.

W pojazdach lekko opancerzonych również stosuje się pancerze ceramiczne. Ze względu jednak na małą grubość ceramiki opisany powyżej mechanizm nie może zadziałać. Mają one tam więc inną zasadę działania. Jest ona pokazana na Rys. 10. Uderzający w pancerz pocisk kruszy stożkowaty obszar ceramiki, którego fragmenty blokują się nawzajem i przenoszą siłę zderzenia na znaczną powierzchnię. Dzięki temu nacisk na pancerz zasadniczy jest znacznie mniejszy niż w przypadku gdyby pocisk uderzył weń bezpośrednio. Następnie pocisk zaczyna penetrować ceramikę. Dochodzi do erozji zarówno fragmentów ceramiki, jak i

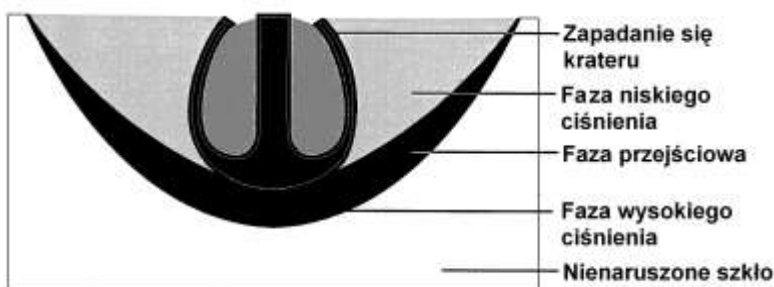
wierzchołka pocisku. Zmniejsza się obciążona powierzchnia pancerza zasadniczego, co nie powoduje jednak gwałtownego wzrostu nacisków, jako, że znaczna część energii zderzenia już została pochłonięta. W momencie gdy pocisk dociera do pancerza zasadniczego, jego energia kinetyczna jest znacznie zmniejszona, a wierzchołek stępiony. Dzięki temu spada zdolność penetracji pocisków małego kalibru.



Rys. 10. Zasada działania lekkiego pancerza ceramicznego.
(wg Walker, Anderson, Cox)

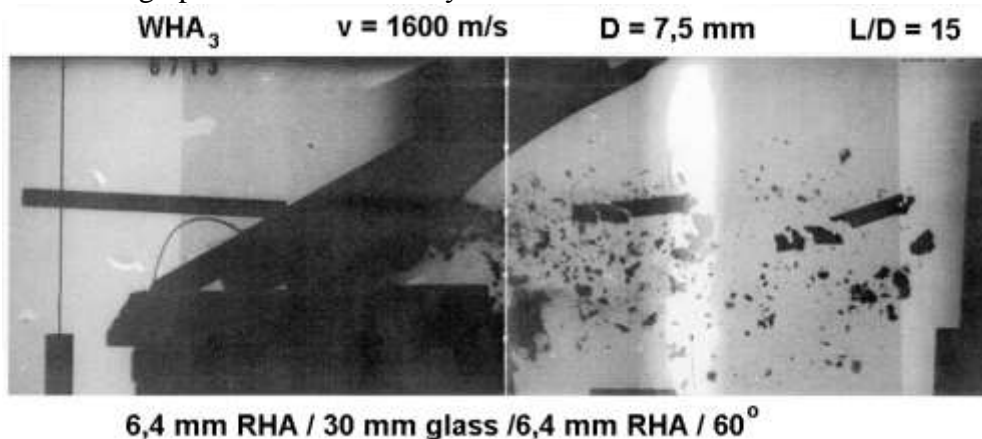
6. PANCERZE SZKLANE

Bardzo ciekawe własności ochronne ma niekojarzące się z opancerzeniem szkło. Okazuje się, bowiem, że pod wpływem uderzenia penetratorem, krater powstaje nie tylko na zasadzie erozji, ale również promieniowego odkształcenia sprężystego. Następnie górna część krateru zmniejsza swoją średnicę i zaciska się wokół penetratora.



Rys. 11. Zasada działania pancerza szklanego.
(wg Mellgard)

Okazuje się, że pancerz z płyt stalowych z przekładką szklaną może bardzo skutecznie zwalczać nie tylko strumienie kumulacyjne, ale również penetratory rdzeniowe. Skutki zastosowania takiego pancerza widać na Rys.12.

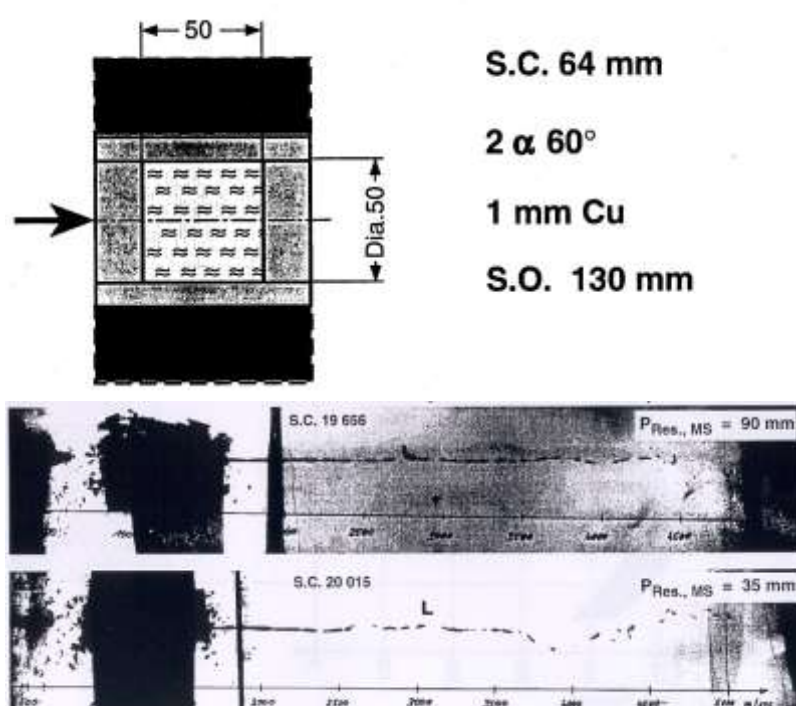


Rys. 12. Przebicie pancerza szklanego pociskiem rdzeniowym.
(wg Holger, Stilp, Weber)

Innym bardzo istotnym zastosowaniem szkła są wykładziny przeciwołamkowe. Tym razem szkło występuje pod postacią wielowarstwowego laminatu z tkanin szklanych w osnowie z tworzyw sztucznych. Wykładziny tego rodzaju umieszcza się po wewnętrznej stronie pancerza zasadniczego w celu zabezpieczenia załogi pojazdu i jego systemów przed działaniem odłamków. Odłamki te mogą powstać zarówno po przebiciu pancerza, jak i przy niecałkowitej penetracji. Przyczyną odrywania się odłamków od pancerza zasadniczego mogą być np. pociski burzące lub eksplodujące pancerze reaktywne ERA.

7. OSŁONIĘTE KOLUMNY

Innymi nie kojarzonymi się z ochroną pancerną materiałami są płyny, pyły i pianki. Warto jednak pamiętać, że do momentu szerszego zastosowania torped, ochrona pancerna



Rys. 13. Rozproszenie strumienia kumulacyjnego osłoniętej kolumną wodną. (DASA)

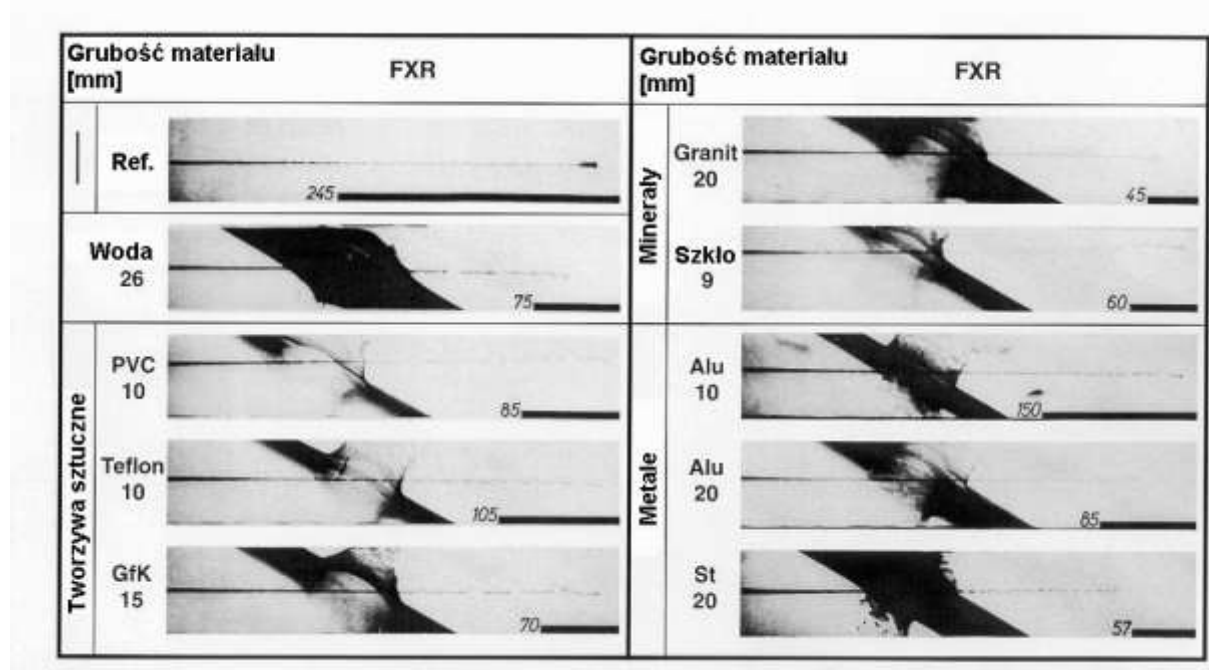
okrętów dotyczyła głównie ich części nawodnej. Wynika to ze znacznego zwiększenia oporów ruchu pocisku, a tym samym zmniejszenia jego energii kinetycznej. Ponadto ze względu na znacznie większe wartości sił hydrokinetycznych niż aerodynamicznych stosunek sił hydrokinetycznych do bezwładnościowych jest znacznie większy. Oznacza to, że wszelkie asymetrie w geometrii penetratora powodują znacznie większe odchylenie toru jego ruchu. Ma to szczególne znaczenie w przypadku strumienia kumulacyjnego, którego fragmenty są rozdrobnione w sposób zupełnie przypadkowy. Wpływ kasety z kolumną wodną na strumień kumulacyjny przedstawia Rys. 13. Ze względu na małą gęstość tego typu materiałów możliwe jest tworzenie bardzo efektywnych masowo pancerzy. Niestety ich efektywność objętościowa jest bardzo niska, co powoduje, że ich praktyczność w przypadku pojazdów jest bardzo ograniczona. Mogą one bowiem być stosowane tylko w przypadku takich pojazdów, które nie mają ograniczeń co do wymiarów. Przykładem są tu niedawne próby wychwytywania mikrometeoroidów wokół statków kosmicznych przy pomocy bloków aerogelu, będącego właściwie pianką szklaną. W tym przypadku zastosowanie aerogelu ma tą dodatkową zaletę, że penetratory nie są niszczone lecz zatrzymywane wewnątrz bryły. Oznacza to, że oprócz ochrony wrażliwych elementów pojazdu, można również poznać naturę samych penetratorów.

W przypadku pojazdów lądowych tego typu materiały mają jednak mniejsze znaczenie. Może ono być zwiększone przez wykorzystanie innych zalet niektórych z pośród nich. Dla przykładu materiały zawierające duże ilości wodoru stanowią doskonałą ochronę

przeciw promieniowaniu neutronowemu. Ze względu na efekty kwantowe neutrony (np. wyemitowane w czasie wybuchu bomby neutronowej) mogą przekazać swoją energię tylko obiektom o zbliżonej masie np. protonom lub atomom wodoru. Biorąc zaś pod uwagę brak ładunku elektrycznego, oznacza to, że strumień neutronów będzie w stanie przeniknąć przez każdy pancerz nie zawierający wodoru. Wyhamowany zostanie dopiero w organizmie człowieka chroniącego się za pancerzem. Spowoduje to natychmiastową śmierć przez poparzenie całego organizmu włącznie z organami wewnętrznymi. Jeśli natomiast pancerz jest osłonięty warstwą wody lub innych związków zawierających wodór, to strumień neutronów może zostać przez nie wyhamowany, i stracić swoją szkodliwość. Szczególne znaczenie mają tu węglowodory, jako że dodatkowo mogą pełnić rolę materiału wybuchowego w pancerzach reaktywnych ERA. Z tych względów niektórzy producenci pojazdów bojowych umieszczają, lub rozważają umieszczenie zbiorników paliwa na zewnątrz pojazdu. Przykładem może tu być szwedzki czołg Strv 103, w którym kanistry z paliwem osłaniają częściowo boki kadłuba, koła i gąsienice.

8. PODSUMOWANIE

Rys. 14 przedstawia porównanie własności ochronnych niektórych z prezentowanych powyżej rodzajów pancerzy. Można na nim zaobserwować zdumiewająco dobre własności takich materiałów jak granit, szkło, woda, czy też tworzywa sztuczne.



Rys. 14. Porównanie efektywności przekładek z różnych materiałów. (TDW)

Na rysunku tym można zaobserwować również mniejszą penetrację resztkową po przejściu przez próbkę pancerza kompozytowego, niż po przejściu przez próbkę pancerza pęczniącego, mimo, że zdjęcie rentgenowskie potwierdza większą zdolność do tworzenia warg przez pancerz pęczniący. Obserwację tą można wyjaśnić faktem, że własności ochronne pancerza kompozytowego wynikają z połączonych efektów zasłaniania krateru przez wargi i zasypywania go odłamkami materiału przekładki. Przekładka elastyczna tego drugiego efektu nie zapewnia.

9. LITERATURA

- [1] HELD M.: Materiały ze szkolenia “Survivability of Armoured Vehicles”, RMCS, Cranfield University, 5-7.03.2001.
- [2] OGORKIEWICZ R.M.: Materiały ze szkolenia “Survivability of Armoured Vehicles”, RMCS, Cranfield University, 5-7.03.2001.
- [3] HELD M.: „Phenomenological Description of the Function of Shaped Charges”, Journal of Explosives and Propellants, R.O.C., Taiwan, 7, 1-7.1991.
- [4] CULLIS I.G., LYNCH N.J.: “Performance of Model Scale Long Rod Projectiles Against Complex Targets over the Velocity Range 1700-2200 m/s”, Int. J. Impact Engng. Vol.17.pp.263-274, 1995.
- [5] Materiały firm: EADS, DaimlerChrysler Aerospace, Deutsche Aerospace, Rheinmetall, MBB.

10. PODZIĘKOWANIA

Autor składa podziękowania prof. dr Manfredowi Heldowi z EADS Daimler Chrysler Aerospace TDW dr Schrobenhausen za udostępnienie materiałów dzięki którym mogła powstać niniejsza publikacja.

PASSIVE ARMOUR

Abstract: The paper discusses principles of operation of the main types of passive armour. The paper is based on “Survivability of Armoured Vehicles” training materials.

Recenzent: dr inż. Roman BOGUCKI