

Streszczenie rozprawy doktorskiej pt.:

ANALIZA I MODELOWANIE ODPORNOŚCI NA PRZEBICIE OKRĘTOWYCH KONSTRUKCJI OSŁONOWYCH

mgr. inż. Radosława KICIŃSKIEGO

Newralgiczne konstrukcje stałe, budowle czy jednostki pływające powinny być zabezpieczone przed przebicciem pociskiem małokalibrowym, poczynając od kalibru 7,62 mm, który jest popularnie stosowany na świecie. Takim modernizacjom winny być poddane okręty, z przeznaczenia przygotowane do ostrzału i odpowiedniej odporności na przebiccie pociskiem konstrukcji nadbudówek czy nawodnej części kadłuba. Rzeczywistość wskazuje, że niektóre okręty nie spełniają tych założeń poczynając od głównych stanowisk dowodzenia na komarach amunicyjnych kończąc. Mając na uwadze manewrowość i stateczność jednostek pływających, na które wpływ ma ciężar jednostki w pracy podjęto próbę optymalizowania grubości blach zastosowanych do osłony konstrukcji okrętowej, poprzez opracowanie metodyki weryfikacji kuloodporności nowatorskich rozwiązań.

Głównym celem pracy jest analiza możliwości projektowania konstrukcji osłonowych odpornych na przebiccie pociskiem małokalibrowym z wykorzystaniem metody elementów skończonych (MES), poprzez postawienie hipotezy, że symulacja numeryczna procesu szybkozmiennego – przebiccie pancerza pociskiem w połączeniu z eksperymentem poligonowym, umożliwi projektowanie dowolnych konstrukcji osłonowych do stosowania w okrętownictwie. Do badań i opracowania metodyki, polegającej na wyznaczaniu odporności balistycznej (na przebiccie) materiałów i konstrukcji współczesnych, nowo budowanych okrętów wytypowano stal 1.3964 stanowiącą poszycie takich okrętów. W pracy podjęto także zagadnienia związane ze wskazaniem innowacyjnych rozwiązań konstrukcyjnych, uniwersalnych w zastosowaniu, zapobiegających przebiciu konstrukcji pociskiem małokalibrowym.

Praca składa się z dwunastu rozdziałów. Rozdział pierwszy jest wprowadzeniem, które przedstawia obecny stan zagrożenia terrorystycznego atakiem nie tylko jednostek pływających, ale także innych ważnych obiektów strategicznych. Wskazuje na potrzebę modyfikowania lub budowania konstrukcji osłonowych, która zabezpieczą załogi okrętowe lub ważne obiekty przed zniszczeniem w wyniku ostrzału, którego źródłem może być atak terrorystyczny lub zaplanowane działanie militarne.

W rozdziale drugim przedstawiono cel pracy, cele pomocnicze oraz hipotezy. Zakładają one, że jest możliwe projektowanie konstrukcji osłonowych odpornych na przebicie pociskiem małokalibrowym z wykorzystaniem CAE (Computer Aided Engineering). Wykonując analizę z wykorzystaniem parametrów i procesów szybkozmiennych programem CAE, które w połączeniu z eksperymentem poligonowym pozwolą wyznaczyć odporność dowolnej konstrukcji z danego materiału na przebicie pociskiem małokalibrowym. Celem pomocniczym jest wyznaczenie wpływu wody jako czynnika pośredniego między blachami przestrzelwanej konstrukcji.

Rozdział trzeci przedstawia charakterystykę i wykorzystanie technik wspomaganych komputerowo do rozwiązywania zagadnień inżynierskich. Skoncentrowano się metodzie elementów skończonych (MES), która pozwala na zastąpieniu ciągłego modelu układu mechanicznego modelem dyskretnym o prostym opisie matematycznym, który przyjmuje postać układu równań różniczkowych lub algebraicznych. W tym rozdziale opisano zalety i wady tych technik i zaproponowano, po dogłębnej analizie literatury, wybór sposobu obliczenia zjawisk udarowych towarzyszących przebiciu materiału pociskiem.

Rozdział czwarty opisuje zasady tworzenia zadań inżynierskich do możliwych do rozwiązania za pomocą technik CAx. Przedstawia możliwości zastosowań uproszeń modelu obliczeniowego. Przedstawia algorytm postępowania podczas tworzenia zadania inżynierskiego. Każde rozpatrywane zadanie z wykorzystaniem MES rozpoczyna się od dokładności odwzorowania obiektu, właściwego doboru stałych materiałowych, przyjętych warunków brzegowych i charakteru obciążenia. W niniejszym rozdziale przybliżono teorię niezbędną do rozwiązywania zadań z wykorzystaniem MES, poczynwszy od uproszczeń modelu, a na nieliniowych charakterystykach materiałowych kończąc.

W kolejnym rozdziale zaprezentowano modele obliczeniowe odporności balistycznej konstrukcji stalowych. Zebrano wybrane rozwiązania analityczne, a także przedstawiono przybliżone rozwiązanie dla badanej stali zgodnie z przytoczoną teorią.

Szósty rozdział stanowi ostatni rozdział przeglądu literatury przedstawiając wybrany sposób modelowania cieczy w obliczeniach numerycznych. Ciecze penetrowane pociskiem generują opór czołowy zależny od wielu czynników takich jak: gęstość płynu, kształt pocisku, jego prędkość itp. Wykorzystanie metod bezsiatkowych takich jak SPH (ang. smoothed particle hydrodynamics) daje możliwość stosowania równań różniczkowych cząstkowych do numerycznego opisanie mechaniki płynu podczas zjawiska przestrzeliwania.

W kolejnych rozdziałach przedstawiono badania własne zaczynając od wyznaczania stałych materiałowych (na podstawie charakterystyk rzeczywistych wyznaczonych z statycznej próby rozciągania) amagnetycznej (austenitycznej) stali 1.3964. Następnie wykorzystując autorski, uniwersalny algorytm napisany w środowisku MatLab wyznaczone stałe materiałowe do modelu materiałowego Johnson – Cook. Opisano także badania poligonowe polegające na przestrzeliwaniu próbek stalowych pociskiem małoskalibrowym 7,62 ŁPS w różnych układach i konfiguracjach. Przedstawiono wyniki dla blachy pojedynczej, litej, dzielonej w tej samej grubości, dzielonej oddalonej od siebie, oddalonej od siebie i zalanej cieczą. Na podstawie badań przestrzeliwania dobrano kryterium zniszczenia Johnson – Cook do modelu, które przyjęto do dalszych obliczeń.

W kolejnym podrozdziale pracy przedstawiono zagadnienia związane z modelowaniem pocisku w ujęciu MES. Przedstawiono różnicę pomiędzy przebiciem pociskiem wykonanym (zamodelowanym) jako ciało doskonale elastyczne, elastyczne z nieliniową plastycznością oraz z kryterium zniszczenia. Rozdział przedstawia także analizę i porównanie otrzymanych wyników badań stałych materiałowych i wyników przestrzeliwania małoskalibrowym pociskiem prostego układu stali z wybranym kryterium zniszczenia, w porównaniu do badań symulacyjnych.

Rozdział ósmy to analiza wrażliwości parametrów wejściowych równania konstytutywnego MES na otrzymywane wyniki. Przedstawiono w jaki sposób dane stałe modeli materiałowych, współczynnik tarcia czy kryteria zniszczenia zmieniają wybrany rezultat obliczeń. Celem tego rozdziału jest zasygnalizowanie możliwości i potrzeb przeprowadzenia analiz wrażliwości w przyszłych pracach związanych z tematem.

Ze względu na różnorodność i nieograniczoną ilość możliwych do zaprojektowania konstrukcji w rozdziale dziewiątym przedstawiono wpływ kąta padania pocisku oraz rykoszetowania. Przybliżono teorię rykoszetu, a także przedstawiono badania poligonowe, które zestawiono z symulacjami. Zagadnienia przedstawione w tym rozdziale ułatwiają zrozumienie zachowania się pocisku po zjawisku rykoszetu, a także pozwalają na wyznaczenie kąta krytycznego badanej stali.

Badania poligonowe próbek stali ostrzeliwanej w różnorodnych konfiguracjach pozwoliły na wyznaczenie metodyki, która pozwoli na ocenę odporności na przebicie praktycznie dowolnej konstrukcji osłonowej. Zadowalająca zgodność wyników poligonowych i symulacji MES w procesach przebijania stali 1.3964 pociskiem małoskalibrowym pozwoliła na wstępną ocenę kuloodporności prototypowych osłon z wykorzystaniem łączników usytuowanych

pod różnym kątem i układem w stosunku do łączonych blach. W rozdziale przedstawiono m.in. łączniki w postaci klepsydry, „plastra miodu” czy wstawek rykoszetujących, mających zwiększyć odporność na przebicie całej konstrukcji. Wykonanie niektórych projektów może być pracochłonne lub wręcz niemożliwe, jednak przedstawiona w pracy metodyka pozwala na wstępną ocenę skuteczności rozważanych idei.

Kontynuacją tego rozdziału jest kolejny, jedenasty rozdział, w którym do wybranego układu stali i łączników wprowadzono wodę jako kolejny element zwiększający odporność na przebicie. Badania przestrzeliwania próbek z wypełnieniem wodnym oraz wykorzystanie metody SPH pozwoliły na określenie wpływu wody na kuloodporność konstrukcji. Wpływa to na większą niezawodność osłon oraz większą odporność przed nieprzewidzianym torem lotu pocisku.

Dysertację kończy rozdział dwunasty zawierający wnioski z badań oraz potwierdzenie hipotezy. Podsumowując, w pracy przedstawiono wyniki badań przebijalności wybranej stali okrętowej w różnych innowacyjnych rozwiązaniach i układach konstrukcyjnych. Przeprowadzono badania symulacyjne w szerokim zakresie dla poszczególnych rozwiązań konstrukcyjnych, z wykorzystaniem stałych materiałowych badanej stali. Model matematyczny (symulacyjny) uzyskał potwierdzenie w badanych rzeczywistych, poligonowych przy akceptowalnych różnicach wyznaczonych dla parametrów przestrzeliwania. Przedstawiono innowacyjne rozwiązania, zwiększające odporność na przebijanie pociskiem małokalibrowym z wykorzystaniem wody i połączeń dystansowych usytuowanych pod określonym kątem. Cele oraz hipotezy zrealizowano poprzez studia literatury, przeprowadzenie badań, eksperymentów i symulacji numerycznych, co pozwoliło na zaproponowanie metodyki umożliwiającej projektowanie oraz weryfikację kuloodporności osłon okrętowych odpornych na przebicie pociskiem małokalibrowym.