

NUMERICAL MODEL OF BULLET – BARREL SYSTEM

Jacek Łazowski, Jerzy Małachowski, Tadeusz Niezgoda

Military University of Technology
ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2 St., 00-908 Warszawa 49, Poland
tel.: +48 22 683 96 83, fax: +48 22 683 94 61
e-mail: j.lazowski@wme.wat.edu.pl

Abstract

Currently the design process for armament equipment mostly employs very known and traditional analytical methods. But in many cases this kind of approach is not sufficient and effective, especially for gun parameters related with impact resistance. Very crucial for proper dynamic bullet movement in the barrel are geometric dimensions. In the contact areas between a bullet and a barrel appear some thermo-mechanical phenomena. Additionally, the cooperation process between these two components is encumbered because of the asymmetry caused by the inaccuracy of production process and the inhomogeneity of used materials. Finally, the mentioned reasons produce some unwanted effects like: bullet and barrel vibrations, problems with friction phenomena, etc. In such situations, the typical engineering approach in design process is unable to take into considerations all such local and very complex effects. Therefore, this paper presents is a trial of numerical methods application, which allow perform full analysis process of interaction between bullet and barrel. The models of these two bodies were developed using FE method. The numerical calculations were performed using LS-DYNA code. The main goal of the research was focused on contact problem. In the paper authors enclosed the initial results of the dynamic simulations.

Keywords: barrel, bullet, numerical modelling

MODEL NUMERYCZNY UKŁADU LUFA – POCISK

Streszczenie

Aktualnie, projektowanie uzbrojenia w dużej mierze opiera się na metodach analitycznych, które nie pozwalają na znaczną poprawę parametrów broni w zakresie odporności udarowej. Szczególnie istotna jest analiza dynamiki dla ruchu pocisku w lufie na stożku przejściowym i ustalenie optymalnych parametrów procesu. Na styku lufy i pocisku zachodzą bardzo złożone procesy termomechaniczne. Oddziaływanie to powoduje powstawanie na powierzchni styku ciał ciepła a w konsekwencji zmian właściwości mechanicznych. Dodatkowo charakter współpracy obu ciał obarczony jest często brakiem symetrii wynikającym między innymi z niedokładności wykonania elementów, nieodpowiednim osadzeniem pocisku w lufie oraz niejednorodnością materiałów. W skutek takiej złożoności zjawisk, której konsekwencją są np. zmienność współczynnika tarcia czy również drgania pocisku i lufy, ogólne analityczne wyznaczanie stanów naprężeń i stanów krytycznych w sposób ścisły jest niemożliwe. Jedyną skuteczną metodą może być w tym przypadku modelowanie numeryczne. W pracy przedstawiono próbę analizy stanu wyężenia powstającego podczas szybkozmiennych procesów w trakcie współpracy pocisku z lufą. Przedstawiono model numeryczny obiektów i zaprezentowano wyniki analizy w formie planów warstwicznych. Narzędziem zastosowanym do analizy był pakiet obliczeniowy LS-DYNA umożliwiający symulacje w zakresie nieliniowym z jawnym krokiem całkowania.

Słowa kluczowe: lufa, pocisk, modelowanie numeryczne

1. Wstęp

Przyrost zainteresowania komputerowym modelowaniem obiektów w warunkach udaru. Szczególnie ważne jest przewidywanie stanów obiektów w zagadnieniach dynamicznych takich jak współpraca

pocisku z lufą a w dalszej perspektywie oddziaływania broni na strzelca. Modelowanie komputerowe może istotnie przyczynić się do zmniejszenia kosztów projektowania dynamicznie współpracujących układów. Okazuje się, że w przypadku pocisków lokalne stany naprężeń mogłyby mieć wpływ na pewne cechy konstrukcyjne. Np. pocisk z lufą współpracuje przy dużych obciążeniach w stosunku do możliwości wytrzymałości materiału i łatwo może ulec zniszczeniu przy niewielkim zwiększeniu ciśnienia działającego na dno pocisku. W tej sytuacji numeryczna analiza szybkozmiennej dynamiki układu mechanicznego może znacząco skrócić czas i zmniejszyć koszty prowadzonych badań, co mogłoby mieć wpływ na bardziej precyzyjny proces projektowania pocisku.

2. Model współpracy układu lufa pocisk w warunkach udaru

Coraz powszechniej używane metody numeryczne mogą być dobrym uzupełnieniem dotychczas stosowanych metod analitycznych, szczególnie w zagadnieniach odporności udarowej w układzie lufa pocisk. Silne gradienty naprężeń podczas współpracy obiektów, które tworzą się na skutek ruchów oscylacyjnych oraz działania szybkozmiennego obciążenia, mogą być przyczyną zniszczenia konstrukcji. Wydaje się więc, że podejście numeryczne oceny Może przyczynić się do identyfikacji niewrażliwych miejsc i zapobiegania ich niszczeniu w czasie pracy.

2.1 Model konstytutywny materiału

Do symulacji odporności udarowej konstrukcji lufy podczas procesu współpracy został zaproponowany sprężysto plastyczny model konstytutywny materiału. W przyjętym obszarze obciążeń model ten dość dobrze opisuje zachowanie się lufy w rozpatrywanym zakresie naprężeń sprężystych. Składowe tensora naprężenia, definiowane przez uogólnione prawo Hooke'a, po zróżniczkowaniu w sensie Zaremby-Jaumann'a, przyjmują następującą postać [6,7]:

$$\overset{\nabla}{\sigma}_{ij} = \lambda \overset{\bullet}{\varepsilon}_{ll} \delta_{ij} + 2\mu \overset{\bullet}{\varepsilon}_{ij}, \quad (1)$$

natomiast składowe dewiatora tensora naprężenia można zdefiniować jako:

$$\overset{\nabla}{S}_{ij} = 2\mu \left(\overset{\bullet}{\varepsilon}_{ij} - \frac{1}{3} \overset{\bullet}{\varepsilon}_{ll} \delta_{ij} \right), \quad (2)$$

gdzie:

- $\overset{\nabla}{\sigma}_{ij}$ - składowe tensora prędkości naprężenia,
- $\overset{\nabla}{S}_{ij}$ - składowe dewiatora tensora prędkości naprężenia ,
- $\overset{\bullet}{\varepsilon}_{ij}, \overset{\bullet}{\varepsilon}_{ll}$ - składowe tensora prędkości odkształcenia,
- δ_{ij} - delta Kronekera,
- $K = 2(\lambda + 2\mu)/3$ - moduł ściśliwości objętościowej.
- λ, μ - parametry Lamego (μ – moduł ścinania).

Symulacja stanów sprężystych i plastycznych w pocisku, występujących podczas współpracy obiektów, realizowana jest przy wykorzystaniu różniczkowej postaci praw zachowania, równań opisujących stan sprężysty i plastyczny zdefiniowany przez warunek Hubera-Misesa-Henckego (HMH). Spełnienie warunku :

$$S_{ij} \cdot S_{ij} > \frac{2}{3} Y^2, \quad (3)$$

gdzie:

Y - są naprężeniami odpowiadającymi granicy plastycznego płynięcia ,

oznacza początek stanu plastycznego materiału pocisku. Przyrosty deformacji trwałej w pocisku wyznacza się z relacji [6,7]:

$$\Delta \varepsilon_{ij}^p = \frac{1}{2\mu} (S'_{ij} - S_{ij}), \quad (4)$$

gdzie:

ε_{ij}^p - składowe tensora odkształceń plastycznych [6,7],

$S'_{ij} = S_{ij} \sqrt{\frac{2}{3}} Y / \sqrt{S_{ij} S_{ij}}$ - składowe naprężenia unormowanych [6,7].

W obszarze deformacji plastycznych pojawia się ciepło, którego wielkość według wielu autorów, np.[8], odpowiada ponad 90 % pracy plastycznej jaka została wykonana w tym obszarze. Ma to duże znaczenie przy ocenie wpływu ruchu pocisku w lufie z uwagi na jej wytrzymałość i trwałość.

2.2 Model kontaktu ciał

Podczas współpracy pocisku i lufy, pocisk przesuwa się wzdłuż lufy z gwintem, który dodatkowo wprawia go w mu ruch obrotowy. Taki charakter zjawiska powoduje, że wartości wielkości fizycznych w węzłach znajdujących się na styku obu ciał wyznaczone są na każdym kroku czasowym za pomocą algorytmu bazującego na funkcji kary. Wartości sił powstające w węzłach na stykach takich ciał są wyznaczone z następującej zależności [1,7]:

$$F = k \cdot g, \quad (5)$$

gdzie:

k - sztywność kontaktowa

g - głębokość wnikania w kontakcie

F - siła występująca na styku

Sztywność kontaktu określona jest formułą [7]

$$k = \frac{C \cdot K \cdot A^2}{V}, \quad (6)$$

gdzie:

C - współczynnik skali,

K - moduł Hemholtza ,

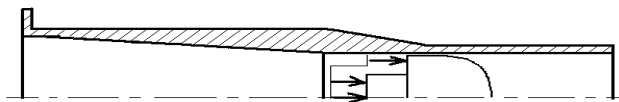
A - powierzchnia styku elementu,

V - objętość elementu.

W analizowanym modelu współpracy przyjęto, że węzły obu ciał równocześnie badają wielkość sił na styku w każdym węźle znajdującym się na współpracujących powierzchniach. Dzięki takiemu podejściu uzyskuje się dużą dokładność rozwiązania.

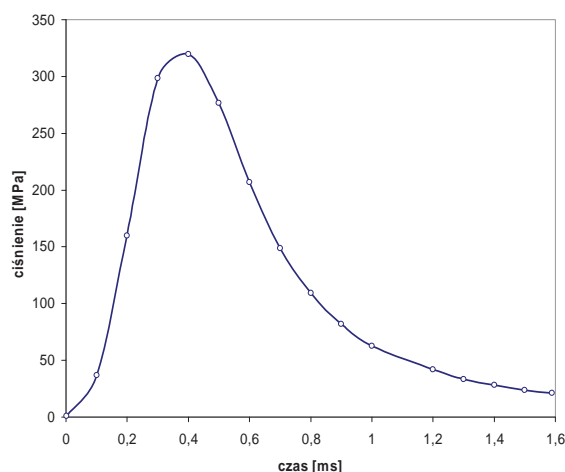
2.3 Model obciążenia

W modelu wykorzystanym w procesie obliczeniowym, na dno obu modeli pocisków działa ciśnienie gazów prochowych zaś ścianki lufy współpracują wyłącznie z pociskiem. Sytuację tę przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Ilustracja modelu obciążenia pocisku współpracującego w lufie
Fig. 1. Schema of a loading for a bullet placed in a barrel

Zmiana ciśnienia w przestrzeni zapociskowej, która powstaje w wyniku spalania się materiału miotającego (prochu) została pokazana na rysunku poniżej



Rys. 2. Przebieg zmian ciśnienia gazów prochowych w mierzony w komorze nabojujowej
Fig. 2. Pressure history of powder burning recorded in a bullet chamber

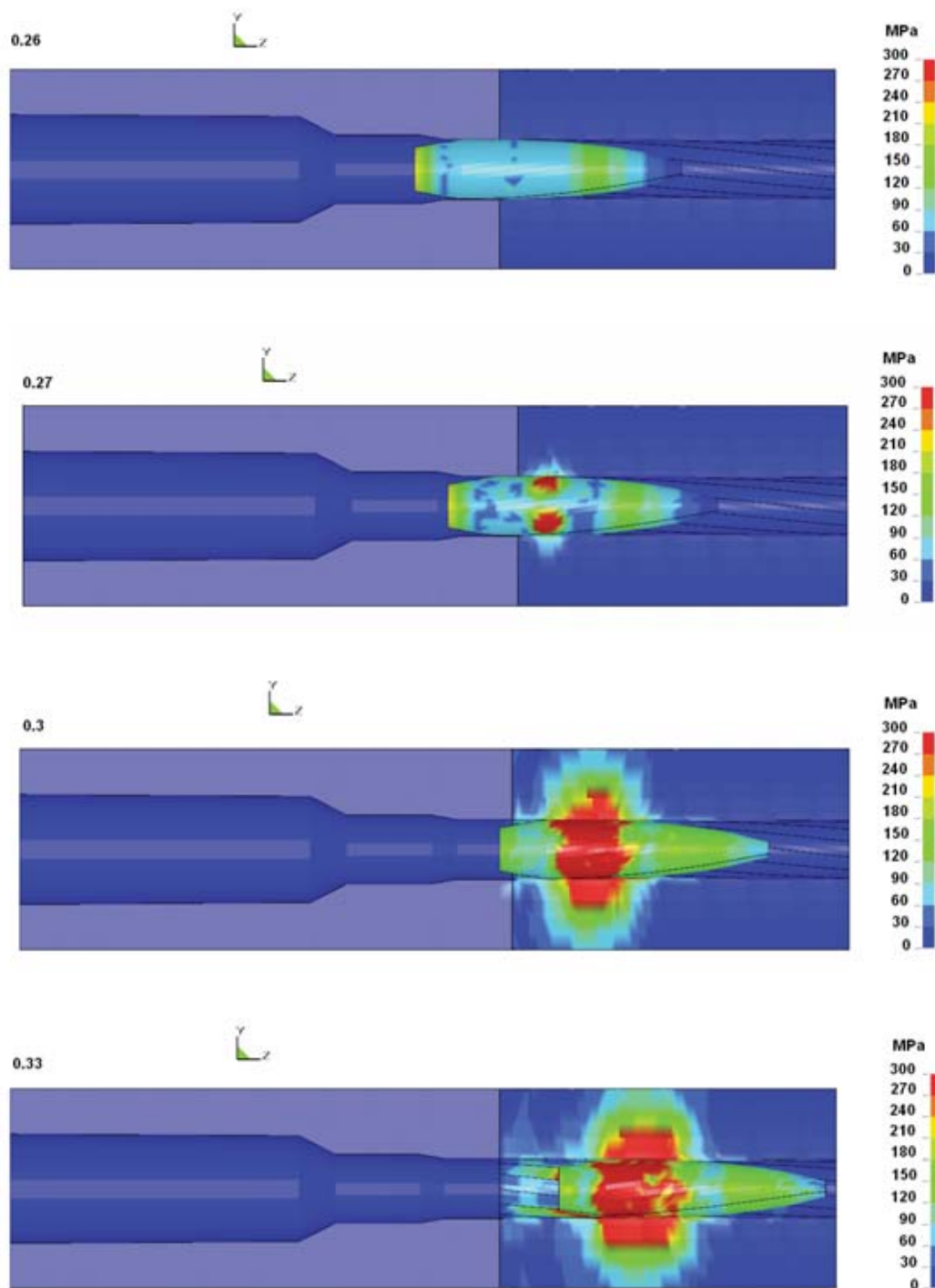
3. Cel i zakres analizy numerycznej

Celem prowadzonych obliczeń było określenie stanu naprężeń w układzie lufa – pocisk w warunkach udaru w obszarze, w którym występuje proces wciskania pocisku w lufę (tj. stożek przejściowy). Otrzymane rozkłady naprężeń wyznaczane wg hipotezy HMM (Huber- Mises- Henky) poddano analizie i podjęto próbę interpretacji wyników. W przedstawionym zadaniu uwzględniono zagadnienie kontaktu ciał, w którym zastosowano model bazujący na funkcji kary [1,7]. Zastosowanym pakietem obliczeniowym był system LS-DYNA umożliwiający obliczenia z jawnym krokiem całkowania (obliczenia typu „explicit”).

4. Analiza wyników

Otrzymane w wyniku numerycznego procesu obliczeniowego rozkłady naprężeń (rys.3) w strefach styku wskazują na ich niejednorodny i zmieniający się stan w trakcie trwania procesu współpracy. W tych strefach można zauważyć silne naprężeń w obiektach powstające w czasie ruchu pocisku w lufie w obszarze, w którym średnica lufy się zmniejsza (stożek przejściowy). Początkowo koncentracje naprężeń powstają w miejscach wstępnego zetknięcia się pocisku i lufy a następnie można zauważyć gwałtowne powiększanie się obszaru o dużych wartościach

naprężeń (powyżej 270 MPa). W miejscach współpracy pocisku i lufy powstają silnie niejednorodne pola odkształceń, które wynikają z niestacjonarnego charakteru współpracy pocisku i lufy.



Rys. 3. Przebieg procesu początkowej fazy współpracy pocisku i lufy. Liczby obok rysunków oznaczają czas w milisekundach

Fig. 3. History of initial co-operation between the bullet and the barrel. Patterns represents different moments for the bullet movement

Duże gradienty naprężeń występujące w pocisku i lufie przy strzale mogą być przyczyną niszczenia konstrukcji nieodpornej na udar np. pęknięcia pocisku w lufie w miejscu podcięcia technologicznego. Widoczne na rys. 3 pola koncentracji naprężeń mogą także świadczyć o

miejscowych zmianach własności warstwy wierzchniej lufy, a tym samym szybszego jej zużycia [5].

5. Podsumowanie

Prezentowana analiza przeprowadzona na podstawie obliczeń odporności udarowej konstrukcji pozwala sformułować następujące wnioski:

- modelowanie numeryczne MES umożliwia przeprowadzenie obliczeń typu „*explicite*” i budowanie złożonych modeli,
- analiza wyników wskazuje na udarowy charakter współpracy pocisku i lufy szczególnie w obszarze stożka przejściowego.
- znajomość rozkładów naprężeń może stanowić podstawę do przewidywania odporności udarowej konstrukcji podczas współpracy pocisku i lufy,
- największe zużycie przewodu lufy broni strzeleckiej, decydujące o jej trwałości, występuje w strefie rozdzielania pocisku i łuski.

Wyniki analizy potwierdziły powstawanie gradientów naprężeń w materiale. W wykonywanych na tym etapie obliczeniach, przyjęty model materiału nie uwzględniał zmian właściwości materiału wynikających z występowania lokalnych efektów termicznych oraz sprzężenia termomechanicznego, w którym ciepło wpływa na wartości stałych materiałowych, a występujące deformacje plastyczne wpływają na stan cieplny ciała. Efekty te wpływają w znaczącym sposób na współpracę pocisku i lufy.

Praca jest realizowana w ramach projektu nr OT00B01429 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- [1] Niezgoda, T., Małachowski, J., Łazowski, J., *Wstępne modelowanie MES współpracy pocisku i lufy karabinu*, IX Konferencja Naukowo-Techniczna „Programy MES w komputerowym wspomaganiu analizy, projektowania i wytwarzania, Giżycko 19-22 października 2005.
- [2] Łazowski, J., Niezgoda, T., Małachowski, J., *Modelowanie numeryczne współpracy pocisku z lufą*, VI Międzynarodowa Konferencja Uzbrojenia „Nowe aspekty techniki uzbrojenia” Waplewo 11-13.10.2006.
- [3] Łazowski, J., Niezgoda, T., Małachowski, J., *Wstępna analiza współpracy pocisku i lufy karabinu za pomocą MES*, Czasopismo naukowo-techniczne „Górnictwo Odkrywkowe” nr 7-8 Rocznik XLVIII Wrocław 2006.
- [4] Kamiński, R., Torecki, S., *Obciążenia cieplne lufy podczas strzału*, VI Międzynarodowa Konferencja Uzbrojenia „Nowe aspekty techniki uzbrojenia” Waplewo 11-13.10.2006.
- [5] Dębski, A., *Badania metalograficzne luf kalibru 5,56 mm po próbach trwałościowych*, VI Międzynarodowa Konferencja Uzbrojenia „Nowe aspekty techniki uzbrojenia” Waplewo 11-13.10.2006.
- [6] Jach, K., *Komputerowe modelowanie dynamicznych oddziaływań ciał metodą punktów swobodnych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
- [7] Hallquist, J. O., *LS-DYNA Theoretical manual*, Livermore Software Technology Corporation, May 1998.
- [8] Hashimi, M. S. J., High strain rate properties of an aluminium alloy and high purity copper at room temperature, Report Dept. Of City Polytechnic, Sheffield, England, 1987.