



Wpływ rozmieszczenia lotek na wyężenie korpusu 35 mm pocisku typu szrapnel*

Zdzisław LINDEMANN, Jolanta ZIMMERMAN

*Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Produkcji, Instytut Mechaniki i Poligrafii,
ul. Narbutta 85, 02-524 Warszawa
e-mail: rl@wip.pw.edu.pl, jolz@wip.pw.edu.pl*

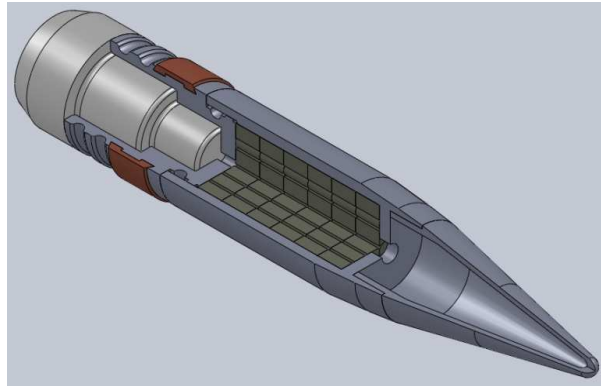
Streszczenie. W pracy badano wpływ rozmieszczenia lotek szrapnelowych na wytrzymałość korpusu pocisku. Do obliczeń rozkładu naprężeń w korpusie zastosowano metodę elementów skończonych. Przedstawiono cztery warianty ułożenia podpocisków: kołowo symetryczne i wielokątne. Wyniki obliczeń wyężenia korpusu przedstawiono dla wybranych wariantów ułożenia bez lotki centralnej. Wywołane oddziaływaniem lotek podczas ruchu obrotowego pocisku, naprężenia zredukowane w pobliżu powierzchni kontaktu przekraczają granicę plastyczności materiału korpusu od 36 do 56% (dla różnych wariantów). Ten stan naprężenia należy uwzględnić przy modelowaniu zjawiska rozczalenia pocisku.

Słowa kluczowe: mechanika, MES, pocisk, szrapnel

1. WSTĘP

Pocisk szrapnelowy, schematycznie przedstawiony na rys. 1, zawiera w sobie pewną liczbę lotek szrapnelowych (podpocisków) w formie krótkich walców z wolframu.

* Artykuł był prezentowany na VIII Międzynarodowej Konferencji Uzbrojeniowej nt. „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia i bezpieczeństwa”, Pułtusk, 6-8 października 2010 r.



Rys. 1. Schemat pocisku szrapnelowego

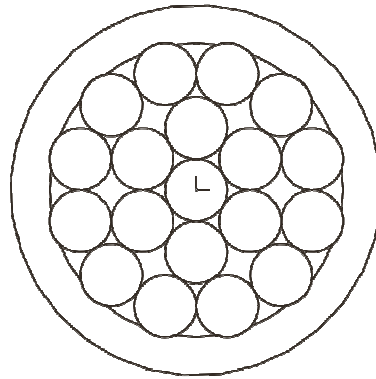
Fig. 1. Shrapnel projectile scheme

Od geometrii rozmieszczenia lotek w przekroju poprzecznym pocisku zależy ich średnica, całkowita masa pakietu podpocisków oraz sposób rozczalania korpusu pocisku podczas uwalniania szrapneli. Rozmieszczenie lotek może również wpływać na celność pocisku. Od rodzaju kontaktu lotek z korpusem (liniowy czy powierzchniowy) zależy wielkość koncentracji naprężeń.

2. GEOMETRIA ROZMIESZCZENIA LOTEK

Geometria rozmieszczenia lotek może być kołowo symetryczna lub tworzyć strukturę wielokątną. W obu przypadkach w osi pocisku może być centralnie położona lotka lub pustka. Średnice lotek w 35 mm pocisku mogą wynosić od około 4,5 do 6 mm i ułożone są z reguły w 8 lub 9 rzędach. Na rys. 2 pokazano kołowo symetryczne rozmieszczenie lotek, z lotką położoną centralnie. W przekroju poprzecznym znajduje się 19 lotek o średnicy 5,8 mm.

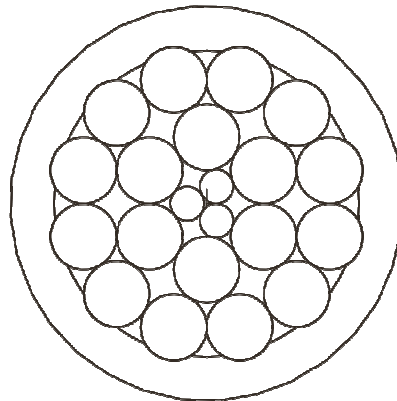
Układ z lotką centralną zapewnia lepsze upakowanie i w konsekwencji większą masę pakietu lotek. Wadą takiego ułożenia jest powstawanie luzów wokół lotki centralnej, podczas wirowania pocisku. W rezultacie może nastąpić przesunięcie środka ciężkości pocisku z osi wzdłużnej i pogorszenie jego celności. Miejscowe osłabienie ścianki korpusu sprzyja jego defragmentacji podczas uwalniania lotek. W układach kołowo symetrycznych korpus jest osłabiony w dwunastu przekrojach, w miejscach gdzie wykonane są podcięcia pod stykające się z nim lotki.



Rys. 2. Układ kołowo symetryczny z lotką centralną

Fig. 2. Circular and symmetrical system with central aileron

Ułożenie lotek przedstawione na rys. 3 jest również kołowo symetryczne, a lotkę centralną zastąpiono trzema lotkami o mniejszej średnicy $d = 3$ mm. W rozwiązaniu tym mamy nieco gorsze upakowanie lotek, ale nie ma problemu powstawania luzu podczas wirowania. W przekroju poprzecznym znajduje się 18 lotek o średnicy 5,8 mm i 3 lotki o średnicy 3 mm.



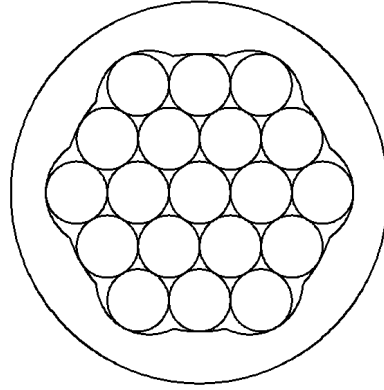
Rys. 3. Układ kołowo symetryczny bez lotki centralnej

Fig. 3. Circular and symmetrical system without central aileron

Rysunek 4 prezentuje strukturę wielokątną z lotką centralną. Układ składa się z 19 lotek o średnicy 5,64 mm. Korpus pocisku jest osłabiony w sześciu przekrojach, a zróżnicowanie grubości ścianki jest większe niż w układach kołowo symetrycznych. W tym rozwiązaniu promień krzywizny podcięcia korpusu jest znacznie większy od promienia lotki, czyli mamy do czynienia ze stykiem liniowym.

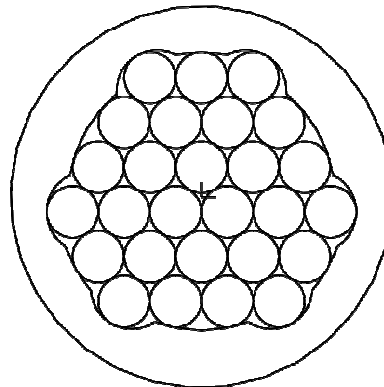
W dwóch pierwszych układach zastosowano styk powierzchniowy (zgodność promieni podcięcia korpusu i lotki) – rozwiązanie takie zmniejsza lokalną koncentrację naprężeń.

Na rysunku 5 pokazano strukturę wielokątną składającą się w przekroju poprzecznym z 27 lotek o średnicy 4,7 mm. W układzie tym nie ma lotki centralnej. Korpus osłabiony jest podobnie jak poprzednio w sześciu przekrojach. Układ ten ma najmniejsze upakowanie lotek w porównaniu z poprzednimi wariantami.



Rys. 4. Układ wielokątny z lotką centralną

Fig. 4. Polygon system with central aileron



Rys. 5. Układ wielokątny bez lotki centralnej

Fig. 5. Polygon system without central aileron

W tabelicy 1 zestawiono właściwości geometryczne zaprezentowanych rozwiązań ułożenia lotek szrapnelowych. Sumaryczne pole przekroju lotek jest miarą ich upakowania.

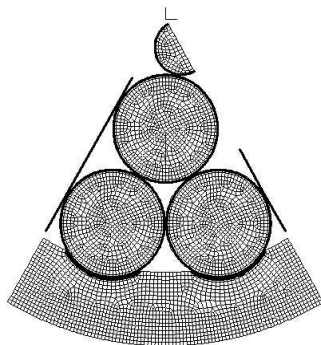
TABLICA 1. Charakterystyki geometryczne ułożenia lotek szrapnelowych

TABLE 1. Geometrical parameters of shrapnel aileron packing

Układ lotek	Lotka centralna	Liczba lotek	Średnica lotki [mm]	Sumaryczne pole przekroju [mm ²]
Kołowo symetryczny	tak	19	5,8	502
	nie	21	5,8 / 3	496,8
Wielokątny	tak	19	5,64	474,7
	nie	27	4,7	468,4

3. OBLICZENIA NUMERYCZNE

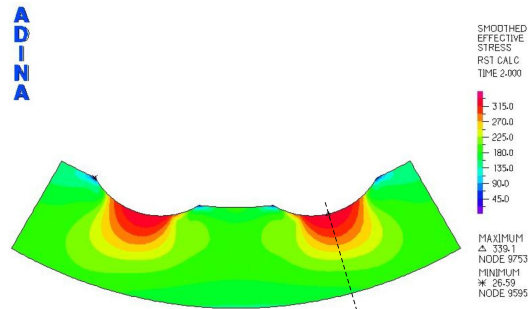
Pocisk podczas lotu wiruje z prędkością kątową 6840 radianów na sekundę. Ruch obrotowy wywołuje siły odśrodkowe dociskające lotki do korpusu pocisku, co powoduje w nim określone naprężenia. Wyznaczenie rozkładu tych naprężeń wykonano numerycznie metodą elementów skończonych, stosując program MES ADINA 8.6. Zbudowano modele obliczeniowe z wykorzystaniem płaszczyzn symetrii układów w celu ograniczenia liczby elementów i powierzchni kontaktu. Obliczenia przeprowadzono na modelach 2D w płaskim stanie odkształcenia. Zastosowano opcję kontaktu między sąsiadującymi lotkami i korpusem. Przyjęto materiał z nieliniowym umocnieniem powyżej granicy plastyczności: dla lotek o właściwościach wolframu i dla korpusu odpowiadający właściwościom stopu aluminium o granicy plastyczności $R = 250$ MPa. Przykładowy model dla układu osiowo symetrycznego pokazano na rysunku 6. Stanowi on jedną szóstą część całego przekroju poprzecznego.



Rys. 6. Model obliczeniowy z widoczną siatką elementów. Pogrubione linie oznaczają powierzchnie kontaktu

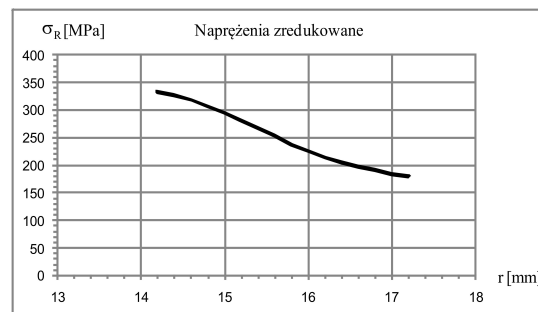
Fig. 6. Computational model with visible mesh of elements. Thicken lines represent contact surfaces

Poniżej przedstawiono wyniki obliczeń dla układu osiowo symetrycznego bez lotki centralnej. Na rys. 7 pokazano poziomicę naprężeń zredukowanych działających w korpusie pocisku. W pobliżu powierzchni kontaktu z lotką naprężenia zredukowane znacznie przekraczają granicę plastyczności i wynoszą 339 MPa. Rysunek 8 przedstawia wykres naprężeń zredukowanych wzdłuż linii promieniowej biegnącej w środkowej części przewężenia korpusu (linia przerywana na rys. 7). Wyniki obliczeń dla układu wielokątnego w identyczny sposób pokazują rysunki 9 i 10. Dodatkowo rys. 11 przedstawia wykres naprężeń zredukowanych wzdłuż linii promieniowej w przypadku, gdy styk z lotką jest powierzchniowy, czyli promień podcięcia korpusu równy jest promieniowi lotki.



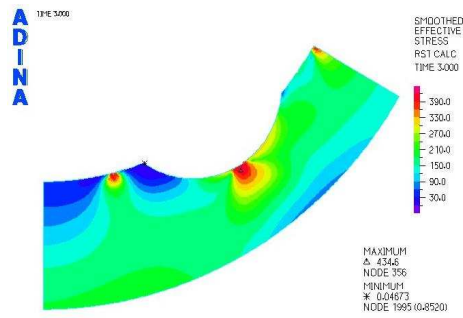
Rys. 7. Poziomicę naprężeń zredukowanych (hipoteza Hubera). Układ lotek osiowo symetryczny

Fig. 7. Bands of equivalent stresses (Huber's theory). Circular and symmetrical system of aileron



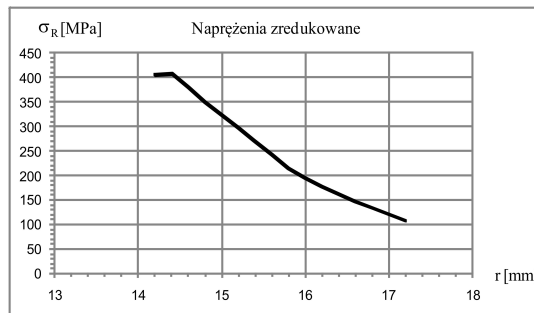
Rys. 8. Przebieg naprężeń zredukowanych wzdłuż linii promieniowej biegnącej w środku przewężenia korpusu (układ osiowo symetryczny)

Fig. 8. Course of equivalent stresses along the radius line in the centre of the body narrowing (circular and symmetrical system)



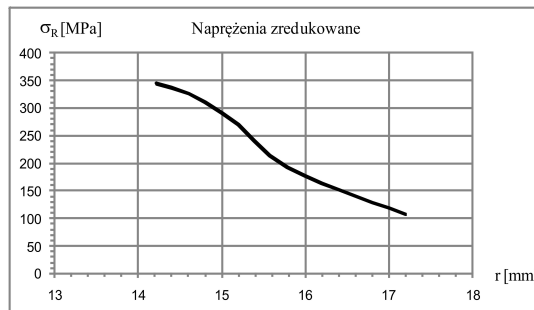
Rys. 9. Poziomice naprężen zredukowanych (hipoteza Hubera). Układ wielokątny

Fig. 9. Bands of equivalent stresses (Huber's theory). Polygon system



Rys. 10. Przebieg naprężen zredukowanych wzdłuż linii promieniowej biegnącej w środku przewężenia korpusu (układ wielokątny)

Fig. 10. Course of equivalent stresses along the radius line in the centre of the body narrowing (polygon system)



Rys. 11. Przebieg naprężen zredukowanych wzdłuż linii promieniowej (układ wielokątny) przy powierzchniowym styku z lotką

Fig. 11. Course of equivalent stresses along the radius line (polygon system) at surface contact with aileron

Styk liniowy lotki z korpusem zwiększa maksymalne naprężenia w miejscu kontaktu o około 90 MPa w porównaniu ze stykiem powierzchniowym.

Pokazane na wykresach przebiegi naprężeń zredukowanych świadczą o tym, że dla obu rozwiązań strefa przekroczenia granicy plastyczności sięga do połowy grubości przekroju ścianki korpusu pocisku.

4. WNIOSKI

- Układ z lotką położoną centralnie zapewnia lepsze upakowanie, ale luz powstający wokół takiej lotki przy wirowaniu pocisku może powodować przesunięcie środka ciężkości pocisku z jego osi wzdłużnej i mieć negatywny wpływ na celność.
- Układy wielokątne bardziej niż kołowo symetryczne różnicują grubość ścianki korpusu pocisku, co może pomagać przy rozcalaniu, ale dają mniejsze upakowanie lotek.
- Ukształtowanie korpusu z układem wielokątnym powoduje na kierunku promieniowym prawie dwukrotnie większy gradient zmiany naprężeń niż dla układu kołowo symetrycznego.
- Naprężenia wywołane oddziaływaniem lotek podczas ruchu obrotowego pocisku powodują w jego korpusie stan naprężenia, który w wybranych strefach znacznie przekracza granicę plastyczności i powinien być uwzględniany przy modelowaniu zjawiska rozcalania pocisku.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2011 jako projekt rozwojowy nr O R00 0019 08

The Influence of Sub-Projectiles Arrangement on Body Strength of 35 mm Shrapnel Projectile

Abstract. The subject of the paper is the investigation of shrapnel arrangement influence on projectile housing strength. The finite element method was used to calculate the distributions of stress in the missile body. The four alternative designs of sub-projectiles lay-out were presented: circular-symmetric and polygonal. The numerical calculation of body strength was presented for the chosen arrangements without central sub-projectile. The equivalent stress which was generated by sub-projectiles interaction during rotation of the projectile near the contact surface exceeded the yield point of material body by 36% to 56% (for different versions). This stress state should be taken into consideration during modelling of the ammunition disassembly phenomena.

Keywords: mechanics, FEM, projectile, shrapnel