

WSTĘPNE MODELOWANIE ODDZIAŁYWANIA FALI CIŚNIENIA NA PÓLSFERYCZNY ELEMENT KOMPOZYTOWY O ZMIENNEJ GRUBOŚCI

Robert PANOWICZ

Danuta MIEDZIŃSKA

Tadeusz NIEZGODA

Wiesław BARNAT

Wojskowa Akademia Techniczna, Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej
kmiis@wat.edu.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono wstępne wyniki modelowania oddziaływania fali ciśnienia powstałej z detonacji 100 g TNT na element kompozytowy o zmiennej grubości. Spowodowało to zmianę sztywności rozpatrywanego elementu. Związane z tym są również zmiany w zachowaniu obiektu poddanego dynamicznemu obciążeniu. Widoczne są charakterystyczne dla materiału kompozytowego linie pęknięć. Stopień zniszczenia elementu zależy od jego grubości.

Zmieniając parametry geometryczne rozpatrywanego obiektu możemy sterować procesem jego niszczenia.

1. Wprowadzenie

Jednym z ważniejszych współczesnych problemów badawczych jest zwiększanie odporności stacjonarnych i różnorodnych mobilnych obiektów wojskowych i cywilnych na działanie fali ciśnienia wywołanej wybuchem lub na uderzenie ciała stałego. Prace w tej dziedzinie są intensywnie prowadzone w wielu, nie tylko wojskowych, ośrodkach badawczych, przede wszystkim z powodu zagrożenia atakami terrorystycznymi.

Jednym z rodzajów materiałów, które znajdują coraz szersze zastosowanie w różnorodnych konstrukcjach, są kompozyty. Głównymi zaletami tych materiałów są wysoka wytrzymałość, specyficzne mechanizmy niszczenia, lekkość i niepalność, czego skutkiem jest wysoka względna energia absorpcji.

W Katedrze Mechaniki i Informatyki Stosowanej Wojskowej Akademii Technicznej prowadzone są badania nad strukturami kompozytowymi chroniącymi przed falą ciśnienia pochodzącą z detonacji materiału wybuchowego.

W poniższej pracy przedstawiono wstępne wyniki modelowania oddziaływania fali ciśnienia pochodzącej z wybuchu 100 g TNT na półsferyczny element kompozytowy o zmiennej grubości oddalony o 40 cm od dolnej powierzchni ładunku. Ładunek został umieszczony centralnie nad rozpatrywanym obiektem. W ramach

pracy dokonano pomiarów własności materiałowych kompozytu epoksydowo – szklanego na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej INSTRON 8802.

Otrzymane dane materiałowe wykorzystano do przeprowadzenia symulacji numerycznych. Wykorzystano w nich model Hashina [3] do opisu niszczenia materiału kompozytowego.

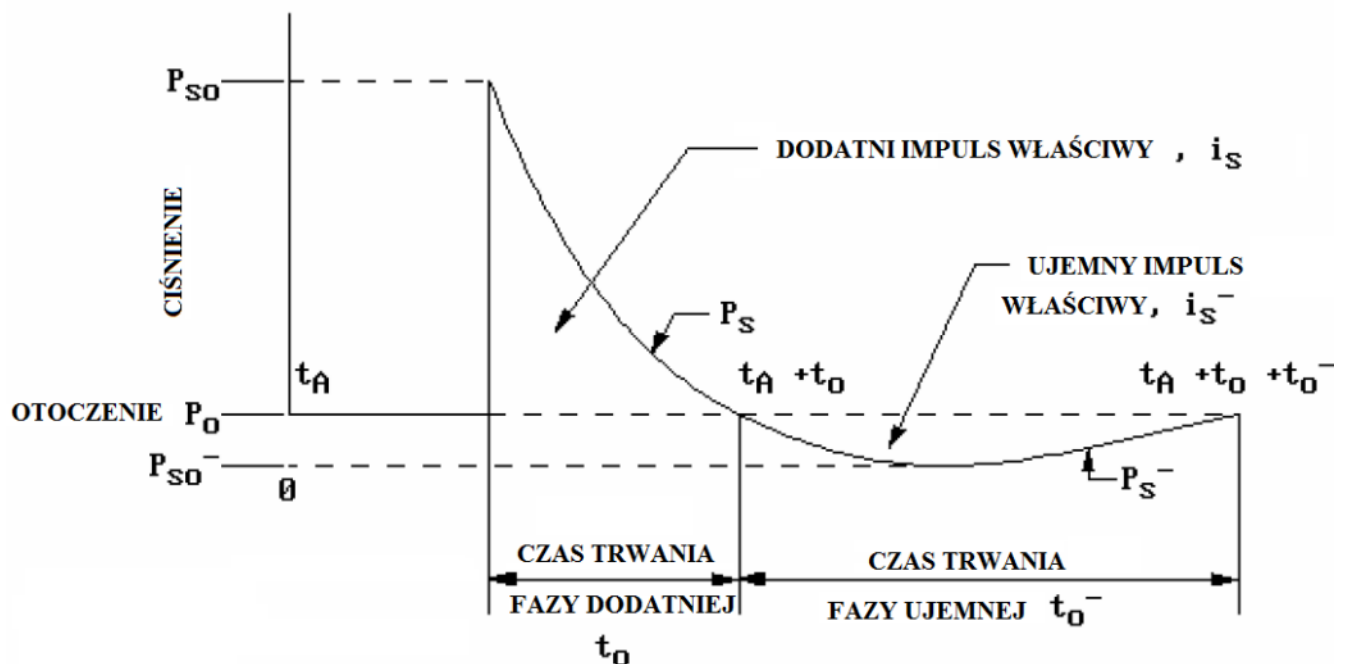
2. Modelowanie oddziaływania fali uderzeniowej na badaną strukturę

Fale uderzeniowe, które powstają podczas detonacji ładunku wybuchowego mogą uszkodzić bądź zniszczyć badaną strukturę. Ze względu na bezpieczeństwo i koszt badań, do analizowania takich zjawisk stosuje się coraz częściej analizy numeryczne.

Detonacja ładunku powoduje powstanie w powietrzu fali ciśnienia do o dużej intensywności. Powstająca w ten sposób fala jest charakteryzowana poprzez skok ciśnienia od ciśnienia otoczenia do wysokiego ciśnienia chwilowego, a następnie jego eksponentalny zanik.. Zjawisko to opisane jest zależnością Friendlera [3]:

$$P_s(t) = P_{so} \cdot \left(1 - \frac{t-t_a}{t_0}\right) \cdot \exp\left(-\beta \frac{t-t_a}{t_0}\right) \quad (1)$$

Parametry zawarte w równaniu są przedstawione na rysunku 1.



Rys. 1. Zależność ciśnienia na froncie fali w funkcji czasu

3. Kryterium zniszczenia Hashina dla kompozytów

W procesie obliczeniowym wykorzystywane są naprężenia ekstremalne występujące w płaszczyźnie warstwy kompozytu do określenia, czy dany element uległ zniszczeniu [3]. Są one opisane następującymi zależnościami:

$$\left(\frac{\sigma_{11}}{X_T}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{S}\right)^2 = 1 \quad (\sigma_{11} > 0) \quad (2)$$

$$|\sigma_{11}| = X_c \quad (\sigma_{11} < 0) \quad (3)$$

$$\left(\frac{\sigma_{22}}{Y_T}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{S}\right)^2 = 1 \quad (\sigma_{22} > 0) \quad (4)$$

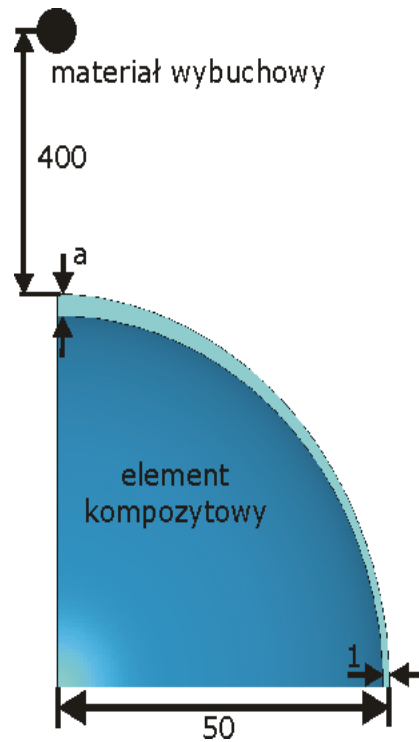
$$\left(\frac{\sigma_{22}}{2S_T}\right)^2 + \left[\left(\frac{Y_C}{2S_T}\right)^2 - 1\right] \frac{\sigma_{22}}{Y_C} + \left(\frac{\tau_{12}}{S}\right)^2 = 1 \quad (\sigma_{22} < 0) \quad (5)$$

gdzie S – wytrzymałość na ścinanie osnowy w płaszczyźnie warstwy, X_T - rozciąganie włókna, X_C - wytrzymałość na ściskanie włókna, Y_T - wytrzymałość na rozciąganie osnowy (kierunek poprzeczny), Y_C - wytrzymałość na ściskanie osnowy (kierunek poprzeczny,) oraz S_T - wytrzymałość warstwy kompozytu na ścinanie poprzeczne do włókien.

4. Analiza numeryczna

Do modelowania zjawiska oddziaływania fali ciśnienia na strukturę (półsferyczny element kompozytowy) wykorzystano funkcję Load-Blast [1] zawartą w oprogramowaniu Ls-Dyna. Funkcję tą otrzymano na drodze badań eksperymentalnych Randersa, Pehrson'a i Bannistera z 1997 roku [2]. Intensywność fali ciśnienia w opracowanej formule zależy od masy ładunku i odległości pomiędzy ładunkiem i obiektem, na który oddziałuje fala. Wykorzystana zależność pozwala otrzymać poprawne wyniki, jeżeli odległość pomiędzy obiektem a ładunkiem jest większa od około 3 wielkości charakterystycznych opisujących ładunek. W większości przypadków jest to wysokość lub średnica ładunku. Powyżej tej odległości można przyjąć, że powstająca fala ciśnienia ma kształt sferyczny. W związku z czym nie odgrywa roli efekt geometryczny.

W niniejszej pracy badano oddziaływanie fali ciśnienia pochodzącej z wybuchu 100g TNT na półsferyczny element kompozytowy o zmiennej grubości oddalony o 40 cm od dolnej powierzchni ładunku. Ładunek został umieszczony centralnie nad rozpatrywanym obiektem. Ze względu na symetrię układu można było rozpatrywać tylko ćwiartkę układu (rys. 2).



Rys. 2. Schemat rozpatrywanego układu o zmiennej grubości $a = 1, 2, 3$ mm (wymiary na rysunku w mm)

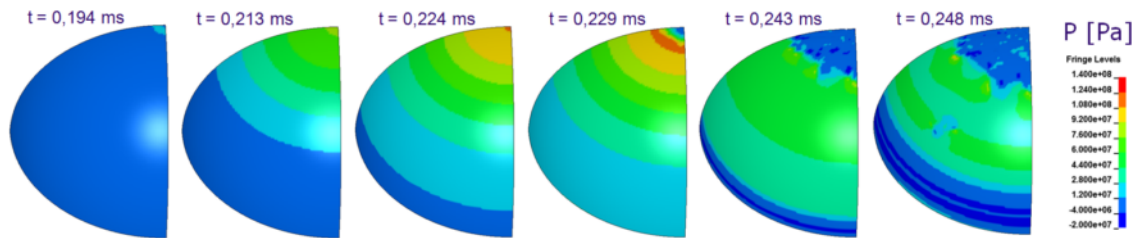
Do analiz przyjęto dane materiałowe uzyskane w trakcie badań wytrzymałościowych kompozytu epoksydowo – szklanego na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 8802 (rys. 3).



Rys. 3. Maszyna wytrzymałościowa do badań statycznych i dynamicznych INSTRON 8802

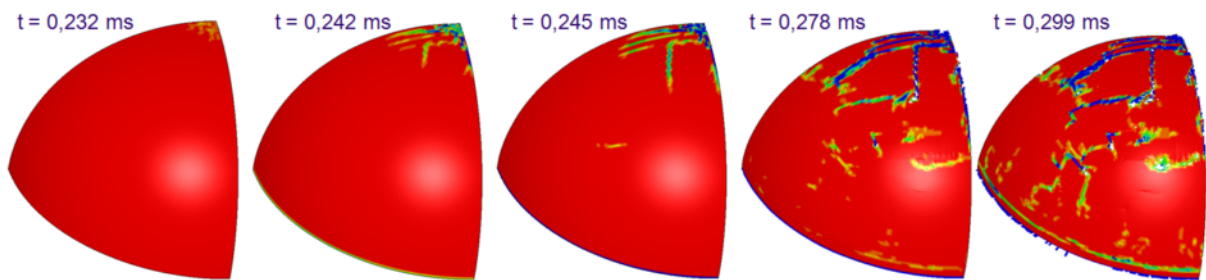
5. Wyniki analiz numerycznych

W wyniku przeprowadzonych analiz numerycznych otrzymano rozkłady ciśnienia w materiale. Przykładowy wynik dla parametru $a=1\text{mm}$ przedstawiono na rysunku 4.

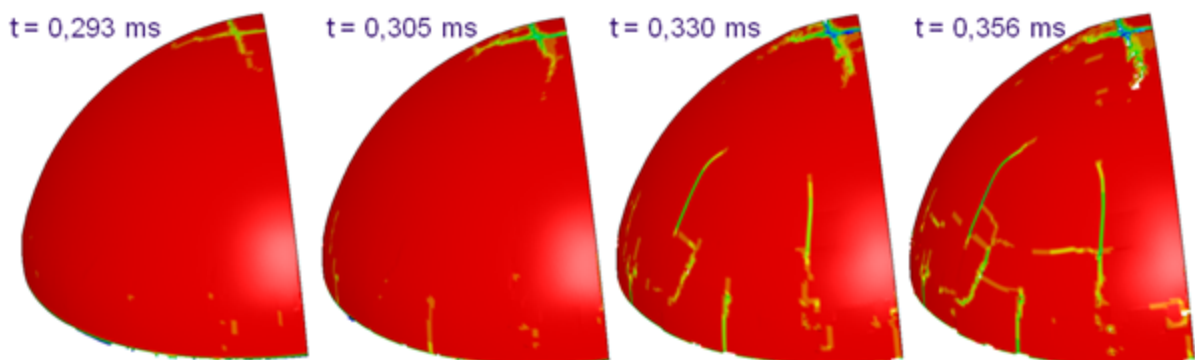


Rys. 4. Rozkłady ciśnienia w materiale ($a = 1\text{ mm}$), w wybranych chwilach czasu

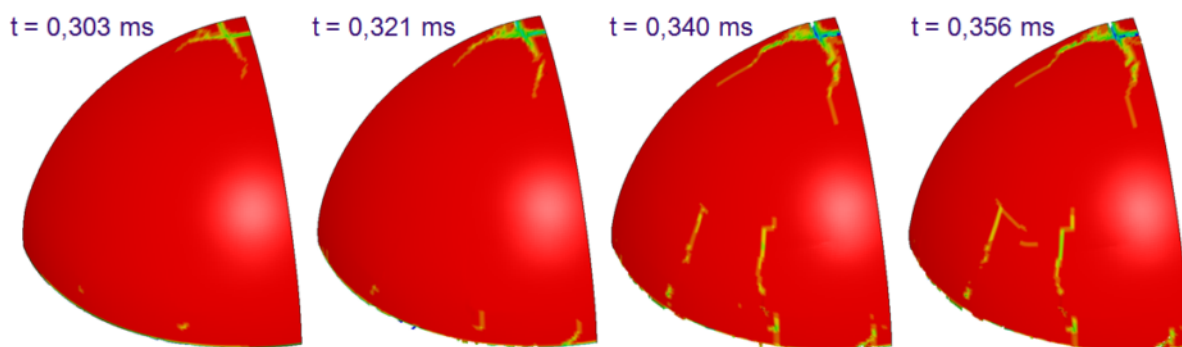
Otrzymano także propagację pęknięć w każdej próbce w kolejnych chwilach czasu (rys. 5, 6, 7). Widoczne są charakterystyczne dla materiału kompozytowego linie pęknięć.



Rys. 5. Niszczenie materiału kompozytowego ($a = 1\text{ mm}$)



Rys. 4. Niszczenie materiału kompozytowego ($a = 2\text{ mm}$)



Rys. 5. Niszczenie materiału kompozytowego (a = 3 mm)

Na podstawie otrzymanych wyników można zauważyć, że wraz ze wzrostem grubości elementu kompozytowego maleje stopień jego zniszczenia, a cały proces zaczyna się później.

6. Podsumowanie

W pracy przedstawiono wstępne wyniki modelowania oddziaływania fali ciśnienia powstałej z detonacji 100 g TNT na element kompozytowy o zmiennej grubości. Zmiana grubości spowodowała zmianę sztywności rozpatrywanego obiektu. Związane z tym są również zmiany w zachowaniu obiektu poddanego dynamicznemu obciążeniu. W przypadku elementu o stałej grubości wynoszącej 1 mm widać, że niszczenie zachodzi od wierzchołka elementu. Sytuacja zmienia się w pozostałych przypadkach. Dla elementów o maksymalnej grubości wynoszącej 2 i 3 mm pękanie zaczyna się prawie równocześnie przy podstawie i wierzchołku. Stopień zniszczenia elementów maleje ze wzrostem ich grubości. Widoczne są charakterystyczne dla materiału kompozytowego linie pęknięć.

Zmieniając parametry geometryczne rozpatrywanego obiektu możemy sterować procesem jego niszczenia bez znaczącego zwiększenia jego masy.

Literatura

1. B. Gladman: LS-Dyna Keyword Users' Manual, California, 2007, Livermore Software Corporation.
2. Z. Hashin: Failure criteria for unidirectional fiber composites, ASME Journal of Applied Mechanics, 2005, Vol. 47 (2), pp 329-334.
3. G. LeBlanc, M. Adoum, V. Lapoujade: External Blast Load on Structures – Empirical Approach, 5th European LS Dyna Users Conference, France, 2005

PRELIMINARY MODELLING OF BLAST WAVE EFFECT ON HALF SPHERICAL COMPOSITE ELEMENTS WITH VARIABLE WALL THICKNESS

Summary

The paper deals with the preliminary results of the finite element modeling of the blast wave effect on the half spherical composite elements with variable wall thickness. The change of the composite element thickness caused the differences in the sample stiffness. It also caused the changes in the researched object behavior under the dynamic load. The fracture lines, characteristic for the composite material, are visible in the finite element analysis results.

It is possible to control the damage process of the researched object by changing its geometry parameters.