

XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2022

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

Numeryczna i doświadczalna analiza odporności udarowej wielowarstwowych paneli kompozytowych

Sebastian Sławski¹, Jarosław Kaczmarczyk¹, Małgorzata Szymiczek¹, Jarosław Domin², Sławomir Duda¹

¹Katedra Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej, Politechnika Śląska

²Katedra Mechatroniki, Politechnika Śląska

email: sebastian.slawski@polsl.pl, jaroslaw.kaczmarczyk@polsl.pl, malgorzata.szymiczek@polsl.pl, jaroslaw.domin@polsl.pl, slawomir.duda@polsl.pl

STRESZCZENIE: Wielowarstwowe materiały kompozytowe cieszą się coraz większą popularnością. Ze względu na ich własności takie jak niska masa oraz wysoka wytrzymałość znajdują one zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu takich jak przemysł lotniczy, energetyczny, samochodowy, stoczniowy oraz wojskowy. Niezależnie od zastosowania wielowarstwowe panele kompozytowe narażone są na obciążenia o charakterze udarowym w różnych zakresach prędkości. Obciążenia te mogą powodować różnego rodzaju uszkodzenia takie jak np. delaminacje czy też niszczenie włókien wzmacniających. Odporność na obciążenia udarowe wielowarstwowych materiałów kompozytowych niewątpliwie zależy od zastosowanych włókien wzmacniających. Praca przedstawia wyniki badań eksperymentalnych oraz numerycznych dotyczących analizy uszkodzeń powstałych w wyniku uderzenia z niską prędkością bijaków o różnych geometriach nosa. Badania numeryczne zostały przeprowadzone z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Materiał kompozytowy został zamodelowany z uwzględnieniem podziału na warstwy wzmacniające oraz uwzględniał możliwość powstawania delaminacji. Uzyskane wyniki pozwoliły na ocenę wpływu geometrii nosa bijaka na uszkodzenia powstałe w badanych materiałach.

SŁOWA KLUCZOWE: odporność udarowa, materiał kompozytowy, metoda elementów skończonych, delaminacja

1. Wstęp

Wielowarstwowe materiały kompozytowe cieszą się coraz większą popularnością wśród materiałów konstrukcyjnych wykorzystywanych w branżach takich jak lotnicza, energetyczna, samochodowa, stoczniowa czy też wojskowa. Niezależnie od zastosowania panele kompozytowe narażone są na uderzenia elementami o zróżnicowanych geometriach, które powodują powstanie uszkodzeń różnego typu [1]. Odporność na obciążenia udarowe, prostopadle do płaszczyzny warstw wzmacniających jest szczególnie istotna [2]. W związku z czym istnieje potrzeba określenia wpływu geometrii uderzającego elementu na uszkodzenia powstałe w wielowarstwowych panelach kompozytowych.

Własności mechaniczne oraz odporność na obciążenia o charakterze udarowym wielowarstwowych paneli kompozytowych zależy od wielu czynników. Jednym z najważniejszych jest rodzaj zastosowanych włókien wzmacniających [3]. Biorąc pod uwagę pochłanianie energii, najczęściej stosowanym materiałem wzmacniającym są włókna aramidowe [4]. Warto zauważyć, że odpowiednia hybrydyzacja materiału wzmacniającego może pozytywnie wpłynąć na własności mechaniczne oraz odporność na obciążenia o charakterze udarowym nowoutworzonych materiałów [5-8].

2. Badany materiał

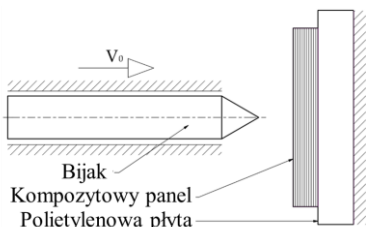
Badaniom poddano wielowarstwowy materiał kompozytowy o wzmocnieniu hybrydowym. Hybrydyzacja

materiału wzmacniającego polegała na wykorzystaniu symetrycznych tkanin wzmacniających, o splocie płóciennym, wykonanych z różnych włókien wzmacniających. Do produkcji materiału kompozytowego wykorzystano tkaninę o gramaturze 300 g/m² wykonaną z włókien aramidowych (Twaron 2200) oraz tkaninę o gramaturze 200 g/m² wykonaną z włókien węglowych (Pyrofil TR30 S). Jako lepiszcze wykorzystano żywicę epoksydową LG285, którą wymieszano z dedykowanym przez producenta utwardzaczem HG285 w proporcji wagowej 100:40. Badany materiał składał się z 14 warstw wzmacniających ułożonych w następującej konfiguracji: 4 warstwy z włókien aramidowych, 1 warstwa z włókien węglowych, 4 warstwy z włókien aramidowych, 1 warstwa z włókien węglowych, 4 warstwy z włókien aramidowych. Badany materiał został wykonany techniką laminowania ręcznego z wykorzystaniem podciśnienia (-68 kPa). Przygotowany materiał kompozytowy był pozostawiony w worku próżniowym przez 24 h, a następnie poddany procesowi dotwardzania w temperaturze 80°C w czasie 2 godzin. Tak przygotowany materiał został pocięty na próbki o wymiarach 50 x 100 mm.

3. Metodyka badań

Opracowana metodyka badawcza obejmowała przeprowadzenie zarówno badań eksperymentalnych jak i numerycznych z wykorzystaniem metody elementów skończonych. W badaniach wykorzystano 4 bijaki o różnych geometriach nosa: płaskim, kulistym, stożkowym oraz w kształcie ostrołuku. Ich kształt został opracowany

tak, aby masa każdego z bijaków była taka sama (49 g). Badania eksperymentalne zostały przeprowadzone z wykorzystaniem wyrzutni pneumatycznej. Wartość ciśnienia początkowego dla każdego z bijaków została dobrana tak, aby ich energia kinetyczna w chwili uderzenia była taka sama (23,5 J). Badane materiały kompozytowe zostały przyklejone na 10 mm płycie wykonanej z polietylenu pod kątem prostym do rury wylotowej w której znajdował się bijak. Układ w sposób schematyczny został przedstawiony na rys. 1.



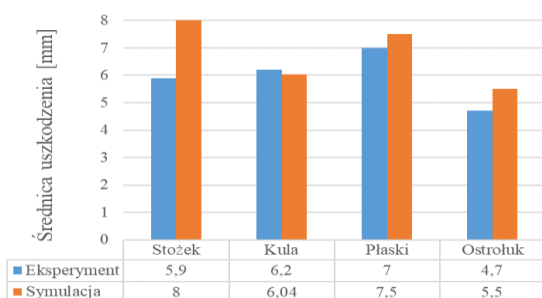
Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego

Badanie numeryczne zostały przeprowadzone z wykorzystaniem komercyjnie dostępnego oprogramowania LS-Dyna. Przeprowadzone badania numeryczne odzwierciedlały badania eksperymentalne co pozwoliło na poszerzenie informacji na temat zjawisk zachodzących w badanym materiale w trakcie uderzenia. Wielowarstwowy materiał kompozytowy został zamodelowany z uwzględnieniem podziału na warstwy wzmacniające (każda z warstw wzmacniających została zamodelowana osobno). W celu prawidłowego odzwierciedlenia zachowania się materiału kompozytowego wykorzystano model materiałowy o ortotropowych własnościach.

Połączenie klejone pomiędzy sąsiednimi warstwami wzmacniającymi zostało zamodelowane z wykorzystaniem więzów dwustronnych z warunkiem wytrzymałościowym. Więzy dwustronne zamieniane są na więzy jednostronne w miejscach w których przekroczone zostało kryterium wytrzymałościowe. Innymi słowy połączenie klejone pomiędzy sąsiednimi warstwami wzmacniającymi zostaje uszkodzone, a powierzchnie mogą się ze sobą zderzać.

4. Wyniki

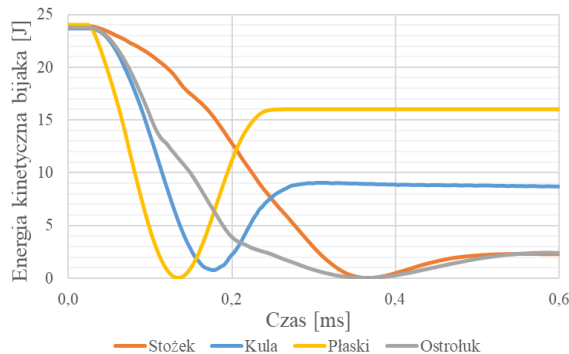
Wpływ geometrii nosa zastosowanego bijaka na uszkodzenia powstałe w wielowarstwowych panelach kompozytowych został określony na podstawie średnicy powstałego uszkodzenia (w pierwszej warstwie wzmacniającej), głębokości penetracji oraz powstałych obszarów delaminacji.



Rys. 2. Porównanie wyników – średnica uszkodzenia

Zestawienie średnic powstałych uszkodzeń w zależności od geometrii nosa bijaka zostało przedstawione na rys. 2.

Analizie poddano również przebiegi energii kinetycznej bijaków w trakcie uderzenia. Na wykresie przedstawionym na rys. 3 można zauważyć, że geometria nosa zastosowanego bijaka miała wpływ na ilość energii zaabsorbowanej w trakcie uderzenia.



Rys. 3. Przebieg zmiany energii kinetycznej bijaków w trakcie uderzenia

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania pozwoliły na opracowanie poniżej przedstawionych wniosków.

- 1) Bijaki o geometriach podobnych do stożka powodują największe uszkodzenia w warstwach wzmacniających. Najmniejsze uszkodzenia spowodował penetrator o płaskim zakończeniu.
- 2) Największe obciążenia przenoszone są przez włókna pierwotne.
- 3) Obszary delaminacji powstałe w wyniku uderzenia tworzą stożki, których podstawy znajdują się po stronie przeciwnej do strony uderzenia.
- 4) Im większe zniszczenia w warstwach wzmacniających tym mniejsze obszary delaminacji i odwrotnie.

Literatura

- [1] Ulven C., Vaidya U.K., Hosur M.V., *Effect of projectile shape during ballistic perforation of VARTM carbon/epoxy composite panel*, Composite Structures, Vol. 61, No. 1-2, pp. 143-150, 2003.
- [2] Królikowski W., *Polimerowe kompozyty konstrukcyjne*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
- [3] Sławski S., Szymiczek M., Kaczmarczyk J., Domin J., Świtoński E., *Low Velocity Impact Response and Tensile Strength of Epoxy Composites with Different Reinforcing Materials*, Materials, Vol. 13, No. 14, 3059, 2020.
- [4] Jamrozik, K., *Identyfikacja własności materiałów w balistyce końcowej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013.
- [5] Sławski S., Szymiczek M., Kaczmarczyk J., Domin J., Duda S., *Experimental and Numerical Investigation of Striker Shape Influence on the Destruction Image in Multilayered Composite after Low Velocity Impact*, Applied Sciences, Vol. 10, No. 1, 288, 2020.
- [6] Sławski S., Kaczmarczyk J., Szymiczek M., Pakieła W., *Numerical Studies on the Influence of a Reinforcing Material on the Energy Absorption in a Multilayered Composite during Impacts*, Mechanics of Composite Materials, Vol. 57, No. 3, pp. 309-320, 2021.
- [7] Sarasini, F.; Tirillò, J.; Valente, M.; Ferrante, L.; Cioffi, S.; Iannace, S.; Sorrentino, L. *Hybrid composites based on aramid and basalt woven fabrics: Impact damage modes and residual flexural properties*, Materials & Design, Vol. 49, pp. 290-302, 2013.
- [8] Ying, S.; Mengyun, T.; Zhijun, R.; Baohui, S.; Li, C. *An experimental investigation on the low-velocity impact response of carbon-aramid/epoxy hybrid composite laminates*, Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 36, No. 6, pp. 422-434, 2016.