

Eksperymentalne i numeryczne badania laminatu balistycznego na matrycy polietylenowej i polipropylenowej

Dariusz Pyka¹, Krzysztof Jamroziak², Joanna Pach³, Mirosław Bocian³

¹Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej, Wrocław

²Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych, Wrocław

³Wydział Mechaniczny, Politechnika Wrocławska, Wrocław

email: pykadariusz@gmail.pl, krzysztof.jamroziak@wso.wroc.pl, joanna.pach@pwr.edu.pl, miroslaw.bocian@pwr.edu.pl

STRESZCZENIE: W pracy przeanalizowano zagadnienia nowoczesnych kompozytowych panczerzy. Autorzy wykonali kilka próbek na bazie włókien aramidowych (Kevlar 49) zastępując matrycę z kruchej żywicy na mocniejszą z tworzyw sztucznych – polietylen (PE) oraz polipropylen (PP). Próbki ostrzelano amunicją .38 Special FMJ firmy S&B, a następnie zamodelowano proces ostrzału w programie ABAQUS. Utylitarnym celem badań symulacyjnych było sprawdzenie wpływu płaszcza na kinetyczną energię końcową oraz wpływu prędkości obrotowej pocisku podczas ostrzału osłony pociskiem przez przyjęcie odpowiedniego modelu przewodu lufy z zadaniem skokiem gwintu.

SŁOWA KLUCZOWE: kompozyty, polimery, osłony balistyczne, symulacje balistyczne

1. Wstęp

Balistyka końcowa jest częścią składową balistyki, jako nauki o ruchu pocisku, z ukierunkowaniem na opis zespołu zjawisk podczas procesu wzajemnego oddziaływania pocisku z osłoną. Jest to szczególne oddziaływanie, na które składają się procesy fizyczne począwszy od obciążenia udarowego aż po wnikanie pocisku w daną osłonę. Energia kinetyczna w chwili uderzenia pocisku jest zamieniana na deformację i emitowanie energii cieplnej układu pocisk-osłona, a także energię fali uderzeniowej [1, 2]. Obecnie materiały kompozytowe zyskały dużą popularność. Szczególnie te wytworzone na bazie włókien wysokowytrzymałych, sztucznie otrzymanych przez człowieka [3, 4]. Kompozyty o wspomnianych włóknach charakteryzują się szeregiem właściwości, które predestynują je do zastosowań na osłony balistyczne. Posiadają niski ciężar, programowalną strukturę, wysoką wytrzymałość właściwą oraz wysoką zdolność do pochłaniania energii udaru balistycznego. Z tego względu materiały te chętnie wykorzystuje się do wykonania lekkich osłon pojazdów wojskowych i cywilnych, kamizelek oraz hełmów.

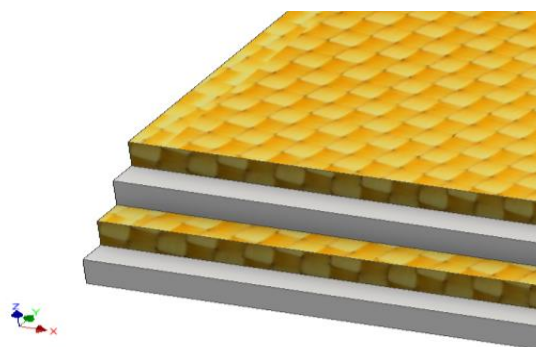
W dalszej części artykułu szczególnie skoncentrowano się na badaniach balistycznych osłony balistycznej przygotowanej na bazie polipropylenu oraz tkaniny aramidowej – Kevlar 49.

2. Metodyka opracowania próbek

Laminaty formowano w dwóch etapach. Polipropylen w postaci granulatu prasowano wstępnie na prasie hydraulicznej w temperaturze 230°C, przez 2 min. bez obciążenia, a następnie 3 min. pod ciśnieniem 3 MPa. W efekcie prasowania uzyskiwano folie polimerowe o średniej grubości 590 μm. Pomiar grubości wykonano zgodnie z normą PN-EN ISO 2808:2008, miernikiem typu Mini Test 730 FH5 firmy ElectroPhysik. Laminaty wytwarzano poprzez prasowanie ułożonych w metalowej formie naprzemiennie 11 warstw folii polimerowej (PP) i 10 warstw tkaniny aramidowej.

Tak wytworzone płyty łączono z laminatami poprzez uplastycznienie zewnętrznej warstwy laminatu i wytworzonej uprzednio płyty ze wzmocnieniem (rys. 1). Do uplastycznienia wykorzystano gorącą płytę. Laminat dociskano do płyty pod prasą, z dociskiem 2 MPa, aż do ochłodzenia próbek.

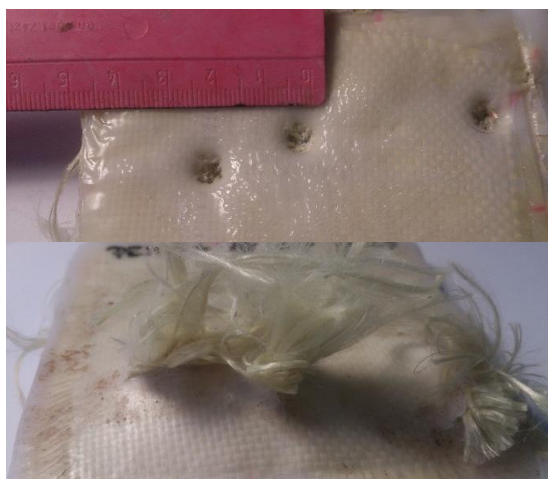
zonej uprzednio płyty ze wzmocnieniem (rys. 1). Do uplastycznienia wykorzystano gorącą płytę. Laminat dociskano do płyty pod prasą, z dociskiem 2 MPa, aż do ochłodzenia próbek.



Rys. 1. Wizualizacja ułożeń warstw osłony do badań

3. Badania balistyczne

Próbki poddano ostrzałowi na torze balistycznym, wykorzystując stanowisko z lufą balistyczną UZ 2002 firmy PROTOTYPA-ZM. Prędkości mierzono za pomocą radaru SL-525PE. Do próbek oddano po 3 strzały (rys. 2).



Rys. 2. Widok ostrzelanych próbek

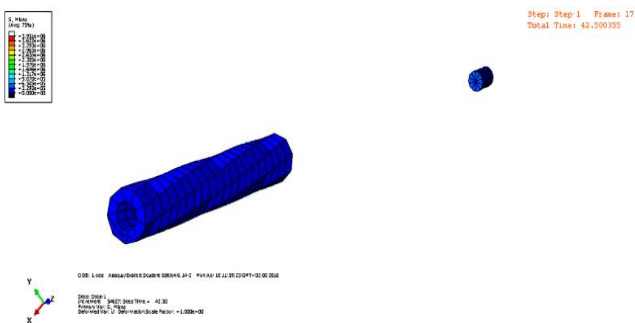
Na podstawie analizy procesu uszkodzenia laminatu w próbce na osnowie (matrycy) z PE widoczna jest delaminacja materiału, a także niszczenie włókien pierwotnych laminatu oraz wyciągnięcie ich z ułożenia początkowego tkaniny. Próbkę z osnową PP zatrzymała pocisk. Ugięcie na poziomie 11 mm. Widoczne kruche pęknięcie osnowy oraz ścinanie w początkowych warstwach tkaniny aramidowej. Materiał zachowywał się jak laminat warstwowy. Niepełna laminacja materiału Kevlar – brak przesylenia poszczególnych włókien wpłynęła korzystnie na swobodną pracę poszczególnych warstw, co uwidoczniło się na deformacji pocisku (rys. 3).



Rys. 3. Zdeformowane pociski .38 po uderzeniu w badane osłony

4. Analiza numeryczna

Analizę numeryczną wykonano w środowisku ABAQUS, poprzedzając ją szczegółową analizą literatury przedmiotu [5-10]. Laminat typu PP wraz z kevlarem zamodelowano, jako element warstwowy z widocznym oddzieleniem poszczególnych warstw. Przeprowadzono kilkanaście symulacji w celu sprawdzenia wpływu modelowania płaszcza pocisku czy jego ruchu obrotowego. Zamodelowano przewód lufy wraz z bruzdami gwintu (rys. 4).



Rys. 4. Model numeryczny przewodu lufy

Ruch obrotowy pocisku został nadany poprzez odpowiednie zamodelowanie przewodu lufy. Prędkość pocisku zadano na poziomie 250 m/s. Utwierdzenie lufy zostało zamodelowane za pomocą zablokowania translacji i rotacji po osiach XYZ przy komorze, w taki sposób, aby model mógł wykonywać swobodne drgania. W symulacji ustawiono *Step* na „Procedure type: General”, następnie „Dynamic, Explicit”. Czas przyjęto w zakresie 0,0005 – 0,00005 s, w zależności od konkretnej symulacji. Interaction Property ustawiono na „Contact”, a następnie na

„Hard Contact”. Energia przebicia zadana jest poprzez prędkość pocisku.

5. Podsumowanie

Z przeprowadzonych badań można zauważyć większą skuteczność osnowy z polipropylenu. Kompozyt przy zachowaniu niewielkiej masy własnej wykazywał taki sam lub większą odporność na udar balistyczny. Autorzy zauważyli także wyższość matrycy PP nad PE, ze względu na ścinanie włókien aramidowych w początkowej fazie, w porównaniu do wyciąganych włókien z tkaniny w próbce z PE. Wyniki z symulacji numerycznej były podstawą do formułowania wniosków, w zakresie wpływu płaszcza pocisku na całkowitą energię kinetyczną pocisku, a także możliwości oszacowania wielkości energii kinetycznej od ruchu obrotowego pocisku.

Literatura

- [1] Abrate S., *Impact on composite structures*, Cambridge University Press, Cambridge 1998.
- [2] Carlucci D.E., Jacobson S.S., *Ballistic. Theory and design of guns and ammunition*, Taylor & Francis Group, LLC, 2008.
- [3] Reid S.R., Zhou G. (ed), *Impact behaviour of fibre-reinforced composite materials and structures*, Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 2008.
- [4] Rojek M., Szymiczek M., Stabik J., Mężyk A., Jamroziak K., Krzysztala E., Kurowski J., *Composite materials with the polymeric matrix applied to ballistic shields*, Archives of Materials Science and Engineering, 63(1), 26–35, 2013.
- [5] Bocian M., Jamroziak K., Kosobudzki M., *Analysis of Material Punching Including a Rotational Speed of the Projectile*, Solid State Phenomena, Vols. 220-221, pp 571–576, 2015.
- [6] Rusinski E., Karlinski J., Jamroziak K., *The chosen aspects from research of ballistic shields*, Proceedings of the 22nd DANUBIA-ADRIA Symposium on Experimental Methods in Solid Mechanics DAS, Monticelli Terme-Parma, Italy, 2005.
- [7] Kędzierski P., Popławski A., Gieleta R., Sławiński G., *Experimental and numerical investigation of fabric impact behavior*, Composites, Part B: Engineering, 69, 452-459, 2015.
- [8] Pyka D., Jamroziak K., Błażejowski W., Bocian M., *Calculations With the Finite Element Method During the Design Ballistic Armour*, 13th International Scientific Conference, Computer Aided Engineering, Polanica Zdrój 2016.
- [9] Stanisławek S., Morka A., Niezgoda T., *Pyramidal ceramic armor ability to defeat projectile threat by changing its trajectory*, Bull. Pol. Ac. Tech., 63(4), 843-849, 2015.
- [10] Yahaya R., Sapuan S.M., Jawaid M., Leman Z., Zainudin E.S., *Measurement of ballistic impact properties of woven kenaf-aramid hybrid composites*, Measurement, 2015, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2015.09.016>