
WYBRANE PROBLEMY INŻYNIERSKIE

NUMER 2

INSTYTUT AUTOMATYZACJI PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH
I ZINTEGROWANYCH SYSTEMÓW WYTWARZANIA

Krzysztof JAMROZIAK*

Wydział Nauk o Bezpieczeństwie, Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych
im. gen. Tadeusza Kościuszki we Wrocławiu

* krzysztof.jamroziak@interia.pl

WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE KOMPOZYTÓW NA OSNOWIE POLIMEROWEJ

Streszczenie: Materiały kompozytowe, ze względu na pewne swoje właściwości, znalazły zastosowanie w konstrukcjach zwanych lekkimi osłonami balistycznymi. Lekkie osłony balistyczne to różnego rodzaju kombinacje w układzie. Materiał włóknisty, najczęściej na bazie tkanin aramidowych z różnego rodzaju lepiszczem (np. polimerowym, epoksydowym), stanowi laminat balistyczny. Takie laminaty balistyczne są odporne na dyssypację energii uderzenia kinetycznego pocisków wystrzeliwanych z broni strzeleckiej, o prędkościach $300 \div 900$ m/s. W referacie zaprezentowano przegląd laminatów balistycznych stosowanych do budowy osłon balistycznych. Na przykładzie badań polskiego laminatu porównano go z jego odpowiednikami zagranicznymi.

1. Wstęp

Własności ochronne lekkich osłon balistycznych wykonanych z materiałów włóknistych w postaci laminatów zależą od ich dynamicznych charakterystyk materiałowych (sztywności, wytrzymałości na rozciąganie) oraz zdolności do pochłaniania energii [1]. Zastosowane wysoko wytrzymałe włókna w postaci różnych układów materiałowych tworzą wielowarstwowe kombinacje materiałowe najczęściej jako:

- pakiety zszywanych tkanin, czyli miękkie osłony balistyczne (kamizelki odłamkoodporne, maty przeciwołamkowe);
- pakiety w postaci sprasowanych kompozytów z matrycą polimerową tworzącą sztywne osłony balistyczne (hełmy ochronne, tarcze, pancerze).

Wymienione pakiety dzięki niewielkiej masie stanowią dobre zabezpieczenie w zakresie ochrony balistycznej uderzających pocisków o energii rzędu do około 700 J. W literaturze badacze przyjmują dwie drogi budowy pakietów. Pierwsza to stworzenie takich osłon, w których moduł sprężystości jest wysoki przy jednoczesnym wzroście wytrzymałości osnowy polimerowej, przez co deformacja (ugięcie) takiej osłony jest niewielka. Druga droga dotyczy tworzenia osłon o niskim module sprężystości i dużym względnym wydłużeniu w osnowie polimerowej. Deformacja takiej osłony (ugięcie) jest dużo większa w porównaniu z pierwszą. W tym przypadku przyjęto założenie, że im więcej energii zostanie wytracone w pierwszej fazie dyssypacji energii uderzającego pocisku (osłona bardziej sprężysta)

w osłonę laminatową, tym mniejszą rolę w całym procesie przebijania materiału będzie odgrywała faza druga (niszcząca). Założenie to zostało opisane w pracach [2, 3].

Dokonując identyfikacji właściwości mechanicznych kompozytu przy określonych parametrach tkaniny, można, poprzez matrycę, modelować charakterystykę wytrzymałościową laminatu, co było np. weryfikowane w pracy [4]. Większość badań sprowadza się do statycznej charakterystyki materiału naprężenie (σ) - odkształcenie (ϵ), w której wyznaczanie parametrów mechanicznych związane jest z modelem Hooke'a. Ideą autora jest stworzenie procedury identyfikacji własności materiałów bazujących na nieliniowych modelach sprężysto-tłumiących. Prezentowana praca dotyczy fragmentu badań określających wybrane parametry takich materiałów.

2. Cel i zakres badań

Celem badań związanych z identyfikacją eksperymentalną właściwości mechanicznych laminatu balistycznego było:

- określenie właściwości wytrzymałościowych rozpatrywanego materiału w zależności od kierunku położenia warstw kompozytowych w laminacie;
- określenie wpływu prędkości odkształcenia na krzywą rozciągania.

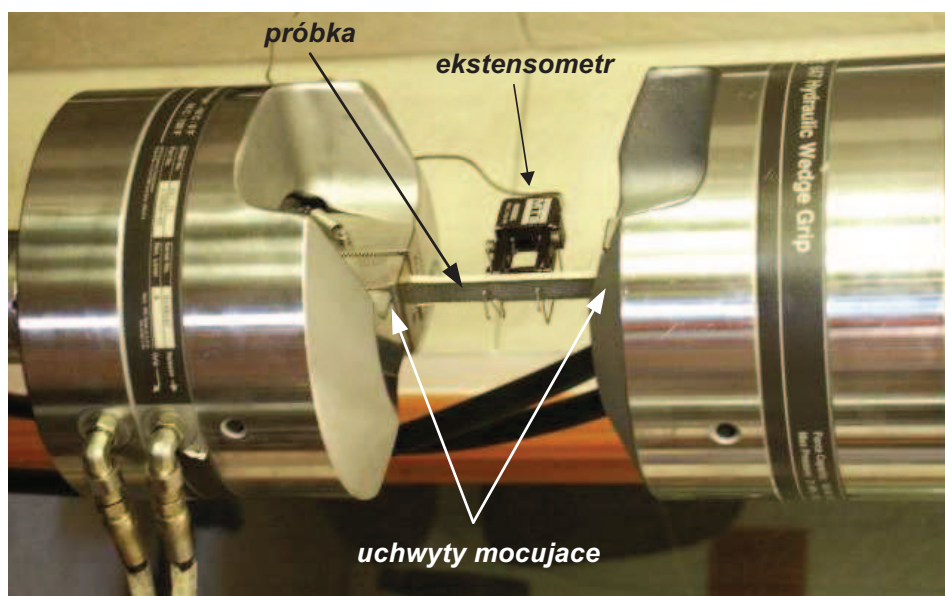
Badania prowadzono, wykorzystując laminat balistyczny produkcji krajowej o nazwie handlowej Lim. Laminat ten jest kombinacją sprasowanych tkanin aramidowych (8 warstw) na matrycy elastomerowej, tworzy pakiet zdolny do pochłaniania energii uderzenia rzędu 700 J.

Zakres badań dotyczył identyfikacji parametrów wytrzymałościowych laminatu. Badania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej MTS 810 o następujących charakterystyce:

- maksymalny zakres siły ± 100 kN;
- siłomierz MTS 661.20F-03;
- zastosowany zakres pomiarowy siłomierza ± 25 kN:
 - nieliniowość 0,10 % zakresu pomiarowego;
 - histereza 0,05 % zakresu pomiarowego;
- ekstensometr MTS 632.11C-20.

Próbki były mocowane w uchwytach hydraulicznych (rys. 1), zapewniających wymaganą osiowość. Próbę prowadzono ze stałym przyrostem przemieszczenia równym 0,05 mm/s. W trakcie próby rejestrowano:

- czas pomiaru;
- siłę;
- odkształcenie;
- przemieszczenie uchwytów.



Rys.1. Zamocowanie próbki do badań
Fig.1.Fixed of test piece

3. Wyniki i analiza

Badaniom poddano próbki o orientacji warstw kompozytu do splotu w trzech położeniach kąta: 0° , 45° , 90° (rys. 2).



Rys.2. Próbki po zerwaniu
Fig.2.Break of test piece

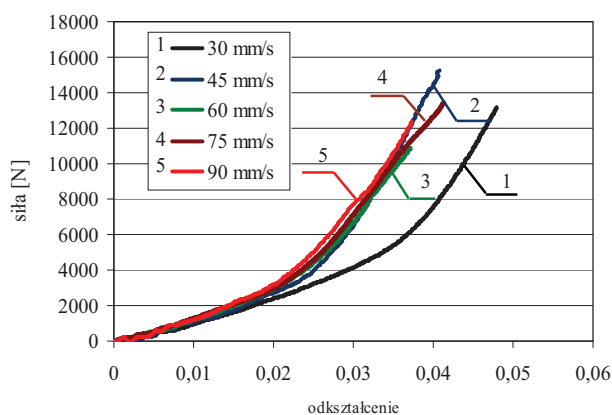
Zauważono, że wyniki przy 0° i 90° były zbliżone. Przenoszone siły obciążeń wahały się na poziomie ok. 11 kN, a wartość przemieszczenia, przy której następuje proces niszczenia, waha się w przedziale ok. 6 mm. Próbki o kącie 45° (położenie warstwy kompozytu w

stosunku do orientacji splotu) ulegały zniszczeniu przy niewielkich wartościach siły, a ich wydłużenie cechowało się znikomymi wartościami. Jak widać na rys. 2, próbka oznaczona jako P13K3 została uszkodzona nie w wyniku pracy włókien, a na skutek wyciągania włókien ze splotu, gdyż część robocza w ogóle nie pracowała. Wyniki z badań wytrzymałościowych laminatu Lim zestawiono w tabeli 1 z uwzględnieniem innych materiałów kompozytowych stosowanych w ochronie balistycznej.

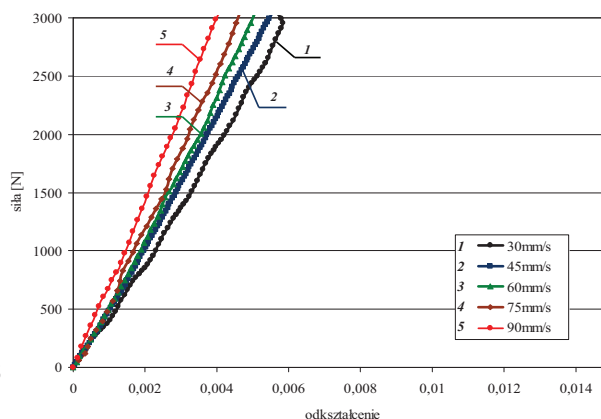
Tab. 1. Podstawowe właściwości materiałów stosowanych do budowy osłon balistycznych
 Tab. 1. A basic characteristics materials using in ballistic shields structure

Materiał	Gęstość [g/cm ³]	Moduł Younga [GPa]	Wytrzymałość na rozciąganie [GPa]	Wydłużenie [%]
Nylon	1,14	280	5,80	2,5
Włókno węglowe	1,80	230	4,80	1,5
E-szkło	2,58	72	3,45	4,5
Kevlar 49	1,45	120	3,62	1,9
Kevlar 29	1,44	58	3,62	3,6
Twaron	1,44	80	3,15	3,5
Dyneema	0,97	87	2,70	3,5
Spectra	0,97	117	2,68	-
Stal pancerna	7,85	210	1,60	8
Lim	1,44	7,5	0,31	11

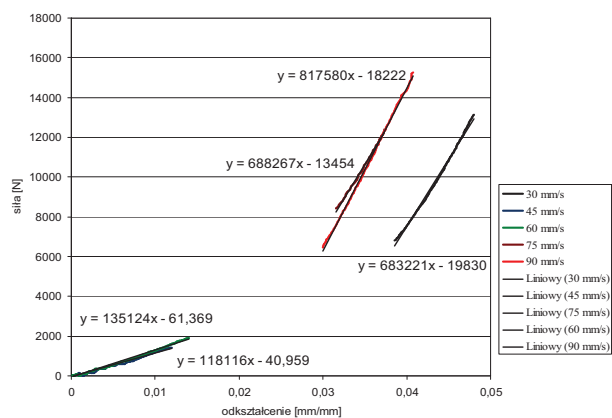
W następnym etapie badano wpływ prędkości odkształcenia na krzywą rozciągania. Badania przeprowadzono dla pięciu prędkości odkształcenia. Zakres prac polegał na testach zrywania próbek wiósełkowych z zadaną prędkością: 30 mm/s; 45 mm/s; 60 mm/s; 75 mm/s; 90 mm/s. Wynikiem tych testów były wykresy krzywych rozciągania (rys. 3), na podstawie których określano wpływ prędkości odkształcenia na pochylenie krzywej rozciągania. Wyniki zarejestrowane na wykresie (rys. 3) wykazały, że prędkość decyduje o kącie pochylenia krzywych. Dla zobrazowania różnic wynikających z prędkości odkształcenia wyniki z wykresu 3 przedstawiono w innej skali (przedział odkształcenia 0-0,01). Wyniki przedstawione przy tym zakresie przedziału odkształcenia uwidoczniły różnice w pochyleniu charakterystyk rozciągania materiału na ich prędkości (rys. 4). Mając ogólny pogląd na wpływ prędkości odkształcenia na pochylenie krzywych rozciągania starano się wychwycić, w jaki sposób zmienia się moduł Younga w zależności od prędkości odkształcenia. Przeprowadzono aproksymacje krzywych rozciągania (rys. 5). Wyniki okazały się mało czytelne, ponieważ niewielkie siły działające na materiał spowodowały zacieranie linii aproksymacji charakterystyk rozciągania. To sugeruje, że materiał w szczękach jeszcze się ustala. Do dalszej analizy wpływu pochylenia krzywych rozciągania przyjęto drugą fazę prowadzonego eksperymentu, tj. górnego zakresu przedziału sprężystości (rys. 6). Obcinając dane z niskich sił zrywających (do momentu wyraźnego załamania się krzywych), na wykresie przedstawiono charakterystyki dla ich większych wartości, a następnie, poprzez aproksymacje krzywych, przedstawiono zmianę wartości modułu Younga (wartości współczynników aproksymowanych wykresów).



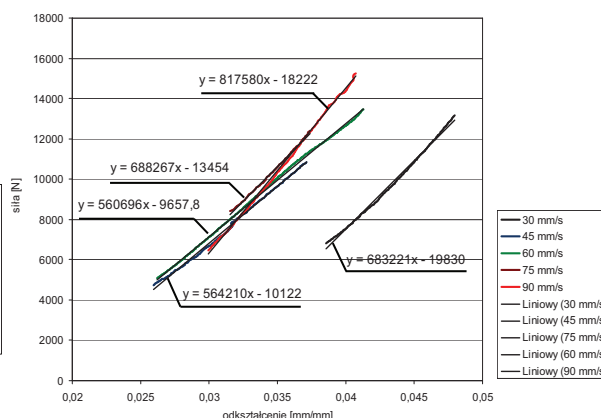
Rys. 3. Wpływ prędkości odkształcenia na krzywe rozciągania laminatu Lim
Fig. 3. The influence speed of elastic strain on the tension curves of laminate Lim



Rys. 4. Wpływ prędkości odkształcenia na krzywe rozciągania laminatu Lim (przedział 0-0,01)
Fig. 4. The influence speed of elastic strain on the tension curves of laminate Lim (range 0-0,01)



Rys. 5. Aproksymacja krzywych rozciągania
Fig. 5. The approximation of tension curves



Rys. 6. Aproksymacja krzywych rozciągania górnym zakresie przedziału sprężystości
Fig. 6. The approximation of tension curves in top of range elasticity

4. Podsumowanie

Prezentowany zakres badań laminatu balistycznego Lim dotyczył identyfikacji właściwości mechanicznych i wpływu prędkości odkształcenia na krzywe rozciągania kompozytu na osnowie polimerowej. W części identyfikacyjnej właściwości mechanicznych laminatu określono jego podstawowe parametry, które zestawiono w tabeli 1. Zestawienia dokonano na tle innych laminatów stosowanych do budowy osłon balistycznych. Stwierdzono, że laminat Lim cechuje się dużo niższym modułem sprężystości, ale ma duże wydłużenie. Prowadzone badania wytrzymałościowe przy różnych kątach ułożenia warstw materiału względem określonej orientacji wykazują cechy materiału ortotropowego. W przypadku rozciągania z różnymi prędkościami w części roboczej warunek ortotropowości nie jest zachowany, włókna pracują jedynie w kierunku rozciągania, a duże wydłużenia materiałów aramidowych są wynikiem uzyskania większej wartości odkształceń, przy których następuje trwałe uszkodzenie materiału. Również na podstawie uzyskanych aproksymacji krzywych rozciągania moduł sprężystości pozornie zmienia swoją wartość, co świadczy

o przenoszeniu większych obciążeń dynamicznych. Jest to zaleta materiałów stosowanych do budowy lekkich osłon balistycznych. Granica deformacji takiego materiału (u_g), po którym następuje trwałe jego uszkodzenie przesuwa się.

Podsumowując, można stwierdzić, że badany laminat balistyczny Lim posiada bardzo dobre właściwości, które decydują o dyssypacji energii uderzającego pocisku. Wyniki z badań wytrzymałościowych potwierdzają zalety na tle innych materiałów stosowanych w budowie laminatów balistycznych. Zalety tego laminatu sprawdzono w próbach strzeleckich, które wykazały pozytywne rezultaty prezentowane w pracy [5].

Praca powstała w ramach projektu N N501 063740 sfinansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki

Literatura

1. Reid S.R., Zhou G.: Impact behaviour of fibre-reinforced composite materials and structures. North America: CRC Press LLC, first published 2000, reprinted 2008.
2. Kulisiewicz M., Piesiak S., Bocian M., Jamroziak K.: Analiza deformacji materiałów kompozytowych w oparciu o pewien model niesprężysty. „Problemy techniki uzbrojenia”, WITU, Zeszyt nr 95, Zielonka-Rynia 2005, s. 197-206.
3. Jamroziak K.: Process description of piercing when using a degenerated model. „Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering”, Vol. 26, Issue 1, International OCOSCO World Press, January 2008, p. 57-64.
4. Wróbel A.: Tensometryczna metoda pomiaru naprężeń w modelu laboratoryjnym do badania podzespołów i zespołów niezbędnych do innowacyjnej konstrukcji wagonów towarowych. Zeszyty Naukowe WSOWL, nr 1/2011, Wrocław 2011, s. 286-293.
5. Rusiński E., Karliński J., Jamroziak K.: The chosen aspects from research of ballistic shields. In: 22nd DANUBIA-ADRIA Symposium on Experimental Methods in Solid Mechanics, DAS 2005, Parma – Italy, p. 22-23.

MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITES ON THE POLIMER WARP

Summary: Composite materials because of their properties have been used in constructions called the tight ballistic shields. Light ballistic shields are different kind of combination in the system. Fibrous material, mostly based on aramid texture, with adhesive (egg. polymer or epoxy one) is a ballistic laminate. This kind of laminates are resistance for dissipation of bullets kinetic energy shoot from small arms, with velocity about $300 \div 900$ m/s. In this paper author present review of ballistic laminates used for construction of ballistic shields. Basic characteristic of a laminates specified on those experiments has been presented.