

APPLICATION CONCEPT FOR THE NEW COMPOSITE MATERIAL FOR THE ROTORCRAFT

KONCEPCJA ZASTOSOWANIA NOWEGO MATERIAŁU KOMPOZYTOWEGO DO WIROPLATU

Izabela Korzec

Department of Applied Mechanics
Lublin University of Technology
Nadbystrzycka 36
20-618, Lublin
ikorzec@wp.pl

Tomasz Łusiak

Faculty of Mechanical Engineering
Lublin University of Technology
Nadbystrzycka 38 D
20 – 618 Lublin, Poland
tlusiak@pollub.pl

Martin Bugaj

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8251/1
010 26, Žilina
Martin.bugaj@fpedas.uniza.sk

Abstract

This presentation shows certain number of material samples composite with different polymer reinforcement and weave, made by the manual lamination method under certain conditions. The samples have been made under laboratory conditions. In turn, the purpose of experimental testing was to determine mechanical properties such as: microstructure of laminates, hardness tensile and compressive strength. At the beginning of this work the terminology of the word composite and its division is described. In the next part of the work is information on the reinforcements used to obtain composite materials, their manufacturing methods, and their main application in industry. Chapters (own research) describes the results of the conducted research microstructure of composite laminates, hardness measurement results were analyzed. The analysis of the obtained strength results was carried out using the Shore'a method and the analysis of the obtained strength results for stretching and squeezing. The obtained results are presented in the diploma thesis in graphic form, then described and compared.

Keywords

Composite, method, microstructure, gyroplane,

1. Wprowadzenie

Wytwarzanie coraz bardziej nowoczesnych oraz skomplikowanych elementów części maszyn i konstrukcji nie tylko lotniczych stwarza konieczność ciągłego rozwoju metod produkcji, a także materiałów. Rozwój materiałów kompozytowych zapoczątkowała druga połowa XX wieku, laminaty, inaczej wielowarstwowe kompozyty włókniste stosowane są po dziś dzień. Potrzeba redukcji ciężaru nowych typów samolotów z równoczesnym zachowaniem odpowiedniej wytrzymałości mechanicznej wielu elementów stwarza konieczność stosowania wytrzymałych i lekkich materiałów konstrukcyjnych. Wymaganiom tym sprostać coraz częściej stosowane kompozyty na podstawie polimerów i stopów metali [2,12].

Kompozyty są coraz częściej stosowane w budowie statków powietrznych ze względu na wysokie właściwości wytrzymałościowe przy niskiej gęstości. Pierwsze kompozyty polimerowe, stosowane już w latach 50, to kompozyty wzmocnione włóknami szklanymi. Materiały kompozytowe na podstawie żywic epoksydowych znajdują szerokie zastosowanie w budowie szybowców, jednak nie były stosowane do budowy silnie obciążonych elementów konstrukcyjnych samolotów ze względu na niską sztywność włókien szklanych. Pojawienie się wysokowytrzymałych i wysoko sztywnych włókien borowych i węglowych dało szansę na wykorzystanie kompozytów polimerowych do wykonywania całych elementów konstrukcyjnych jak również do wzmocnienia elementów szkieletów płatowca, które były wykonane z metali. Obecnie można z nich wykonać kilkumetrowe integralne pokrycia włącznie z elementami usztywniającymi. W porównaniu do takich samych pokryć wykonanych ze stopów aluminium, pokrycia kompozytowe są lżejsze o 20%. W prototypach

samolotów bojowych YF-23 i YF-22 materiały kompozytowe stanowiły 30% i 23%, jednak w produkcji seryjnej kompozyty miały stanowić 40% i 35% masy płatowca. W samolotach, które są produkowane obecnie kompozyty mogą stanowić nawet 65% masy płatowca. Tak obszerne zastosowanie kompozytów powoduje tzw. efekt kaskadowy czyli zmniejszenie masy płatowca umożliwia zmniejszenie powierzchni stateczników oraz skrzydeł, a co za tym idzie zmniejszenie masy. Duża sztywność materiałów kompozytowych daje możliwość wystąpienia różnych problemów konstrukcyjnych, takich jak ujemny skos skrzydła w samolocie X-29. Zaletą materiałów kompozytowych, które są wzmocniane włóknami jest duża wytrzymałość zmęczeniowa. Jednymi z bardziej odpornych włókien na zmęczenie są włókna węglowe. Włókna te wykorzystuje się w kompozytach do produkcji samolotów pasażerskich i transportowych, które powinny charakteryzować się wysoką żywotnością, natomiast zmiana łopat śmigłowca z metalowych na kompozyt szklano-epoksydowy umożliwiło zwiększenie resursu dwukrotnie [10].

2. Opis stanowiska badań na rozciąganie według normy ASTM

Obiektem badań są próbki kompozytowe wykonane metodą laminowania ręcznego z użyciem żywicy epoksydowej o oznaczeniu MGS L285/H285, których parametry zawarte są w tabeli 5.1. W badaniu zastosowano wzmocnienie w postaci tkaniny w różnych układach (0/+90° oraz +/- 45°), następnie nałożono elastyczny worek zamocowany na obrzeżach formy, ewentualny nadmiar żywicy oraz powietrze odsysano pompą próżniową. Utwardzanie laminatu odbywało się pod ciśnieniem atmosferycznym równym 0,9atm. Dalszym etapem przygotowania było poddanie próbek temperaturze 60° C przez

8 godzin. Kolejno z powstałej płyty wycięto próbki o wymiarach zgodnych z normą ASTM D3410. Ostatni punkt wykonania próbek stanowiło naklejenie nakładek na brzegach laminatu z kompozytu szklano-epoksydowego w celu zabezpieczenia próbki przed destrukcją w uchwytach maszyny wytrzymałościowej.



Rys. 1: Maszyna wytrzymałościowa Instron

Zaletami maszyny wytrzymałościowej marki Instron są: łatwość w obsłudze poprzez automatyczne zamykanie oraz otwieranie się ekstensometrów, alternatywa wyznaczania modułu sprężystości, nowatorski układ sterowania, który pozwala zamieniać parametry podczas prób, posiadanie dwóch przestrzeni roboczych. Siła jest rejestrowana dla każdego z zakresów, nie przekracza 5%, a jej wartość rejestrowana jest z bardzo dużą dokładnością.

Próbki zostały wykonane zgodnie z normą ASTM D3039. Dla serii A zastosowano wzmocnienie tkaniną modułową Dialead K63712 z użyciem żywicy epoksydowej o oznaczeniu MGS L285/H285. Podczas badania wytrzymałościowego otrzymano charakterystyczną postać zniszczenia danego materiału kompozytowego.

Tabela 1: Wymiary geometryczne próbek kompozytowych wzmocnianych tkaniną modułową Dialead K63712

	Szerokość [mm]	Grubość [mm]	Obszar [mm ²]	Długość [mm]
1.	25,1	2,60	65,3	150
2.	25,2	2,64	66,7	150
3.	25,2	2,60	65,5	150
4.	25,2	2,65	66,9	150
5.	25,2	2,56	64,6	135
6.	25,2	2,65	66,9	150
7.	25,2	2,55	64,1	135
Srednia	25,2	2,61	65,7	146

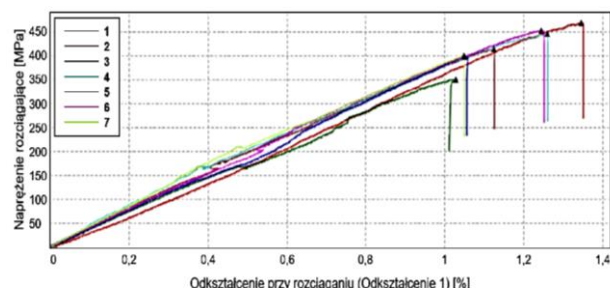
Przeprowadzono próbę wytrzymałości na rozciąganie, w efekcie której badany materiał uległ destrukcji. Uzyskano parametry takie jak naprężenia rozciągające, siła przy maksymalnym obciążeniu, największe odkształcenie rozciągające,

przemieszczenie oraz moduł, wszystkie te dane zawarto w tabeli 2.

Tabela 2: Analiza otrzymanych wyników badań laminatu kompozytowego wzmocnianego tkaniną modułową Dialead K63712, układ 0/90°

	Naprężenie rozciągające [MPa]	Maksymalna siła [kN]	Największe odkształcenie rozciągające [%]	Maksymalne przemieszczenie [mm]	Moduł [MPa]
1.	468	30,55	1,35	5,29	33400
2.	414	27,57	1,12	3,92	40000
3.	351	23,03	1,03	3,59	36500
4.	447	29,86	1,26	5,39	40600
5.	399	25,77	1,05	4,20	38000
6.	453	30,33	1,24	3,91	39300
7.	400	25,68	1,05	4,40	43300
Srednia	419	27,54	1,16	4,38	38700

Na rysunku 2, przedstawiono wyniki otrzymane w trakcie badań stanowiskowych na rozciąganie. Badanie przeprowadzono dla serii A z oznaczeniem próbek kolejno od 1 do 7. Siła maksymalna w trakcie obciążenia mieści się w zakresie od 23,03 kN do 30,55 kN. Wartości te odpowiadają wytrzymałości na rozciąganie w zakresie od 351 MPa do 468 MPa. Największe odkształcenie rozciągające wahało się w granicach 1,03% - 1,35% co odpowiada przemieszczeniu równym 3,59mm – 5,29mm. Wynik dla wytrzymałości laminatu kompozytowego wzmocnianego tkaniną modułową Dialead K63712 na rozciąganie jest równy wartości $R_m = 419 \pm 18$ MPa.



Rys. 2. Wykres przedstawiający naprężenie rozciągające oraz odkształcenie bezwzględne laminatu zbrojonego tkaniną modułową Dialead K63712, układ 0/90°

Podczas przygotowania próbek do badań z arkusza kompozytowego wycięto płaskowniki o wymiarach zawartych w tabeli 1. Celem zabezpieczenia badanych materiałów na brzegi naklejono nakładki, co umożliwiło zamocowanie w uchwytach maszyny wytrzymałościowej.

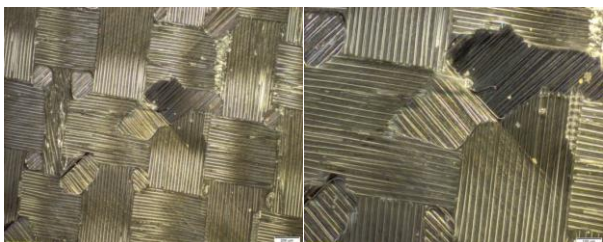


Rys. 3. Wygląd próbek z serii A po badaniach stanowiskowych na rozciąganie

3. Mikrostruktura materiałów kompozytowych

Badanie mikrostruktury przeprowadza się na specjalistycznych urządzeniach, którymi są mikroskopy. Badanie jakości materiału zostało przeprowadzone za pomocą mikroskopu Olympus BX53M. Mikroskop nowej generacji Olympus BX53M (Rys. 5.1) posiada podstawę w kształcie litery Y. Można prowadzić obserwacje w polu ciemnym, jasnym lub mieszanym, fluorescencji, świetle odbitym. Statyw mikroskopu posiada wymienny uchwyt rewolwerowy, regulowaną siłę obrotu śruby zgrubnej, odczyt śruby mikrometrycznej wynoszący minimalnie 1 mikrometr. Oświetlenie, w którego skład wchodzi źródło światła LED, odpowiadającej mocy 100W w lampach halogenowych, wbudowany preset wykorzystywany do fotografii, co umożliwia uzyskanie warunków oświetlenia, które można powtórzyć. Obserwacja struktury materiałów w zakresie powiększenia w przedziale od 12,5 do 500 razy. Pomiar w łatwy sposób można archiwizować.

Zdjęcia mikrostruktury kompozytu uzyskanego z połączenia tkaniny modułowej Dialead K63712 z żywicą MGS L285/H285 pokazują występujące wtrącenia (widoczne cząstki), a także pęcherzyki powietrza co jest niekorzystne dla struktury.



Rys. 4. Mikrostruktura laminatu kompozytowego ze zbrojeniem tkaniną modułową Dialead K63712

Zdjęcia mikrostruktury uzyskane z mikroskopu obrazują, że w badanym obszarze powstały liczne pęcherzyki powietrza. Pęcherzyki te przyczyniają się do zmniejszenia wytrzymałości kompozytu i mogą być początkiem procesu mikropęknięć struktury laminatu kompozytowego.



Rys. 5. Mikrostruktura laminatu kompozytowego ze zbrojeniem tkaniną biaksialną IMS65 CTLX

4. Podsumowanie i wnioski

Badania kompozytów, które wykorzystują w budowie wzmocnienia w postaci włókien polimerowych pokazują że materiały te wymagają ciągłego rozwoju oraz dalszego poszukiwania coraz to lepszych i nowszych materiałów konstrukcyjnych, ze szczególnym zwróceniem uwagi na zagadnienie znane jako wytrzymałość materiałów. Takie cechy jak tłumienie drgań, lekkość czy odporność na czynniki zewnętrzne przyczyniły się do coraz szerszego wykorzystywania w przemyśle lotniczym. W pracy przedstawiono badania nad nowym materiałem kompozytowym. Podsumowanie zawiera wnioski z przeprowadzonych badań oraz zestawienie porównawcze wyników, które zostały przeprowadzone dla różnych partii materiałów.

Tab.3. Wytrzymałość na rozciąganie R_m laminatów kompozytowych [MPa]

Oznaczenie serii	Wytrzymałość na rozciąganie R_m [MPa]	
A	419	± 18
B	128	± 11
C	513	± 29
D	443	± 29
E	1450	± 70

Tabela 3 przedstawia porównanie, uśrednionych wartości wytrzymałości na rozciąganie R_m [MPa] dla wszystkich pięciu serii badanych próbek. Próba wytrzymałościowa miała na celu zbadanie różnych próbek kompozytowych pod względem ich wytrzymałości na rozciąganie. Badaniom wytrzymałościowym poddano 5 różnych serii próbek o innym układzie włókien oraz technologii ich wykonania. Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że:

- Najmniejszą wytrzymałość na rozciąganie uzyskano dla serii B, wartość ta wynosi $R_m=128\pm 11$. Kompozyty dla serii B zbrojone były tkaniną modułową Dialead K63712 o osnowie MGS L285/H285, układ $0/90^\circ$.
- Największą uśrednioną wartość wytrzymałości na rozciąganie uzyskano dla serii E, która wytrzymałością znacznie odbiega od pozostałych serii. Wynik dla kompozytu zbrojonego Roving IMS65 wynosi $R_m=1450 \pm 70$ [MPa].
- Największym wydłużeniem charakteryzowała się próbka nr 5 dla serii B, czyli laminatu kompozytowego wzmocnianego Roving IMS65, układ $0/90^\circ$. Wydłużenie wyniosło 16,53mm.

- Najmniejsze wydłużenie uzyskała próbka nr 2 dla serii E tj. laminatu kompozytowego wzmacnianego tkaniną modułową IMS65 , układ 0/90°. Odkształcenie rozciągające wyniosło 0,798%.

Bibliografia

- Along the bond line. groundbreaking aircraft structures. Mukilteo: Fokker Aerostructures Inc., 2015.
- Avila A.F., Soares M.I., Neto A.S., A study on nanostructured laminated plates behavior under lowvelocity impact loading. International Journal of Impact Engineering 2007.
- Bielawski R., *Konstrukcje lotnictwa wojskowego. Materiały Kompozytowe*. 2014,4, 11-4
- Boczowska A., Krześciński G., *Kompozyty i techniki ich wytwarzania*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2016
- Cao Z., Cardew-Hall M., *Interference-fit riveting technique in fiber composite laminates*. Aerospace Science and Technology. 2006
- Chodorowski J., Ciszewski A., Radmoski T., *Materiałoznawstwo lotnicze*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2003.
- Dobrzański L.A., *Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 2006
- Durand L.P., *Composite materials research progress*. New York: Nova Science Publishers, 2008
- German J., *Podstawy mechaniki kompozytów włóknistych*, Politechnika Krakowska, Kraków 2001.
- Godzimirski J., *Lotnicze materiały konstrukcyjne*. Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna, 2008.
- Kaczmar J.W., *Wytwarzanie, właściwości i zastosowanie elementów z materiałów kompozytowych*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2013.
- Królikowski W., *Polimerowe kompozyty konstrukcyjne*. Warszawa: Wydawnictwo naukowe PWN, 2012.
- Ochelski S., *Metody doświadczalne mechaniki kompozytów konstrukcyjnych*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 2004.
- Szlezynghier K. Brzozowski Z.: *Tworzywa sztuczne. Tom II*. Warszawa: Wyd. Oświatowe FOSZE, 2013.
- Verma, D., Gope, P. c., Shandilya, A., Gupta, A., 2014, "Mechanical-Thermal-electrical and Morphological Properties of Graphene reinforced Polymer

composites: A review", Transactions of the Indian Institute of Metals, 67(6), 803-816

http://www.kmimp.agh.edu.pl/pliki/cz7_1.pdf [22 - 05 - 2019]

<https://www.czasopismologistyka.pl/artykuly-naukowe/send/318-artykuly-na-plycie-cd-3/6438-artykul> [23 - 05 - 2019]