

TECHNOLOGIA WYKONANIA NOSKA ŁOPATY WIRNIKA NOŚNEGO, PORÓWNANIE TRZECH TECHNOLOGII

RAFAŁ SZYMAŃSKI

Centrum Technologii Kompozytowych, Instytut Lotnictwa, Al. Krakowska 110/114, 02-256 Warszawa
rafal.szymanski@ilot.edu.pl

Streszczenie

Artykuł zawiera opis rodzajów i parametrów materiałów kompozytowych stosowanych w przemyśle lotniczym. Przedstawiono również rozwój technologiczny kompozytów pod kątem ich zastosowania w najbardziej ważnych elementach konstrukcji lotniczych, takich jak kompozytowe łopaty do śmigłowców, poddawane dużym obciążeniom podczas pracy. Porównano trzy główne technologie wykonywania kompozytów: ręczne laminowanie „na mokro” z zastosowaniem worka próżniowego, infuzyjne oraz preimpregnatowe, użyte do wykonania krawędzi natarcia łopaty nośnej. Opisano sposób wykonania struktur lotniczych, w celu minimalizacji porowatości kompozytu w całej objętości. Wymieniono niezbędną aparaturę stosowaną podczas wykonania kompozytów, odpowiedniej dla danej technologii. Przedstawiono rodzaje zastosowanych mieszanek sycących oraz dobór czasu i temperatury w procesie utwardzania w celu odpowiedniego połączenia warstw laminatu podczas jego utwardzania. Wymieniono również główne wady i zalety poszczególnych technologii oraz przedstawiono tendencje rozwoju kompozytów.

Słowa kluczowe: preimpregnat, technologia kompozytowa, infuzja, technologia „na mokro”, krawędź natarcia

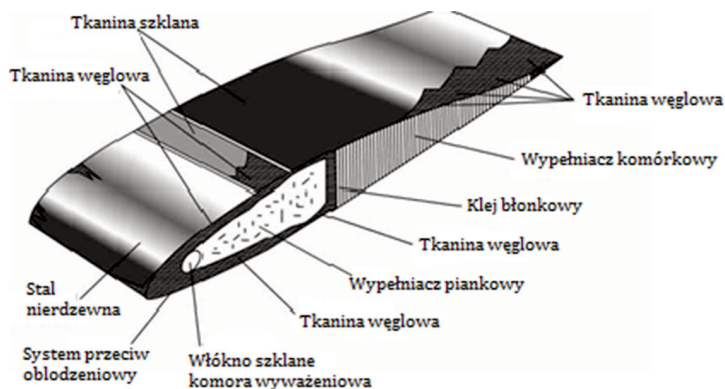
1. WPROWADZENIE ORAZ OPIS WYKONANEGO ELEMENTU

Kompozytem nazywamy materiał utworzony z co najmniej dwóch komponentów o różnych właściwościach fizyko-chemicznych. Utworzony w ten sposób element posiada lepsze (lub inne) właściwości w stosunku do zastosowanych komponentów. Elementy kompozytowe mogą mieć formę laminatów, konstrukcji przekładkowych z wypełniaczem jednorodnym (pianka), komórkowym (struktury typu plastra miodu) lub też konstrukcji hybrydowych. Kompozyt polimerowy składa się z żywicy (epoksydowej, poliestrowej lub fenolowej) stanowiącej osnowę oraz włókien wzmacniających (szklanych, węglowych lub aramidowych) nadających kompozytowi sztywność i wytrzymałość [1].

W przemyśle lotniczym coraz powszechniejsze jest stosowanie materiałów kompozytowych. Kompozyty zaczęto stosować w elementach, które do tej pory były wykonywane ze stopów aluminium. Głównym powodem tych zmian są wysokie parametry wytrzymałościowe przy jednocześnie małej gęstości. Oznacza to, że można wyprodukować równie dobry element o dużo mniejszej masie własnej. W lotnictwie przekłada się to na możliwość załadowania większej ilości towaru, zabrania na pokład większej ilości pasażerów lub pokonania większego dystansu przy tej

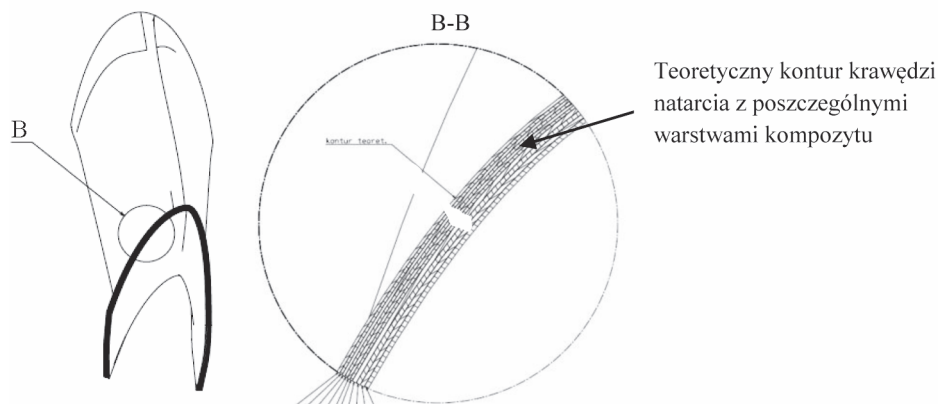
samej ilości paliwa. Wspomniany aspekt ekonomiczny powoduje, że z materiałów kompozytowych wykonuje się coraz bardziej odpowiedzialne elementy. Dodatkowo kompozyt odporny jest na korozję (przy położeniu tkaniny szklanej na pierwszej warstwie). W związku z dużym zainteresowaniem materiałów kompozytowych w Instytucie Lotnictwa powstał program budowy i badań struktur kompozytowych. W projektach tych opracowano między innymi wysoko wytrzymałościowe dźwigary z włókna węglowego wykonanego z preimpregnatów [2].

Pierwsze produkcyjne łopaty kompozytowe zostały wykonane w latach siedemdziesiątych. Od tamtego czasu trend wykorzystywania materiału kompozytowego na te elementy nieustannie wzrasta. Do łopat kompozytowych stosuje się różnego rodzaju włókna (węglowe, szklane, aramidowe). Pozwala to zarówno na obniżenie masy elementów, jak i dobór żądanej sztywności przy jednocześnie wysokiej wytrzymałości. Warstwa z włókna szklanego pozwala również zabezpieczyć łopatę przed warunkami atmosferycznymi. Zmniejsza również kruchość łopaty ponieważ ma znacznie mniejszy (w porównaniu do włókien węglowych) moduł Younga. Przekrój kompozytowej łopaty nośnej pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Przekrój kompozytowej łopaty nośnej [3]

Krawędź natarcia łopaty jest to krawędź łącząca obie części profili nośnych (górną i dolną). Jest to część najbardziej narażona na uszkodzenia oraz skrajne wartości temperaturowe. Krawędź natarcia pokazana została na rysunku 2.



Rys. 2. Założenia projektowe wykonania krawędzi natarcia [Autor, 2015]

2. WYKONANIE KRAWĘDZI NATARCIA ŁOPATY WIRNIKA NOŚNEGO W TECHNOLOGII „NA MOKRO”

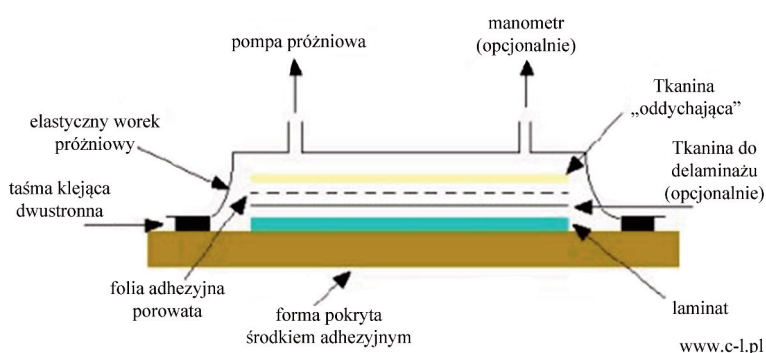
Laminowanie „na mokro” w porównaniu do technologii preimpregnatowej oraz infuzji jest najstarszą i, wydawać by się mogło, najprostszą technologią wykonywania elementów kompozytowych. Jest to również najbardziej rozpowszechniona technologia, gdyż do wykonania elementów kompozytowych nie jest wymagany specjalistyczny sprzęt.

W technologii tej na odpowiednio przygotowany model/foremnik (tj. na który nałożone są środki rozdzielcze), nanoszona jest warstwa żywicy. Na żywicę w odpowiedniej kolejności układane są warstwy zbrojenia, które przesyca się mieszkanką sycącą za pomocą pędzla lub wałka. Metoda ta chociaż bardzo opłacalna (nawet w produkcji jednostawowej), obarczona jest wieloma wadami. Główne wady ręcznej technologii na mokro to:

1. wysoka masa wykonanego elementu,
2. mała powtarzalność wykonywanych elementów,
3. duża ilość porowatości wewnątrz struktury,
4. tolerancja grubości $0,5 \pm 0,7$ mm.

Część wymienionych wad można wyeliminować stosując worek próżniowy. Worek próżniowy stosuje się w celu odessania wprowadzonego (w trakcie procesu przesykania) powietrza. Dodatkowo podciśnienie powoduje równomierny docisk laminatu i częściowe odprowadzenie nadmiaru żywicy. Metoda polega na typowym ułożeniu „na mokro” laminatu, ułożenia na nim tkaniny delaminacyjnej (tzw. delaminażu), folii perforowanej oraz zamknięciu wszystkiego pod workiem próżniowym. Tkanina delaminacyjna odpowiada za zabezpieczenie kompozytu przed tłuszczem, pyłami itp. Ponadto po zdjęciu delaminażu powierzchnia kompozytu jest już przygotowana do klejenia. Folię stosuje się do odseparowania laminatu od tkaniny oddychającej, a dzięki perforacji możliwe jest odprowadzenie nadmiaru żywicy. Tkanina oddychająca jest odpowiedzialna za równomierny i ciągły przepływ powietrza oraz za równomierny i ciągły na całej powierzchni docisk.

Schemat ręcznego laminowania „na mokro” z zastosowaniem worka próżniowego przedstawia rysunek 3 [4].

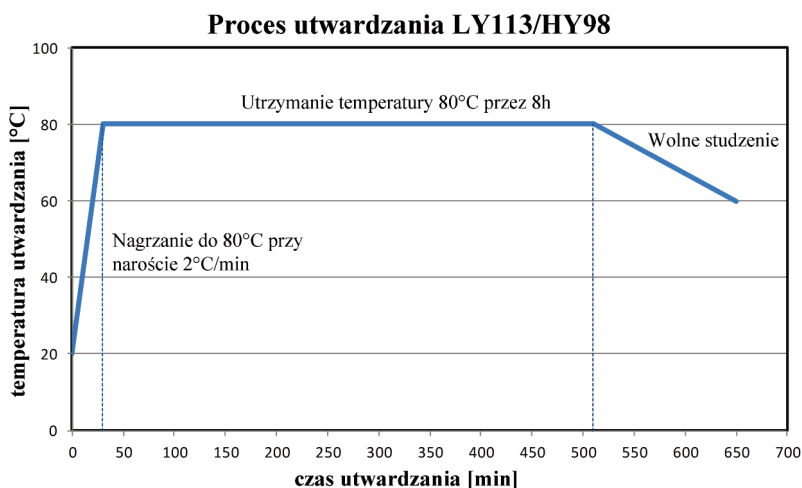


Rys. 3. Schemat metody ręcznego laminowania „na mokro” z zastosowaniem worka próżniowego [4]

Zastosowanie worka próżniowego komplikuje technologię na mokro oraz zwiększa koszty produkcji. Technologia ta wymaga przygotowania instalacji podciśnienia, do której niezbędna jest pompa próżniowa, przewody, regulator, manometr oraz materiały pomocnicze (folie, taśmy butylowe itp.), które nie były konieczne w poprzedniej technologii. Mimo to, warto podczas laminowania

wykorzystać worek próżniowy, ponieważ elementy wykonane tą metodą posiadają mniej porowatości, pustek, delaminacji (w wyniku docisku utwardzanego laminatu), a to bezpośrednio poprawia jakości i właściwości wytrzymałościowe gotowego elementu.

Krawędź natarcia została wykonana w technologii ręcznego laminowania „na mokro” z zastosowaniem worka próżniowego. Zbrojenie stanowiło włókno szklane oraz węglowe. Jako osnowę zastosowano żywicę epoksydową LY 113 z utwardzaczem HY 98. Proces utwardzania został wykonany zgodnie z cyklem termicznym pokazanym na rysunku 4.



Rys. 4. Proces utwardzania krawędzi natarcia łopaty nośnej w technologii ręcznego laminowania „na mokro” [Autor, 2015]

Krawędź natarcia łopaty nośnej wykonana w technologii na mokro pokazano na rysunku 5.



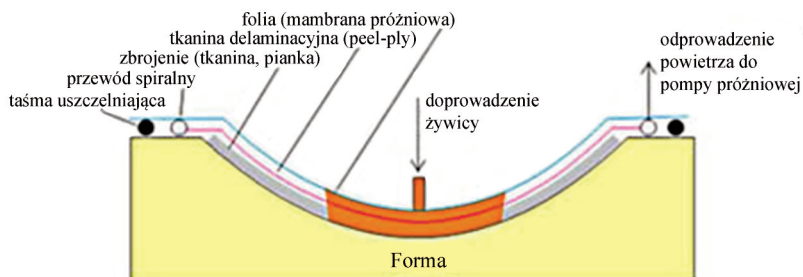
Rys. 5. Krawędź natarcia łopaty nośnej wykonana w technologii ręcznego laminowania „na mokro” z zastosowaniem worka próżniowego: a) widok od wewnątrz, b) widok z góry, c) widok od frontu [Autor, 2015]

3. WYKONANIE KRAWĘDZI NATARCIA ŁOPATY NOŚNEJ W TECHNOLOGII INFUZJI

Technologia infuzyjna została wymyślona na potrzeby przemysłu wojskowego. W ciągu ostatnich piętnastu lat nastąpił wzrost zainteresowania tą technologią w budowie nie tylko samolotów, ale i samochodów, jachtów, łopat elektrowni wiatrowych i wielu innych elementów.

Technologia infuzyjna jest procesem pozwalającym na wykonywanie produktów, których wartość porowatości jest akceptowalna w wielu gałęziach przemysłu. Wysoki stosunek zawartości zbrojenia do zawartości żywicy oraz uzyskanie wysokich wskaźników wytrzymałościowych i mechanicznych czyni tę technologię coraz częściej stosowaną.

Technologia infuzji polega na układaniu suchego zbrojenia w foremniku. Zbrojenie to jest łączone ze sobą specjalnym klejem w sprayu, który zapobiega przesuwaniu się ułożonych warstw materiału. Klej ten nie ingeruje w samą strukturę, gdyż jest całkowicie eliminowany podczas kontaktu z mieszką sycącą. Po nałożeniu wszystkich warstw zbrojenia układa się opcjonalnie tkaninę delaminacyjną oraz siatkę infuzyjną. Siatka ma na celu poprawę przepływu żywicy przez zbrojenie. W następnym etapie układa się instalację rozprowadzającą żywicę, zamknięcie worka próżniowego odbywa się w taki sam sposób jak w technologii ręcznego laminowania. Po sprawdzeniu szczelności worka do punktów, z których następuje wtlaczanie, podłączamy przygotowaną mieszką sycącą. Przesycanie zbrojenia odbywa się w wyniku różnicy ciśnień między wlotem mieszką sycącą a ciśnieniem jakie znajduje się pod workiem. Proces wtlócenia mieszką sycącą rozpoczyna się przy podciśnieniu $-0,5$ bar, aby nadmiernie nie ścisnąć zbrojenia na początkowym etapie przesycania, po przesyceniu około $60\div 70\%$ powierzchni wyrobu, podciśnienie zwiększa się do $-0,9$ bar i utrzymuje do czasu zżelowania żywicy. Schemat technologii infuzyjnej został pokazany na rysunku 6 [1].

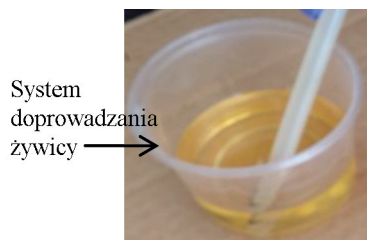


Rys. 6. Schemat laminowania w technologii infuzyjnej [1]

Krawędź natarcia została wykonana w technologii infuzji. Zbrojeniem było włókno szklane oraz węglowe w takim samym układzie, co w poprzedniej technologii. Zbrojenie wykorzystane na krawędź natarcia zostało pokazane na rysunku 7.



Rys. 7. Tkanina oraz kleje wykorzystywane w technologii infuzyjnej [Autor, 2015]



Rys. 8. Mieszanka sycąca z systemem doprowadzenia [Autor, 2015]

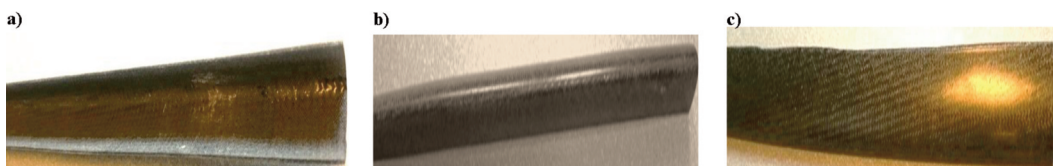
Jako osnowę ponownie zastosowano żywicę epoksydową LY 113 z utwardzaczem HY 98. Mieszką sycącą pokazano na rysunku 8.

System rozprowadzenia mieszką sycącą został pokazany na rysunku 9.



Rys. 9. Proces Infuzyjny krawędzi natarcia łopaty nośnej: a) widok ogólny, b) doprowadzenie żywicy, c) przesylenie zbrojenia [Autor, 2015]

Proces utwardzania został wykonany zgodnie z cyklem termicznym pokazanym na rysunku 4. Krawędź natarcia łopaty nośnej wykonanej w technologii infuzyjnej pokazano na rysunku 10.



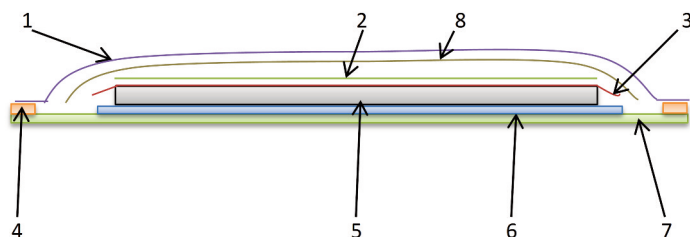
Rys. 10. Krawędź natarcia łopaty nośnej wykonana w technologii infuzyjnej: a) widok od wewnątrz, b) widok z góry, c) widok od frontu [Autor, 2015]

4. WYKONANIE KRAWĘDZI NATARCIA ŁOPATY NOŚNEJ W TECHNOLOGII PREIMPREGNATOWEJ

Technologia preimpregnatowa należy do najbardziej zaawansowanych technologii wykonywania struktur kompozytowych. Rozwinęła się na potrzeby lotnictwa, gdzie wykonuje się w tej technologii bardzo odpowiedzialne elementy statków powietrznych. Wysoka jakość wyrobów jaką uzyskuje się w tej technologii spowodowała, że coraz powszechniej jest wykorzystywana również w przemyśle motoryzacyjnym, sportowym, morskim [5].

Preimpregnatowy proces technologiczny należy do metody tzw. na sucho. W odróżnieniu od poprzednich technologii, zbrojenie w postaci włókien szklanych, węglowych jest już zaimpregnowane określoną ilością żywicy. Dzięki temu rozwiązaniu wyroby wykonane w tej technologii mają bardzo dobre właściwości mechaniczne i wytrzymałościowe, ale przede wszystkim jakość ta jest powtarzalna. Dobrze wykonana struktura preimpregnatowa nie powinna posiadać więcej niż 1% porowatości, co jest niemożliwe do uzyskania w innych technologiach [6], [7].

Technologia preimpregnatowa polega na układaniu warstw materiału i konsolidowaniu ich w worku próżniowym przez określony czas. Konsolidacja ma na celu pozbycie się zamkniętego powietrza między warstwami. Ogólny schemat konsolidacji preimpregnatu został pokazany na rysunku 11.

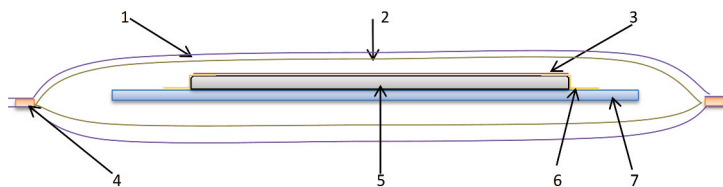


Rys. 11. Schemat konsolidacji: 1 – folia uszczelniająca, 2 – delaminaz, 3 – folia perforowana, 4 – taśma uszczelniająca „butyl”, 5 – struktura kompozytowa, 6 – płyta stanowiąca foremnik, 7 – podkładka elastyczna, 8 – tkanina oddychająca [Autor, 2014]

Po ułożeniu wszystkich warstw preimpregnatu, strukturę należy utwardzić również w worku próżniowym zgodnie z podanym przez producenta cyklem termicznym.

Pod wpływem wysokiej temperatury w osnowie rozpoczyna się przyspieszony proces utwardzania. W pierwszym etapie żywica zmienia swój stan skupienia na ciekły oraz zmniejsza się jej lepkość. Dzięki temu możliwe jest uwolnienie powietrza uwięzionego między warstwami preimpregnatu oraz znajdującego się w samej żywicy. Po upływie tego czasu następuje zwiększenie gęstości i przemiana fazowa z postaci ciekłej w stałą.

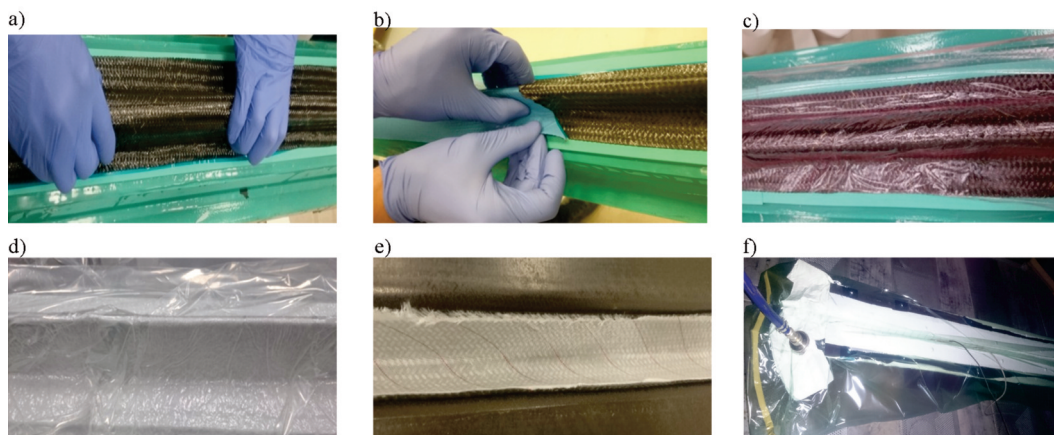
Przykładowy schemat worka próżniowego podczas procesu utwardzania został pokazany na rysunku 12.



Rys. 12. Przykładowy schemat worka próżniowego podczas utwardzania elementu kompozytowego: 1 – folia uszczelniająca, 2 – tkanina oddychająca, 3 – cienka folia, 4 – taśma uszczelniająca „butyl”, 5 – struktura kompozytowa, 6 – tkanina szklana, 7 – płyta stanowiąca foremnik. [Autor, 2014]

Krawędź natarcia wykonano z preimpregnatu węglowego MTM46 o zawartości żywicy 43% oraz preimpregnatu szklanego LTF318/GF1202/GF1100.

Preimpregnat węglowy MTM46 jest materiałem, który charakteryzuje się dobrą równowagą pomiędzy wytrzymałością a sztywnością. Zarówno Materiał MTM46 jak i LTF318/GF1202/GF1100 ma odporność termiczną do $+180^{\circ}\text{C}$. Proces układania preimpregnatu pokazano na rysunku 13.



Rys. 13. Proces układania elementu z preimpregnatu węglowego: a), b), c), d) wstępne formowanie kształtu na kopycie; e), f) ułożenie uformowanego elementu w foremniku [Autor, 2016]

Preimpregnat w odróżnieniu do tkanin suchych jest materiałem dużo sztywniejszym. Z tego względu bardzo trudne jest ułożenie preimpregnatu zapewniając całkowity jego kontakt z powierzchnią foremnika (zazwyczaj następuje brak dolegania w obszarze najmniejszego promienia noska). Przykład braku kontaktu w omawianej strefie pokazano na rysunku 14.



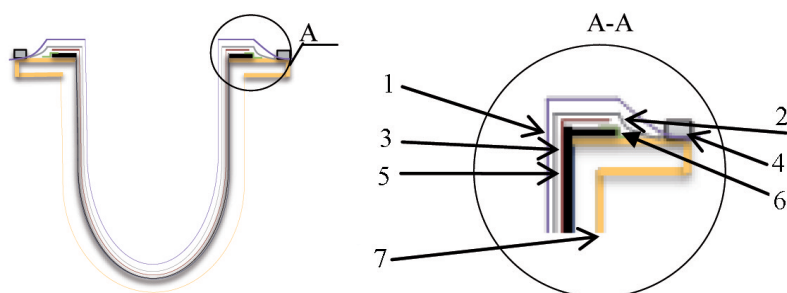
Rys. 14. Wady powierzchniowe spowodowane niedostatecznym kontaktem preimpregnatu do foremnika [Autor, 2016]

Rozwiązaniem tego problemu jest wstępne uformowanie materiału na specjalnie zaprojektowanym pozytywowym foremniku. Konsolidacja poszczególnych warstw odbyła się według wcześniej opracowanego schematu ze standardowymi czasami konsolidowania (pierwsza warstwa – 10 min, każde kolejne trzywarstwy – 15 min). Dokładny sposób odpowietrzania z ilością warstw, czasem odpowietrzania oraz zastosowanym podciśnieniem podany jest w tabeli 1.

Tab. 1. Schemat układania i odpowietrzania poszczególnych warstw preimpregnatu. [Autor, 2015]

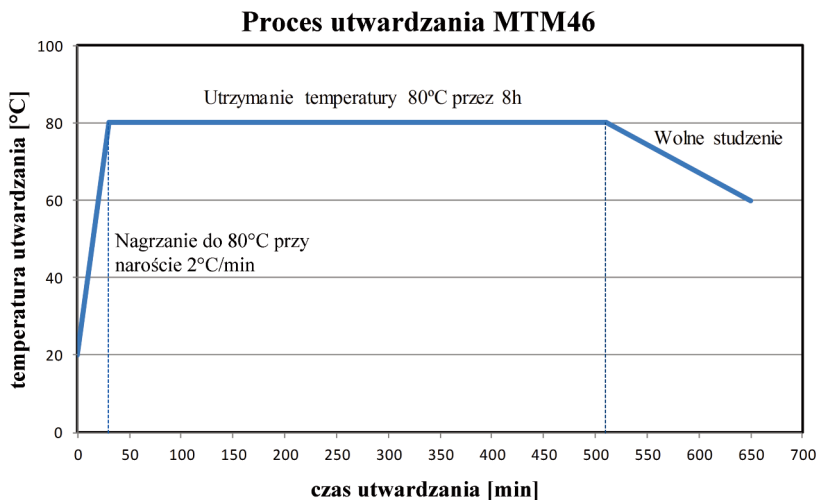
Lp.	Liczba odpowietrzanych warstw	Czas odpowietrzanych warstw, min	Podciśnienie, bar
1	1	10	-1
2	3	15	-1
3			
4			
5	3	15	-1
6			
7			
↓	↓	↓	↓
n	3	15	-1

Krawędź natarcia została utwardzona w worku próżniowym według rysunku nr 15.

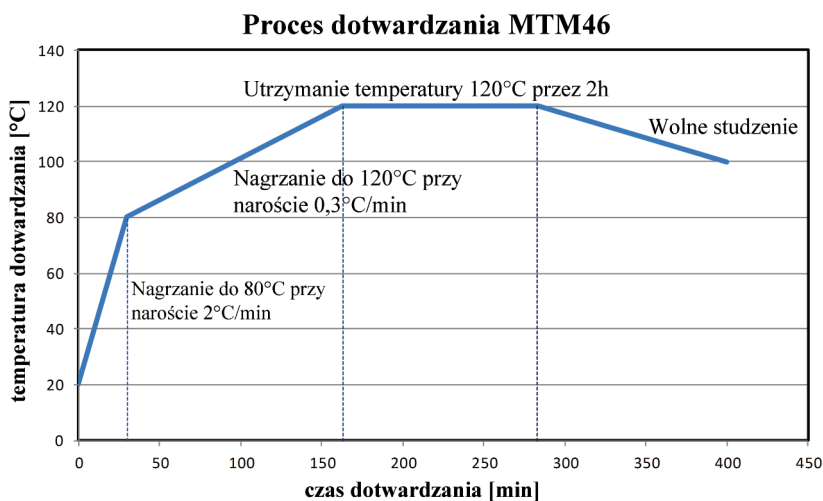


Rys. 15. Schemat worka próżniowego podczas utwardzania elementu kompozytowego: 1 – folia, 2 – tkanina oddychająca, 3 – cienka folia, 4 – taśma uszczelniająca „butyl”, 5 – struktura kompozytowa, 6 – tkanina szklana, 7 – foremnik [Autor, 2015]

Proces utwardzania oraz dotwardzania w celu wyższej wytrzymałości wykonano zgodnie z cyklami termicznymi pokazanymi na rysunkach 16 i 17. Cykle są cyklami termicznymi dla materiału MTM46 dostarczonymi przez producenta.



Rys. 16. Proces utwardzania krawędzi natarcia [Autor, 2015]



Rys. 17. Proces dotwardzania krawędzi natarcia [Autor, 2015]

Krawędź natarcia łopaty nośnej wykonanej w technologii preimpregnatowej przedstawiono na rysunku 18.



Rys. 18. Krawędź natarcia łopaty nośnej wykonana w technologii preimpregnatowej: a) widok z góry, b) widok z boku, c) widok od wewnątrz [Autor, 2015]

5. PORÓWNANIE ELEMENTÓW KOMPOZYTOWYCH

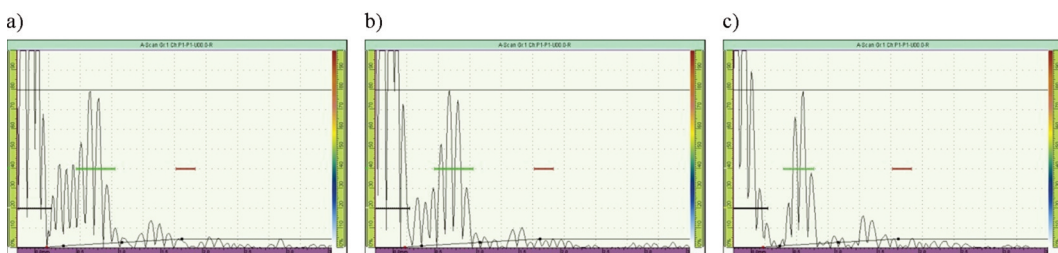
Porównania wykonanych elementów dokonano w następujących kategoriach:

1. Czas wykonania elementu
2. Koszt wykonania elementu
3. Stosunek sygnału do szumów (SNR)
4. Porowatość materiału
5. Masa wykonanego elementu.

Na czas wykonania elementu składał się czas przygotowania materiałów (cięcia tkanin i innych materiałów pomocniczych, folii vacuum, taśmy butylowej itp.) i oprzyrządowania (węże i ssawki vacuum, rurki rozprowadzające żywicę, wałki, pędzle itp.), czas wykonania elementu (laminowanie, układanie i klejenie warstw, przesycanie, konsolidacja, itp.), czas po wykonaniu elementu (czyszczenie narzędzi, chowanie materiału, itp.).

W koszcie wykonania elementu uwzględniono cenę materiałów podstawowych i pomocniczych niezbędnych do wykonania elementu. Koszty podano we wzoście procentowym odnoszącym się do wartości nominalnej (N) stanowiącej najtańszą technologię.

Porowatość w materiale oraz stosunek sygnału do szumów (SNR) określono poprzez przeprowadzenie badań nieniszczących nosków kompozytowych. Badanie wykonano metodą ultradźwiękową. Badanie przeprowadzono z wykorzystaniem systemu Omniscan MX wraz z modułem typu Omni-M-UT2, z głowicą jedno przetwornikową V202. Częstotliwość głowicy 10 MHz. Średnica przetwornika – 6 mm. Jako ośrodek sprzęgający wykorzystano miękką wodę filtrowaną. Przykładowe zobrazowanie A-scan pokazano na rysunku 15.



Rys. 19. Zobrazowanie A-scan elementów wykonanych w technologii: a) na mokro (vacuum), b) infuzji, c) preimpregnatowej. [Autor, 2016].

Masę elementu określono dla tych samych odcinków (długość 600 mm) bez naddatków i materiałów pomocniczych typu delaminarz, itp. Ważenie elementów pokazano na rysunku 16.



Rys. 20. Ważenie odcinków noska wykonanych w technologii: a) na mokro (vacuum), b) infuzji, c) preimpregnatowej. [Autor, 2016].

Porównanie wykonanych nosków kompozytowych w trzech technologiach umieszczono w tabeli 2.

Tab. 2. Porównanie parametrów noska kompozytowego wykonanego w trzech technologiach

Kategoria/ Technologia	Na mokro (vacuum)	Infuzja	Preimpregnaty
Czas wykonania [h]	4	6	10
Koszt wykonania [%]	N	+20 %	+60 %
SNR [dB]	6,1	8,5	24
Porowatość materiału [%]	14	8	0,8
Masa elementu [g]	45,62	63,21	34,45

6. WNIOSKI

Porównując trzy technologie wykonywania struktur kompozytowych można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Wszystkie opisane technologie były właściwe do wykonania krawędzi natarcia łopaty nośnej.
2. Najmniejsze porowatości w wykonywanych konstrukcjach uzyskuje się w technologii preimpregnatowej <1% powierzchni badanej. W pozostałych dwóch technologiach uzyskuje się stopień porowatości odpowiednio 8% – w technologii infuzji, 14% – w technologii na mokro (vacuum).
3. Największą wartość SNR uzyskano dla technologii preimpregnatowej i wyniosła 24 dB, dla infuzji wartość SNR równa jest 8,5 dB a dla elementu wykonanego w technologii ręcznego laminowania na mokro (vacuum) 6,1dB. Ogólnie dla kompozytów przyjmuje się że wartość SNR < 6dB kwalifikuje element do niebadalnych.
4. Koszt wykonania struktury kompozytowej metodą ręcznego laminowania jest najtańszy i porównując do metody ręcznego laminowania, technologia infuzyjna jest o 20% droższa, a preimpregnatowa o 60% droższa.
5. Czas wytworzenia elementu kompozytowego w metodzie laminowania na mokro wyniósł 4 godziny, w metodzie infuzji 6 godzin. Element wykonany z preimpregnatu zajął najwięcej czasu (10 godzin) co stanowi 150% więcej czasu w stosunku do technologii ręcznego laminowania. Wynika to głównie z konieczności konsolidacji każdego nowo ułożonych trzech warstw, która zajmuje minimum 15 minut.
6. Najprostszą pod względem technologicznym jest metoda ręcznego laminowania. W metodzie tej, odwrotnie niż w pozostałych dwóch technologiach, nie ma konieczności wykorzystywania specjalistycznego sprzętu do konsolidacji, oraz rozprowadzania mieszanki sycącej.
7. Wybór technologii wykonywania elementów kompozytowych zależy od indywidualnych potrzeb i zasobów firmy. Niemniej jednak w każdej metodzie niezbędny jest dobrze wykwalifikowanych personel.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Wiśniowski W., 2014, „Specjalizacje Instytutu Lotnictwa – Przegląd i Wnioski”, Prace Instytutu Lotnictwa, 2(235), s. 7-16.
- [2] <http://classroom.materials.ac.uk/caseRoto.php>,
- [3] <http://www.ecoteamlublin.republika.pl/laminowanie.html>,
- [4] <http://www.c-l.pl/know-how/pokaz,4/Technologia-Infuzja.html>,
- [5] Sloan J., Editor-in-Chief, 2015, “Out-of-autoclave processing: <1% void content?”, Composites World, 6/1/2015.
- [6] Purslow D., 1984, “On the optical assessment of the void content in composite materials”, Composites 1984, 15(3), pp. 207-210.
- [7] Bełzowski A, Stasienko J, Ziółkowski B, Kamińska A, 2004, „Niektóre kryteria akceptacji defektów w kompozytach na przykładzie laminatu ciętego strumieniem wody”, Composites, 4(12).

TECHNOLOGY MADE THE LEADING EDGE OF THE BLADE CARRIER, COMPARISON OF THREE TECHNOLOGIES

Abstract

The article contains the types and parameters of composite materials used in the aerospace industry. It also presents technological development of composites for their use in the most important elements of aircraft structures, such as composite blades for helicopters, subjected to high loads during operation. Three major technologies of composites manufacturing were compared: hand layup "wet" using a vacuum bag, infusion and prepregs, used to make the leading edge of the main rotor blade. The method of minimizing the porosity of the composite aircraft structures was explained. The necessary apparatus used during the execution of composites, appropriate for the technology was listed. Different types of resin matrices and optimal selection of time and temperature curing process in order to properly bond the laminate layers during final polymerization are presented. The paper also lists the main pros and cons of each technology and presents trends in the development of composites.

Keywords: prepreg, composite technology, infusion, wet technology, the leading edge