

# PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIE METODYKI FAA DO PRZYKLEJANIA PRÓBEK KOMPOZYTOWYCH, DO TESTÓW KWALIFIKACJI MATERIAŁU

ROBERT JAŚKIEWICZ, ANNA STEPNIOWSKA

Centrum Technologii Kompozytowych, Instytut Lotnictwa, Al. Krakowska 110/114, 02-256 Warszawa  
[robert.jaskiewicz@ilot.edu.pl](mailto:robert.jaskiewicz@ilot.edu.pl), [anna.stepniowska@ilot.edu.pl](mailto:anna.stepniowska@ilot.edu.pl)

## Streszczenie

Artykuł ma na celu sprawdzenie praktycznego zastosowania metodyki FAA (*Federalna Administracja Lotnictwa – Federal Aviation Administration*) do przygotowania próbek kompozytowych, do testów kwalifikacji materiału. Dokonano przeglądu literaturowego na potrzeby weryfikacji postanowień FAA w aspekcie testów kwalifikacji materiału. Przedmiotem badanym była płyta kompozytowa wykonana z włókna węglowego, o wymiarach 30×56 cm oraz średniej grubości 3,187 mm. W artykule porównano stosowane dwie metody przygotowania powierzchni płyt kompozytowych do badań: piaskowanie i szlifowanie. W trakcie piaskowania zmiennymi parametrami był czas (30s, 40s i 50s), ciśnienie (3 bar i 3,5 bar) i rodzaj ścierniwa (mikrokulki szklane oraz mikrokulki ceramiczne). Pozwoliło to na weryfikację wpływu różnych wartości parametrów na jakość powierzchni piaskowanej, a także porównać ją z obszarami szlifowanymi.

Słowa kluczowe: preparatyka płyt kompozytowych, kompozyty polimerowe, dokument FAA, piaskowanie kompozytów, szlifowanie kompozytów.

## 1. WPROWADZENIE

Nakładki odgrywają w testach mechanicznych kompozytów bardzo istotną rolę. Potrzeba stosowania ich podczas przeprowadzania badań próbek kompozytowych wynika z dwóch powodów. Pierwszym, jest mały współczynnik tarcia powierzchni płyt kompozytowych. Jego niskie wartości przekładają się na konieczność stosowania dużych wartości sił ściskających, wywieranych przez szczęki mocujące maszyny wytrzymałościowej. Może stać się to przyczyną uszkodzenia, a nawet zniszczenia badanej próbki, jeszcze przed przeprowadzeniem właściwej próby wytrzymałościowej [1]. Przyklejenie odpowiednio szorstkiej nakładki pozwala użyć mniejszej siły mocującej próbkę w szczękach, co chroni ją przed nadmierną siłą ściskającą szczęk, zapewniając jednocześnie możliwość właściwego przeniesienia rozciągającej lub ściskającej siły wzdłużnej.

Drugim powodem dla którego stosuje się nakładki testowe, jest spiętrzenie naprężeń powstające na krawędzi ich kontaktu ze szczękami maszyny wytrzymałościowej. Odpowiednim ukształtowaniem nakładek, a także zwiększenie powierzchni przenoszenia obciążenia można spowodować to, że naprężenia będą niższe, a ich rozkład będzie znacznie mniej gwałtowny, bez niepożądanego karbu.

Dobór odpowiednich nakładek jest równie istotny jak samo ich stosowanie. Należy uwzględnić kierunkowość kompozytu, jego rodzaj, typ przeprowadzanego badania jak również i środowisko

w którym się ono odbywa. Kolejnym kryterium doboru materiału na nakładki jest cena. Cechą pożądaną jest wybór taniego materiału, który mógłby być obrabiany za pomocą tych samych technologii, które są wykorzystywane do obróbki materiału kompozytowego.

Wyróżnić można trzy najczęściej spotykane rodzaje nakładek: nakładki z włókna szklanego, nakładki węglowe oraz nakładki metaliczne. Pierwszym rodzajem są nakładki wykonane z włókna szklanego cechuje stosunkowo niski koszt produkcji oraz możliwość stosowania w temperaturze do 177°C (350°F). Ponadto, nakładki te mogą być przygotowane z użyciem jednokierunkowego prepregu lub tkaniny. Istnieje kilka typów tego rodzaju nakładek, jednak najczęstszą stosowaną formą jest NEMA Grade G-10 [2].

Drugą możliwością jest użycie nakładek z włókna węglowego. Mają one szczególne znaczenie przy stosowaniu kompozytów węglowych, ponieważ proces wytwarzania może odbywać się podczas produkcji panelu. Proces utwardzania nakładek z panelu kompozytu wymaga specjalistycznych narzędzi oraz technologii. Nakładki z włókna węglowego nie mogą być jednak stosowane do każdego typu badań, co czyni je mało atrakcyjnymi [2÷4].

Trzecim rodzajem są stopy aluminium jak i stal niskowęglowa, które to od dawna wykorzystuje się jako materiał na nakładki na próbkach kompozytowych [2]. Do ich zalet zalicza się niską cenę oraz powszechność występowania. Jednak posiadają również niebezpieczne wady. W przypadku nakładek aluminiowych problematyczne jest uzyskanie odpowiednio silnego połączenia pomiędzy stopem aluminium i kompozytem. Dodatkowych przygotowań wymaga również powierzchnia nakładek aluminiowych, jeżeli utworzy się na nich warstwa tlenku. Z kolei, w przypadku nakładek wykonanych ze stali niskowęglowej sporym zagrożeniem jest ich wysoka sztywność w odniesieniu do sztywności kompozytu węglowego. Podczas cięcia połączenia nakładka metalowa – kompozyt istnieje duże ryzyko uszkodzenia struktury kompozytu. Prócz materiału, do próbki należy dobrać ich grubość i kształt [2].

## **2. PREPARATYKA NAKŁADEK ORAZ PŁYT KOMPOZYTOWYCH PRZEZNACZONYCH DO BADAŃ**

Przed przyklejeniem nakładek należy je odpowiednio przygotować. W przypadku nakładek z włókna szklanego, w celu uzyskania odpowiedniej do klejenia powierzchni, należy oderwać z powierzchni jedną warstwę delaminazu, a odsłoniętą w ten sposób nową powierzchnię odtłuścić acetonem. Na tę powierzchnię w następnym etapie nakładany jest klej łączący nakładkę z płytą testową.

Przed naklejeniem nakładki również płyta, na której mają zostać naklejone, musi zostać odpowiednio przygotowana. W pierwszej kolejności, na płycie zaznacza się strefę obrabianą, oddzielając ją tym samym od strefy pomiarowej. Należy do tego użyć ołówka o twardości HB. Powstałą w ten sposób strefę pomiarową zabezpiecza się przed kolejnymi procesami, zaklejając ją wytrzymałą taśmą.

Dla lepszego efektu klejenia, gładką i śliską powierzchnię płyty zmatowia się. W zależności od jakości posiadanych płyt można to uzyskać używając jednego z dwóch procesów: piaskowania lub szlifowania. Wytyczne dotyczące obydwu procesów zawarto w dalszej części artykułu. Ich skutkiem ma być równo zmatowiona i płaska powierzchnia. Po każdym z procesów powierzchnie czyści się z pyłu, a także odtłuszcza acetonem.

Z danych literaturowych zawartych w dokumencie FAA wynika, iż optymalną metodą umożliwiającą przygotowanie powierzchni kompozytów do klejenia nakładek jest piaskowanie. Zaleca się zacząć obróbkę od obszaru roboczego, np. na dodatkowym elemencie, w celu weryfikacji wpływu parametrów piaskowania na daną powierzchnię kompozytu. Podobnie jak w przypadku procesu szlifowania, zabezpiecza się strefę czujnikową mocną taśmą lub innym materiałem

osłonowym. Dodatkowo, w trakcie obróbki należy stale kontrolować proces poprzez pomiar grubości obrabianej płyty, dążąc do jednakowej grubości na całej powierzchni. W tabeli 1 zawarto obstrzżenia w metodzie piaskowania [2].

Tab 1. Obstrzżenia dotyczące metody piaskowania [2]

Stosowane ciśnienie, bar	2,76÷4,14
Odległość dyszy od obrabianej powierzchni, cm	15
Gradacja ścierniwa	180÷300

Jeżeli powierzchnia panelu jest wystarczająco płaska i gładka, alternatywą dla piaskowania jest szlifowanie. Może być wykonywane ręcznie (Rys. 1) lub używając szlifierki. W tej metodzie, nie używa się elektronarzędzi, ze względu na ryzyko ich uszkodzenia w wyniku kontaktu z pyłem węglowym. Nie jest zalecane stosowanie szlifierki taśmowej z uwagi na utrudnioną kontrolę ubytku materiału.

Proces szlifowania rozpoczyna się od oczyszczenia powierzchni kompozytu, a następnie zabezpiecza się obszary, które nie mają być poddane obróbce. Zalecane jest szlifowanie w jednym kierunku, aby nie zaburzyć struktury kompozytu. Podczas szlifowania ręcznego rekomenduje się użycie wody, tzw. szlifowanie na mokro, w celu ograniczenia rozprzestrzeniania się pyłu węglowego [2].

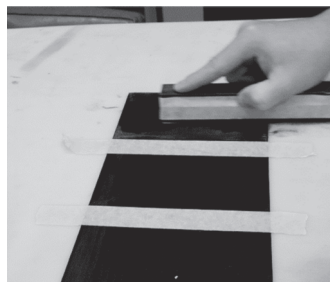
Jedną z najistotniejszych zalet procesu piaskowania jest znaczne ograniczenie rozprzestrzeniania się niebezpiecznych pyłów do otoczenia. Jest to możliwe dzięki specjalnej kabinie, która izoluje pracownika od pyłu. Ponadto, piaskowanie można stosować niezależnie od stanu oraz kształtu powierzchni, co jest z kolei sporym ograniczeniem w przypadku procesu szlifowania. Uwzględniając aspekt zdrowotny, szlifowanie jest metodą niosącą znacznie większe zagrożenie dla pracownika. Pył węglowy jest materiałem drobnoziarnistym, toteż zastosowanie odzieży ochronnej nie gwarantuje pracownikowi pełnej izolacji od niego. Z tej racji, zalecane jest szlifowanie z użyciem wody jako środka ograniczającego roznoszenie się pyłu [2].

### 3. WYNIKI BADAŃ

A – obszar szlifowany
1÷6 – obszary piaskowane



Rys. 2. Badana płyta przed obróbką [materiały własne]

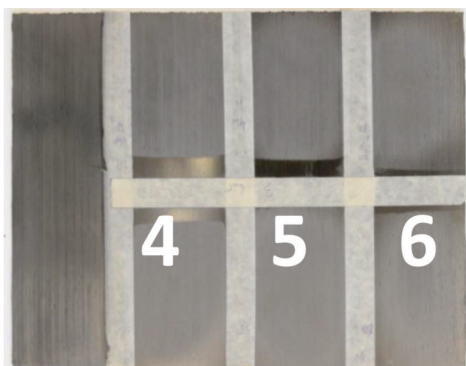


Rys. 1. Proces szlifowania ręcznego płyty kompozytowej [2]

W celu określenia różnicy między dwoma metodami, tj. piaskowania i szlifowania, przeprowadzono badania eksperymentalne obydwu dopuszczalnych rodzajów przygotowania powierzchni. Obiektem badanym była płyta kompozytowa z włókna węglowego z wydzielonymi obszarami badawczymi. Przed obróbką płyty poddano obserwacjom makroskopowym, a także zmierzono jej grubość w każdym z wydzielonych obszarów. Na rysunku 2 zamieszczono badaną płytę przed obróbką.

Obszary 1÷6 posłużyły jako powierzchnie testowe dla dobrania optymalnych parametrów procesu piaskowania. Podczas obróbki zmieniano czas (30s, 40s oraz 50s) i ciśnienie (3 bar i 3,5 bar) przepływu ścierniwa. Najlepsze wyniki uzyskano w obszarze nr 5 (Rys. 3), który posiadał płaską, jednolicie zmatowioną i gładką powierzchnię.

A – obszar szlifowany  
1÷6 – obszary do obróbki strumieniowo – ścierniej



Rys. 3. Badana płyta po obróbce [materiały własne]

Obszar A został poddany szlifowaniu. Na rysunku 3 można zaobserwować różnice wyglądu powierzchni uzyskanej obydwoma metodami. Podczas szlifowania, nie uzyskano jednolicie zmatowionej powierzchni, w odróżnieniu od piaskowania. Po obróbce ponownie zmierzono grubość obszarów A i 5. Wartości tych pomiarów zestawiono w tabelach 2 i 3.

Tab. 2. Tabela grubości obszaru szlifowanego A [opracowanie własne]

Grubość płyty, mm	Nr pomiaru			Średnia grubość, mm
	1	2	3	
<b>Przed szlifowaniem</b>	3,179	3,141	3,115	3,145
<b>Po szlifowaniu</b>	3,071	3,069	3,002	3,047
<b>Średni ubytek, mm</b>				<b>0,10</b>

Tab. 3. Tabela grubości obszaru piaskowanego 5 [opracowanie własne]

Grubość płyty, mm	Nr pomiaru			Średnia grubość, mm
	1	2	3	
<b>Przed piaskowaniem</b>	3,250	3,236	3,202	3,229
<b>Po piaskowaniu</b>	3,198	3,201	3,198	3,199
<b>Średni ubytek, mm</b>				<b>0,03</b>

#### 4. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literaturowego oraz wykonanych badań eksperymentalnych sformułowano następujące wnioski:

1. Proces szlifowania jest zdecydowanie dłuższy od piaskowania, ponieważ zajmuje około dwie godziny więcej. Ponadto, piaskowanie pozwala na uzyskanie gładziej i równiejszej powierzchni.
2. W procesie piaskowania płyt kompozytowych z włókna węglowego, dobór parametrów: czas, ciśnienie i rodzaj ścierniwa wyraźnie wpływa na stan powierzchni.
3. Pracownik podczas szlifowania jest o wiele bardziej narażony na interakcje ze szkodliwym pyłem węglowym ( $1\div 100\ \mu\text{m}$ ), co może w rezultacie doprowadzić do poważnego uszczerbku na zdrowiu (choroby płuc, nowotwory, itp.).
4. Korzystniej jest piaskować płyty kompozytowe ze strumieniem skierowanym wzdłuż włókien kompozytu. W przypadku piaskowania powierzchni kompozytu w kierunku prostopadłym, bardzo łatwo o wyrywania pojedynczych włókien.
5. Podczas piaskowania średni ubytek ścieranego materiału jest mniejszy, niż w procesie szlifowania o 0,07 mm.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Wiśniowski W., 2010, „Effect of changes in some design parameters on the dynamic properties of aircraft, Journal of KONES, Vol. 17, pp. 479-483.
- [1] DOT/FAA/AR-01-106, Tabbing Guide for Composite Test Specimens, Final Raport.
- [2] Adams D., Tabbing composite test specimens: When and why, Composites World, March 2011.
- [3] Adams D., The Combined Loading Compression (CLC) test method, 7/1/2011.
- [4] Adams D.F. and Lewis E.Q., Influence of Specimen gage length and loading method on the axial compressive strength of a unidirectional composite material, Springer, Experimental Mechanics, March 1991.

## PRACTICAL APPLICATION OF FAA METHODOLOGY OF COMPOSITE SPECIMENS USED TO MATERIAL TESTS QUALIFICATIONS

#### Abstract

Test practical application of FAA (Federal Aviation Administration) methodology for composite samples preparation for material qualification testing was written in this article. Review of the literature was made to verify the FAA provisions in aspect of material qualification testing. Research has been done with a composite panel (30×56 cm, average thickness 3.187 mm). The article compares two methods used for composite panel surface preparation: sandblasting and grinding. During sandblasting tests, variable parameters was: time (30 s, 40 s and 50 s), pressure (3 bar and 3.5 bar), and the type of abrasive (glass microspheres and ceramic microspheres). This allowed to verify effects of various parameters on the quality of sandblasted surface, and to compare it with grinded areas.

Keywords: composites samples preparation, polimer composites, FAA document, composites sandblasting, composites grinding.