

Lublin, dn. 2015-12-04

Prof. dr hab. Barbara Surowska
Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Małgorzaty Wilk
nt. „Kształtowanie elementów konstrukcji lotniczych z kompozytów typu GLARE”**

Recenzja wykonana została na zlecenie Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej z dnia 16.10.2015 r. w oparciu o decyzję Rady Wydziału z dnia 14 października 2015 roku.

I. Charakterystyka ogólna pracy

Recenzowana praca dotyczy istotnego problemu udoskonalania konstrukcji lotniczych pod kątem podwyższania osiągnięć statków powietrznych. Modyfikacje mogą dotyczyć konstrukcji silnika, materiałów na strefy najsilniej obciążone cieplnie jednostek napędowych, konstrukcji elementów wpływających na zmniejszenie oporów w locie itp. Za jeden z ważniejszych parametrów, na który ma wpływ projektant konstrukcji, a który może przynieść znaczące korzyści w eksploatacji, uważa się masę jednostki latającej. Obniżenie masy przede wszystkim realizuje się przez zastosowanie materiałów o niższej gęstości oraz takie przeprojektowanie elementów konstrukcji, żeby co najmniej zachować wymaganą charakterystykę statku powietrznego. Doktorantka podjęła próbę wykorzystania innowacyjnych materiałów i technologii z nimi związanych, w celu zastąpienia kształtowników metalowych profilami z laminatów hybrydowych, kierując się nie tylko potrzebą obniżenia masy ale również podwyższenia trwałości eksploatacyjnej. Praca realizowana była w zespole prof. dr hab. inż. Romany Śliwy, jako integralna część szeroko zakrojonych prac nad opracowaniem technologii materiałowych dla lotnictwa w ramach projektu kluczowego finansowanego z programu PO IG w latach 2009-2015. Rozwój sektora lotniczego jest priorytetem również w obecnej strategii, zwłaszcza w obszarze Podkarpacia, więc praca tematycznie bardzo dobrze wpisuje się w aktualne działania na rzecz lotnictwa.

Oceniana praca liczy 126 stron numerowanych, zawiera 4 rozdziały główne, wykaz piśmiennictwa oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. We wstępie Doktorantka dokonała wprowadzenia w zagadnienie stosowania materiałów kompozytowych we

współczesnym lotnictwie, po krótko omówiła również zakres zrealizowanych badań. Rozdział drugi, liczący około 40 stron, to przedstawienie kompozytów, w tym typu GLARE, stosowanych w lotnictwie, wraz z ich podstawowymi właściwościami oraz technologiami kształtowania pod określone zastosowania. Rozdział ten został opracowany w oparciu o aktualny stan wiedzy, niestety Autorka tylko w nielicznych miejscach powołała się na źródła, mimo że wykaz bibliografii liczy 80 poz. typu podręczniki, monografie i artykuły naukowe (głównie angielskojęzyczne) i 13 poz. internetowych.

W krótkim podsumowaniu stanu zagadnienia podkreślony został bezpośredni wpływ faz składowych kompozytu na jego cechy finalne. W przypadku kompozytów GLARE na możliwość kształtowania materiału kompozytowego ma wpływ rodzaj materiału fazy metalicznej i kompozytu polimerowego, ilość i grubość warstw, sekwencja ułożenia warstw oraz rozmieszczenie włókien. Na parametry końcowe kompozytu mają również wpływ metody wytwarzania poszczególnych faz kompozytu, jak i metody ich łączenia w kompozyt. Stwierdzono, że metodą zapewniającą wytwarzanie kompozytów o wysokiej jakości jest metoda polegająca na formowaniu w autoklawie.

Wnioski z krytycznej analizy stanu zagadnienia umożliwiły wytypowanie materiałów do badań oraz wybór metod wytwarzania profili kompozytowych. Za główny cel pracy uznano przeprowadzenie analizy procesu wytwarzania oraz kształtowania elementów z kompozytów typu GLARE do zastosowań w lotnictwie. Sformułowano tezę pracy oraz osiem celów szczegółowych. Przedstawiono też zakres pracy.

Kolejny obszerny rozdział 3 to badania własne. Rozdział podzielony jest na kilka podrozdziałów, w tym podrozdziały zatytułowane badania teoretyczne, eksperymentalne badania pilotażowe i eksperymentalne badania systematyczne. Każdy z tych podrozdziałów zakończony jest wnioskami o różnym stopniu szczegółowości. Całość badań podsumowano w rozdziale 4, w którym przedstawiono również dwa końcowe wnioski bardzo ogólne.

II. Ocena merytoryczna rozprawy

Temat podjęty w rozprawie jest bardzo aktualny oraz przyszłościowy z punktu widzenia aplikacji w technice lotniczej. Laminaty metalowo-włókniste, do których należą badane materiały hybrydowe typu GLARE, są stosunkowo nowymi materiałami dedykowanymi odpowiedzialnym elementom konstrukcji statków powietrznych. Ich obecne zastosowanie jest dość wąskie, ze względu na duże koszty produkcji i ograniczone możliwości rozmiarowe. Sztandarowym obiektem, w którym wykorzystano laminaty typu GLARE, głównie na elementy poszycia, jest Airbus A380. Jednak wraz z rozwojem

technologii oraz poszukiwaniem nowych systemów połączeń materiałów, otwierają się nowe obszary zastosowania materiałów typu FML.

Główny nurt ocenianej pracy to badania nad możliwością kształtowania profili z laminatów typu GLARE drogą przeróbki plastycznej na zimno. Takie prace prowadzone były przez twórców tych materiałów na początku XXI wieku, ale niewielka ilość publikacji oraz ochrona patentowa skutecznie ograniczają dostęp do informacji niezbędnych do prowadzenia procesu kształtowania tego rodzaju materiałów. Dlatego zajęcie się takim tematem i uzyskane wyniki zbliżają do osiągnięcia celu aplikacyjnego i stanowią wartość dodaną nie tylko w rozwoju naukowym Doktorantki ale i w zrealizowanym projekcie kluczowym. Postawiona teza, że: „Istnieje możliwość opracowania metody wytwarzania profili wzmacniających z kompozytów typu GLARE przeznaczonych do aplikacji lotniczych, zapewniającej powtarzalność procesu oraz wysoką jakość otrzymywanych elementów oraz doboru rodzaju materiałów składowych, ilości warstw i sekwencji ułożenia poszczególnych faz kompozytu typu GLARE w celu otrzymania materiału o wymaganych własnościach wytrzymałościowych i sztywności” jest bardzo rozbudowana ale trafnie oddaje sens poszukiwań naukowych i technologicznych podjętych przez Doktorantkę.

Wypunktowane cele szczegółowe (osiem celów) są różnej wagi, nie wszystkie zostały w pracy osiągnięte, ale przy tak dużej ich ilości nawet połowa byłaby wystarczająca do pozytywnej oceny całości pracy. Dwa pierwsze cele to w zasadzie analiza literaturowa, prawdopodobnie Autorka miała w nich na myśli wiedzę zawartą w podrozdziale „Badania teoretyczne”. Niestety ten rozdział to w dużej mierze powtórzenie informacji z rozdz. 2, poszerzony jedynie o technologie kształtowania profili. Można tą część potraktować jako krytyczną analizę stanu wiedzy z zakresu kształtowania profili z laminatów metalowo-włóknistych. Cele 3 do 6 zostały zrealizowane, cele 7 i 8 częściowo – moim zdaniem nie wytworzono „elementów konstrukcji lotniczych” a zaproponowana technologia nie do końca spełnia kryterium „optymalna” – jest lepsza z dwóch przetestowanych.

Na podkreślenie zasługuje bardzo przejrzyste i logicznie ułożony i zrealizowany zakres badań, dający bardzo dużą ilość informacji przydatnych w projektowaniu profili o założonych właściwościach i kształcie. Przy tak szerokim zakresie badań można było zrezygnować z badań wytrzymałości na rozciąganie próbek z karbem, które to badania nie wiążą się ściśle z problemami kształtowania gięciem.

Do szczególnie ważnych wyników pracy należy zaliczyć:

- Wyznaczenie charakterystyki laminatów o różnych konfiguracjach w próbie gięcia matrycowego bez stosowania środków smarnych. Interesujące i cenne są tu nie tylko

wyniki dla laminatów typu GLARE 3 ale również dla laminatów zbudowanych z mieszanych gatunków blach – te wyniki są wręcz unikalne.

- Wyznaczenie stopnia ognioodporności laminatów (bez zabezpieczenia powierzchni bocznych) – takie wyniki nie są opublikowane w czasopismach podstawowego obiegu, Autorka przytoczyła w części literaturowej tylko jedną pozycję przeglądową z 2002 roku, w której przedstawiono zależność $T=f(t)$ laminatów GLARE stosowanych przez Airbus..
- Opis degradacji struktury laminatów w procesie kształtowania profili na zimno.
- Opis jakościowy połączenia kompozyt-metal w metodzie wytwarzania laminatu z blachy profilowanej metoda gięcia.

Reasumując, Doktorantka wykazała, że możliwe jest wykonanie profilu z laminatu metalowo-włóknistego kształtując blachy oraz układając warstwy preimpregnatu przed utwardzaniem w autoklawie, przy czym niezwykle istotne jest dopracowanie profilu blachy do możliwości odwzorowania kształtu warstwą kompozytową. Tym samym główny cel pracy został osiągnięty a teza udowodniona.

III. Uwagi dyskusyjne i szczegółowe

Analizując całość pracy, zwłaszcza w zakresie badań własnych, pojawiają się pewne uwagi oraz pytania, przedstawione poniżej.

Uwagi/komentarze nie wymagające wyjaśnień ze strony Doktorantki:

1. Praca miejscami nosi znamiona pośpiechu w jej redakcji – na przykład z 93 pozycji bibliograficznych zacytowano tylko 27, nie dokonano ostatecznej korekty („pogubione” litery i błędy gramatyczne, powtórzenia wyrazów lub fraz, prezentowanie w tab.2.3 właściwości materiałów, o których nie ma żadnej wzmianki w tekście itp.), powtórzono w tytule rozdz. 3.1 Cele, chociaż ich tam nie ma (są w rozdziale poprzedzającym), rozdział 3.5.5 dotyczy badań niszczących a nie nieniszczących (obserwacje makro i mikrostruktury na pobranych z profili próbkach).
2. Umieszczenie oddzielnie rozdziału „3.2 Badania teoretyczne” w części dotyczącej badań własnych jest niewłaściwe – jest to (jak wyżej opisano) dalszy ciąg analizy literaturowej i nie zawiera treści typu podstawy teoretyczne procesu czy technologii. Bardzo oryginalne (dla mnie nieco dziwne) jest nazwanie części badań „systematyczne”, podczas gdy są one kontynuacją badań doświadczalnych i dotyczą opracowania technologii wytwarzania profili z oceną ich jakości.
3. Sformułowane cele, teza i końcowe wnioski syntetyczne z pracy w znacznej mierze pokrywają się z wnioskami z przeglądu stanu wiedzy i techniki (str. 32 i dalsze rozdz.

2.3.1, str. 44 rozdz. 2.5, str. 52 rozdz. 3.2), co zaciera elementy nowości w pracy, a przecież dokonano szeregu oryginalnych badań i wyciągnięto z nich wnioski szczegółowe, praca zawiera cenne wskazówki technologiczne – niepotrzebnie w tych głównych punktach Doktorantka prezentuje postawę odtwórcy.

Pytania i uwagi dyskusyjne dotyczące części eksperymentalnej:

1. W jaki sposób realizowano na prasie ręcznej posuw stempla 1mm/s? (str. 55 i rys. 3.5)
2. Jakie kryterium przyjęto przy wyborze do części 2 badań laminatów o układzie warstw $[0/90^0]$?
3. Dlaczego w części 2 zastosowano blachy o grubości 0,4 mm, podczas gdy wszystkie badania wstępne prowadzono na laminatach zawierających blachę o grubości 0,3 oraz 0,5mm i w podsumowaniu stwierdzono, że laminaty z blachą 0,3 mm „stanowią obiecujący materiał” (str. 71)?
4. Na str. 70 stwierdzono: „Arkusze ze stopów 2024, 6061 i 7075 wykazują znaczne wartości kąta sprężynowania”. Proszę o przedstawienie wyników dokumentujących ten wniosek (dotyczący prawdopodobnie blach o grubości 0,4 mm), ponieważ na rys. 3.19 są tylko kąty sprężynowania blachy 2024 o grubości 0,3 i 0,5 mm (w podpisie nazwane współczynnikiem sprężynowania).
5. Na str. 86 na rys. 3.38 zestawiono nieporównywalne wyniki – nie sezonowane laminaty o grubości blachy 0,3 i 0,5 mm (w tekście opisane jako 0,4 i 0,5 mm) oraz sezonowany 0,4 mm. Dlaczego nie pokazano wykresu siła – przemieszczenie dla laminatu 0,4 mm przed sezonowaniem?
6. Str. 87. Jaka cecha stopu aluminium decyduje o mniejszej palności testowanych laminatów? Ponadto proszę o wyjaśnienie przedstawionych informacji/wniosków w ostatnim akapicie na tej stronie.
7. Wyniki dla laminatów hybrydowych (o różnych gatunkach blach) są bardzo interesujące i cenne ale wniosek dotyczący korozji chyba zbyt śmiały – czy badała Pani różnicę potencjału pomiędzy gatunkami blach (niebezpieczeństwo ogniwa galwanicznego)? (Str. 117)
8. Stwierdzenie w podsumowaniu na str. 117: „Przeprowadzone badania doświadczalne stanowiły punkt wyjścia do oceny przydatności i poziomu bezpiecznej eksploatacji struktur lotniczych wykonanych z kompozytów typu GLARE” jest na wyrost – nie oceniano moim zdaniem poziomu bezpiecznej eksploatacji (bak w pracy kryteriów do takiej oceny oraz samej oceny). Podobnie na str. 44 zapisano, że „Program badań umożliwi...opracowanie kryteriów doboru parametrów kształtowania elementów z

metalicznych kompozytów warstwowych do zastosowań w konstrukcji obiektów.” – kryteria nie zostały opracowane.

9. Ponieważ wyniki są bardzo obszerne a końcowe wnioski bardzo syntetyczne (ogólne) wskazane byłoby przedstawienie w prezentacji na publicznej obronie propozycji najkorzystniejszego układu warstw do kształtowania profilu wraz ze wskazaniem parametrów potraktowanych jako kryterialne (pod hipotetyczne zastosowanie).

IV. Wniosek końcowy

Podjęty temat jest bardzo aktualny i, zgodnie z polityką naukową, posiada duży potencjał aplikacyjny w warunkach przemysłowych. Postawione w pracy zadanie technologiczne ukształtowania profilu z laminatu typu GLARE stosując przeróbkę plastyczną na zimno i związane z nim cele naukowe zostały zrealizowane w zaplanowanym zakresie. Potwierdzono prawdziwość sformułowanej tezy w oparciu o przeprowadzone szerokie badania eksperymentalne.

Praca mieści się tematycznie w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn. Doktorantka wykazała się umiejętnością właściwego zaplanowania eksperymentów, doboru metod badawczych do ich realizacji, predyspozycjami do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Rozprawa spełnia wymagania ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 386 z późniejszymi zmianami), a Autorka może zostać dopuszczona do publicznej obrony.

