
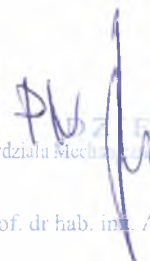


Prof. dr hab. inż. Elżbieta Bociąga

Częstochowa, 27.02.2014 r.

Politechnika Częstochowska
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki
Instytut Technologii Mechanicznych
Zakład Przetwórstwa Polimerów




Wydziału Mechanicznego i Technologicznego
prof. dr hab. inż. Arkadiusz Mężyk

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Zbigniewa Trojnackiego
pt. „Ocena wytrzymałości mechanicznej laminatów na podstawie
pomiarów przewodności cieplnej”

Recenzję niniejszą sporządziłam na wniosek Rady Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej, zgodnie z pismem Pana Dziekana prof. dr hab. inż. Arkadiusza Mężyka z dnia 19 lutego 2014 r.

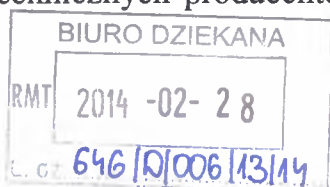
Po zapoznaniu się z treścią przesłanej mi rozprawy stwierdzam, że jej tematyka jest w zakresie moich zainteresowań naukowych i mogę podjąć się opracowania recenzji.

Zakres rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Zbigniewa Trojnackiego obejmuje 134 strony, w tym 34 strony stanowią załączniki. Praca składa się z 6 rozdziałów, spisu cytowanej literatury oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. W załącznikach zamieszczone zostały spisy rysunków i tabel, fotografie powierzchni badanych próbek oraz wybrane wyniki badań przewodności cieplnej i wytrzymałości na zginanie laminatów.

W rozdziale pierwszym, zatytułowanym „Wstęp”, Doktorant wskazał na szerokie stosowanie kompozytów polimerowych, zwłaszcza w postaci laminatów, oraz znaczenie badań nieniszczących w ocenie ich właściwości.

Rozdział drugi jest poświęcony analizie literatury z zakresu wytwarzania i badania laminatów uzyskanych z żywic polimerowych oraz napełniaczy i wzmocnień włóknistych. Omówiono ponadto zjawiska adhezji oraz starzenia istotne w przypadku kompozytów warstwowych. W spisie literatury uwzględniono 102 pozycje, współautorem jednej z nich jest Doktorant. Cytowana literatura obejmuje polskie i angielskojęzyczne publikacje naukowe, normy, informacje zamieszczone w kartach technicznych producentów materiałów oraz na stronach internetowych. Rozdział ten



Doktorant zakończył podsumowaniem oraz sformułowaniem problemu rozpatrywanego w rozprawie.

Teza, cel oraz zakres realizowanych badań, które podzielono na wstępne i zasadnicze przedstawiono w rozdziale trzecim.

Rozdział czwarty jest zasadniczą częścią doświadczalną rozprawy i zawiera wyniki badań własnych kompozytów oraz laminatów wytworzonych przy zastosowaniu różnych żywic polimerowych oraz napełniaczy proszkowych i włóknistych. W badaniach wstępnych przedstawiono wyniki badań przewodności cieplnej oraz wytrzymałości na zginanie próbek z czterech rodzajów żywic poliestrowych zawierających napełniacze proszkowe.

Celem badań zasadniczych było określenie oddziaływania długotrwałego nagrzewania (destrukcji termicznej) próbek, wykonanych metodą laminowania ręcznego z żywic poliestrowych, napełniacza proszkowego oraz wzmocnienia z włókna szklanego, na ich wybrane właściwości mechaniczne i cieplne. Wykazano występowanie zależności pomiędzy przewodnością cieplną i wytrzymałością na zginanie badanych laminatów. Na podstawie uzyskanych zależności zaproponowano możliwość wykorzystania znajomości przewodności cieplnej do prognozowania właściwości mechanicznych elementów z warstwowych kompozytów polimerowych.

Wnioski końcowe, podzielone na poznawcze i użytkowe, zawiera rozdział piąty. Krótkie podsumowanie rozprawy przedstawiono w rozdziale szóstym.

Treść rozprawy jest zgodna z jej tematem, Kolejność rozdziałów została ustalona prawidłowo. Praca zawiera 32 tabele oraz 109 rysunków.

Znaczenie tematyki rozprawy

Tematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej obejmuje zagadnienia oceny właściwości kompozytów polimerowych, wytworzonych na bazie żywic utwardzalnych oraz napełniaczy proszkowych i włóknistych. Są to materiały konstrukcyjne o istotnym znaczeniu, stosowane często do produkcji elementów eksploatowanych przy dużych obciążeniach mechanicznych, cieplnych, w trudnych warunkach środowiskowych np. w wodzie morskiej. Interesującym aspektem badań jest poszukiwanie zależności pomiędzy właściwościami mechanicznymi tych kompozytów a ich przewodnością cieplną, ulegającą zmianie w wyniku starzenia materiału i degradacji jego struktury. Doktorant wykazuje możliwość prognozowania właściwości mechanicznych elementów, wytworzonych metodą laminowania, na podstawie badań przewodności cieplnej. Zależności te nie są jeszcze dostatecznie poznane, a określenie możliwości oceny właściwości wytrzymałościowych laminatów w badaniach nieniszczących, bez destrukcji elementu badanego, ma duże znaczenie użytkowe. Celowe są badania zmierzające do wyjaśnienia zjawisk wpływających na

destrukcję laminatów podczas ich użytkowania, w tym, oprócz warunków użytkowania, także skład chemiczny i budowa strukturalna laminatów, zwłaszcza liczba i postać warstw napełniacza włóknistego oraz adhezja pomiędzy składnikami laminatu.

Teza badawcza i cele rozprawy

Teza badawcza rozprawy brzmi następująco: „Skutkiem ekspozycji laminatów poliestrowo szklanych na promieniowanie cieplne jest degradacja znajdująca wyraz w zmianach struktury materiału, co stanowi przesłankę efektywności cieplnych metod diagnostycznych wytrzymałościowych skutków procesu degradacji”. Jest to teza poprawna, jednak zrozumiała tylko dla osób znających całą pracę Doktoranta. Ostatnia część tezy jest niejasno sformułowana, można byłoby napisać np. „...stanowi przesłankę do wykorzystania cieplnych metod diagnostycznych w ocenie wytrzymałościowych skutków procesu degradacji”.

Celem badawczym rozprawy było wykazanie korelacji między właściwościami cieplnymi a mechanicznymi laminatów poliestrowo-szklanych, z różną zawartością napełniaczy proszkowych, poddanych destrukcji termicznej. Właściwości cieplne laminatów określano na podstawie pomiarów przewodności cieplnej, natomiast mechaniczne w próbie zginania.

Jako cel użytkarny przyjęto wykorzystanie wyznaczonych zależności przewodność cieplna - wytrzymałość na zginanie do oceny stopnia destrukcji laminatów.

Do osiągnięcia celów rozprawy konieczne było przeprowadzenie wielu badań eksperymentalnych z wykorzystaniem m.in. stanowisk badawczych do wyznaczania przewodności cieplnej oraz do badania procesu destrukcji termicznej laminatów, prawdopodobnie zaprojektowanych i wykonanych przez Doktoranta, chociaż nie napisano tego w pracy.

Ocena merytoryczna rozprawy

Kompozyty polimerowe, w tym laminaty uzyskane z użyciem wzmocnień włóknistych, są materiałami często wykorzystywanymi do wytwarzania elementów konstrukcyjnych, obciążanych podczas użytkowania mechanicznie, niekiedy cieplnie, eksploatowanych w środowisku agresywnym chemicznie. Materiały te powinny zachować dobre właściwości, zwłaszcza wytrzymałościowe, w określonym czasie użytkowania, jednak ich kontrola jest często utrudniona i niejednokrotnie możliwa do przeprowadzenia jedynie przy wykorzystaniu metod badawczych niszczących. Z tego

względu zaproponowany sposób prognozowania właściwości mechanicznych laminatów na podstawie nieniszczących badań przewodności cieplnej, bez konieczności zniszczenia badanego elementu, jest interesujący. Tematyka badawcza rozprawy jest aktualna i ma cechy nowości naukowej.

Przedstawiona analiza literatury dotyczącej tematyki rozprawy obejmuje charakterystykę materiałów stosowanych do wytwarzania laminatów: żywic, napełniaczy i wzmocnień włóknistych. Wskazano ponadto różne metody wytwarzania laminatów, z tym, że omówiono tylko dwie z nich, a mianowicie laminowanie ręczne i ciśnieniowe. Należało raczej opisać różne metody i wskazać na celowość stosowania tych dwóch wybranych. W opisie metod badania laminatów rozróżniono badania niszczące i nieniszczące, szerzej przedstawiono badanie przewodności cieplnej. W podsumowaniu stwierdzono, że w wyniku starzenia laminatów występują niekorzystne zmiany w ich budowie strukturalnej, skutkujące m.in. zmniejszeniem adhezji pomiędzy wzmocnieniem włóknistym i polimerem, pojawianiem się szczelin, co z kolei powoduje spadek przewodności cieplnej laminatu. Na tej podstawie przyjęto, że poprzez określenie zmian przewodności cieplnej można prognozować o zmianach właściwości mechanicznych laminatu.

Przegląd literatury, chociaż wykonany nieco pobieżnie, był podstawą do sformułowania tezy rozprawy oraz celu i zakresu badań.

Zasadniczą część rozprawy stanowi rozdział czwarty zawierający wyniki badań wstępnych i zasadniczych laminatów poliestrowo-szklanych. Na podstawie kart technicznych producentów scharakteryzowano podstawowe właściwości czterech żywic (nienasyconej żywicy poliestrowej o niskiej emisji styrenu AROPOL M 105 TB, przyspieszonej żywicy poliestrowej AROPOL K 530 TB, epoksywinyloestrowej DERA KANE 411-350, winyloestrowej AME ® 6000 T35), dwóch napełniaczy proszkowych (wodorotlenek glinu oraz węglan wapnia z węglanem magnezu), dwóch rodzajów wzmocnienia włóknistego, w postaci tkaniny i maty z włókna szklanego oraz środków pomocniczych stosowanych w badaniach.

W części poświęconej badaniom wstępnym opisano procedurę wytwarzania próbek kompozytów metodą odlewania do formy silikonowej. Próbki zostały wykonane z czterech rodzajów żywic oraz dwóch napełniaczy, dodanych w ilości 22, 29, 36, 43 %. Zamieszczono wyniki badań przewodności cieplnej, temperatury ugięcia pod obciążeniem HDT oraz wytrzymałości na zginanie próbek w funkcji zawartości napełniacza. Przewodność cieplną kompozytów wyznaczano w badaniach realizowanych z wykorzystaniem własnego stanowiska badawczego oraz obliczano wartość teoretyczną stosując regułę mieszanin. Ustalono, że wzrost zawartości napełniacza w kompozycie powoduje zwiększenie przewodności cieplnej oraz spadek wytrzymałości na zginanie. Ponadto stwierdzono, że wprowadzenie napełniacza do

polimeru skutkuje zmniejszeniem temperatury HDT w porównaniu z wartością uzyskaną dla żywicy nienapełnionej, jednak wartość ta nie zmienia się ze wzrostem zawartości napełniacza. Nie podjęto jednak próby zinterpretowania wyników tych badań.

W badaniach zasadniczych, stanowiących istotną część rozwiązywanego zagadnienia naukowego sformułowanego w tezie rozprawy, określono wpływ destrukcji cieplnej na właściwości laminatów poliestrowo-szklanych. Badania prowadzono metodą starzenia przyspieszonego, przy wykorzystaniu promiennika podczerwieni, na własnym stanowisku badawczym. Próbkę badawczą zostały wytworzone metodą laminowania ręcznego, z dwóch rodzajów żywic (AROPOL M 105 TB oraz AME ® 6000 T35) zawierających napełniacze proszkowe i wzmocnienia włókniste w postaci tkaniny i maty szklanej. Zawartość napełniacza w laminatach zmieniano w zakresie od 0 do 36 %, natomiast włókna szklanego od 36 do 60 % (tkanina szklana) oraz od 33 do 63 % (mata szklana). Zmianę właściwości próbek po procesie starzenia oceniano na podstawie ubytku masy próbek, zmiany przewodności cieplnej oraz wytrzymałości na zginanie, w funkcji czasu starzenia. Wyniki badań przedstawiono w tabelach i na rysunkach, jednak nie dołączono do nich żadnego komentarza.

Wykonano wiele interesujących fotografii próbek laminatów (rys. 37, 78÷101) przedstawiających wygląd powierzchni bocznej próbek oraz powierzchni od strony nagrzewanej, przed i po procesie starzenia. Na ich podstawie można byłoby wnioskować np. o wpływie rodzaju wzmocnienia włóknistego, liczbie warstw i sposobie ułożenia na właściwości laminatu. Szkoda, że nie podjęto próby interpretacji tych wyników oraz ich powiązania z wynikami badań właściwości cieplnych i mechanicznych. Wykazano występowanie korelacji pomiędzy przewodnością cieplną i wytrzymałością na zginanie badanych laminatów, co ilustrują rysunki 50÷77 oraz potwierdzają obliczone współczynniki korelacji Persony. Doktorant stwierdził, że zależność ta jest liniowa, jednak w większości przypadków widoczne na wykresach linie łączące punkty pomiarowe trudno uznać za linie proste. Należało raczej wyznaczyć funkcje regresji. Wyznaczone zależności są istotne ze względu na przyjętą tezę oraz cele pracy. Wskazują na możliwość wykorzystania wyników nieniszczącego badania przewodności cieplnej w diagnostyce wytrzymałości elementów konstrukcyjnych z warstwowych kompozytów polimerowych.

Wyniki wstępnych i zasadniczych badań eksperymentalnych kompozytów oraz laminatów poliestrowych stanowiły podstawę do sformułowania wniosków końcowych, podsumowania oraz stwierdzenia słuszności przyjętej tezy rozprawy. Wskazano na celowość kontynuowania prac badawczych w zakresie oceny możliwości prognozowania właściwości mechanicznych laminatów wytworzonych

z innych materiałów na podstawie ich przewodności cieplnej, z wykorzystaniem metodyki badań zastosowanej w rozprawie.

Wyniki przeprowadzonych badań są oryginalne i stanowią znaczący wkład w rozwój wiedzy z zakresu inżynierii materiałowej, zwłaszcza wiedzy o kompozytach polimerowych, ich wytwarzaniu oraz metodach oceny właściwości. Pomimo braku dogłębnej interpretacji uzyskanych wyników badań jest to praca o dużej wartości poznawczej i użytecznej. Doktorant wykazał się umiejętnością prowadzenia eksperymentu przy zastosowaniu oryginalnych metod badawczych oraz znajomością zagadnień teoretycznych niezbędną do realizacji założonych celów, co świadczy o jego wystarczającym przygotowaniu do samodzielnej pracy naukowej.

Uwagi szczegółowe

Po zapoznaniu się z rozprawą nasuwają się następujące uwagi krytyczne:

1. Wyniki badań, zarówno wstępnych jak i zasadniczych, zostały przedstawione w tabelach i na rysunkach, nie podjęto szerszej próby ich interpretacji, poszukiwania możliwych przyczyn zmiany np. przewodności cieplnej przy zastosowaniu różnych napełniaczy.
2. W opisie sposobu przygotowania próbek do badań (str. 48) napisano: „...do mieszaniny dodano katalizator (w odpowiedniej ilości) oraz przyspieszacz...”. Jaka to jest „odpowiednia ilość”?
3. Nie napisano nic na temat liczby powtórzeń pomiarów, dokładności pomiarowej. Na wykresach nie zaznaczono wartości rozrzutu wyników pomiarów.
4. Opis i schemat stanowiska do badania przewodności cieplnej jest niedokładny. Brak informacji o usytuowaniu próbki, jej izolowaniu od otoczenia itp. Napisano tylko, że w stanowisku badawczym znajduje się „aparat pomiarowy”. Warto byłoby dołączyć fotografię stanowiska.
5. Str. 57 – W tabeli 19 zamieszczono wartości procentowej różnicy pomiędzy przewodnością cieplną teoretyczną a mierzoną. Wartości te zmieniły się w szerokim zakresie, od +19,7 % do -20,4 %. Na jakiej podstawie obliczono „ogólną różnicę”, wynoszącą 1,54 %, między przewodnością cieplną wyznaczaną dwoma sposobami?
6. Str. 42, p.2. Sprawdzenie czasu żelowania – nie zamieszczono wyników badań własnych czasu żelowania żywic, tylko uzyskane przez firmę AkzoNobel, chociaż napisano, że były prowadzone próby żelowania.

W pracy są błędy stylistyczne i interpunkcyjne. Doktorant nie ustrzegł się pewnych niedokładności w zakresie terminologii, konsekwencji w nazewnictwie i drobnych nieścisłości. Można do nich zaliczyć:

1. Co oznacza „silna struktura” (str. 6, w. 13-14 g), „szczelność struktury” (str. 10, wiersz 5g)?
2. Str. 13, rozdział 2.3. – podano kilka definicji laminatu, m.in. „Laminat – według definicji [11, 15] jest to kompozyt stworzony z jednego lub kilku rodzajów tworzyw termoutwardzalnych, związanych z włóknem szklanym.” Czy laminat nie może zawierać innych włókien niż tylko szklane?
3. Str. 24, wiersz 2-3g – „...odległość próbki jest równa $\Delta T = (T_1 - T_2)$...” Odległość nie może być równa temperaturze.
4. Niepoprawny sposób cytowania literatury po pierwszych wyrazach w zdaniu, np. „Przeniesienie [40] obciążeń...” (str. 28), „Niekorzystne zmiany [86] zachodzące...” (str. 28).
5. Str. 28, wiersz 1-2d – niejasne zdanie: „Promieniowanie w bliskiej podczerwieni szczególnie przyspiesza reakcje degradacji w wynikach podwyższenia temperatury materiału polimerowego”.
6. W pracy jest wiele niepotrzebnych ogólników, np. str. 31: „Powstało wiele publikacji na temat badań nieniszczących różnego typu i do oceny różnych własności materiałowych”.
7. Str. 35, punkt 3 planu badań – nie można porównywać własności termicznych z mechanicznymi.
8. W tabelach 3÷6, w kolumnie „Metoda” są podane numery norm, a nie metody badań. Jednostki powinny być w układzie SI, np. gęstość [kg/m^3], temperatura [K], masa [mg] (a nie Mg), czas [s].
9. Str. 131 – Różne rysunki 102 i 103, a takie same podpisy.
10. Str. 89, wiersz 6g – „Z wykresów na rys. 46, 47, 102-105 wynika, że czas destrukcji wpływa na przewodność cieplną oraz własności mechaniczne badanych laminatów” – na tych rysunkach nie ma wyników badań własności mechanicznych.
11. Str. 89, wiersz 1-2d – Stwierdzono, że „występuje nierównomierne rozłożenie własności na całej powierzchni”, a nie badano równomierności rozłożenia własności (jakich?).

Przedstawione uwagi krytyczne nie obniżają jednak merytorycznej wartości rozprawy, która zawiera wyniki ciekawych, obszernych i pracochłonnych badań. Uzyskane wyniki badań są oryginalne i stanowią istotny wkład w rozwój wiedzy z zakresu badania i stosowania kompozytów polimerowych.

Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę całość recenzowanej rozprawy doktorskiej mgr inż. Zbigniewa Trojneckiego pt. „Ocena wytrzymałości mechanicznej laminatów na podstawie pomiarów przewodności cieplnej” stwierdzam, że pomimo uwag krytycznych stanowi ona oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego określonego w jej tytule, zawiera ważne elementy poznawcze i użyteczne. Doktorant wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie „inżynieria materiałowa”, niezbędną do realizacji postawionych zadań badawczych. Zawarte w pracy wyniki badań eksperymentalnych rozszerzają wiedzę o warstwowych kompozytach polimerowych oraz możliwościach prognozowania zmian ich właściwości, spowodowanych starzeniem, na podstawie nieniszczących badań przewodności cieplnej. Stanowią cenny materiał źródłowy do praktycznego ich wykorzystania w diagnostyce elementów konstrukcyjnych wytworzonych z laminatów polimerowych.

Uważam, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska spełnia kryteria wynikające z ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym i stawiam wniosek do Rady Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej o przyjęcie rozprawy mgr inż. Zbigniewa Trojneckiego i dopuszczenie jej do publicznej obrony.



A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Borowy".