

Prof. dr hab. inż. Ryszard B. Pęcherski
Zakład Mechaniki Materiałów
Instytut Podstawowych Problemów Techniki
Polskiej Akademii Nauk
ul. A. Pawińskiego 5B
02-106 Warszawa

Warszawa, 23.09.2015 r.

Recenzja pracy doktorskiej
mg inż. Joanny Ligody-Chmiel
pt.: *Właściwości kompozytów ceramiczno-polimerowych*
do zastosowań w konstrukcjach lotniczych

Praca składa się z siedmiu rozdziałów poprzedzonych spisem treści, wykazem ważniejszych oznaczeń oraz wprowadzeniem. Na końcu podano bibliografię oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. Całość zawarta jest na 140 stronach.

Autorka podjęła się trudnego zadania o charakterze interdyscyplinarnym. Umiejętnie połączyła wyniki własnych badań z rezultatami uzyskanymi we współpracy z zespołami badawczymi z IPPT PAN w Warszawie oraz z Politechniki Lubelskiej kooperującymi w ramach projektu badawczego POIG „*Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym*”. Dała temu wyraz w odpowiedniej adnotacji na początku pracy.

Teza pracy została przedstawiona w rozdz. 3 na stronie 42 po syntetycznym wprowadzeniu oraz bardzo obszernym i wyczerpującym przedstawieniu w rozdz. 1 stanu badań dotyczących sposobów wytwarzania oraz właściwości kompozytów ceramiczno-polimerowych pod kątem zastosowań w lotnictwie i dziedzinach pokrewnych oraz po krytycznej analizie stanu rzeczy w rozdz. 2. W tezie zawarto przekonanie, że możliwe jest wytworzenie nowych elementów konstrukcyjnych oraz funkcjonalnych dla przemysłu lotniczego, które będą charakteryzować się założonymi właściwościami mechanicznymi oraz obniżoną palnością i zdolnością tłumienia hałasu. Doktorantka wykazała, że jest to technicznie możliwe, stawiając sobie za cel badań opracowanie nowego sposobu wytwarzania kompozytu o szkielecie z pianki korundowej wypełnionego w procesie infiltracji żywicą epoksydową lub silikonowym elastomerem, które zostały dobrane z oferty handlowej wg. kryterium odporności termicznej lub obniżonej palności.

We wprowadzeniu przedstawiono syntetycznie wyniki badań z podkreśleniem oryginalnych osiągnięć Autorki. Podstawowym oryginalnym osiągnięciem jest opracowanie sposobu wytwarzania kompozytów ceramiczno-polimerowych w procesie próżniowej infiltracji pianki korundowej odpowiednio dobranymi polimerami. Badania prowadzące to tego wyniku przedstawiono szczegółowo w rozdz. 4, gdzie w szczególności przedstawiono w postaci schematów blokowych cele pracy, materiały i metodykę badań prowadzącą do opracowania nowego sposobu wytwarzania, jak również poznania właściwości fizycznych, mechanicznych i funkcjonalnych nowo otrzymanych materiałów. Nowe rezultaty zawierają także opisane w rozdz. 5 wyniki badań doświadczalnych wybranych właściwości fizycznych, mechanicznych i funkcjonalnych nowo wytworzonych materiałów kompozytowych.

Cele pracy zostały określone jako trzy podstawowe zadania sprowadzające się do opracowania metodyki wytwarzania infiltrowanych kompozytów ceramiczno-polimerowych, zbadania i analizy wybranych właściwości fizycznych, mechanicznych i funkcjonalnych wytworzonych materiałów kompozytowych oraz analizę możliwości zastosowań nowych materiałów w przemyśle lotniczym.

Omawiając w rozdz. 4 materiały i metodykę badań opisano szczegółowo wybór podstawowych materiałów, warunki realizacji badań oraz wytwarzanie ceramicznych pianek korundowych metodą żelowania spienionej zawiesiny. Następnie przedstawiono metodykę wytwarzania kompozytów korundowo-polimerowych z zastosowaniem procesu infiltracji żywicą epoksydową, omówiono szczegółowo sposób wytwarzania oraz opisano aparaturę i kompletny przebieg procesu. Jest to niewątpliwie oryginalne osiągnięcie Doktorantki, które było możliwe dzięki Jej chemicznemu wykształceniu oraz współpracy z promotorem dr hab. inż. Markiem Potoczkiem, który wcześniej opracował i wdrożył metodykę otrzymywania pianek korundowych z zastosowaniem żelowania spienionej zawiesiny. Także Jego doświadczenie zdobyte przy infiltracji tych pianek ciekłym metalem dały dobry punkt startowy do opracowania nowej metody infiltracji polimerami, a w szczególności żywicą epoksydową. W dalszej części rozdz. 4 omówiono metodykę niezbędnych badań pianek korundowych i żywic epoksydowych, które zostały wykorzystane do procesu wytwarzania nowych kompozytów. Nowo otrzymane kompozyty także zostały wszechstronnie zbadane, co zostało opisane w ostatniej części rozdz. 4. Doktorantka opisała własne badania dotyczące analizy mikrostruktury wytworzonych pianek korundowych oraz badania ich właściwości fizycznych i mechanicznych. Następnie opisano badania wybranych właściwości fizycznych, mechanicznych oraz palności żywic epoksydowych. Badania te posłużyły do ich oceny pod kątem wyboru do procesu infiltracji pianek korundowych. Ostatnie paragrafy rozdz. 4 zostały przeznaczone do opisu sposobów zbadania mikrostruktury nowo otrzymanych kompozytów ceramiczno-polimerowych w celu oceny ich jakości po procesie żelowania oraz infiltracji: obecność porów w szkielecie pianek korundowych, stopnia przylegania (adhezji) żywicy epoksydowej do ścianek korundowego szkieletu. Przedstawiono także metody badań właściwości mechanicznych i akustycznych, w szczególności zdolności pochłaniania dźwięku, które przeprowadzono w ramach współpracy z zespołami badawczymi w IPPT PAN w Warszawie.

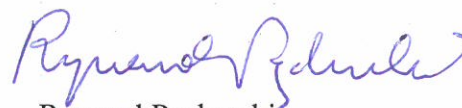
Rozdział 5 poświęcony jest przedstawieniu oraz krytycznej dyskusji wyników własnych badań. Starannie zbadano pianki korundowe wytworzone metodą żelowania spienionej zawiesiny ceramicznej Al_2O_3 po procesie formowania i spiekania pod kątem ich zastosowania do procesu infiltracji. Określono wybrane właściwości fizyczne i morfologię, rozkłady średnic komórek oraz średnic okien w sferycznych ściankach komórek, 4 serii pianek korundowych o porowatości 76%, 80%, 86% i 92%. Właściwości mechaniczne wytworzonych przez Doktorantkę pianek korundowych zbadano, posługując się próbą quasi statycznego ściskania, trójpunktowego zginania oraz metodami rezonansowymi w celu wyznaczenia modułu Younga. Opis i dyskusja otrzymanych wyników wywołuje następującą uwagę krytyczną: nie można porównywać wytrzymałości na ściskanie zmierzonej w próbie jednoosiowego quasi statycznego ściskania z wytrzymałością na zginanie mierzoną w próbie trójpunktowego zginania ze względu na różne rozkłady naprężenia w badanych dwoma sposobami próbkach. Dlatego Rys. 5.12. może jedynie służyć do porównania wytrzymałości próbek tego samego rodzaju. W dalszej części przedstawiono wyniki badań właściwości fizycznych i mechanicznych żywic epoksydowych pod kątem ich funkcjonalności, w tym oceny palności oraz przydatności do projektowanego procesu infiltracji. Analiza wyników

badan różnych rodzajów żywic epoksydowych, dostępnych na rynku, pozwoliła wybrać żywicę epoksydową Araldite MY0510, która spełniła wszystkie wymagania potrzebne do procesu infiltracji pianki korundowej i otrzymania kompozytu o wymaganych właściwościach. W ostatniej części rozdziału 5 przedstawiono bardzo obszernie wyniki badań związanych z charakterystyką otrzymanych kompozytów korundowo-polimerowych. Zbadano właściwości fizyczne i morfologię kompozytów. Badania morfologii kompozytów przeprowadzono z wykorzystaniem elektronowego mikroskopu skaningowego oraz metodą mikrotomografii komputerowej. Badania tomograficzne przeprowadzono dzięki współpracy z zespołem z Politechniki Lubelskiej. Zbadano także wybrane właściwości mechaniczne wytworzonych kompozytów charakteryzujących się różną porowatością osnowy – pianki korundowej: 76%, 80%, 86% oraz 92%. Porównano wartości wytrzymałości otrzymane w próbach jednoosiowego ściskania oraz w technologicznej próbie trójpunktowego zginania. Zbadano także właściwości sprężyste kompozytów posługując się metodą ultradźwiękową, rezonansową i próbą jednoosiowego ściskania. Wyniki porównano z przybliżonym szacowaniem według reguły mieszanin. Do oceny właściwości sprężystych nowo otrzymanych kompozytów Autorka wykorzystowała także wyniki współpracy z dr inż. Marcinem Nowakiem z IPPT PAN, w wyniku której opracowano numeryczny model kompozytu z zastosowaniem wyników badań mikrotomografii komputerowej oraz metody elementów skończonych. Efektywne właściwości sprężyste kompozytów obliczano na podstawie przeprowadzonych symulacji numerycznych wszechstronnego oraz izochorycznego rozciągania sześciennych kostek, stosując metodę uśredniania po objętości kostki pola naprężeń i odkształceń. Dalsze badania przedstawione w rozdziale 5 dotyczyły określenia właściwości funkcjonalnych otrzymanych kompozytów. Dokonano oceny palności kompozytów oraz przeprowadzono analizę zdolności pochłaniania i tłumienia dźwięku przez wytworzone pianki korundowe oraz kompozyty.

Ostatnia część rozdziału 5 zawarta w podrozdziale 5.4 została poświęcona opisowi wytwarzania i badań właściwości fizycznych, mechanicznych oraz funkcjonalnych odrębnej grupy kompozytów typu pianka korundowa/elastomer silikonowy otrzymanych także w procesie infiltracji. Wydaje się, że mógłby to być osobny rozdział. W każdym razie Autorka wykazała uniwersalność opracowanej metody infiltrowania otwarto komórkowych pianek korundowych różnego rodzaju polimerami.

W podsumowaniu chciałbym podkreślić wszechstronność badań, ich interdyscyplinarny charakter, z czym wiąże się umiejętność Autorki do nawiązania współpracy z innymi zespołami badawczymi oraz nowatorskie elementy opracowanej metody wytwarzania nowych kompozytów według wymagań wynikających z zastosowań w przemyśle lotniczym i dziedzinach pokrewnych.

W związku z tym stwierdzam, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mg inż. Joanny Ligody-Chmiel spełnia wszystkie wymogi ustawy o stopniach i tytule naukowym stawiane rozprawom doktorskim i wnioskuje o dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Ryszard Pęcherski