

st. bryg. dr hab. Marzena Półka prof. SGSP

20 listopada 2018 r.

Zakład Teorii Procesów Spalania i Wybuchu

Katedra Podstaw Procesów Spalania, Wybuchu i Gaszenia

Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego

Szkoła Główna Służby Pożarniczej

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. **Pawła PRZYBYŁEK**

pt.: „**ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZWIĘKSZENIA ODPORNOŚCI CIEPLNEJ
REJESTRATORÓW LOTNICZYCH POPRZECZ ZASTOSOWANIE OSŁON
Z POLIMEROWYCH KOMPOZYTÓW ABLACYJNYCH**”

Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Tadeusz A. Opara a promotorem
pomocniczym dr inż. Wojciech Kucharczyk

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest pismo prof. dr hab. Sławomira Bukowskiego Prorektora ds. Rozwoju Kadry i Współpracy z Zagranicą Uniwersytetu Technologiczno – Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu w imieniu Rady Wydziału Mechanicznego z dnia 12 lipca 2018 roku, dotyczące wykonania recenzji wspomnianej rozprawy.

2. Celowość podjęcia tematu

Podjęcie tematu „Analiza możliwości zwiększenia odporności cieplnej rejestratorów lotniczych poprzez zastosowanie osłon z polimerowych kompozytów ablacyjnych” jest ważne i celowe - wynika z faktu, że rejestratory lotnicze, przeznaczone do zapisu podstawowych parametrów lotu i eksploatacyjnych parametrów pracy zespołów statku powietrznego (SP) powinny być w sposób szczególny zabezpieczone osłonami przed niszczącym oddziaływaniem płomienia oraz strumienia cieplnego. Rejestratory stanowiące wyposażenie starszych statków powietrznych, które spełniały normy obowiązujące w czasie ich montażu na statkach powietrznych około 50 lat temu, niejednokrotnie nie spełniają już wymogów współczesnych. Ochrona rejestratorów lotniczych tego typu w zależności od rodzaju zdarzenia niebezpiecznego statku powietrznego jest często niewystarczająca gdyż zastosowane osłony

posiadają zbyt małą odporność mechaniczną, termiczną oraz małą trudno zapalność. Wymiana rejestratorów w starszych SP jest kosztowna i wymaga znacznego nakładu pracy i środków a opłacalność ekonomiczna modyfikacji całego systemu kontroli parametrów lotu może okazać się wątpliwa. Z drugiej strony ochrona danych dotyczących rejestracji lotu jest niezbędna do oceny bezpieczeństwa lotu, techniki pilotowania, stanu systemów pokładowych, ustalenia przyczyny wypadku lub katastrofy lotniczej. Stąd też w pracy, jako rozwiązanie tego problemu, zaproponowano modyfikację obudowy dotychczas eksploatowanych rejestratorów, poprzez wprowadzenie dodatkowej warstwy ochronnej z materiałów ablacyjnych. Jako materiały o ablacyjnych właściwościach termoochronnych zaproponowano utwardzone wielowarstwowe laminaty epoksydowe zawierające środek ogniochronny. Zwiększenie odporności cieplnej elementów wyposażenia samolotu jest jednym ze sposobów minimalizowania zagrożenia pożarowego i stanowi jeden z głównych elementów badań nad modyfikacją ogniochronną materiałów polimerowych. Badania tego typu prowadzone są w czołowych koncernach chemicznych, takich jak: BASF, DuPont oraz w laboratoriach koncernów lotniczych, amerykańskim The Boeing Company oraz europejskim Air bus. itp.

Doktorant sformułował problem badawczy, jakim było wytworzenie uniwersalnej obudowy ochronnej rejestratora lotniczego, która w sytuacji awaryjnej: uniemożliwia zniszczenie zarchiwizowanej informacji; umożliwi zabudowanie ogólnie dostępnych urządzeń elektronicznych, służących do rejestracji i monitorowania stanu obiektów eksploatacji na pokładzie statku powietrznego. W ramach potwierdzenia kierunku prac Autor dokonał analizy ilościowo-jakościowej wpływu wybranych komponentów, zarówno na ablacyjne właściwości termoochronne oraz wybrane właściwości wytrzymałościowe kompozytów epoksydowych z hybrydowym wzmocnieniem włóknistym (aramidowym, szklanym i karbonizowanym) oraz dodatkiem glinokrzemianu warstwowego Bentonit Specjal Extra z 75% zawartością montmorylonitu wapniowego MMT. Badania laboratoryjne były kontynuowane w pełnej skali podczas określenia odporności ogniowej kompozytowych osłon przy zastosowaniu wytypowanej procedury badań kwalifikacyjnych lotniczych rejestratorów pokładowych.

Zaplanowano i zrealizowano bardzo szeroki program badań doświadczalnych polimerowych kompozytów ablacyjnych z wykorzystaniem licznych technik pomiarowych. Badania skomentowano i sformułowano wnioski końcowe. Tematyka rozprawy i zakres badań jednoznacznie wskazuje na umieszczenie jej w obszarze nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn.

Zakres pracy przedstawiono w sposób przejrzysty i wyczerpujący.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Metodyka pracy

We wstępie Doktorant w przekonujący sposób wprowadził do tematu rozprawy i przedstawił motywację podjęcia badań. Przedstawił klasyfikację rejestratorów lotniczych, budowę, przegląd rozwiązań konstrukcyjnych, a także przykłady zastosowań rejestratorów informacji w taborze kolejowym, w transporcie samochodowym oraz budownictwie. W pracy opisano sposoby zabezpieczenia zarchiwizowanej informacji przed skutkami katastrof. Jednak swoją uwagę w większości Autor skupił na rejestratorach parametrów lotu FDR (z ang. Flight Data Recorder) przeznaczonych do obowiązkowego zapisu podstawowych parametrów lotu i eksploatacyjnych parametrów pracy zespołów statku powietrznego. Zgodnie z wymaganiami FAA (z ang. Federal Aviation Administration) - urządzenia pokładowe powinny rejestrować 11 do 29 parametrów, w zależności od typu i wielkości SP a w samolotach wytworzonych po 2001 roku, minimalna liczba rejestrowanych parametrów wynosi około 88.

W pracy przedstawiono typowe warianty grupowania rejestratorów w trzech lub jednej obudowie oraz zestawiono cechy charakterystyczne rejestratorów, takie jak: rodzaj nośnika informacji, obowiązkowa liczba informacji, liczbę bitów na sekundę, długotrwałość pracy lokalizatora podwodnego, możliwości aplikacji obsługujących zapis w funkcji generacji rejestratora. Ukazano zestawienie przykładowych rejestratorów lotów obecnie użytkowanych na wojskowych statkach powietrznych, z którego wynika, że są używane rejestratory wszystkich typów zarówno I, II, jak i III generacji. Autor zwrócił uwagę na wymagania eksploatacyjne kaset rejestratorów eksploatacyjnych, które powinny być uwzględnione przy wyborze rodzaju materiałów użytych w osłonach. W rozdziale drugim pracy przedstawiono wymagania stawiane rejestratorom lotniczym oraz metodykę ich badań. Za najważniejsze kryterium przy wyborze rodzaju rejestratora przyjęto możliwość odzyskania zarchiwizowanych informacji. Zaproponowano sposób zabezpieczenia starszych rejestratorów poprzez modyfikację osłon rejestratorów parametrów lotu w celu dostosowania ich konstrukcji do obowiązujących współcześnie wymagań. Autor podkreśla w pracy, że konstrukcja obudowy ochronnej powinna być odporna na czynniki występujące w przypadku zaistnienia zdarzenia lotniczego tj. obciążenie udarowe i statyczne, odporność na działanie cieczy roboczych z różnych instalacji SP (paliwo, oleje itp.), wpływ wody morskiej, odporność na przebicie, wytrzymałość na ciśnienie hydrostatyczne, odporność na

ogień.

W rozdziale 3 pracy, Autor opisał model fizyczny i matematyczny ablacji z wykorzystaniem metody elementów skończonych do określenia rozkładu temperatury w kompozycie wzmacnianym włóknami. Modele uwzględniały ablację włókien wzmacniających, rozkład termiczny osnowy oraz wpływ mieszanego mechanizmu wymiany ciepła (poprzez konwekcję i radiację) pomiędzy powierzchnią ablacyjną, a powietrzem. W pracy ukazano charakterystykę i metody oceny właściwości termoochronnych materiałów ablacyjnych. Przedstawiono wykorzystanie materiałów ablacyjnych w wielu elementach konstrukcyjnych maszyn, które poprzez endotermiczne przemiany fazowe takie jak: sublimację lub topnienie, zwęglenie oraz ekspandowanie pochłaniają znaczące ilości energii cieplnej. Na podstawie rozpoznania literatury zostały wytypowane materiały do wytworzenia osłon rejestratorów lotu. Ukazano wpływ składu ilościowo – jakościowego matrycy polimerowej, środka sieciującego na technologię wytworzenia osłony. Przedstawiono zależność rodzaju, kształtu i postaci materiału wzmocnienia oraz napełnienia; liczby warstw wzmocnienia laminatu, kątów ułożenia warstw wzmocnienia kompozytu na produkt finalny. Autor przedstawił zestawienie porównawcze metod badawczych wykorzystanych do określenia właściwości termoochronnych materiałów zwracając uwagę na badania palności i odporności termicznej materiałów.

W pracy szczególną uwagę zwrócono na tworzenie laminatów hybrydowych lub kompozytów o strukturze przestrzennej 3D, co dodatkowo rozszerzyło zakres możliwości kształtowania właściwości materiałów. W pracach wykorzystywano zaawansowane metody obliczeniowe wykorzystujące procedury MES, ułatwiające osiągnięcie pożądanych parametrów osłon. Dokonano oceny wytrzymałości na obciążenie statyczne oraz badanie odporności rejestratora na przebicie w celu określenia możliwości przetrwania uniwersalnej osłony termoochronnej podczas wypadku lub katastrofy lotniczej. Badania numeryczne, wykonano za pomocą oprogramowania wspomagającego projektowanie inżynierskie ANSYS 15.0. Symulacje komputerowe pozwoliły dokonać analizy wpływu obciążeń przyłożonych w różnych punktach osłony termoochronnej na wartość naprężeń normalnych mogących spowodować delaminację warstwową kompozytu oraz naprężeń stycznych mogących spowodować ścięcie międzywarstwowe. Ponadto modelowanie numeryczne umożliwiło ustalenie: wymiarów geometrycznych uniwersalnej osłony termoochronnej obudowy rejestratora lotniczego; wariantu lokalizacji osłony kompozytowej w aspekcie jej połączenia z metalową obudową rejestratora. Przeprowadzenie takich badań na obiektach

rzeczywistych wymagałoby znaczącego nakładu środków oraz czasu w celu zaprojektowania i wykonania stanowiska do badań eksperymentalnych oraz wytworzenia wielu osłon, które mogłyby zostać poddane obciążeniom mechanicznym i cieplnym.

Na podstawie przeprowadzonej analizy literaturowej sformułowano poprawnie cel badawczy oraz program badań. Do wytworzenia uniwersalnej obudowy termoochronnej wykorzystano jako osnowę polimerową żywicę epoksydową Epidian 52 sieciowaną w temperaturze pokojowej utwardzaczami: PAC, TFF lub Z - 1 produkcji Zakładów Chemicznych Organika-Sarzyna S.A. w Nowej Sarzynie. Właściwości ablacyjne kompozycji żywicy uzyskano poprzez modyfikację polimeru glinokrzemianem warstwowym Bentonit Specjal Extra z 75% zawartością montmorylonitu wapniowego MMT, produkowanego przez Zakłady Górniczo-Metalowe Zębiec. W pracy przedstawiono krótką charakterystykę Epidianu 52, środków sieciujących, sposoby tworzenia mieszanin żywica epoksydowa – antypiren oraz kompozytów. Zróżnicowanie składów fazowych obu grup kompozytów wynikało głównie z rodzaju materiału użytego na wzmocnienie włókniste. W pierwszej grupie wzmocnienie hybrydowe kompozytu stanowiły tkaniny: aramidowa (kevlarowa) o gramaturze 230 g/m² i węglowa o gramaturze 160 g/m², drugą grupę stanowił laminat hybrydowy ze wzmocnieniem włóknistym z tkanin: aramidowej (kevlarowej) 470 g/m² i szklanej 300 g/m², naprzemiennie i równomiernie rozłożone w kompozycie.

W dalszej części pracy Autor opisał schematy stanowisk laboratoryjnych oraz metody badań zastosowane w planie badań.

Wytworzone laminatowe płyty kontrolne badano w zakresie oznaczeń właściwości ablacyjnych i mechanicznych. Właściwości ablacyjne wytworzonych dwóch zasadniczych grup kompozytowych zostały oznaczone na stanowisku pomiarowym w Instytucie Budowy Maszyn Wydziału Mechanicznego Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu, dla przyjętych parametrów pomiaru tj.: czas próby wynoszący 150 s, stałe charakterystyki termofizyczne materiałów; niezmienny strumień doprowadzanego ciepła; powierzchnia ablacyjna jest izotermiczną powierzchnią frontu ablacji; pominięta została wymiana ciepła z otoczeniem na powierzchni zewnętrznej. Na podstawie tego badania Doktorant wyznaczył maksymalną temperaturę tylnej powierzchni ścianki próbki izolującej [°C]; względny ablacyjny (erozyjny) ubytek masy [%]; średnią szybkość ablacji [μm/s].

Cechy mechaniczne laminatów określono wyznaczając: wytrzymałość na rozciąganie za pomocą uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej typu Zwick/Roell Z100; wytrzymałość na ścinanie międzywarstwowe metodą trójpunktowego zginania krótkich belek zgodnie

z normą ASTM D2344-89, PN EN ISO 178, PN EN ISO 14125 oraz ISO 1413 [MPa]; udarność KC [J/cm²] określone przez normę ISO 179 za pomocą młotu Charpy'ego firmy Galdabini: Impact 25. Szczegółowy opis metod badań przedstawionych w pracy świadczy o rozległości problemu i jego złożoności.

Zwraca uwagę w pracy rzetelna analiza statystyczna wyników uzyskanych po realizacji przyjętego planu badań umożliwiającego określenie wpływu zmiany wartości poszczególnych zmiennych niezależnych na wartości wszystkich składowych funkcji odpowiedzi. Porównując współczynniki regresji oceniono, dla jakich zmiennych niezależnych, z przyjętego przedziału badań, poszczególne wartości parametrów badawczych (zmiennych zależnych) maleją, rosną lub nie zmieniają swojej wartości. Położenie przedziału zmiennych wejściowych, pozwoliło wskazać kierunek poszukiwań optymalnego składu fazowego badanej grupy kompozytów.

Autor, na podstawie analizy badań własnych i porównania wyznaczonych parametrów kompozytów z I i II grupy, na osłonę termiczną uniwersalnej obudowy ochronnej rejestratora lotniczego wytypował z grupy I kompozyt (nr 3) utworzony z 14 warstw tkaniny aramidowej, 6 warstw tkaniny węglowej, o składzie: 15% MMT, Epidian 52 usieciowany utwardzaczem TFF.

Ostatnim etapem pracy było badanie odporności osłony rejestratora lotów na oddziaływanie strumienia cieplnego o gęstości 158 kW/m² przez okres przynajmniej 60 minut. Badanie odporności cieplnej obudowy rejestratora lotniczego zostało wykonane na zaprojektowanym i skonstruowanym przez Autora stanowisku badawczym. Badania odporności cieplnej obudowy wykonano w Wyższej Szkole Oficerskiej Sił Powietrznych w Dęblinie. Zaprojektowane stanowisko badawcze w znacznie szerszym zakresie umożliwiło analizę przebiegu procesu destrukcji cieplnej materiałów wykorzystywanych do budowy osłony termicznej niż określają to wymagania dla SP, gdyż umożliwiło określić zmianę temperatury wewnątrz osłony w czasie. Do badań odporności ogniowej po rozpatrzeniu wyników analiz MES wytypowano dwa układy osłon:

- 1) Autonomiczną obudowę rejestratora lotniczego czyli osłonę wykonaną tylko z ablacyjnych kompozytów polimerowych.
- 2) Osłonę z ablacyjnych kompozytów polimerowych spojeną z wewnętrzną metalową obudową rejestratora lotniczego.

Przy tego rodzaju próbie ekspozycja cieplna powinna zapewnić temperaturę płomienia

w zakresie 950 - 1100°C. Ogrzewanie obudowy przeprowadzono za pomocą zespołu palników gazowych zasilanych mieszanką propanu - butanu i powietrza w kontrolowanych proporcjach. Układ pomiarowy do badania odporności cieplnej osłony ochronnej z kompozytowych materiałów ablacyjnych umożliwił rejestrację m.in. temperatury wewnętrznej powierzchni ścianki obudowy oraz temperatury powietrza wewnątrz osłony w trakcie badania.

W tej części pracy stwierdzono, że odporność cieplna osłony kompozytowej z obudową metalową w stosunku do uniwersalnej osłony termoochronnej obudowy rejestratora lotniczego jest bardziej skuteczna, gdyż średnia temperatura wewnętrznej powierzchni ścianki obudowy osłony kompozytowej była o około 220°C niższa od analogicznej temperatury obudowy z uniwersalną osłoną kompozytową, natomiast maksymalna temperatura powietrza wewnątrz osłony była niższa o 380°C, a ablacyjny ubytek masy całej osłony był o około 60% mniejszy w stosunku do osłony kompozytowej.

Podsumowując, Doktorant w sposób kompleksowy przedstawił wykorzystywane metody badawcze w celu potwierdzenia poprawności doboru komponentów tworzących kompozyt i badaniach materiałowych, modelowaniu numerycznym stanu obciążeń mechanicznych oraz skutecznej termoochronie uniwersalnej osłony obudowy rejestratora lotniczego w badaniach odporności cieplnej.

Zagadnienia naukowe rozwiązane samodzielnie przez Doktoranta

Rozdział 5 i 6 to najważniejsza część rozprawy, w której zaczynają się zasadnicze rozważania dotyczące stosowanych w pracy technik oraz metod tworzenia grup kompozytów, wyznaczono program badań doświadczalnych materiałów ablacyjnych. Właśnie w tej części pracy dokonano oceny dwóch grup kompozytów i na podstawie analizy parametrów ablacyjnych wytypowano dwa typy laminatów do dalszych badań. Potwierdzono, że dodatek monmorylonitu MMT do osnowy na poziomie 15% obniża: temperaturę tylnej powierzchni ścianki próbki izolującej o około 40%, średni względny ablacyjny ubytek masy o około 60% oraz szybkość ablacji o około 40%. Stwierdzono, że zwiększony udział włókna szklanego podwyższa temperaturę tylnej powierzchni ścianki próbki izolującej o około 20%, czyli pogarszają się właściwości termoochronne bazowego kompozytu. Określono, że zwiększony udział włókna węglowego w matrycy polimerowej obniża średni względny ablacyjny ubytek masy kompozytu o około 60% oraz zmniejsza szybkość ablacji o około 30%.

Badania wytrzymałości potwierdziły, że zwiększony udział włókna szklanego podwyższa wytrzymałość kompozytów na rozciąganie (R_m) o około 15%. Natomiast zwiększony dodatek montmorylonitu MMT obniża wytrzymałość laminatu o około 15%. Zwrócono uwagę, że poprawny dobór utwardzacza żywicy do rodzaju zastosowanego wzmocnienia włóknistego może zwiększyć wytrzymałość nawet o 25%. Utwardzacz PAC podwyższył udarność o około 15%. Na podstawie tych pomiarów stwierdzono, że zwiększony udział włókna węglowego podwyższa wytrzymałość na ścinanie międzywarstwowe o około 30%, ale jednocześnie obniża udarność KC o około 20%.

W celu osiągnięcia optymalnych parametrów wytrzymałościowych osłon Doktorant przeprowadził badania i wytypował korzystne struktury i ułożenia warstw komponentów za pomocą zaawansowanych metod obliczeniowych wykorzystujące procedury MES. Dokonał oceny wytrzymałości na obciążenie statyczne oraz badanie odporności rejestratora na przebicie w celu określenia możliwości przetrwania uniwersalnej osłony termoochronnej podczas wypadku lub katastrofy lotniczej za pomocą oprogramowania wspomagającego projektowanie inżynierskie ANSYS 15.0.

Wyniki badań eksperymentalnych dotyczące odporności ogniowej potwierdziły, że korzystniejsze jest wprowadzenie osłony kompozytowej z obudową metalową w stosunku do uniwersalnej osłony termoochronnej obudowy rejestratora lotniczego.

Prawidłowość rozważań, uzyskanych wyników i wniosków

W pracy zostały sformułowane następujące cele naukowe: stworzenie uniwersalnej obudowy ochronnej rejestratora lotniczego, która w sytuacji awaryjnej chroni przed zniszczeniem zarchiwizowanej informacji; umożliwi zabudowanie ogólnie dostępnych urządzeń elektronicznych, służących do rejestracji i monitorowania stanu obiektów eksploatacji na pokładzie statku powietrznego. W tym celu opisano w sposób ilościowo – jakościowy wpływ wybranych komponentów, ablacyjne właściwości termoochronne oraz wybrane właściwości wytrzymałościowe kompozytów epoksydowych z hybrydowym wzmocnieniem włóknistym oraz dodatkiem glinokrzemianu warstwowego Bentonit Specjal Extra z 75% montmorylonitu wapniowego MMT. Również celem pracy była implementacja procedur kwalifikacyjnych lotniczych rejestratorów pokładowych do badań kompozytowych elementów lotniczych

Wybrane w pracy metody badawcze i techniki instrumentalne w oparciu o otrzymane

materiał badawczy, pozwoliły na ocenę właściwości ablacyjnych, mechanicznych, odporności ogniowej w wytypowanym kompozycie epoksydowym.

Przedstawione wnioski potwierdziły tezę, że otrzymana osłona kompozytowa spojona z obudową metalową jest bardziej skuteczną osłoną rejestratorów lotniczych, co stanowiło główny cel pracy.

4. Ocena znajomości przedmiotu zagadnienia przez Doktoranta i uwagi krytyczne

Spis literatury obejmuje 168 pozycji, dotyczących wymagań technicznych rejestratorów lotów i innych rejestratorów środków transportu, kompozytów, właściwości cieplnych polimerowych kompozytów ablacyjnych, środków ogniochronnych, palności materiałów konstrukcyjnych. Dobór pozycji literaturowych, w większości obcojęzycznej, wskazuje na bardzo dobrą znajomość literatury przedmiotu przez mgra inż. Pawła Przybyłek.

Proces modyfikacji ogniochronnej analizowanych kompozytów polimerowych ma znaczący wpływ na ich stopień palności i w konsekwencji na odporność cieplną i bezpieczeństwo zachowania danych zawartych w rejestratorach lotniczych. Autor zauważa istotę technologii tworzenia kompozytów i rzetelności wykonania badań odporności cieplnej na jakość otrzymanych osłon rejestratorów lotu statków powietrznych.

Doktorant udowodnił, że zastosowanie wielu technik instrumentalnych do oceny skuteczności zastosowanych do modyfikacji kompozytów epoksydowych - dodatków ablacyjnych i z hybrydowym wzmocnieniem włóknistym warstw umożliwia kompleksową analizę poznania skuteczności działania osłony.

Przeprowadzone badania są innowacyjne, gdyż w literaturze są rzadko opisywane takie nowatorskie modyfikacje tworzenia tego typu kompozytów wraz z kompleksowym wykorzystaniem wielu technik instrumentalnych a zwłaszcza z badaniem odporności cieplnej w pełnej skali.

Uwagi dyskusyjne i wątpliwości

Proszę Doktoranta o komentarz dotyczący mechanizmu działania ogniochronnego montmorylonitu wapniowego MMT jako dodatku ablacyjnego materiałów epoksydowych. Jakże zna Pan inne mechanizmy działania środków ogniochronnych w materiałach polimerowych. W jaki sposób sprawdzana była temperatura płomienia w metodzie badania odporności ogniowej.

Uwagi szczegółowe i redakcyjne

W kwestii krytycznych uwag dotyczących rozprawy doktorskiej nie stwierdzam występowania rażących błędów, które mogą wpływać negatywnie na końcową, pozytywną, ocenę recenzowanej pracy. Aczkolwiek zwrócę uwagę, że niektóre rysunki są umiejscowione w pracy wcześniej niż odpowiedni odnośnik do danego rysunku w tekście np. rys. 1.2. str. 15 a odnośnik w tekście do tego rys. jest na stronie 16. Taka sama uwaga dotyczy rys. 1.25. i 1.44. Zwracają również uwagę pewne nieścisłości słowne np. str. 24, wiersz 3 (od dołu) obudowa z kompozytu o osnowie fenolowo-formaldehydowej (z polimeru organicznego) nie może być niepalna co najwyżej trudno zapalna. Taka samą nieścisłość można znaleźć na str. 36. Nieprawidłowe wypunktowanie (numeracja) i styl wymienionych treści (we fragmencie tekstu) na str. 27. Nietaktowne sformułowanie na str. 31 dotyczące „płynów agresywnych” – lepiej użyć cieczy żrących czy cieczy wchodzących w reakcję z podłożem czy obudową. Taka sama uwaga dotyczy wpisu w tab. 2.1. czy w tekście na str. 104. Treść dotycząca opisu magnetofonu MaRS – BM jest niewłaściwie sformułowana. W rozdziale 2.1., zbyt ogólnie podano oznaczenie „ciecze niebezpieczne” (w jakim znaczeniu?). Na str. 71 niewłaściwe sformułowanie – zapłon oparów lotnych – w przypadku jeśli proces spalania dotyczy ciała stałego – to powinno być użyte – zapłon produktów lotnych palnych uzyskanych z materiału w wyniku jego rozkładu termicznego bądź pirolizy. W pracy, na str. 115, 2 wiersze (6 wiersz od góry) mają inną czcionkę w stosunku do pozostałych wierszy na stronie.

Biorąc pod uwagę całą pracę, można stwierdzić, że praca napisana jest dobrym językiem polskim i techniką pisania prac doktorskich, występują nieliczne literówki np. na str. 42 w słowie powszechnej (wiersz 16 od dołu).

Podsumowanie i wnioski końcowe

Podjęcie tematu badawczego i założenia rozprawy doktorskiej uważam za celowe, prawidłowo uzasadnione i mieszczące się w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn.

Doktorant wykazuje bardzo dobrą wiedzę w zakresie znajomości wymagań technicznych rejestratorów lotniczych, umiejętności tworzenia kompozytów konstrukcyjnych i stosowania dodatków ablacyjnych w materiałach polimerowych szczególnie w materiałach epoksydowych.

Dowiodł umiejętności samodzielnego formułowania problemów naukowych oraz prowadzenia badań wraz z ich analizą i prezentowaniem wyników. Przeprowadził

kompleksowe i innowacyjne badania właściwości ablacyjnych, mechanicznych i badań odporności ogniowej wytworzonych kompozytów epoksydowych, dotychczas mało zbadanych i rzadko opisywanych opisane w literaturze dla rozpatrywanego utwardzonego Epidian 52.

W moim przekonaniu, przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgra inż. Pawła PRZYBYŁEK pt. „Analiza możliwości zwiększenia odporności cieplnej rejestratorów lotniczych poprzez zastosowanie osłon z polimerowych kompozytów ablacyjnych”, przygotowana pod opieką promotora - prof. dra hab. inż. Tadeusza A. Opara i promotora pomocniczego – dr inż. Wojciecha Kucharczyka, spełnia wszystkie warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Wniosuję o przyjęcie rozprawy przez Radę Naukową Uniwersytetu Technologiczno – Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego Wydziału Mechanicznego w Radomiu i dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

Półka Morone