

Dęblin, 2 kwietnia 2019 r.

dr hab. inż. Aneta Krzyżak, prof. LAW
Katedra Płatowca i Silnika
Wydział Lotnictwa
Lotnicza Akademia Wojskowa

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgra inż. Jarosława Zepchły pt.: „Analiza zużycia ściernego kompozytów podłogowych”

1. Informacje ogólne i struktura pracy

Praca została napisana pod kierunkiem promotora dra hab. inż. Wojciecha Żurowskiego, prof. UTH Radom oraz promotora pomocniczego dra inż. Piotra Sadowskiego.

Praca została napisana na 144 stronach. Praca zawiera 5 rozdziałów z opisem zagadnienia. Ponadto w pracy znajdują się dwa streszczenia w językach polskim i angielskim, spis treści, spis ważniejszych oznaczeń i symboli użytych w pracy, opis możliwych kierunków dalszych badań, spis literatury oraz załącznik ze szczegółowymi wynikami badań. W pracy znajduje się 90 rysunków, a także 91 tabel, w tym 56 w załączniku.

Po wprowadzeniu, w którym krótko zarysowano genezę badań omówionych w pracy, w rozdziale pierwszym w sposób zwięzły opisano rodzaje tarcia, materiały kompozytowe o osnowie z tworzyw polimerowych, jak również skutki występującego procesu tarcia. W rozdziale drugim został opisany sposób postępowania podczas badań, zaczynając od opisu autorskiego stanowiska badawczego do oceny zużycia tribologicznego, które może być wykorzystane do oceny przydatności materiałów kompozytowych stosowanych w konstrukcjach różnego typu, jako podłogi, czyli w miejscach narażonych na intensywne zużycie ściernie. Kolejny rozdział zawiera analizę wyników badań prowadzonych z użyciem autorskiego tribotestera z wykorzystaniem próbek z kompozytów o różnym składzie w celu doboru najkorzystniejszego rozwiązania do przewidzianego zastosowania na podłogi. Ostatni rozdział to podsumowanie.

2. Tematyka rozprawy pracy i zakres badań

Tematyka rozprawy doktorskiej dotyczy szeroko opisywanego zagadnienia inżynierskiego związanego z procesem tarcia. Jednakże z uwagi na zmienność czynników w trakcie trwania procesu w literaturze nie ma jednolitego modelu opisującego ten proces, który w ujęciu

inżynierskim jest wymuszany w sposób ściśle określony. Tym bardziej nie występuje żaden model odwzorowujący sposób zużycia, np. ściernego, podczas procesu tarcia realizowanego w oparciu o losowy charakter występowania par ciernych. W związku z tym analiza zużycia materiałów w miejscach o nieprzewidywalnym charakterze procesu tarcia zarówno pod względem typowych czynników (czasu, rodzaju drogi, nacisku), jak i pod względem pojawiających się czynników środowiskowych, jest ważnym aspektem inżynierskim oraz naukowym. Nie mniej jednak w warunkach laboratoryjnych, w celu prowadzenia badań porównawczych wobec różnych materiałów, jak również uzyskania powtarzalności pozwalającej na interpretację wyników badań, konieczne jest stosowanie takich metod, które zapewnią stałe warunki eksploatacyjne podczas procesu tarcia.

Pan mgr inż. Jarosław Zepchło nie stawia w swojej pracy hipotezy, którą należałoby potwierdzić lub odrzucić. Natomiast stawia następujący cel pracy: „opracowanie nowego testera tribologicznego, zapewniającego niezmiennie parametry skojarzenia ciernego, w trakcie całego badania, wykonanie projektu, jego realizacja oraz wykonanie za jego pomocą badań, różnych konfiguracji, kompozytowych materiałów podłogowych i wybór optymalnego składu fazowego”.

Osiągnięcie celu nastąpiło po zaprojektowaniu i wykonaniu autorskiego tribotestera, przeprowadzeniu badań eksperymentalnych z użyciem kompozytów o osnowie polimerowej przeznaczonych na powierzchnie podłóg, analizie wyników badań i ocenie wpływu składu kompozytów na zużycie ściernie.

W związku z powyższym można uznać, że tematyka rozprawy jest aktualna i ważna, natomiast cel pracy ma wyraźne aspekty nowości w ujęciu inżynierskim, a szczególnie konstrukcyjnym.

Początek pracy stanowi wprowadzenie do tematyki podjętych badań naukowych poprzez zwięzłe omówienie istniejących rozwiązań konstrukcyjnych testerów tribologicznych, rodzajów tarcia wraz z rodzajami zużycia oraz kompozytów polimerowych, które były obiektem badań. Doktorant omawiając rozwiązania konstrukcyjne wymienił m.in. najczęściej stosowane skojarzenia kształtu powierzchni w parach trących tworzących tzw. skojarzenie cierne oraz klasyfikację ogólną urządzeń do badań tribologicznych. Zwrócił uwagę na fakt, że podczas procesu tarcia, niezależnie od parametrów procesu, zawsze następuje zmiana skojarzenia ciernego z powodu występowania zużycia materiału. W związku z tym wykazał konieczność zachowania stosownych rozwiązań konstrukcyjnych umożliwiających znaczne ograniczenie zmian skojarzenia ciernego. Pozostałe zagadnienia zostały zebrane w rodzaj kompilacji wiedzy zawierającego najważniejsze informacje w danym zakresie.

Cel i zakres pracy prowadzący do osiągnięcia celu zostały omówione w rozdziale drugim. Zakres pracy dobrano adekwatnie do przyjętego celu pracy.

W dalszej kolejności, w pracy doktorskiej, omówiono obiekt badań oraz metody badań. Jako obiekt badań przyjęto kompozyty hybrydowe o osnowie z żywicy epoksydowej, wzmocnieniu z włókien szklanych oraz proszku kwarcu. Skład materiałowy kompozytu został dobrany na podstawie dostępnych na rynku rozwiązań stosowanych na podłogi narażonych na intensywne zużywanie się. Natomiast pod względem składu ilościowego zdecydowano się na liczne kombinacje zarówno liczby warstw tkaniny, jak i masowego udziału procentowego kwarcu. Wskazano na szeroki wachlarz właściwości przyjętych do badań eksperymentalnych, które uznano za właściwe do osiągnięcia drugiej części celu pracy. Na uwagę zasługuje fakt, że doktorant przeprowadził badania tribologiczne w oparciu o autorskie stanowisko badawcze, które zostało opisane w pracy. Jest to bardzo wartościowa część pracy wskazująca na zaangażowanie i dobre przygotowanie inżynierskie doktoranta. Ponadto fakt przytaczanych patentów podnosi wartość nowatorskiego rozwiązania konstrukcyjnego testera. Uwagę zwraca również informacja poparta wynikami badań i samą konstrukcją urządzenia, że udało się opracować takie rozwiązania sterowania pracą testera, które eliminują wady innych, stosowanych powszechnie rozwiązań, tj. nie zmienia się skojarzenie cierne, nie gromadzą się oderwane cząstki materiału, przeciwpróbka ma ciągle te same właściwości i utrzymane są stałe parametry prędkości, nacisku i wydzielanej energii w postaci ciepła.

Doktorant przeprowadził szerokie badania wybranych materiałów kompozytowych. Wykonano badania wytrzymałości na zginanie, rozciągania i ścinania międzywarstwowego, badania udarności oraz mikrotwardości. Przeprowadzono również obserwację optyczną w powiększeniu i oczywiście badania tribologiczne w celu określenia odporności na zużywanie. Wyniki badań zostały poddane analizie z wykorzystaniem metody porównawczej, gdzie porównywano właściwości kompozytów różniących się tylko jedną zmienną. Wobec każdej zastosowanej metody badawczej przeprowadzono analizę porównawczą i wskazano maksymalne i minimalne zależności między rozpatrywanymi czynnikami. Ostatnim etapem analizy wyników eksperymentalnych było zastosowanie powszechnie stosowanej metody wspomagającej decyzyjność w wielokryterialnych zagadnieniach. Efektem zastosowania tej metody, z pewnych względów klasyfikowanej w literaturze również jako metody optymalizacyjnej, było wskazanie składu kompozytu o kombinacji wszystkich zbadanych właściwości wskazującej najbardziej korzystne rozwiązanie przy przyjętym założeniu równowagi przyjętych kryteriów.

Spis literatury obejmuje 82 pozycje, które zostały przywołane w tekście. Doktorant przytacza pięć swoich publikacji, z których aż trzy to przyznane prawa ochronne na patent polski, co ponownie zasługuje na podkreślenie.

Mgr inż. Jarosław Zepchło zrealizował przedstawiony cel pracy, jakim było opracowanie nowego testera tribologicznego, zapewniającego niezmiennie parametry skojarzenia ciernego, w trakcie całego badania, jak również przeprowadzenie badań tribologicznych kompozytowych materiałów podłogowych i wybór optymalnego składu fazowego do ich stosowania. Doktorant równocześnie wskazał inne obszary stosowania opracowanego i wykonanego urządzenia badawczego w szerokim spektrum zastosowań inżynierskich różnorodnych materiałów. Doktorant warunkuje jednak stosowanie urządzenia tylko wobec tych przewidywanych zastosowań, gdzie będzie występowała ustabilizowana temperatura strefy tarcia.

3. Uwagi i pytania

Poniżej zamieszczam wybrane uwagi i pytania, które pojawiły się w trakcie analizy recenzowanej rozprawy. Są one zapisane w przypadkowej kolejności. Pominięto uwagi związane z edycją i formatowaniem tekstu.

W rozdziale pierwszym w pierwszej kolejności omówiono rozwiązania konstrukcyjne urządzeń do pomiarów procesu tarcia, natomiast następnie omówiono samo zjawisko i proces tarcia, po czym scharakteryzowano kompozyty i ponownie wrócono do omawiania tarcia w kontekście rodzajów zużycia i odporności na zużywanie się. Wydaje się, że zręczniejszym posunięciem byłoby odwrócenie kolejności m.in. ze względu na fakt, że niektóre pojęcia, jak chociażby zużycie są wyjaśnione na dalszych stronach.

Biorąc pod uwagę fakt, że napełniacze mogą mieć bardzo różne rozmiary różniące się nawet o kilkanaście rzędami wymiarowymi, zestaw zdań zaczynających się w dwóch ostatnich wierszach na stronie 17, stoi w sprzeczności z wiedzą odnośnie napełniaczy o rozmiarach sięgających maksymalnie ok 100 nm. Udział procentowy takich napełniaczy w kompozytach jest kilkadziesiąt razy mniejszy. Adekwatnym wydaje się zatem pamiętanie o klasyfikacji napełniaczy w zależności od rozmiarów cząstek, co w konsekwencji przekłada się na strukturę i na właściwości kompozytów. W związku z tym wydaje się też wątpliwe sformułowanie „Od napełniacza zależy efekt wzmocnienia. ... a najslabszy efekt dają napełniacze proszkowe.” (str. 21) bez wyraźnego zaznaczenia, że chodzi o mikro- czy też makronapełniacze.

W rozdziale 1.3.2, jako rodzaje polimerów, wymieniono tworzywa utwardzane, żywice epoksydowe, tworzywa termoplastyczne i elastomery. Żywice epoksydowe (nie wymieniono równolegle np. żywic poliestrowych), są tworzywami utwardzalnymi, zatem wymienione

powinny być jako przykład tych tworzyw. Charakteryzują się one bowiem dokładnie tymi szczególnymi własnościami, które zostały wpisane przy tworzywach utwardzalnych.

Nie zgadzam się z takim podaniem informacji, z którego można zrozumieć, że włókna węglowe są to włókna składające się w 99,9% z pierwiastka węgla (str. 20). Sięgając do literatury np. encyklopedia powszechna, można znaleźć informacje, że takim składem chemicznym mogą się poszczycić włókna grafitowe. W przemyśle i handlu są one nazywane również włóknami wysokomodułowymi.

Czy grafit, jako dodatek (str. 22), wykazując właściwości smarne, faktycznie zwiększa współczynnik tarcia?

Występuje niekonsekwencja stosowania pojęcia zużywania i zużycia (np. str. 22, 23, 25, 26, 27, 46, 47, 49 itd.), mimo wyjaśnienia różnic w obu pojęciach (str. 28).

Jak należy rozumieć zwrot „badania technologii wytwarzania” użyty na stronie 31 w kontekście opisanych w pracy doktorskiej badań eksperymentalnych?

Nadmiernie rozbudowano numerację podrozdziałów.

Na stronie 42 napisano, że maksymalna wartość odkształcenia przy rozciąganiu wynosiła 30 mm. Wydaje się to trudne do osiągnięcia z uwagi na stosunkowo dużą kruchość materiałów z których wykonano kompozyt. Czy wspomniana wartość odkształcenia nie dotyczyła raczej trójpunktowego zginania, gdzie łatwo jest wyobrazić sobie duże ugięcie próbek?

Dlaczego zdecydowano się na pomiar mikrotwardości? Większą powierzchnię i większe zagłębienie uzyskuje się przy klasycznych metodach pomiarów twardości materiałów kompozytowych, co zwiększa statystyczne prawdopodobieństwo bardziej ogólnej oceny wpływu zdyspergowanych cząstek napełniacza na twardość całego materiału.

Czy zastosowanie metody oceny wpływu jednego czynnika zmiennego na właściwości kompozytów nie zawęziło kompleksowej oceny? Czy rozważano przeprowadzenie oceny wpływu czynników zmiennych na zbadane właściwości korzystając ze statystycznej analizy wielowymiarowej?

Czy analizowano zależność pomiędzy twardością materiału a właściwościami tribologicznymi? W wielu przypadkach materiałów taka zależność występuje.

Jakie były przesłanki do zastosowania metody SAW? Dlaczego przyjęto jednakową wagę wobec kryteriów? Nie doprecyzowano uzasadnienia funkcji celu opartej na maksymalizacji, w tym przypadku kumulacji, wszystkich uzyskanych eksperymentalnie wyników. W materiałach stosowanych na podłogi należałoby rozważyć co najmniej dwa warianty z odpowiednim dostosowaniem wag, na przykład podłogi mocowane w zawieszeniu lub w podparciu

(wielopunktowym lub wieloliniowym), jak również podłogi podparte na całej powierzchni. Zatem wyniki metody wielokryterialnej mogłyby być inne.

Jak można wytłumaczyć fakt, że końcowy wynik analizy wskazuje na kompozyty w zasadzie nie zawierające cząsteczek kwarcu, które były użyte w celu modyfikacji warunków procesu tarcia?

4. Konkluzja

Ocena ogólna pracy jest pozytywna. Praca zawiera oryginalne badania o charakterze inżynierskim oparte na badaniach eksperymentalnych prowadzonych na nowatorskim, autorskim urządzeniu do pomiarów zużycia ściernego w niezmiennych warunkach eksploatacyjnych podczas całego procesu tarcia. W pracy opisano autorskie stanowisko badawcze, które w mojej ocenie stanowi bardzo wartościową część pracy. Wyniki badań naukowych z powodzeniem mogą być zastosowane w sferze gospodarczej, w tym przy projektowaniu maszyn i urządzeń.

Uważam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Jarosława Zepchły pt.: „Analiza zużycia ściernego kompozytów podłogowych” spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim i po spełnieniu innych warunków formalnych wnoszę o jej publiczną obronę.

Podstawa prawna:

- ustawa Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668 z późn. zm.),
- ustawa Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1669).

