

dr hab. inż. Katarzyna Gawdzińska, prof. nzw.
Akademia Morska w Szczecinie
Wydział Mechaniczny
ul. Willowa 1-2
70-310 Szczecin

Szczecin, 20.09.2018

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Bartosza Heknera
pt. „Właściwości tribologiczne heterofazowych kompozytów aluminium-ceramika
modyfikowanych komponentami węglowymi”.

Praca przedstawiona do publicznej dyskusji
Radzie Wydziału Inżynierii Materiałowej i Metalurgii.

Promotor: dr hab. inż. Jerzy Myalski, prof. w PS

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Mateusz Koziół

Kompozyty metalowe to materiały złożone, oparte na osnowie metalowej oraz różnego rodzaju dodatkach wzmacniających. W ostatnich latach dużym zainteresowaniem cieszą się kompozyty o układzie wielokomponentowym. Przykładem są kompozyty typu metal-ceramika z dodatkiem ceramicznej fazy umacniającej, np.: węglowej. Poprzez zastosowanie żądanego materiału umocnienia i jego właściwej postaci, np.: nanorurek, cząstek, włókien, struktur szkieletowych, można odpowiednio sterować wybranymi właściwościami wytworzonych tworzyw. Szczególnie pożądanymi właściwościami w branży motoryzacyjnej są właściwości tribologiczne. Elementy pracujące w parach tribologicznych powinny, oprócz odpowiednich właściwości mechanicznych, tj. uderności, twardości oraz właściwości cieplnych (przewodnictwo cieplne, pojemność cieplna), charakteryzować się wymaganą wartością współczynnika tarcia oraz możliwie małym zużyciem. Odpowiedzią na takie zapotrzebowanie mogą być materiały kompozytowe o osnowie z aluminium oraz umocnieniu ceramicznym, np.: Al_2O_3 czy dodatków węglowych.

W niniejszej rozprawie podjęto próbę opracowania wytycznych projektowania składu fazowego i technologii wytwarzania materiałów kompozytowych o osnowie z aluminium (lub jego stopów), umacnianych wzmocnieniem homo- i heterofazowym oraz próbę doboru udziału i postaci wzmocnienia, które mają gwarantować uzyskanie wymaganych właściwości tribologicznych, zapewniających stabilność współczynnika tarcia i odpowiednio małe zużycie oraz wydłużenie czasu bezpiecznej pracy materiałów ciernych.

Tematyka przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej Bartosza Heknera jest ze wszelkich miar aktualna.

BIURO DEKANA

Wpłynęło dnia 01.10.2018

Nr 2 Zal.

Charakterystyka ogólna pracy

Praca składa się ze 146 stron tekstu zasadniczego, w którym zamieszczono 93 rysunki oraz 7 tabel. Spis literatury obejmuje 116 pozycji, w tym 6 stanowi pozycje autorskie lub współautorskie mgr. Heknera. Zredagowana jest w sposób klasyczny. Zawiera charakterystykę zagadnienia opartą na przeglądzie literaturowym i część badawczą podzieloną niestandardowo na trzy grupy. W części literaturowej pracy Doktorant przedstawił opis kompozytów metalowych ze szczególnym uwzględnieniem zastosowania tych materiałów w tzw. „węzłach tarcia”. Innym szeroko określanym zagadnieniem była charakterystyka tribologiczna kompozytów o osnowie aluminiowej wzmocnionej cząstkami ceramicznymi. Magister Hekner określił także wpływ węgla na właściwości tribologiczne kompozytów w układzie aluminium-ceramika. W części eksperymentalnej, tzw. „praktycznej”, dokonano podziału na trzy grupy badań. Pierwsza grupa opatrzona tytułem „II CZĘŚĆ PRAKTYCZNA - wstęp” zawierała tezę oraz prezentację celu pracy. Określono w niej również metodykę badawczą, charakterystykę materiałów użytych do badań i techniki badawcze.

W drugiej grupie części praktycznej badano materiały kompozytowe, w których wzmocnienie występowało w postaci cząstek (kompozyty wytwarzano metodą metalurgii proszków). Znajdują się tu trzy rozdziały (7-9). W rozdziałach 7-8 określono, między innymi, wpływ nanorurek węglowych i cząstek WS (węgla szklistego) na właściwości wytworzonych kompozytów o osnowie aluminiowej. W rozdziale 9 pracy przedstawiono technologię, mikrostrukturę, właściwości fizyczne i tribologiczne wraz z mechanizmem zużycia kompozytów heterofazowych Al-cząstki SiC + CNT (nanorurki węglowe).

W trzeciej grupie pod tytułem „IV. CZĘŚĆ PRAKTYCZNA - wzmocnienie w postaci pianek”, zaprezentowano technologię, mikrostrukturę, a także właściwości mechaniczne, tribologiczne i ocenę mechanizmów zużycia kompozytów aluminiowych wzmocnionych:

- w rozdziale 10 pracy – pianami WS (węgla szklistego) oraz
- w rozdziale 11 pracy – pianami heterofazowymi Al_2O_3 + WS (węgiel szklisty).

Praca zakończona jest obszernym podsumowaniem i syntetycznymi wnioskami. Taki podział części praktycznej zapewnił przejrzysty i czytelny charakter rozprawy.

Praca nie zawiera wykazu skrótów i oznaczeń stosowanych w tekście oraz spisu rysunków i tabel, tylko streszczenie w języku polskim i angielskim.

Praca jest zredagowana w sposób jasny i poprawny technicznie, choć zdarzają się pojedyncze błędy językowe, literowe i interpunkcyjne.

Ocena pracy

Celem przedstawionej rozprawy doktorskiej było ustalenie składu fazowego i opracowanie technologii wytwarzania materiałów kompozytowych o podstawie z aluminium umocnionych wzmocnieniem homo- i heterofazowym. Innym celem był dobór udziału i postaci zbrojenia, tak oszacowany i wybrany, by zapewnić możliwie najlepsze (optymalne) właściwości tribologiczne kompozytów. Cele te zostały w pracy zrealizowane.

Doktorant udowodnił, że jest możliwa modyfikacja kompozytów zawierających cząstki ceramiczne, tradycyjnie wykorzystywane jako wzmocnienie, przez wprowadzenie dodatkowych napelniaczy węglowych i otrzymanie heterofazowych układów Al-cząstki SiC + CNT (nanorurki węglowe) oraz Al cząstki SiC + WS (węgiel szklisty).

Wytworzył (według autorskiej technologii) wzmocnienie węglowe w postaci ciągłych szkieletowych struktur przestrzennych, o budowie i kształcie przypominającym pianę, nasycił (infiltracja ciśnieniowa) pod ciśnieniem 3 MPa to wzmocnienie ciekłym stopem aluminium (AlMg5Cr), tworząc w ten sposób atrakcyjny aplikacyjnie (czego dowodzą przedstawione w rozprawie badania) kompozyt. Udowodnił, że węgiel szklisty może być składnikiem wykorzystywanym do modyfikacji już funkcjonujących kompozytów w układzie aluminium-ceramika, stabilizując wartość współczynnika tarcia, co szczególnie uwidacznia się w przypadku zwiększonej temperatury pracy.

Magister Hekner dowiódł, że o umocnieniu kompozytów nie tylko decyduje rodzaj zastosowanych materiałów, ale także ich postać. Porównał bowiem struktury i właściwości dwóch zasadniczych grup materiałów o różnej postaci umocnienia - cząstki i piany. Stwierdził, że rozdrobnienie wielkości elementów węglowych zarówno w przypadku pian, jak i cząstek zwiększa homogenizację, poprawia jakość połączenia między komponentami i korzystnie wpływa na stabilizację współczynnika tarcia oraz ogranicza zużycie kompozytu.

W pracy wykazano również różnice w mechanizmach zużycia kompozytów homofazowych zawierających tradycyjnie stosowane rodzaje wzmocnienia i kompozytów heterofazowych zawierających dodatkowo komponenty węglowe.

W wyniku przeprowadzonych badań i prac eksperymentalnych udało się Autorowi określić zjawiska zachodzące w węzłach tarcia kompozytów oraz przedstawić ich korelację z właściwościami tribologicznymi.

W ten sposób udowodniono tezę pracy, która stanowi motto rozprawy: Materiały węglowe mogą być wykorzystywane do modyfikacji właściwości tribologicznych jako podstawowy komponent wzmacniający, a także jako dodatkowy komponent modyfikujący. Jest to zależne nie tylko od udziału komponentu węglowego, ale także od rodzaju

zastosowanej odmiany alotropowej, jej ilości oraz postaci. Dzięki temu modyfikacja składu fazowego komponentami węglowymi pozwoli na przewidywanie i uzyskanie oczekiwanych właściwości tribologicznych w kompozytach zarówno homo- jak i heterofazowych.

Materiał doświadczalny i sposób jego przedstawienia w rozprawie doktorskiej mgr inż. Bartosza Heknera oceniam jako bardzo dobry.

Uwagi i dyskusja

Nie mam większych uwag do technicznego i merytorycznego przygotowania rozprawy doktorskiej. W niektórych rysunkach brak jest konsekwencji w oznaczeniach (np. rys. 5.1 str. 36). W tekście są błędnie przytoczone rysunki - rys.7.2b zamiast rysunek 7.1b (str. 50), występują błędy językowe typu: „na mikroskopach” zamiast „za pomocą mikroskopów”, „w rozdziale 7 miały na określenie”, „Początkowo materiały zostały nagrzane do temperatury 400⁰C i wytrzymane przez okres 2 godzin...” (str. 49) itp.

Pewną wątpliwość budzi również stwierdzenie w rozdziale 7.2 „Analiza proszków kompozytowych wykazała zależności rozmieszczenia nanorurek na cząstkach osnowy od ich udziału objętościowego”, sformułowane tylko na podstawie badań mikroskopowych.

Styl pisania rozprawy oraz jej szata graficzna nie budzi zastrzeżeń, mimo znalezionych drobnych błędów edytorskich i interpunkcyjnych oraz zaniechań. Przytoczone błędy winny być usunięte podczas przygotowywania publikacji, jaką warto byłoby napisać na podstawie wykonanej pracy doktorskiej.

W ramach dyskusji na temat niektórych zagadnień przedstawionych w rozprawie proszę Doktoranta o ustosunkowanie się podczas publicznej obrony do następujących problemów:

1. Jedną z podstaw projektowania układów kompozytowych jest określenie udziału faz wzmocnienia w osnowie. W pracy przedstawiono proces doboru ilości fazy węglowej i jej wpływ na właściwości kompozytów o osnowie z aluminium (rozdziały 7, 8 i 10), podczas gdy w rozdziałach 9 i 11 zastosowano ściśle określone ilości faz ceramicznych, dla których nie zaprezentowano podobnej analizy. Na jakiej podstawie ustalono przyjęte wartości udziałów faz ceramicznych w tych kompozytach?
2. Jedną z podstawowych zasad doboru materiałów pary tribologicznej jest kontrolowane, możliwie małe zużycie zarówno materiału ciernego, jak i „przeciwpróbki” (w pracy tzw. „partnera tarcia”). W pracy można zaobserwować zjawisko zwiększonego zużycia „przeciwpróbki” w przypadku struktur

heterofazowych o budowie przestrzennej (rysunek 11.9). Czy w przeprowadzonych badaniach poddano analizie wielkość zużycia „przeciwpróbki” (partnera tarcia)?

3. Jednym z najbardziej poznanych problemów stosowania węgla jako komponentu w kompozytach o osnowie z aluminium i jego stopów jest problem reaktywności tych faz. Zjawisko to było również analizowane w części literaturowej rozprawy. Czy w trakcie opracowania technologii wytwarzania prezentowanych kompozytów wzięto pod uwagę ten problem i w jaki sposób się do niego odniesiono?
4. Jednym z poruszanych zagadnień projektowania heterofazowych układów kompozytowych jest jakość połączenia pomiędzy komponentami. Problem ten jest szczególnie widoczny w przypadku analizowanych warstw węgla szklatego nakładanych na przestrzenne struktury wykonane z tlenku aluminium (rozdział 11). Na rysunku 11.1 przedstawiono struktury z Al_2O_3 , na których warstwa węglowa nie pokrywa całej powierzchni pian. Czy możliwe jest zatem ograniczenie tych problemów, stosując prezentowane technologie infiltracji struktur ceramicznych ciekłym metalem, czy ze względu na kruchość węgla jest to ograniczenie tej technologii?

Wniosek końcowy

Praca doktorska przedstawiona przez mgra inż. Bartosza Heknera reprezentuje dobry poziom naukowy. Tematyka pracy jest nowoczesna naukowo i atrakcyjna aplikacyjnie i mieści się w zakresie dyscypliny „inżynieria materiałowa”. Skupia się bowiem na otrzymywaniu w warunkach laboratoryjnych różnego typu kompozytów według autorskiej procedury technologicznej, zgodnie z parametrami umożliwiającymi badanie procesów zachodzących w ich strukturze, a także opisem ich właściwości, szczególnie tribologicznych. Praca zredagowana jest w sposób jasny i skondensowany, wnioskuje o wyróżnienie tej pracy. Przedstawione rezultaty zawierają elementy nowości w sensie poznawczym i użytkowym. Autor bardzo dobrze opanował technikę pracy badawczej oraz zastosował wszystkie metody badań adekwatne do jej zakresu.

Pracę oceniam pozytywnie. Stwierdzam, że spełnia ona wszystkie wymagania, dotyczące rozpraw doktorskich, wynikające z obowiązującej Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 nr 65 poz. 595) i wnioskuje o dopuszczenie jej do dyskusji na Radzie Wydziału Inżynierii Materiałowej i Metalurgii.

Katarzyna Gawdzińska

