

dr hab. inż. Henryk CZARNECKI prof. PCz.
ul. Fieldorfa Nila 8 m18
42 – 200 Częstochowa

Częstochowa 15. 11. 2014

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr Marka KUBICY

**pt.: „SYMULACJA I MODELOWANIE NANOSTRUKTURY WARSTWY Al_2O_3
OTRZYMANEJ W ELEKTROLITACH TRÓJSKŁADNIKOWYCH”**

(decyzja RW Informatyki i Nauki o Materiałach Uniwersytetu Śląskiego z dn.21. 10. 2014)

Przyjmując, że rozprawa doktorska ma stanowić samodzielne rozwiązanie zagadnienia naukowego, opracowano niniejszą recenzję z uwzględnieniem następujących kryteriów jej oceny:

- wybór tematu, celu i zakresu pracy,
- wartości naukowej i oryginalności pracy,
- metodyki i analizy wyników,
- formy opracowania.

1. Wybór tematu, celu i zakresu pracy

Panująca w technice tendencja minimalizacji zużycia materiałów i energii w praktyce prowadzi do miniaturyzacji urządzeń przy jednoczesnym zwiększaniu mocy przenoszonych przez kinematyczne węzły. Aby to było możliwe równocześnie prowadzone są intensywne prace przy wdrażaniu nowych materiałów i technologii konstituowania ich warstwy wierzchniej. Obserwuje się intensywny rozwój konstituowania warstwy wierzchniej i ukierunkowanie jej właściwości na

potrzeby eksploatacyjne zwiększające niezawodność i jednocześnie zmniejszające koszty ich wytwarzania.

Wpływ materiału i właściwości warstwy wierzchniej oraz obciążeń występujących w miejscu styku mają wielokrotnie decydujące znaczenie i wymagają przeprowadzenia szeregu eksperymentów. Niedostępność strefy styku dla urządzeń pomiarowych stwarza dodatkowe trudności w obserwacji podczas eksploatacji a następnie poprawnego wnioskowania o zjawiskach zachodzących w procesie tarcia i zużywania. Dlatego też wraz z rozwojem technik komputerowych próbuje się je wykorzystywać do modelowania procesów kształtowania warstwy wierzchniej, czy też zjawisk tribologicznych. Ponadto do prowadzenia symulacji umożliwiającej analizowanie dużej liczby czynników biorących udział w procesie tarcia oraz możliwość zmiany struktury badanego systemu, a także możliwość zmiany i wymiany elementów istotnych dla analizy modelowanego obiektu. W tych pracach coraz częściej próbuje się wykorzystywać techniki komputerowe pozwalające przyspieszyć procesy badawcze i projektowe w oparciu o istniejące profesjonalne aplikacje jak również tworzenie własnego oprogramowania pozwalającego modelować zjawiska w oparciu o dotychczasowe wyniki uzyskane w badaniach modelowych i stanowiskowych.

Zaproponowana w pracy technologia kształtowania warstw tlenkowych na stopach aluminium tworzących nowe jakościowo nanostuktury cechujące się dobrymi właściwościami fizyko-chemicznymi i mechanicznymi pozwala na wnioskowanie o możliwości zastosowania tak ulepszonych powierzchni elementów konstrukcyjnych w węzłach narażonych na zużycie w tym zużycie tribologiczne. Wobec pracochłonnych i wymagających wysoko specjalistycznej aparatury badań tych warstw zaproponowano metodykę badań wspomaganych komputerowo poprzez wykorzystanie autorskiego programu i analizę skojarzeń par tribologicznych pod względem naprężeń, odkształceń oraz przemieszczeń określonych metodą elementów skończonych

Biorąc pod uwagę powyższe uważam, że temat pracy jest istotny dla rozwoju wiedzy z zakresu wytwarzania warstw tlenkowych i ich aplikacji. Cel postawiony oraz sposób jego realizacji jak i zakres przyjętych opracowań oceniam w pełni pozytywnie zarówno w aspekcie naukowym jak i użytkowym.

2. Wartość naukowa i oryginalność pracy

Niezależnie od wielu poglądów na definicję pojęcia „naukowej pracy” można przyjąć, że praca może być uznana za naukową o ile w wyniku jej realizacji uzyskano nowe informacje poszerzające wiedzę w określonej dziedzinie, a wiedza ta zawiera w sobie

elementy aktualnej lub perspektywicznej przydatności określoną użytecznością nowych informacji w ich przemysłowym wdrożeniu.

W recenzowanej pracy określone zostały na stronie 39 jej podstawowe tezy mające załączek tez oryginalnych.

Autor zaproponował w nich wyjaśnienie mechanizmów formowania i wzrostu warstwy Al_2O_3 przy użyciu mikroskopu skaningowego na podstawie zdjęć powłok. Następnie na tej podstawie przeprowadzenie symulacji modelowania nanostruktury warstwy tlenkowej Al_2O_3 wytwarzanej na stopie aluminium w elektrolicie trójskładnikowym. Ponadto zaproponowano przeprowadzenie analizy numerycznej naprężeń, odkształceń i przemieszczeń węzła tarcia w skojarzeniach ślizgowych.

W zakres pracy doktorskiej weszły zagadnienia związane z wytworzeniem warstw tlenkowych Al_2O_3 na stopie aluminium w elektrolitach trójskładnikowych dla zmiennych warunków anodowania twardego. Otrzymane warstwy tlenkowe poddane zostały komputerowej analizie obrazu na podstawie wykonanych zdjęć SEM. Uzyskane w ten sposób wartości użyto do zbudowania modelu warstwy i opracowania autorskiej komputerowej aplikacji symulującej ułożenie włókien. Ponadto założono przeprowadzenie komputerowej analizy obciążeń wewnętrznych pary tribologicznej złożonej z zastosowaniem różnych materiałów próbek współpracujących z warstwą tlenkową dla warunków odpowiadających pracy siłowników pneumatycznych. Przedstawiono również szczegółowy plan pracy który wynikał bezpośrednio z założonych przez autora celów oraz przyjętego zakresu.

Założono na wstępie wytworzenie warstw tlenkowych Al_2O_3 dla różnych czasów anodowania twardego w elektrolitach trójskładnikowych SAS i SFS. Wytworzenie warstwy tlenkowej na stopie aluminium EN AW-5251 dla różnych czasów trwania procesu. Następnie otrzymane struktury i morfologie powierzchni poddano ocenie w zakresie ich tworzenia się i wzrostu, wykorzystując KAO zdjęć SEM z wykorzystaniem uzyskanych obrazów binarnych. Analiza zdjęć warstw wytworzonych w zmiennych warunkach anodowania twardego w aplikacji ImageJ i Met-Ilo pozwoliła na badanie morfologii powierzchni warstwy wytwarzanej w różnych czasach anodowania pod kątem porowatości i wielkości powstających nanoporów. Określenie grubości włókien na podstawie zdjęć zglądów struktury tlenku aluminium i utworzono trójwymiarowy model w programie CAD wyglądu warstwy tlenkowej i umożliwiający zamodelowanie możliwych ułożeń włókien.

Na podstawie obliczeń i przekształceń matematycznych opisujących geometryczne ułożenie nanostruktury przy wykorzystaniu języka programowania C++ utworzono autorską aplikację pozwalającą na komputerową symulację wyglądu morfologii warstwy Al_2O_3

wytwarzanej dla różnych warunków anodowania twardego. W dalszej części dysertacji przeprowadzono symulację współpracy pary tribologicznej utworzonej z elementu z warstwą tlenkową i próbek wykonanych z trzech rodzajów tworzyw sztucznych z wykorzystaniem metody elementów skończonych.

Wobec powyższego uważam, że praca zawiera w sobie wartość zarówno naukową jak i zdolności aplikacyjne .

3. Metoda i analiza wyników

Ocena recenzowanej pracy doktorskiej upoważnia mnie do stwierdzenia, że Autor wykazał znajomość w zakresie teorii i technologii wytwarzania warstw tlenkowych i umiejętnie wykorzystał ją przy opracowaniu komputerowo wspomaganą analizy procesu tworzenia warstwy tlenkowej dla zakresu parametrów wcześniej zbadanych. Właśnie w tym celu przeprowadzono badania polegające na określeniu wpływu czynników biorących udział w tworzeniu warstwy tlenkowej na stopie aluminium gatunek AW-5251 (zmieniano elektrolit trójskładnikowy SAS i SFS oraz czas trwania procesu). Analiza struktury warstwy uzyskanej i jej opis wymagała umiejętności posłużenia się nowoczesną aparaturą pomiarową i obróbką uzyskanych zdjęć. Na tej podstawie i wcześniejszych wynikach oraz doświadczeniach uzyskanych w zespole naukowym kierowanym przez Pana Profesora Skonecznego doktorant wykorzystując programy CAD opracował trójwymiarowy model takiej warstwy.

Następnie wykorzystując przedstawione w pracy zależności i dane otrzymane z badań posłużyły do opracowania w języku C++ komputerowego programu symulacyjnego pozwalającego na podstawie wprowadzonych parametrów w oparciu o metodę Monte Carlo utworzenie spodziewanej morfologii warstwy tlenkowej. **Jest to niewątpliwe osiągnięcie doktoranta.**

Ostatnią częścią pracy jest analiza komputerowa zjawisk towarzyszących w systemie tribologicznym, gdzie jedną z par jest warstwa tlenkowa, a drugą stanowiły próbki wykonane z najczęściej stosowanych tworzyw sztucznych. Wykorzystano metodę elementów skończonych. W tym celu opracowano model odzwierciedlający badania stanowiskowe na testerze, czyli zużycie w ruchu posuwisto zwrotnym w warunkach tarcia suchego. Przyjęty układ odzwierciedla ruch takiej pary w układzie cylinder - tłok.

Otrzymano rozkłady naprężeń, odkształceń i przemieszczeń. Ta część pracy wymagała od doktoranta wiedzy w zakresie analizy zjawisk tribologicznych oraz umiejętności

modelowania i wykorzystania programów komputerowych. Przedstawiona metodyka i uzyskane wyniki mogą być pomocne przy doborze skojarzenia w trakcie projektowania takiego węzła tribologicznego, jak również mogą służyć do dalszych analiz obciążeń wewnętrznych zarówno w warstwie tlenkowej jak i w elemencie współpracującym z nią.

Wysoko oceniam umiejętności doktoranta w zakresie nie tylko określenia zależności teoretycznych, ale również tworzenia programów komputerowych do wykonania obliczeń. **Umiejętnie wykorzystał** swoją wiedzę oraz doświadczenie, co pozwoliło na opracowanie oryginalnej metody symulacji warstwy tlenkowej jak i procesów tribologicznych.

Na podkreślenie zasługują szeroko przeprowadzone symulacje numeryczne jak i przedstawione próby interpretacji ich wyników.

W opracowaniu moim zdaniem nie ustrzeżono się od drobnych niedociągnięć, czy też prób uogólnień, które zasadniczo nie wpływają na jej wartość.

- Doktorant na w części literaturowej na str. 7 -11 opisuje zastosowanie warstw tlenkowych powołując się na szereg programów krajowych i międzynarodowych. Moim zdaniem można by było ten opis skrócić. Czytając można by sądzić, że autor tłumaczy się tym sposobem z podjęcia tego tematu. Praca naukowa winna w wielu aspektach wypływać z rozszerzenia lub uzupełnienia istniejącej wiedzy z danej dziedziny a nie koniecznie z programów, szczególnie dydaktycznych.
- Na str. 30, rys.16 w widoku mamy dwa zdjęcia a i b, a w podpisie mamy jeszcze wymienione c) T-17
- Na rys.21, str. 33 i następnych opisujących proces zużywania w trakcie testu tribologicznego – b - „z naniesionym filmem ślizgowym” Nie wyjaśniono skąd ten film się na powierzchni wziął. Moim zdaniem winno być tak jak to się w literaturze określa, że jest to po prostu ślad zużycia lub ślad zużywania. Określenie film olejowy odnosi się do warstwy płynu oddzielające elementy współpracujące przy smarowaniu płynnym, czy też nawet granicznym. Podobnie jest w dalszych podpisach np. rys. 34, czy też w opisie symulacji procesu na str.93 i wniosku nr 7.
- Moim zdaniem podpunkt 2,11 „Analiza bibliografii” za mało uwypukla potrzebę przeprowadzenia proponowanych badań. To tutaj winno się znaleźć pogłębione omówienie braków wiedzy o procesie i jego zastosowaniu, a tym samym wykazać konieczność podjęcia tej tematyki.

- Dane o właściwościach użytego stopu aluminium tab.4, str. 43 są zaczerpnięte z pracy zespołu, a nie z normy EN-573-1, Nieznacznie ale dane przedstawione w pracy i przedmiotowej normie się różnią. Podobnie jest w przypadku tab.5, str. 43.
- Podpis pod rys.26. str. 44 – chyba winno być Schemat stanowiska ..., a nie "Stanowisko ...
- Na rys. 35, str.55 autor podaje grubość przeciwpróbki - 4 mm, a na str.44 podano grubość płytki - 1 mm. Czy zatem do prób stanowiskowych użyto innych próbek niż do badania morfologii powierzchni. Jeżeli tak, to czy przy symulacji wprowadzono dane dla blachy o grubości 1mm, czy też 4mm.
- Na stronie 63 doktorant pisze, że "Potwierdzeniem zjawiska przenoszenia cech podłoża są przeprowadzone badania struktury przekrojów warstw o zmiennym czasie wytwarzania (Rys.43)". Natomiast w podpisie "Rys.43. Obrazy SEM zglądów warstwy tlenkowej...." Nie podano czy to jest zgląd na przekroju, co można wywnioskować ze zdjęć, czy też może to jest wytrawiona powierzchnia.
- Autor dość często swobodnie wysuwa sądy bez udokumentowania badaniami lub odniesieniem do literatury: np. na str.64. pisze, że "Budowa warstwy na podłożu nie trawionym ma inny charakter niż w przypadku warstwy na podłożu trawionym, co ma wpływ na właściwości tribologiczne" - pytanie jakie i skąd taki sąd. Podobnie jest na str. 65 gdzie stwierdza się o dogodności topografii powierzchni na podłożu nie trawionego aluminium do współpracy ślizgowej itd. - też skąd takie stwierdzenie i co to jest ślizganie?.
- Na rys.46, str. 66 brak jest pełnego opisu wykresu dla próbki R. Podobnie jest z rys. 47.
- Na rys. 48 powierzchnia pora chyba winna być wyrażona nm^2 , a nie w mm - jeżeli jest to powierzchnia.
- W podpisie rys.61 moim zdaniem winno być nie "Działanie programu...", a wyniki obliczeń
- Nasuwa się pytanie w jakim zakresie parametrów deklarowanych do programu autorskiego SUW obliczenia są ważne. W opisie tego nie podano.
- Czy można w tym programie określić przypuszczalne wymiary mikroporów i ich wymiary, bo z wyników obliczeń przedstawionych na rys. 61. wynika, że te wielkości są różne dla różnych parametrów procesu.

- Czym się kierowano przy wyborze ilości elementów skończonych siatki i ich rodzaju, bo zastosowano 8 węzłowe kostki, 5 węzłowe piramidy, 4 węzłowe elementy tetraedonalne oraz 6 węzłowe. Czy nie warto było wybrać jeden rodzaj. Ponadto jaki wymiar charakterystyczny miał taki element i czy on nie był większy na głębokości warstwy wierzchniej od grubości warstwy tlenkowej.
- Szkoda, że w prezentacji rozkładów naprężeń w trakcie symulacji procesu zużywania autor nie zobrazował rozkładu naprężeń w przekroju normalnym, Można wówczas by uzyskać rozkład naprężeń na głębokości zarówno przeciwpróbki jak i próbki. Może wówczas można by było uzyskać obraz miejsca powstania ich koncentracji – punktu Bielajewa.
- Badania stanowiskowe przedstawione w punkcie 7.4 są podane bez większego komentarza i warunków w jakich były prowadzone. Nawet brak jest komentarza do przedstawionych na rys. 80 wyników eksperymentu.
- Wnioski opisane w punkcie 8. są w niektórych przypadkach uogólniane i hipotetyczne, gdyż nie wynikają bezpośrednio z zakresu realizowanych badań. Dotyczy to wniosku 2 i 5.
- W spisie literatury doktorant w poz.122 nie podał tytułu artykułu

Pragnę podkreślić, że uwagi powyższe nie podważają **pozytywnej oceny całości pracy, ogromnego wkładu własnego Autora, pracochłonności i solidności przeprowadzonych rozważań i opisów interpretacyjnych**, lecz moim zdaniem powinny zostać uwzględnione przy jej rozpowszechnianiu.

4. Forma opracowania pracy

Praca składa się z 8 rozdziałów, wykazu literatury (128 pozycji) i obejmuje 108 stron maszynopisu. Została opracowana w sposób syntetyczny i w miarę przejrzysty. Błędy redakcyjne, uzupełnienia i sugestie z których część przedstawiono w recenzji, naniesiono w tekście i przekazano Autorowi.

Wniosek końcowy


Na podstawie powyższej oceny stwierdzam, że rozprawa jest interesująca i zawiera szereg ciekawych i oryginalnych wyników. Na **podkreślenie zasługuje zakres**

prowadzonych badań, ilość wykonanych symulacji i prób doświadczalnych oraz przedstawienie interpretacji wyników poparte statystyką.

Biorąc pod uwagę :

- aktualną i ciekawą tematykę rozprawy,
- obszerne opracowania teoretyczne, programy komputerowe i interesujące wnioski,
- uzyskane wyniki opartą o interdyscyplinarną wiedzę Autora,
- wysunięte wnioski i zalecenia przemysłowego zastosowania wyników,

stwierdzam, że rozprawa mgr Marka Kubicy pt. „Symulacja i modelowanie nanostruktury warstwy Al_2O_3 otrzymanej w elektrolitach trójskładnikowe” **odpowiada wymaganiom stawianym w ustawie o tytule naukowym i stopniach naukowych i może być przyjęta jako rozprawa doktorska, a jej Autor dopuszczony do publicznej obrony.**


Carmelita Henryk