

Częstochowa 25.04.2015

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

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Wiesława ŻELASKO

**pt.: „KONTAKT WIERZCHOŁKÓW NIERÓWNOŚCI PŁASKIEJ POWIERZCHNI
JEDNO - I DWUPROCESOWEJ Z POWIERZCHNIĄ KULISTĄ I PŁASKĄ”**

(decyzja Rady Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej z dnia 11 03. 2015)

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 wytwarzania 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. Biorąc pod uwagę, że integralną częścią

warstwy wierzchniej jest struktura geometryczna powierzchni to jej ukształtowanie wpływa bezpośrednio na oddziaływania eksploatacyjne w tym na procesy występujące w styku powierzchni współpracujących par kinematycznych. Obserwujemy stosowanie różnych metod kształtowania SGP zapewniających jej jednorodność lub wprowadzanie obróbki dwuprosesorowej która ma za zadanie ukształtowanie specyficznej topografii powierzchni, gdzie po obróbce poprzedzającej wygładzamy tylko część chropowatości przy pozostawieniu śladów poprzedniej tworzących dodatkowe zbiorniki smaru czy też mogących gromadzić produkty zużycia.

Podczas kontaktu powierzchni w zależności od właściwości materiału, obciążenia oraz charakterystyki nierówności mogą wystąpić odkształcenia stykowe sprężyste, sprężysto-plastyczne lub plastyczne, które mają decydujące znaczenie w procesach eksploatacyjnych przy współpracy nierówności 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 miejscu styku czy też w procesie tarcia i zużywania. W literaturze obserwujemy analizę problemu w układzie statycznego kontaktu przy uśrednianiu wartości parametrów geometrycznych powierzchni. Badania te najczęściej dotyczą kontaktu powierzchni o rozkładzie normalnym wysokości wierzchołków, które najczęściej są sferyczne. Istnieje wiele modeli opisujących te relacje.

Wraz z rozwojem technik komputerowych próbuje się je wykorzystać do przyspieszonych analiz tych zależności jak również tworzenie nowych opartych na elementach skończonych. Można również zaobserwować modelowanie procesów kształtowania warstwy wierzchniej, czy też zjawisk tribologicznych. Zastosowanie technik komputerowych i symulacji umożliwia analizowanie dużej liczby czynników biorących udział w procesie styku przy jednoczesnej możliwości zmiany struktury badanego systemu, a także możliwość zmiany i wymiany elementów istotnych dla analizy modelowanego obiektu. Te prace realizowane są w oparciu o istniejące profesjonalne aplikacje jak również tworzone własne oprogramowania. Zaproponowana w pracy analiza kontaktu wierzchołków nierówności płaskiej powierzchni chropowatej jedno i dwuprosesorowej z powierzchnią kulistą i płaską pozwala na porównanie modeli stochastycznych. Ponadto dokonano badań stanowiskowych i zaproponowano symulację występujących zjawisk. Podjęto również próbę opracowania metodyki analizy dla powierzchni dwuprosesorowej. Wobec pracochłonnych i wymagających wysoko specjalistycznej aparatury badań występujących zjawisk w styku powierzchni chropowatej i gładkiej zaproponowano metodykę badań wspomaganą komputerowo poprzez wykorzystanie programów zarówno autorskich jak i profesjonalnych.

Biorąc pod uwagę powyższe uważam, że temat pracy jest istotny dla rozwoju wiedzy z zakresu kontaktu wierzchołków nierówności. Cel postawiony oraz sposób jego realizacji jak i zakres przyjętych opracowań oceniam w pełni pozytywnie zarówno w aspekcie naukowym jak i użytecznym.

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 na stronie 30 został określony cel wraz z jego omówieniem i zakresem pracy mający załączek rozwiązań oryginalnych.

Autor wyjaśnia, że mimo wielu prac z zakresu kontaktu powierzchni brak jest parametrów opisujących właściwości kontaktu powierzchni dwuprosocowej. Stwierdza, że jego zdaniem wskaźnik plastyczności jest istotnym parametrem określającym zdolność powierzchni do odkształceń plastycznych i jest jego brak dla powierzchni dwuprosocowej. Stąd autor w pracy przedstawia analizę porównawczą modeli analitycznych i MES-owskich kontaktu odkształcalnej kuli z twardą powierzchnią płaską wraz z modelowaniem siły normalnej przy znanej powierzchni styku. Zakłada również opracowanie algorytmów obliczeniowych modeli izotropowych powierzchni chropowatych z uwzględnieniem współdziałania wierzchołków jak również algorytmów kontaktu kuli. Dokonanie porównania parametrów styku powierzchni przy zastosowaniu różnych modeli analitycznych i metody numerycznej bez i z uwzględnieniem współdziałania wierzchołków.

Ponadto opracowanie algorytmów kontaktu powierzchni chropowatych na podstawie metody numerycznej DC-FFT z uwzględnieniem kontaktu plastycznego. Dokonano oceny błędów spowodowanych założeniem stałego promienia zaokrąglenia szczytów dla modeli opartych na styku kuli z powierzchnią płaską. Ponadto przeanalizowano ocenę wpływu kroku próbkowania na parametry styku. Porównano również parametry kontaktu izotropowych powierzchni stochastycznych jedno i dwuprosocowych w kontakcie z kulą i powierzchnią płaską. W części doświadczalnej dokonano badanie kontaktu odkształcalnych półkul miedzianych i stalowych z twardą powierzchnią oraz kontaktu stalowych powierzchni chropowatych jedno i dwuprosocowych z powierzchnią płaską. Następnie przeprowadzono

badania tribologiczne dokonując oceny zużycia dla stochastycznych powierzchni jedno i dwuprocessorowych w kontakcie z powierzchnią kulistą i powierzchnią płaską. Na zakończenie tej części rozważań przeprowadzono modelowania procesu zużywania w układzie kula-tarcza i pierścień – tarcza.

Wobec powyższego uważam, że praca zawiera w sobie wartości zarówno naukowe jak i zdolności aplikacyjne.

3. Metoda i analiza wyników

Ocena recenzowanej pracy doktorskiej upoważnia mnie do stwierdzenia, że Autor wykazał znajomość w zakresie prowadzenia analizy zjawisk w kontakcie wierzchołków nierówności dla powierzchni jednoprocessorowej i dwuprocessorowej. W tym zakresie przeanalizował literaturę ukierunkowaną na te problemy w różnych ujęciach modelowych czyli jak autor opisuje – różne modele teoretyczne styku i opisu w postaci zależności matematycznych jak również opartych na MES. Na podstawie tych danych dokonał szerokiej analizy porównawczej modeli opartych na MES dla styku kuli ze sztywną powierzchnią płaską a następnie porównał i zmodyfikował modele teoretyczne. W tym celu wykonał szereg programów w języku C. Następnie w dysertacji dokonano modelowania styku płaskich powierzchni chropowatych o Gaussowskim rozkładzie rzędnych poprzez ich komputerowe generowanie a następnie założenie odległości między płaszczyznami średnimi. Określono promienie krzywizn szczytów nierówności. Umożliwiło to porównanie różnych modeli charakterystyk bez i z uwzględnieniem współdziałania wierzchołków oraz metody numerycznej, w tym wpływu ich uśrednienia na wartość siły normalnej czy też pola powierzchni styku. Odrębnym zagadnieniem była analiza wpływu kroku próbkowania na parametry styku. Zaprezentowano dyskusję dotyczącą obliczenia plastyczności powierzchni dwuprocessorowych a w tym wpływu dolin na parametry profilu jak i indeksu plastyczności. Dalsza część obejmuje analizę dotyczącą zagadnień modelowania styku powierzchni chropowatej z kulą. Autor dokonał badań doświadczalnych styku i w tym celu skonstruował i wykonał stanowisko w pierwszej wersji a następnie je zmodyfikował dostosowując do konkretnych zadań badawczych. Zaproponował metodykę badania odkształcenia a wyniki badań potwierdziły jej poprawność zarówno dla powierzchni jednoprocessorowej jak i dwuprocessorowej. Doktorant wykorzystał program TalyMap pozwalający na analizy topografii powierzchni. W badaniach tribologicznych wykorzystano dwa stanowiska produkcji Państwowego Instytutu Technologii Eksploatacji – tester do badania kulki z powierzchnią T-11 i powierzchni typu pierścień tarcza T-15. Do pomiaru zużycia tarcz

i kulek użyto interferometru światła białego Talysurt CCI Lite i oprogramowania pozwalającego wyznaczyć odpowiednie charakterystyki uzyskanych śladów po procesie zużywania. Zobrazowano na rysunkach ich profile określając wielkość zużycia testowanych par ślizgowych. W pracy zaproponowano oryginalną metodę modelowania zużycia powierzchni chropowatych w styku z kulą i z powierzchnią płaską. **Jest to niewątpliwe osiągnięcie doktoranta.**

Na tej podstawie przedstawionych wyników i z wcześniejszych prac oraz doświadczenia uzyskanego w zespole naukowym kierowanym przez Pana Profesora Pawlusa doktorant wykazał się dużymi zdolnościami organizacji badań i oceny ich wyników.

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 oryginalnych metod analizy postawionych zadań zarówno teoretycznych i badawczych.

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

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

- Doktorant pisze na str. 31, że wykonał szereg programów w języku C służących do analiz. Szkoda, że nie przedstawił schematu ideowego czy też blokowego takich programów. Nie opisał czy to były programy cząstkowe dla każdego zadania, czy też inaczej, czy miały moduł prezentacji obliczeń w postaci wykresów lub transmisji wyników do innego programu np. EXCEL w którym tworzono graficzne przedstawieni tych wyników.
- Doktorant wprowadził przy analizach poszczególnych modeli określenia np. "bezwymiarowe średnie naciski" jako p/Sy , "bezwymiarowa powierzchnia styku", czy też "bezwymiarowe zagłębienie" itd. Moim zdaniem są to współczynniki, które należało odpowiedni nazwać. Dotyczy to wielu "bezwymiarowych" nazw użytych w pracy. Ponadto należało wyjaśnić dlaczego w takim układzie przedstawiano na rysunkach zależności parametrów styku.
- Generalnie moim zdaniem rysunki są wykonane w małym formacie, co skutkuje małą ich czytelnością i w wielu przypadkach trudno powiedzieć, że są jakieś różnice przebiegu krzywych, chociaż doktorant w opisie te różnice widzi. Na wykresie ukazana jest wręcz wiązka linii. Można było te różnice oszacować statystycznie. Może celowo byłoby niektóre wyniki przedstawić w tabeli.

- Moim zdaniem podpisy pod rysunkami w wielu przypadkach są opisane dość skrótowo i dopiero w treści trzeba szukać co na nich przedstawiono i dla jakich warunków. Zmniejsza to czytelność pracy.
- Moim zdaniem autor przyjmując określoną twardość wyrażoną w GPa powinien podać albo materiał i jego twardość w HB czy też HV lub HRC. W opisie badań można było podać zagadnienie przeliczenia tych twardości, lub w miejscach przyjmowania danych dla poszczególnych obliczeń.
- W pracy można zauważyć takie same literowe oznaczenia dla różnych danych np. częstość kątową (str. 47) i głębokość odkształcenia oznaczono tak samo tj. ω . Podobnie na str. 7 – współczynnik zależny od liczby Poissone'a oznaczono literą K a na str.17 jest to kompletna całka eliptyczna pierwszego rodzaju.
- Moim zdaniem przy omówieniu poszczególnych modeli i ich zależności można było dla ułatwienia ich analizy podać również miana czynników składowych. Szczególnie jest to istotne przy tworzeniu oprogramowania.
- W podpisie rys. 6.19 zastosowano opis „Unormowane średnie naciski jednostkowe” p/H. Wcześniej nazywano tą zależność jako bezwymiarowe średnie naciski jednostkowe. Chyba należało zachować jednolitość określeń.
- Na str. 115 i str.120 napisano, że wartość parametru S_v świadczy o zachowaniu objętości, parametr S_v charakteryzuje bowiem objętość materiału. W spisie oznaczeń S_v jest maksymalną głębokością wgłębień powierzchni, co jest zgodne z normą ISO.
- Na rys. 6.24 i 6.25 legenda dla danych nie pozwala ich zidentyfikować do których badań się krzywe odnoszą.
- Autor w wielu miejscach określa zmianę parametru h czyli odległość powierzchni od siebie określona względem płaszczyzny średniej wysokości rzędnych. Nasuwa się pytanie czy ta płaszczyzna się zmienia przy zmianie rzędnych w procesie zużywania, czy też odkształcenia plastycznego nierówności. Ponadto na rys 2.11 h oznaczono jako wysokość szczeliny. Może należało zastosować konsekwentnie odnoszenie się do zmiany parametru g , czyli zgłębienia (zbliżenia) w przypadku kontaktu kulki lub płaszczyzny sztywnej z miękką powierzchnią chropowatą. Można też było w opisie wyjaśnić interpretację fizyczną zmiany zbliżenia h .
- Moim zdaniem na rysunkach przedstawiających widok izometryczny struktury geometrycznej powierzchni jest brak skali po osi z odnoszącej się do kolorów części wykresu, co zmniejsza ich czytelność.

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 jest dość obszerna i obejmuje 178 stron maszynopisu. Składa się z 8 rozdziałów, wykazu literatury (209 pozycji) oraz zawiera około 177 rysunków, w tym 134 rysunki obrazujące obliczone zależności poszczególnych parametrów, czy też współczynników (nazywanych bezwymiarowymi polami, siłami itp.). Ponadto przedstawiono 12 tablic z danymi. Została opracowana w sposób syntetyczny i w miarę przejrzysty. Błędy redakcyjne w tym stylistyczne, 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 obliczeń, symulacji i prób doświadczalnych oraz przedstawienie interpretacji wyników.**

Biorąc pod uwagę :

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

stwierdzam, że rozprawa mgr inż. Wiesława Żelasko pt. „Kontakt wierzchołków nierówności płaskiej powierzchni chropowatej jedno i dwuprosesowej z powierzchnią kulistą i płaską” **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.**

