

dr hab. inż. Tomasz Rydzkowski
profesor Politechniki Koszalińskiej
Politechnika Koszalińska
Wydział Mechaniczny
Raławicka 15-17
75-620 Koszalin

Koszalin, 14.10.2022

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Piotra Sikory

pod tytułem:

Analiza zmian właściwości termomechanicznych tworzyw polimerowych i ich wpływ na proces obróbki skrawaniem

Promotor rozprawy doktorskiej: **dr hab. inż. Adam Gnatowski, prof. PCz**
Promotor pomocniczy: **dr inż. Rafał Gołębski**

*Praca realizowana w dziedzinie **Nauk Inżynieryjno-technicznych**,
w dyscyplinie **Inżynieria mechaniczna***

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest pismo numer R-WIMI-510-8/19 z dnia 22.08.2022 roku skierowane do mnie przez Panią Profesor Małgorzatę Klimek, Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Informatyki Politechniki Częstochowskiej.

1. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgra inż. Piotra Sikory pod tytułem: *Analiza zmian właściwości termomechanicznych tworzyw polimerowych i ich wpływ na proces obróbki skrawaniem*. Praca jest dość obszerna, wraz z dwoma streszczeniami, spisem źródeł bibliograficznych, spisami rysunków i tabel a także oświadczeniem Autora oraz suplementem ma objętość 228 stron. Sam tekst pracy, rozpoczynający się od Wprowadzenia a kończący Wnioskami i uwagami końcowymi zajmuje 179 stron, zawiera łącznie 119 rysunków i 27 tabel.

Analiza tematyki, podjętych problemów i zastosowanych metod badawczych pozwala na stwierdzenie, że badanie wpływu obróbki termicznej na właściwości termomechaniczne konstrukcyjnych tworzyw polimerowych i ich wpływ na proces obróbki skrawaniem kół zębatych, przeznaczonych na elementy układów kinematycznych maszyn i urządzeń, mieści się w zakresie dyscypliny naukowej Inżynieria Mechaniczna.

Z uwagi na fakt, że zajmuję się zagadnieniami przetwórstwa oraz recyklingu tworzyw polimerowych i kompozytów, budową maszyn a także inżynierią materiałową, to znam tematykę podjętych przez Autora zagadnień, czuję się zatem kompetentny do opracowania zleconej recenzji.

Uważam, że w dobie wzrastających wymagań stawianych elementom urządzeń oraz dynamicznego wzrostu stosowania elementów z tworzyw polimerowych w wielu branżach, podjęta tematyka jest ważna, ambitna i została właściwie wybrana. Temat został w pełni zrealizowany a także potwierdzono postawione w pracy tezy.

2. Tematyka rozprawy doktorskiej

Tematyka rozprawy dotyczy wpływu obróbki cieplnej - wygrzewania - na właściwości i podatność na skrawanie polimerowych tworzyw konstrukcyjnych. Badaniom poddano jedenaście wybranych tworzyw sztucznych, w tym PET, PEEK, POM, PA6, PA66 oraz ich kompozyty z włóknem szklanym, węglowym, przewodzącą sadzą, disiarczkiem molibdenu oraz innymi środkami smarnymi.

Przeprowadzono szerokie badania umożliwiające opisanie wpływu wygrzewania na strukturę i właściwości oraz podatność wybranych polimerowych tworzyw konstrukcyjnych na obróbkę skrawaniem, co zweryfikowano w procesie wytwarzania kół zębatach. Przeprowadzono szeroki zakres badań i oznaczeń laboratoryjnych, obejmujących różne właściwości analizowanych materiałów przed i po modyfikacji. Opracowano program obróbki kół zębatach a także zrealizowano symulacje numeryczne procesu ich frezowania. Wyfrezowano koła zębata z materiału przed i po wygrzewaniu, zmierzono i porównano geometrię wytworzonych zębów kół, porównano uzyskane wyniki, wskazując na poprawę jakości uzyskanych kół zębatach.

W ramach badań rozpoznawczych przeprowadzono analizy właściwości termodynamicznych badanych tworzyw, na ich podstawie dobrano warunki wygrzewania. Zbadano wybrane właściwości, w tym termodynamiczne, przed i po wygrzewaniu. Z analizowanych tworzyw wyfrezowano koła zębata i porównano uzyskane efekty. Profile zębów poddano wnikliwej analizie. Uzyskane wyniki potwierdziły przyjęte w pracy tezy.

Podjęta tematyka jest ważna i aktualna. Zrealizowane badania dotyczą możliwości zmian właściwości polimerowych tworzyw konstrukcyjnych w kierunku poprawy ich skrawalności, co będzie miało pozytywny efekt w wytwarzaniu kół zębatach, nie jest to popularna tematyka w badaniach naukowych, warto również zauważyć, że literatura z tego zakresu nie jest obszerna. Uzyskane wyniki są zatem istotne zarówno pod względem naukowym jak i użytkowym. Tematyka pracy zawiera elementy inżynierii materiałowej, ale niewątpliwie mieści się w zakresie dyscypliny naukowej Inżynieria Mechaniczna.

3. Opis i ocena struktury recenzowanej rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do recenzji dysertacja składa się z dziesięciu rozdziałów, które można generalnie podzielić na dwie części. Pierwsza z nich to oczywiście przegląd literatury, liczy on 26 stron. Druga to część metodyczno-badawcza (153 strony), którą otwiera *Cel i zakres pracy*, zawarty na niewiele więcej niż jednej stronie. Rozdział 3. to *Metodyka badawcza i wykorzystane materiały*. Rozdział 4 nosi tytuł *Badania wstępne*. Następnie rozdziały od 5 do 9 to rozdziały badawcze. Rozdział 10. Zgodnie z tytułem zawiera posumowanie i wnioski. Po nim następują: *Streszczenie*, w języku polskim i angielskim, *Literatura*, *Zestawienie rysunków i tabel* oraz *Suplement*.

W pierwszym rozdziale pracy przedstawiono przegląd literatury, w którym umieszczono dwa podrozdziały. Pierwszy zawiera opis metod obróbki tworzyw polimerowych, został on podzielony na trzy części. W pierwszej opisane zostały metody obróbki tworzyw polimerowych, maszyny służące do obróbki tworzyw, oraz zostały wstępnie omówione parametry wybranych procesów technologicznych. Druga część omawia tworzywa polimerowe najczęściej stosowane do obróbki skrawaniem pod kątem ich właściwości, zastosowania oraz metod modyfikacji. Trzecia część, pierwszego podrozdziału, zawiera opis wpływu parametrów procesu na właściwości tworzyw po obróbce skrawaniem oraz krótki opis parametrów chropowatości powierzchni. W drugim podrozdziale Doktorant przedstawił przekładnie mechaniczne oraz ich wytwarzanie z tworzyw polimerowych, rozdział ten został podzielony na trzy części. Pierwsza dotyczy zagadnień związanych z doborem przekładni do konkretnego zastosowania. Kolejna część przybliży różne typy przekładni oraz opisuje podstawowe parametry koła zębatego. Ostatni podrozdział opisuje materiały stosowane do wytwarzania kół zębatych, przedstawia również pokrótce stopy metali oraz materiały polimerowe najczęściej używane do produkcji kół zębatych.

Rozdział drugi zawiera cel pracy, którym jest analiza zmian właściwości termomechanicznych tworzyw polimerowych i ich wpływ na proces obróbki skrawaniem. Następnie sformułowane zostały tezy badawcze. Rozdział ten kończy wyszczególnienie badań doświadczalno jakie będą wykonywane w celu wykazania różnic w właściwościach tworzyw polimerowych przed i po modyfikacji cieplnej.

Kolejny rozdział opisuje metodykę badawczą oraz wykorzystane materiały. Dwa pierwsze podrozdziały opisują materiały zastosowane do badań oraz metody obróbki termicznej zastosowanej do poprawy właściwości polimerów. Następnie opisane są metody których użyto do określenia właściwości termicznych oraz termicznej analizy dynamicznych właściwości mechanicznych tworzyw polimerowych. Ostatni podrozdział przedstawia metodę oraz urządzenie na jakim przeprowadzono badanie chropowatości powierzchni wraz z opisem badanych parametrów liniowych.

Czwarty rozdział pracy opisuje badania wstępne, podczas których obrabiano koła zębate z dwóch tworzyw oraz zrealizowane badania ich właściwości termomechanicznych oraz chropowatości uzyskiwanych powierzchni. Wstępem zaś do badań jest analiza procesu frezowania zębów kół zębatych, co moim zdaniem, raczej powinno znaleźć się w przeglądzie literatury. Obróbka kół zębatych z modyfikacją wzdłużną odbywała się przy zastosowaniu obróbki frezowaniem, używając metody wielokrotnych przejść freza kulistego, który obrabiał wręby międzyzębowe przy pomocy wierzchołka narzędzia. Podczas obróbki kół zębatych stosowane były cztery różne parametry posuwowe. Po obróbce zbadano tolerancję kształtu wykonanych kół zębatych na maszynie współrzędnościowej posiadającej nakładkę programistyczną do badania zarysu ewolwentowego kół zębatych. Następnie zostały wykonane badania DMTA oraz DSC tworzyw wygrzewanych oraz nie wygrzewanych, które to badania miały na celu wykazanie zmian właściwości termomechanicznych badanych tworzyw. Wykonane zostały też badania wytrzymałości na rozciąganie oraz badania chropowatości powierzchni wykonanych kół zębatych dla każdej grupy posuwowej.

Piąty rozdział pracy opisuje badania powierzchni po procesie obróbki frezowaniem przed oraz po procesie wygrzewania dla wybranych jedenastu najczęściej używanych tworzyw polimerowych do produkcji kół zębatych. Ocena parametrów chropowatości powierzchni odbywała się na powierzchniach wcześniej frezowanych poboczniką freza, stosując obróbkę współbieżną oraz przeciwbieżną. Następnie na podstawie wyników badań została wybrana strategia frezowania współbieżna do obróbki wykończeniowej przy wykonywaniu kół zębatych.

Rozdział szósty dotyczy wpływu obróbki cieplnej na właściwości termodynamiczne i strukturę tworzyw. Zawiera on zestawienia tabelaryczne oraz wykresy prezentujące wpływ obróbki cieplnej na właściwości termodynamiczne oraz stopień krystaliczności badanych tworzyw. Badania te wykazywały znaczny wzrost stopnia krystaliczności oraz zmiany właściwości termodynamicznych niektórych tworzyw polimerowych.

W rozdziale siódmym Doktorant zawarł analizę wpływu wygrzewania właściwości termomechaniczne badanych tworzyw, przy wykorzystaniu analizy termicznej dynamicznych właściwości mechanicznych. Na podstawie przebiegu termogramów, przedstawiających wyniki badań właściwości mechanicznych w funkcji temperatury określonych przy użyciu metody DMTA, stwierdził, że moduł zachowawczy dla niemal wszystkich badanych polimerów w początkowych wartościach temperatury badania uległ zwiększeniu.

Rozdział ósmy pracy prezentuje numeryczną symulację procesu obróbki frezowaniem. Proces ten został dokładnie opisany począwszy od brył zastosowanych w procesie symulacji, poprzez określenie materiałów dla jakich symulacja została przeprowadzona, dobranie odpowiedniej siatki oraz jej wielkości i kształtu, po dokonanie

zagęszczenia siatki, w celu lepszego odwzorowania rzeczywistej obróbki frezowaniem. Zamieszczono także wyniki symulacji w postaci graficznej prezentacji symulacji naprężeń zredukowanych wg. Misses'a. Symulacja potwierdziła ukierunkowanie badań i uwierzytelniła poprawność zastosowanego rodzaju obróbki.

Dziewiąty rozdział opisuje proces wykonania kół zębatach metodą wielokrotnych przejść dla wybranych materiałów przed oraz po procesie wygrzewania. Pierwszy podrozdział skupia się na obliczaniu kolejnych punktów dla zarysu wrębu zęba, następnie został przedstawiony schemat obróbki zgrubnej oraz wykańczającej. Dalej został zaprezentowany kod ISO oraz jego przekształcenie w program umożliwiający obróbkę pełnego koła zębatego na tokarce CNC z napędzanymi narzędziami na głowicy rewolwerowej. Został także przedstawiony proces symulacji obróbki koła zębatego na maszynie w środowisku SinuTrain, co weryfikuje poprawność napisanego programu oraz dobranych następujących po sobie etapów obróbczych. Następnie został opisany rzeczywisty proces obróbki wraz z zamocowaniem przygotówki w uchwycie maszyny. Zostały także pokazane fotografie wyfrezowanych kół zębatach wykonanych z materiałów wygrzewanych oraz nie wygrzewanych. Na podstawie wyglądu wyfrezowanych kół można potwierdzić poprawę jakości skrawania poddanych obróbce cieplnej tworzyw polimerowych. Dla zbadania precyzji wykonania kół zębatach zostały przedstawione pomiary uzębień (przy wykorzystaniu modułu GEAR PRO oprogramowania ZEISS CALYPSO). W konsekwencji oceny poszczególnych parametrów wykonania kół zębatach zaklasyfikowano je do w piątej klasy dokładności.

Praca została zakończona uwagami końcowymi oraz wnioskami w których odnaleźć można potwierdzenie wszystkich tez z drugiego rozdziału pracy. Wykazano także, iż brak jest kompleksowych analiz wpływu obróbki cieplnej na właściwości termomechaniczne połączonych z analizą parametrów powierzchni tworzyw po obróbce frezowaniem.

Należy stwierdzić, że struktura pracy jest typowa dla prac kwalifikacyjnych i jest właściwa. Podział na rozdziały jest logiczny i nie budzi zastrzeżeń. Pozytywnie ocenić należy również proporcję ilości stron pracy poświęconych przeglądowi literatury i części badawczej - część badawcza zdecydowanie dominuje objętościowo.

4. Ocena tez naukowych, celu naukowego i utylitarnego oraz zakresu pracy

Przedstawione w drugim rozdziale pracy tezy brzmią następująco:

- *„modyfikacja cieplna tworzyw polimerowych ma istotny wpływ na stopień krystaliczności”* – teza zasadniczo oczywista, choć nie przeprowadzono statystycznych analiz potwierdzających istotność stwierdzonych różnic zmian stopnia krystaliczności.

- *„obróbka cieplna ma znaczący wpływ na właściwości termiczne tworzyw polimerowych, w tym na temperatury znamionowe,”*
- *„odpowiednio zaplanowana obróbka cieplna umożliwi osiągnięcie poprawy skrawalności wybranych tworzyw polimerowych,”*
- *„zastosowana metoda obróbki kół zębatych umożliwi obróbkę kół zębatych z modyfikacją wzdłużną zarysu zębów oraz pozwoli na prawidłowe oddzielanie wiórów podczas obróbki skrawaniem.”*

Cel naukowy pracy Autor sformułował następująco:

„Analiza zmian właściwości termomechanicznych tworzyw polimerowych i ich wpływ na proces obróbki skrawaniem. W ujęciu ilościowym, celem naukowym pracy jest ustalenie zakresu wpływu modyfikacji cieplnej na parametry jakościowe obrabianych elementów.”

Przedstawione przez Doktoranta tezy oraz cel naukowy zawierają pewne oczywistości i skrót myślowe ale dobrze definiują obszar zadań niezbędnych do rozwiązania postawionych problemów badawczych. Zrealizowany i opisany w pracy zakres badań należy uznać za szeroki i ocenić jako prawidłowy. Należy zatem pozytywne ocenić zarówno tezy jak i cel oraz zakres pracy.

5. Ocena poziomu naukowego rozprawy

Część przeglądowa została opracowana solidnie, zawiera informacje o obróbce skrawaniem kół zębatych a także o konstrukcyjnych tworzywach polimerowych stosowanych do ich wytwarzania. Uwzględniono również podstawowe informacje o przekładniach mechanicznych i materiałach stosowanych w ich produkcji. W części badawczej, rozpoczętej celem i zakresem pracy, Doktorant zawarł opis badanych materiałów, metodykę obróbki cieplnej, metody badania właściwości termodynamicznych i badania chropowatości powierzchni. Następnie opisał pięć (scharakteryzowanych wcześniej) etapów badań uwzględniających numeryczną symulację procesu frezowania. Opracował program frezowania a następnie wykonał koła zębate z materiału bez termicznej modyfikacji struktury i po wygrzewaniu. Porównał uzyskane efekty.

Zakres zrealizowanych badań jest szeroki. Oceniając analizy uzyskanych wyników należy stwierdzić, że są one wnikliwe, pokazują zmiany wartości poszczególnych właściwości. Czasem Autor poszukuje wyjaśnień stwierdzonych zjawisk, szuka korelacji pomiędzy innymi właściwościami, co jest bardzo wartościowe.

Szkoda, że Doktorant nie pokusił się o podsumowanie przeglądu literatury oraz badań wstępnych i właściwych w podsumowaniach mógłby wskazać stan obecny literatury i swoje najważniejsze osiągnięcia, co zwięźczyło by badawcze dokonania Doktoranta.

Dokonując generalnej oceny poziomu naukowego recenzowanego doktoratu stwierdzam, badania i sama praca zostały właściwie zaplanowane. Autor zrealizował szeroki plan badań, dokonał stosownych analiz wyjaśniając mechanizmy stwierdzonych efektów, na ich podstawie osiągnął zakładany cel - potwierdził postawione tezy oraz sformułował trafne wnioski. Poziom merytoryczny opisów i analiz zawartych w recenzowanej pracy jest na co najmniej dobrym poziomie i zasługuje na pozytywną ocenę.

Poziom naukowy recenzowanej pracy spełnia w bardzo dobrym stopniu wymagania stawiane pracom doktorskim. Struktura pracy jest właściwa. Dokonano przeglądu literatury. Sformułowano cel, tezy naukowe i zakres pracy. Opracowano wieloetapowy plan badań. Zrealizowano postawione zadania badawcze, potwierdzając możliwość poprawy właściwości i skrawalności wybranych konstrukcyjnych tworzyw polimerowych, co było celem niniejszej pracy.

Doktorant potwierdził zatem, że potrafi dokonać analizy literatury, potrafi właściwie dobrać materiał badawczy i stosowne techniki badawcze, w tym symulacje numeryczne, oraz potrafi je zrealizować i przeanalizować uzyskane wyniki a na koniec wyciągać stosowne wnioski.

6. Merytoryczne uwagi szczegółowe

W trakcie lektury niniejszej dysertacji powstało wiele mniej lub bardziej istotnych uwag i wątpliwości o charakterze merytorycznym, poniżej wypunktowano ważniejsze z nich:

- **W badaniach wstępnych Doktorant dokonał obróbki skrawaniem frezem palcowym z zakończeniem kulistym, w części zasadniczej frezem placowym z zakończeniem cylindrycznym, płaskim. Jaki jest powód zastosowania innego narzędzia w badaniach oraz czy spowodowało to różnice w uzyskanych wynikach. Jeśli „tak”, to jakie to różnice?**
- **Czy terminy „szybkość obrotowa silnika” (s. 12) i „szybkość cięcia” (s. 27) są poprawne?? Bardzo proszę aby Doktorant wyjaśnił nam kiedy używamy terminu prędkość a kiedy szybkość.**
- Co Autor rozumie poprzez „wtrącenia”, które powstają, wraz z obniżaniem się jednorodności polimeru, przy wytłaczaniu powyżej krzywej H – rys. 1.1?
- W pracy zdarzają się nadmierne skrótów myślowe. Wskaźnik MFR jest miarą ciężaru cząsteczkowego i wpływa na „maksymalną długość produktów” (s. 15). To zdanie wymagało by szerszego wyjaśnienia o co chodzi z tą „długością produktów”. Czy stwierdzenie „PEEK, półkryształiczny termoplast produkowany jest w postaci płyt, prętów i rur.” (s. 20). PEEK produkowany jest w postaci proszku lub granulatu, z którego wytwarza się produkty w postaci płyt czy rur.

- Opis i analiza technologii frezowania kół zębatach, stanowiąca wstęp do rozdziału 4, moim zdaniem w większości powinna znaleźć się w przeglądzie literatury.
- Do analizy struktury geometrycznej powierzchni Doktorant zastosował nowoczesny system pomiarowy Talysurf 120 o bardzo szerokich możliwościach, również stereometrycznych. Analizuje zaś tradycyjne płaskie parametry geometrii powierzchni jak Ra, Rp, Rz.
- W pracy naukowej nie jest poprawnym podpisanie termogramu (graficznej prezentacji wyników pomiaru) DSC jako „Pomiary DSC (...)” (s. 117, 118, 119...), jest to nadmierny skrót myślowy.
- Pewien niedosyt budzi słaba dyskusja wyników i efektów stwierdzonych przez Doktoranta z wynikami innych naukowców, co jednak zapewne wynika z małej ilości prac realizowanych w tym kierunku. Moim zdaniem brak również podsumowania, które poprzez wskazanie najważniejszych osiągnięć, zwięźczyło by badawcze dokonania Doktoranta.

7. Ocena strony redakcyjnej pracy

Należy stwierdzić, że praca jest opracowana starannie i estetycznie.

W tekście występują nieliczne błędy literowe i interpunkcyjne, edycyjne, czasem nadmierne skróty myślowe.

W pracy zauważono dość dużo mniejszych i większych usterek redakcyjnych, poniżej wypunktowano część z nich:

- Edytując tekst warto zwrócić uwagę również na jego wygląd. Doktorant chcąc uniknąć, tzw. wiszących spójników wstawia po spójnikach „twardą spację” (s. 11, 12, 14...), co powoduje, że w wyjustowanym tekście odstępy pomiędzy poszczególnymi częściami zdania nie są równe, co czasem mocno rzuca się w oczy. Warto stosować inne znane rozwiązania.
- Autor wstawia spację pomiędzy wartością a miarą temperatury wyrażoną w stopniach Celsjusza. Zgodnie z zasadami pisowni języka polskiego pomiędzy wartością i jej miarą zasadniczo stosujemy spację (np. 2 mm), są jednak wyjątki od tej zasady, np. nie wstawiamy spacji przed jednostkami temperatury (°C, °K itd.), procentami np. 9,2%, miarami kąta i kilkoma innymi. W literaturze obcojęzycznej czasem te wyjątki nie są stosowane.
- Na wielu stronach pracy zauważa się dość dużo pustych, niezagospodarowanych przestrzeni. Rysunek lub tablica nie muszą być umieszczone bezpośrednio w miejscu, gdzie jest o nich mowa, można zatem poprzesuwać tekst oraz tablice i rysunki tak, aby efektywniej zagospodarować powierzchnię stron.

- Nie jest zręcznym sformułowania „W tworzywie poddanym obróbce termicznej zauważono zmiany (...)” (s. 137, 139, 142...). Podobnie „wykonywanie zbieżności siatki”, myślę, że nie jest to termin naukowy, a raczej żargonowy.
- Wnioski napisano w postaci akapitów, bez numeracji. We wnioskach nie wydzielono wniosków naukowych i utylitarnych, nie wydzielono wyraźnie również kierunków dalszych badań, co zwykle ma miejsce w dysertacjach doktorskich.
- W Spisie źródeł bibliograficznych Doktorant nie podał tytułów wymienionych w nim norm, nie podał też daty dostępu do źródeł internetowych.

8. Podsumowanie

Wymienione powyżej uwagi czasem mogą być dyskusyjne. Nie wyczerpują one również wszystkich, zwłaszcza drobniejszych usterek edycyjnych napotkanych w tekście recenzowanej pracy. Usterki te nie wpływają znacząco na generalnie bardzo pozytywną ocenę recenzowanej pracy. Wypunktowane uwagi mają na celu wskazanie poważniejszych usterek napotkanych w tekście recenzowanej pracy, co powinno spowodować przykładanie większej uwagi do poprawnego i bardziej precyzyjnego formułowania tekstów w dalszej pracy naukowej Doktoranta.

Poziom naukowy pracy spełnia w bardzo dobrym stopniu wymagania stawiane pracom doktorskim. Rozprawa doktorska pana mgra inż. Piotra Sikory dotyczy modyfikacji właściwości polimerowych tworzyw konstrukcyjnych w kierunku poprawy skrawalności czego efektem będzie poprawa jakości wytwarzanych (przez frezowanie CNC) polimerowych kół zębatach. Doktorant zrealizował solidny przegląd literatury obejmujący obróbki skrawaniem tworzyw polimerowych oraz przekładni mechanicznych wykonywanych z tworzyw. Na jego podstawie sformułował cele, tezy oraz obszerny zakres pracy. W części badawczej Doktorant wybrał szereg (jedenaście) tworzyw konstrukcyjnych stosowanych do wytwarzania kół zębatach, zaproponował technikę ich modyfikacji poprzez wygrzewanie, opracował technologię frezowania CNC uzębienia kół zębatach, przedstawił metodykę przygotowania próbek, przeprowadził numeryczne modelowanie frezowania kół zębatach oraz opisał metodyki zastosowanego szerokiego wachlarza technik badawczych, obejmujących badania strukturalne a także właściwości fizyko-chemiczne, w tym wpływ obciążeń dynamicznych oraz pomiary parametrów geometrycznych uzyskiwanych powierzchni. Po przeprowadzeniu badań eksperymentalnych zestawiał oraz przeanalizował uzyskane wyniki oznaczeń. Po każdym z etapów formułował celne wnioski. Uzyskał interesujące efekty poprawy jakości uzyskiwanych kół zębatach. Można zatem uznać, że bez wątplenia niniejsza praca stanowi oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego.

Doktorant potwierdził zatem, że potrafi dokonać solidnej analizy literatury, potrafi właściwie dobrać materiały do badań i stosowne techniki oznaczeń. Potrafi poprawnie

zaplanować i zrealizować eksperyment, przeanalizować uzyskane wyniki a na koniec wyciągać stosowne wnioski.

Powyżej opisane fakty potwierdzają, że Doktorant, pan mgr inż. Piotr Sikora posiadał stosowną wiedzę i umiejętności z zakresu prowadzenia pracy naukowej, może zatem ubiegać się o nadanie tytułu doktora nauk technicznych.

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską pana magistra inżyniera Piotra Sikory pt. *Analiza zmian właściwości termomechanicznych tworzyw polimerowych i ich wpływ na proces obróbki skrawaniem* stwierdzam, że opracowanie to uzupełnia naszą wiedzę i stanowi oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego a także potwierdza, że Doktorant posiadał, w stopniu bardzo dobrym, wiedzę teoretyczną oraz nabył umiejętności z zakresu pracy naukowej i jest gotowy do samodzielnego prowadzenia dalszych badań naukowych, spełnia zatem wymagania stawiane kandydatom do nadania stopnia naukowego doktora. Recenzowana dysertacja może zatem stanowić podstawę do ubiegania się o nadanie stopnia naukowego doktora w dyscyplinie *Inżynieria Mechaniczna*. Wobec powyższego, wnoszę o dopuszczenie rozprawy doktorskiej Pana magistra inżyniera Piotra Sikory do publicznej obrony.

Uważam, że wobec użyteczności podjętej tematyki oraz bardzo szerokiego zakresu zrealizowanych badań i analiz dysertacja doktorska pana magistra inżyniera Piotra Sikory zasługuje na wyróżnienie.



dr hab. inż. Tomasz Rydzkowski, prof. PK