

Poznań, dnia 17.06.2024 r.

PROTOKÓŁ
z publicznej obrony rozprawy doktorskiej
mgr. inż. Pawła Zawadzkiego
przeprowadzonej na
Wydziale Inżynierii Mechanicznej
w dniu 14 czerwca 2024 roku

pt. „*Sposób precyzyjnego kształtowania powierzchni kostnych*”

Na publicznej obronie byli obecni:

Przewodniczący: dr hab. inż. Szymon Wojciechowski, prof. PP

Członkowie:

- prof. dr hab. inż. Andrzej Milecki
- prof. dr hab. inż. Piotr Krawiec
- dr hab. inż. Bartosz Gapiński, prof. PP
- dr hab. inż. Piotr Siwak
- dr hab. inż. Krzysztof Talaśka, prof. PP
- dr hab. inż. Roman Barczewski
- dr hab. inż. Maciej Tabaszewski

Promotor: dr hab. inż. Rafał Talar

Promotor pomocniczy: dr hab. med. Mikołaj Dąbrowski

Recenzenci:

- prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik
- prof. dr hab. inż. Wojciech Wolański
- dr hab. inż. Marcin Gołąbczak, prof. PŁ

Sekretarz: dr inż. Adam Patalas

Obrona pracy doktorskiej odbyła się w sali Rady Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej im. Feliksa Tychońskiego w pokoju 208, budynku A1 przy ulicy Piotrowo 3 o godzinie 12:30.

Na sali obecni byli Przewodniczący, Promotor, Doktorant, Recenzent prof. dr hab. inż. Wojciech Wolański, Recenzent dr hab. inż. Marcin Gołąbczak, Sekretarz oraz 6 członków Komisji Doktorskiej. Nieobecny Recenzent prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik oraz Członek Komisji Doktorskiej prof. dr hab. inż. Andrzej Milecki złożyli wcześniejsze usprawiedliwienie swojej nieobecności, które zostało przyjęte przez Przewodniczącego Komisji Doktorskiej

Przewodniczący Komisji Pan Profesor Szymon Wojciechowski otworzył posiedzenie i powitał wszystkich obecnych na sali oraz przedstawił Doktoranta, Promotora przewodu doktorskiego, Recenzentów pracy doktorskiej i Członków Komisji.

Następnie Przewodniczący Komisji doktorskiej stwierdził, że Doktorant spełnia wymagania określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2022 r., poz. 574 z póź. zm.) w art. 186 ust. 1 pkt. 1-3 i 5, a przedstawiona rozprawa doktorska odpowiada wymaganiom zawartym w art. 187 ww. ustawy.

Sekretarz obrony przedstawił życiorys Doktoranta następującej treści:

„Magister Inżynier Paweł Zawadzki urodził się 6 czerwca 1994 roku w Poznaniu.

W październiku 2013 roku rozpoczął kształcenie na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej, na kierunku Inżynieria biomedyczna. Tytuł inżyniera uzyskał w lutym 2017 roku z wynikiem „**bardzo dobry**”, realizując pracę dyplomową pod tytułem: „**Projekt i budowa przystawki temperaturowej do mikroskopu DHMT1000**”. Otrzymał za nią następujące nagrody i wyróżnienia:

- III miejsce w XVII edycji Ogólnopolskiego Konkursu o Dyplom i Nagrodę Prezesa SIMP
- wyróżnienie w konkursie na wyróżniającą się pracę dyplomową w obszarze techniki oraz organizacji produkcji i usług organizowanym przez Federacja Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych
- I miejsce w konkursie Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej.

W marcu tego samego roku podjął studia magisterskie na kierunku Inżynieria biomedyczna w specjalności: budowa i eksploatacja urządzeń medycznych, również na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej.

Ukończył je w lipcu 2018 roku z wynikiem „**bardzo dobry z wyróżnieniem**”, realizując pracę dyplomową pod tytułem: „**Nieniszczące badanie połączeń polimer-metal z użyciem wibrometru holograficznego Vibromap1000**”.

W trakcie studiów odbył staże w firmach z branży medycznej: AesculapChifa w Nowym Tomysłu oraz Getinge Poland w Komornikach. Był również stypendystą „Stypendium Rektora Politechniki Poznańskiej” dla najlepszych studentów.

W październiku 2018 roku podjął kształcenie na Studiach Doktoranckich Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej, będąc równocześnie zatrudniony na stanowisku asystenta w Instytucie Technologii Mechanicznej w Zakładzie Projektowania Technologii. W trakcie pracy początkowo jako asystent, a później asystent naukowo-dydaktyczny brał udział w 7 projektach badawczych. Był także kierownikiem wydziałowego projektu badawczego.

W październiku 2023 roku ukończył kształcenie w ramach Studiów Doktoranckich Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej i złożył rozprawę doktorską, zatytułowaną: „**Sposób precyzyjnego kształtowania powierzchni kostnych**”.

Mgr inż. Paweł Zawadzki jest autorem i współautorem 18 publikacji naukowych, 3 patentów krajowych, 2 międzynarodowych oraz 1 zgłoszenia patentowego, będącego w trakcie procedowania. W 2024 roku otrzymał nagrodę Prezesa Urzędu Patentowego RP za opracowanie patentu Endoprotezy w konkursie Student-Wynalazca.

Prywatnie magister inżynier Paweł Zawadzki interesuje się kulturą ludową, szczególnie muzyczno-taneczną. Ukończył studia podyplomowe w zakresie etnologii na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu. W domowym warsztacie zajmuje się wytwarzaniem instrumentów muzycznych. Jest trzykrotnym stypendystą Stypendium Marszałka Województwa Wielkopolskiego w dziedzinie kultury oraz stypendystą Ministra Kultury i Dziedzictwa Narodowego”

W dalszej części obrony Doktorant przedstawił główne cele rozprawy doktorskiej pt. „Sposób precyzyjnego kształtowania powierzchni kostnych”.

Po zakończeniu prezentacji Przewodniczący Komisji Doktorskiej podziękował za wystąpienie i pogratulował obszernego zakresu badań, które zostały przeprowadzone. Następnie Promotor dr hab. inż. Rafał Talar przedstawił swoją pozytywną opinię o rozprawie doktorskiej mgr inż. Pawła Zawadzkiego.

Następnie Pan Przewodniczący poprosił Recenzentów o przedstawienie swoich recenzji, jednocześnie zapraszając osoby biorące udział w spotkaniu o zadawanie pytań na czacie spotkania.

Pierwszy swoją recenzję rozpoczął Pan dr hab. inż. Marcin Gołąbczak. Recenzent poprosił Przewodniczącego o możliwość przedstawienia skróconej wersji recenzji, na co została udzielona mu zgoda. Uczestnicy spotkania zostali poinformowani o możliwości zapoznania się z pełnym tekstem na stronie Wydziału Inżynierii Mechanicznej PP. W swojej wypowiedzi Recenzent rozpoczął od przedstawienia swojej oceny rozprawy i wypunktował jej główne zalety i osiągnięcia. W dalszej części wypowiedzi Recenzent odniósł się do uwag i pytań merytorycznych dotyczących rozprawy doktorskiej, zwracając uwagę na ich dyskusyjny charakter. Recenzent potwierdził, że otrzymane wcześniej odpowiedzi są satysfakcjonujące. Recenzent poprosił Doktoranta o publiczne ustosunkowanie się do zagadnień w dwóch uwagach. Kończąc swoją wypowiedź Recenzent jednoznacznie pozytywnie ocenił rozprawę oraz zwrócił uwagę na jej naukowo-technologiczny charakter. Biorąc pod uwagę dorobek doktoranta Recenzent rekomenduje pracę do nadania stopnia doktora w dyscyplinie inżynieria mechaniczna przez Radę Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej. Dodatkowo Recenzent na podstawie interdyscyplinarności oraz ilości poczynionych przez Doktoranta badań zawnioskował o wyróżnienie pracy doktorskiej.

Następnie Przewodniczący poprosił o zabranie głosu drugiego Recenzenta, Prof. dr hab. inż. Wojciecha Wolańskiego. Recenzent z Politechniki Śląskiej poprosił o możliwość przedstawienia skróconej wersji recenzji i odczytania oceny rozprawy doktorskiej. Następnie Recenzent przedstawił uwagi, sugestie i spostrzeżenia zaznaczając, że nie wpływają one na ogólną, dobrą ocenę rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Zawadzkiego. Podsumował swoją wypowiedź Recenzent do pracy doktorskiej pt. „Sposób precyzyjnego kształtowania powierzchni kostnych” mgr inż. Pawła Zawadzkiego w słowach:

„Podsumowując, uważam, że Pan mgr inż. Paweł Zawadzki w sposób oryginalny analizuje istotny w chirurgii ortopedycznej problem obróbki skrawaniem powierzchni kostnych, co świadczy o dobrej wiedzy Doktoranta w szerokim zakresie m.in. dotyczącej budowy i fizjologii kości, metod badawczych oraz obliczeń numerycznych MES, a także projektowania CAD stosowanych w inżynierii mechanicznej. Pragnę zaakcentować szeroki zakres zrealizowanych badań zarówno eksperymentalnych, teoretycznych oraz modelowych, dostarczających nowej wiedzy, którą Doktorant efektywnie wykorzystał przy opracowaniu prototypowego narzędzia do kształtowania powierzchni kostnych. Opracowane narzędzie może mieć praktyczne zastosowanie i być wykorzystywane przy chirurgicznych zabiegach ortopedycznych do obróbki kości.

Reasumując stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska Pawła Zawadzkiego spełnia warunki określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz.U. 2020r. poz.85) i wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Jednocześnie biorąc pod uwagę wysoki poziom merytoryczny pracy oraz oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w zakresie zastosowania wyników do praktyki klinicznej, a także zwracając uwagę na samą sylwetkę Doktoranta w aktywności naukowej, czego przykładem są trzy Autorskie publikacje zawarte w pracy doktorskiej wnioskuję o jej wyróżnienie."

Następnie Przewodniczący Komisji Doktorskiej poprosił Sekretarza o odczytanie recenzji nieobecnego Recenzenta prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik:

„Przedstawiona do oceny praca liczy 168, stron zawiera na początku spis treści wykaz oznaczeń i akronimów, streszczenie w języku polskim i angielskim, pięć ponumerowanych rozdziałów, załączniki, spis rysunków, spis tabel i bibliografię. Część merytoryczną stanowi pięć numerowanych rozdziałów. Bibliografia liczy 288 pozycji ułożonych w kolejności cytowania. Kolejność rozdziałów i podrozdziałów jest ułożona prawidłowo tworzy spójny i logiczny układ, przedstawiane treści rozwijają i uzupełniają materiał zawarty w częściach poprzedzających, mimo że sam układ pracy, w którym teza poprzedza analizę stanu zagadnienia nie jest często spotykany w dysertacjach doktorskich. Praca zawiera materiał odpowiednio zilustrowany w tym rysunki, zdjęcia, schematy i wykresy, pozwalające na właściwą interpretację treści merytorycznej.

Pierwszy rozdział zatytułowany jako wstęp składa się z kilku podrozdziałów, począwszy od bardzo syntetycznego wprowadzenia do zagadnień opisujących zadania tkanki kostnej oraz problemy związane z jej obróbką. Następnie opisana została teza, celi zakres pracy w ujęciu naukowym i użytkowym. Przedstawiono również plan pracy w postaci wyszczególnienia kolejnych zadań badawczych. Kolejne części rozdziału stanowią analizę stanu zagadnienia w odniesieniu do tkanki kostnej jako materiału biologicznego ujętego z perspektywy inżynierskiej. Analiza źródeł literaturowych odnosi się do funkcjonalności tkanki kostnej na poziomie organizmu, charakterystyki strukturalnej i mikrostrukturalnej tkanki kostnej oraz właściwości tkanki kostnej z punktu widzenia możliwości powstawania i propagacji pęknięć. Poddano analizie właściwości mechaniczne i fizyczne tkanki kostnej w tym gęstość, porowatość kości ludzkiej i wołowej. Rozpatrywano również anizotropowość tkanki kostnej oraz właściwości termodynamiczne. W końcowej części rozdziału przedstawiono przegląd zagadnień obróbki tkanki kostnej w odniesieniu do chirurgii ortopedycznej, w tym metody obróbki skrawaniem, wybranych narzędzi i oprzyrządowania operacyjnego stosowanego w chirurgii ortopedycznej i chirurgii twarzoczaszki.

Rozdział drugi stanowi główną, bardzo obszerną część eksperymentalną pracypodzieloną na pięć podrozdziałów w których przedstawiona jest charakterystyka realizowanych badań, opis skrawania ortogonalnego ostrzem o zdefiniowanej geometrii, ocena mechanizmu propagacji pęknięć w tkance kostnej zbitej, obróbka z zastosowaniem ziaren ściernych oraz ocena warunków termodynamicznych procesu obróbki tkanki kostnej. Przedstawiona jest również stosowana do eksperymentów aparatura badawcza, oraz metodyka badawcza. Jako materiał badawczy użyto próbek zwierzęcej tkanki kostnej, co było podyktowane ograniczeniami związanymi trudną dostępnością próbek tkanki ludzkiej, a także ograniczeniami formalnymi wynikającymi z uzyskaniem zgody komisji bioetycznej na realizację badań. W celu realizacji badań parametrów – sił skrawania posłużono się literaturowymi modelami skrawania. Przeprowadzono badania współczynnika tarcia w strefie kontaktu narzędzia z tkanką, proces powstawania wiórowi morfologie powstawania wiórow. Istotnym elementem badań była analiza mechanizmu propagacji pęknięć tkanki kostnej podczas jej obróbki mechanicznej, wynikające z jej naturalnej podatności na kruche pęknięcia w warunkach gdy naprężenia średnie przenoszone przez tkankę kostną są mniejsze niż wartość granicy plastyczności dla małych odkształceń oraz dla ograniczonej absorpcji energii. Ciekawe zagadnienia badawcze stanowi również obróbka tkanki kostnej wykorzystująca ziarna ściernie.

Eksperyment przeprowadzono w oparciu o założony plan badań w którym ujęto parametry obróbki, analizę zjawisk zachodzących podczas obróbki a także opracowanie wyników badań. Część badawczą rozdziału drugiego zamyka analiza zjawisk termodynamicznych zachodzących podczas obróbki tkanki kostnej, co jest bardzo istotne z punktu widzenia przebiegu operacji i samej obróbki a jednocześnie ma istotny wpływ na zdrowie pacjenta ze względu na ryzyko powstania zjawiska martwicy termicznej tkanki kostnej wywołanej podwyższoną temperaturą procesu obróbki.

Trzeci rozdział przedstawia proces modelowania numerycznego i fizycznego obróbki tkanki kostnej opartej na modelach materiałowych uwzględniających trzy rodzaje modeli: model izotropowy, model ortotropowy oraz model kompozytowy. Analizę modeli przeprowadzono w środowisku programu Ansys Explicit Dynamic w oparciu o tę samą formę geometryczną modeli ostrzy skrawających tkankę kostną. Badania modelowe pokazują istotność zagadnień związanych z procesem skrawania w zakresie inżynierii mechanicznej i inżynierii materiałowej w odniesieniu do jednorodności materiałów stosowanych dla analizowanych modeli.

Rozdział czwarty dotyczy opracowania prototypu narzędzia do obróbki powierzchni kostnych, dla którego założeniem konstrukcyjnym było wykonanie narzędzi obróbkowych wykorzystujących ostrza lub ziarna ściernie o niezdefiniowanej geometrii. Opracowanie konstrukcji narzędzia pozwalającego na obróbkę powierzchni kostnych, poprzedzone było analizą i doбором materiałów narzędziowych oraz parametrów obróbki. Dane dotyczące wydajności skrawania od rodzaju obrabianego materiału określono empirycznie, zgodnie z teoretycznymi zasadami ściernia w badaniach eksperymentalnych. Oparto się na założeniu, w którym dla większości materiałów konstrukcyjnych skrawalność definiuje się jako fizyczny związek między wskaźnikami wydajności procesu, a właściwościami mechanicznymi obrabianych materiałów. Właściwości te są uzależnione od poziomu naprężeń w różnych zakresach temperatury, prędkości, odkształcenia ściernego, geometrii narzędzia oraz stopnia ziaren. Projekt urządzenia do obróbki ścierniej dotyczył możliwości realizacji zabiegów klinicznych kręgosłupa dotyczących leczenia choroby Bastruupa.

Piąty rozdział przedstawia podsumowanie i wnioski w odniesieniu do przeprowadzonych badań, analizy wyników eksperymentów jako wartości naukowej wynikającej z realizacji dysertacji. Opisane są również wnioski o charakterze użytkowym mające na celu udoskonalanie zabiegów operacyjnych ratujących ludzkie zdrowie i życie. W rozdziale tym Autor sformułował również kierunki dalszych badań dotyczące zagadnień obróbki skrawaniem powierzchni kostnych obejmujące porównanie mechanizmu skrawania tkanki kostnej naturalnej, ocenę wpływu porowatości na proces skrawania z wykorzystaniem obrazowania tomografem komputerowym oraz ocenę mechanizmu skrawania z zastosowaniem układu do mikroskopowej rejestracji obrazów.

W końcowej części pracy znajduje się sześć załączników przedstawiających parametry materiałowe zdefiniowane dla różnych modeli tkanki kostnej oraz dokumentację techniczną i wizualizację prototypu urządzenia do obróbki wyrostków kołczystych.

Literatura została ułożona w kolejności cytowania i zawiera pozycje książkowe, artykuły naukowe, materiały konferencyjne witryny internetowe o tematyce związanej z medycyną, inżynierią medyczną, inżynierią mechaniczną, inżynierią materiałową, stanowiące aktualne i związane z tematem pracy zestawienie.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska dotyczy zagadnień interdyscyplinarnych, związanych z potrzebą opracowania parametrów obróbki oraz wyspecjalizowanego oprzyrządowania operacyjnego, przeznaczonego do realizacji zabiegów w obszarze chirurgii ortopedycznej.

Praca ma charakter badawczy, mimo to Autor przedstawił dwie tezy o charakterze użytkowym i naukowym, w których założył że możliwe jest zastosowanie narzędzia o niezdefiniowanej geometrii ostrzy do kształtowania powierzchni kostnych, opracowanego na podstawie analizy mechanizmów obróbki tkanki kostnej zbitej i zjawisk jej towarzyszących oraz modelu procesu obróbki uwzględniającego cechy i parametry materiałowe tkanki.

Celem zasadniczym pracy było opracowanie technik przeznaczonych do realizacji zabiegów chirurgii ortopedycznej oraz chirurgii twarzoczaszki, pozwalających swobodnie kształtować określone fragmenty układu kostno-szkieletowego za pomocą obróbki ścierniej w klinicznych warunkach operacyjnych. Dodatkowym celem było opracowanie prototypu badawczego urządzenia oraz narzędzia umożliwiającego obróbkę powierzchni kostnych. W zakresie celu naukowego przeprowadzono analizy badań eksperymentalnych, makroskopowych i mikroskopowych procesu skrawania tkanki kostnej z zastosowaniem ostrzy o zdefiniowanej i niezdefiniowanej geometrii.

Poddano analizie procesy fizyczne zachodzące podczas kontaktu ostrza z tkanką kostną, co pozwoliło na opracowanie opisowego i analitycznego modelu fizycznego procesu obróbki powierzchni kości, z uwzględnieniem narzędzia o ujemnym kącie natarcia. Realizacja badań pozwoliła na opracowanie trzech modeli materiałowych tkanki kostnej zbitiej. Wykorzystując oprogramowanie oparte o metodę elementów skończonych przeprowadzono symulację procesów obróbki, co pozwoliło na analizę mechanizmów obróbki oraz określenie zgodności modelu z wynikami badań eksperymentalnych. Wyniki symulacji procesu obróbki powierzchni kostnych pozwoliły na realizację symulacji zjawisk zachodzących podczas skrawania.

Przedstawiona do oceny rozprawa zawiera wnikliwą ocenę analizy stanu zagadnienia dotyczącą właściwości fizycznych i mechanicznych tkanki kostnej, jej budowy strukturalnej i pełnionych funkcji. Dokonano również przeglądu metod obróbki stosowanych w chirurgii ortopedycznej oraz narzędzi i oprzyrządowania operacyjnego.

Na potrzeby badań, przyjęto że tkanka kostna wykazuje właściwości materiałów kompozytowych o charakterze ortotropowym. Przeprowadzono badania eksperymentalne, w których tkankę kostną zbitą pochodzenia zwierzęcego – wołowego poddano obróbce trzema metodami: skrawania ortogonalnego, pojedynczym ziarnem oraz zespołem ziaren ściernych. Zestawienia tabelaryczne pokazują właściwości tkanek kostnych różnego pochodzenia, jednak pojawia się pytanie, dlaczego Autor wybrał do badań wołową tkankę kostną a nie np. tkankę wieprzową, zwłaszcza, że niektóre źródła literaturowa pokazują bliższe podobieństwo właściwości tego typu tkanek do właściwościtkanek ludzkich.

Realizacja badań miała na celu analizę mechanizmu skrawania, poziomu emisji akustycznej, morfologii wiórów, mechanizmu propagacji pęknięć. Przedstawione zostały stanowiska i schematy badawcze wykorzystywane do badań, dla niektórych ilustracjiorozmiar zdjęć mógłby być większy (rys. 2.2, 2.3, 2.7, 2.66), poprawiłoby to ich czytelność.

W części badawczej poddano analizie takie parametry jak: wypadkową siła skrawania, stan naprężenia, współczynnik tarcia, energię pęknięcia oraz odpornośćna pęknięcie. Autor w wielu przypadkach odnosi się do źródeł literaturowych umiejscawiając wyniki badań własnych na tle innych opracowań. W kilku miejscach powołuje się również na wyniki badań własnych opublikowanych wcześniej w czasopismach indeksowanych w bazach WoS i SCOPUS. Badania dotyczą się do mechanizmów skrawania ortogonalnego, odnoszącego się realizacji operacji z zastosowaniem takich narzędzi jak osteotom czy piła. Operacje na tkance kostnej często realizowane są z zastosowaniem wiercenia i pojawia się pytanie, czy Autor brał w ogólnejanalizie pod uwagę tego typu procesy.

Istotnym elementem pracy badawczej jest pomiar i analiza współczynnika przewodności cieplnej w celu poznania mechanizmu skrawania tkanki kostnej dla modelufizycznego odnoszącego się do różnej głębokości skrawania. W wyniku badań stwierdzono, że anizotropowa struktura kości oraz głębokość skrawania istotnie wpływają na zjawiska zachodzące podczas obróbki ubytkowej. Istotnym czynnikiem jest również podatność tkanki na propagację kruchych pęknięć za względu na sam proces obróbki jak też łączenia tkanek kostnych z innymi tkankami czy implantami.

Realizacja badań naukowych pozwoliła na osiągnięcie celu utylitarnego, czyli opracowanie prototypów autorskiego systemu kształtowania powierzchni kostnychz zastosowaniem obróbki ścierniej. Prototypy poddano badaniom, które potwierdziły możliwość ich stosowania podczas zabiegów operacyjnych przy zachowaniu stabilność procesu obróbki oraz powtarzalności

uzyskiwanej topografii powierzchni. Opracowane prototypy oraz narzędzia mogą być stosowane do obróbki powierzchni wyrostków kolczystych w leczeniu choroby Baastrupa, co stanowi ważny aspekt aplikacyjny pracy doktorskiej.

Przedstawiona do oceny rozprawa dotyczy bardzo istotnych interdyscyplinarnych zagadnień z zakresu precyzyjnego kształtowania powierzchni kostnych. Temat pracy został wybrany w sposób przemyślany i trafny, a jej zakres spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Układ formalny pracy jest prawidłowy, zawiera odpowiednią bibliografię i odsyłacze do materiału ilustracyjnego. Rozprawa odnosi się do aktualnej wiedzy, wnosi treści nowe w obszarze badań naukowych i aplikacji w obszarze medycyny klinicznej i inżynierii mechanicznej. Praca składa się z syntetycznej części teoretycznej będącej jednocześnie analizą stanu zagadnienia oraz części badawczej i analizy wyników badań będącej podstawą realizacji założonego i osiągniętego celu naukowego. Powyższe fakty świadczą o kompetencjach Doktoranta w zakresie samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz wskazują na wiedzę ogólną i umiejętności praktyczne pozwalające na prowadzenie prac badawczych o charakterze naukowym i aplikacyjnym. Cele badawcze zostały osiągnięte a opracowana analiza wyników badań stanowi oryginalny wkład w obszarze dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna.

W mojej ocenie rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Zawadzkiego pt. Sposób precyzyjnego kształtowania powierzchni kostnych, spełnia wymagania ustawy: Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce – Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. z późniejszymi zmianami w zakresie dyscypliny inżynieria mechaniczna i może być dopuszczona do publicznej obrony.

Dodatkowo, uważam że przeprowadzenie interdyscyplinarnych badań, istotnych z punktu widzenia medycyny oraz inżynierii mechanicznej odznacza się oryginalnością zastosowanych metod badawczych. Opracowanie analizy wyników charakteryzujących się wysokim poziomem naukowym oraz wykonanie prototypu urządzenia bazującego na przeprowadzonych badaniach i przeznaczonego do wdrożenia w celu wykonywania operacji w warunkach klinicznych posiada wyjątkowe walory poznawcze i aplikacyjne. W związku z powyższym wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej o wyróżnienie dysertacji.”

Przewodniczący poinformował, że Recenzent prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik o uzyskaniu od doktoranta szczegółowych odpowiedzi na pytania zawarte w recenzji i o przyjęciu ich.

Pozostali Recenzenci również poinformowali o uzyskaniu od doktoranta szczegółowych odpowiedzi na pytania zawarte w recenzji i o przyjęciu ich, prosząc jednak o publiczne ustosunkowanie się do kilku z nich.

Uwaga Recenzenta dr hab. inż. Marcina Gołąbczka:

Wątpliwość budzi wykres przebiegu zmian siły skrawania – F_r w zależności od siły nacisku – F_N oraz jego interpretacja (rys. 2.48)

Odpowiedź autora dysertacji:

Wykresy przedstawione na rys. 2.48 przedstawiają przebieg zmian wartości F_T w zależności od wartości siły nacisku F_N i granulacji ziaren b . Zadaniem wykresu było przede wszystkim porównanie dwóch typów narzędzi (SiC i BFA) i warunków skrawania (suche i mokre). Zauważam jednak zastosowanie przez mnie nieprecyzyjnego określenia „przewidywalny”, co z pewnością nie jest sformulowaniem naukowym. W tym miejscu powinno się pojawić określenie odnoszące się wyłącznie do braku zależności parametrów.

Uwaga Recenzenta dr hab. inż. Marcina Gołąbczka:

Dyskusyjna jest zbyt liczna obecność ziaren ściernych osadzających się na tkance kostnej (rys. 2.52-2.53).

Odpowiedź autora dysertacji:

Rysunki 2.52 i 2.53 przedstawiają powierzchni narzędzi ściernych, na których osadziły się fragmenty tkanki chrzęstnej oraz tkanki kostnej. Podobne rezultaty, lecz w mniejszym powiększeniu prezentuje Rys. 2.51. Przykłady pozostałości ziaren w tkance kostnej na wczesnych etapach badań eksperymentalnych zaprezentowano na rys. 2.57.

Uwaga Recenzenta dr hab. inż. Marcina Gołąbczka:

Dyskusyjne są tezy rozprawy, zwłaszcza teza użyteczna, która jest jednym z głównych celów rozprawy.

Odpowiedź autora dysertacji:

Ze względu na podział rozprawy na część użyteczną i naukową, założyłem konieczność sformułowania dwóch tez, odpowiadających każdej z części. Uznałem, że takie rozwiązanie wzmocni podstawy przygotowywania rozprawy i odzwierciedli także jej układ. Sformułowanie tez, szczególnie dla tak złożonego zagadnienia, nie było proste, aczkolwiek po licznych próbach i analizach zdecydowałem się na te przedstawione w pracy. Oczywiście można je poddać dyskusji, ponieważ z chęcią dowiem się jakie zmiany mógłbym wprowadzić by zwiększyć ich zrozumiałość.

Recenzent z Politechniki Łódzkiej dr hab. inż. Marcin Gołąbczak przyjął i podziękował za odpowiedzi, po czym oddał głos drugiemu recenzentowi.

Uwaga Recenzenta prof. dr hab. inż. Wojciecha Wolańskiego

W mojej opinii sposób prezentacji planu zadań projektowych jest nieodpowiedni, gdyż nie zawiera on istotnych informacji o tytułach i kolejności zadań. Doktorant powinien taki plan sporządzić w takiej samej formie jak plan badań przedstawiony na rys. 1.2. Poza tym, plan zadań projektowych powinien być przedstawiony po prezentacji harmonogramu zadań badawczych, gdyż wynika to z treści rozprawy

Odpowiedź autora dysertacji:

Zgadzam się ze stwierdzeniem, że przedstawiony przeze mnie plan zadań projektowych powinien przyjąć inną formę (aby zwiększyć jego czytelność). Zapewne w trakcie opracowywania schematu, miałem inne wyobrażenie jego czytelności. Chciałbym jednak nadmienić, że umieszczenie schematu w tym miejscu wynikało z zabiegów czysto stylistycznych. Układ rozprawy został uzgodniony ze specjalistą od redagowania tekstów, który potwierdził możliwość umieszczenia schematu w tym miejscu.

Uwaga Recenzenta prof. dr hab. inż. Wojciecha Wolańskiego

Niezrozumiale jest także prezentowanie w pracy różnych rodzajów pęknięć kości (str. 56 - 3, str. 64 — 7) stosując przy tym odmiennych określeń. Wymagaloby to szerszego omówienia i ujednoczenia, gdyż Autor stosuje wiele nazw: pęknięcie wzdłużne, prostopadłe, poprzeczne i ścinające, a także pęknięcie mieszane, słabo penetrujące, wylamanie, rozrywanie czy też przetarcie oraz deformacja materiału

Odpowiedź autora dysertacji:

Po ponownej analizie tekstu, zgadzam się ze stwierdzeniem, że wymienione rodzaje pęknięć, wymagałyby zdefiniowania w celu zwiększenia zrozumienia i czytelności tekstu. Mając świadomość znaczenia nazw pęknięć, tekst był dla mnie czytelny, jednak dla osoby nieznającej zagadnienia może on być trudny w zrozumieniu. Jest to trafna uwaga, którą postaram się wdrożyć w kolejnych pracach.

Uwaga Recenzenta prof. dr hab. inż. Wojciecha Wolańskiego

Pewne wyniki badań zawarte w pracy wymagają szerszego komentarza i wyjaśnienia. Dotyczy to przede wszystkim prezentowanego wykresu na rys. 2.50 w rozdziale 2.4.3 Obróbka zespołem ziaren. Brakuje wyjaśnienia jak Autor wyznaczył prędkość zagłębiania y , dla trzech wyróżnionych etapów pracy narzędzia.

Odpowiedź autora dysertacji:

Zapewne wspomina Pan Profesor o prędkości zagłębiania v_z , prędkość v_y (jak i v_x) była prędkością posuwu narzędzia. Prędkość zagłębiania v_z została przeze mnie wyznaczona w oparciu o dwa parametry: wartość zagłębienia głowicy (względem osi z) oraz czas trwania tego zagłębiania (Δt).

Profesor Wojciech Wolański odpowiedzi przyjął i oddał głos Przewodniczącemu Komisji Doktorskiej.

Następnie Przewodniczący otworzył publiczną dyskusję. Pytania Doktorantowi zadali: dr hab. inż. Roman Barczewski, dr hab. Inż. Marcin Suszyński, dr hab. Inż. Piotr Siwak i mgr inż. Marek Trączyński:

dr hab. inż. Roman Barczewski

W jaki sposób był realizowany pomiar emisji akustycznej podczas testów?

Odpowiedź autora dysertacji:

Pomiar emisji akustycznej realizowany był za pomocą czujnika piezoelektrycznego, który zamontowany był na ostrzu skrawającym. W trakcie pomiaru analizowano gęstość występowania pików sygnału świadczących o występowaniu pęknięć.

dr hab. inż. Piotr Siwak

Skąd wynikał zakres kątów natarcia, jaki zastosowany był w trakcie skrawania kości?

Odpowiedź autora dysertacji:

Szeroki zakres kątów natarcia i przyłożenia wynikał z pomiarów geometrii ziaren ściernych stosowanych w badaniach.

dr hab. inż. Marcin Suszyński

Czy przy zastosowaniu wysokiej częstotliwości ruchu narzędzia istnieje ryzyko wspomnianej nekrozy termicznej?

Odpowiedź autora dysertacji:

Zgadzam się, istnieje takie ryzyko, aczkolwiek można mu zapobiec poprzez minimalizację siły nacisku oraz chłodzenie przestrzeni operacyjnej wodą.

Mgr inż. Marek Trączyński

Na jakiej podstawie zostały dobrane częstotliwości oscylacji prototypowego narzędzia?

Odpowiedź autora dysertacji:

Zakres częstotliwości w literaturze jest bardzo rozbieżny i niejednoznaczny dlatego warto przeprowadzić dalsze badania w tym zakresie. Częstotliwość dobrałem eksperymentalnie.

Po odpowiedzi udzielonej przez Doktoranta, przewodniczący zamknął dyskusję i część jawną posiedzenia Komisji.

Komisja kontynuowała obrady podczas niejawnego posiedzenia w sprawie wniosku o nadanie stopnia doktora.

Po zakończeniu niejawnej części posiedzenia Przewodniczący dr hab. inż. Szymon Wojciechowski, prof. PP odczytał jej postanowienia, informując, że Komisja jednomyślnie dojęła decyzję o wystąpieniu do Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej z wnioskiem o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych panu mgr inż. Pawłowi Zawadzkiemu oraz zdecydowała się jednomyślnie o zarekomendowanie o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

Pan mgr inż. Paweł Zawadzki podziękował Promotorowi, Przewodniczącemu i Komisji za pozytywną ocenę jego rozprawy doktorskiej oraz Recenzentom za konstruktywne uwagi.

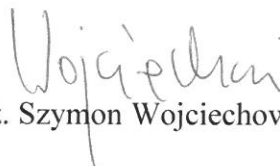
Przewodniczący pożegnał uczestniczących w publicznej obronie.

Sekretarz



Dr inż. Adam Patalas

Przewodniczący



dr hab. inż. Szymon Wojciechowski, prof. PP