

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Rokosz
Politechnika Koszalińska
ul. Raclawicka 15-17, PL 75-620 Koszalin
tel. 94 3478 354, e-mail: rokosz@tu.koszalin.pl

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
mgr inż. Adriana Kopytowskiego
pt. "Badanie procesu szlifowania powierzchni z zastosowaniem
wielogranulacyjnych tarcz ściernych"

Podstawę opracowania recenzji stanowi pismo Dziekana Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Warszawskiej prof. dr hab. inż. Tomasza Chmielewskiego z dnia 9 sierpnia 2023. Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pod tytułem "*Badanie procesu szlifowania powierzchni z zastosowaniem wielogranulacyjnych tarcz ściernych*" przygotowana przez mgr inż. Adriana Kopytowskiego. Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Rafał Świercz, prof. PW.

Operacje wykończeniowe stanowią kluczowy etap procesu produkcyjnego, który ma istotny wpływ na końcową jakość części oraz jej dokładność wymiarową. Wybór odpowiednich technik wykończeniowych jest niezmiernie istotny, aby sprostać wymaganiom technicznym, takim jak precyzja geometryczna i tolerancje wymiarowe. Dodatkowo współczesny rozwój materiałów, do których można zaliczyć stopy tytanu czy nadstopy niklu, stawia przed przemysłem wyzwanie opracowania nowych technologii obróbki. Te materiały charakteryzują się wysoką trudnością w obróbce, co wymaga zaawansowanych narzędzi i procesów, aby uzyskać pożądane efekty. Należy również zaznaczyć, że automatyzacja procesów produkcyjnych jest

obecnie priorytetem, a nowoczesne obrabiarki, zwłaszcza te sterowane numerycznie, pozwalają na znaczne zwiększenie powtarzalności produkcji, przez co można skrócić czas obróbki. Należy również zauważyć, że nadal obróbka szlifowania jest zaawansowaną technologią obróbki wykończeniowej, która umożliwia osiągnięcie precyzji wymiarów i gładkości powierzchni. Jednakże, typowe procesy szlifowania mają swoje ograniczenia, zwłaszcza w przypadku trudnoobrabialnych materiałów, takich jak Inconel 625. Dlatego obecnie prowadzone badania na świecie skupiają się na opracowaniu nowych rozwiązań w konstrukcji samego narzędzia, co jest również podjęte w tej pracy doktorskiej.

Przygotowana rozprawa doktorska o objętości 172 stron, zawierająca 89 rysunków i 15 tabel została podzielona na sześć rozdziałów poprzedzonych streszczeniem w języku polskim i angielskim. Pracę zakończono 281 pozycjami literaturowymi, które zostały poprawnie zacytowane w dysertacji oraz załącznikiem.

W jednostronicowym rozdziale pierwszym opisano wstęp odnośnie operacji wykończeniowych w których skład wchodzi szlifowanie. Natomiast w rozdziale drugim opisano ogólną charakterystykę procesu szlifowania, charakterystykę i mechanizm pracy ziarna ściernego, wybrane trendy w konstrukcji tarcz ściernych, jak i modelowanie procesu szlifowania. Odniesiono się również do analizy korelacji pomiędzy parametrami procesu szlifowania, a wynikowym stanem warstwy wierzchniej. W kolejnym, trzecim rozdziale skupiono się na przedstawieniu uzasadnienie podjęcia tematu oraz zaprezentowaniu celu i zakresu pracy. W rozdziale czwartym opisano metodykę przeprowadzonych badań eksperymentalnych z uwzględnieniem użytej aparatury badawczej oraz planu eksperymentu. W rozdziale piątym zaprezentowano wyniki badań doświadczalnych szlifowania Inconelu 625, natomiast w szóstym podsumowania i wnioski. Kolejne rozdziały (siódmy, ósmy, dziewiąty i dziesiąty) to odpowiednio: literatura, spis rysunków i tabel oraz załącznik.

Moim zdaniem treść rozprawy stanowi zamkniętą całość, a postawione cele zostały w pełni zrealizowane. Rozprawa jest napisana poprawnym technicznie językiem i posiada starannie opracowaną szatę graficzną. Według mnie przedstawiona rozprawa doktorska jest bardzo wartościowa i na pewno stanowi podstawę do dalszych badań naukowych zarówno dla Doktoranta jak i innych badaczy.

Reasumując należy zaznaczyć, że do istotnych osiągnięć Doktoranta należą:

- zaproponowanie równania regresji dla tarczy wielo granulacyjnej, które wskazuje na silny związek pomiędzy badanymi parametrami technologicznymi, a analizowanymi parametrami chropowatości.
- wykazanie, że wraz ze wzrostem prędkości skrawania, zmniejszają się wartości chropowatości powierzchni, obrabianych próbek (zmiana parametru Sa do około 0,9 μm , dla Vc równej 33 m/s).
- wykazanie niekorzystnego wpływu niskiej prędkości obrotowej ściernicy na obrabianą powierzchnię.
- wykazanie, że zastosowanie tarczy wielo granulacyjnej minimalizuje wyszczerbienia i uszkodzenia powierzchni przedmiotu.
- wykazanie, że aktywny profil ściernicy jest bardziej równomierny dzięki lepszemu wypełnieniu, co skutkuje zmniejszeniem interakcji ziarno-przedmiot.
- wykazanie, że silne zużycie ściernicy konwencjonalnej powoduje zmianę czynnej powierzchni szlifowania oraz zwiększenie obciążenia ziaren oraz w konsekwencji może prowadzić do ich zalepiania materiałem obróbkowym, co może być minimalizowane przez tarczę wielo granulacyjną.
- wykazanie, że uzyskana powierzchnia po obróbce konwencjonalną ściernicą ma znacznie wyższe wzniesienia w profilu chropowatości;
- wykazanie, że w przypadku zastosowania ściernicy wielo granulacyjnej powierzchnia charakteryzowała się wyrównanymi bruzdami, co było spowodowane niekonwencjonalną konstrukcją użytej ściernicy, w której

mniejsze ziarna zapobiegają się tworzeniu wiórów, które uszkadzają powierzchnię.

- wykazanie, że w strefie obróbki odnotowano występowanie poszczególnych faz rozwoju śladu obróbki (inicjacja, rozwój i wygaszanie); na powierzchniach uzyskanych w wyniku obróbki ściernicą konwencjonalną występują wady, wskazujące na występowanie fazy kruchego pęknięcia.
- wykazanie, że uzyskana powierzchnia po obróbce ściernicą konwencjonalną wykazywała 2,5-krotnie większe wartości parametru S_v chropowatości oraz blisko 2 większą wartość parametru S_p .
- wykazanie, że powierzchnia obrobiona tarczą wielo granulacyjną charakteryzuje się lepszymi wartościami trybologicznymi.
- wykazanie, że dla powierzchni obrabianych tarczą wielo granulacyjną i konwencjonalną zaobserwowano zmiany mikrotwardości w warstwie zmienionej; wartości te były najwyższe przy powierzchni obrabianej i obniżały się wraz z oddalaniem się od niej.
- wykazanie, że zastosowanie ściernicy wielo granulacyjnej powoduje uzyskanie powierzchni o niższych wartościach parametrów: S_v i S_p w porównaniu do ściernicy konwencjonalnej.

Na wyróżnienie zasługuje również osiągnięcie, którym jest współautorstwo trzynastu publikacji naukowych, co jest wynikiem wyróżniającym i ponadprzeciętnym:

1. Nowicki R., Świercz R., Oniszczyk-Świercz D., Dąbrowski L., Kopytowski A., Influence of machining parameters on surface texture and material removal rate of Inconel 718 after electrical discharge machining assisted with ultrasonic vibration, AIP Conference Proceedings, 2018.
2. Oniszczyk-Świercz D., Świercz R., Nowicki R., Kopytowski A., Dąbrowski L., Investigation of the influence of process parameters of wire electrical discharge machining using coated brass on the surface roughness of Inconel 718, AIP Conference Proceedings, 2018.

3. Nowicki R., Świercz R., Kopytowski A., Vagaská A., Surface texture of Inconel 718 after electrical discharge machining assisted with ultrasonic vibration of a tool electrode, *Welding Technology Review*, 2019.
4. Kopytowski A., Świercz R., Nowicki R., Stambolov G., Influence of machining parameters on surface texture of Inconel 718 after grinding with multi-granular wheels, *Welding Technology Review*, 2019.
5. Marczak M., Kopytowski A., Nowicki R., Stambolov G., The idea of measuring the real induction in the machining gap filled with magnetic material, *Welding Technology Review*, 2019.
6. Nowicki R., Świercz R., Oniszczyk-Świercz D., Kopytowski A., Investigation of the influence of machining parameters of grinding process using multi-granular wheels on the surface roughness of Inconel 718, *METAL Conference Proceedings*, 2019.
7. Kopytowski A., Oniszczyk-Świercz D., Świercz R., Nowicki R., Chmielewski T., Sałaciński T., Micro wire electrical discharge machining of titanium alloy TI-6AL-4V, *METAL Conference Proceedings*, 2019.
8. Dorota Oniszczyk-Swiercz, Rafał Swiercz, Adrian Kopytowski, Rafał Nowicki Experimental Investigation and Optimization of Rough EDM of High-Thermal-Conductivity Tool Steel with a Thin-Walled Electrode, *MATERIALS*, 2023.
9. Adrian Kopytowski, Rafał Swiercz, Dorota Oniszczyk-Swiercz, Józef Zawora, Julia Kuczak, Łukasz Zrodowski Effects of a New Type of Grinding Wheel with Multi-Granular Abrasive Grains on Surface Topography Properties after Grinding of Inconel 625, *Materials*, 2023.
10. Michał Bańka, Mariusz Salwin, Roman Tylżanowski, Ireneusz Miciuła, Monika Sychowicz, Norbert Chmiel, Adrian Kopytowski Start-Up Accelerators and Their Impact on Entrepreneurship and Social Responsibility of the Manager, *Sustainability*, 2023.

11. Dorota Oniszczyk-Świercz, Adrian Kopytowski , Rafał Nowicki and Rafał Świercz Finishing Additively Manufactured Ti6Al4V Alloy with Low-Energy Electrical Discharges, Materials, 2023.

Dodatkowo należy zaznaczyć, że Doktorant brał udział w pięciu następujących krajowych projektach badawczych:

1. Projekt BRIK (NCiBR) POIR.04. 01.01-00-0029/17, Innowacyjne rozwiązania w zakresie ochrony ludzi i budynków przed drganiami od ruchu kolejowego, kierownik: prof. dr hab. inż. Artur Zbiciak, 01.06.2018 – 30.06.2022, WIL, Instytut Kolejnictwa.
2. Projekt BRIK (NCiBR) POIR.04. 01.01-00-0030/17, Innowacyjne rozwiązania w zakresie ochrony ludzi i środowiska przed drganiami od ruchu kolejowego, kierownik dr inż. Cezary Kraśkiewicz, 01.06.2018 – 30.06.2022, WIL, Instytut Kolejnictwa.
3. Grant wewnętrzny dla pracowników Politechniki Warszawskiej wspierający prowadzenie działalności naukowej w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna - Badania wpływu parametrów wejściowych procesu szlifowania tarczami wielogranulacyjnymi powierzchni płaskich na wybrane cechy warstwy wierzchniej nadstopów niklu./ Inżynieria mechaniczna, kierownik dr hab. inż. Józef Zawora, 08.06.2021-31.12.2022, WMT, Instytut Technik Wytwarzania.
4. „Inicjatywa doskonałości – uczelnia badawcza” w obszarze Technologii-Materiałowych - Opracowanie technologii obróbki wykończeniowej części wykonywanych metodami przyrostowymi selektywnego spiekania i topienia laserowego SLS/SLM z zastosowaniem nowego typu narzędzi ściernych na podstawie lepko sprężystego polimeru, kierownik: dr hab. inż. Rafał Świercz, WMT, Instytut Technik Wytwarzania.
5. AICUT - Wykonanie usługi badawczej we współpracy z firmą SAGADr inż. Mirosław Nejman W trakcie realizacji WMT, Instytut Technik Wytwarzania.

Doktorant brał również udział następujących konferencjach:

1. Konferencja Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych (SNOE) połączona z posiedzeniem Komisji Inżynierii Powierzchni Polskiej Akademii Nauk Oddział w Poznaniu, Warszawa, 09.10.2018 WIP NT, Organizator: Wydział Inżynierii Produkcji, Instytut Technik Wytwarzania.
2. Konferencja Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych (SNOE) pod patronatem Sekcji Technologii Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk. Kraków, 28.11. 2018. Organizator: Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny,
3. Konferencja Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych (SNOE) pod patronatem Sekcji Technologii Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk. Warszawa, 19.12. 2018, WIP NL. Organizator: Organizator: Wydział Inżynierii Produkcji, Instytut Technik Wytwarzania,
4. Konferencja Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych (SNOE) pod patronatem Sekcji Technologii Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk. Warszawa, 16.04.2019,
5. Międzynarodowa konferencja Metallurgy and Materials (METAL 2019). Czechy, Brno, 22-24.05.2019.
6. V Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Biznesowa Inżynieria Przyszłości 2019 Innowacyjne Rozwiązania Techniczne i Organizacyjne dla Przemysłu, 29-30.2019.
7. 43. Studencka Konferencja Naukowa pt. „Potencjał Innowacyjny w Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów”. Wydział Inżynierii Produkcji i technologii Materiałów Politechniki Częstochowskiej, 30.05.2019.
8. Konferencja „Wirtualna rzeczywistość jako odpowiedź na wyzwania w edukacji kierowców zawodowych”. Warszawa, 06.06.2019,
9. Warsztaty Technologiczne w Abplanalp. Warszawa, 14.10.2019,
10. IX Konferencja Smart City Forum. Warszawa, 15-16.06.2020,

11. IV Mazowieckie Sympozjum Spawalnicze „Innowacje w spawalnictwie”.
Warszawa, 17.06.2021,
12. „XIV Szkoła Obróbki Skrawaniem oraz XLIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej”, Lublin 15- 17 września 2021.
13. Konferencja Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych (SNOE) pod patronatem Sekcji Technologii Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk. Warszawa, 16.04.2019.
14. Konferencja Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych (SNOE), 21.03.2023.

Istotnym jest także fakt, że Doktorant był aktywny na Uczelni w ramach prac organizacyjnych m.in. będąc przewodniczącym Rady Doktorantów Politechniki Warszawskiej dwóch kadencji (lipiec 2020 – luty 2022), Senatorem Politechniki Warszawskiej (lipiec 2020 – luty 2022, od lutego 2022 – gość) oraz członkiem czterech Komisji Senackich Politechniki Warszawskiej, jak i przewodniczącym Zespołu ds. Współpracy Doktorantów z Ministerstwem Edukacji i Nauki (grudzień 2021- styczeń 2023). Był on także kilkakrotnym Laureatem Nagrody JM Rektora PW, za wyróżniającą się działalność na rzecz uczelni.

Jednoznacznie chciałbym zaznaczyć, że przygotowana praca doktorska jest na bardzo wysokim poziomie, jednakże prosiłbym Doktoranta o odniesienie się do następujących zagadnień w formie dyskusji:

1. Pewien niedosyt budzi brak szerszych informacji o wynikach badań wstępnych, które posłużyły do wyznaczenia badanych zmiennych niezależnych procesu szlifowania tj. prędkości skrawania, prędkości posuwu wzdłużnego, prędkości posuwu poprzecznego. Biorąc pod uwagę zaproponowaną nową konstrukcję ściernicy z frakcjami ziaren ściernych o różnej wielkości, celowe jest uwzględnienie jako zmiennej niezależnej wartości dosuwu. W przyjętej metodyce badań parametr ten przyjęto jako stały. Proszę o dyskusję.

2. Główną osią rozprawy jest analiza porównawcza efektów obróbki szlifowaniem w odniesieniu do pracy ziaren ściernych w konwencjonalnej i wielogranulacyjnej ściernicy. Przy czym w rozprawie nie wskazano metodyki doboru granulacji ziaren ściernych w opracowanym nowym typie ściernicy. Proszę o uzasadnienie wyboru granulacji 80 -100 - 120 w opracowanej tarczy wielogranulacyjnej. Czy na etapie projektowania nowego typu ściernic uwzględniono analizę wartości porowatości pozornej ściernicy dla różnej wielkości ziaren ściernych?
3. Ważną część rozprawy stanowią opracowane równania regresji opisujące wpływ badanych zmiennych niezależnych na wybrane parametry charakteryzujące cechy topografii obrabianych powierzchni. Przedstawiono metodykę wyznaczenia równań regresji, natomiast nie wskazano kryteriów selekcji modeli matematycznych. Nasuwa się pytanie czy dokonano analizy wyznaczonych modeli dla postaci funkcji innej niż wielomianowa, jeśli tak, jakie przyjęto kryteria selekcji modeli.
4. Istotny wpływ na przebieg procesu szlifowania ma nieregularna stereometria mikroziarna ściernego i zróżnicowanie cech geometrycznych poszczególnych fragmentów naroży oraz ich wielkości. W pracy przedstawiono analizę oddziaływania ziaren ściernych na mechanizm usuwania materiału. Nie poddano jednak dyskusji wpływu geometrii ziaren w CPS na proces formowania mikrowiórów. Geometria i efektywność odprowadzania mikrowiórów ze strefy mikroskrawania ma istotny wpływ na trwałość ściernicy jak i stan warstwy wierzchniej obrabianych części. Proszę o dyskusję.
5. Stwierdzenie zawarte na stronie 93 „Obserwacja części rys umożliwia zauważenie delikatnych odkształceń, które powstały w wyniku kontaktu wierzchołków ziaren ściernych odwzorowujących ich kształt geometryczny” jest nieprecyzyjne i wymaga bliższego wyjaśnienia. Proszę o dyskusję.

Podsumowując stwierdzam, że przedłożona do recenzji praca doktorska przygotowana w dyscyplinie inżynieria mechaniczna pod tytułem " *Badanie procesu szlifowania powierzchni z zastosowaniem wielo granulacyjnych tarcz ściernych*" przygotowana przez mgr inż. Adriana Kopytowskiego spełnia w mojej opinii wymogi ustawy „o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki”, w związku z czym wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Komisją Doktorską w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna. Chciałbym jednocześnie zaznaczyć, że złożoność rozwiązane go problemu naukowego, szeroki, dobrze zaplanowany zakres badań, rzetelność w jego realizacji oraz liczący się dorobek naukowy są podstawą do wyróżnienia tej pracy.



Koszalin, 23.10.2023

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Rokosz

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Rokosz
Politechnika Koszalińska
ul. Raclawicka 15-17, PL 75-620 Koszalin
tel. 94 3478 354, e-mail: rokosz@tu.koszalin.pl

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Adriana Kopytowskiego

**pt. "Badanie procesu szlifowania powierzchni z zastosowaniem
wielogranulacyjnych tarcz ściernych"**

Podstawę opracowania recenzji stanowi pismo Dziekana Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Warszawskiej prof. dr hab. inż. Tomasza Chmielewskiego z dnia 9 sierpnia 2023. Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pod tytułem "*Badanie procesu szlifowania powierzchni z zastosowaniem wielogranulacyjnych tarcz ściernych*" przygotowana przez mgr inż. Adriana Kopytowskiego. Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Rafał Świercz, prof. PW.

Operacje wykończeniowe stanowią kluczowy etap procesu produkcyjnego, który ma istotny wpływ na końcową jakość części oraz jej dokładność wymiarową. Wybór odpowiednich technik wykończeniowych jest niezmiernie istotny, aby sprostać wymaganiom technicznym, takim jak precyzja geometryczna i tolerancje wymiarowe. Dodatkowo współczesny rozwój materiałów, do których można zaliczyć stopy tytanu czy nadstopy niklu, stawia przed przemysłem wyzwanie opracowania nowych technologii obróbki. Te materiały charakteryzują się wysoką trudnością w obróbce, co wymaga zaawansowanych narzędzi i procesów, aby uzyskać pożądane efekty. Należy również zaznaczyć, że automatyzacja procesów produkcyjnych jest

obecnie priorytetem, a nowoczesne obrabiarki, zwłaszcza te sterowane numerycznie, pozwalają na znaczne zwiększenie powtarzalności produkcji, przez co można skrócić czas obróbki. Należy również zauważyć, że nadal obróbka szlifowania jest zaawansowaną technologią obróbki wykończeniowej, która umożliwia osiągnięcie precyzji wymiarów i gładkości powierzchni. Jednakże, typowe procesy szlifowania mają swoje ograniczenia, zwłaszcza w przypadku trudnoobrabialnych materiałów, takich jak Inconel 625. Dlatego obecnie prowadzone badania na świecie skupiają się na opracowaniu nowych rozwiązań w konstrukcji samego narzędzia, co jest również podjęte w tej pracy doktorskiej.

Przygotowana rozprawa doktorska o objętości 172 stron, zawierająca 89 rysunków i 15 tabel została podzielona na sześć rozdziałów poprzedzonych streszczeniem w języku polskim i angielskim. Pracę zakończono 281 pozycjami literaturowymi, które zostały poprawnie zacytowane w dysertacji oraz załącznikiem.

W jednostronicowym rozdziale pierwszym opisano wstęp odnośnie operacji wykończeniowych w których skład wchodzi szlifowanie. Natomiast w rozdziale drugim opisano ogólną charakterystykę procesu szlifowania, charakterystykę i mechanizm pracy ziarna ściernego, wybrane trendy w konstrukcji tarcz ściernych, jak i modelowanie procesu szlifowania. Odniesiono się również do analizy korelacji pomiędzy parametrami procesu szlifowania, a wynikowym stanem warstwy wierzchniej. W kolejnym, trzecim rozdziale skupiono się na przedstawieniu uzasadnienie podjęcia tematu oraz zaprezentowaniu celu i zakresu pracy. W rozdziale czwartym opisano metodykę przeprowadzonych badań eksperymentalnych z uwzględnieniem użytej aparatury badawczej oraz planu eksperymentu. W rozdziale piątym zaprezentowano wyniki badań doświadczalnych szlifowania Inconelu 625, natomiast w szóstym podsumowania i wnioski. Kolejne rozdziały (siódmy, ósmy, dziewiąty i dziesiąty) to odpowiednio: literatura, spis rysunków i tabel oraz załącznik.

Moim zdaniem treść rozprawy stanowi zamkniętą całość, a postawione cele zostały w pełni zrealizowane. Rozprawa jest napisana poprawnym technicznie językiem i posiada starannie opracowaną szatę graficzną. Według mnie przedstawiona rozprawa doktorska jest bardzo wartościowa i na pewno stanowi podstawę do dalszych badań naukowych zarówno dla Doktoranta jak i innych badaczy.

Reasumując należy zaznaczyć, że do istotnych osiągnięć Doktoranta należą:

- zaproponowanie równania regresji dla tarczy wielo granulacyjnej, które wskazuje na silny związek pomiędzy badanymi parametrami technologicznymi, a analizowanymi parametrami chropowatości.
- wykazanie, że wraz ze wzrostem prędkości skrawania, zmniejszają się wartości chropowatości powierzchni, obrabianych próbek (zmiana parametru S_a do około $0,9 \mu\text{m}$, dla V_c równej 33 m/s).
- wykazanie niekorzystnego wpływu niskiej prędkości obrotowej ściernicy na obrabianą powierzchnię.
- wykazanie, że zastosowanie tarczy wielo granulacyjnej minimalizuje wyszczerbienia i uszkodzenia powierzchni przedmiotu.
- wykazanie, że aktywny profil ściernicy jest bardziej równomierny dzięki lepszemu wypełnieniu, co skutkuje zmniejszeniem interakcji ziarno-przedmiot.
- wykazanie, że silne zużycie ściernicy konwencjonalnej powoduje zmianę czynnej powierzchni szlifowania oraz zwiększenie obciążenia ziaren oraz w konsekwencji może prowadzić do ich zalepiania materiałem obróbkowym, co może być minimalizowane przez tarczę wielo granulacyjną.
- wykazanie, że uzyskana powierzchnia po obróbce konwencjonalną ściernicą ma znacznie wyższe wzniesienia w profilu chropowatości;
- wykazanie, że w przypadku zastosowania ściernicy wielo granulacyjnej powierzchnia charakteryzowała się wyrównanymi bruzdami, co było spowodowane niekonwencjonalną konstrukcją użytej ściernicy, w której

mniejsze ziarna zapobiegają się tworzeniu wiórów, które uszkadzają powierzchnię.

- wykazanie, że w strefie obróbki odnotowano występowanie poszczególnych faz rozwoju śladu obróbki (inicjacja, rozwój i wygaszanie); na powierzchniach uzyskanych w wyniku obróbki ściernicą konwencjonalną występują wady, wskazujące na występowanie fazy kruchego pęknięcia.
- wykazanie, że uzyskana powierzchnia po obróbce ściernicą konwencjonalną wykazywała 2,5-krotnie większe wartości parametru S_v chropowatości oraz blisko 2 większą wartość parametru S_p .
- wykazanie, że powierzchnia obrobiona tarczą wielo granulacyjną charakteryzuje się lepszymi wartościami trybologicznymi.
- wykazanie, że dla powierzchni obrabianych tarczą wielo granulacyjną i konwencjonalną zaobserwowano zmiany mikrotwardości w warstwie zmienionej; wartości te były najwyższe przy powierzchni obrabianej i obniżały się wraz z oddalaniem się od niej.
- wykazanie, że zastosowanie ściernicy wielo granulacyjnej powoduje uzyskanie powierzchni o niższych wartościach parametrów: S_v i S_p w porównaniu do ściernicy konwencjonalnej.

Na wyróżnienie zasługuje również osiągnięcie, którym jest współautorstwo trzynastu publikacji naukowych, co jest wynikiem wyróżniającym i ponadprzeciętnym:

1. Nowicki R., Świercz R., Oniszczyk-Świercz D., Dąbrowski L., Kopytowski A., Influence of machining parameters on surface texture and material removal rate of Inconel 718 after electrical discharge machining assisted with ultrasonic vibration, AIP Conference Proceedings, 2018.
2. Oniszczyk-Świercz D., Świercz R., Nowicki R., Kopytowski A., Dąbrowski L., Investigation of the influence of process parameters of wire electrical discharge machining using coated brass on the surface roughness of Inconel 718, AIP Conference Proceedings, 2018.

3. Nowicki R., Świercz R., Kopytowski A., Vagaská A., Surface texture of Inconel 718 after electrical discharge machining assisted with ultrasonic vibration of a tool electrode, *Welding Technology Review*, 2019.
4. Kopytowski A., Świercz R., Nowicki R., Stambolov G., Influence of machining parameters on surface texture of Inconel 718 after grinding with multi-granular wheels, *Welding Technology Review*, 2019.
5. Marczak M., Kopytowski A., Nowicki R., Stambolov G., The idea of measuring the real induction in the machining gap filled with magnetic material, *Welding Technology Review*, 2019.
6. Nowicki R., Świercz R., Oniszczyk-Świercz D., Kopytowski A., Investigation of the influence of machining parameters of grinding process using multi-granular wheels on the surface roughness of Inconel 718, *METAL Conference Proceedings*, 2019.
7. Kopytowski A., Oniszczyk-Świercz D., Świercz R., Nowicki R., Chmielewski T., Sałaciński T., Micro wire electrical discharge machining of titanium alloy TI-6AL-4V, *METAL Conference Proceedings*, 2019.
8. Dorota Oniszczyk-Swiercz, Rafał Swiercz, Adrian Kopytowski, Rafał Nowicki Experimental Investigation and Optimization of Rough EDM of High-Thermal-Conductivity Tool Steel with a Thin-Walled Electrode, *MATERIALS*, 2023.
9. Adrian Kopytowski, Rafał Swiercz, Dorota Oniszczyk-Swiercz, Józef Zawora, Julia Kuczak, Łukasz Zrodowski Effects of a New Type of Grinding Wheel with Multi-Granular Abrasive Grains on Surface Topography Properties after Grinding of Inconel 625, *Materials*, 2023.
10. Michał Bańka, Mariusz Salwin, Roman Tylżanowski, Ireneusz Miciuła, Monika Sychowicz, Norbert Chmiel, Adrian Kopytowski Start-Up Accelerators and Their Impact on Entrepreneurship and Social Responsibility of the Manager, *Sustainability*, 2023.

11. Dorota Oniszczyk-Świercz, Adrian Kopytowski , Rafał Nowicki and Rafał Świercz Finishing Additively Manufactured Ti6Al4V Alloy with Low-Energy Electrical Discharges, Materials, 2023.

Dodatkowo należy zaznaczyć, że Doktorant brał udział w pięciu następujących krajowych projektach badawczych:

1. Projekt BRIK (NCiBR) POIR.04. 01.01-00-0029/17, Innowacyjne rozwiązania w zakresie ochrony ludzi i budynków przed drganiami od ruchu kolejowego, kierownik: prof. dr hab. inż. Artur Zbiciak, 01.06.2018 – 30.06.2022, WIL, Instytut Kolejnictwa.
2. Projekt BRIK (NCiBR) POIR.04. 01.01-00-0030/17, Innowacyjne rozwiązania w zakresie ochrony ludzi i środowiska przed drganiami od ruchu kolejowego, kierownik dr inż. Cezary Kraśkiewicz, 01.06.2018 – 30.06.2022, WIL, Instytut Kolejnictwa.
3. Grant wewnętrzny dla pracowników Politechniki Warszawskiej wspierający prowadzenie działalności naukowej w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna - Badania wpływu parametrów wejściowych procesu szlifowania tarczami wielogranulacyjnymi powierzchni płaskich na wybrane cechy warstwy wierzchniej nadstopów niklu./ Inżynieria mechaniczna, kierownik dr hab. inż. Józef Zawora, 08.06.2021-31.12.2022, WMT, Instytut Technik Wytwarzania.
4. „Inicjatywa doskonałości – uczelnia badawcza” w obszarze Technologii-Materiałowych - Opracowanie technologii obróbki wykończeniowej części wykonywanych metodami przyrostowymi selektywnego spiekania i topienia laserowego SLS/SLM z zastosowaniem nowego typu narzędzi ściernych na podstawie lepko sprężystego polimeru, kierownik: dr hab. inż. Rafał Świercz, WMT, Instytut Technik Wytwarzania.
5. AICUT - Wykonanie usługi badawczej we współpracy z firmą SAGADr inż. Mirosław Nejman W trakcie realizacji WMT, Instytut Technik Wytwarzania.

Doktorant brał również udział następujących konferencjach:

1. Konferencja Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych (SNOE) połączona z posiedzeniem Komisji Inżynierii Powierzchni Polskiej Akademii Nauk Oddział w Poznaniu, Warszawa, 09.10.2018 WIP NT, Organizator: Wydział Inżynierii Produkcji, Instytut Technik Wytwarzania.
2. Konferencja Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych (SNOE) pod patronatem Sekcji Technologii Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk. Kraków, 28.11. 2018. Organizator: Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny,
3. Konferencja Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych (SNOE) pod patronatem Sekcji Technologii Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk. Warszawa, 19.12. 2018, WIP NL. Organizator: Organizator: Wydział Inżynierii Produkcji, Instytut Technik Wytwarzania,
4. Konferencja Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych (SNOE) pod patronatem Sekcji Technologii Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk. Warszawa, 16.04.2019,
5. Międzynarodowa konferencja Metallurgy and Materials (METAL 2019). Czechy, Brno, 22-24.05.2019.
6. V Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Biznesowa Inżynieria Przyszłości 2019 Innowacyjne Rozwiązania Techniczne i Organizacyjne dla Przemysłu, 29-30.2019.
7. 43. Studencka Konferencja Naukowa pt. „Potencjał Innowacyjny w Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów”. Wydział Inżynierii Produkcji i technologii Materiałów Politechniki Częstochowskiej, 30.05.2019.
8. Konferencja „Wirtualna rzeczywistość jako odpowiedź na wyzwania w edukacji kierowców zawodowych”. Warszawa, 06.06.2019,
9. Warsztaty Technologiczne w Abplanalp. Warszawa, 14.10.2019,
10. IX Konferencja Smart City Forum. Warszawa, 15-16.06.2020,

11. IV Mazowieckie Sympozjum Spawalnicze „Innowacje w spawalnictwie”.
Warszawa, 17.06.2021,
12. „XIV Szkoła Obróbki Skrawaniem oraz XLIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej”, Lublin 15- 17 września 2021.
13. Konferencja Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych (SNOE) pod patronatem Sekcji Technologii Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk. Warszawa, 16.04.2019.
14. Konferencja Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych (SNOE), 21.03.2023.

Istotnym jest także fakt, że Doktorant był aktywny na Uczelni w ramach prac organizacyjnych m.in. będąc przewodniczącym Rady Doktorantów Politechniki Warszawskiej dwóch kadencji (lipiec 2020 – luty 2022), Senatorem Politechniki Warszawskiej (lipiec 2020 – luty 2022, od lutego 2022 – gość) oraz członkiem czterech Komisji Senackich Politechniki Warszawskiej, jak i przewodniczącym Zespołu ds. Współpracy Doktorantów z Ministerstwem Edukacji i Nauki (grudzień 2021- styczeń 2023). Był on także kilkakrotnym Laureatem Nagrody JM Rektora PW, za wyróżniającą się działalność na rzecz uczelni.

Jednoznacznie chciałbym zaznaczyć, że przygotowana praca doktorska jest na bardzo wysokim poziomie, jednakże prosiłbym Doktoranta o odniesienie się do następujących zagadnień w formie dyskusji:

1. Pewien niedosyt budzi brak szerszych informacji o wynikach badań wstępnych, które posłużyły do wyznaczenia badanych zmiennych niezależnych procesu szlifowania tj. prędkości skrawania, prędkości posuwu wzdłużnego, prędkości posuwu poprzecznego. Biorąc pod uwagę zaproponowaną nową konstrukcję ściernicy z frakcjami ziaren ściernych o różnej wielkości, celowe jest uwzględnienie jako zmiennej niezależnej wartości dosuwu. W przyjętej metodyce badań parametr ten przyjęto jako stały. Proszę o dyskusję.

2. Główną osią rozprawy jest analiza porównawcza efektów obróbki szlifowaniem w odniesieniu do pracy ziaren ściernych w konwencjonalnej i wielogranulacyjnej ściernicy. Przy czym w rozprawie nie wskazano metodyki doboru granulacji ziaren ściernych w opracowanym nowym typie ściernicy. Proszę o uzasadnienie wyboru granulacji 80 -100 - 120 w opracowanej tarczy wielogranulacyjnej. Czy na etapie projektowania nowego typu ściernic uwzględniono analizę wartości porowatości pozornej ściernicy dla różnej wielkości ziaren ściernych?
3. Ważną część rozprawy stanowią opracowane równania regresji opisujące wpływ badanych zmiennych niezależnych na wybrane parametry charakteryzujące cechy topografii obrabianych powierzchni. Przedstawiono metodykę wyznaczenia równań regresji, natomiast nie wskazano kryteriów selekcji modeli matematycznych. Nasuwa się pytanie czy dokonano analizy wyznaczonych modeli dla postaci funkcji innej niż wielomianowa, jeśli tak, jakie przyjęto kryteria selekcji modeli.
4. Istotny wpływ na przebieg procesu szlifowania ma nieregularna stereometria mikroziarna ściernego i zróżnicowanie cech geometrycznych poszczególnych fragmentów naroży oraz ich wielkości. W pracy przedstawiono analizę oddziaływania ziaren ściernych na mechanizm usuwania materiału. Nie poddano jednak dyskusji wpływu geometrii ziaren w CPS na proces formowania mikrowiórów. Geometria i efektywność odprowadzania mikrowiórów ze strefy mikroskrawania ma istotny wpływ na trwałość ściernicy jak i stan warstwy wierzchniej obrabianych części. Proszę o dyskusję.
5. Stwierdzenie zawarte na stronie 93 „Obserwacja części rys umożliwia zauważenie delikatnych odkształceń, które powstały w wyniku kontaktu wierzchołków ziaren ściernych odwzorowujących ich kształt geometryczny” jest nieprecyzyjne i wymaga bliższego wyjaśnienia. Proszę o dyskusję.

Podsumowując stwierdzam, że przedłożona do recenzji praca doktorska przygotowana w dyscyplinie inżynieria mechaniczna pod tytułem " *Badanie procesu szlifowania powierzchni z zastosowaniem wielo granulacyjnych tarcz ściernych*" przygotowana przez mgr inż. Adriana Kopytowskiego spełnia w mojej opinii wymogi ustawy „o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki”, w związku z czym wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Komisją Doktorską w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna. Chciałbym jednocześnie zaznaczyć, że złożoność rozwiązane go problemu naukowego, szeroki, dobrze zaplanowany zakres badań, rzetelność w jego realizacji oraz liczący się dorobek naukowy są podstawą do wyróżnienia tej pracy.



Koszalin, 23.10.2023

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Rokosz

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Rokosz
Politechnika Koszalińska
ul. Raclawicka 15-17, PL 75-620 Koszalin
tel. 94 3478 354, e-mail: rokosz@tu.koszalin.pl

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Adriana Kopytowskiego

**pt. "Badanie procesu szlifowania powierzchni z zastosowaniem
wielogranulacyjnych tarcz ściernych"**

Podstawę opracowania recenzji stanowi pismo Dziekana Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Warszawskiej prof. dr hab. inż. Tomasza Chmielewskiego z dnia 9 sierpnia 2023. Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pod tytułem "*Badanie procesu szlifowania powierzchni z zastosowaniem wielogranulacyjnych tarcz ściernych*" przygotowana przez mgr inż. Adriana Kopytowskiego. Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Rafał Świercz, prof. PW.

Operacje wykończeniowe stanowią kluczowy etap procesu produkcyjnego, który ma istotny wpływ na końcową jakość części oraz jej dokładność wymiarową. Wybór odpowiednich technik wykończeniowych jest niezmiernie istotny, aby sprostać wymaganiom technicznym, takim jak precyzja geometryczna i tolerancje wymiarowe. Dodatkowo współczesny rozwój materiałów, do których można zaliczyć stopy tytanu czy nadstopy niklu, stawia przed przemysłem wyzwanie opracowania nowych technologii obróbki. Te materiały charakteryzują się wysoką trudnością w obróbce, co wymaga zaawansowanych narzędzi i procesów, aby uzyskać pożądane efekty. Należy również zaznaczyć, że automatyzacja procesów produkcyjnych jest

obecnie priorytetem, a nowoczesne obrabiarki, zwłaszcza te sterowane numerycznie, pozwalają na znaczne zwiększenie powtarzalności produkcji, przez co można skrócić czas obróbki. Należy również zauważyć, że nadal obróbka szlifowania jest zaawansowaną technologią obróbki wykończeniowej, która umożliwia osiągnięcie precyzji wymiarów i gładkości powierzchni. Jednakże, typowe procesy szlifowania mają swoje ograniczenia, zwłaszcza w przypadku trudnoobrabialnych materiałów, takich jak Inconel 625. Dlatego obecnie prowadzone badania na świecie skupiają się na opracowaniu nowych rozwiązań w konstrukcji samego narzędzia, co jest również podjęte w tej pracy doktorskiej.

Przygotowana rozprawa doktorska o objętości 172 stron, zawierająca 89 rysunków i 15 tabel została podzielona na sześć rozdziałów poprzedzonych streszczeniem w języku polskim i angielskim. Pracę zakończono 281 pozycjami literaturowymi, które zostały poprawnie zacytowane w dysertacji oraz załącznikiem.

W jednostronicowym rozdziale pierwszym opisano wstęp odnośnie operacji wykończeniowych w których skład wchodzi szlifowanie. Natomiast w rozdziale drugim opisano ogólną charakterystykę procesu szlifowania, charakterystykę i mechanizm pracy ziarna ściernego, wybrane trendy w konstrukcji tarcz ściernych, jak i modelowanie procesu szlifowania. Odniesiono się również do analizy korelacji pomiędzy parametrami procesu szlifowania, a wynikowym stanem warstwy wierzchniej. W kolejnym, trzecim rozdziale skupiono się na przedstawieniu uzasadnienie podjęcia tematu oraz zaprezentowaniu celu i zakresu pracy. W rozdziale czwartym opisano metodykę przeprowadzonych badań eksperymentalnych z uwzględnieniem użytej aparatury badawczej oraz planu eksperymentu. W rozdziale piątym zaprezentowano wyniki badań doświadczalnych szlifowania Inconelu 625, natomiast w szóstym podsumowania i wnioski. Kolejne rozdziały (siódmy, ósmy, dziewiąty i dziesiąty) to odpowiednio: literatura, spis rysunków i tabel oraz załącznik.

Moim zdaniem treść rozprawy stanowi zamkniętą całość, a postawione cele zostały w pełni zrealizowane. Rozprawa jest napisana poprawnym technicznie językiem i posiada starannie opracowaną szatę graficzną. Według mnie przedstawiona rozprawa doktorska jest bardzo wartościowa i na pewno stanowi podstawę do dalszych badań naukowych zarówno dla Doktoranta jak i innych badaczy.

Reasumując należy zaznaczyć, że do istotnych osiągnięć Doktoranta należą:

- zaproponowanie równania regresji dla tarczy wielo granulacyjnej, które wskazuje na silny związek pomiędzy badanymi parametrami technologicznymi, a analizowanymi parametrami chropowatości.
- wykazanie, że wraz ze wzrostem prędkości skrawania, zmniejszają się wartości chropowatości powierzchni, obrabianych próbek (zmiana parametru S_a do około $0,9 \mu\text{m}$, dla V_c równej 33 m/s).
- wykazanie niekorzystnego wpływu niskiej prędkości obrotowej ściernicy na obrabianą powierzchnię.
- wykazanie, że zastosowanie tarczy wielo granulacyjnej minimalizuje wyszczerbienia i uszkodzenia powierzchni przedmiotu.
- wykazanie, że aktywny profil ściernicy jest bardziej równomierny dzięki lepszemu wypełnieniu, co skutkuje zmniejszeniem interakcji ziarno-przedmiot.
- wykazanie, że silne zużycie ściernicy konwencjonalnej powoduje zmianę czynnej powierzchni szlifowania oraz zwiększenie obciążenia ziaren oraz w konsekwencji może prowadzić do ich zalepiania materiałem obróbkowym, co może być minimalizowane przez tarczę wielo granulacyjną.
- wykazanie, że uzyskana powierzchnia po obróbce konwencjonalną ściernicą ma znacznie wyższe wzniesienia w profilu chropowatości;
- wykazanie, że w przypadku zastosowania ściernicy wielo granulacyjnej powierzchnia charakteryzowała się wyrównanymi bruzdami, co było spowodowane niekonwencjonalną konstrukcją użytej ściernicy, w której

mniejsze ziarna zapobiegają się tworzeniu wiórów, które uszkadzają powierzchnię.

- wykazanie, że w strefie obróbki odnotowano występowanie poszczególnych faz rozwoju śladu obróbki (inicjacja, rozwój i wygaszanie); na powierzchniach uzyskanych w wyniku obróbki ściernicą konwencjonalną występują wady, wskazujące na występowanie fazy kruchego pęknięcia.
- wykazanie, że uzyskana powierzchnia po obróbce ściernicą konwencjonalną wykazywała 2,5-krotnie większe wartości parametru S_v chropowatości oraz blisko 2 większą wartość parametru S_p .
- wykazanie, że powierzchnia obrobiona tarczą wielogranulacyjną charakteryzuje się lepszymi wartościami trybologicznymi.
- wykazanie, że dla powierzchni obrabianych tarczą wielogranulacyjną i konwencjonalną zaobserwowano zmiany mikrotwardości w warstwie zmienionej; wartości te były najwyższe przy powierzchni obrabianej i obniżały się wraz z oddalaniem się od niej.
- wykazanie, że zastosowanie ściernicy wielogranulacyjnej powoduje uzyskanie powierzchni o niższych wartościach parametrów: S_v i S_p w porównaniu do ściernicy konwencjonalnej.

Na wyróżnienie zasługuje również osiągnięcie, którym jest współautorstwo trzynastu publikacji naukowych, co jest wynikiem wyróżniającym i ponadprzeciętnym:

1. Nowicki R., Świercz R., Oniszczyk-Świercz D., Dąbrowski L., Kopytowski A., Influence of machining parameters on surface texture and material removal rate of Inconel 718 after electrical discharge machining assisted with ultrasonic vibration, AIP Conference Proceedings, 2018.
2. Oniszczyk-Świercz D., Świercz R., Nowicki R., Kopytowski A., Dąbrowski L., Investigation of the influence of process parameters of wire electrical discharge machining using coated brass on the surface roughness of Inconel 718, AIP Conference Proceedings, 2018.

3. Nowicki R., Świercz R., Kopytowski A., Vagaská A., Surface texture of Inconel 718 after electrical discharge machining assisted with ultrasonic vibration of a tool electrode, *Welding Technology Review*, 2019.
4. Kopytowski A., Świercz R., Nowicki R., Stambolov G., Influence of machining parameters on surface texture of Inconel 718 after grinding with multi-granular wheels, *Welding Technology Review*, 2019.
5. Marczak M., Kopytowski A., Nowicki R., Stambolov G., The idea of measuring the real induction in the machining gap filled with magnetic material, *Welding Technology Review*, 2019.
6. Nowicki R., Świercz R., Oniszczyk-Świercz D., Kopytowski A., Investigation of the influence of machining parameters of grinding process using multi-granular wheels on the surface roughness of Inconel 718, *METAL Conference Proceedings*, 2019.
7. Kopytowski A., Oniszczyk-Świercz D., Świercz R., Nowicki R., Chmielewski T., Sałaciński T., Micro wire electrical discharge machining of titanium alloy TI-6AL-4V, *METAL Conference Proceedings*, 2019.
8. Dorota Oniszczyk-Swiercz, Rafał Swiercz, Adrian Kopytowski, Rafał Nowicki Experimental Investigation and Optimization of Rough EDM of High-Thermal-Conductivity Tool Steel with a Thin-Walled Electrode, *MATERIALS*, 2023.
9. Adrian Kopytowski, Rafał Swiercz, Dorota Oniszczyk-Swiercz, Józef Zawora, Julia Kuczak, Łukasz Zrodowski Effects of a New Type of Grinding Wheel with Multi-Granular Abrasive Grains on Surface Topography Properties after Grinding of Inconel 625, *Materials*, 2023.
10. Michał Bańka, Mariusz Salwin, Roman Tylżanowski, Ireneusz Miciuła, Monika Sychowicz, Norbert Chmiel, Adrian Kopytowski Start-Up Accelerators and Their Impact on Entrepreneurship and Social Responsibility of the Manager, *Sustainability*, 2023.

11. Dorota Oniszczyk-Świercz, Adrian Kopytowski , Rafał Nowicki and Rafał Świercz Finishing Additively Manufactured Ti6Al4V Alloy with Low-Energy Electrical Discharges, Materials, 2023.

Dodatkowo należy zaznaczyć, że Doktorant brał udział w pięciu następujących krajowych projektach badawczych:

1. Projekt BRIK (NCiBR) POIR.04. 01.01-00-0029/17, Innowacyjne rozwiązania w zakresie ochrony ludzi i budynków przed drganiami od ruchu kolejowego, kierownik: prof. dr hab. inż. Artur Zbiciak, 01.06.2018 – 30.06.2022, WIL, Instytut Kolejnictwa.
2. Projekt BRIK (NCiBR) POIR.04. 01.01-00-0030/17, Innowacyjne rozwiązania w zakresie ochrony ludzi i środowiska przed drganiami od ruchu kolejowego, kierownik dr inż. Cezary Kraśkiewicz, 01.06.2018 – 30.06.2022, WIL, Instytut Kolejnictwa.
3. Grant wewnętrzny dla pracowników Politechniki Warszawskiej wspierający prowadzenie działalności naukowej w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna - Badania wpływu parametrów wejściowych procesu szlifowania tarczami wielogranulacyjnymi powierzchni płaskich na wybrane cechy warstwy wierzchniej nadstopów niklu./ Inżynieria mechaniczna, kierownik dr hab. inż. Józef Zawora, 08.06.2021-31.12.2022, WMT, Instytut Technik Wytwarzania.
4. „Inicjatywa doskonałości – uczelnia badawcza” w obszarze Technologii-Materiałowych - Opracowanie technologii obróbki wykończeniowej części wykonywanych metodami przyrostowymi selektywnego spiekania i topienia laserowego SLS/SLM z zastosowaniem nowego typu narzędzi ściernych na osnowie lepkosprężystego polimeru, kierownik: dr hab. inż. Rafał Świercz, WMT, Instytut Technik Wytwarzania.
5. AICUT - Wykonanie usługi badawczej we współpracy z firmą SAGADr inż. Mirosław Nejman W trakcie realizacji WMT, Instytut Technik Wytwarzania.

Doktorant brał również udział następujących konferencjach:

1. Konferencja Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych (SNOE) połączona z posiedzeniem Komisji Inżynierii Powierzchni Polskiej Akademii Nauk Oddział w Poznaniu, Warszawa, 09.10.2018 WIP NT, Organizator: Wydział Inżynierii Produkcji, Instytut Technik Wytwarzania.
2. Konferencja Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych (SNOE) pod patronatem Sekcji Technologii Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk. Kraków, 28.11. 2018. Organizator: Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny,
3. Konferencja Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych (SNOE) pod patronatem Sekcji Technologii Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk. Warszawa, 19.12. 2018, WIP NL. Organizator: Organizator: Wydział Inżynierii Produkcji, Instytut Technik Wytwarzania,
4. Konferencja Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych (SNOE) pod patronatem Sekcji Technologii Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk. Warszawa, 16.04.2019,
5. Międzynarodowa konferencja Metallurgy and Materials (METAL 2019). Czechy, Brno, 22-24.05.2019.
6. V Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Biznesowa Inżynieria Przyszłości 2019 Innowacyjne Rozwiązania Techniczne i Organizacyjne dla Przemysłu, 29-30.2019.
7. 43. Studencka Konferencja Naukowa pt. „Potencjał Innowacyjny w Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów”. Wydział Inżynierii Produkcji i technologii Materiałów Politechniki Częstochowskiej, 30.05.2019.
8. Konferencja „Wirtualna rzeczywistość jako odpowiedź na wyzwania w edukacji kierowców zawodowych”. Warszawa, 06.06.2019,
9. Warsztaty Technologiczne w Abplanalp. Warszawa, 14.10.2019,
10. IX Konferencja Smart City Forum. Warszawa, 15-16.06.2020,

11. IV Mazowieckie Sympozjum Spawalnicze „Innowacje w spawalnictwie”.
Warszawa, 17.06.2021,
12. „XIV Szkoła Obróbki Skrawaniem oraz XLIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej”, Lublin 15- 17 września 2021.
13. Konferencja Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych (SNOE) pod patronatem Sekcji Technologii Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk. Warszawa, 16.04.2019.
14. Konferencja Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych (SNOE), 21.03.2023.

Istotnym jest także fakt, że Doktorant był aktywny na Uczelni w ramach prac organizacyjnych m.in. będąc przewodniczącym Rady Doktorantów Politechniki Warszawskiej dwóch kadencji (lipiec 2020 – luty 2022), Senatorem Politechniki Warszawskiej (lipiec 2020 – luty 2022, od lutego 2022 – gość) oraz członkiem czterech Komisji Senackich Politechniki Warszawskiej, jak i przewodniczącym Zespołu ds. Współpracy Doktorantów z Ministerstwem Edukacji i Nauki (grudzień 2021- styczeń 2023). Był on także kilkakrotnym Laureatem Nagrody JM Rektora PW, za wyróżniającą się działalność na rzecz uczelni.

Jednoznacznie chciałbym zaznaczyć, że przygotowana praca doktorska jest na bardzo wysokim poziomie, jednakże prosiłbym Doktoranta o odniesienie się do następujących zagadnień w formie dyskusji:

1. Pewien niedosyt budzi brak szerszych informacji o wynikach badań wstępnych, które posłużyły do wyznaczenia badanych zmiennych niezależnych procesu szlifowania tj. prędkości skrawania, prędkości posuwu wzdłużnego, prędkości posuwu poprzecznego. Biorąc pod uwagę zaproponowaną nową konstrukcję ściernicy z frakcjami ziaren ściernych o różnej wielkości, celowe jest uwzględnienie jako zmiennej niezależnej wartości dosuwu. W przyjętej metodyce badań parametr ten przyjęto jako stały. Proszę o dyskusję.

2. Główną osią rozprawy jest analiza porównawcza efektów obróbki szlifowaniem w odniesieniu do pracy ziaren ściernych w konwencjonalnej i wielogranulacyjnej ściernicy. Przy czym w rozprawie nie wskazano metodyki doboru granulacji ziaren ściernych w opracowanym nowym typie ściernicy. Proszę o uzasadnienie wyboru granulacji 80 -100 - 120 w opracowanej tarczy wielogranulacyjnej. Czy na etapie projektowania nowego typu ściernic uwzględniono analizę wartości porowatości pozornej ściernicy dla różnej wielkości ziaren ściernych?
3. Ważną część rozprawy stanowią opracowane równania regresji opisujące wpływ badanych zmiennych niezależnych na wybrane parametry charakteryzujące cechy topografii obrabianych powierzchni. Przedstawiono metodykę wyznaczenia równań regresji, natomiast nie wskazano kryteriów selekcji modeli matematycznych. Nasuwa się pytanie czy dokonano analizy wyznaczonych modeli dla postaci funkcji innej niż wielomianowa, jeśli tak, jakie przyjęto kryteria selekcji modeli.
4. Istotny wpływ na przebieg procesu szlifowania ma nieregularna stereometria mikroziarna ściernego i zróżnicowanie cech geometrycznych poszczególnych fragmentów naroży oraz ich wielkości. W pracy przedstawiono analizę oddziaływania ziaren ściernych na mechanizm usuwania materiału. Nie poddano jednak dyskusji wpływu geometrii ziaren w CPS na proces formowania mikrowiórów. Geometria i efektywność odprowadzania mikrowiórów ze strefy mikroskrawania ma istotny wpływ na trwałość ściernicy jak i stan warstwy wierzchniej obrabianych części. Proszę o dyskusję.
5. Stwierdzenie zawarte na stronie 93 „Obserwacja części rys umożliwia zauważenie delikatnych odkształceń, które powstały w wyniku kontaktu wierzchołków ziaren ściernych odwzorowujących ich kształt geometryczny” jest nieprecyzyjne i wymaga bliższego wyjaśnienia. Proszę o dyskusję.

Podsumowując stwierdzam, że przedłożona do recenzji praca doktorska przygotowana w dyscyplinie inżynieria mechaniczna pod tytułem " *Badanie procesu szlifowania powierzchni z zastosowaniem wielo granulacyjnych tarcz ściernych*" przygotowana przez mgr inż. Adriana Kopytowskiego spełnia w mojej opinii wymogi ustawy „o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki”, w związku z czym wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Komisją Doktorską w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna. Chciałbym jednocześnie zaznaczyć, że złożoność rozwiązanego problemu naukowego, szeroki, dobrze zaplanowany zakres badań, rzetelność w jego realizacji oraz liczący się dorobek naukowy są podstawą do wyróżnienia tej pracy.



Koszalin, 23.10.2023

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Rokosz