

Łódź, dn. 08.03.2023 r.

**dr hab. inż. Marcin Gołabczak, prof. uczelni
Politechnika Łódzka**

Recenzja
pracy doktorskiej mgr inż. Marcina Sałaty
pt.: „Wpływ charakterystyki ściernic diamentowych na proces jednoprzęściowego szlifowania rowków wiórowych frezów z ultradroboziarnistych węglików spiekanych”

Recenzja opracowana na zlecenie (pismo z dnia 18.01.2023 r.) Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej dr hab. inż. Andrzeja Burghardta, prof. PRz

1. Ocena wyboru tematu

Szlifowanie ściernicowe pozostaje nadal podstawowym sposobem dokładnego i wydajnego kształtowania przedmiotów, zwłaszcza wykonywanych z materiałów konstrukcyjnych o dużej twardości i wytrzymałości. Wzrost wymagań stawianych współczesnym procesom wytwarzania, odnośnie uzyskiwania dużej wydajności i jakości szlifowanych powierzchni oraz zwiększenia produktywności i elastyczności produkcji, zintensyfikował prace badawcze nad zastosowaniem ściernic supertwardych oraz doskonaleniem nowatorskich sposobów szlifowania. Wśród innowacyjnych odmian i sposobów szlifowania wyróżnia się m.in.: szlifowanie z dużą prędkością ściernicy – HSG (*High Speed Grinding*), szlifowanie z dużą prędkością przedmiotu – SSG (*Speed Stroke Grinding*), szlifowanie wysoko wydajne – HEDG (*High Efficiency Deep Grinding*), szlifowanie z ciągłym sterowaniem toru ściernicy – CPCG (*Continuous Path Controlled Grinding*), szlifowanie ze zredukowanym stykiem ściernicy (*Quickpoint*), odmiany szlifowania jednoprzęściowego oraz szlifowanie hybrydowe wykorzystujące różne formy energii.

Recenzowana rozprawa wpisuje się w nurt wymienionych nowych kierunków badań procesów szlifowania, ponieważ dotyczy procesu jednoprzęściowego szlifowania ściernicami diamentowymi rowków wiórowych frezów z ultradroboziarnistego węgliku spiekane. Celem rozprawy jest bowiem zbadanie wpływu wielkości ziaren, koncentracji i rodzaju spoiwa ściernic diamentowych na składową normalną siłę szlifowania, temperaturę szlifowania, stereometrię powierzchni rowka wiórowego i stan krawędzi skrawającej w procesie jednoprzęściowego szlifowania frezów z ultradroboziarnistego węgliku spiekane.

Oceniam podejmowaną w rozprawie problematykę jako oryginalną i nowoczesną, wychodzącą naprzeciw współczesnym oczekiwaniom i potrzebom przemysłu, a jej temat jako celowy i ważny pod względem poznawczym i aplikacyjnym.

2. Merytoryczna ocena rozprawy

Rozprawa doktorska opracowana jest w postaci obszernej monografii zawierającej 206 stron, w tym: 118 rysunków i 65 tabel. Jej zasadniczą treść poprzedzają: spis treści, streszczenie w języku polskim i angielskim i wykaz ważniejszych oznaczeń, po których następuje 8 rozdziałów merytorycznych z poprawnie wydzielonymi podrozdziałami, zakończonych podsumowaniem i wnioskami końcowymi. Pracę zamyka spis literatury, zawierający 183 pozycje bibliograficzne. W pracy nie zamieszczono spisu rysunków i tabel. Przyjęty układ rozprawy i jej podział na rozdziały i podrozdziały ma typową narrację dla prac doktorskich, którą oceniam jako przejrzystą i poprawną.

Rozdział pierwszy – Wprowadzenie – zawiera informacje o współczesnych trendach w rozwoju procesów produkcyjnych oraz wymaganiach stawianych procesom obróbkowym, w tym zwłaszcza procesom szlifowania rowków wiórowych pełnowęglkowych frezów. Wskazano na główne problemy występujące w procesach szlifowania rowków wiórowych oraz wymieniono podstawowe czynniki wpływające na efektywność tego procesu. W zakończeniu rozdziału skrótowo scharakteryzowano poszczególne rozdziały pracy.

W rozdziale drugim przedstawiono przegląd literatury dotyczącej podejmowanego tematu pracy. Kolejne jego podrozdziały zawierają: charakterystykę właściwości węglków spiekanych (2.1), zastosowanie szlifowania do kształtowania rowków wiórowych w narzędziach pełnowęglkowych (2.2), istotę jednoprzęściowego szlifowania rowków wiórowych narzędzi pełnowęglkowych (2.3), charakterystykę techniczną ściernic ze ścierniw diamentowych (2.4), analizę wybranych wyników badań pomiaru siły szlifowania w procesie jednoprzęściowego szlifowania rowków narzędzi pełnowęglkowych (2.5), pomiary temperatury szlifowania (2.6) oraz parametry oceny chropowatości powierzchni po szlifowaniu narzędzi z ultradrobnoziarnistego węgla spiekane.

Niedosyt budzi brak podsumowania i wniosków z analizowanej literatury, dotyczących zwłaszcza uzasadnienia podejmowanej w rozprawie tematyki badawczej. Ponadto zbyt skrótowo potraktowano wyniki badań innych autorów, dotyczące jednoprzęściowego szlifowania węglków spiekanych.

Rozdział trzeci zawiera cel, tezę i zakres pracy. Cel pracy sformułowany jest poprawnie i właściwie odzwierciedla tytuł rozprawy. Teza pracy, chociaż szczegółowa i rozbudowana,

jednak nie ujawnia postaci określanych zależności pomiędzy wymienionymi czynnikami i parametrami procesu szlifowania oraz nie precyzuje metody sprawdzenia jej słuszności. Zaprezentowany zakres pracy można uznać za poprawny i kompletny.

Rozdział czwarty, zatytułowany: „*Warunki i metodyka badań*”, zawiera dodatkowo opis stanowiska badawczego i urządzeń pomiarowych (4.6). Z tego względu, zdaniem recenzenta, należało uszczegółowić tytuł rozdziału 4 lub wydzielić podrozdział 4.6 jako odrębną część pracy. W podrozdziale 4.1 przedstawiono prawny model obiektu badań doświadczalnych oraz scharakteryzowano jego wielkości wejściowe i wyjściowe.

W podrozdziale 4.2 przedstawiono parametry geometryczne i kinematyczne oraz warunki jednoprzęściowego szlifowania rowków wiórowych frezu. W kolejnym podrozdziale 4.3 opisano właściwości materiału badanych próbek oraz sposób ich przygotowania, mocowania i pomiaru. W podrozdziale 4.4 zamieszczono charakterystykę techniczną wykorzystywanych ściernic diamentowych, opisano sposób pomiaru ich makrogeometrii oraz przygotowania ściernic do pracy. Przedstawiono następnie (4.5) plan badań doświadczalnych oraz opis współczynników do oceny dopasowania uzyskiwanych modeli. Brakuje natomiast informacji o przyjętych obszarach zmienności badanych wielkości wejściowych, ich standaryzacji i kroku w poszczególnych próbach. Podrozdział 4.6 zawiera opis stanowiska badawczego (pięćosiowego centrum szlifierskiego FORTIS), wykorzystywanych układów pomiarowych: składowych siły szlifowania, temperatury szlifowania oraz pomiaru chropowatości powierzchni, promienia zaokrąglenia krawędzi skrawającej szlifowanych frezów. Następnie opisano stanowiska do pomiaru zużycia promienia zaokrąglenia naroża ściernicy oraz zużycia jej średnicy. Przedstawiony w tym rozdziale opis metodyki badań oraz stanowiska badawczego opracowany jest poprawnie.

Następnie Doktorant zrelacjonował w trzech obszernych rozdziałach (123 str.) wyniki badań doświadczalnych, obejmujące następujące etapy: wpływ parametrów technologicznych na proces szlifowania (rozd. 5), badania zużycia ściernic diamentowych (rozd. 6) oraz badania wpływu charakterystyki ściernic diamentowych (rozd. 7).

W rozdziale piątym przedstawiono dyskusję pierwszego etapu badań doświadczalnych, dotyczących ustalenia wpływu parametrów technologicznych na: temperaturę szlifowania (5.1), składową normalną siły szlifowania (5.2) oraz chropowatość powierzchni po szlifowaniu (5.3). W podrozdziale 5.1 zamieszczono modele analityczne opisujące równaniami wielomianowymi temperaturę szlifowania oraz statystyki regresji tych modeli. Modele te dotyczą oceny wpływu technologicznych parametrów szlifowania (tj.: prędkości szlifowania i prędkości posuwu) ściernicami diamentowymi ze zróżnicowanym spoiwem (spoiwem

żywicznym, hybrydowym 1 i hybrydowym 2) na temperaturę szlifowania. Zamieszczono również wykresy ilustrujące graficzną interpretację opracowanych modeli. Na wykresach zobrazowano wpływ parametrów szlifowania i spoiwa badanych ściernic na temperaturę szlifowania oraz wydzielono strefy występowania niebezpiecznych przypaleń i mikropęknięć szlifierskich. Prezentowane wyniki badań, modele analityczne i wykresy opatrzone są dyskusją i stosownymi komentarzami oraz podsumowaniem tego etapu badań.

W podrozdziale 5.2 przedstawiono, w podobnej formie jak w pkt. 51, relację z wyników badań, dotyczących wpływu technologicznych parametrów procesu szlifowania trzema ściernicami diamentowymi ze zróżnicowanym spoiwem (żywicznym, hybrydowym 1 i hybrydowym 2) na składową siłę szlifowania. Przedstawiono modele analityczne i statystyki regresji tych modeli, opisujące równaniami wielomianowymi wpływ parametrów szlifowania i spoiwa badanych ściernic na składową siłę szlifowania. Na wykresach przedstawiono graficzną interpretację tych modeli oraz zamieszczono wykresy wpływu parametrów szlifowania i rodzaju spoiw badanych ściernic na składową siłę szlifowania. Poszczególne etapy opisywanych wyników badań opatrzone są logiczną dyskusją i komentarzami do prezentowanych wyników oraz podsumowaniem tego etapu badań.

Podrozdział 5.3 zawiera opis wyników badań, dotyczących wpływu technologicznych parametrów szlifowania i trzech ściernic diamentowych ze spoiwem żywicznym, hybrydowym 1 i hybrydowym 2 na chropowatość powierzchni, ocenianą parametrami R_a i R_z . W podobnej formie przedstawiono modele analityczne parametrów R_a i R_z , statystyki regresji tych modeli, wykresy ilustrujące graficzną interpretację tych modeli oraz wykresy porównawcze uzyskanych parametrów R_a i R_z w poszczególnych próbach. Prezentowane modele analityczne oraz wykresy opisujące zmiany parametrów R_a i R_z opatrzone są dyskusją i stosownymi komentarzami. Brakuje jednak podsumowania obszernego rozdziału 5 i podania miar rozrzutu prezentowanych wyników badań.

W rozdziale szóstym przedstawiono wyniki badań, dotyczących oceny zużycia promienia naroża i ubytku liniowego trzech ściernic diamentowych ze zróżnicowanym spoiwem (żywicznym, hybrydowym 1 i hybrydowym 2) w wybranych próbach szlifowania rowków wiórowych frezów. Autor pominął miary rozrzutu wyników badań na prezentowanych wykresach i nie umieścił konkluzji lub wniosków wynikających z przeprowadzonych badań w zakończeniu rozdziału. Dyskusyjne są również wartości maksymalnego zużycia promienia naroża i ubytku liniowego ściernic na prezentowanych wykresach, nieprecyzyjne określenia: „*po wszystkich próbach szlifowania*” oraz wydzielenie tego krótkiego opisu badań (5 str.) jako odrębnego rozdziału rozprawy.

Rozdział siódmy zatytułowany „Badania wpływu charakterystyki ściernic diamentowych” zawiera cztery podrozdziały opisujące wyniki badań. Dotyczą one określenia: wpływu numeru ziarna oraz koncentracji na temperaturę szlifowania T (pkt. 7.1), wpływu nr ziarna oraz koncentracji na składową normalną siłę szlifowania F_n (pkt. 7.2), wpływu numeru ziarna i koncentracji ziaren na chropowatość powierzchni (pkt. 7.3), wpływu numeru ziarna i koncentracji ziaren na promień zaokrąglenia krawędzi skrawającej r_n (pkt. 7.4) oraz wpływu spoiwa ściernic diamentowych na T , F_n , Ra , Rz , i r_n (pkt. 7.5). Tytuł rozdziału jest zbyt uproszczony, ponieważ nie odzwierciedla jego zawartości.

W podrozdziale 7.1 zamieszczono modele analityczne i równania wielomianowe opisujące wpływ numeru ziarna oraz koncentracji na temperaturę szlifowania T ściernicami diamentowymi ze spoiwem żywicznym, hybrydowym 1 i hybrydowym 2. Zawarto tutaj również graficzne interpretacje opracowanych modeli, obliczenia współczynników i statystyk regresji tych modeli, wykresy interakcji numeru ziarna i ich koncentracji w ścierniach oraz wykresy wpływu technologicznych parametrów szlifowania na temperaturę szlifowania. Prezentowane wyniki badań opatrzone logiczną dyskusją i komentarzami, a w zakończeniu tego podrozdziału zamieszczono podsumowanie.

W kolejnym podrozdziale 7.2 zawarto, w podobnej formie i konfiguracji jak w pkt. 7.1, opis wyników badań dotyczący wpływ numeru ziaren i ich koncentracji na składową normalną siłę szlifowania F_n . Zamieszczono tutaj modele analityczne opisujące równaniami wielomianowymi wpływ numeru ziarna i koncentracji na składową normalną siłę szlifowania F_n w próbach szlifowania ściernicami diamentowymi ze spoiwem żywicznym, hybrydowym 1 i hybrydowym 2. Podano także graficzne interpretacje opracowanych modeli, wyniki obliczeń współczynników i statystyki regresji tych modeli, wykresy interakcji numeru ziarna, koncentracji ziaren w ścierniach oraz technologicznych parametrów szlifowania na składową normalną siłę szlifowania F_n . Prezentowane wyniki badań opatrzone są dyskusją i komentarzami oraz zawierają podsumowanie tego podrozdziału.

Podrozdział 7.3 zawiera, podobną formę i konfigurację jak w pkt. 7.1, opisu wyników badań, dotyczących wpływu numeru ziarna i ich koncentracji w ściernicach ze spoiwem żywicznym, hybrydowym 1 i hybrydowym 2 na parametry chropowatości powierzchni Ra i Rz . Zamieszczono w nim modele analityczne chropowatości powierzchni oraz równania wielomianowe opisujące wpływ numeru ziarna i koncentracji na chropowatość powierzchni po próbach szlifowania ściernicami diamentowymi ze spoiwem żywicznym, hybrydowym 1 i hybrydowym 2. Podano graficzne interpretacje opracowanych modeli, wyniki obliczeń współczynników i statystyki regresji tych modeli oraz wykresy interakcji numeru ziarna

i technologicznych parametrów szlifowania na chropowatość powierzchni Ra i Rz . Prezentowane modele i wykresy opatrzone są także dyskusją i komentarzami oraz podsumowaniem tego podrozdziału.

W podrozdziale 7.4 zawarto równania regresji modeli opisujących wpływ numeru ziarna oraz ich koncentracji w ściernicach ze spoiwem żywicznym, hybrydowym 1 i hybrydowym 2 na promień zaokrąglenia krawędzi skrawającej ściernicy r_n . Z uwagi na duże przedziały zmienności promienia zaokrąglenia krawędzi skrawającej uzyskiwanych wyników, ograniczono się do przedstawienia tzw. wykresów „pudełkowych” rozkładu promienia zaokrąglenia krawędzi oraz zamieszczenia wyników obliczeń współczynników istotności modeli tylko dla prób szlifowania, w których stosowano ściernice o numerze ziarnistości oznaczonej symbolem D oraz koncentracji ziaren w ściernicach oznaczonej symbolem C. Prezentowane wyniki badań opatrzone są dyskusją i stosownymi komentarzami.

Podrozdział 7.5 zawiera opis wybranych wyników badań porównawczych, dotyczący oceny wpływu rodzaju spoiwa ściernic diamentowych (ze spoiwem żywicznym, hybrydowym 1 i hybrydowym 2) na temperaturę szlifowania T , składową siłę szlifowania F_n , chropowatość powierzchni Ra i Rz oraz promień zaokrąglenia krawędzi skrawającej r_n (pkt. 7.5). Prezentowane wyniki przedstawiono w postaci wykresów „pudełkowych”, na których porównywano rozkłady wartości analizowanych parametrów, uzyskiwanych w warunkach stałej wydajności szlifowania Q_{const} i maksymalnej wydajności szlifowania Q_{max} , ściernicami diamentowymi ze zróżnicowanym spoiwem. Prezentowane wyniki badań opatrzone logiczną dyskusją i komentarzami.

Rozdział ósmy zawiera obszernie podsumowanie oraz wnioski końcowe, które przyporządkowano poszczególnym etapom realizowanych badań doświadczalnych. Opisano także kierunki prowadzenia dalszych badań w tym obszarze oraz sformułowano wnioski ogólne. Prezentowane wnioski mają zróżnicowany stopień ważności i szczegółowości, potwierdzają one jednak osiągnięcie przez Doktoranta zamierzonych celów naukowych rozprawy. Niedosyt budzi brak uszeregowania wniosków na wnioski poznawcze i użytkowe.

Rozdział dziewiąty – Literatura zawiera 183 pozycje bibliograficzne pochodzące z artykułów w czasopiśmie krajowych i zagranicznych, referatów zamieszczonych w materiałach konferencji zagranicznych i krajowych oraz monografie, książki i podręczniki. Należy podkreślić, że wśród zamieszczonej bibliografii 42 pozycje pochodzą z okresu ostatnich 7 lat, co stanowi około 30%. Doktorant jest również współautorem 14 publikacji. Poszczególne pozycje bibliograficzne są na ogół właściwie dobrane i poprawnie cytowane w tekście monografii.

3. Ocena strony redakcyjnej

Oceniając rozprawę doktorską pod względem redakcyjnym należy podkreślić, że tytuł rozprawy odzwierciedla jej treść, układ pracy i jej podział na rozdziały i podrozdziały jest poprawny, a zamieszczone rysunki i wykresy są czytelne. Rozprawa napisana jest na ogół poprawnie pod względem językowym. Doktorant nie ustrzegł się jednak błędów gramatycznych, interpunkcyjnych, niefortunnnych sformułowań i określeń oraz innych uchybień. Wybrane przykłady takich błędów przytoczono poniżej:

- liczne stosowanie skrótów na początku zdania lub w środku zdań, np.: str. 37₁ – „... przedstawiono na rys. 2.3 ... zestawiono w tab. 4.1.”; str. 45₂ – „... w tab. 4.4 ... na rys. 4.10; str. 49₁₁ – ... na rys. 4.12.”; str. 17³ – „Na rys. 2.2 ...”; str. 63₉ – „Na rys. 4.27....”; str. 155₆ – „Na rys. 7.14 ...”; str. 135¹¹ – „Na rys. 6.1 ...”; str. 136² – „Na rys. 6.2 ...”; str. 137¹¹ – „Na rys. 6.4 ...”; str. 141₃ – „Na rys. 7.1 ...”; str. 147¹⁰ – „Na rys. 2.4.”;”; str. 149₈ – „Na rys. 7.10 ...”; str. 155⁶ – „Na rys. 7.14 ...”; str. 158₆ – „Na rys. 7.17 ...”; str. 163₃ – „Na rys. 7.21 ...”; str. 181⁶ – „Na rys. 7.34a ...”.
- stosowanie niefortunnnych i nieadekwatnych określeń, np.: str. 40, Tab. 4.2 – „Ilość rowków wiórowych”; str. 45₁₆ – „... ściernice o spoiwie żywicznym ...”; str. 48₈ – „Stosowano 40 przejazdów ...”; str. 54₅ – „... wykonano osłonę a następnie została pomalowana.”; str. 61₄ – „Pomiary wykonano w 3 miejscach na długości ...”; str. 73₉ – „ Model temperatury dla ściernic o spoiwie hybrydowym 1”; str. 71₁ – „ Dodatkowo zauważono przypalenie ściernicy.”; str. 73⁹ – „... wskazując na bardzo dobrą jakość modelu.”; str. 79₇ – „...wpływ na zmienna objaśnianą.”; str. 139₂ – „Najniższe zużycie średnicowe ...”; str. 178₃ – „Podsumowując wykresy ...”;
- rozpoczynanie zdań od słowa „Natomiast”, np.: str. 6₁₁, str. 15³; str. 43⁷; str. 55₃; str. 108⁴; str. 149₁₁; str. 161²; str. 179⁴.

Zawarte w recenzji uwagi krytyczne mają na ogół charakter dyskusyjny, do których Doktorant może odnieść się podczas publicznej obrony.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska wnosi istotne wartości poznawcze i aplikacyjne w zakresie jednoprzęściowego szlifowania rowków wiórowych frezów pełnowęglkowych ściernicami diamentowymi. Do najważniejszych osiągnięć naukowych Doktoranta zaliczam:

- zaprojektowanie i wykonanie stanowiska badawczego do realizacji procesu jednoprzęściowego szlifowania rowków wiórowych frezów pełnowęglkowych ściernicami diamentowymi o zróżnicowanej charakterystyce technicznej oraz systemów

pomiarowych do pomiaru składowych siły szlifowania, temperatury szlifowania i zużycia zarysu promieniowego i ubytku liniowego ściernic diamentowych;

- opracowanie modeli i zbioru równań regresji opisujących wpływ parametrów technologicznych procesu jednoprzęściowego szlifowania rowków wiórowych frezów pełnowęglkowych oraz charakterystyki technicznej ściernic diamentowych na składową normalną siły szlifowania, temperaturę szlifowania, chropowatość powierzchni szlifowanych i intensywność zużycia zarysu promieniowego i ubytku liniowego ściernic diamentowych ze zróżnicowanym spoiwem;
- opracowanie wytycznych służących doskonaleniu procesu jednoprzęściowego szlifowania rowków wiórowych frezów pełnowęglkowych ściernicami diamentowymi ze zróżnicowanym spoiwem;
- sformułowanie logicznych wniosków o znaczeniu poznawczym i użytecznym.

4. Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji praca doktorska mgr inż. Marcina Sałaty zawiera samodzielne opracowanie zagadnienia naukowego. Autor wykazał się wymaganą wiedzą, sumiennością i umiejętnością prowadzenia badań naukowych oraz przedstawiania wyników.


Na podstawie przedstawionej oceny stwierdzam, że opiniowana praca mgr inż. Marcina Sałaty spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim określone w: art. 14 ust. 1 oraz ust. 2 pkt. 2 i art.12 ust. 1 i 2 Ustawy z dn. 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r., poz. 1789 ze zm.) oraz § 3 ust. 1 i § 6 ust. 1-2 rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dn. 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 r., poz. 261), w związku z art. 179 ust. 1-3 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1669 ze zm.) i rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych (Dz. U. z 2018 r., poz. 1818).

Rozprawa doktorska mgr inż. Marcina Sałaty może stanowić podstawę do ubiegania się o stopień naukowy doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Wnioskuje o dopuszczenie mgr inż. Marcina Sałaty do publicznej obrony przedstawionej rozprawy doktorskiej.

Biorąc pod uwagę bardzo obszerny zakres zrealizowanych badań eksperymentalnych, wykazane w recenzji osiągnięcia naukowe oraz 14 współautorskich publikacji Doktoranta, wnioskuję także o wyróżnienie rozprawy.

Łódź, dn. 08.03.2023 r.


dr hab. inż. Marcin Gołabczak, prof. uczelni