

Dr hab. inż. Krzysztof Żak, prof. PO
Wydział Mechaniczny
Katedra Technologii Maszyn i Materiałoznawstwa
Politechnika Opolska

Opole, dnia 07.01.2022 r.



Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Natalii ZNOJKIEWICZ nt.
Modelowanie chropowatości powierzchni po frezowaniu kompozytu
aluminiowo-ceramicznego

Promotor: dr hab. inż. Paweł TWARDOWSKI, prof. PP

Recenzja została opracowana na podstawie pisma Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej dr hab. inż. Olafa Ciszka, prof. P.P nr DIM.075.245.2021 z dnia 30.11.2021 r.

1. Tematyka rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Natalii Znojkiwicz silnie związana jest z zagadnieniami związanymi z inżynierią mechaniczną w zakresie technologii obróbki oraz topografii powierzchni.

Struktura geometryczna powierzchni ma znaczący wpływ na jakość współpracujących elementów, natomiast modelowanie mikronierówności powierzchni obrabianej jest o tyle trudniejsza, gdyż istnieje wiele sposobów modelowania matematycznego, które zależy przede wszystkim od celów stawianych przed modelem. Celami tymi mogą być ocena jakościowa i ilościowa struktury geometrycznej powierzchni wytworzonej za pomocą różnych procesów technologicznych, prognozowanie wyników ilościowych na podstawie zadanych parametrów wejściowych procesu obróbki, ocena zjawisk powierzchniowych zachodzących w tych procesach jak i zakresu i skali ich występowania.

Podjęta tematyka rozprawy doktorskiej przez panią mgr inż. Natalię Znojkiwicz jest aktualna nie tylko z punktu widzenia poznawczego, lecz także w aspekcie użytkowym, technologicznym i eksploatacyjnym części, pomimo że na przełomie kilkudziesięciu ostatnich lat tematyka związana z modelowaniem chropowatości powierzchni po obróbce była przedmiotem licznych badań i publikacji, aktualność i oryginalność tematu podjętego w recenzowanej rozprawie doktorskiej nie budzi wątpliwości.

Rozprawa doktorska obejmuje prace doświadczalno-analityczne w zakresie badań struktury geometrycznej powierzchni po obróbce kompozytu aluminiowo-ceramicznego kształtowanego w procesie frezowania skupiając się na opracowaniu

modelu chropowatości powierzchni pozwalającego na dobór optymalnych parametrów dla obróbki frezowaniem kompozytów włóknistych (MMC).

Podsumowując, podjętą tematykę rozprawy uważam za nowatorską i bardzo ważną w aspekcie pragmatycznym, a w ten sposób oceniam jak najbardziej pozytywnie.

2. Ogólna ocena treści, układu i zakresu rozprawy

Rozprawa liczy 139 stron i składa się z 8 rozdziałów w tym wprowadzenia, spisu treści, wykazu ważniejszych oznaczeń, spisu literatury obejmującego 103 pozycje, spisu tabel i spisu rysunków oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

We **Wprowadzeniu** (rozdział 1) do rozprawy doktorskiej, Autorka rozprawy w syntetyczny sposób charakteryzuje materiały kompozytowe oraz problemy na które można napotkać podczas obróbki tego typu materiałów. Scharakteryzowała koncepcję przeglądu literatury naukowej pod kątem modelowania chropowatości powierzchni skupiając się głównie na procesie frezowania, a także przedstawiła krótką charakterystykę przeprowadzonych badań własnych które umożliwiły sformułowanie modelu matematycznego chropowatości powierzchni (modelu hybrydowego).

Rozdział 2 **Aktualny stan zagadnienia** zawiera trzy podrozdziały, natomiast podrozdział 2.3 został podzielony na cztery podrozdziały. Autorka w rozdziale tym przedstawia aktualny stan zagadnienia w oparciu o wyniki prac badaczy z różnych ośrodków naukowych krajowych i zagranicznych.

W podrozdziale 2.1. Autorka przedstawia charakterystykę oraz zastosowanie kompozytów metalowo-ceramicznych których zastosowanie jest obecnie szerokie w wielu gałęziach przemysłu ze względu na ich korzystne właściwości takie jak wytrzymałość, sztywność przy ich małej masie właściwej w porównaniu np. z metalami.

W podrozdziale 2.2 przedstawiona jest problematyka w obróbce (skrawalności) tego typu materiałów. Jak wiemy kompozyty charakteryzują się strukturą o budowie niejednorodnej, anizotropią i wzmacnianiem materiałami o właściwościach ściernych co wiąże się z dużymi problemami podczas obróbki tych materiałów, a jest kluczowe dla większego wykorzystania materiałów kompozytowych w przemyśle.

W kolejnym podrozdziale 2.3 oraz jego podrozdziałach autorka omawia różne podejścia naukowców do modelowania chropowatości powierzchni co zostało przedawnione na wstępie podrozdziału 2.3.1 str. 32. W czytelny sposób przedstawiła czynniki jakie wpływają na chropowatość powierzchni obrobionej Rys. 2.1.3 str. 33. W podrozdziale tym doktorantka słusznie w mojej opinii stwierdziła, że modelowanie

mikronierówności powierzchni jest procesem złożonym (str. 47) obejmującym wiele czynników. Świadczy to o dobrym przeglądzie literatury naukowej.

Podsumowując rozdział 2 rozprawy mogę stwierdzić, że Autorka w sposób wyczerpujący i interesujący dla czytelnika przedstawiła charakterystykę i zastosowanie materiałów kompozytowych oraz aktualny stan wiedzy na temat skrawalności jak i sposobu podejścia do modelowania chropowatości powierzchni. Nie mniej autorka nie ustrzegła się drobnych błędów (literówek) czy braku wyjaśnienia szerszego niektórych pojęć, co może utrudniać dobre zrozumienie tekstu. Szerzej o tym będę pisał w **Uwagach do rozprawy doktorskiej**.

W rozdziale 3 pracy, autorka sformułowała cel pracy oraz zakres pracy w którym przedstawiła zastosowane narzędzia wykorzystane w badaniach oraz stanowisko badawcze. Scharakteryzowała materiał badawczy którym był kompozyt aluminiowo-ceramiczny MMC typu DURALCAN F35.10S wraz ze zdjęciami mikrostruktur materiału badawczego. Następnie w dalszej części rozdziału rozprawy autorka przedstawiła w punktach metodykę i warunki badań wstępnych i zasadniczych przeprowadzonych w ramach rozprawy.

W rozdziale 4 rozprawy Doktoranta przedstawiła wyniki **Badań Wstępnych** dla różnej kombinacji parametrów obróbkowych zaprezentowanych kolejno w tabelach. Przeprowadziła pomiary podstawowych parametrów chropowatości powierzchni **Ra**, **Rz** i **Rt**, wyniki pomiarów przedstawiono w postaci wykresów rozrzutu dla przyjętego przedziału ufności 95% wraz z ich interpretacją.

Również przeprowadzono dyskusję wyników badań wstępnych która była niezbędna w kolejnym zaplanowanym etapie badań, którym były badania zasadnicze.

Rozdział 5 rozprawy dotyczył przeprowadzonych **Badań Zasadniczych** których celem było sprawdzenie słuszności wniosków płynących z przeprowadzonych badań wstępnych w których doktorantka wykazała większą efektywność wykorzystania frezów z powłoką diamentową w porównaniu do pozostałych zastosowanych w badaniach frezów. Również w tym celu autorka postanowiła przeprowadzić badania chropowatości powierzchni 3D których wyniki zostały przedstawione w postaci obrazów izometrycznych próbek po frezowaniu, co uważam za dobre posunięcie, które daje nam możliwość przeprowadzenia lepszej analizy i zaobserwowania pewnych cech, po obróbce których nie daje nam pomiar 2D. W kolejnej części rozprawy doktorskiej autorka mając dane z badań wstępnych jak i zasadniczych rozpoczęła pracę nad sformułowaniem modelu chropowatości powierzchni. Analizując otrzymane wyniki autorka przedstawił w swój autorski **model chropowatości powierzchni (model hybrydowy)** składający się z dwóch członów

(człon analityczny model Brammertz'a i człon doświadczalny), który następnie został sprawdzony pod kątem dokładności z modelem kinematyczno-geometrycznym i modelem Brammertz'a.

Rozdział 7 przedstawia **Wnioski** które zostały podzielone na trzy grupy: **Wnioski poznawcze**, gdzie w dziewięciu punktach w syntetyczny sposób autorka przedstawiła wyniki przeprowadzonej analizy literaturowej oraz badań własnych. Następnie **Wnioski uylitarne** które stanowią podsumowanie rozprawy doktorskiej oraz ocenę autorskiego modelu chropowatości powierzchni (**model hybrydowy**).

Ostatni wniosek to **Wnioski do dalszych badań**, które jak zauważyła autorka są bardzo ważne dla lepszego opisu zaproponowanego przez autorkę modelu hybrydowego i ewentualnego skorygowania wyznaczonych współczynników, które w modelu wyznaczone są doświadczalnie. Dzięki temu możliwe będzie uzyskanie dokładniejszego modelu. Zasadne jest rozszerzenie badań o inne materiały, a także należy rozszerzyć analizę SGP o inne parametry które mogą pomóc w lepszym zrozumieniu zachodzących zjawisk podczas obróbki.

Bibliografia obejmuje zestawienie łącznie 103 pozycji, zarówno książek jak i artykułów. **Dobór literatury uważam za poprawny i aktualny**. W bibliografii można również znaleźć jedno opracowanie współautorskie mgr inż. Natalii Znojkiwicz.

Ogólna kompozycja rozprawy zasługuje na ocenę pozytywną. Autorka poprawnie przyjął kolejność rozdziałów i w większości przypadków dokonał prawidłowego podziału treści na rozdziały i podrozdziały. W pracy napotkałem w moim odczuciu na pewne braki co dla czytających może stanowić utrudnienie oraz zrozumienie, a także nieścisłości (do których odniosę się w dalszej części recenzji).

Niniejsze niedoskonałości mają jednak znaczenie drugorzędne i nie umniejszają znaczących walorów naukowych pracy.

Podsumowując ogólną ocenę treści rozprawy chciałbym przedstawić jej najważniejsze zalety naukowe, wskazujące jednocześnie na osiągnięcia naukowe autorki:

- kompleksowe podejście do problemu badawczego obejmujące nie tylko przeprowadzenie badań doświadczalnych, lecz również sformułowanie modelu analitycznego chropowatości powierzchni,
- opracowanie autorskiego modelu hybrydowego który ma pomóc w optymalizacji parametrów technologicznych podczas frezowania materiałów kompozytowych MMC.

3. Uwagi do rozprawy doktorskiej

W niniejszej części recenzji zaprezentuję pewne uwagi, a także fragmenty rozprawy wymagające dodatkowych komentarzy i wyjaśnień ze strony Autorki. Chciałbym zaznaczyć, iż w większości przypadków uwagi te mają charakter dyskusyjny, a nie stanowią bezpośredniego stwierdzenia niedociągnięć lub błędów.

- **Strona tytułowa rozprawy doktorskiej jest:** „MODELOWANIE CHROPOWATOŚCI POWIERZCHNI PO FREZOWANIU KOMPOZYTU ALUMIONIOWO-CERAMICZNEGO”. Powinno być: „MODELOWANIE CHROPOWATOŚCI POWIERZCHNI PO FREZOWANIU KOMPOZYTU ALUMINIOWO-CERAMICZNEGO”.
- **Rozdział 2.2. „Skrawalność materiałów kompozytowych”, str. 25:** zdanie: „*Interesujące wyniki można znaleźć w pracach doświadczalnych przeprowadzonych przez Pedersona i Ramulu [77], w których przeprowadzono obróbkę wykańczającą magnezu zbrojonego cząstkami węgliku krzemu. Stwierdzili, że chropowatość powierzchni obrabianej części była doskonała ($R_a = 0,2-0,3 \mu m$)*”. **Co Pani przez to stwierdzenie „doskonała” rozumie? Proszę wyjaśnić.**
- **Rozdział 2.2. „Skrawalność materiałów kompozytowych”, str. 25:** zdanie: „*Obróbka cieplna osnowy również wykazuje istotny wpływ na skrawalność: wyższa twardość osnowy w wyniku obróbki cieplnej generalnie skraca trwałość narzędzia [41]. Barnes i in. [4] sugerują, że najlepszą skrawalnością materiału pod względem trwałości narzędzia jest miękki stan osnowy; w praktyce sugerują oni obrabianie materiału przed jakąkolwiek obróbką termiczną polegającą na **solubilizacji** lub starzeniu*”. **Należało tu krótko wyjaśnić czytelnikowi co to jest za proces.**
- **Rozdział 2.2. „Skrawalność materiałów kompozytowych”, str. 25:** zdanie: „*Cheung i in. [15] przeprowadzili analizę mechanizmów worzenia chropowatości powierzchni...*”. **Powinno być: tworzenia,**
- **Rozdział 2.2. „Skrawalność materiałów kompozytowych”, str. 27:** zdanie: „*.....z drugiej strony przy twardszej osnowie nabierają znaczenia **kolejne problemy***”. **Co Pani przez to stwierdzenie „kolejne problemy” rozumie? Proszę wyjaśnić**
- **Rozdział 2.2. „Skrawalność materiałów kompozytowych”, str. 27:** zdanie: „*Zastosowaną metodą przygotowania kompozytów była metoda odlewania stir casting*”. **Należało tu krótko wyjaśnić czytelnikowi co to jest za metoda.**

- **Rozdział 2.3.2. „Modele analityczne”, str. 34:** zdanie: „Jedna z drugiej strony chropowatość powierzchni ...”. **Powinno być: Jednak.**
- **Rozdział 3. „CEL, ZAKRES I METODYKA PRACY”, str. 49 i str. 50:** Przedstawiła Pani narzędzia użyte w badaniach w Tab. 3.1. zaprezentowane zostały parametry frezów natomiast na str. 50 ich zdjęcia, które nic nie wnoszą do pracy. Myli także Pani powłokę wielowarstwową węgielazotku tytanu, nazywając ją powłoką ceramiczną. Proszę o udowodnienie, że jest to powłoka ceramiczna. Moim zdaniem to nie jest powłoka ceramiczna. Następnie prezentując narzędzia należy podać ich pełną specyfikację geometryczną to pomoże w lepszym zrozumieniu problematyki oraz analizie zaprezentowanych wyników badawczych.
- **Rozdział 3. „CEL, ZAKRES I METODYKA PRACY”, str. 51:** W Tab. 3.3 podana twardość badanego materiału powinna być wyrażona w skali **HRC** a nie **HRB**.
- **Rozdział 5. „BADANIA ZASADNICZE”, str. 83 i 84:** W Tab. 5.4, 5.5 i 5.6, podaje Pani posuw na ząb f_z , moim zdaniem było by lepiej podać wartość posuwu f lepiej wizualizowało by to otrzymane wyniki z pomiarów SGP, a w ten sposób moim zdaniem mamy tu do czynienia z małym chaosem i w pewnym niezrozumieniu przez czytającego.
- **Rozdział 5. „BADANIA ZASADNICZE”, str. 103:** zdanie: „.....W przypadku, gdyby było wyraźne odwzorowanie ostrza w materiale obrabianym na osi X widać by było dominujący prążek o długości $\lambda = 0,2$ mm. Skoro dla największego posuwu nie zaobserwowano takiego zjawiska to tym bardziej dla małych wartości f zjawisko odwzorowania posuwu nie wystąpi.”. **Proszę o szersze wyjaśnienie tego stwierdzenia.**
- **Rozdział 5. „BADANIA ZASADNICZE”, str. 110:** wyznaczyła Pani 3 współczynniki α , β oraz γ i dalej pisze Pani „...Są to współczynniki bezwymiarowe, które zgodnie z zasadami statystyki normują wartości zmiennych (wartości wejściowych) do wartości wyjściowych.” Oraz wcześniej napisane zostało, że zostały wyznaczone w drodze doświadczalnej. **Proszę o dokładniejsze sprecyzowanie jak zostały wyznaczone te współczynniki.**

4. Podsumowanie i wnioski końcowe

Podsumowując recenzję stwierdzam, że mgr inż. Natalia Znojkiwicz zdefiniowała, a następnie rozwiązała istotny i aktualny problem naukowy dotyczący modelowania chropowatości powierzchni po frezowaniu kompozytu aluminiowo-ceramicznego.

W ramach badań własnych opracowała autorski model chropowatości powierzchni (model hybrydowy).

Sformułowanie tego modelu wymagało od Autorki dużej wiedzy związanej z technologią obróbki jak i metrologią powierzchni oraz modelowania

matematycznego. Świadczy to o wysokim poziomie naukowym Doktorantki i jednocześnie potwierdza jej gotowość do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w dyscyplinie inżynierii mechanicznej.

W świetle dokonanej analizy i sformułowanych ocen stwierdzam, że rozprawa mgr inż. Natalii Znojkiwicz pt. Modelowanie chropowatości powierzchni po frezowaniu kompozytu aluminiowo-ceramicznego w pełni spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące w tym względzie aktualne przepisy (art. 13 ust. 1 Ustawa z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z dnia 21.06.2016r., poz. 882)) i może stanowić podstawę do nadania Autorce stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Może być, zatem dopuszczona do publicznej obrony.

