

|                                                                                                                                                            |                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>POLITECHNIKA RZESZOWSKA im. Ignacego Łukasiewicza</b><br><b>WYDZIAŁ BUDOWY MASZYN I LOTNICTWA</b><br><b>Katedra Technik Wytwarzania i Automatykacji</b> |                                                                                                  |
| <b>dr hab. inż. Witold HABRAT prof. PRz</b><br>profesor uczelni w grupie pracowników badawczo-<br>dydaktycznych                                            | al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów<br>tel. (17) 865 14 91<br>e mail: witekhab@prz.edu.pl |

Rzeszów, 30.05.2023 r.

## Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Kseni Latosińskiej pt.

**„Fizykalne i technologiczne aspekty toczenia wybranego materiału  
spiekanego na osnowie niklu”**

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Prodziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej prof. dr hab. inż. Marka S. Kozenia z dnia 28.03.2023 r. (znak pisma M.00-59/2023). Ocena rozprawy została opracowana w oparciu o art. 179 ust. 1 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1669), zgodnie z wymogami określonymi w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 65 poz. 595 z późn. zm.) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki.

### 1 Charakterystyka podjętej tematyki badawczej oraz celu i zakresu pracy

Obróbka skrawaniem stopów na osnowie niklu to aktualne zagadnienie, zwłaszcza w kontekście ich zastosowań w przemyśle lotniczym, energetyce jądrowej, przemyśle chemicznym i innych sektorach, które wymagają materiałów o wysokiej wytrzymałości i odporności na korozję w wysokich temperaturach. Optymalizacja i doskonalenia istniejących procesów skrawania oraz opracowanie nowych technik zapewniających bardziej efektywną obróbkę tych materiałów, to główne kierunki badań w odniesieniu do tej grupy stopów. Również nowe materiały na narzędzia

skrawające, metody chłodzenia czy symulacje numeryczne procesu skrawania przyczyniają się do postępu w tej dziedzinie. Ponadto rozwój w zakresie inżynierii materiałowej skutkuje tworzeniem nowych materiałów, w tym stopów powstających w procesach spiekania.

Spiekane stopy niklu DMLS to zaawansowane materiały, które są wytwarzane przy użyciu technologii druku 3D, zwanej bezpośrednim selektywnym spiekaniem laserowym metalu. Proces ten polega na warstwowym nanoszeniu metalowego proszku i jego spiekaniu za pomocą wiązki laserowej. Otrzymane w ten sposób stopy charakteryzują się wysoką jakością, precyzją i złożoną geometrią. Mają również doskonale właściwości mechaniczne, takie jak wysoka wytrzymałość, twardość czy odporność na korozję również w wysokich temperaturach. Technologia DMLS umożliwia produkcję stopów niklu o niestandardowych kształtach i strukturach wewnętrznych, co otwiera drzwi do innowacyjnego projektowania i produkcji. Można wytwarzać skomplikowane, lekkie konstrukcje optymalizowane pod kątem wydajności.

Warto zauważyć, że rozwój technologii druku 3D, w tym DMLS, jest dynamiczny, a nowe materiały i metody wytwarzania są nieustannie badane i wprowadzane na rynek. Dlatego też badania spiekanych stopów niklu DMLS w zakresie obróbki skrawaniem z uwzględnieniem aspektów fizykalnych i technologicznych jest zagadnieniem aktualnym i mającym potencjał praktycznego zastosowania.

W tym kontekście **zakres merytoryczny recenzowanej pracy doktorskiej należy ocenić jako niezwykle istotny. Potwierdza to trafność i sensowność podjętej tematyki badawczej**, która doskonale wpisuje się w aktualny obszar ogólnoswiatowych badań naukowych. Uzyskane wyniki pracy mogą mieć istotne znaczenie naukowe, utylitarne jak i praktyczne, zarówno w zakresie badań skrawalności tej grupy stopów jak również symulacji i optymalizacji procesu toczenia.

**Tytuł pracy jest zgodny z podjętą tematyką badawczą oraz treścią pracy. Cel pracy** podany na str. 5, odnoszący się do określenia związku matematycznego, który opisuje reakcję obiektu badań na wprowadzane zmiany wartości parametrów skrawania podczas toczenia materiału spiekane go na osnowie niklu ostrzem z CBN oraz taki dobór parametrów, który zapewni zwiększenie wydajności procesu przy zachowaniu dopuszczalnych wartości wybranych geometrycznych parametrów warstwy wierzchniej, należy uznać za **trafny i w miarę jasno sprecyzowany**.

*Proszę jednak o doprecyzowanie co Doktorantka rozumie przez „wybrane geometryczne parametry warstwy wierzchniej”.*

Na kolejnej stronie Doktorantka **sformułowała tezę naukową pracy**, która jest **zasadniczo poprawna** i została potwierdzona wynikami badań.

Przyjęty **zakres pracy jest spójny i ściśle powiązany z tematem dysertacji**. Został przedstawiony w sposób właściwy w formie opisu na str. 5. Szkoda jednak, że nie

został dodatkowo załączony schemat graficzny. Ułatwiłoby to analizę rozbudowanej części badawczej.

## 2 Zakres i ocena poszczególnych części realizowanej pracy

Dysertacja została zrealizowana w Katedrze Inżynierii i Automatykacji na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej, pod opieką naukową prof. Wojciecha Zębali. Pracownicy tej Katedry znani są ze znaczącego dorobku o zasięgu międzynarodowym w zakresie badań procesów obróbki skrawaniem. **Strukturę rozprawy** stanowi wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów, cel i zakres pracy, teza naukowa oraz kolejne numerowane rozdziały, oraz podsumowanie wyników badań, propozycję dalszych prac, streszczenia w języku polskim i angielskim, literaturę, spis rysunków i tabel oraz załączniki. Układ pracy jest zasadniczo prawidłowy, choć w mojej ocenie sformułowanie celu, zakresu i tezy powinno być po analizie literatury, gdyż wynikają one z wniosków sformułowanych po tej analizie.

W pracy występują błędy redakcji i maszynopisu. Przykładowo:

- w spisie treści występuje niewłaściwe formatowanie tekstu,
- po podrozdz. 5.4.1 następuje 5.4.4,
- Autorka zamiennie stosuje oznaczenie  $R_a$  i  $Ra$  – prawidłowo powinno być  $Ra$ . Tego typu błędy występują jeszcze w odniesieniu do składowych całkowitej siły skrawania, promienia naroża ostrza, oporu właściwego skrawania itd.,
- zamiast „Rys. 1, Rys. 2” powinno być „Rys. 1 i 2”,
- str. 27 – „AdvatEdge” – powinno być „AdvantEdge”,
- kropki na końcu tytułu rozdziałów,
- stosowano nieprawidłowe sposoby odesłań do rysunków i tabel – „Na rysunkach (Rys. 51, Rys. 52) ...”, „W tabelach (Tabel 24, Tabela 25) ...”,
- str. 123 – „Inconel 178” – powinno być „Inconel 718”,
- nieprawidłowe umiejscowienie numerów stron dla wydruku dwustronnego,
- niefortunny opis osi np. rys. 105 – „Średnia [MPa]”, jednostki podawane w różny sposób – w nawiasach okrągłych lub kwadratowych,
- w polskojęzycznym zapisie wartości z częścią dziesiętną zamiast „.” powinien być „,”.

W dalszej ocenie poszczególnych części pracy nie będę wskazywał tego rodzaju błędów, aby skupić się na ocenie merytorycznej. Mam jednak prośbę, aby Doktorantka w przyszłych publikacjach bardziej starannie podchodziła do korekty, gdyż wpływa to na niewłaściwy odbiór istotnych i wartościowych elementów pracy.

**W wykazie ważniejszych oznaczeń** zbyt ogólnie określono współczynnik VB jako zużycie ostrza skrawającego. Jest to wskaźnik określający zużycie poprzez szerokości

starcia na powierzchni przyłożenia, który oznacza się ogólnie literami VB z indeksem odpowiednim do strefy pomiaru. Wykaz oznaczeń i skrótów nie powinien być oznaczony numerem rozdziału.

W rozdziale 2 i 3 został określony cel i zakres oraz teza naukowa pracy. Ocenę celu i zakresu pracy przedstawiono we wcześniejszym punkcie recenzji.

W rozdziale 4 Autorka przedstawiła aktualny stan wiedzy. We wstępie uzasadniła podjętą tematykę badawczą w kontekście współczesnych badań. W tym miejscu chciałbym jedynie zasugerować Doktorantce, aby starała się unikać stosowania skumulowanych odesłań do literatury.

W dalszej części zostały scharakteryzowane nadstopy na osnowie niklu oraz stop Inconel 718 oraz ich zastosowanie. Analiza dotyczyła również narzędzi stosowanych do obróbki superstopów na osnowie niklu oraz wskaźników związanych ze skrawalnością. W kolejnych podrozdziałach omówiono wytwarzanie materiałów spiekanych, siły skrawania, dobór i optymalizację parametrów skrawania oraz modelowanie procesu skrawania z zastosowaniem symulacji MES. Analizę literatury kończą wnioski uzasadniające podjętą tematykę badań.

Zawartość merytoryczna rozdziału jest zasadniczo logiczna, choć mam drobne uwagi szczególne:

- *Brakuje odniesień do szczegółowych wyników badań w tym zakresie. Autorka formułuje ogólne stwierdzenia odnosząc się do grupy publikacji.*
- *Moim zdaniem we wnioskach występuje niefortunne sformułowanie „... Brakuje badań jednoznacznie określających optymalizację ...”.*

W rozdziale 5 przedstawiono badania własne obejmujące badania wstępne oraz badania właściwe. Na podkreślenie zasługuje odniesienie uzyskanych wyników do materiałów przygotowanych trzema różnymi metodami: odlewanego, prasowanego izostatycznie na gorąco (HIP) i spiekanego laserowo (DMLS). W zakresie zaprezentowanych warunków badań doświadczalnych pozostaje również kilka uwag oraz kwestii do uzupełnienia i wyjaśnienia:

- *Czy geometrie próbek dla poszczególnych materiałów były zbliżone wymiarowo?*
- *Czy kąt przyłożenia (tab. 13) dla narzędzi skrawających może być ujemny?*
- *Rysunki poszczególnych wkładek ostrzowych i narzędzi powinny jednoznacznie określać ich geometrię i być jednolite, a oznaczenia zgodne z wykazem na początku pracy.*

Badania symulacyjne oparto o model konstytutywny z literatury. Jednak zastosowanie zużycia w postaci starcia na powierzchni przyłożenia na poziomie 0,3 mm może być o tyle nieadekwatne, że narzędzia z CBN wykazują utratę właściwości

skrawnych już przy wartości 0,2 mm. W odniesieniu do płytek skrawających z węglika spiekanego wartość 0,3 mm jest jak najbardziej poprawna. Proszę w tym zakresie o ustosunkowanie się do następującej kwestii:

- *Czy na rysunku 24 b jest prawidłowy obraz symulacji dla wskazanych parametrów?*
- *Zastosowanie obróbki na sucho znacząco skróciło czas eksploatacji narzędzia. Jak uzasadnić największe zużycie podczas obróbki Inconelu 718 DMLS (rys. 28) podczas gdy siła obwodowa jest najmniejsza? (rys. 26)*
- *Wydaje się, że rys. 29 powinien prezentować wyniki parametru chropowatości powierzchni  $Ra=f(VB)$ .*

Badania Inconelu 718 spiekanego izostatycznie wykazały znaczące różnice w stosunku do materiału odlewanego. Również w trakcie obróbki pojawiały się pewne defekty powierzchniowe.

- *Czy podczas obróbki występowały drgania (co sugeruje obraz mikroskopowy na rys. 36)?*

W trakcie badań prowadzono również obserwację wiórów, które poddano badaniom mikroskopowym. Badania wykazały wpływ zużycia ostrza na wymiary geometryczne wiórów oraz zależności charakteryzujące proces.

Podobne badania przeprowadzono dla materiału Inconel 718 DMLS. Wykazały one, że dla materiału drukowanego można zauważyć większe wartości w zakresie składowych całkowitej siły skrawania.

- *W tym rozdziale Autorka prezentuje dużo wykresów, w których jedną ze zmiennych wejściowych jest promień zaokrąglenia ostrza. Jakie wnioski można zaprezentować w odniesieniu do oddziaływania tego parametru na składowe siły skrawania i parametry chropowatości?*
- *Czym uzasadnić tak znaczący spadek siły  $F_c$  (rys. 88) wraz ze wzrostem  $r_e$  dla  $v_c=50$  m/min, podczas gdy dla  $v_c=200$  m/min (rys. 90) wpływ ten wydaje się nieistotny?*

Oryginalnym elementem dysertacji jest algorytm postępowania w przypadku optymalizacji procesu toczenia stopu Inconel 718 DMLS ze względu na minimalizację czasu skrawania. Działanie algorytmu zostało zweryfikowane doświadczalnie.

Zawartość merytoryczna rozdziału jest zasadniczo logiczna, choć proszę o odniesienie się do następującej kwestii:

- *W jaki sposób ograniczono wpływ zużycia narzędzia na obliczenie oporu właściwego skrawania?*

Dysertacja kończy się **podsumowaniem** zawierającym ogóle uwagi wynikające z pracy i **wnioskami końcowymi**. W pracy zawarto również kierunki dalszych badań. Generalnie wnioski są poprawne oraz przedstawiają ogólne wyniki pracy. Bardziej szczegółowe wnioski zawarto w poszczególnych podrozdziałach. Mają one swoje uzasadnienie w przeprowadzonych badaniach i wykazują potencjał praktyczny. Sugeruję, aby w przyszłości Autorka skupiła się na lepszym fizykalnym uzasadnieniu trendów pojawiających się w wynikach.

**Bibliografia** zamieszczona w pracy jest w miarę aktualna. Doktoranta odwołuje się do 144 pozycji. Dodatkowo przedstawiono spis rysunków i tabel, które w mojej ocenie nie są potrzebne. Ciekawe wyniki prezentują mikrostruktury zawarte w załączniku. Szkoda, że Autorka nie odniosła się do nich w pracy, gdyż podniosłoby to wartość merytoryczną przeprowadzonej analizy.

### 3 Ogólna ocena pracy

Doktorantka podjęła się interesującego i aktualnego zagadnienia charakterystyki fizykalnych i technologicznych aspektów toczenia spiekanego Inconelu 718. Należy zaznaczyć, że **cel rozprawy został zasadniczo osiągnięty** a merytoryczna część pracy jest na akceptowalnym poziomie.

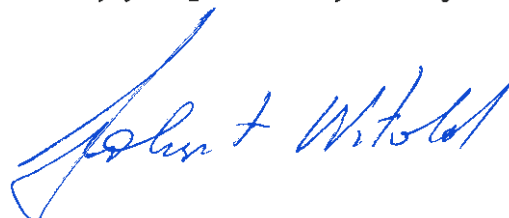
Pod względem edytorskim praca nie jest staranna. Mankamenty edytorskie nie ułatwiają analizy. Choć obniżają one odbiór pracy, jednak nie mogą kwestionować jej wartości. Zamieszczone w pracy rysunki wykonane są przeważnie z właściwą starannością i mają swoje uzasadnienie w tekście. Pod względem metodologii prowadzenia badań rozprawa jest zasadniczo poprawna. Literatura jest aktualna i dobrana zgodnie z tematem pracy. Układ rozprawy i podział treści między poszczególnymi rozdziałami jest zasadniczo logiczny. Autorka posługuje się właściwymi pojęciami.

Z przedstawionej powyżej oceny poszczególnych części dysertacji wynika, że praca jest oryginalna, logiczna i spójna merytorycznie. Doktorantka wykazała się ogólną wiedzą teoretyczną i umiejętnościami w prowadzeniu badań naukowych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Przedstawiona powyżej ocena potwierdza oryginalność przedstawionego w pracy zagadnienia naukowego.

### 4 Wniosek końcowy

W mojej opinii recenzowana rozprawa doktorska, **przyczynia się do poszerzenia wiedzy w obszarze dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna**. Stwierdzam tym samym, działając w oparciu o art. 179 ust. 1 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. *Przepisy*

wprowadzając ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1669), że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Kseni Latosińskiej pt. „Fizykalne i technologiczne aspekty toczenia wybranego materiału spiekanego na osnowie niklu”, spełnia wymogi określone w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 65 poz. 595 z późn. zm.) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki, w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych i dyscyplinie inżynieria mechaniczna wg klasyfikacji określonej w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 lipca 2018 r. W związku z tym wnioskuję o przyjęcie rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Kseni Latosińskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ksenia Latosińska', is positioned to the right of the main text block.