

## Recenzja

### **rozprawy doktorskiej mgr. inż. Rolanda Mrugalskiego pt. *Wybrane zagadnienia procesu wiercenia otworów w stopie aluminium AlSi10Mg(Cu) w warunkach zminimalizowanego smarowania z systemem dwukanałowym wiertel pełnowęglkowych***

Promotor: dr hab. inż. Radosław Maruda, prof. UZ

Recenzja została opracowana na podstawie pisma Dyrektora Instytutu Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Zielonogórskiego w zielonej Górze dr hab. inż. Radosława Marudy, prof. UZ nr IIM-D.51.511.02.2024.JG z dnia 07.02.2024 i stosownej umowy o dzieło.

#### **1. Tematyka rozprawy**

W ujęciu ogólnym, tematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej dotyczy określenia zależności pomiędzy parametrami chłodzenia z minimalnym wydatkiem cieczy smarująco-chłodzącej a efektami procesu skrawania, takimi jak drgania narzędzia, jego zużycie, topografia powierzchni czy dokładność wymiarowo-kształtowa obrabianych otworów.

Obróbka skrawaniem mimo upływu lat stanowi wciąż podstawową technikę wytwarzania części maszyn. Silna presja ze strony rynku wymusza ciągle doskonalenie procesów wytwarzania zmierzające zarówno w kierunku podnoszenia dokładności wymiarowo-kształtowej produkowanych części oraz polepszenia jakości ich powierzchni przy jednoczesnym zachowaniu wskaźników ekonomicznych produkcji. W tym miejscu należy podkreślić, że zdecydowana większość badań dotyczących wpływu parametrów procesu obróbki na dokładność wymiarową obrabianych części skupia się głównie na identyfikacji źródeł powstających błędów i ich wpływie na dokładność i chropowatość powierzchni. Tylko nieliczne prace rozważają analizę przyczyn powstawania błędów powstających po stronie przedmiotu obrabianego, a spowodowanych różnymi parametrami chłodzenia z minimalnym wydatkiem cieczy smarująco-chłodzącej. W związku z tym, podjęta przez Pana mgr inż. Rolanda Mrugalskiego tematyka rozprawy doktorskiej jest aktualna nie tylko z punktu widzenia poznawczego, lecz także w aspekcie utylitarnym, technologicznym i eksploatacyjnym części maszyn. Należy podkreślić

aktualność i oryginalność tematu podjętego w recenzowanej rozprawie doktorskiej. Stanowi ona kompleksowe opracowanie ukazujące wpływ wybranych parametrów procesu chłodzenia z minimalnym wydatkiem cieczy smarująco-chłodzącej na jakość powierzchni i dokładność wymiarowo-kształtową otworów, wierconych narzędziami pełnowęglkowymi.

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 194 strony i składa się z 6 rozdziałów, spisu treści, wykazu ważniejszych oznaczeń i skrótów, wstępu, spisu literatury obejmującego 133 pozycje, oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

Rozdział **Wstęp** do rozprawy doktorskiej, Autor rozprawy charakteryzuje problematykę skrawania z minimalnym wydatkiem cieczy smarująco-chłodzącej zwłaszcza w zastosowanie do obróbki stopów następczających wielu problemów obróbkowych. Następnie Autor wskazuje przedmiot zrealizowanych badań.

Rozdział 1 **Analiza literaturowa** w sposób skrótowy przedstawia aktualny stan zagadnienia w oparciu o wyniki prac różnych badaczy. W pierwszej części tego rozdziału Autor omawia rodzaje cieczy chłodząco-smarujących stosowanych podczas wiercenia, dokonuje ich podziału i charakteryzuje poszczególne grupy chłodziw. Następnie charakteryzuje dodatki stosowane do cieczy chłodząco-smarujących i omawia mechanizmy ich oddziaływania. W dalszej części rozdziału Autor wiele uwagi poświęca na scharakteryzowanie różnych metod doprowadzenia cieczy chłodząco-smarującej do strefy wiercenia, oraz omawia szczegóły konstrukcyjne urządzeń stosowanych do chłodzenia obróbki. Przytoczone informacje ilustruje odpowiednimi schematami i zdjęciami. Dalej, skupia swoją uwagę na opisie parametrów wejściowych i wyjściowych procesu tworzenia medium czynnego w metodzie zminimalizowanego smarowania, po czym przechodzi do porównania metod chłodzenia z doprowadzeniem wewnętrznym i zewnętrznym medium chłodzącego. Porównanie to przeprowadzone jest dogłębnie i szczegółowo opisane. Pokazane analizy poparte są licznymi przykładami i wykresami. W przedstawionych analizach wiele uwagi poświęcono na identyfikację wpływu chłodzenia z minimalnym wydatkiem cieczy na mechanizmy zużywania się narzędzia, tarcie, jakość powierzchni obrobionej czy na odnotowane siły skrawania. Zwraca też uwagę na możliwość prowadzenia obróbki „na sucho” jako alternatywę, czyli proces szybki, ekologiczny i nie wymagających zaangażowania dodatkowych środków, ale wymagający stosowania przeciwzryciowych powłok narzędziowych. Mimo stosowania powłok ochronnych w wielu przypadkach wiercenie bez udziału cieczy

PAZ

smarująco-chłodzącej jest wręcz niemożliwe do przeprowadzenia. Reasumując, Autor stwierdza, że wybór odpowiedniej metody chłodzenia podczas wiercenia otworów posiada kluczowe znaczenie dla sił skrawania, chropowatości powierzchni obrabianej zużycia narzędzia oraz wpływa na uzyskanie korzystnego kształtu wióra i ułatwia jego odprowadzanie ze strefy skrawania. Szczególnie przydatna w tym aspekcie wydaje się metoda MQL.

Podsumowując rozdział 1 rozprawy mogę stwierdzić, że Autor w sposób wyczerpujący przedstawił istotę oraz przegląd różnych metod chłodzenia procesu wiercenia oraz scharakteryzował ich przydatność dla procesu wiercenia. Dokonał identyfikacji czynników wpływających na skuteczność chłodzenia i smarowania strefy skrawania w procesie wiercenia. W swoich rozważaniach szczególnie dużo uwagi poświęcił metodzie MQL, zwłaszcza w zastosowaniu do obróbki stopów lekkich. W mojej opinii, poruszana problematyka, została przedstawiona w sposób przemyślany i uporządkowany, zwłaszcza, w kontekście obróbki stopów lekkich. W niniejszym rozdziale zabrakło jednak tabelarycznego zestawienia porównującego zalety i wady omawianych metod chłodzenia. Taki zbiór zalet i wad mógłby dostarczyć istotnych informacji dotyczących zjawisk oraz parametrów wejściowych wpływających na dokładność wymiarowo-kształtową, trwałość narzędzi, czy chropowatość powierzchni obrabianych przedmiotów.

Rozdział 2 **Cel, zakres i hipoteza pracy** zawiera trzy podrozdziały, w których Autor wskazuje elementy nowości zawarte w pracy, definiuje cel pracy, oraz przedstawia hipotezy pracy.

W podrozdziale 2.1 Autor jako element nowości wymienia badania symulacyjne przepływu się strugi medium chłodzącego wewnątrz kanałów doprowadzających mieszaninę chłodzącą do strefy skrawania. Wymienione badania stanowią podstawę całości założenia badawczego i stanowią unikalną wartość niniejszej pracy.

W podrozdziale 2.2 przedstawiony jest cel pracy oraz przedstawiony w formie graficznej zakres pracy. Sformułowany przez Autora cel i zakres rozprawy jest jednoznaczny i wskazuje na kompleksowość badań własnych, obejmujących badania eksperymentalne, badania symulacyjne oraz szereg analiz uzyskanych wyników.

W podrozdziale 2.3. Autor sformułował jedną hipotezę pracy. W moim odczuciu hipoteza została sprecyzowana szczegółowo i jednoznacznie.

Rozdział 3 **Badania symulacyjne parametrów wejściowych i wyjściowych tworzenia aerozolu w metodzie zminimalizowanego smarowania podczas wiercenia** dotyczy zasadniczej części pracy i podzielony jest na siedem podrozdziałów.

W podrozdziale 3.1 Autor wskazuje co jest głównym celem prowadzenia symulacji oraz podaje cztery warianty zastawów danych wejściowych.

Podrozdział 3.2 pokazuje nazwę i wersję oprogramowania używanego do badań numerycznych oraz charakteryzuje sprzęt na jakim wykonywano obliczenia.

W podrozdziale 3.3 w formie tabeli Autor wymienia i opisuje założenia i uproszczenia modelu obliczeniowego. W sumie wymieniono i omówiono dziesięć różnych cech modelu numerycznego.

Podrozdział następny (3.1) zawiera opis geometrii układu przedmiot-narzędzie, który poddano symulacjom numerycznym. W opisie tym podano wymiary modelowanego obszaru a całość zilustrowano odpowiednimi rysunkami.

Podrozdział 3.5 zawiera szereg informacji o właściwościach siatki obliczeniowej oraz o jej zagęszczeniu. Rozdział zawiera szereg ilustracji pokazujących wygenerowane siatki obliczeniowe oraz obrazy obszarów zagęszczonych.

Podrozdział 3.6 w formie tabel pokazuje charakterystykę modelowanych materiałów, właściwości cieczy chłodząco-smarującej, konfigurację parametrów symulacji oraz parametry i charakterystykę modelu obliczeniowego.

Podrozdział 3.7 zawiera opis oraz materiał ilustracyjny pokazujący wyniki obliczeń symulacyjnych. Autor wiele uwagi poświęca tutaj na opis średnic i strumieni kropeł dla kanałów wiertła o różnym kącie pochylenia w stosunku do osi wiertła. Ponadto, w kontekście tych wyników analizowano rozkład linii prądowych strugi. Badania zrealizowano dla różnych prędkości obrotowych narzędzia i przy różnych wartościach natężenia przepływu medium chłodzącego.

Podrozdział 3.8 stanowi podsumowanie rozdziału 3. Autor formułuje tu 7 wniosków szczegółowych w których w sposób skrótowy ale precyzyjny opisuje efekty prowadzonych badań. W ostatnim wniosku wskazuje, że badania symulacyjne stanowić będą podstawę dla właściwego doboru warunków doprowadzania mieszaniny powietrze-ciecz do strefy skrawania w dalszych badaniach eksperymentalnych.

Podsumowując ten rozdział rozprawy mogę stwierdzić, że Autor w sposób wyczerpujący i interesujący dla czytelnika przedstawił wyniki badań symulacyjnych oraz ich analizy. Wykazał istnienie korelacje pomiędzy parametrami procesu dostarczania mieszaniny chłodzącej powietrze-ciecz, czy cechami konstrukcyjnymi kanałów wewnątrz narzędzia na wielość średnic kropeł czy na zawirowania linii prądowych strugi chłodzącej. Uzyskane wyniki mogą znacząco pomóc w optymalizowaniu procesów chłodzenia w obróbce skrawaniem pod kątem zwiększenia efektywności chłodzenia czy zwiększenia trwałości narzędzi. Niestety mankamentem tego rozdziału jest oddzielenie tego fragmentu pracy od reszty badań. Taki podział stwarza wrażenie, że symulacje stanowią odrębny etap badań, których wyniki stanowią całkowicie oddzielną nie powiązaną z innymi badaniami całość i jako takie powinny być oddzielnie rozpatrywane. Tymczasem symulacje prowadzone są na podstawie badań doświadczalnych, a ich wyniki wzajemnie się uzupełniają.

Rozdział 4 **Metodyka i warunki badań doświadczalnych** składa się z czterech podrozdziałów i opisuje wykorzystywaną aparaturę badawczą, sposób prowadzenia badań eksperymentalnych, oraz prezentuje uzyskane wyniki.



W podrozdziale 4.1 Autor opisuje krótko cel podjęcia badań doświadczalnych. Uwagę swoją skupia na ustaleniu parametrów tworzenia aerozolu w metodzie smarowania ze zminimalizowanym wydatkiem cieczy smarująco-chłodzącej przy wierceniu z dużymi prędkościami obrotowymi narzędzia.

Podrozdział 4.2 poświęcony jest metodyce badań doświadczalnych. Autor opisuje oraz ilustruje odpowiednim rysunkiem budowę układu do tworzenia aerozolu chłodząco-smarującego, przytacza wartości natężenia przepływu objętościowego oraz ciśnienia powietrza w układzie.

Podrozdział następny (4.3) zawiera podstawowe informacje o materiale obrabianym oraz charakterystykę cieczy chłodząco-smarującej wykorzystywanej w badaniach. Doktorant przytacza tutaj podstawowe właściwości mechaniczne badanego stopu AlSi10Mg(Cu) i omawia jego strukturę metalograficzną. W dalszej części rozdziału omówione są podstawowe właściwości cieczy BERUCUT MQL-A 20, używanej w badaniach eksperymentalnych jako komponent chłodziwa.

Podrozdział 4.4 dotyczy opisu warunków i zakresu badań. W pierwszej kolejności omawiany jest układ mocowania narzędzia, cechy konstrukcyjne samego wiertła oraz struktura stanowiska badawczego, zbudowanego na bazie 5-osowego centrum obróbkowego GROB G320. Dalsza część rozdziału opisuje warunki dostarczania medium chłodząco-smarującego do strefy skrawania, oraz budowę 2-kanalowego urządzenia MQL - BIELOMATIK. Następnie Autor przedstawia sposób pomiaru drgań narzędzia oraz budowę toru pomiarowego, który składał się z czujnika Brüel & Kjær 4321, wzmacniacza ładunku Nexus 2692/OS4 i specjalistycznego oprogramowania do akwizycji danych. Fragment ten zakończony jest przykładem przebiegu zmian sygnału drgań pokazanych w funkcji czasu. W dalszej części Doktorant opisuje metodykę prowadzenia badań topografii powierzchni, opisuje urządzenie pomiarowe oraz wymienia wielkości wybrane do porównań. Opisuje również zrobotyzowane stanowisko pomiarowe SIRIO C 668, do określania dokładności wymiarowo-kształtowej wykonywanych otworów oraz oprogramowanie QUINDOS dedykowane do obsługi tego systemu pomiarowego. Na koniec przytacza szczegóły budowy systemu pomiarowego do badania zużycia wiertła. Stanowisko zbudowane jest na bazie cyfrowego mikroskopu uniwersalnego Lito Dine oraz mikroskopu skaningowego TESCAN VEGA GMU.

Podsumowując ten rozdział rozprawy mogę stwierdzić, że Autor opisał metodykę badań eksperymentalnych w sposób dosyć skrótowy i miejscami niewystarczający. Jako przykłady niedostatków tego rozdziału wymienić trzeba brak informacji o materiale narzędzia, czy brak informacji o próbkach do wyznaczania topografii powierzchni. Ponadto metodyka badań eksperymentalnych została zredagowana oddzielnie od metodyki badań symulacyjnych. Z tego powodu przejrzystość wyników i zrozumienie analiz pokazywanych w dalszej części pracy pozostawia wiele do życzenia.

BAL

W rozdziale 5 pod tytułem: **Wyniki badań doświadczalnych** Doktorant zajął się opracowaniem i analizą wyników uzyskanych z prób wiercenia. Rozdział podzielony jest na pięć podrozdziałów, w których kolejno pokazane są: ocena drgań narzędzia, ocena topografii powierzchni obrobionej, ocena dokładności wymiarowo-kształtowej wykonywanych otworów, ocena zużycia narzędzia, oraz wnioski płynące z badań.

W pierwszym podrozdziale (5.1) Autor analizuje wykresy przebiegów czasowych i charakterystyk częstotliwościowych przyspieszeń drgań. Przebiegi drgań omawiane są w odniesieniu do głównych etapów wiercenia i zastosowanej metody chłodzenia. Następnie omówione są charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe przyspieszeń drgań, wyznaczone w oparciu o szybką transformatę Fouriera. Potem Doktorant przechodzi do analizy statystycznej istotności wpływu parametrów wejściowych wiercenia na przyspieszenia drgań. W oparciu o szereg analiz udowadnia istotny wpływ prędkości obrotowej narzędzia oraz wydatku przepływu medium chłodzącego na charakter drgań generowanych w procesie wiercenia. W dalszej kolejności Doktorant omawia analizę wpływu parametrów wejściowych wiercenia na wartości średniokwadratowe przyspieszeń drgań, z której również wynika, że dobór parametrów chłodzenia MQL może wywierać istotny wpływ na dynamikę drgań generowanych w procesie wiercenia. Szkoda, że Autor nie dokonał w tym miejscu pogłębionej analizy uzyskanych wyników i porównania ich w wynikami symulacji komputerowych, gdyż wskazane przez niego zależności mogą być łatwiej i bardziej klarownie uzasadnione.

W podrozdziale 5.2 Autor pokazuje i omawia zagadnienia dotyczące oceny topografii powierzchni obrobionej. Całość informacji o wpływie parametrów tworzenia aerozolu, parametrach chropowatości powierzchni, obrazach topografii powierzchni, o mapach warstwicznych, itp. została szeroko opisana oraz zilustrowana. Przedstawiona analiza jednak jest niepełna, gdyż występuje tu wyraźny brak jakiegokolwiek powiązania z symulacjami.

Podrozdział następny (5.3) dotyczy oceny dokładności wymiarowej wykonywanych otworów. Prezentowane analizy i wykresy wskazują, że podstawowy wpływ na dokładność wykonywanych otworów posiada prędkość obrotowa narzędzia a w dalszej kolejności sposób chłodzenia narzędzia oraz parametry strugi chłodzącej. Podobnie jak poprzednio, występuje tu wyraźny brak jakiegokolwiek powiązania z symulacjami.

Podrozdział 5.4 zamieszcza analizę przebiegu zużycia narzędzia skrawającego w czasie wiercenia zachodzącego przy różnych warunkach chłodzenia. Zamieszczona analiza zawiera opis charakteru zużywania się badanych narzędzi i krótkie omówienie wyników. W moim odczuciu słabą stroną tak pokazanej analizy jest brak odniesienia do badań symulacyjnych.

Następny podrozdział (5.5) poświęcony jest wnioskowi płynącemu z badań doświadczalnych, które to Autor ujął w dwunastu punktach. Autor przytacza wartości liczbowe wyników eksperymentalnych oraz pokazuje stopień wpływu parametrów

*B. B.*

zmiennych na badane efekty końcowe. Jednak mimo dosyć wnikliwej analizy nie zawsze informacje zawarte we wnioskach są sformułowane poprawnie. Przykładowo wniosek 3, w którym Autor stwierdza, że zastosowanie maksymalnego wydatku płynu w chłodzeniu MQL powoduje między innymi zmniejszenie nacisku na dno otworu w wyniku tworzenia się tribofilmu na ostrzu skrawającym i powoduje to zmniejszenie sił skrawania. W moim odczuciu, te stwierdzenia nie mają poparcia w prezentowanych wynikach i nie mogą stanowić podstawy do sformułowania tak daleko idącego spostrzeżenia.

Podsumowując ten rozdział rozprawy mogę stwierdzić, że Autor w sposób sumienny i metodyczny przedstawił wyniki badań i analiz wpływu parametrów tworzenia aerozolu w metodzie zminimalizowanego smarowania podczas wiercenia na drgania narzędzia, jakość powierzchni obrabianej, czy trwałość ostrzy wiertła. Uzyskane wyniki mogą znacząco pomóc w optymalizowaniu procesów technologicznych pod kątem zwiększenia dokładności obróbki, czy też wydajności procesu. Niestety mankamentem tego rozdziału jest brak powiązania omawianych wyników z wynikami symulacji komputerowych.

Rozdział 6 przedstawia **Podsumowanie i wnioski**, które podzielone został na trzy podrozdziały.

W pierwszym nich (podrozdział 6.1) Autor formułuje 9 wniosków poznawczych, w których w syntetyczny sposób przedstawia najważniejsze konkluzje wynikające z przeprowadzonych badań i analiz.

Podrozdział 6.2 przedstawia wnioski użytkarne w formie pięciu punktów zawierających wskazówki dotyczące praktycznego wykorzystania spostrzeżeń płynących z prowadzonych badań i analiz.

Natomiast podrozdział 6.3, to wnioski do dalszych badań, które są bardzo ważne dla rozwoju naukowego Autora, i stanowią podkreślenie walorów pragmatycznych rozprawy.

**Literatura** obejmuje zestawienie łącznie 133 pozycje, zarówno książek, jak i artykułów naukowych. Dobór literatury uważam za poprawny i aktualny. Słabą stroną prezentowanego wykazu jest brak prac autorstwa Doktoranta.

Ogólna kompozycja rozprawy zasługuje na ocenę pozytywną. Autor poprawnie przyjął kolejność rozdziałów i w większości przypadków dokonał prawidłowego podziału treści na rozdziały i podrozdziały. Praca zawiera jednak pewne błędy interpunkcyjne oraz językowo-stylistyczne. W mojej opinii niedociągnięcia te nie wpływają znacząco na czytelność i zrozumiałość treści, a w ten sposób nie umniejszają znaczących walorów naukowych pracy.

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

- kompleksowe podejście do problemu badawczego obejmujące zarówno przeprowadzenie symulacji komputerowych, badań doświadczalnych, szeregu obliczeń analitycznych oraz statystycznych niezbędnych do wyznaczenia korelacji badanych czynników,
- wykorzystanie nowoczesnych metod badawczych w celu ustalenia istotnych związków pomiędzy warunkami i parametrami procesu tworzenia aerozolu a jakością powierzchni obrobionej, trwałością narzędzia, czy dokładnością wymiarowo-kształtową obrabianych otworów,
- opracowanie praktycznych zaleceń dotyczących doboru parametrów obróbki i parametrów chłodzenia w celu optymalizacji procesu wiercenia w stopie aluminium AlSi10Mg(Cu), wykorzystywanym w przemyśle motoryzacyjnym.

### 3. Uwagi do rozprawy doktorskiej

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

- **Rozdział 3. „Badania symulacyjne parametrów wejściowych i wyjściowych tworzenia aerozolu w metodzie zminimalizowanego smarowania podczas wiercenia”, str. 65:** W pierwszych wersach tego rozdziału pojawia się skrót CFD. W moim odczuciu powinien on się również pojawić w wykazie skrótów zamieszczonym na stronie 8.
- **Rozdział 3.3. „Założenia i uproszczenia w modelu matematycznym CFD”, str. 67:** W tabeli 3.2 Autor opisał uproszczenia i założenia dotyczące wymiany ciepła: *„Zaniechano uwzględnienia wymiany ciepła związanej z promieniowaniem oraz innych źródeł ciepła, takich jak tarcie”*. W moim odczuciu pomijanie tarcia w tych obliczeniach to zbyt daleko idące uproszczenie, gdyż pozbawia Autora możliwości dokonania wielu analiz.
- **Rozdział 3.5. „Dyskretyzacja modelu geometrycznego”, str. 36:** Opis siatki elementów skończonych oraz sposobu jej zagęszczania jest niepełny. Pojawiają się zatem pytania: czy siatkę generowano automatycznie?, czy obszary zagęszczanie wymuszano ręcznie?, i wiele innych. W konsekwencji, słaby opis procesu generowania siatki utrudniać może analizę uzyskanych wyników.



- **Rozdział 3.7. „Wyniki badań symulacyjnych”, str. 77:** Brak informacji o kryterium zakończenia obliczeń numerycznych, oraz czy to kryterium we wszystkich przypadkach wynosiło tyle samo?
- **Rozdział 3.7. „Wyniki badań symulacyjnych”, str. 97:** Brak jest tabelarycznego zestawienia wyników. Rozdział zawiera sporo różnych wykresów i map rozkładu, ale ani jednej tabeli porównującej uzyskane wyniki.
- **Rozdział 4.3. „Charakterystyka badanych materiałów”, str. 100:** Rozdział ten nie podaje żadnych informacji o materiale narzędziowych. Brak jest nawet podstawowej wiedzy o gatunku węgla. Informacja ta pojawia się kilka stron dalej w rozdziale 4.4.1 „Narzędzie skrawające” – na stronie 103.
- **Rozdział 4.4.1. „Narzędzie skrawające”, str. 103:** Autor napisał, że do badań zastosowano powłokę narzędziową „signum”. Nie podał jej składu chemicznego i konfiguracji powłok ani przesłanek, które uzasadniają wybór właśnie takiej powłoki.
- **Rozdział 4.4.3. „Badania drgań narzędzia”, str. 106:** Brak informacji o oprogramowaniu wykorzystywanym do archiwizacji danych pomiarowych. Ponadto brak informacji o oprogramowaniu używanym do wyznaczania charakterystyk amplitudowo-częstotliwościowych.
- **Rozdział 4.4.4. „Badania topografii powierzchni”, str. 107:** Rozdział nie zawiera informacji o wymiarach próbek, o odcinkach pomiarowych czy o zastosowanej technice pomiarowej.
- **Rozdział 4.4.6. „Badanie zużycia narzędzi”, str. 64:** Brak uzasadnienia dlaczego wyznacznikiem zużycia wiertła jest szerokość żłobka na powierzchni natarcia. Niekorzystny jest również brak szkicu pokazujący wymiary żłobka i jego lokalizację.
- **Rozdział 4.4.6. „Badanie zużycia narzędzi”, str. 64:** Autor nie podaje pełnej nazwy urządzeń pomiarowych używanych do badań. Przykładowo przytoczona nazwa mikroskopu Dino Lite nie zawiera dalszej części oznaczeń modelu. Ponadto brak jest informacji na temat oprogramowania używanego do akwizycji i obróbki wyników.
- **Rozdział 5. „Wyniki badań doświadczalnych”, str. 113 i dalsze:** Rozdział ten jest bogato ilustrowany wykresami jednak brak jest tutaj tabel

*RJR*

pokazujących zestawienia zbiorcze uzyskanych wyników. Takie tabele ułatwiają prowadzenie analiz i wyciąganie wniosków.

- **Rozdział 6.3. „Wnioski do dalszych badań”, str. 171:** Wniosek pierwszy: „Wykonanie badań doświadczalnych dotyczących rozkładu temperatury na krawędziach skrawających wiertła ....”. Wniosek ten nie mógł powstać na podstawie prowadzonych badań, gdyż w ich trakcie nie zbierano informacji o pomiarze temperatury. Ponadto w tym przypadku bardziej przydatna będzie kamera termowizyjna niż pirometr.

#### 4. Podsumowanie i wniosek końcowy

Podsumowując recenzję stwierdzam, że mgr inż. Roland Mrugalski zdefiniował, a następnie rozwiązał istotny i aktualny problem naukowy dotyczący wpływu wybranych warunków obróbki wierceniem i warunków chłodzenia z minimalnym wydatkiem cieczy chłodząco-smarującej na dokładność wymiarowo-kształtową otworów, na jakość powierzchni obrobionej, czy trwałość narzędzia. W ramach badań własnych zaproponował metodykę wyznaczania korelacji pomiędzy parametrami procesu tworzenia aerozolu a efektami procesu obróbkowego, oraz opracował zalecenia praktyczne pod kątem wykorzystania ich w przemyśle. Przeprowadzone badania oraz analizy wymagały od Autora dużej wiedzy w dziedzinie obróbki skrawaniem, dynamiki procesu oraz dobrej znajomości środowiska symulacyjnego ANSYS. Świadczy to o wysokim poziomie naukowym Doktoranta i jednocześnie potwierdza jego gotowość do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w Dyscyplinie Inżynierii Mechanicznej.

W świetle dokonanej analizy i sformułowanych ocen stwierdzam, że rozprawa mgr. inż. Rolanda Mrugalskiego pt. *Wybrane zagadnienia procesu wiercenia otworów w stopie aluminium AlSi10Mg(Cu) w warunkach zminimalizowanego smarowania z systemem dwukanałowym wiertel pełnowęglkowych* w pełni spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące w tym względzie aktualne przepisy (Ustawa Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku z późniejszymi zmianami) i może stanowić podstawę do nadania Autorowi stopnia naukowego doktora nauk technicznych w Dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna. Może być, zatem dopuszczona do publicznej obrony.

Henryk Bzd