

Dr hab. inż. Jacek Cieřlik, prof. nadzw. AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Kraków 06.09.2017 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Płodzień
pt.: „Wpływ zarysu i kąta pochylenia krawędzi skrawającej oraz sposobu chłodzenia
na wysokowydajną obróbkę stopu AlZn5.5MgCu”
opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa
Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza w Rzeszowie

1. Uwagi wstępne.

Przedmiotem rozprawy doktorskiej są wybrane zagadnienia obróbki wysokowydajnej (HPC) narzędziami frezarskimi w szczególnym zastosowaniu do obróbki stopów aluminium. Są to problemy istotne z punktu widzenia nowoczesnych technik wytwarzania, których rozwiązanie wymaga specjalistycznej i głębokiej wiedzy oraz umiejętności inżynierskich. Autor w czasie opracowania rozprawy zdobył i skutecznie wykorzystał w prowadzonych badaniach obszerną wiedzę z zakresu z dziedziny mechaniki, materiałoznawstwa, wytrzymałości materiałów, obliczeń numerycznych i technologii obróbki mechanicznej.

Rozprawa zawiera materiał badawczy będący wynikiem kilkuletniej pracy autora w zespole kierowanym przez dr hab. inż. Jana Burka, prof. nazw PRz. W trakcie jej realizacji przygotowano kilkanaście oryginalnych publikacji, w tym 14 z udziałem autora.

Podjęty w przedstawionej do oceny pracy doktorskiej problem wpływu kształtu narzędzia i parametrów obróbki na wyniki obróbki wysokowydajnej aluminium ma bardzo ważne znaczenie praktyczne dla przemysłu lotniczego. Proponowane w przedstawionej do recenzji pracy doktorskiej koncepcje rozwiązań analitycznych i badawczych należy uznać za rzadko spotykane. W tym kontekście uważam temat rozprawy za aktualny i uzasadniony potrzebami naukowymi oraz aplikacyjnymi.

2. Cel, zakres i układ pracy

Autor rozprawy doktorskiej przyjął następujący cel pracy, podany w rozdziale 3.1: *Określenie wpływu zarysu kąta pochylenia krawędzi skrawającej oraz sposobu doprowadzenia chłodziwa*

na przebieg obróbki HPC stopu lotniczego aluminium $AlZn5.5MgCu$. Sformułował również tezę pracy, która jest zgodna z celem pracy – założył, że istnieje wpływ wymienionych parametrów obróbki, kształtu narzędzi oraz sposobu dostarczania cieczy chłodząco-smarującej na wartości składowych siły skrawania i szybkie odprowadzanie wiórów.

Należy zauważyć, że układ pracy doktorskiej odbiega od przyjętego zwykle schematu, w którym doktorant przedstawia krótki wstęp lub wprowadzenie do problemów naukowych będących przedmiotem rozprawy, a w następnym drugim rozdziale podaje cel i zakres pracy oraz formułuje tezę rozprawy. Dalej w kolejnym rozdziale omawiany jest zwykle stan wiedzy w obszarze związanym z tematem rozprawy i uzasadnienie podjęcia pracy nad rozwiązaniem szczegółowego problemu naukowego.

Autor poświęcił obszerny drugi rozdział (30 stron) omówieniu zagadnień związanych z wysokowydajną obróbką stopów aluminium, w tym własności stopów aluminium, ich podatności na obróbkę skrawaniem oraz przedstawił charakterystykę procesów obróbki wysokowydajnej HPC stopów aluminium. W jego opracowaniu wykorzystano wyniki obszernego przeglądu literatury, który obejmuje 158 pozycji w tym 14 z udziałem autora.

Przedstawiony w rozdziale 3.2 zakres pracy oddaje szczegółowo jej zawartość. Należy podkreślić, że przedstawiono staranny przejrzysty plan eksperymentów zmierzających do zrealizowania celu i udowodnienia tezy pracy.

W kolejnym 4-tym rozdziale przedstawiono badania składowych siły skrawania, postaci wiórów oraz topografii powierzchni, które podzielono na trzy etapy:

- określenie wpływu zarysu krawędzi skrawającej narzędzi,
- badania wpływu kąta pochylenia krawędzi skrawającej,
- badania wpływu sposobu dostarczania chłodziwa do strefy skrawania.

W rozdziale 4.1 i 4.2 przedstawiono opis badań doświadczalnych, określono obiekt badań (wielkości charakteryzujące obiekt i warunki prowadzenia eksperymentu), omówiono budowę stanowiska badawczego i podano opis układu pomiarowego. Przedstawiono własną koncepcję stanowiska i układu pomiarowego składowych sił skrawania w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach. Zaprezentowano opis układów do oceny kształtu wióra oraz struktury geometrycznej powierzchni po obróbce z wykorzystaniem specjalistycznych mikroskopów wykorzystujących m. in. technologię różnicowania ogniskowego (Focus-Variation, f-ma Alicona) z dokładnością do 200 nm. W kolejnym rozdziale 4.3. przedstawiono opis geometrii frezów – zmienność zarysu krawędzi skrawającej (liniowe i nieliniowe zarysy, zmienne kształty rowków na krawędzi skrawającej) oraz zmianę sposobu doprowadzenia cieczy chłodząco-smarującej (zalewowe zewnętrzne, centralne, na powierzchnię czołową przyłożenia i na powierzchnię natarcia). W rozdziale 4.4 przedstawiono bardzo szczegółową analizę uzyskanych wyników badań, która stanowi najważniejszą część rozprawy. Ostatni 5-ty rozdział zawiera wnioski podsumowujące realizację wytyczonego celu rozprawy, stwierdzenie o udowodnieniu tezy pracy oraz uwagi końcowe, zawierające zalecane i przewidywane kierunki dalszych prac badawczych.

3. Merytoryczna i edytorska ocena pracy

Sformułowanie celu pracy jako „*Określenie wpływu zarysu kąta pochylenia krawędzi skrawającej oraz sposobu doprowadzenia chłodziwa na przebieg obróbki HPC stopu lotniczego aluminium*” sugerowałoby, że praca ma bardziej inżynierski niż naukowy charakter. Jednak z lektury całości pracy jasno wynika, że zawarto w niej, obok szczegółowej procedury badań wpływu parametrów obróbki na wydajność procesu frezowania HPC, badania o charakterze podstawowym z wielu dziedzin w tym zaawansowanych analiz numerycznych metodą elementów skończonych i programów inżynierskich CAD oraz analizy obrazów. Autor wykazał duże umiejętności praktyczne w zakresie planowania eksperymentu, modelowania i pomiarów oraz analizy uzyskanych wyników. Przyjęte przez autora sformułowanie celu pracy należy uznać za zbyt wąskie w stosunku do rzeczywistego zakresu pracy i wykonanych badań naukowych.

Na podkreślenie zasługuje swoboda i duże umiejętności autora w operowaniu skomplikowanym aparatem modelowania, planowania i prowadzenia eksperymentu oraz analizy wyników – danych pomiarowych uzyskanych w wyniku eksperymentu.

Do najważniejszych osiągnięć autora rozprawy należą:

- zaplanowanie i przygotowanie eksperymentu mającego na celu określenie wpływu kształtu narzędzi, parametrów obróbki i sposobu dostarczania cieczy chłodząco-smarującej na jakość i wydajność obróbki stopów aluminium,
- wykorzystanie do budowy modelu procesu i jego analiz zbioru programów komputerowych, a dokładnie złożonych środowisk obliczeniowych MES i CAD,
- uzyskanie zbioru danych otrzymanych z precyzyjnie opracowanych wyników badań doświadczalnych,
- oryginalnym istotnym osiągnięciem są optymalne przedziały wartości kąta pochylenia krawędzi skrawającej określone w warunkach pomiarowych dla różnych parametrów dynamicznych obróbki ubytkowej frezowania HPC aluminium,
- istotnym osiągnięciem pracy jest określenie wpływu zarysu krawędzi skrawającej na wydajność procesu obróbki, wartości sił skrawania i kształt wiórów,
- duże znaczenie mają wnioski dotyczące sposobu doprowadzenia cieczy chłodząco-smarującej na wartości sił skrawania i amplitudę drgań w układzie OUPN,
- opracowanie charakterystyk amplitudowo-częstotliwościowych dla wymuszenia drgań w układzie OUPN dla właściwego stanu obciążenia podczas pracy narzędziami frezarskimi.

Uważam, że cel pracy nie tylko został zrealizowany, ale również przekroczony, a przyjęta teza udowodniona. Bardzo obszerny materiał uzyskany w wyniku badań i analiz został przedstawiony w sposób przejrzysty lecz zbyt zwarty, co odbija się na czytelności pracy, w której pominięto wiele fragmentów opisu analiz i badań. Uogólnienia, skróty i pewna lakoniczna monotonia opisu wynikały zapewne z chęci ograniczenia objętości pracy. Całość przeprowadzonych analiz i badań oceniam jednak wysoko pod względem merytorycznym

i metodologicznym. Przedstawione w pracy wyniki badań doświadczalnych dowodzą trafności zaproponowanego podejścia do rozwiązania problemu naukowego, umiejętności planowania i prowadzenia eksperymentu, potwierdzają aplikacyjność wyników analiz oraz eksperymentów. Dyskusja wyników jest przeprowadzona szczegółowo i poprawnie pod względem merytorycznym lecz budzi pewien niedosyt wynikający z braku szerszego omówienia przytoczonego obszernego materiału badawczego. Dalsze szczegółowe opracowanie wniosków może stanowić podstawę do przygotowania kolejnych publikacji naukowych autora. Na podstawie przeprowadzonych w pracy analiz autor przedstawił kierunki, w jakich powinny być kontynuowane dalsze badania.

Praca jest napisana według zasad, jakie są powszechnie stosowane przy redagowaniu prac doktorskich i dobrze skomponowana. Zastosowano prawidłowe słownictwo techniczne. Układ treści, podział na rozdziały, przyjęcie celu pracy i tezy pracy oraz sformułowanie wniosków końcowych są przejrzyste i logiczne. Zastrzeżenia budzi jedynie zamiana kolejności rozdziału zawierającego cel i zakres pracy oraz omówienie stanu wiedzy. Również rozdział 4 powinien posiadać inną numerację (więcej rozdziałów).

Praca liczy 125 stron zwięzłego tekstu, składa się z pięciu rozdziałów i spisu cytowanej literatury, poprzedzonych szczegółowym spisem treści i wykazem ważniejszych symboli i akronimów. Przedstawienie stanu wiedzy, założenia do wykonywanych badań, analizy, modele i wyniki badań zilustrowano na 115 rysunkach. Wybór literatury jest trafny, a sposób cytowania pozycji literatury w treści rozprawy poprawny. Przegląd literatury (łącznie 158 pozycji) daje podstawy do stwierdzenia, że autor przed rozpoczęciem badań dogłębnie zapoznał się z literaturą dotyczącą zagadnień będących przedmiotem rozprawy doktorskiej. Na podkreślenie zasługuje szczegółowy, aktualny wykaz pozycji uznanych autorów, cytowanie najnowszych polskich oraz zagranicznych prac z zakresu objętego tematem pracy doktorskiej. W literaturze zaznaczony jest również znaczny dorobek własny autora obejmujący łącznie 14 pozycji opracowanych w trakcie realizacji pracy doktorskiej.

Autor popełnił szereg błędów edytorskich, mniej istotnych dla merytorycznej wartości pracy, które zostały szczegółowo podane w oddzielnym zestawieniu. Uwagi w tym zakresie przekazałem autorowi osobiście i po dyskusji z większością z nich się zgodził.

Bardziej istotne błędy edycji to:

- nieczytelne opisy na rysunkach i wykresach, mała czcionka,
- rysunki podzielone pomiędzy strony, ciasno umieszczone w tekście,
- zdarzają się literówki i błędy stylistyczne,
- kilka sformułowań i określeń z języka potocznego,
- uproszczenia wprowadzające niejednoznaczność opisu.

Wskazane błędy edytorskie nie wpływają zasadniczo na jednoznacznie wysoką merytoryczną ocenę pracy. Proponuję, aby autor starał się dopracowywać edytorsko swoje prace przygotowywane w przyszłości do publikacji.

4. Uwagi krytyczne i pytania

Staranna lektura rozprawy doktorskiej skłania do wysunięcia następujących uwag i pytań do autora rozprawy:

- Czy przyjęte własności materiałów użytych do badań eksperymentalnych i budowy modeli zostały przyjęte tak, aby uwzględniały własności struktur rzeczywistych – problem skali modelu?
- Czy otrzymane wyniki są właściwe tylko dla jednego stopu aluminium, czy też mogą być wykorzystane dla innych stopów o zbliżonym składzie chemicznym?
- Czy wyniki pracy można stosować dla innego materiału ostrza skrawającego i jeśli tak to w jakim zakresie materiałów?
- Dla obliczeń modeli metodą elementów skończonych (MES) brak szczegółowych danych o zastosowanych założeniach przyjętych w odniesieniu do modelowanych struktur np. ilości i rodzaju przyjętych elementów skończonych, zastosowanych metodach obliczeń.
- Czy wszystkie modele MES stanowiska badawczego i obiektu badań były opracowane dla tych samych założeń?
- W jaki sposób przeprowadzono weryfikację zgodności modeli przyjmowanych do obliczeń numerycznych – modelowanie MES?
- W jaki sposób można bezpośrednio wykorzystać wyniki uzyskane w pracy do budowy narzędzi skrawających?
- Jakie znaczenie praktyczne mogą mieć uzyskane w wyniku analiz charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe drgań w układzie przedmiot-narzędzie?

5. Konkluzja końcowa recenzji

Wymienione w recenzji uwagi polemiczne odnośnie treści i prezentacji pracy nie podważają głównych wniosków rozprawy i mojej wysokiej jej oceny, zarówno od strony merytorycznej jak i prezentacyjnej.

Uważam że cele postawione przez Autora pracy zostały osiągnięte, podparte wynikami doświadczeń i dokładną ich analizą, oraz przedstawione w interesujący sposób.

Zgodnie Art. 13.1 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, rozprawa doktorska powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Stwierdzam, że rozprawa Pana **mgr inż. Marcina Płodzień** spełnia wszystkie powyższe wymagania. Stawiam wniosek o przyjęcie pracy i dopuszczenie kandydata do publicznej obrony pracy. Równocześnie stawiam wniosek o wyróżnienie pracy doktorskiej.

.....
Jacek Górski

Kraków, dnia 6.09.2017 r.