

Prof. dr hab. inż. Bogdan Kruszyński
Politechnika Łódzka

Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Roberta Ostrowskiego

p.t. Efektywność elektroerozyjnego kształtowania ostrzy narzędzi z kompozytów diamentowych stosowanych do obróbki stopów tytanu i aluminium w przemyśle lotniczym

Recenzja wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, prof. dr hab. inż. Jarosława Sępa.

1. Ocena wyboru tematu pracy

Praca doktorska Pana mgra inż. **Roberta Ostrowskiego** dotyczy ważnego zagadnienia jakim jest kształtowanie geometrii i jakości powierzchni narzędzi skrawających przeznaczonych do obróbki stopów aluminium i stopów tytanu stosowanych w przemyśle lotniczym. Autor skupił się na narzędziach wykonywanych z kompozytów diamentowych i obróbce elektroerozyjnej jako jednym z możliwych procesów obróbkowych, które umożliwiają obróbkę narzędzi wykonanych z polikrystalicznego diamentu.

Jakość wykonania płytek skrawających rzutuje na jakość wykonania obrabianych części co jest szczególnie istotne w przemyśle lotniczym z uwagi na wysokie standardy bezpieczeństwa. Z drugiej strony należy wziąć pod uwagę wydajność obróbki, co rzutuje na koszty wykonania.

Wszystkimi tymi zagadnieniami zajął się doktorant w swojej dysertacji co dało w efekcie szeroki materiał badawczy, który może być przydatny zarówno w dalszych badaniach naukowych jak i w doborze geometrii i warunków obróbki w praktyce przemysłowej.

Dlatego uważam, że wybór tematyki pracy doktorskiej jest w pełni uzasadniony i odpowiada aktualnym potrzebom przemysłu lotniczego.

2. Ocena merytoryczna pracy

Praca liczy 268 stron i składa się z dwunastu rozdziałów poprzedzonych spisem oznaczeń i akronimów wykorzystanych w pracy oraz z bibliografii zawierającej wykaz 130 publikacji wykorzystanych w pracy oraz streszczeń w języku polskim i angielskim. Podana w spisie literatura jest dobrana prawidłowo. Cytowania w pracy powinny być przedstawione w sposób uporządkowany. Autor spis literatury usystematyzował w kolejności cytowania w pracy co utrudnia wyszukiwanie odpowiednich pozycji literaturowych. W spisie literatury nie zachowano jednolitego formatowania: najpierw autorzy później tytuł, autorzy czasami podani dużymi a czasami małymi literami, imiona (lub inicjały) czasami przed nazwiskiem a czasami po nazwisku), itp.

We „**Wprowadzeniu**” omówiono pokrótce rozwój technologii obróbki wiórowej w głównie w aspekcie wzrostu wydajności obróbki. Wskazano na rozwój obrabiarek umożliwiające obróbkę z wysokimi prędkościami (HSM) i z maksymalną wydajnością (HPC). Wskazano również na rolę narzędzi skrawających, które muszą zapewnić wysokowydajną obróbkę. Autor wskazał na narzędzia z materiałów supertwardych (diament i regularny azotek boru) i na problemy z kształtowaniem geometrii narzędzi wykonywanych z tych materiałów. Jako główny obszar zainteresowań określił obróbkę elektroerozyjną ostrzy wykonanych z polikrystalicznego diamentu.

Rozdział I to „Analiza stanu zagadnienia”. Jego objętość to 84 strony. Zgodnie z tytułem pracy powinien on zawierać przede wszystkim informacje na temat elektroerozyjnego kształtowania geometrii ostrzy wykonanych z kompozytów diamentowych. Z tego punktu widzenia rozdział ten jest zbyt obszerny i zawiera wiele danych nie związanych z tematyką pracy doktorskiej. Informacje zawarte w tym rozdziale stanowią dobre źródło informacji o stopach lotniczych i ich obróbce i wskazują na obszerną wiedzę Doktoranta, niemniej jednak niepotrzebnie zwiększają objętość i tak długiego opracowania.

W podrozdziale 4 tego rozdziału Autor dokonuje krytycznej analizy procesów obróbkowych stosowanych do kształtowania ostrzy z materiałów supertwardych i wskazuje obróbkę elektroerozyjną (WEDM i EDM) jako obróbkę o dużym potencjale i wskazuje na konieczność prowadzenia badań nad zastosowaniem tej metody również w przemyśle. Na zakończenie rozdziału I Doktorant przedstawia tezę i cele pracy. Moim zdaniem powinien być to osobny rozdział. Teza pracy poza usterką stylistyczną w pierwszym akapicie jest sformułowana prawidłowo. Cele pracy są ambitne łącznie z perspektywą zastosowań przemysłowych.

W tej części pracy (jak i w dalszej części pracy) znajduje się sporo usterek językowych a także stylistycznych wynikających, moim zdaniem, z zachowania składni języka angielskiego w tłumaczeniu na język polski. Usterki te naniosłem na przesłany mi egzemplarz pracy, który przekażę Doktorantowi. Ponadto Autor:

- nie zachowuje jednakowego formatowania podpisów pod rysunkami (krótkie czcionki),
- niepotrzebnie omawia materiały narzędziowe, których praca nie dotyczy. Można było ograniczyć tę część rozdziału tylko do i tak obszernego opisu kompozytów diamentowych,
- niepotrzebnie omawia obrabiarki stosowane w przemyśle,
- niewłaściwie stosuje nazewnictwo dotyczące obróbki wiórowej, używając nazw: obróbka ubytkowa, obróbka skrawaniem czy obróbka narzędziami o zdefiniowanej geometrii ostrzy,

Rozdział II to „Badania własne”.

W **podrozdziale 7** Autor omawia cel i zakres badań pilotażowych i systematycznych.

Przedstawia materiały narzędziowe i materiały obrabiane wykorzystywane w badaniach procesu frezowania. Opis ten nie budzi zastrzeżeń. Natomiast brakuje, zasygnalizowanej w tytule podrozdziału metodyki badań.

W pierwszej części podrozdziału 7.2 Doktorant opisuje stanowiska badawcze (obrabiarki) do obróbki elektroerozyjnej zarówno drążarki jak i wycinarki drutowe. Przedstawia ich charakterystyki jak i możliwości obróbkowe. W drugiej części podrozdziału przedstawiona została aparatura pomiarowa do oceny jakości obrabianych płytek skrawających: mikroskopy i profilografometry oraz frezarki, na których prowadzono badania narzędzi skrawających. Ten opis jest prawidłowo opracowany i nie budzi zastrzeżeń.

Podrozdział 8 – Teoretyczna analiza współpracy materiału narzędzia z materiałem obrabianym jest dość lakoniczny i przy braku szczegółowego opisu przedstawionych w nim rysunków jest mało przekonujący. Rysunek 89 nie jest nawet wspomniany w treści tego podrozdziału. Schematy na nim przedstawione pasują raczej do strugania niż do frezowania.

Kolejny rozdział to „**Badania pilotażowe**”. W podrozdziale 9.1 opisano badania struktury materiałów przeznaczonych do frezowania. Tutaj opisano dokładnie metodykę badań zarówno mikroskopowych jak i pomiarów mikrotwardości.

Ocenę wyników obserwacji struktur materiału w różnych kierunkach utrudnia przedstawienie ich w różnych powiększeniach dla każdego kierunku – odpowiednio 35x, 250x i 400x. Dokumentacja tej części badań i opis wyników jest bardzo dobra.

Podrozdział 9.2 przedstawia opis badań procesu frezowania komercyjnymi frezami w technologii HPC. Wstępnie Doktorant opisuje potencjalny wpływ warunków obróbki na powstawanie naprężeń, czym później się nie zajmuje. W opisie celu badań nie podaje (str. 118) wpływem na jakie efekty frezowania będzie się zajmował.

Wyniki obszernych badań przedstawiono zarówno w formie tabelarycznej jak i w postaci wykresów. Bez opisu rysunków Autor przeszedł od razu do wniosków. Wnioski te nie są niestety oparte o analizę ilościową. Autor posługuje się pojęciami: „wyraźna różnica”, „odpowiedni dobór”, „znacząco większy”, „istotnie wpływają”, itp. Nasuwają się tutaj uwagi:

- Nie jest uzasadnione przez Doktoranta przeprowadzenie obszernych badań opisanych w podrozdziale 9.3.1 jeśli chodzi o pomiar sił skrawania.
- Podrozdział 9.4.1 (9.4 w spisie treści) poświęcony został kształtowaniu kompozytów diamentowych w technologii EDG. Po raz pierwszy pojawiło się pojęcie krateru na styku dwóch materiałów. Wykresy obrazujące ten krater są niestety nieczytelne.

Podrozdział 9.5 dotyczy badania procesu frezowania stopów aluminium omówionymi wcześniej narzędziami. Opis tych badań nie budzi większych zastrzeżeń jest jednak

obarczony tymi samymi błędami co podrozdziały poprzednie. Nie wiadomo dlaczego na zakończenie tego podrozdziału znalazły się informacje nt. „określenie cech mechanicznych i strukturalnych materiałów przeznaczonych na ostrza narzędzi skrawających”. Bardziej racjonalne byłoby przypisanie tego fragmentu pracy do rozdziału 10.

Rozdział 10 to badania będące najistotniejszą częścią recenzowanej pracy doktorskiej. Wprowadzenie do tego rozdziału nie jest metodyką badań a jedynie informacją o etapach prac opisanych w tym rozdziale.

W Podrozdziale 10.1 omówiono kształtowanie ostrzy na elektroerozyjnej wycinarce drutowej. W sposób prawidłowy przedstawiono cel i zakres badań, stanowisko badawcze, oraz metodykę pomiarów jakości kształtowanych ostrzy.

Pierwsze 40 (!) rysunków obrazuje wyniki pomiarów wielkości krateru (chyba niewłaściwa nazwa) powstałego na styku kompozytu z podłożem węglkowym). Nie podano po co przeprowadzono tak obszerne badania w tym zakresie skoro krater położony w odległości 0,6 mm od krawędzi skrawającej i o głębokości (w większości przypadków) od ułamka mikrometra do kilkunastu mikrometrów nie może wpływać na proces obróbki poprzez „zmniejszenie podparcia kompozytu”, jak to określono w dalszej części rozdziału.

Dalej pokazano w formie tabelarycznej wyniki pomiaru chropowatości kształtowanych ostrzy oraz wyniki pomiarów promienia zaokrąglenia krawędzi skrawającej. Następujące później wykresy słupkowe porównania chropowatości powierzchni powinny się znaleźć w sąsiedztwie tabeli 17.

Dopiero na zakończenie przedstawiono analizę tych wyników co utrudnia śledzenie opisu z uwagi na konieczność ciągłego powracania do wykresów które są czasami kilkadziesiąt stron od ich opisu. Analiza wyników jest dość skrótowa. Sytuacja ta pojawia się w kolejnych częściach pracy przy omawianiu wyników badań.

Niezbyt zrozumiały jest układ rozdziałów. Bardzo obszerny rozdział 10.1 poświęcony został technologii WEDM. Po nim następuje rozdział 10.2, w którym Autor omawia również kształtowanie wkładek innymi z zastosowaniem innych metod elektroerozyjnych ale nie kontynuuje badań w tym zakresie.

W rozdziale 10.3 przedstawia wyniki badań wkładek po kształtowaniu elektroerozyjnym nie definiując, którą z metod obróbki wymienionych w poprzednim rozdziale. Można jedynie założyć, że dotyczy to technologii WEDM. Wyniki badań dotyczące obserwacji powierzchni płytek są dobrze udokumentowane od strony metodyki badań, opisu wykorzystywanej aparatury i materiału ilustracyjnego.

W drugiej części rozdziału przedstawiono bardzo obszerne wyniki pomiarów geometrii kształtowanych płytek. Doktorant przedstawił wyniki na kilkunastu rysunkach bardzo dobrze opracowanych i wnoszących istotne dane do dalszej analizy. Niestety tej analizy zabrakło w zakończeniu tego fragmentu pracy.

Wnioski pojawiają się dopiero na zakończenie tego rozdziału i są zbyt lakoniczne w stosunku do bardzo obszernego i bardzo ciekawego materiału badawczego.

Ostatni fragment rozdziału 10 został poświęcony badaniom efektów procesu frezowania ostrzami ukształtowanymi z wykorzystaniem obróbki elektroerozyjnej. Badania dotyczyły pomiarów chropowatości powierzchni i pomiarów sił skrawania. Wyniki badań zostały obszernie i dobrze zilustrowane bez przedstawienia ich analizy i wyciągnięcia wniosków.

Analiza wyników badań dotycząca całej pracy została przedstawiona w rozdziale 11 a wnioski w rozdziale 12. W analizie wyników badań poprawnie przedstawiono jakościowe zależności zaobserwowane podczas badań eksperymentalnych.

Zabrakło wyników badań dotyczących obróbki stopów tytanu co było zawarte w tytule pracy.

3 Wniosek końcowy

Uważam, że przedstawiona mi do recenzji praca doktorska mgr inż. Roberta Ostrowskiego pt. „Efektywność elektroerozyjnego kształtowania ostrzy narzędzi z kompozytów diamentowych stosowanych do obróbki stopów tytanu i aluminium w przemyśle lotniczym” jest wartościowa i wnosi nową wiedzę do dyscypliny naukowej Budowa i Eksploatacja Maszyn w odniesieniu do tak trudnego procesu technologicznego jakim jest wysokowydajne frezowanie zaawansowanych materiałów lotniczych. Doktorant wykazał się wiedzą oraz umiejętnością planowania i realizacji programu badawczego. Umiejętnie posługiwał się różnorodną aparaturą badawczą. Zabrakło w pracy poszerzonej analizy wyników pomiarów oraz przeprowadzenia badań w zakresie obróbki stopów tytanu. Pozostałe, wymienione w recenzji usterki mają w większości charakter porządkowy i edycyjny i nie obniżają pozytywnej oceny pracy.

Dlatego uważam, że analizowana praca doktorska mgr inż. Roberta Ostrowskiego pt. „Efektywność elektroerozyjnego kształtowania ostrzy narzędzi z kompozytów diamentowych stosowanych do obróbki stopów tytanu i aluminium w przemyśle lotniczym” odpowiada wymaganiom stawianym pracom doktorskim w obowiązującej ustawie i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Łódź 8 grudnia 2015 roku