

dr hab. inż. Rafał Świercz, prof. uczelni
Politechnika Warszawska
Wydział Mechaniczny Technologiczny
ul. Narbutta 85, 02-524 Warszawa

Warszawa, dn. 30.11.2021 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej
pt.:

„Wpływ parametrów procesu wycinania elektroerozyjnego na dokładność kształtu i
jakość powierzchni zamka tarczy turbiny”

Autor: mgr inż. Jarosław Buk

Promotor: prof. dr hab. inż. Jan Burek
Promotor pomocniczy: dr inż. Robert Babiarz

Opracowano na zlecenie
Sekretarza Rady Dyscypliny
Inżynieria Mechaniczna
Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza
Pana dr hab. inż. Pawła Wosia, prof. PRz
z dnia 30.09.2021 r.

1. Treść i zakres rozprawy

Recenzowana praca dotyczy badania wpływu warunków obróbki wycinania elektroerozyjnego na dokładność wykonywanego kształtu i wybrane cechy stanu warstwy wierzchniej. Głównym przedmiotem zainteresowania doktoranta było opracowanie warunków procesu wycinania elektroerozyjnego zamka tarczy turbiny ze stopu Inconel 718.

We wprowadzeniu do rozprawy autor w zwięzły sposób przedstawił problematykę poruszanego zagadnienia.

W rozdziale II autor opisał stan zagadnienia dotyczącego budowy zespołu wirnikowego turbiny i kształtowania technologicznego zamków tarcz łopatkowych. Na podstawie przeprowadzonej analizy współczesnych technologii wykonywania zamków

w tarczach nośnych zidentyfikował istotny kierunek badań nad procesem wycinania elektroerozyjnego, którego celem jest poprawa dokładności wymiarowo - kształtowej oraz stanu warstwy wierzchniej wykonywanych zamków tarcz łopatkowych.

W rozdziale III Autor szczególną uwagę skoncentrował na analizie procesu wycinania elektroerozyjnego. Przybliżono aktualną teorię opisującą zjawiska fizyczne występujące w trakcie wyładowań elektrycznych determinujące proces usuwania materiału. Istotną część rozdziału stanowi opis wpływu parametrów i warunków obróbki wycinania elektroerozyjnego na dokładność geometryczną części. Szeroko przedstawiono informacje dotyczące stanu warstwy wierzchniej stopów niklowo chromowych po obróbce wycinaniem elektroerozyjnym. Autor w oparciu o analizę stanu badań (121- pozycji literaturowych) zidentyfikował luki w istniejącym stanie wiedzy dotyczącym badanego zagadnienia i na tej podstawie sformułował temat oraz cel i zakres rozprawy.

W rozdziale IV przedstawiono cel i zakres pracy. Postawiono tezę „Można dobrać taki generator parametrów elektrycznych i określić takie wartości natężenia i napięcia prądu wyładowania oraz czasu przerwy między wyładowaniami w procesie wycinania elektroerozyjnego stopu Inconel 718, które zapewnią wymaganą dokładność kształtu, stan warstwy wierzchniej i topografię powierzchni zamka tarczy nośnej turbiny”.

Rozdział V zawiera opis warunków badań, metodyki badawczej oraz aparatury stosowanej w badaniach. W kolejnych etapach przedstawiono plany badawcze dla trzech generatorów impulsów obrabiarki. Badania realizowano przy zastosowaniu nowoczesnej, specjalistycznej aparatury.

W rozdziale VI przedstawiono opisy i rezultaty badań doświadczalnych realizowanych w ramach dysertacji oraz ich analizę. Badania obejmowały ocenę wpływu parametrów i warunków obróbki wycinania elektroerozyjnego tj. natężenia prądu wyładowania, średniego napięcia wyładowania, czasu przerwy między wyładowaniami oraz dosuwu elektrody na dokładność wymiarowo geometryczną wycinanego kształtu i wybrane cechy WW. Szczególna uwaga skoncentrowana została na wyznaczeniu wpływu przyjętych zmiennych niezależnych dla trzech rodzajów generatorów wycinarki elektroerozyjnej na:

- na parametry 2D i 3D chropowatości powierzchni,
- na grubość warstwy przetopionej,
- na mikrotwardość warstwy wierzchniej,

- na dokładność odwzorowania kształtu.

W rozdziale VII przedstawiono podsumowanie i wnioski o charakterze poznawczym i utylitarnym.

Bibliografia obejmuje 119 pozycji literaturowych, w tym sześć współautorskich artykułów naukowych Doktoranta. Cytowane źródła literaturowe są adekwatne do tematyki rozprawy i obejmują aktualne artykuły z czasopism naukowych, materiałów konferencyjnych i opracowań książkowych.

2. Ocena ważności podjętego problemu naukowego

Obróbka elektroerozyjna należy do nowoczesnych sposobów obróbki elementów o najwyższych dokładnościach i złożonych kształtach wykonywanych z trudnoskrawalnych materiałów. Zapewnienie wysokiej jakości i efektywności obróbki wycinania elektroerozyjnego wymaga uzyskiwania możliwie cienkich warstw wierzchnich, wysokiej dokładności wymiarowo kształtowej oraz niskiej chropowatości powierzchni, przy możliwie wysokiej wydajności usuwania materiału. Przeciwność zalecanych parametrów procesu niezbędnych do osiągnięcia stawianym celom powoduje, iż odpowiedni dobór parametrów i warunków wycinania elektroerozyjnego nowych materiałów, których przykład stanowi Inconel 718 wymaga opracowania nowych podstaw technologicznych obróbki.

Opiniowana rozprawa realizowana była w oparciu o zróżnicowane nowoczesne techniki badawcze, aparaturę i urządzenia technologiczne oraz stanowi istotne osiągnięcie doktoranta w obszarze badań nad obróbką elektroerozyjną. Połączenie badań wpływu rzeczywistych parametrów i warunków obróbki na dokładność wymiarowo - geometryczną wycinanego kształtu oraz wybrane cechy warstwy wierzchniej w połączeniu z analizą efektywności procesu stanowi ważny i nowoczesny obszar badań obróbki elektroerozyjnej.

3. Ocena merytoryczna

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy doktorskiej Pana Jarosława Buka stwierdzam, że analiza stanu zagadnienia, dobór aparatury naukowo-badawczej, przedstawiony plan i metodyka badań doświadczalnych jest prawidłowa. Przeprowadzone badania zgodne z teorią eksperymentu planowanego oraz opracowanie wyników badań, prezentują wysoki poziom merytoryczny.

Za największe, oryginalne osiągnięcia naukowe Doktoranta uważam, wyznaczenie i opisanie wpływu głównych technologicznych parametrów i warunków procesu wycinania elektroerozyjnego na dokładność wymiarową - kształtową i jakość obrabianych powierzchni. Wyznaczone równania regresji stanowią podstawę projektowania procesów technologicznych ukierunkowanych na osiągnięcie określonych rezultatów obróbki stopu Inconel 718.

Istotne z punktu widzenia rozszerzenia dotychczasowej wiedzy jest wyznaczenie zarówno wpływu energii wyładowania elektrycznego jak i oddziaływania jej parametrów składowych zarówno na cechy topografii powierzchni, grubość warstwy przetopionej i rozkład mikrotwardości materiału.

Na uwagę zasługuje szeroki zakres wykonanych badań doświadczalnych wpływu parametrów i warunków obróbki na:

- parametry 2D i 3D chropowatości powierzchni; badania stereometrycznej charakterystyki chropowatości po WEDM należą do nielicznych badań z tego zakresu i umożliwiają pełniejszą ocenę rzeczywistych cech SGP,
- ocenę wpływu rzeczywistych wartości natężenia prądu wyładowania, napięcia wyładowania elektrycznego oraz czasu przerwy między impulsami, stanowi istotny krok w kierunku opracowania uniwersalnych modeli wpływu analizowanych zmiennych niezależnych i na efekty obróbki.
- ekonomiczną analizę procesu obróbki i wyznaczania liczby przejść obróbkowych w celu uzyskania oczekiwanych rezultatów obróbki zarówno pod względem uzyskiwanej dokładności wymiarowo- kształtowej jak i określonego stanu warstwy wierzchniej.

Przeprowadzone oryginalne badania doświadczalne miały charakter interdyscyplinarny i dają naukowe podstawy do rozwoju technologii wycinania elektroerozyjnego części wykonywanych ze stopu Inconel 718.

4. Uwagi do pracy

Generalnie, praca napisana jest na dobrym poziomie z zastosowaniem właściwej terminologii. Nie mniej jednak Autor nie uniknął błędów językowych, edytorskich i stylistycznych np.:

- str. 42, rys. 3.2 - brak wartości rzędnych dla poszczególnych osi,

- str. 60, „Autor stwierdza, że warstwa biała cechowała się niższą twardością oraz znacznie większymi rozrzutami pomiarów w porównaniu z materiałem rodzimym” – możemy analizować rozrzut wyników pomiarów, a nie pomiarów.
- str. 66, „Zakłada się że efektem utylitarnym pracy będzie optymalny dobór generatora oraz jego parametrów elektrycznych....” – sformułowanie sugeruje, iż w pracy przedstawione zostaną wyniki optymalizacji procesu,
- w wielu miejscach Autor jako separator dziesiętnych części liczb zamiennie stosuje kropkę i przecinek, w polskich oznaczeniach separatorem części dziesiętnych jest przecinek,
- w większości zamieszczonych w pracy wykresów w podpisach poszczególnych osi jednostki podawane są po przecinku zamiast w nawiasach,
- niska czytelność wartości rzędnych osi między innymi na rysunkach: 6.3-6.5, 6.7,
- „czas trwania impulsu” - powinno być czas impulsu,
- wzory 3.1 oraz 5.4 określają energię pojedynczego wyładowania elektrycznego – Autor stosuje jednak odmienne oznaczenia poszczególnych składowych co budzi wątpliwości i jest niejasne,
- na rysunkach 6.8 i 6.9 6.16, 6,17 itd. przedstawiono zasadniczo wybrane składowe SGP, która jest częścią WW, w podpisach rysunków natomiast wyraźny podział SGP i WW,
- rysunek 6.24 – brak widocznych wyników badań.

Pewien niedosyt budzi fakt braku pogłębionej analizy rejestrowanych przebiegów napięcia i natężenia prądu elektrycznego, szczególnie, iż autor w ocenie cech topografii powierzchni odnosi się w pewnych obszarach do braku stabilności wyładowań.

W niektórych przypadkach Autor we wnioskach ogranicza się do opisu zależności podając, że analizowana wielkość rośnie lub maleje w funkcji zmiennych niezależnych nie podejmując próby interpretacji fizycznej tych zależności i objaśnienia ich w oparciu o zjawiska fizyczne.

Poniżej wymieniono uwagi o charakterze dyskusyjnym z prośbą do Autora rozprawy o ustosunkowanie się:

1. Nie wystarczająco przedstawiono charakterystykę przebiegów napięcia i natężenia prądu elektrycznego w warunkach obróbki elektroerozyjnej. W prowadzonych

- badaniach nie ujęto czasu impulsu jako jednego z podstawowych parametrów. Czy parametr ten był wartością stałą? Jaki był współczynnik wypełnienia impulsu?
2. Z opisu na str. 102 wynika, że dla jednego z badanych zakresów zmiennych niezależnych zaobserwowano kierunkowość struktury. Proszę o pogłębioną dyskusję nad uzyskanym rezultatem w odniesieniu do wpływu parametrów i warunków obróbki wycinania elektroerozyjnego.
 3. Nie wykonano dodatkowych analiz statystycznych potwierdzających poprawność wyznaczonych równań - analizy reszt. Czy weryfikowano istotność poszczególnych członów w przedstawionych równaniach, jeśli tak to jakim testem i dla jakiego poziomu istotności.
 4. Z jakiego powodu występuje istotna rozbieżność pomiędzy wartością rzeczywistą badanych parametrów obróbki dla tych samych nastaw generatora np. nastawa $I_c=16$, dla próby nr HP 4 i HP 8 wartość zmierzona wyniosła odpowiednio 71,76 i 75,4 A.

Niezależnie od wymienionych uprzednio uwag krytycznych nie umniejszają one pozytywnej oceny merytorycznej opiniowanej rozprawy doktorskiej.

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Uważam, że recenzowana rozprawa prezentuje wysoki poziom merytoryczny i zawiera wiele elementów nowości i oryginalności. Przedstawione rezultaty mają zarówno istotne znaczenie naukowe jak i użytkowe i stanowią ważny wkład w rozwój technologii wycinania elektroerozyjnego. Ponadto stwierdzam, że Autor wykazał się szeroką interdyscyplinarną wiedzą, umiejętnością planowania i realizacji badań naukowych oraz umiejętnością oceny uzyskanych wyników.

Uwzględniając powyższe stwierdzam, że rozprawa doktorska opracowana przez Pana mgr. inż. Jarosława Buka pt. „Wpływ parametrów procesu wycinania elektroerozyjnego na dokładność kształtu i jakość powierzchni zamka tarczy turbiny” spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy prawa i może być dopuszczona do publicznej obrony w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

Reverce