

Szczecin 13.02.2023 rok

Prof. dr hab. inż. Bartosz Powałka
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki

OPINIA

o rozprawie doktorskiej mgr. inż. Waldemara Dazia

pt. „Analiza toczenia wykończeniowego uszczelnień dysków turbin ze spiekanego superstopu na bazie niklu i kobaltu dla rodziny nowej generacji silników lotniczych (NGPF – New Generation Product Family) z użyciem płytki z ostrzem z cBN o zmodyfikowanej geometrii krawędzi skrawającej”

1. Ocena wyboru tematu rozprawy

Technologia wytwarzania silników turbinowych jest niezwykle wymagająca. Wynika to z bardzo wysokich wymagań jakościowych, dokładności wykonania oraz stosowania nowoczesnych materiałów. Elementy silnika turbinowego klasyfikowane są w zależności od ich wpływu na niezawodność funkcjonowania silnika i bezpieczeństwo lotu. Części krytyczne, to takie których uszkodzenie stanowi zagrożenie dla bezpieczeństwa lotu. Do elementów silnika turbinowego zaliczanych do komponentów krytycznych zalicza się m.in. uszczelnienia turbiny wysokiego ciśnienia. Komponenty te wchodzi w skład tzw. strefy gorącej silnika przez co są narażone na działanie wysokiej temperatury. Dlatego wykonywane są z superstopów żarowytrzymałych i żaroodpornych. Niestety, materiały te cechuje niska skrawalność, co w konsekwencji oznacza że zapewnienie wymaganej dokładności wymiarowo-kształtowej oraz odpowiedniego stanu technologicznej warstwy wierzchniej jest nie lada wyzwaniem. O znaczeniu obróbki mogą świadczyć wyniki śledztwa przytaczane przez Doktoranta. Śledztwo to dotyczyło katastrofy samolotu MD88 na Florydzie. Bezpośrednią przyczyną tej katastrofy było uszkodzenie silnika na skutek rozerwania dysku wentylatora. Rozerwanie dysku wentylatora było zaś spowodowane zmianami mikrostruktury warstwy wierzchniej materiału powstałymi podczas obróbki. Należy zatem jednoznacznie stwierdzić, że tematyka obróbki komponentów będących krytycznymi elementami silnika turbinowego jest niezwykle istotna. Szczegółowy przegląd literatury naukowej doprowadził Doktoranta do wniosku, że nie przynosi ona odpowiedzi na

nurtujące Go pytania. Pytania te koncentrowały się na określeniu wpływu parametrów obróbki na zwiększoną liczbę niezgodnych badań materiałowych podczas wdrażania produkcji uszczelnień wirujących dla nowej rodziny silników NGPF. Przeprowadzone badania wstępne doprowadziły Doktoranta do wniosku, że przyczyna zwiększonej liczby niezgodności może być związana z profilem krawędzi skrawającej ostrza stosowanego w trakcie obróbki. Mając zatem na uwadze istotność zagadnienia, aspekty ekonomiczne a także aktualność naukową stwierdzam, że tematyka rozprawy jest prawidłowo określona.

2. Charakterystyka rozprawy i jej merytoryczna ocena

Rozprawa składa się z siedmiu rozdziałów, oraz spisu literatury. Rozdział pierwszy jest wprowadzeniem do tematyki rozprawy i opisano w nim historię rozwoju turbinowych silników odrzutowych, budowę turbinowych silników lotniczych oraz omówiono materiały stosowane w ich budowie. Włączenie takiego wprowadzenia do rozprawy uważam za bardzo pożyteczne, gdyż wyjaśnia czytelnikowi konieczność stosowania stopów żaroodpornych. W rozdziale drugim scharakteryzowano superstopy na osnowie niklu i kobaltu stosowane w technice lotniczej oraz omówiono wymagania dla procesów obróbki części krytycznych silników lotniczych. W rozdziale tym Doktorant zwrócił uwagę na wyniki śledztwa dotyczące katastrofy samolotu MD88 linii Delta Airlines. W śledztwie tym wykazano, że przyczyną awarii silnika były zmiany mikrostruktury warstwy wierzchniej materiału, a zatem czynnik związany z obróbką skrawaniem. W rozdziale drugim dokonano także analizy literatury naukowej dotyczącej skrawania superstopów na osnowie niklu, stopów tytanu i stali wysokostopowych. Wnioski sformułowane na podstawie przeglądu literatury, analiza wyników produkcyjnych oraz badania wstępne przeprowadzone przez Doktoranta doprowadziły do określenia celu pracy przedstawionego w rozdziale 3. W tym rozdziale sformułowana została także hipoteza badawcza oraz zaprezentowany w przejrzystej formie graficznej zakres pracy. Rozdział czwarty zawiera opis warunków badań doświadczalnych. Dokonano w nim scharakteryzowania materiału obrabianego, jego składu chemicznego, właściwości mechanicznych, procesu wytwarzania oraz zaprezentowano geometrię próbki badawczej. Przedstawiono narzędzia skrawające stosowane w badaniach wraz ze szczegółowym opisem pomiarów geometrii profili krawędzi skrawającej. W rozdziale tym zaprezentowano stanowisko badawcze składające się z tokarki NEF 600, stanowiska do pomiaru składowych całkowitej siły skrawania, stanowisko do pomiaru

wskaźników zużycia ostrza. Omówiono także przyjęty w testach zakres parametrów skrawania.

Rozdział 5 zawiera prezentację wyników i analizę badań dla obróbki rozpatrywanymi narzędziami skrawającymi. Doktorant dokonuje porównania sił skrawania w odniesieniu do wybranego (CH0620) ostrza skrawającego, buduje statystyczny model składowych sił skrawania zależny od prędkości skrawania i posuwu. W analogiczny sposób przedstawiono wyniki pomiarów chropowatości (R_a i R_z) i sposób ich modelowania. W rozdziale 5 przedstawiono zużycie ostrza skrawającego wyrażone za pomocą wskaźników VB_{Bmax} i VB_N . Dla każdego z badanych ostrzy przedstawiono rozkład pierwiastków na powierzchni natarcia. Doktorant w sposób syntetyczny omówił wpływ zużycia ostrza na topografię powierzchni. Koniec rozdziału piątego został poświęcony opisowi morfologii składników fazowych mikrostruktury warstwy wierzchniej, rozkładowi twardości w warstwie wierzchniej na przekroju poprzecznym elementu obrabianego w funkcji odległości od powierzchni oraz naprężeniom w warstwie wierzchniej.

Rozdział 6 zawiera podsumowanie uzyskanych wyników, zaś w rozdziale 7 przedstawiono sposób wykorzystania uzyskanych wyników w praktyce przemysłowej.

Podsumowując układ rozprawy stwierdzam, że Doktorant przedstawił przeprowadzone badania w sposób bardzo czytelny. Układ rozprawy wynika wprost z założonych celów rozprawy.

Do wartościowych osiągnięć rozprawy zaliczyć należy wnioski o charakterze użytkowym, pozwalające na wybór odpowiedniej geometrii ostrza skrawającego. Konsekwencją tych wniosków było wyeliminowanie narzędzi o geometrii R02.

Oceniając pozytywnie opiniowaną rozprawę, mam również uwagi krytyczne, do których zaliczam:

- Str. 46: Doktorant stwierdza, że nowa metoda wytwarzania superstopów oparta na metalurgii proszków i skład chemiczny wpływają niekorzystnie na procesy wytwarzania. Jaka była „stara” metoda wytwarzania superstopów?
- Str. 54: Dlaczego na wykresie oś „X” wyrażona jest w ilościach próbek a nie w czasie?
- Str. 54: Doktorant wspomina o zmniejszającej się grubości dysku – jaki był scenariusz prowadzonych badań, czy to oznacza, że na jednym dysku wykonano kilka testów.
- Str. 54: konsekwencją spadku sztywności były pojawiające się drgania. Jak stwierdzono występowanie drgań?

- Str. 56: Napisano, że 8 testów to kombinacje parametrów skrajnych, co według mnie nie znajduje potwierdzenia w tabeli 4.6.
- Str. 59: W trakcie pomiaru obserwowano dużą amplitudę wartości mierzonych składowych sił skrawania, co można tłumaczyć silnym wpływem cykliczności tworzenia się płaszczyzn poślizgu w strefie ścinania wióra. Na jakiej podstawie wysnuto taki wniosek? Czy wykonano jakies badania w tym kierunku? Wydaje się, że pożytecznym byłoby przedstawienie analizy częstotliwościowej zarejestrowanych sił skrawania oraz analiza wióra.
- Str. 65: W jaki sposób wartość odchylenia standardowego potwierdza liniowy wpływ czynników wejściowych?
- Str. 79: Doktorant stwierdza, że patrząc na cały uwzględniony przedział parametrów skrawania najlepsze rezultaty uzyskano dla modyfikacji krawędzi skrawającej R01. Dobrze byłoby przedstawić to w takiej formie, aby czytelnik nie miał wątpliwości. Czy to, że dany pomiar ujęty w tabeli 5.5. jest koloru czerwonego oznacza, że wynik taki jest nieakceptowalny?
- Str. 83- 89: Rysunki 5.17, 5.20, 5.23 i 5.26 przedstawiają pierwiastki na powierzchni natarcia dla poszczególnych ostrzy skrawających. Mają one stwierdzać występowanie obszarów adhezji materiału obrabianego, wytworzonych stref tlenku aluminium i odstłoniętych powierzchni materiału ostrza. Trudno jednak na ich podstawie określić, które z ostrzy skrawających charakteryzuje się najmniejszą adhezją materiału obrabianego, na którym ostrzu obserwujemy największe odstłonięte powierzchnie ostrza.
- Str. 92: Doktorant stwierdza zjawisko występowania narostu na ostrzu skrawającym. Czy powstanie narostu miało zauważalny wpływ na topografię powierzchni obrobionej?
- Str. 104: W jaki sposób uzyskiwano próbki do badań umocnienia warstwy wierzchniej? Czy ewentualne drgania mogą mieć wpływ na uzyskiwane wyniki?
- Str. 106: W zaprezentowanej tabeli przedstawiono wyniki pomiarów naprężeń własnych wraz z błędem. W jaki sposób określano ten błąd?
- Str. 112: W przypadku narzędzia o profilu R01 uzyskano akceptowalne parametry chropowatości. Jakie są granice akceptowalności? Z powodu występujących wad i ich wielkości obserwowanych na zglądach

metalograficznych, pozostałe geometrie obarczone są ryzykiem niespełnienia wymagań standardu MCLM E-166 suplement A. Wniosek ten ma wynikać z analiz przedstawionych w podrozdziale 5.4.3. pt. „Morfologia składników fazowych mikrostruktury warstwy wierzchniej”. W podrozdziale tym Doktorant odnosi się do tej normy, jednak brakuje twardej oceny ilościowej. Stwierdza, że (str. 102) zauważalne są też cienkie, odseparowane fragmenty „białej warstwy” i że jej dopuszczalna wielkość i częstość występowania jest określona w instrukcji MCLM E-166. Nie dokonuje niestety pomiaru tej wady i nie porównuje z wartościami podanymi w instrukcji. Wspomina o niekorzystnej z punktu widzenia wytrzymałości zmęczeniowej zdeformowanej warstwie wierzchniej, po czym stwierdza, że jej grubość mieści się w granicach akceptacji. Z kolei w przypadku ostrza KS R02 grubość zdeformowanej warstwy wierzchniej przekracza wartości akceptowalne.

Opiniowana rozprawa ma charakter doświadczalny. Umiejętnie prowadzone eksperymenty pozwoliły Doktorantowi zrealizować postawiony cel rozprawy. Strona edytorska i przejrzystość rozprawy jest na bardzo dobrym poziomie. Jej ogólna ocena jest zatem pozytywna. Rozprawa doktorska mgr. inż. Waldemara Dazia wnosi istotny wkład w rozwój obróbki skrawaniem.

3. Końcowa ocena rozprawy

Końcowa ocena rozprawy doktorskiej mgr. inż. Waldemara Dazia jest pozytywna. Autor wykazał się wiedzą z zakresu mechaniki procesu skrawania, planowania eksperymentu, umiejętnością prowadzenia badań doświadczalnych i wnikliwym podejściem do analizy wyników tych badań. Udowodnił, że jest przygotowany do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr. inż. Waldemara Dazia spełnia wszystkie wymagania odpowiedniej ustawy i może być dopuszczona do publicznej obrony.

