

Prof. dr hab. inż. Roman Staniek
Instytut Technologii Mechanicznej
Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania
Politechnika Poznańska
pl. Mari Skłodowskiej-Curie 5
60-965 Poznań

Poznań, dnia 28 grudnia 2015r.

R E C E N Z J A

pracy doktorskiej mgr. inż. Krzysztofa KRUPY

pt.

**Kształtowanie warstwy wierzchniej oraz wskaźniki jakościowe obróbki
w procesie toczenia wykończeniowego
stopu tytanu na osnowie fazy międzymetalicznej TiAl(γ)**

Podstawa opracowania

- praca doktorska mgr. inż. Krzysztofa KRUPY, której promotorem jest dr hab. inż. Krzysztof Kubiak, prof. PRz,
- uchwała Rady Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej z dnia 18 listopada 2015 roku w sprawie wyznaczenia recenzentów w/w pracy i umowa podpisana przez Dziekana Wydziału prof. dr hab. inż. Jarosława SĘPA na opracowanie recenzji.

Wybór tematu, ogólny opis pracy

Dynamiczny rozwój i silne parcie przemysłu lotniczego w kierunku osiągnięcia coraz lepszych parametrów techniczno eksploatacyjnych samolotów wymusza na producentach silników lotniczych nie tylko poszukiwanie nowych, lepszych materiałów na części i zespoły, ale także innowacyjnych rozwiązań w zakresie ich konstrukcji i technologii, szczególnie w obszarze nowych efektywnych technologii obróbki skrawaniem. Te trendy doskonale wpisują się w powszechnie obowiązujące dziś motto: *lepiej/dokładniej/, szybciej i taniej.*

Z tych względów tematyka podjęta przez Autora w rozprawie doktorskiej jest jak najbardziej uzasadniona, aktualna i potrzebna. Porusza niezwykle trudne i skomplikowane zagadnienia związane z poszukiwaniem optymalnych/racjonalnych technologii kształtowania złożonych części o specyficznych wymaganiach stosowanych w budowie silników lotniczych.

Praca liczy 151 stron. Składa się z wprowadzenia (rozd.1) poprzedzonego spisem treści, przeglądu stanu wiedzy na podstawie literatury (rozd. 2), trzech rozdziałów zasadniczych

Wpłynęło dnia <u>4.01.2016</u>
Podpis pracownika dziekanatu WBMiL: <u>EAnt on</u>

(rozdz. 3–5), wniosków (rozdz. 6), wykazu literatury (rozdz. 7), streszczenia w języku polskim i angielskim, a także wykazu ważniejszych oznaczeń. Bibliografia obejmuje ogółem 126 pozycji, z czego ok. 75% pochodzi z 21 wieku, w tym 8 to współautorskie pozycje Doktoranta, 6 to normy, a 5 to strony www.

Pan mgr inż. Krzysztof Krupa wykonał pracę doktorską pod kierunkiem dr hab. inż. Krzysztofa Kubiaka, prof. PRz. w Katedrze Materiałoznawstwa i Laboratorium Badań Materiałów dla Przemysłu Lotniczego. Chciałbym tu podkreślić, że Katedra jest najlepszym w kraju ośrodkiem badawczym zajmującym się technologią i obróbką materiałów na części lotnicze i dysponuje nie tylko najnowocześniejszym zapleczem badawczym, ale także doświadczoną kadrą naukową.

Uważam, że wybór tematu jest trafny i uzasadniony, a przedstawiona do opiniowania dysertacja stanowi opracowanie naukowe w określonym przez Autora zakresie. Przyjęta w pracy sekwencja postępowania jest wewnętrznie spójna i logiczna.

Ocena merytoryczna

Autor w pracy podjął się opracowania podstaw technologii efektywnej obróbki skrawaniem w procesie toczenia wykończeniowego trudnoobrabialnego stopu tytanu na osnowie fazy międzymetalicznej $TiAl(\gamma)$, ze szczególnym uwzględnieniem jej wpływu na kształtowanie właściwości warstwy wierzchniej obrabianych części. Przeprowadził szereg badań doświadczalnych uzyskując wiele ciekawych wyników. Podjął też próbę dokonania kompleksowej analizy, co okazało się zadaniem nie tak prostym.

We wprowadzeniu (**rozdział 1**, s.5-6) Autor przedstawił krótką historię rozwoju najnowszej generacji materiału, który będzie tematem rozprawy, jego cechy, zastosowanie na elementy silników lotniczych oraz główne problemy związane z ich obróbką szczególną uwagę poświęcając najważniejszemu elementowi, czyli warstwie wierzchniej, tej która decyduje o jakości współpracy poszczególnych części. Przyznam szczerze, że to wprowadzenie czyta się z przyjemnością.

W **rozdziale 2** (s.7-56) Autor na podstawie literatury (w tym najnowszej) dokonał bardzo szczegółowego przeglądu stanu wiedzy w temacie, począwszy od opisu znanych stopów tytanu, następnie sporo uwagi poświęcił charakterystyce stopów tytanu na osnowie międzymetalicznej $TiAl(\gamma)$, ich obróbce skrawaniem, wskaźnikom jakościowym tej obróbki oraz warstwie wierzchniej po obróbce. Taki przegląd jest jasny i nie budzi uwag.

Uważam, że Autor mógł częściej cytować publikacje z ostatnich kilku lat z renomowanych czasopism listy filadelfijskiej. Wątpliwe też wydaje się podawanie przez Doktoranta bardzo starych publikacji, takich jak poz. 59 z roku 1968, poz. 103 z roku 1971, czy poz. 113 z roku 1976.

Rozdział 3 zatytułowany „Podsumowanie stanu zagadnienia – założenia i cel pracy” to rozdział kluczowy dla pracy, ale bardzo krótki – raptem 1,5 strony tekstu, (s.57-59). Na podstawie przeprowadzonej w poprzednim rozdziale analizy stanu wiedzy w interesującym go obszarze Autor sformułował cele i zakres pracy. Ogólny cel pracy to określenie wpływu pod-

stawowych wielkości wejściowych, czyli geometrii i materiału ostrza narzędzia skrawającego oraz parametrów procesu skrawania takich jak: prędkość, posuw i głębokość podczas toczenia wykończeniowego stopu tytanu na podstawie fazy międzymetalicznej $TiAl(\gamma)$ **i tu zdanie się kończy (Autor nie napisał na co to określenie ma wpływać?)**. Utylitarnym celem pracy jest opracowanie wytycznych do doboru parametrów procesu skrawania oraz materiału i geometrii ostrza narzędzia skrawającego zapewniających kształtowanie warstwy wierzchniej o wymaganych właściwościach podczas toczenia wykończeniowego stopu tytanu $TiAl(\gamma)$. Do zakresu pracy nie mam zastrzeżeń.

W **rozdziale 4** (s.60-69) zatytułowanym „Badania własne” Autor przedstawił postać badanego materiału oraz stanowiska badawcze i opis metodyki badawczej. Uwagi szczegółowe – s.65, rys. 47 – jakim przyrządem zmierzono napięcie $U=0,005mV$?; s.66, rys. 49 – chyba niewłaściwe nazewnictwo?

Rozdział 5 najobszerniejszy i najważniejszy dla całej pracy zatytułowany „Wyniki badań” (s.71-135) jest poświęcony szerokiemu spektrum badań doświadczalnych przeprowadzonych przez Autora i obejmuje badania w zakresie doboru narzędzi (materiału i geometrii) i parametrów skrawania, wskaźników jakościowych procesu skrawania stanu warstwy wierzchniej obrobionej powierzchni (łącznie ze stereometrią, chropowatością, mikrostrukturą, twardością i naprężeniami). Podrozdział 5.4 pt *Analiza oddziaływań w procesie* (jakim?) stanowi niejako próbę kompleksowej analizy, podsumowania, ale forma w jakiej to Doktorant uczynił nie jest najbardziej czytelna (właściwie to dowiadujemy się, że wszystko na wszystko wpływa).

Uwagi szczegółowe:

- s. 71 (tabela 8) – podano kombinację parametrów v_c , f i a_p oraz przebadano je każdy z każdym; w takiej sytuacji korzysta się ze statystycznego sposobu planowania eksperymentu i w podobny sposób przeprowadza się analizę; w pracy nie ma nic ze statystyki (no może poza opisem badanych wielkości wyjściowych funkcją wielomianu), a szkoda.
- s. 74 – rys. 59. – chyba doszło do pomyłki, czy wpływ posuwu f nie jest pomyłony z wpływem prędkości skrawania v_c ?
- s. 80 – 87 – suche komentarze wyników bez żadnej analizy,
- strony: 90, 100, 101, 107, 109 i 110 – wnioski oczywiste,
- s. 113 – autor chyba myli pojęcie krawędzi zużytej ze szczyratością krawędzi,
- s. 117 – w jaki sposób ustalono granicę deformacji plastycznej? (z rysunków to nie wynika).

Czytając ten rozdział, odniosłem wrażenie, że w materii badawczej Autor czuje się najlepiej, natomiast ma pewien kłopot z interpretacją wyników.

Wnioski przedstawiono w **rozdziale 6** na s.136-139 i to do nich mam największe zastrzeżenia. Jest ich aż 18. Można je podzielić na 2 grupy. Te wnoszące coś nowego do naszej wiedzy o zjawiskach opisywanych w dysertacji – wnioski numer 4, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17 i

18. Natomiast wnioski numer: 1, 2, 3, 5, 6, 7 i 9 mówią o rzeczach oczywistych – nie trzeba robić żadnych badań, aby je sformułować, treść ich można znaleźć w dostępnych podręcznikach. Kontrowersje budzi wniosek 14 – tzw. „biała warstwa” opisywana jest w literaturze głównie dla stali zahartowanej (wg mojej wiedzy); czy dla stopu tytanu też występowała?, czy Autor zna jakąkolwiek publikację opisującą to zjawisko dla stopu tytanu ????. Uważam, że te oczywiste wnioski nie powinny znaleźć się w pracy. Natomiast ich pierwsza grupa w zasadzie potwierdza osiągnięcie założonego ogólnego i użytecznego celu, jaki sobie Autor wyznaczył (s. 58).

Podsumowując ten rozdział, uważam, że praca mimo przedstawionych zarzutów stanowi istotny i niekwestionowany wkład Doktoranta w dążeniu do opracowania podstaw i wytycznych efektywnej technologii obróbki nowego trudnoobrabialnego materiału na elementy silników lotniczych i poszerza nasze horyzonty w tym obszarze wiedzy.

Ocena redakcyjna

Praca doktorska mgr. inż. Krzysztofa Krupy stanowi kompletne opracowanie naukowe z jasno określonymi celami, logiczne pod względem struktury, podziału treści oraz zakresu i wniosków końcowych (trochę rozmytych).

Praca napisana jest dobrym, komunikatywnym językiem, jakim Autor posługuje się w opisie niełatwych problemów technicznych. Trafne określenia, ciekawe konstrukcje zdań złożonych sprawiają, że pracę, jak na tekst techniczny, czyta się z przyjemnością. To ostatnio coraz rzadziej spotykana cecha u autorów tekstów technicznych a bardzo ważna dla czytelnika.

Autor stosuje poprawną terminologię oraz jednostki układu SI. Silną stroną pracy są także rysunki, wykresy, ilustracje, tablice i schematy.

W całej pracy uwagę zwraca stosunkowo mała liczba błędów, tzw. literówek.

Nie mogę jednak pominąć kilku błędów, których Autor w pracy się nie ustrzegł, ale które nie obniżają w sposób znaczący jej merytorycznej wartości.

Szkoda, że Autor nie wydrukował pracy dwustronnie (to moim zdaniem błąd niewybaczalny, świadczący o rozrzutności i marnotrawstwie, na co, jako poznaniak, jestem szczególnie wyczulony) oraz nie włączył opcji dzielenia wyrazów.

Doktorantowi, za często zdarza się powtarzać podmiot w zdaniach złożonych, co powoduje, że tekst staje się trochę drętwy, oficjalny. Użycie zaimków ożywiłoby go. Zbyt wiele razy Kandydat używa orzeczenia *jest*.

Przypominam, że wzory w tekście stanowią integralne części zdania i tak też należałoby je traktować (wzory: 1 – 8 na stronach: 37, 39, 43 i 46 w rozdziale 2, wzory: 9 – 12 na s. 65 – 68 w rozdziale 4 oraz wzory: 13 – 26 na s. 80 – 108 w rozdziale 5).

W niektórych pozycjach literatury brak pełnego opisu bibliograficznego, a przy stronach www. konieczne należy umieszczać daty.

W podsumowaniu stwierdzam, że pracę jako całość pod względem redakcyjnym i edytor-skim, pomimo poczynionych uwag i zastrzeżeń, oceniam bardzo dobrze. To niewątpliwie jedna z silniejszych stron tej rozprawy.

Wartość naukowa i uwagi krytyczne

Do osiągnięć naukowych w pracy doktorskiej Pana mgr. inż. Krzysztofa Krupy należy zaliczyć:

- przeprowadzenie szerokich badań eksperymentalnych obejmujących określenie wpływu warunków toczenia wykończeniowego na wskaźniki jakościowe: składowe całkowitej siły skrawania, zużycia ostrzy narzędzi skrawających, temperaturę w strefie skrawania oraz stan warstwy wierzchniej,
- pozyskanie i pogłębienie wiedzy w zakresie planowania i prowadzenia eksperymentu, co jest ważne dla badacza rozpoczynającego swoją karierę naukową,
- opracowanie modeli matematycznych opisujących wpływ parametrów skrawania na składowe całkowitej siły skrawania, temperaturę w strefie skrawania oraz chropowatość powierzchni obrabianej,
- opracowanie wskazań dla technologów w zakresie doboru narzędzi oraz wartości parametrów skrawania: prędkości skrawania, głębokości i posuwu do obróbki nowej generacji stopów TiAl (γ); parametry te mogą stanowić podstawę do analizy efektywności wytwarzania oraz jakości warstwy wierzchniej, odgrywającej kluczową rolę w podzespołach krytycznych silników lotniczych, od których wymaga się dużej niezawodności wyrobów,
- praca oprócz walorów poznawczych ma również walor aplikacyjny – uzyskane wyniki badań mogą posłużyć do opracowania podstawy technologii toczenia wykończeniowego stopu tytanu na osnowie fazy międzymetalicznej TiAl(γ).

Do uwag krytycznych zaliczyłbym:

- brak pogłębionej analizy; Kandydat wykonał bardzo dużo różnorodnych badań na bardzo wysokim poziomie, mierzył bardzo dużo różnych wskaźników, ale w końcowej fazie jakby zabrakło mu sił i konceptu co dalej z tymi wynikami zrobić (mam nadzieję, że w najbliższej przyszłości, ale już po obronie, Autor uczyni z tego materiału dobry użytek),
- ograniczenia pracy wynikające z analizy tylko jednego gatunku stopu TiAl(γ),
- brak modeli matematycznych w zakresie zużycia ostrza narzędzia skrawającego,
- pewnym mankamentem może być też fakt, iż nie stosowano tego samego planu badawczego do wszystkich rodzajów badań.

Wniosek końcowy

Przedstawiona do opiniowania praca doktorska mgr. inż. Krzysztofa KRUPY wykazała, że Autor ma właściwe rozeznanie problematyki naukowej w temacie objętym rozprawą. Ponadto, posiada wystarczającą znajomość:

- wiedzy teoretycznej z zakresu planowania eksperymentu i prowadzenia złożonych trudnych badań naukowych,
 - szerokiego spektrum najnowszych metod badawczych,
 - wiedzy praktycznej w prowadzeniu złożonych badań doświadczalnych,
- a także posiada umiejętność logicznego wnioskowania.

Kandydat do stopnia naukowego doktora rozwiązał problem naukowy polegający na opracowaniu podstaw technologii obróbki nowego materiału konstrukcyjnego, jakim jest stop tytanu na osnowie fazy międzymetalicznej $TiAl(\gamma)$ przydatnego w budowie silników lotniczych, a także opracował szereg praktycznych wskazówek i uwag pomocnych w opracowywaniu efektywnej technologii obróbki części oraz kształtowania korzystnych właściwości warstwy wierzchniej.

Na tej podstawie stwierdzam, że praca doktorska mgr. inż. Krzysztofa KRUPY pt. „Kształtowanie warstwy wierzchniej oraz wskaźniki jakościowe obróbki w procesie toczenia wykończeniowego stopu tytanu na osnowie fazy międzymetalicznej $TiAl(\gamma)$ ” spełnia w stopniu wystarczającym wymagania zawarte w Art. 13 pkt 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym ... i może być dopuszczona do publicznej obrony.



prof. dr hab. inż. Roman STANIEK