

Dr hab. inż. Piotr NIEŚŁONY
Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji
Wydział Mechaniczny
Politechnika Opolska
ul. Mikołajczyka 5
45-271 Opole
tel: +48 77 449 8460
e-mail: p.nieslony@po.opole.pl

Opole, 12.12.2015r.

Recenzja

rozprawy 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)”

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej z dnia 27 listopada 2015 roku (RM-530-25-03-2015).

1. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Tytan i jego stopy są powszechnie stosowane jako materiały konstrukcyjne na wymagające części maszyn ze względu na ich dobre właściwości fizyczne jak i mechaniczne. Wśród stopów tytanu wyróżnia się stopy konwencjonalne oraz stopy na osnowie fazy międzymetalicznej. Materiały określane, jako konwencjonalne stopy tytanu są od dłuższego już czasu wykorzystywane w przemyśle budowy maszyn. Z tego też powodu ich kształtowanie różnymi technikami jest zasadniczo już dobrze poznane. Oczekiwania nowoczesnego przemysłu maszynowego, głównie z obszaru przemysłu lotniczego, samochodowego jak i kosmicznego, dążą w kierunku tworzenia nowych materiałów konstrukcyjnych, między innymi na osnowie tytanu, mogących sprostać stawianym im wygórowanym warunkom, co do wytrzymałości, odporności cieplnej, czy gęstości względnej. Jednak oprócz tworzenia tak zaawansowanych jakościowo stopów konieczne jest określenie sposobów ich kształtowania technikami zapewniającymi utrzymanie wysokich wymagań, co do dokładności wymiarowo-kształtowej, jakości powierzchni czy funkcjonalności w rzeczywistych warunkach eksploatacji.

Doktorant, mgr inż. Krzysztof Krupa w swojej rozprawie doktorskiej zajął się bardzo ciekawą i aktualną tematyką kształtowania w procesie skrawania stopu tytanu na osnowie fazy

międzymetalicznej TiAl(γ) narzędziami z węgliku spiekanego, ceramiki azotkowej wzmocnionej wiskerami, kubicznego azotku boru (CBN) jak i diamentu polikrystalicznego (PD). Wybór materiału obrabianego oraz tak szerokiej gamy narzędzi do jego obróbki jest bardzo trafny i godny podkreślenia. Doktorant swoje badania prowadził z uwzględnieniem stereometrii ostrza, w szczególności promienia naroża jak i promienia zaokrąglenia krawędzi skrawającej. W aspekcie założonej tematyki badawczej, gdzie już w temacie pracy zaznaczono realizację badań kształtowania warstwy wierzchniej w procesie toczenia wykończeniowego, dobór narzędzi skrawających został wykonany jak najbardziej poprawnie. Przeprowadzone przez Doktoranta badania oddziaływań mechanicznych w strefie skrawania, oraz związanych z tym zjawisk zużycia czy konstytuowania warstwy wierzchniej mają istotne znaczenie w lepszym poznaniu procesów zachodzących podczas obróbki tego typu materiałów konstrukcyjnych wytypowanymi narzędziami węglukowymi, z ceramiki azotkowej, CBN i PD.

Doktorant, na podstawie zawartych w swojej pracy wyczerpujących informacjach literaturowych, dotyczących zarówno stanu wiedzy na temat stopów tytanu jak i ich kształtowania metodami ubytkowymi, sformułował i przedstawił główne założenia i cel pracy. Uogólniając mgr inż. Krzysztof Krupa w swoich badaniach skoncentrował się na poznaniu zjawisk występujących podczas kształtowania powierzchni obrabianej ze stopów tytanu na osnowie fazy międzymetalicznej TiAl(γ), co umożliwi ustalenie kierunku poprawy efektywności procesu skrawania oraz jakości warstwy wierzchniej tak kształtowanych wyrobów. Dodatkowo Doktorant sprecyzował interesujący użytkownik cel pracy, którym było opracowanie wytycznych do doboru parametrów skrawania oraz materiału i geometrii ostrza narzędzia skrawającego zapewniających kształtowanie warstwy wierzchniej o wymaganych właściwościach podczas toczenia wykończeniowego tego stopu tytanu.

Zakres pracy jest jak najbardziej uzasadniony, ponieważ:

- Stop tytanu na osnowie fazy międzymetalicznej TiAl(γ) jest nowoczesnym materiałem konstrukcyjnym, stosowanym w przemyśle budowy maszyn do produkcji części maszyn o wysokich wymaganiach wytrzymałościowych i jakościowych.
- Właściwości skrawne zastosowanych narzędzi z węgliku spiekanego, ceramiki azotkowej wzmocnionej wiskerami, kubicznego azotku boru i diamentu polikrystalicznego są, w odniesieniu do stop tytanu na osnowie fazy międzymetalicznej TiAl(γ), mało poznane, a ich zakres aplikacyjny jest słabo sprecyzowany.
- Przemysł maszynowy, w szczególności przemysł lotniczy i samochodowy, dąży do zmaksymalizowania efektywności produkcji elementów z tego typu materiałów, a wiedza z zakresu skrawalności tych stopów wraz z informacjami o trwałości narzędzi jest poszukiwana i bardzo cenna.

W tym kontekście uważam, że wybór tematu rozprawy dotyczący kształtowania warstwy wierzchniej oraz wskaźników jakościowych obróbki w procesie toczenia wykończeniowego stopu tytanu na osnowie fazy międzymetalicznej TiAl(γ) jest jak najbardziej trafny i uzasadniony.

2. Zawartość pracy

Rozprawa jest obszerna, zawiera 151 stron i składa się z 7 rozdziałów. Rozdziały są czytelne, logicznie ułożone, a większość z nich zawiera szereg dobrze zdefiniowanych podrozdziałów.

Praca jest bogato ilustrowana, zawiera 137 rysunków oraz 18 tabel. Spis literatury jest bardzo obszerny, zawiera 126 z reguły dobrze dobranych i cytowanych w pracy pozycji. Doktorant wykazał w literaturze rozprawy doktorskiej swój istotny dorobek naukowy podając aż 9 artykułów, których był współautorem. Podkreślić należy, że są to artykuły w większości punktowane, publikowane w znaczących czasopismach polskich jak i prezentowane na konferencjach tematycznych.

Dysertacja rozpoczyna się wstępem, w którym Autor przedstawił w zwięzły sposób powód podjętej problematyki badawczej i zakres zaplanowanych badań doświadczalnych. Wyraźnie została podkreślona istotność tej tematyki badawczej i jej aplikacyjny charakter.

W drugim rozdziale rozprawy Doktorant przedstawił studium literatury, które można uznać za analizę zagadnienia dzieląc ten obszar wiedzy na sześć głównych podrozdziałów. Przedstawione dane dotyczą aktualnego stanu wiedzy z wyraźnym ukierunkowaniem na informacje, które zostały wykorzystane w dysertacji podczas dalszej analizy danych doświadczalnych.

Trzeci rozdział rozprawy zawiera jej cel i zakres. Zostało to przedstawione w zwarty i czytelny sposób. Można zauważyć doświadczenie Doktoranta w formułowaniu zakresu badań doświadczalnych, co niewątpliwie wynika z nabytego doświadczenia podczas realizacji badań eksperymentalnych.

Badania własne, w szczególności aspektu dotyczące materiału obrabianego, wyselekcjonowanych narzędzi skrawających oraz szczegółowej metodyki badań, zostały przedstawione w rozdziale czwartym. W tym też rozdziale Doktorant przedstawił stanowiska badawcze, które zostały wyczerpująco i adekwatnie do zakresu badań opisane.

Najbardziej obszernym rozdziałem pracy jest rozdział piąty dotyczący analizy wyników badań. Liczy 65 strony, co stanowi przeszło 45% dysertacji. Wyniki badań przedstawiono w czterech podrozdziałach z podziałem na badania związane z doбором narzędzi i parametrów skrawania, badania wybranych wskaźników jakościowych procesu (siła skrawania, zużycie, temperatura), badania stanu warstwy wierzchniej oraz analizę oddziaływań w procesie.

Podsumowanie i wnioski Doktorant przedstawił w rozdziale szóstym. Rozdział siódmy to literatura wykorzystana w dysertacji. Praca zawiera również streszczenie w języku polskim oraz angielskim.

3. Uwagi szczegółowe dotyczące pracy

1. W dysertacji Autor podaje wiadomości literaturowe wg, których dla zapewnienia ostrej krawędzi skrawającej nie zaleca się stosowania narzędzi z powłokami ochronnymi do obróbki konwencjonalnych stopów tytanu (str. 35). Na następnej stronie podane jest jednak, że zastosowanie narzędzi z powłokami ochronnymi wpływa na ograniczenie zużycia wkładki ostrzowej. Jak to interpretować? Które zalecenia, wg Autora są ważniejsze w tym kontekście?

2. Str. 60 – Opisując materiał do badań podano, że zastosowano obróbkę cieplną tego stopu, co potwierdzono obrazem mikrostruktury na rys.41, jednak nic na jej temat nie podano. Czy można przybliżyć parametry związane z przeprowadzoną obróbką cieplną?
3. Prowadzone w ramach pracy badania naprężeń własnych, czy badania mikroskopowe wymagały przygotowania odpowiednich próbek. Autor nie przedstawił jednak żadnej metodologii ich przygotowania (str.69-70). Ten aspekt badań jest jednak, ze względu na ważność tej problematyki, bardzo istotny. Poprawne przygotowanie próbek, lub wiedza o sposobie ich preparacji ma duże znaczenie podczas interpretacji uzyskanych wyników badań.
4. Na rys.58 zamieszczono obrazy zużycia ostrza narzędzia skrawającego. Czy zużycie to mierzone było na powierzchni przyłożenia? A jeśli tak to, jakie osiągnęło wartości? Czy nie byłoby możliwe ich przedstawienie na tych rysunkach?
5. Dlaczego podczas obróbki ostrzami węglukowymi stosowano tak wysokie prędkości skrawania ($v_c=150$ m/min) jak to wynika z rys.60? W tabeli 8 podano, że dla tej grupy materiałów narzędziowych maksymalna wartość v_c to 70 m/min.
6. Na str. 76 Autor podaje, że „Usuwany materiał jest wyłamany z obrabianego przedmiotu, co niekorzystnie wpływa na strukturę geometryczną jego powierzchni.” Czy to zjawisko zaobserwowano i potwierdzono eksperymentalnie?
7. Rys.63 – opis „białej warstwy” jest mało czytelny. Znacząco poprawiłby się odbiór tego rysunku poprzez wyraźne wskazanie tej warstwy na zdjęciu.
8. Doktorant w pracy wielokrotnie posługuje się terminem „obróbka wstępna” czy „obróbka zgrubna”. Nie ma jednak wyraźnie sprecyzowanych informacji, co Autor rozumie pod takim pojęciem? Dla jakiego zakresu parametrów technologicznych, w odniesieniu do analizowanych narzędzi, obróbka uznawana jest za wykończeniową lub zgrubną. Jak również rozumieć termin „wstępne toczenie wykończeniowe” na str. 77 dysertacji? Przykładowo, czym się to różni od toczenia kształtującego?
9. W niektórych miejscach pracy Autor tłumaczy pewne zjawiska przypisując to efektom zużycia ostrza (np. str.77, 78) nie potwierdzając to danymi eksperymentalnymi, chociaż Auto przeprowadził szerokie badania w tym zakresie.
10. W tabeli 8 Autor zawarł narzędzia (wkładki ostrzowe) stosowane w badaniach wstępnych. Następnie, na rys.64, przedstawiono narzędzia stosowane w badaniach toczenia wykończeniowego. Stwierdzono, że „analiza wyników badań była podstawą doboru tych wkładek narzędziowych” (str.78). Czy można sprecyzować, jakie kryteria posłużyły do wyboru tego typu wkładek? Jak wyniki badań wstępnych się do tego przyczyniły?
11. Z tekstu pracy wynika (str.94), że zaproponowany na rys.64 węgiel spiekany ma powłokę narzędziową. Jeśli tak to jakiego typu? Czy można coś bliżej powiedzieć o jej właściwościach? Warto by było tak ważną informację również zamieścić na rys. 64 definiującym to narzędzie.

12. Autor bardzo szczegółowo analizował zjawisko zużycia ostrzy podczas toczenia stopu tytanu na osnowie fazy międzymetalicznej TiAl(y). Potwierdzeniem tego są interesujące zdjęcia SEM obszarów starcia (rys.80-85) jak i analiza EDS składu chemicznego tego obszaru. Czy w związku z tą analizą Doktorant mierzył przykładowo największą głębokość rowka na powierzchni natarcia (KT) jak i inne parametry związane z tym zjawiskiem? Taki wniosek między innymi został wykazany na str.94. Czy można wykazać, jak zmieniał się charakter tego wskaźnika w funkcji czasu skrawania?
13. Na rys.86c wykazano, że wzrost a_p silnie skraca trwałość ostrza podczas obróbki tego stopu tytanu. Czy Autor może ten fakt skomentować?
14. Z jaką dokładnością mierzono temperaturę w strefie skrawania? W pracy nie znaleziono informacji na ten temat, np. odnoście błędu pomiaru, czy odchylenia standardowego z prób. Ma to istotne znaczenie podczas analizy wyników badań szczególnie, że zakres zmienności temperatury, dla ustalonego zakresu badań, nie jest za duży.
15. Ocenę chropowatości powierzchni obrabianej dokonano wyliczając odpowiednie parametry profilu jak i topografii powierzchni. Jaki był powód wybrania właśnie tych parametrów? Mowa jest w tym przypadku o Ra, Rz, Rsm i ich odpowiednikach dla powierzchni 3D.
16. Autor na podstawie rys. 112, 113 oceniał uszkodzenia powierzchni. W ostatnim akapicie na strojen 119 wskazał, że „Analiza obrazów powierzchni obrabianej stopu Ti-45Al-5Nb-0,2B-0,2C z zastosowaniem wkładki ostrzowej CNMG 120408-SF 1115 oraz CNMA120408 MD220 wykazała ich charakter anizotropowy.” Jak to oceniono? Czy stosowano parametr anizotropowości, jaki dostępny jest w programach analiz topografii powierzchni?
17. Autor w wyczerpujący sposób przedstawił w rozdziale 6 główne wnioski pracy. Niektóre z nich są oczywiste (patrz punkt 3, 11). Dokonując ich analizy można jednak zauważyć, że wnioski te dotyczą zarówno fazy badań eksperymentalnych jak i informacji bardziej użytecznych. Czy nie można by te informacje rozdzielić tak, aby zgodnie z założonym celem pracy, wskazać grupę wniosków użytecznych jednoznacznie przydatnych firmom zajmującym się obróbką tego typu stopów tytanu?

4. Uwagi redakcyjne

Rozprawa jest napisana bardzo starannie. Właściwie nie znalazłem w niej większych błędów edytorskich. Rozdziały redagowane są czytelnie zarówno pod względem stylistycznym jak i edycyjnym. W pracy zachowano jednorodny i dobrze przemyślany układ graficzny, co ułatwia jej zrozumienie. Czytając poszczególne rozdziały widoczna była szczególna staranność w zakresie estetyki informacji graficznych (rysunków, wykresów itd.). Doktorant próbował, z sukcesem, przedstawić w formie przemyślanych, własnych grafik pewne zagadnienia techniczne czy inne informacje literaturowe ważne dla treści pracy, czego przykładem mogą być rysunki 3, 7, 11, 18, 36, 51. Pozwoliło to podnieść atrakcyjność szaty graficznej pracy, a tym samym istotnie zwiększyło jej czytelność.

5. Ocena końcowa

Powyższe uwagi krytyczne nie podważają istotnej treści merytorycznej rozprawy ani nie umniejszają osiągnięć Doktoranta, który udowodnił, że posiada dużą wiedzę z zakresu obróbki ubytkowej, w szczególności obróbki skrawaniem, a dodatkowo wykazał się wiedzą z obszaru materiałoznawstwa przedstawiając w szczegółowy sposób zagadnienia dotyczące nauki o materiałach i inżynierii materiałowej związane z konwencjonalnymi jak i nowymi stopami tytanu. Dodatkowo Doktorant wykazał się znacznymi umiejętnościami z zakresu planowania i przeprowadzenia badań eksperymentalnych jak i opracowania i merytorycznej analizy ich wyników.

Uważam, że uwagi zawarte w recenzji mogą być przedmiotem analiz w dalszej działalności badawczej i publikacyjnej Doktoranta. Podkreślam, że część uwag ma charakter pytań i sugestii do wykorzystania na przyszłość. Ponadto stwierdzam, że postawiony w pracy łowny cel badawczy został osiągnięty.

Wśród wielu badań dotyczących obróbki skrawaniem stopów tytanu mgr inż. Krzysztof Krupa potrafił znaleźć istotny, z punktu widzenia naukowego i użytecznego, problem badawczy, który związany był z oceną procesu kształtowania warstwy wierzchniej stopu tytanu na podstawie fazy międzymetalicznej TiAl(γ) ostrzami o różnej stereometrii wykonanych z różnych materiałów narzędziowych. Efektem pracy Doktoranta jest ciekawa dysertacja, w której zawarte informacje niewątpliwie przyczyniły się do rozwoju dyscypliny Budowy i Eksploatacji Maszyn.

Niepodważalne zalety pracy to:

1. Prawidłowo zaplanowane i przeprowadzone obszerne, wielokierunkowe badania eksperymentalne.
2. Dokonanie oceny szerokiej gamy materiałów narzędziowych i skojarzonych z nimi parametrów technologicznych w aspekcie ich oddziaływania na jakość konstytuowanej warstwy wierzchniej (TWW) obrabianego stopu tytanu.
3. Wielokryterialna ocena wpływu zużycia ostrzy na jakość TWW.
4. Użyteczny, oczekiwany przez przemysł maszynowy charakter wniosków wynikających z dysertacji.

6. Wniosek końcowy

Całość oceny rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa KRUPY pt. „Kształtowanie warstwy wierzchniej oraz wskaźniki jakościowe obróbki w procesie toczenia wykończeniowego stopu tytanu na podstawie fazy międzymetalicznej TiAl(γ)” umożliwia sformułowanie wniosku o spełnieniu warunków określonych ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 (Dz.U. 2003 nr 65 poz. 595) i dopuszczeniu jej do publicznej obrony przed Radą Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej w ramach dyscypliny Budowa i Eksploatacja Maszyn.

