



AGH

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Metali Nieżelaznych
Katedra Przeróbki Plastycznej i Metaloznawstwa Metali Nieżelaznych
dr hab. inż. Krzysztof Żaba, prof. AGH

Kraków, 05 lutego 2024 r.

Recenzja

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Przemysława Marcina Polińskiego pt. „Podwyższenie odporności na zużycie sprawdzianów gwintowych stosowanych w przemyśle lotniczym”,
opracowana na zlecenie Pana Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza dr hab. inż. Macieja Motyki, prof. PRz,
pismo z dnia 15 listopada 2023**

Praca wpisuje się w obszary badawcze, dotyczące analizy zużycia sprawdzianów gwintowych stosowanych do pomiarów metrologicznych części montowanych w statkach powietrznych. Głównym problemem występującym podczas pomiarów metrologicznych z wykorzystaniem dedykowanych sprawdzianów jest ich zużycie, co determinuje konieczność częstego wzorcowania i wymian na nowe przyrządy pomiarowe. Jest to istotne zagadnienie ze względu na fakt, że jakość wykonania podzespołów statków powietrznych wpływa bezpośrednio na bezpieczeństwo pasażerów.

Analiza zjawisk zużycia przyrządów pomiarowych w postaci sprawdzianów gwintowych, choć będąca przedmiotem publikacji, wciąż stanowi źródło inspiracji do dalszych, wyspecyfikowanych badań i rozwiązywania istniejących problemów. Z doniesień badaczy wynika, że podjęta w pracy tematyka nie została dotychczas scharakteryzowana w sposób kompleksowy i jednoznaczny. Wytypowanie określonego asortymentu sprawdzianów pomiarowych zwiększa atrakcyjność przedstawionych wyników badań ze względu na możliwość bezpośredniego wdrożenia uzyskanych rezultatów.

Autor rozprawy podjął próbę opracowania metodyki doboru materiałów dedykowanych do sprawdzianów gwintowych, a także przeciwzuzyciowych powłok pozwalających na wydłużenie czasu eksploatacji elementów pomiarowych. Wykorzystanie materiałów w postaci stali narzędziowej do pracy na zimno, stali HSS, węgliku spiekanego, stali narzędziowej do pracy na zimno z powłoką DLC oraz stali HSS z powłoką TiN pozwoliło na określenie zasadności doboru bardziej zaawansowanych materiałów do wytworzenia sprawdzianów gwintowych dedykowanych do pomiarów części montowanych w statkach powietrznych. Ważnym aspektem jest przeprowadzona analiza ekonomiczna wykonania elementów z proponowanych materiałów oraz określenie minimalnego stopnia poprawy koniecznego do uzyskania w stosunku do podwyższonej ceny nowych rozwiązań.

Z powyższych względów uważam, że problematyka i temat rozprawy doktorskiej mgr inż. Przemysław Marcina Polińskiego zostały trafnie sformułowane i zasługują na uznanie. Wybór tematyki jest jak najbardziej aktualny i wpisuje się w trendy badawcze w obszarze możliwości poprawy właściwości eksploatacyjnych przyrządów metrologicznych wykorzystywanych do pomiarów gwintów w częściach stosowanych w statkach powietrznych.

Ocena rozprawy doktorskiej

Recenzowana rozprawa, napisana pod opieką naukową prof. dr hab. inż. Grzegorza Budzika, obejmuje 213 stron, zawiera 7 rozdziałów, streszczenie w języku polskim i angielskim, 170 rysunków w postaci schematów, wykresów i fotografii, 144 tabel oraz 124 pozycji literaturowych w postaci 66 publikacji naukowych, w tym 37 z ostatnich dziesięciu lat, 37 norm krajowych i zagranicznych, 17 stron internetowych oraz 4 dokumentów wewnętrznych firm.

Część I dysertacji, obejmuje Wprowadzenie (rozdział 1, strony 9-13) oraz Analizę stanu zagadnienia (rozdział 2, strony 14-41), która podzielona została na sześć podrozdziałów (2.1-2.6). W podrozdziale 2.1 Autor skupia się na przedstawieniu charakterystyki gwintów całowych. W podrozdziale 2.2 Doktorant przedstawia zagadnienia dotyczące trzpieniowych całowych sprawdzianów gwintowych. W podrozdziale 2.3 przedstawione zostały informacje, dotyczące kontroli jakości połączeń gwintowych stosowanych w przemyśle lotniczym, natomiast w podrozdziale 2.4 określone zostały wybrane materiały wykorzystywane w przemyśle lotniczym z podziałem na stopy aluminium, tytanu oraz żelaza. Podrozdział 2.5 obejmuje zagadnienia dotyczące materiałów stosowanych na sprawdziany gwintowe z podziałem na stal narzędziowo-stopową do pracy na zimno, stal szybko tnącą oraz węglik spiekane a w podrozdziale 2.6 przedstawiono informację dotyczące powłok przeciwzuzyciowych.

Analiza literaturowa, oparta o publikacje naukowe i normy branżowe, została wykonana na wysokim poziomie, obejmując najważniejsze zagadnienia dotyczące tematyki podjętej w pracy.

Na podstawie analizy stanu zagadnienia Autor, w rozdziale trzecim dysertacji, przedstawia cel, tezę i określa zakres pracy (str. 42-43), co stanowi zakończenie Części I dysertacji.

Celem pracy jest „*opracowanie metodyki doboru materiałów sprawdzianów gwintowych i powłok przeciwzużyciowych wydłużających czas eksploatacji jednocześnie zwieszającej czasookres wzorcowania sprawdzianów gwintowych trzpieniowych używanych w przemyśle lotniczym, do kontroli elementów konstrukcyjnych samolotów: korpusów, kolektorów, obudów*”. Na podstawie celu pracy i analizowanej problematyki Doktorant założył następującą hipotezę badawczą: „opracowanie metodyki i dobór materiałów do wytworzenia sprawdzianów gwintowych i rodzaju powłok ochronnych o właściwościach przeciwzużyciowych pozwoli na wydłużenie żywotności sprawdzianów gwintowych do min. 12 miesięcy, zminimalizowanie zjawiska zacierania się sprawdzianów gwintowych w trakcie kontroli jakości elementów konstrukcyjnych samolotów wykonanych z aluminium, wydłużenie czasookresu wzorcowania do min. 6 miesięcy dla sprawdzianów używanych do sprawdzania elementów lotniczych wykonanych ze stali i stopów tytanu oraz opracowanie rozwiązania pozwalającego na regenerację zużytych sprawdzianów”.

Sformułowany cel i hipoteza są właściwe i jednoznacznie określają istotę rozprawy.

Cel pracy, według Doktoranta, powinien zostać osiągnięty, a szczegółowo opracowana hipoteza udowodniona na podstawie przeprowadzonych badań, których zakres został przedstawiony na stronie 43. Obejmuje on analizę stanu wiedzy zawierającą przegląd materiałów najczęściej używanych w przemyśle lotniczym do produkcji elementów konstrukcyjnych, sprawdzianów gwintowych stosowanych do kontroli elementów lotniczych, powłok ochronnych (przeciwzużyciowych) typu PVD i CVD stosowanych do zwiększania żywotności narzędzi przy zachowaniu ich własności metrologicznych, przeprowadzenie badań morfologii powierzchni i mikrostruktury, mechanicznych, odporności na zużycie i pomiarów wielkości geometrycznych, analizę i ocenę rezultatów badań, opracowanie optymalnego rozwiązania w zakresie wydłużenia żywotności sprawdzianów gwintowych trzpieniowych poprzez zastosowanie różnych materiałów do produkcji sprawdzianów i powłok Arc-PVD i PACVD, wybór najlepszego wariantu/rodzaju powłoki oraz rodzaju podłoża z uwzględnieniem aspektu ekonomicznego. Zakres badań został opracowany prawidłowo, a wyniki uzyskane z zaplanowanych badań pozwalają na określenie stopnia realizacji założonej hipotezy.

Zasadniczy zakres badań został poprzedzony wstępnymi analizami dotyczącymi parametrów eksploatacyjnych i problemów występujących w przypadku istniejących rozwiązań. Wytypowane zostały trzy problemy technologiczne, które analizowane były w ramach przedstawionej Dysertacji. Pierwszym z nich była utrata tolerancji wymiarowej sprawdzianów gwintowych, wynikająca z nadmiernego ich zużycia, które następuje w ciągu 3-4 miesięcy pracy ciągłej podczas weryfikacji otworów gwintowych w elementach konstrukcyjnych samolotów – wykonanych ze stali lub stopów tytanu. Kolejnym problemem było zacieranie się sprawdzianów gwintowych (tworzenie narostów na powierzchni) w trakcie sprawdzania elementów konstrukcyjnych samolotów – wykonanych ze stopów

aluminium. Trzecim problemem była konieczność weryfikacji własności metrologicznych sprawdzianów gwintowych poprzez przeprowadzanie wzorcowania co 3 miesiące w przypadku sprawdzianów stosowanych do inspekcji elementów konstrukcyjnych samolotów wykonanych ze stali i stopów tytanu.

Część II dysertacji, obejmująca badania własne, została podzielona na trzy rozdziały (4-6) obejmujące metodykę badań, wyniki badań i ich analizę oraz wnioski końcowe, zawarte na stronach 44-205.

W rozdziale 4 (str. 44-79) Doktorant przedstawia informacje dotyczące zastosowanych materiałów oraz metodyki badań własnych. W podrozdziale 4.1 (str. 44-45) Autor zamieszcza szczegółowy plan badań a podrozdziale 4.2 przedstawia informacje dotyczące przedmiotu badań, w postaci sprawdzianów gwintowych, wykonanych z różnych materiałów (stal narzędziowa do pracy na zimno, węgiel spiekany, stal szybkotnąca) i pokrytych różnymi powłokami (DLC i TiN). Podrozdział 4.3 został podzielony ze względu na wykorzystywane materiały i obejmuje szczegółowe informacje dotyczące składu chemicznego i mikrostruktury zastosowanych rozwiązań materiałowych. W podrozdziale 4.4 Doktorant przedstawił charakterystykę stosowanych powłok przeciwwzyciowych wraz z ich parametrami. Podrozdział 4.5 dotyczący pomiaru parametrów geometrycznych został podzielony ze względu na pomiary średnicy podziałowej z wyznaczeniem niepewności pomiaru oraz pomiary chropowatości. Opis pomiaru średnicy podziałowej został wykonany bardzo szczegółowo z uwzględnieniem niepewności pomiaru. Realizowany był on w akredytowanym laboratorium Avio-Lab Sp. z o.o. z zastosowaniem urządzenia Precimar ULM 520 S-E. Pomiar chropowatości realizowany był z wykorzystaniem urządzenia InfiniteFocus G4 firmy Alicona, co pozwoliło na wyznaczenie parametrów chropowatości w układzie 2D i 3D. Podrozdział 4.6 przedstawia informacje dotyczące pomiarów morfologii powierzchni i mikrostruktury sprawdzianów gwintowych. Został on podzielony na obserwacje realizowane na powierzchni elementów oraz ich przekrojach. W części tej opisano systematykę badań oraz sposoby przygotowania próbek do pomiarów. Autor w podrozdziale 4.7 przedstawił metodykę badań odporności na zużycie podzieloną na testy eksploatacyjne oraz przyczepność powłok do podłoża. Opisane zostały charakterystyki prowadzonych badań wraz z informacjami dotyczącymi sposobów oceny uzyskanych rezultatów. Podrozdział 4.8 obejmuje opisy metodyki pomiarów twardości z zastosowaniem metody Rockwella oraz skali HRC dla materiałów metalicznych i skali HRA dla węglików spiekanych.

Przedstawiona w rozdziale 4 (str. 44-79) metodyka badawcza została opracowana bardzo skrupulatnie i przejrzysto. Doktorant zaproponował kompleksowe podejście do kwestii opracowania zagadnień niezbędnych do prawidłowego wykonania eksperymentów. W pracy zastosowano bardzo szeroki aparat badawczy, wykorzystujący nowoczesne metody i urządzenia do przygotowania próbek, wykonywania poszczególnych badań oraz ich analizy.

Wyniki badań przedstawiono w rozdziale 5 (str. 80-203), podzielonym na podrozdziały 5.7 „Wyniki pomiarów średnicy podziałowej przed i w trakcie testów eksploatacyjnych”, 5.8 „Wyniki pomiarów chropowatości warstwy wierzchniej sprawdzianów”, 5.9 „Wyniki badań przyczepności powłoki do podłoża”, 5.10 „Wyniki

pomiaru twardości materiałów”, 5.11 „Wyniki obserwacji za pomocą mikroskopii elektronowej SEM-EDS i świetlnej”, 5.12 „Regeneracja sprawdzianów gwintowych” oraz 5.13 „Analiza opłacalności wydłużenia żywotności sprawdzianów gwintowych”.

Niestety numeracja podrozdziałów jest nieprawidłowa, gdyż rozpoczyna się od podrozdziału 5.7.

W podrozdziale 5.7 przedstawiono wyniki pomiarów średnicy podziałowej analizowanych sprawdzianów gwintowych po określonej ilości pomiarów. Wyniki zostały zaprezentowane w sposób jednolity dla wszystkich analizowanych wariantów. Wykorzystanie graficznej prezentacji zakresu tolerancji znacząco zwiększa przejrzystość wyników. Po przedstawieniu serii rezultatów pomiaru znajduje się krótkie podsumowanie co ułatwia zrozumienie przytoczonych analiz. Zbiorcze zestawienie danych dla poszczególnych wariantów (rys. 5.6, 5.12, 5.17) pozwala zaobserwować różnice pomiędzy analizowanymi materiałami wykorzystanymi na sprawdziany gwintowe. Na podstawie przedstawionych wyników doktorant określił, że w przypadku zastosowania przeciwpróbek ze stopu aluminium 7075 wszystkie warianty sprawdzianów uzyskały pozytywne rezultaty odnośnie założonego okresu eksploatacji. W przypadku zastosowania przeciwpróbek ze stali sprawdziany wykonane ze stali do pracy na zimno oraz stali szybko tnącej wykazywały większe zużycie. Dla przeciwpróbek wykonanych ze stopu tytanu wykazano zużycie sprawdzianów wykonanych ze stali do pracy na zimno oraz stali szybko tnącej podobnie jak w przypadku przeciwpróbek ze stali.

Podrozdział 5.8 obejmuje wyniki badań dotyczące pomiarów chropowatości warstwy wierzchniej sprawdzianów. Wyniki zostały przedstawione w sposób jednolity dla wszystkich mierzonych przypadków. Obejmują one kolorowe mapy rozkładu chropowatości oraz tabelaryczne zestawienie parametrów Ra, Rz, Sa, Sku, Ssk wyrażonych w μm a także procentową wartość Sdr. Wszystkie zmierzone wartości zostały przedstawione za pomocą wykresów (rys. 5.23-5.28), ułatwiając porównanie uzyskanych rezultatów. W końcowej części podrozdziału znajduje się szczegółowa analiza wyników. Na uznanie zasługuje objaśnienie powodu zwiększonej chropowatości w przypadku powłoki TiN opisane przez Autora, który stwierdza, że najprawdopodobniej wysoka wartość parametru chropowatości powłoki TiN była związana z mikronierównościami wypukłych powierzchni w postaci fazy kropelkowej i wklęsłych w postaci mikrokraterów związanych z metodą napyłania jonowego Arc-PVD powłoki z azotku tytanu (TiN).

Doktorant w podrozdziale 5.9 przedstawił wyniki badań przyczepności powłok do podłoża. Były one realizowane poprzez wykonanie testów odporności na zarysowanie. Autor postanowił wykorzystać dwa zakresy obciążenia wykorzystanego w testach na poziomie 50N i 100N. Wyniki prób analizowane były z wykorzystaniem mikroskopu świetlnego oraz skaningowego mikroskopu elektronowego. Uzyskane dane porównywano z atlasem uszkodzeń zawartym w normie PN-EN ISO 20502.

Podrozdział 5.10 obejmuje wyniki pomiarów twardości realizowanych metodą Rockwella z wykorzystaniem skali HRC dla materiałów metalicznych oraz HRA dla próbek wykonanych z węgla spiekane. Uzyskane rezultaty zostały odniesione w stosunku do

minimalnej twardości materiałów wynikające z przedmiotowych norm. Doktorant stwierdził zgodność uzyskanych twardości w stosunku do norm ASTM A600, ASTM A681 dla materiałów metalicznych oraz do wartości 92 HRA w odniesieniu do węgla spiekanego.

W podrozdziale 5.11 Autor prezentuje wyniki obserwacji za pomocą mikroskopii elektronowej SEM-EDS i świetlnej sprawdzianów powlekanych i niepowlekanych oraz pomiary składu chemicznego. Dla wszystkich analizowanych wariantów sposób prezentacji wyników jest jednolity. Wykonano znaczącą ilość pomiarów z podziałem na wykorzystane materiały, z których wykonane były sprawdziany oraz różne obszary pojedynczych sprawdzianów, które podlegały sprawdzeniu. Analiza uzyskanych wyników pozwoliła na określenie degradacji badanych sprawdzianów gwintowych. W niektórych przypadkach potwierdzana została hipoteza mówiąca o przenoszeniu się materiału z przeciwpróbek na powierzchnię sprawdzianów. Stwierdzono to na podstawie punktowych pomiarów składu chemicznego. W przypadku sprawdzianów powlekanych wykonana została weryfikacja grubości naniesionych warstw i odniesiona do wartości uzyskanych od ich producentów. Autor zwraca uwagę na brak równomierności w grubości powłoki naniesionej metodą Arc-PVD.

Autor w podrozdziale 5.12 przedstawił możliwości regeneracji zużytych sprawdzianów, a w podrozdziale 5.13 wykonał analizę ekonomiczną testowanych rozwiązań.

Wyniki zaprezentowane w rozdziale 5, w postaci dużej liczby zdjęć i wykresów (113) oraz tabel (114) zostały przedstawione w sposób zrozumiały i łatwy w odbiorze. Analiza danych została przeprowadzona w sposób prawidłowy.

Rozdział 6 obejmuje syntetycznie przedstawione wnioski, zredagowane w sposób prawidłowy, obejmujący zagadnienia zawarte w dysertacji.

Za osiągnięcia Doktoranta uważam:

- realizację długotrwałych testów eksploatacyjnych (6 miesięcy) sprawdzianów gwintowych w warunkach przemysłowych dla części wykonanych ze stopów aluminium, tytanu i stali
- szczegółową analizę składu chemicznego z wykorzystaniem metody SEM-EDS dla sprawdzianów gwintowych przed i po testach eksploatacyjnych
- wytypowanie jednego z analizowanych wariantów jako możliwego do wdrożenia w warunkach przemysłowych, w postaci sprawdzian pokrytego powłoką DLS.

Lektura pracy była dużą przyjemnością z uwagi na jej logiczny układ oraz sposób przedstawienia, zarówno informacji w części analizy literaturowej, jak i wyników badań. Znaczna ilość zrealizowanych badań eksperymentalnych i materiałowych, niewątpliwie świadczy o dużej wiedzy Doktoranta w wielu obszarach badawczych, zaprezentowanych w dysertacji, jak i o umiejętności planowania eksperymentów oraz właściwej analizy i wnioskowania.

Praca została zredagowana poprawną polszczyzną, zarówno w znaczeniu ogólnym, jak i technicznym.

Przedstawiona do oceny dysertacja stanowi oryginalne osiągnięcie Doktoranta. Badania zostały zrealizowane na wysokim poziomie z dbałością o szczegóły, z zachowaniem zasad prawidłowej realizacji eksperymentu naukowego, udokumentowane dużą ilością wykresów i tabel. Dysertację można określić jako kompendium wiedzy, które może być wykorzystane przy dalszych pracach naukowo-badawczych oraz aplikacyjnych, dotyczących materiałów stosowanych na sprawdziany gwintowe.

Uwagi krytyczne

Lektura rozprawy nasuwa pewne uwagi i wątpliwości, które mają charakter dyskusyjny.

1. Tytuł podrozdziału 2.1.1 „Gwinty calowe przystosowane do wkręcania wkładek helicoil” oraz treści w nim zawarte na str. 16 są zbyt lakoniczne. Uważam, że ten rozdział jest niepotrzebnie zamieszczony w pracy. Zawarte w nim informacje mogły zostać przedstawione w rozdziale 2.1 „Gwinty calowe”.
2. W pracy brak jest kompleksowej, krytycznej analizy literaturowej, na podstawie której powinno sformułować się cel, tezę i zakres badań. Autor przedstawia taką krytykę w rozdziale 3 „Cel i teza pracy”, stronie 42, stwierdzając, że „Zużycie eksploatacyjne narzędzi, sprawdzianów i urządzeń pomiarowych jest procesem stale towarzyszącym produkcji, a tematyka związana z wydłużeniem okresu ich użytkowania stanowi aktualny problem badawczy obejmujący zagadnienia zapewnienia wysokiej jakości wyrobów, w tym ich ochrony przed zużyciem, poprawy

żywołności przy jednoczesnym zmniejszeniu kosztów produkcji. Przegląd i analiza danych literaturowych przedstawiona w poprzednim rozdziale wskazuje na niewielką liczbę dostępnych publikacji dotyczących zagadnień w obszarze problematyki eksploatacji, zużycia i ochrony przed nadmiernym zużyciem sprawdzianów gwintowych, a także metod zwiększania ich trwałości. Stwierdzono przy tym, że w literaturze polskiej i światowej zauważalna jest znikoma liczba publikacji z zakresu eksploatacji i zużycia sprawdzianów gwintowych (również z powłokami) w warunkach produkcyjnych, do których można zaliczyć: analizę wpływu właściwości materiału z jakiego są wykonane sprawdziany na ich zużycie, wpływu rodzaju i właściwości powłoki ochronnej (przeciwzużyciowej) naniesionej na sprawdzian gwintowy na jego zużycie, wpływ właściwości materiału przeciwpróbki (kolektora hydraulicznego) na zużycie sprawdzianu”. Jest ona jednak zbyt ogólna.

3. Fragment zawarty na stronie 42 w rozdziale Cel i teza pracy: „Jednocześnie opracowana koncepcja pokrycia sprawdzianów gwintowych powłokami przeciwzużyciowymi będzie podstawą do oceny wpływu rodzaju powłoki oraz materiału podłoża na trwałość w warunkach eksploatacyjnych, umożliwi określenie stopnia ich odporności na zużycie ściernie. Na podstawie analizy uzyskanych wyników badań wykonana będzie ocena obejmująca wybór najlepszego wariantu / rodzaju materiału podłoża i powłoki pracujących w kontakcie z danym rodzajem materiału przeciwpróbki” sugeruje analizę różnych kombinacji powłok i materiałów podłoża. W pracy przedstawiono wyniki dla 2 wariantów: stal narzędziowa do pracy na zimno pokryta powłoką DLC oraz stal szybko tnąca HSS pokryta powłoką TiN. Jaki był powód ograniczenia badań do tych 2 wariantów oraz dlaczego wytypowano te rodzaje powłok?
4. Na stronie 45 w tabeli 4.3 autor prezentuje wytypowane sprawdziany gwintowe wykonane z różnych materiałów (stal narzędziowa do pracy na zimno, stal szybko tnąca molibdenowa, węgiel spiekany) są to jednak komercyjne rozwiązania wytwarzane przez firme Thread Check Inc. oraz Swanson Tool Manufacturing, Inc. Należy żałować, że Autor w ramach badań, nie wykorzystał sprawdzianu wykonanego z niekonwencjonalnego materiału co znacząco podniosłoby atrakcyjność prezentowanych wyników.
5. Na stronie 111 w podrozdziale 5.7.3 zamieszczono informację: „Sprawdziany gwintowe 250-28 UNF-3B STI, wykonane z różnych materiałów, również z zastosowaniem powłok przeciwzużyciowych, zostały poddane testom eksploatacyjnym w warunkach przemysłowych, poprzez sprawdzanie kolejno kolektorów hydraulicznych hamulca samolotu Airbus A350 wykonanych ze stopu tytanu Ti-6Al-4V. W każdym z korpusów poddano sprawdzeniu osiem gwintów .250-28 UNF-3B STI stroną PRZECHODNIĄ sprawdzianu. Kolektory aluminiowe pełniły rolę przeciwpróbek w testach eksploatacyjnych”. Ten fragment wymaga doprecyzowania ze względu na umieszczenie informacji o sprawdzaniu kolektorów hydraulicznych wykonanych ze stopu tytanu Ti-6Al-4V, gdzie kolektory aluminiowe pełniły rolę przeciwpróbek w testach eksploatacyjnych.

6. W podrozdziale 5.7.3. nie przedstawiono wyników dotyczących sprawdzianu wykonanego z stali szybko tnącej pokrytej powłoką TiN. Jaki był powód eliminacji tego wariantów w przypadku weryfikacji zużycia sprawdzianów podczas testów dla stopu tytanu Ti-6Al-4V?
7. Na stronie 60 w podrozdziale 4.5.2 przedstawiono informację: „Na podstawie analizy danych literaturowych przyjęto, że chropowatość powłoki jest kluczowym parametrem wpływającym na zużycie sprawdzianu w przypadku węzła trącego sprawdzian – element konstrukcyjny samolotu. Im niższe wartości parametrów chropowatości tym mniejszy efekt tarcia i zużycia w trakcie eksploatacji”. Nasuwa się więc pytanie czy nie byłoby zasadne przeprowadzenie pomiaru współczynnika tarcia na kontakcie materiał sprawdzianu/materiał przeciwpróbki w warunkach laboratoryjnych. Proszę o wyjaśnienie dlaczego tego typu testy nie zostały uwzględnione w ramach prac badawczych.
8. Na stronie 80 w podrozdziale 5.7 przedstawiono informację „Testy eksploatacyjne były prowadzone do momentu stwierdzenia zużycia sprawdzianu gwintowego lub do momentu wkręcenia sprawdzianu w 200 sztuk kolektorów hydraulicznych będących przeciwpróbkami użytymi do testów”. W podrozdziale 5.7.2 na stronie 96 stwierdzono że „W każdym z korpusów poddano sprawdzeniu siedem gwintów .250-28 UNF-3B STI stroną PRZECHODNIĄ sprawdzianu.”. Natomiast na stronie 204 w rozdziale Wnioski końcowe napisano „W przypadku sprawdzianów wykonanych ze stali szybko tnącej poddawanych testom przy użyciu przeciwpróbek ze stali 15-5 PH i ze stopu tytanu Ti-6Al-4V uzyskano zwiększoną żywotność w odniesieniu do standardowych sprawdzianów, jednakże sprawdziany te nie przeszły pomyślnie całego cyklu obejmującego 200 wkręceń w przeciwpróbki.” Występuje tutaj znacząca różnica w ilości cykli eksploatacyjnych. Analizując 2 pierwsze przytoczone zdania można dojść do wniosku że wykonano 1400 wkręceń, lecz w zdaniu przytoczonym jako 3 zostało to opisane jako 200 wkręceń w przeciwpróbki. Proszę o doprecyzowanie tego zagadnienia.
9. W rozdziale 5.8. przedstawiono rezultaty pomiarów chropowatości sprawdzianów wykonanych z różnych materiałów, pokrytych różnymi powłokami. Nie przedstawiono jednak jednoznacznej informacji czy pomiary dotyczą sprawdzianów nowych czy też po testach eksploatacyjnych. Analizując uzyskane wyniki można wnioskować, że były to sprawdziany przed testami eksploatacyjnymi. Należy żałować, że Doktorant nie porównał parametrów chropowatości przed testami eksploatacyjnymi i po nich.
10. W podrozdziale 5.10 Wyniki pomiaru twardości materiałów znajdującym się na stronie 153 napisano że „W wyniku badania twardości stwierdzono, że materiały sprawdzianów spełniają wymagania i mogą być przeznaczone do procesów pokrywania ich powierzchni powłokami przeciwzużyciowymi”. Ze względu na wstępny charakter wykonanej analizy podrozdział ten powinien znaleźć się w początkowej części rozdziału 5. Umieszczenie go po przedstawieniu wyników w

podrozdziałach 5.7, 5.8 oraz 5.9 sprawia wrażenie jakby weryfikacja możliwości nałożenia powłok realizowana było już po fakcie ich nałożenia.

11. Doktorant w ramach założonych hipotez przedstawia „...opracowanie rozwiązania pozwalającego na regenerację zużytych sprawdzianów”. Niestety w pracy brak jest badań eksperymentalnych dotyczących zagadnienia regeneracji zużytych sprawdzianów. W podrozdziale 5.12 Autor wspomina o możliwości przeprowadzenia regeneracji, lecz nie jest ona poparta wynikami badań. Należy żałować że Doktorant nie podjął próby weryfikacji metody regeneracji dla wybranego wariantu.
12. W podrozdziale 5.13 autor stwierdził, że „Zastąpienie standardowych sprawdzianów wykonanych ze stali do pracy na zimno sprawdzianami z węglika spiekanego i stali szybko tnącej z powłoką TiN jest droższym rozwiązaniem, niż w przypadku sprawdzianów pokrytych powłoką DLC, jednak analizując ich trwałość względem kosztów, może być rozwiązaniem również zasadnym. Szczególnie obiecujące są wyniki badań własnych przyczepności powłoki TiN do podłoża, w których potwierdzono że przyczepność powłoki i odporność na obciążenia jest ok. 3-krotnie większa niż w przypadku powłoki DLC. W tym przypadku niezbędne byłoby przeprowadzenie dodatkowych, przedłużonych testów eksploatacyjnych, za pomocą których można by poddać ocenie czy żywotność sprawdzianów wykonanych ze stali szybko tnącej z powłoką TiN przekracza ok. 2,4-krotnie żywotność sprawdzianów standardowych i sprawdzianów wykonanych z węglika spiekanego przekraczają 5,9-krotnie żywotność sprawdzianów standardowych”. Czy Doktorant uważa, że wykorzystanie znacznie mniej czasochłonnnych testów tribologicznych np. w parze czarnej rolka-klocek pozwoliłoby na oszacowanie różnic w żywotności analizowanych rozwiązań materiałowych na sprawdziany gwintowe oraz dało odpowiedź o ekonomicznej zasadności ich zastosowania?
13. W przypadku niektórych pozycji literaturowych brakuje roku wydania np. Kupczyk M.: Wytwarzanie i eksploatacja narzędzi skrawających z powłokami przeciwwuzyciowymi, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej (2009) czy też Hetzner D. W.: Refining carbide size distributions in M1 high speed steel by processing and alloying, Materials Characterization, Volume 46, Issues 2-3 (2001). Występują też różnice w edycji poszczególnych pozycji literaturowych np. Hetzner D. W.: Refining carbide size distributions in M1 high speed steel by processing and alloying, Materials Characterization, Volume 46, Issues 2-3 jest edycyjnie różna od García J., Ciprés V. C., Blomqvist A., Kaplan B.: Cemented carbide microstructures: A review, International Journal of Refractory Metals & Hard Materials 80 (2019) 40–68.

Pomimo starannego zredagowania rozprawy wystąpiły w niej błędy edycyjne i niedopatrzenia:

- występuje błędne oznaczenie podrozdziałów w przypadku podrozdziału 4.5.3 powinno być oznaczenie 4.6.2, dla podrozdziałów 5.7-5.13 powinno być oznaczenie 5.1-5.7. Szczególnie oznaczenia w rozdziale 5 są niefortunnie dobrane ze względu na wrażenie usunięcia połowy jego zawartości.

- w przypadku rys. 1.2, 5.18, 5.19, 5.20, 5.21, 5.22 umieszczone opisy są w języku angielskim. Skoro praca została zredagowana w języku polskim to nie powinna zawierać takich elementów, mimo, że dotyczy to przypadków zaczerpniętych z anglojęzycznej literatury lub oprogramowania dostępnego w języku angielskim.

- w przypadku rys. 1.2, 5.18, 5.19, 5.20, 5.21, 5.22 umieszczone są nieczytelne opisy, które utrudniają zrozumienie przedstawionych informacji.

-str. 20 - Szczególnie podatne za zużycie są strony – powinno być Szczególnie podatne na zużycie są strony

-str.26 - Na właściwości odkuwki wpływa wiele czynników, takich jak rodzaj i właściwości początkowe materiału do procesu kucia, jego podatność na odkształcenie, geometrii, także parametrów kucia, - powinno być Na właściwości odkuwki wpływa wiele czynników, takich jak rodzaj i właściwości początkowe materiału do procesu kucia, jego podatność na odkształcenie, geometria, a także parametry kucia,

-str. 29 - wyróżnia się pięć podstawowych grup ze względu skład fazowy, są to stale – powinno być wyróżnia się pięć podstawowych grup ze względu na skład fazowy, są to stale

- str. 31 - Stale narzędziowe podaje się hartowaniu – powinno być Stale narzędziowe poddaje się hartowaniu

- str. 37 - bez ingerencji zmianę parametrów – powinno być bez ingerencji w zmianę parametrów

- str. 37 - Połączenie powłoki jest adhezyjne – powinno być Połączenie powłoki jest adhezyjne

- str. 40 - Proces odpuszczania stali narzędziowej typu D2 najczęściej prowadzona jest w zakresie temperatury – powinno być najczęściej prowadzony jest w zakresie temperatury

- str. 54 - odniesieniu do wszystkich wzorcowanych – powinno być odniesieniu do wszystkich wzorcowanych

- str. 69 - większość zastosowanych sprawdzianów użytych do testów eksploatacyjnych miała średnice podziałową blisko góry tolerancji – powinno być większość zastosowanych sprawdzianów użytych do testów eksploatacyjnych miała średnice podziałową blisko górnej granicy tolerancji

- str. 74 - Skład chemiczny stali umacnianej wydzielinowo (gatunek 15-5 PH) użytego do wyprodukowania kolektora – powinno być Skład chemiczny stali umacnianej wydzielinowo (gatunek 15-5 PH) użytej do wyprodukowania kolektora
- str. 79 - pomiary powtórzone pięciokrotnie i wyliczono średnią arytmetyczną oznaczającą średnią twardość badanego materiału – powinno być pomiary powtórzone pięciokrotnie i wyliczono średnią arytmetyczną oznaczającą średnią twardość badanego materiału
- str. 123 – węgieliek piekany – powinno być węgieliek spiekany
- str. 133 - z kolei najwyższą wartością parametru Sa charakteryzowały się – powinno być z kolei najwyższą wartością parametru Sa charakteryzowały się
- str. 133 - Założono, że najważniejszym czynnikiem eksploatacyjnym o żywotności sprawdzianów gwintowych jest zachowanie ich wymiarów – powinno być Założono, że najważniejszym czynnikiem eksploatacyjnym decydującym o żywotności sprawdzianów gwintowych jest zachowanie ich wymiarów

Powyższe uwagi merytoryczne i edycyjne nie umniejszają dużej wartości dysertacji. Uważam rozprawę doktorską za wartościową.

Ocena końcowa

Ocena przedstawionej do zaopiniowania rozprawy doktorskiej mgr inż. Przemysława Marcina Polińskiego upoważnia mnie do stwierdzenia, że Autor dokonał wnikliwej analizy stanu zagadnienia i na tej podstawie trafnie sformułowała cele rozprawy. Poprzez zaawansowane badania materiałowe oraz wnikliwą analizę cele zostały przez Doktoranta osiągnięte.

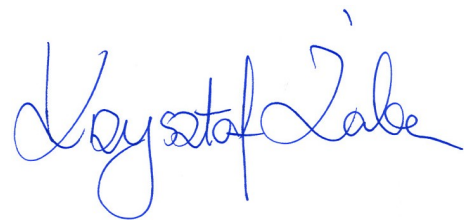
Podsumowując moją recenzję stwierdzam, że mgr inż. Przemysław Marcin Poliński wykazał się dobrą znajomością przedmiotu badań. Udowodnił przy tym dobre przygotowanie merytoryczne, umiejętności wykorzystania metod, technik i narzędzi badawczych, zdolność do samodzielnego planowania i realizacji badań naukowych oraz ich analizy.

Recenzowana rozprawa doktorska może być przypisana do dyscypliny naukowej Inżynieria Materiałowa.

Wniosek

Przedłożona do zaopiniowania rozprawa doktorska mgr inż. Przemysława Marcina Polińskiego pt. „Podwyższenie odporności na zużycie sprawdzianów gwintowych stosowanych w przemyśle lotniczym” spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki określonej w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późn.zm.).

W związku z powyższym wnoszę do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Rzeszowskiej o dopuszczenie mgr inż. Przemysława Marcina Polińskiego do publicznej obrony przedłożonej rozprawy doktorskiej.



dr hab. inż. Krzysztof Żaba, prof. AGH