



Wojskowa
Akademia
Techniczna

Wydział
Nowych Technologii i Chemii



Warszawa, dn. 18.01.2024r.

Prof. dr hab. inż. Tomasz CZUJKO,
Instytut Inżynierii Materiałowej
Wydział Nowych Technologii i Chemii
Wojskowa Akademia Techniczna
ul. Kaliskiego 2
00-908 Warszawa
e-mail: tomasz.czujko@wat.edu.pl; tel. 261839445

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Przemysława Polińskiego
pt. „Podwyższenie odporności na zużycie sprawdzianów gwintowych stosowanych w
przemśle lotniczym”

Sprawdziany gwintowe są jednymi z najbardziej rozpowszechnionych narzędzi pomiarowych stosowanych w przemyśle, mającymi szczególne znaczenie przy weryfikacji otworów gwintowanych części wymagających precyzji, w tym elementów statków powietrznych. Połączenia gwintowe, będące jedną z podstawowych metod łączenia elementów lotniczych odgrywają kluczową rolę w trwałości i niezawodności gotowych zespołów części, wpływając bezpośrednio na bezpieczeństwo lotu.

Głównym problemem w stosowaniu sprawdzianów gwintowych w przemyśle lotniczym jest ich zużycie w trakcie inspekcji części lotniczych, szczególnie wykonanych z materiałów o dużej twardości tj. tytan, stal nierdzewna. W celu zapewnienia zgodności sprawdzianów gwintowych wymagane jest wykonywanie ich okresowej weryfikacji poprzez wzorcowanie, polegające na sprawdzeniu właściwości metrologicznych i potwierdzeniu ich zgodności z normami odniesienia na świadectwie wzorcowania.

Ograniczenie ich zużycia ma znaczenie w obniżeniu kosztów kontroli jakości części poprzez rzadsze ich wzorcowanie i wymianę, a także w aspekcie środowiskowym poprzez zmniejszenie odpadu w postaci zużytych sprawdzianów gwintowych oraz odpadów poprodukcyjnych. Wydłużenie żywotności sprawdzianów gwintowych zwiększa ich

niezawodność poprzez zmniejszenie ryzyka sprawdzania części lotniczych sprawdzianem niespełniającym norm jakościowym ze względu na zużycie przekraczające tolerancje określone w normach odniesienia.

Stąd też podjęcie się przez Doktoranta problematyki poszukiwania nowych rozwiązań technologicznych pozwalających na wydłużanie żywotności narzędzi pomiarowych, poprzez stosowanie powłok przeciwzużyciowych lub zastąpienie materiału sprawdzianu materiałem o mniejszej ścieralności, uważam za w pełni zasadne.

Rozprawa doktorska Pana mgr. Przemysława Polińskiego, pod wyżej wymienionym tytułem, o łącznej objętości 213 stron, składa się ze spisu treści, wprowadzenia (**rozdział 1**) analizy stanu zagadnienia zawartego w **rozdziale 2**, tezy i celu pracy (**rozdział 3**), szczegółowego opisu stosowanej metodyki badawczej (**rozdział 4**) oraz omówienia uzyskanych wyników badań (**rozdział 5**), stanowiącego rdzeń merytoryczny pracy. Praca ta kończy się wnioskami (**rozdział 6**), stosowaną bibliografią oraz dwujęzycznym streszczeniem.

W ramach przeglądu literatury (**rozdział 2**) Doktorant przedstawia charakterystykę materiałów, z których zostały wykonane części lotnicze użyte w testach eksploatacyjnych, charakterystykę materiałów, z których wykonano sprawdziany gwintowe i powłoki przeciwzużyciowe. Opisuje gwinty calowe i sprawdziany do gwintów calowych w odniesieniu do obowiązujących norm amerykańskich. Dodatkowo przedstawia stan wiedzy dotyczący zwiększania żywotności narzędzi, np. narzędzi pomiarowych poprzez stosowanie powłok przeciwzużyciowych i materiałów o większej wytrzymałości na ścieranie.

W dalszej części Doktorant omawia w dość obszernej formie **cel i tezy pracy** postulując, iż *„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”*. Natomiast, *„zastosowanie materiałów o zwiększonej odporności na ścieranie, wykonanych z węglika spiekanego i stali szybko tnącej – w porównaniu do innych niż standardowy materiał wykorzystywany do produkcji sprawdzianów gwintowych jakim jest stal narzędziowa do pracy na zimno – umożliwi określenie wpływu*

rodzaju materiału, z którego wykonano sprawdziany gwintowe na ich żywotność. 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”.

Jako cel zasadniczy Doktorant postawił sobie 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.

Rozdział 4 poświęcony jest metodyce prowadzonych badań z uwzględnieniem charakterystyki stosowanych materiałów, pomiarów parametrów geometrycznych, badań morfologii powierzchni i mikrostruktury badanych sprawdzianów oraz badaniom na zużycie ściernie i właściwości mechanicznych.

W **rozdziale 5** Doktorant przedstawia wyniki badań i ich dyskusję, obejmujące wyniki pomiarów średnicy podziałowej przed i w trakcie testów eksploatacyjnych, wyniki pomiarów chropowatości warstwy wierzchniej sprawdzianów, wyniki badań przyczepności powłoki do podłoża, wyniki pomiaru twardości badanych materiałów oraz efekty obserwacji za pomocą mikroskopii elektronowej SEM-EDS i świetlnej. Ponadto, Doktorant przedstawia metody i efekty procesów regeneracji sprawdzianów gwintowych wraz z analizą opłacalności wydłużenia żywotności sprawdzianów gwintowych.

Rozdział 6 zawiera syntetyczną formę wniosków wynikających z przeprowadzonych badań.

Struktura pracy jest typowa dla wdrożeniowych prac doktorskich, a sama praca napisana jest prawidłowym językiem technicznym, z wykorzystaniem bogatej literatury o zasięgu międzynarodowym i posiada starannie opracowaną szatę graficzną oraz stojącą na bardzo wysokim poziomie dokumentację z badań własnych.

Recenzowana praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu, z wykorzystaniem zaawansowanych metod badawczych, poparte analizą uzyskanych wyników.

Praca nie zawiera istotnych błędów merytorycznych, mogących wpłynąć na jej merytoryczną ocenę, a uzyskane wyniki badań pozwoliły na opracowanie i weryfikację rozwiązania materiałowo-technologicznego w obszarze inżynierii materiałowej, zapewniającego zwiększenie trwałości sprawdzianów gwintowych trzpieniowych

wykorzystywanych do kontroli wyprodukowanych detali lotniczych i wydłużenie czasookresu wzorcowania, a także opracowanie technologii regeneracji zużytych sprawdzianów. Opracowane rozwiązania znalazły praktyczne zastosowanie w firmie Yasa Poland Sp. z o.o. – produkującej elementy statków powietrznych. Ponadto, podjęto próbę opracowania analizy ekonomicznej, w której wykazano opłacalność zaproponowanych rozwiązań. Dodatkowo przeprowadzone prace badawczo-naukowe poszerzyły stan wiedzy dotyczący zużycia sprawdzianów gwintowych i możliwości wydłużenia ich żywotności..

Na podkreślenie zasługuje mnogość i zaawansowanie zastosowanych metodyk badawczych, świadczący o dojrzałym podejściu Autora rozprawy do prowadzonych badań oraz umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Natomiast, do oryginalnych osiągnięć Doktoranta o charakterze technologicznym i poznawczym zaliczam:

1. Wskazanie mechanizmów degradacji i identyfikacji rodzajów uszkodzeń tworzących się w obszarze warstwy wierzchniej sprawdzianów bez powłok i z wytworzonymi powłokami – poddanych próbom eksploatacyjnym oraz podczas próby odporności na zarysowanie.
2. Zdefiniowanie problematyki technologicznej związanej z uzyskaniem równomiernego rozkładu grubości powłok nakładanych metodą Arc-PVD na całej powierzchni elementów o złożonej geometrii.
3. Wykazanie, iż zastosowanie powłok przeciwzużyciowych zminimalizuje zjawisko przywierania cząstek materiału przeciwpróbek wykonanych ze stopu aluminium 7075.
4. Potwierdzenie wpływu technologii nakładania powłok przeciwzużyciowych na wartości parametrów 2D i 3D w odniesieniu do materiałów bez powłok.
5. Potwierdzenie możliwości zwiększenia odporności na zużycie sprawdzianów wykonanych z węgla spiekanego, stali do pracy na zimno z powłoką DLC i stali szybko tnącej z powłoką TiN do 12 miesięcy i tym samym wydłużenie czasookresu wzorcowania do minimum 6 miesięcy dla sprawdzianów używanych do sprawdzania elementów lotniczych wykonanych ze stali 15-5 PH i stopu tytanu Ti-6Al-4V.
6. Wykazanie, iż powłoka TiN wytworzona na podłożu ze stali szybko tnącej charakteryzuje się lepszą odpornością na zużycie w próbie zarysowania w porównaniu z powłoką DLC.

Celem pracy było 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 i **cel ten został w pełni osiągnięty.**

Uważam, że przedłożona do recenzji praca świadczy o znaczącej wiedzy ogólnej Doktoranta oraz umiejętności prowadzenia samodzielnego badań naukowych, a także w pełni odpowiada wymaganiom ustawowym stawianym rozprawom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

