

dr hab. inż. Arkadiusz Stachowiak, prof. PP
Instytut Maszyn Roboczych
i Pojazdów Samochodowych
Politechniki Poznańskiej

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Arkadiusza WIĘCZKOWSKIEGO

Tytuł rozprawy:

„Zwiększenie trwałości wybranych narzędzi stosowanych w przemyśle gumowym”

Recenzja została przygotowana na podstawie pisma prof. dr hab. inż. Janusza Zielińskiego, Dziekana Wydziału Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej Filia w Płocku.(Umowa o dzieło 13-12-2018).

1. Dane ogólne

Promotorem recenzowanej rozprawy jest dr hab. Ewa Kasprzycka, profesor Politechniki Warszawskiej, natomiast promotorem pomocniczym dr inż. Bogdan Bogdański. Praca liczy ogółem 106 stron i składa się z siedmiu rozdziałów merytorycznych, wprowadzenia, spisu treści, spisu literatury, wykazu ważniejszych oznaczeń i skrótów anglojęzycznych, spisu tablic i rysunków. Większość rozdziałów podzielono na zwarte tematycznie podrozdziały. Zamieszczony w pracy spis literatury obejmuje 108 pozycji ułożonych w kolejności alfabetycznej. Wśród nich znajduje się 1 publikacja współautorstwa Doktoranta. Około 40% przytoczonych w pracy pozycji literaturowych stanowią publikacje z ostatnich 10 lat. Ponad 40% cytowanych publikacji to opracowania obcojęzyczne (36 w języku angielskim, 3 w języku niemieckim, 3 w języku francuskim, 2 w języku rosyjskim).

2. Analiza rozprawy

W swojej pracy mgr inż. Arkadiusz Więczkowski podjął istotny i aktualny problem naukowy o charakterze interdyscyplinarnym (z obszaru inżynierii materiałowej, tribologii i eksploatacji). Doktorant zajął się opracowaniem koncepcji wykonania i weryfikacją skuteczności zastosowania hybrydowej obróbki powierzchniowej polegającej na łączeniu kilku różnych metod obróbki w jeden złożony proces technologiczny. Głównym celem tych

działań było zwiększenie trwałości narzędzi stosowanych do cięcia gumy. Narzędzia te eksploatowane są w złożonych warunkach wymuszeń. Ich zużywanie następuje w wyniku jednoczesnych oddziaływań tarciovych, środowiska korozyjnego i wysokiej temperatury.

Literatura przedmiotu oraz praktyka eksploatacyjna wskazują, że koszty produkcji i jakość wyrobów w przemyśle gumowym zależą w dużym stopniu od trwałości stosowanych narzędzi (m.in. noży do cięcia gumy). Podjęta w rozprawie mgr inż. Arkadiusza Więczkowskiego tematyka stanowi zatem próbę rozwiązania aktualnego problemu w obszarze eksploatacji maszyn a sformułowany cel ma charakter użytkowy. Z drugiej strony wyniki badań zamieszczone w dysertacji uzupełniają zdiagnozowane przez Doktoranta luki w obszarze wiedzy (nauki) w następujących kwestiach:

- wybór skutecznej obróbki powierzchniowej dla narzędzi do cięcia narażonych na jednoczesne zużywanie ścierne, korozyjne i podwyższoną temperaturę,
- ocena właściwości (np. odporności na ścieranie) warstw hybrydowych typu CrC+CrN w podwyższonych temperaturach,
- ocena efektu oddziaływania procesów chromowania dyfuzyjnego (metoda proszkowa) połączonych z następną obróbką PVD na właściwości tribologiczne, odporność korozyjną warstw hybrydowych typu CrC+CrN.

Na początku dysertacji Doktorant zamieścił krótkie wprowadzenie. W drugim rozdziale przedstawiono analizę stanu wiedzy. Ta część pracy obejmuje następujące zagadnienia:

- charakterystyka produkcji elementów gumowych,
- rodzaje narzędzi stosowanych przy produkcji gumy i czynniki powodujące ich zużywanie,
- charakterystyka metod inżynierii powierzchni stosowanych w celu zwiększenia trwałości narzędzi w przemyśle gumowym.

Rozdział drugi zakończono syntetycznym podsumowaniem aktualnego stanu wiedzy. Doktorant zidentyfikował problem badawczy oraz najistotniejsze luki w obszarze wiedzy. Wskazał również kierunek działań w celu rozwiązania problemu badawczego.

Rozdział trzeci to sformułowanie tezy badawczej. Według koncepcji Doktoranta „zwiększenie trwałości narzędzi stosowanych w przemyśle gumowym, narażonych podczas eksploatacji na zużycie tribologiczne, korozję i podwyższoną temperaturę, można uzyskać dzięki obróbce hybrydowej, łączącej chromowanie dyfuzyjne, realizowane tradycyjną metodą proszkową, z następną obróbką, osadzaniem azotku chromu metodą odparowania łukiem

elektrycznym Arc PVD”. Na podstawie tak sformułowanej tezy określono cel pracy i zadania badawcze.

W rozdziale czwartym przedstawiono metodykę badań: budowy warstw (skład fazowy, morfologia), twardości, modułu Younga, adhezji warstwy do podłoża, odporności na zużywanie ściernie, odporności korozyjnej. Należy podkreślić, że Doktorant bardzo rzetelnie scharakteryzował zastosowane metody i przyrządy pomiarowe oraz parametry realizacji.

Rozdział piąty zawiera wyniki badań. Zasadniczo porównano właściwości warstw hybrydowych typu CrC+CrN wytworzonych według koncepcji zaproponowanej przez Doktoranta z właściwościami pojedynczych warstw węglkowych typu CrC. Wykorzystując skaningową mikroskopię elektronową oraz rentgenowską analizę fazową dokonano oceny budowy analizowanych warstw. Stwierdzono uzyskanie struktur zgodnych z zaprojektowaną technologią. Porównywane warstwy cechuje zbliżona wartość modułu Younga oraz podobna adhezja do podłoża. Twardość warstwy hybrydowej jest o około 20% większa niż warstwy węglkowej. Ze względu na cel pracy – zwiększenie trwałości narzędzi do cięcia gumy – główne wyniki badań dotyczą oceny odporności na zużywanie ściernie (rozdział 5.3) i zużywanie korozyjne (rozdział 5.4). Odporność na zużywanie ściernie oceniano dwoma metodami. Pierwsza grupa testów została zrealizowana na stanowisku z węzłem modelowym typu „3 wałeczki – stożek”. Porównanie dotyczyło: warstwy hybrydowej typu CrC+CrN, warstwy węglkowej typu CrC, stali narzędziowej bez dodatkowej warstwy poddanej utwardzeniu cieplnemu. Testy wykonano dla czterech wartości nacisku jednostkowego (50, 100, 300, 400 MPa). Miarę odporności na zużycie ściernie stanowiło średnie zużycie liniowe wałeczków. Uzyskane wyniki wskazują, że zużycie próbek ze stali z warstwami hybrydowymi typu CrC+CrN jest prawie dwukrotnie mniejsze niż próbek z tej stali z warstwami węglkowymi typu CrC oraz prawie czterokrotnie mniejsze od zużycia próbek ze stali bez dodatkowych warstw po obróbce cieplnej. W drugiej grupie testów wykorzystano stanowisko z węzłem modelowym typu „kulka-tarcza”. Stanowisko umożliwiło wykonanie badań w temperaturze otoczenia (25°C) oraz w podwyższonej temperaturze odpowiadającej eksploatacji noży do cięcia gumy (100°C). Porównywano warstwy hybrydowe typu CrC+CrN z warstwami węglkowymi typu CrC. Miarę odporności na ścieranie stanowił wskaźnik zużycia wyznaczany na podstawie profilu śladu zużycia. Mniejszy ubytek materiału stwierdzono w przypadku warstw hybrydowych. Dla obu warstw zaobserwowano wzrost zużycia w wyższej temperaturze. Oceny odporności na korozję dokonano w komorze solnej. Po 100 godzinach ekspozycji na działanie środowiska korozyjnego na powierzchni próbek z warstwą hybrydową nie zaobserwowano żadnych zmian. W tych samych warunkach na

powierzchni próbki z warstwą węgla pojawiły się ślady korozji a próbka ze stali X210cr12 bez warstwy całkowicie skorodowała. Pewnym mankamentem tekstu w rozdziale piątym jest powtarzanie we wstępie do prezentacji wyników testów ogólnych informacji o zastosowanej metodzie badania (podanych wcześniej w rozdziale czwartym). Ponadto Doktorant nie zawsze analizując rezultaty testów wskazał prawdopodobne przyczyny zaobserwowanych realizacji (np. rozdział 5.3.2).

Dyskusję wyników badań przeprowadzono w rozdziale szóstym. Uzasadniono osiągnięcie celu pracy i słuszność sformułowanej tezy badawczej. Wskazano także kierunki dalszych działań. W ostatnim rozdziale zamieszczono dziesięć głównych wniosków wynikających z przeprowadzonych przez Doktoranta badań.

3. Uwagi merytoryczne

1. Zgodnie z podanymi w dysertacji informacjami zużywanie narzędzi do obróbki gumy może następować w wyniku jednoczesnych oddziaływań ściernych, korozyjnych i wysokiej temperatury. Tymczasem realizując cel pracy Doktorant dokonał niezależnej oceny odporności na zużywanie ściernie (rozdziały 5.3) i w warunkach oddziaływań korozyjnych (rozdział 5.4). W przypadku złożonych procesów zużywania wielokrotnie decydujący udział w całkowitym zużyciu materiału ma efekt interakcji elementarnych mechanizmów niszczących (np. tarcia i korozji). Rozmiarów tego efektu nie można skutecznie oszacować znając intensywność zużywania wyłącznie pojedynczych mechanizmów. Istnieją metody badań pozwalające modelować łączne działanie tarcia i korozji (np. testy tribokorozyjne). Jak Doktorant ocenia możliwość zastosowania (w przyszłości) takiego wariantu badań dla oceny wpływu modyfikacji powierzchniowej materiałów na noże do cięcia gumy?
2. Doktorant dokonał oceny odporności zmodyfikowanego materiału na zużywanie w warunkach tarcia ślizgowego wykorzystując modelowe stanowiska laboratoryjne z węzłami tarcia typu: 3 wałeczki – stożek oraz kula-tarcza. Dlaczego wybrano taką właśnie metodę analizy trwałości (odporności na zużywanie ściernie) proponowanych rozwiązań materiałowych? W jakim stopniu te modelowe skojarzenia ślizgowe odzwierciedlają warunki eksploatacji narzędzi w przemyśle gumowym?
3. Czy podczas ustalania parametrów testów tribologicznych (rozdziały 4.7 i 5.3) uwzględniono warunki pracy narzędzi do cięcia gumy?
4. Na podstawie wyników badań zużycia ściernego na stanowisku z węzłem modelowym typu kula – tarcza Doktorant stwierdził istotny wpływ temperatury na wartość ubytku

materiału. Analizując rezultaty tych testów nie wskazano jednak prawdopodobnej przyczyny takiego przebiegu procesu. W jaki sposób można wytłumaczyć wpływ temperatury na zużycie badanych materiałów?

5. Czy zaproponowana w rozprawie technologia nakładania warstw hybrydowych może być zastosowana w praktyce przemysłowej do produkcji noży do cięcia gumy (różnica między geometrią próbek i ostrzy noży, koszty produkcji)?

Powyższe spostrzeżenie stanowią wskazówki dla Doktoranta do uwzględnienia w przyszłych pracach i publikacjach.

4. Ocena pracy

Praca doktorska mgr inż. Arkadiusza Więczkowskiego to oryginalne osiągnięcie w obszarze nauk technicznych. Rozprawa stanowi eksperymentalne studium zagadnień związanych z oceną wpływu hybrydowej obróbki powierzchniowej na charakterystyki tribologiczne i korozyjne stali stosowanej na noże do cięcia gumy. Uzyskane przez Doktoranta wyniki badań mogą przyczynić się do rozwiązania aktualnego i ważnego problemu naukowego jakim jest zwiększenie trwałości narzędzi stosowanych w przemyśle gumowym.

Do głównych osiągnięć Doktoranta należy zaliczyć:

- identyfikację (na podstawie analizy literatury i własnych badań wstępnych) dominującego mechanizmu powodującego zużywanie narzędzi stosowanych w przemyśle gumowym – zużywanie ściernie przez bruzdowanie zachodzące w warstwie wierzchniej w środowisku korozyjnym i w wysokiej temperaturze,
- zaprojektowanie odpowiedniej obróbki powierzchniowej poprzez zastosowanie technologii hybrydowej łączącej chromowanie dyfuzyjne realizowane metodą proszkową z osadzaniem azotku chromu metodą odparowania łukiem elektrycznym Arc PVD; punktem wyjścia dla opracowania nowego rozwiązania materiałowego dla narzędzi do pracy z gumą była wcześniejsza identyfikacja dominującego mechanizmu zużywania i jego przebiegu,
- weryfikacja skuteczności zaproponowanej metody obróbki powierzchniowej zasadniczo w zakresie zwiększenia trwałości narzędzi stosowanych w przemyśle gumowym tzn. w warunkach oddziaływań tarcowych, środowiska korozyjnego i wysokiej temperatury.

Należy podkreślić, że doświadczalna weryfikacja skuteczności zaproponowanej metody obróbki powierzchniowej została zrealizowana przez Doktoranta w sposób kompleksowy. Dokonano bowiem wielowątkowej analizy obejmującej:

- identyfikację struktury warstw po obróbce; wskazano na związki struktury z właściwościami istotnymi w warunkach pracy narzędzi w przemyśle gumowym,
- ocenę właściwości użytkowych warstw (np. adhezja warstwy do podłoża, twardość),
- ocenę odporności na zużywanie w warunkach tarcia również z uwzględnieniem wpływu temperatury; wykorzystano w tym celu dwa różne stanowiska laboratoryjne z modelowymi węzłami ślizgowymi: trzy wałeczki – stożek oraz kula – tarcza,
- ocenę odporności na działanie środowiska korozyjnego.

Na podstawie wyników badań mgr inż. Arkadiusz Więczkowski stwierdził, że zużycie liniowe próbek ze stali X210Cr12 z warstwami hybrydowymi typu CrC+CrN jest prawie dwukrotnie mniejsze niż zużycie próbek z tej stali z warstwami węglowymi typu CrC oraz prawie czterokrotnie mniejsze od zużycia próbek z tej stali bez dodatkowych warstw poddanej jedynie obróbce cieplnej. Również testy odporności na działanie środowiska korozyjnego wykazały, że największą odpornością cechuje się stal z warstwą hybrydową typu CrC+CrN. Można zatem uznać, że główny cel pracy został zrealizowany i potwierdzono słuszność sformułowanej na wstępie tezy badawczej.

Autor dysertacji formułując tezę stwierdził, że zamierza „zwiększyć trwałość narzędzi stosowanych w przemyśle gumowym”. Wskazał zatem konkretne zastosowanie i konkretne warunki eksploatacji (zużywanie tribologiczne, korozja, wysoka temperatura). Tymczasem testy oceny odporności na zużywanie wykonano w warunkach modelowych. Mgr inż. Arkadiusz Więczkowski nie wskazał w jakim stopniu węzeł modelowy i zastosowane parametry badań odzwierciedlają rzeczywiste warunki pracy narzędzi do cięcia gumy. Ponadto w mojej ocenie Autor pracy podejmując działania na rzecz zwiększenia trwałości narzędzi nie wskazał bazy odniesienia (dotyczy to sformułowania tezy i celu – rozdział 3.1). Sądzę, że warto byłoby wyraźnie wskazać wariant materiałowy – najlepiej stosowany aktualnie w praktyce eksploatacyjnej – stanowiący odniesienia dla oceny efektu zwiększania trwałości. Przedstawione powyżej problemy nie umniejszają jednak merytorycznej wartości pracy.

Recenzowaną rozprawę napisano zrozumiałym językiem. Układ redakcyjny pracy jest klasyczny. Treści o charakterze analitycznym i badawczym ułożono w logiczną całość. Tekst pracy został zredagowany w sposób bardzo zwięzły, zwłaszcza w części stanowiącej relację z realizacji głównego celu (opis wyników badań i ich analiza). Mimo niezbyt obszernego w niektórych wątkach opisu mgr inż. Arkadiuszowi Więczkowskiemu udało się w większości przypadków właściwie zasygnalizować problem badawczy, wskazać własną koncepcję

rozwiązania wraz z metodą realizacji oraz przedstawić główne wyniki i podjąć próbę ich interpretacji.

Rozprawa może świadczyć o dobrym przygotowaniu metodycznym mgr inż. Arkadiusza Więzkowskiego do samodzielnej pracy badawczej, zwłaszcza w ujęciu interdyscyplinarnym. Doktorant osiągnął sformułowany w dysertacji cel wykorzystując wiedzę i umiejętności z różnych obszarów nauki: inżynieria materiałowa, tribologia. Przedstawiony w pracy materiał badawczy jest bardzo wartościowy i może być wykorzystany w praktyce eksploatacyjnej.

5. Wniosek końcowy

Na podstawie dokonanej analizy pracy mgr inż. Arkadiusza Więzkowskiego pt.: „Zwiększenie trwałości wybranych narzędzi stosowanych w przemyśle gumowym” stwierdzam, że spełnia ona wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez odpowiednią ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki. Wnoszę także o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

A. Stodwick