

Poznań, 05-06-2019

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

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Joanny KOWALCZYK

Tytuł rozprawy:

*„Ocena właściwości wybranych proekologicznych cieczy chłodząco-smarujących
w systemach tribologicznych z powłokami przeciwzużyciowymi”*

Recenzja została przygotowana na podstawie pisma prof. dr hab. inż. Tomasza L. Stańczyka, Dziekana Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej (Umowa o dzieło nr XII/DEC-M/5RD/19 z dnia 10-05-2019).

1. Dane ogólne

Promotorem recenzowanej rozprawy jest dr hab. inż. Monika Madej, profesor Politechniki Świętokrzyskiej. Praca liczy ogółem 168 stron i składa się ze wstępu, dziesięciu rozdziałów merytorycznych, wykazu ważniejszych oznaczeń i skrótów, spisu treści, spisu literatury. Rozdziały podzielono na zwarte tematycznie podrozdziały. Zamieszczony w pracy spis literatury obejmuje 106 pozycji ułożonych w kolejności alfabetycznej. Wśród nich znajduje się 11 publikacji współautorstwa Doktorantki.

2. Analiza rozprawy

W recenzowanej pracy podjęto istotny problem naukowy obejmujący różne obszary wiedzy: tribologia, chemia, inżynieria materiałowa, obróbka skrawaniem. Głównym celem działań podjętych przez mgr inż. Joannę Kowalczyk była ocena możliwości zwiększenia trwałości narzędzi skrawających przy zapewnieniu odpowiedniej jakości obrabianej powierzchni z wykorzystaniem biodegradowalnych cieczy obróbkowych.

Recenzowana praca doskonale wpisuje się w nurt aktualnych działań zmierzających do wyeliminowania cieczy obróbkowych, które nie są biodegradowalne. W trakcie eksploatacji składniki takich chłodziw mogą być przyczyną poważnych problemów zdrowotnych wśród

pracowników powodując choroby nowotworowe, układu oddechowego lub alergiczne. (obciążających środowisko). W ostatnim okresie rośnie zapotrzebowanie na nietoksyczne oraz biodegradowalne ciecze obróbkowe. Kolejny współczesny trend w obróbce skrawaniem to poszukiwanie rozwiązań materiałowych dla stosowanych narzędzi, które zapewnią większą trwałość zmniejszając koszty i eliminując przestoje w produkcji. Praca mgr inż. Joanny Kowalczyk stanowi próbę rozwiązania przedstawionych powyżej aktualnych i istotnych problemów poprzez analizę zastosowania:

- asparaginianu cynku jako dodatku do cieczy obróbkowych w celu uzyskania nietoksycznej substancji,
- cienkich, twardych powłok przeciwzużyciowych na narzędzia skrawające w celu zmniejszenia intensywności ubytku materiału.

Zgodnie ze spisem treści w pracy wyraźnie wyróżnione następujące trzy części: przegląd literatury (rozdziały 1-3), część doświadczalna (rozdziały 4-6), wyniki badań (rozdziały 7-10).

W ramach przeglądu literatury w rozdziale 1 zamieszczono informacje dotyczące zagadnień tribologicznych w obróbce skrawaniem. Kolejny rozdział dotyczy cieczy obróbkowych. Doktorantka przedstawiła podział tych substancji oraz scharakteryzowała ich funkcje eksploatacyjne. Kończącą część rozdziału poświęcono zagadnieniom związanym z wpływem cieczy chłodząco-smarującej na proces obróbki skrawaniem.

W rozdziale 3 zamieszczono podsumowanie i wnioski wynikające z przeglądu literatury. Doktorantka stwierdziła, że „obecnie bardzo mało jest doniesień naukowych dotyczących reakcji tribochemicznych zachodzących podczas obróbki skrawaniem a także porównania nietoksycznych cieczy chłodząco smarujących z konwencjonalnymi chłodziwami”.

Nawiązując do zidentyfikowanego powyżej problemu badawczego w rozdziale 4 sformułowano główną tezę pracy. Brzmi ona: „Ciecze chłodzące-smarujące zawierające asparaginian cynku przyczyniają się do zmniejszenia zużycia elementów trących systemu tribotechnologicznego w wyniku tworzenia się przeciwzużyciowych warstw wierzchnich oraz stanowią materiał eksploatacyjny o właściwościach proekologicznych”. Ponadto Doktorantka wyznaczyły dwa cele swojej pracy. Dotyczą one określenia wpływu:

- cieczy obróbkowej zawierającej asparaginian cynku w kontakcie z wybranymi powłokami (a-C:H, TiAlN, TiCN) na właściwości tribologiczne,

- chłodziwa z asparaginianem cynku na trwałość narzędzi skrawających wykonanych ze stali szybko tnącej HS6-5-2C, węglików spiekanych i węglików spiekanych z naniesioną powłoką a-C:H oraz na jakość powierzchni obrabianych przedmiotów ze stali C45.

Rozdział 5 dotyczy materiałów wykorzystanych w badaniach. Zawiera podstawowe charakterystyki dotyczące zastosowanych: cieczy obróbkowych, narzędzi skrawających, powłok precyzyjnych oraz obrabianego materiału.

W rozdziale 6 opisano wykorzystaną w pracy aparaturę badawczą oraz metodykę badań. Mgr inż. Joanna Kowalczyk właściwie dobrała narzędzia badawcze do realizowanego zadania. W sposób wystarczająco dokładny opisała sposoby: analizy składu chemicznego chłodziwa, oceny mikrobiologicznej chłodziwa, pomiaru kąta zwilżania, badania działania korodującego cieczy chłodząco-smarującej na stopy żelaza, pomiaru twardości powłok, oceny topografii powierzchni śladów zużycia. Do badań tribologicznych wykorzystywała tribotester T-01M firmy ITeE Radom z węzłem modelowym kula – tarcza oraz tribotester TRB firmy Anton Paar.

Charakterystyki chłodziwa zawierającego asparaginian cynku zamieszczono w rozdziale 7. Dane te skonfrontowano z właściwościami konwencjonalnego chłodziwa z olejem mineralnym. Uzyskane przez Doktorantkę wyniki wskazują, że zaproponowana przez nią ciecz chłodząca-smarująca stanowi lepsze rozwiązanie ze względu na: ochronę przeciwkorozyjną, właściwości przeciwpienne, toksyczność.

Kolejny rozdział zawiera dane o topografii i chropowatości powierzchni próbek przeznaczonych do badań tribologicznych.

W rozdziale 9 przedstawiono wyniki modelowych badań tribologicznych. Zasadnicze testy wykonano na aparacie T-01M firmy ITeE w Radomiu. W pierwszej fazie badań ustalono, że optymalne stężenie chłodziwa zawierającego asparaginian cynku wynosi 5%. W takich warunkach stwierdzono najmniejsze wartości współczynnika tarcia i intensywności zużycia modelowego węzła tarciovego. W drugiej fazie badań oceniano opory ruchu i zużycie dla różnych wariantów materiałowych elementu pary tarcioviej i chłodziwa. W testach uwzględniono dwa rodzaje cieczy obróbkowych (ciecz konwencjonalna z olejem mineralnym, ciecz z asparaginianem cynku) oraz trzy rodzaje cienkich, twardych powłok (a-C:H, TiAlN, TiCN). Wykonano również badania tribologiczne w warunkach tarcia technicznie suchego. Uzyskane wyniki wskazują, że najmniejsza wartość współczynnika tarcia oraz intensywności zużycia liniowego występuje w przypadku elementu stalowego z naniesioną powłoką a-C:H smarowanego chłodziwem zawierającym asparaginian cynku. Doktorantka dokonała również dodatkowej oceny współczynników tarcia badanych skojarzeń z wykorzystaniem innego tribotestera – TRB firmy Anton Paar. Wobec dużej liczby analizowanych wariantów

(powłoka/chłodziwo) i zróżnicowania uzyskanych wyników uważam, że w zbiorczych zestawieniach można było zastosować dodatkowe oznaczenia ułatwiające analizę porównawczą (np. wskazanie w zbiorczej tabeli przypadków, gdy zastosowanie chłodziwa z asparaginianem cynku daje najlepsze rezultaty). Po zakończeniu testów tribologicznych badane elementy poddano obserwacjom z wykorzystaniem skaningowego mikroskopu elektronowego. Na powłoce TiAlN w śladzie zużycia zaobserwowano nagromadzenie atomów cynku. Zidentyfikowana warstwa posiada dobre właściwości przeciwzużyciowe i ulega odtwarzaniu. Doktorantka przeprowadziła także analizę topografii powierzchni za pomocą skaningowego interferometru koherentnego.

W celu oceny możliwości zastosowania chłodziwa z asparaginianem cynku podczas obróbki skrawaniem przeprowadzono weryfikacyjne badania technologiczne. Rezultaty tych testów zamieszczono w rozdziale 10. Doktorantka zrealizowała toczenie powierzchni czołowych stali C45 narzędziami wykonanymi ze stali HS6-5-2C oraz narzędziami z węglików spiekanych bez i z powłoką a-C:H. Badano zużycie noża podczas toczenia z zastosowaniem cieczy obróbkowej zawierającej asparaginian cynku, chłodziwa z olejem mineralnym oraz bez użycia chłodziwa. Do oceny zużycia narzędzi wykorzystano wartości średniej (VB_B) oraz maksymalnej ($VB_{B\ MAX}$) szerokości pasma zużycia ciernego na powierzchni przyłożenia. Parametry te wyznaczano na podstawie zdjęć mikroskopowych powierzchni. Po zakończeniu testów przeprowadzono również ocenę topografii powierzchni tarcia oraz obserwacje z wykorzystaniem skaningowego mikroskopu elektronowego. Uzyskane rezultaty pozwalają stwierdzić, że w przypadku narzędzi wykonanych ze stali szybko tnącej zastosowanie chłodziwa z asparaginianem cynku zmniejsza zużycie narzędzia oraz zapewnia dobrą jakość obrabianej powierzchni. Stwierdzono również powstawanie warstwy związków cynku na krawędzi narzędzia skrawającego.

Pracę kończy podsumowanie, w którym mgr inż. Joanna Kowalczyk uzasadnia osiągnięcie głównych celów swojej pracy. Ponadto wskazuje kierunki dalszych działań. Warto podkreślić, że Doktorantka zamierza kontynuować badania związane z zastosowaniem cieczy chłodząco-smarującej z asparaginianem cynku.

3. Uwagi merytoryczne

1. W jaki sposób dobrane zostały parametry testu tarcowego realizowanego z wykorzystaniem aparatu T-01M (obciążenie i droga tarcia)? Dlaczego testy tarcowe realizowane w celu dobrania odpowiedniego stężenia chłodziwa zawierającego asparaginian cynku wykonano przy obciążeniu 10N a kolejne modelowe testy tribologiczne dla różnych par trących przy obciążeniu 50N?
2. W rozdziale 9 prezentując wyniki testów tribologicznych (np. rys. 9.1-9.2, 9.15-9.16) poza wartością średnią na wykresach przedstawiono również „odcinki” charakteryzujące rozrzut wyników. Jaką miarę rozrzutu przyjęto w analizie wyników? Ile powtórzeń wykonano dla poszczególnych skojarzeń materiałowych i chłodziwa?
3. Na rysunku 9.6 (strona 102) widoczny jest skokowy spadek wartości współczynnika tarcia (2,5 krotne obniżenie wartości). Tak dużej zmiany nie zaobserwowano w żadnym z pozostałych testów. Znaczącej zmianie współczynnika tarcia towarzyszy również wyraźna zmiana trendu zużycia liniowego (koniec wzrostu, początek stabilizacji). Co może być prawdopodobną przyczyną zaobserwowanych zmian współczynnika tarcia?
4. Zasadnicze testy tribologiczne wykonano na tribotesterze T-01M firmy ITeE Radom. Doktorantka zrealizowała ponadto dodatkowe badania tribologiczne wykorzystując inny triboster – TRB firmy Anton Paar. Jaki był cel tych dodatkowych badań tribologicznych?
5. Na rysunkach 9.15 i 9.17 przedstawiono średnie wartości współczynnika tarcia dla badanych skojarzeń trących wyznaczone na dwóch różnych testerach tribologicznych przy różnych parametrach testu (obciążenie, droga tarcia, geometria pary trącej). Uzyskane rezultaty różnią się (różnica wartości rzędu 50%). Odmienne dla obu warunków badań są również relacje między porównywanymi skojarzeniami trącymi (ze względu na wartość współczynnika tarcia). Jak Doktorantka oceniłaby wpływ metody badań tribologicznych (przede wszystkim rodzaju testera) na uzyskany wynik w ocenie porównawczej różnych skojarzeń materiałowych?
6. W podsumowaniu pracy zamieszczono stwierdzenie, że „badania modelowe nie pokryły się z badaniami eksperymentalnymi”. W związku z tym jak – na podstawie własnych doświadczeń – Doktoranta może określić zakres stosowania: modelowych testów laboratoryjnych i badań w warunkach rzeczywistej eksploatacji?
7. Jak Doktorantka ocenia możliwość zastosowania (w przyszłości) cieczy obróbkowych z asparaginianem cynku w rzeczywistych procesach obróbkowych?

Zawarte w powyższych uwagach kwestie nie umniejszają merytorycznej wartości pracy. Sposrzeżenie stanowią wskazówki dla Doktorantki do uwzględnienia w przyszłych pracach i publikacjach.

4. Ocena pracy

Praca doktorska mgr inż. Joanny Kowalczyk to oryginalne osiągnięcie naukowe. Rozprawa stanowi analityczne oraz eksperymentalne studium zagadnień związanych z oceną wpływu cieczy obróbkowej zawierającej asparaginian cynku na zmniejszenie zużycia elementów trących systemu tribotechnologicznego z uwzględnieniem zastosowania różnych powłok na powierzchni pary trącej. Uzyskane przez Doktorantkę rezultaty mogą przyczynić się do rozwiązania aktualnego i ważnego problemu naukowego jakim jest zwiększenie trwałości narzędzi skrawających przy zapewnieniu odpowiedniej jakości obrabianej powierzchni z wykorzystaniem biodegradowalnych cieczy obróbkowych.

W mojej ocenie główne osiągnięcia Doktorantki to przede wszystkim:

- oryginalna propozycja wykorzystania asparagianu cynku jako dodatku do cieczy obróbkowych; dotychczas substancja ta stosowana była tylko w medycynie i farmakologii,
- kompleksowa ocena właściwości cieczy obróbkowych zawierających asparaginian cynku w porównaniu z konwencjonalnym chłodziwem zawierającym olej mineralny (ocena mikrobiologiczna, biodegradowalności, działania korodującego na stopy żelaza); wykazanie lepszych właściwości cieczy chłdząco-smarującej zawierającej asparaginian cynku – w szczególności brak toksyczności,
- ocena wpływu zastosowania cieczy obróbkowej i jej rodzaju oraz typu powłoki pokrywającej elementy pary trącej (narzędzie skrawające) na procesy tribologiczne zachodzące w badanym systemie; należy podkreślić, że porównania poszczególnych wariantów „ciecz obróbkowa – rodzaj powłoki” dokonano uwzględniając kilka kryteriów: opory ruchu (zużycie energii), trwałość narzędzia skrawającego (zużycie), stan powierzchni; Doktorantka w sposób rzetelny wskazała sytuacje, w których ciecz obróbkowa z asparagianem cynku stanowi najlepsze rozwiązanie wśród porównywanych wariantów; Doktorantka stwierdziła również, że powłoki diamentopodobne oraz TiAlN i TiCN osadzone na elementach stalowych dobrze spełniły funkcje ochronne,
- potwierdzenie powstawania odtwarzalnych warstw związków cynku o właściwościach przeciwzużyciowych na powierzchni pary trącej badanego systemu tribotechnologicznego (zarówno w badaniach modelowych jak i w warunkach eksploatacji); warstwa ta zapewnia

zmniejszenie współczynnika tarcia oraz intensywności zużywania elementów współpracujących tarciowo (teza pracy),

- weryfikacja wyników modelowych badań tribologicznych w warunkach rzeczywistej eksploatacji narzędzi skrawających; Doktorantka wykazała, że w przypadku toczenia poprzecznego z wykorzystaniem narzędzi ze stali szybko tnącej lepsze okazało się chłodziwo zawierające asparaginian cynku.

Recenzowana praca ma charakter interdyscyplinarny. Doktorantka potrafiła wykorzystać wiedzę z różnych obszarów nauki realizując skutecznie główne cele pracy. Mgr inż. Joanna Kowalczyk zaplanowała i przeprowadziła dość złożony eksperyment weryfikacyjny. W działaniach tych na szczególną uwagę zasługuje rzetelność realizacji badań oraz analizy i opisu uzyskanych wyników. Doktorantka oceniała wiele właściwości analizowanych cieczy obróbkowych oraz powłok. Stosowała również różne metody oceny tego samego parametru (np. badania tribologiczne z użyciem różnych tribotesterów). Takie podejście często z „natury rzeczy” może generować problemy interpretacyjne związane z mnogością wyników, wieloma kryteriami oceny (trwałość, jakość powierzchni, ekologia), wpływem zastosowanej metody pomiaru na wartość ocenianej cechy. Dlatego też należy podkreślić, mgr inż. Joanna Kowalczyk analizując uzyskane wyniki rzetelnie wskazała w każdym zestawieniu porównawczym najlepszy wariant niezależnie od tezy pracy (korzystny wpływ asparaginianu cynku na właściwości tribologiczne).

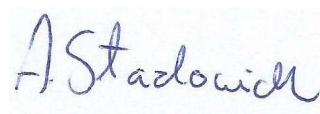
Świadomość ograniczeń w stosowaniu nowych rozwiązań materiałowych świadczy o dobrym przygotowaniu metodycznym mgr inż. Joanny Kowalczyk do samodzielnej pracy badawczej. Doktorantka osiągnęła postawiony cel dzięki dużej dociekliwości badawczej i poznawczej. Zawarty w rozprawie materiał badawczy jest bardzo wartościowy i może być wykorzystany w praktyce eksploatacyjnej.

Recenzowana rozprawa napisana jest zrozumiałym językiem co gwarantuje sprawną lekturę. Układ redakcyjny tekstu jest klasyczny i prawidłowy. Prace badawcze i analityczne ułożone są w logiczną całość. Warto podkreślić, że Doktorantka redagując tekst rozprawy korzystała z aktualnego studium literatury przedmiotu (w większości publikacje z ostatnich kilkunastu lat). W zwięzły i logiczny sposób potrafiła wyodrębnić problematykę badawczą.

Na podkreślenie zasługuje również fakt, że część pracy dotycząca wyników badań zawiera bardzo dużo ilustracji (wykresów, zdjęć). Wszystkie elementy graficzne zostały bardzo starannie przygotowane. W wielu przypadkach wykresy zawierają informacje o kilku parametrach. Zawsze jednak Doktorantka potrafiła takim zestawieniom nadać formę zapewniającą odpowiednią czytelność i wartość interpretacyjną.

5. Wniosek końcowy

Na podstawie dokonanej analizy i oceny pracy mgr inż. Joanny Kowalczyk pt.: „Ocena właściwości wybranych proekologicznych cieczy chłodząco-smarujących w systemach tribologicznych z powłokami przeciwzużyciowymi” stwierdzam, że spełnia ona wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez odpowiednią ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki i wnoszę o dopuszczenie jej Autorki do publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink, reading "A. Staszewicz". The signature is written in a cursive style and is centered on the page.