

Radom 10.06.2019

Dr hab. inż. Remigiusz Michalczewski, prof. nadzw.
Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy
ul. K. Pułaskiego 6/10; 26-600 Radom

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 XII/DEC-M/6RD/19 z dn. 6.05.2019 r.). Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Monika Madej, prof. PŚk.

1. Charakterystyka ogólna

Przedstawiona do oceny rozprawa liczy 168 stron i składa się z 10 rozdziałów podzielonych na zwarte tematycznie podrozdziały. Zacytowano 106 pozycji bibliograficznych; wśród nich można odnaleźć 11 publikacji współautorstwa Doktorantki.

2. Ocena podjętego tematu

Tematyka pracy jest aktualna i naukowo uzasadniona. Podjęty temat wpisuje się w obecne trendy badań naukowych w obszarze zwiększenia trwałości narzędzi skrawających przy zapewnieniu odpowiedniej jakości obrabianej powierzchni z wykorzystaniem biodegradowalnych cieczy obróbkowych i korzystniejszych rozwiązań materiałowych, w tym twardych cienkich powłok przeciwzużyciowych osadzanych metodami próżniowymi.

3. Tytuł pracy

Tytuł rozprawy: *„Ocena właściwości wybranych proekologicznych cieczy chłodząco-smarujących w systemach tribologicznych z powłokami przeciwzużyciowymi”* oddaje prawidłowo jej zawartość.

4. Teza, cele i zakres pracy

Na podstawie przeglądu literatury Autorka sformułowała tezę pracy: *„Ciecze chłodząco-smarujące zawierające asparaginian cynku przyczyniają się do zmniejszenia zużycia elementów trących systemu tribotechnologicznego wyniku tworzenia się przeciwzużyciowych warstw*

wierzchnich oraz stanowią materiał eksploatacyjny o właściwościach proekologicznych.”. Teza została sformułowana prawidłowo, jest zrozumiała i zwięzła.

Doktorantka przedstawiła dwa cele pracy: (1) „określenie wpływu cieczy obróbkowej zawierającej asparaginian cynku w kontakcie z wybranymi cienkimi, twardymi powłokami: α -C:H, TiAlN i TiCN na właściwości tribologiczne”, (2) „określenie wpływu zastosowania chłodziwa z asparaginianem cynku na trwałość narzędzi skrawających wykonanych ze stali HS6-5-2C, węglików spiekanych i węglików spiekanych naniesioną z powłoką α -C:H oraz na jakość powierzchni obrobionych przedmiotów wykonanych ze stali C45”. Cele pracy zostały sformułowane precyzyjnie.

Doktorantka przedstawiła zakres pracy obejmujący: wybór obiektów badań, dobór technik badawczych, przeprowadzenie badań właściwości fizykochemicznych cieczy chłodziwo-smarujących i powłok, wykonanie modelowych badań tribologicznych na stanowiskach badawczych i tribotechnicznych podczas toczenia. Po testach tribologicznych i toczeniu zbadano zmiany fizykochemiczne warstw powierzchniowych. Na podstawie uzyskanych wyników sformułowano wnioski końcowe.

Przedstawiona teza i cele pracy, świadczą o dojrzałości badacza, który podejmuje się aktualnego w technice wyzwania, jakim zwiększenia trwałości narzędzi skrawających. W swoich dociekaniach wybiega dalej, nie ogranicza się do typowych rozwiązań materiałowych i konstrukcyjnych, lecz podejmuje się zbadania innowacyjnego systemu, w którym zastosowano biodegradowalną ciecz obróbkową zawierającą asparaginian cynku i narzędzia pokryte cienkimi, twardymi powłokami: α -C:H, TiAlN i TiCN.

5. Układ pracy, redakcja, interpretacja wyników

Praca ma przejrzysty, klasyczny układ. Przegląd literatury został przedstawiony w pierwszych trzech rozdziałach zawierających: (1) analizę procesów tribologicznych w obróbce skrawaniem, (2) omówienie cieczy obróbkowych i ich funkcji eksploatacyjnej oraz (3) podsumowanie i wnioski z analizy stanu wiedzy.

Przeprowadzając analizę procesów tribologicznych Autorka słusznie odnotowała, że podczas obróbki skrawaniem energia jest zużywana na odkształcenie obrabianego materiału i na tarcie, jakie powstaje pomiędzy narzędziem a wiórem. Ważnym czynnikiem podczas skrawania jest temperatura ostrza skrawającego, dochodząca nawet do 700°C, powodująca przyspieszone zużycie oraz niekorzystne zmiany w warstwie wierzchniej obrabianego materiału. Następnie podano przykłady rodzajów zużycia narzędzi skrawających: ściernie, adhezyjne, chemiczne, i cieplne. Autorka w rozdziale drugim przedstawiła: historię rozwoju cieczy obróbkowych, funkcje i sposoby oceny ich właściwości, podział i klasyfikację, stosowane dodatki uszlachetniające, kwestię biodegradowalności i recyklingu, a także wpływ na proces obróbki skrawaniem. W rozdziale drugim omówione zostały także obecnie stosowane materiały narzędziowe, w tym powłoki przeciwzużyciowe.

Dokonując podsumowania stanu wiedzy Doktorantka, na podstawie doniesień literaturowych słusznie stwierdziła, że zostały już opracowane biodegradowalne i nieobciążające środowisko cieczy chłodziwo-smarujące, które mają zbliżone właściwości tribologiczne do chłodziw opartych na oleju mineralnym. Wskazała także na znaczące korzyści wynikające ze stosowania twardych cienkich powłok przeciwzużyciowych na narzędzia skrawające.

Następnie w rozdz. 4 zaprezentowano tezę, cele pracy oraz zakres badań. Zdefiniowano obiekty badań oraz przedstawiono stanowiska badawcze. Doktorantka przy wyborze cieczy obróbkowej i materiałów powłokowych na narzędzia kierowała się potrzebą opracowywania doskonalszych chłodziw, które będą bezpieczne dla człowieka i środowiska.

W pracy badaniom poddano ciecz obróbkową zawierającą asparaginian cynku jako alternatywę dla di-alkiloditiofosforanu cynku (ZDDP), który jest powszechnie stosowany jako dodatek w środkach smarnych ze względu na dobre właściwości przeciwwzuźyciowe i antykorozyjne. Zastosowanie asparginianu cynku jako dodatku do cieczy obróbkowych jest pomysłem nowym, nie spotykanym w literaturze.

Zaprezentowany w pracy program badawczy jest adekwatny do wykazania słuszności postawionej tezy oraz osiągnięcia celów pracy.

W rozdziale 5 przedstawiono zastosowane materiały badacze: ciecze obróbkowe, narzędzia i materiały obrabiane. Przyjęto, że chłodziwo zawierające asparaginian cynku będzie porównane z komercyjną cieczą obróbkową na bazie oleju mineralnego. Powłoki diamentopodobne DLC osadzano w procesie chemicznego osadzania z fazy gazowej, wspomaganego plazmą PACVD. Powłoki TiAlN i TiCN zostały wytworzone techniką fizycznego osadzania z fazy gazowej PVD. Powłoki osadzono na stali narzędziowej HS6-5-2C.

W rozdziale 6 przedstawiono wykorzystaną aparaturę badawczą. Do badań materiałowych zastosowano spektrometr podczerwieni FTIR z przystawką ATR i mikroskopię skaningową. Pomiar kąta zwilżania wykonano za pomocą tensjometru. Badaniami podstawowych właściwości chłodziw objęto toksyczność, pienienie, korozję. Dla scharakteryzowania powłok zaplanowano badania grubości, twardości i modułu sprężystości. Do obserwacji i pomiarów śladów zużycia stosowano skaningowy interferometr koherentny, mikroskop konfokalny, stereoskopowy mikroskop inspekcyjny. Charakterystyki tribologiczne zbadano z wykorzystaniem stanowisk kula-tarcza T-01M i TRB. Próby przemysłowe wykonano na tokarce sterowanej numerycznie stosując toczenie poprzeczne.

W dalszej części rozprawy, w rozdziałach 7, 8, 9 i 10 zamieszczono wyniki badań własnych. Rozdział 7 dotyczył badania właściwości chłodziwa zawierającego asparaginian cynku. Dokonano oceny mikrobiologicznej. Wykazano, że ciecz chłodząco-smarująca zawierająca asparaginian cynku jest nietoksyczna. Przeprowadzone pomiary potwierdziły, że kąty zwilżania zależą od rodzaju badanej cieczy, jej stężenia procentowego oraz rodzaju materiału powierzchni badanej. Najlepsze zwilżanie powierzchni odnotowano dla koncentratu cieczy obróbkowej zawierającej asparaginian cynku dla stalowej tarczy z naniesioną powłoką a-C:H. Mniejszy poziom piany bezpośrednio po wstrząsaniu odnotowano dla cieczy chłodząco-smarującej zawierającej asparaginian cynku. Z badań działania korodującego cieczy chłodząco-smarujących na stopy żelaza wynikało, że lepszymi parametrami przeciwkorozyjnymi charakteryzowała się ciecz chłodząco-smarująca zawierająca asparaginian cynku. Podsumowując wyniki uzyskane w rozdziale 7, Doktorantka dowiodła, że zaproponowana przez nią ciecz chłodząca-smarująca stanowi lepsze rozwiązanie ze względu na: niższą toksyczność, korzystniejszą ochronę przeciwkorozyjną i lepsze właściwości przeciwpienne.

W podrozdziale 7.6 zamieszczono wyniki badania właściwości powłok. Nie jest zrozumiałe, dlaczego wyniki badań właściwości powłok zostały zamieszczone w rozdziale 7 dedykowanym badaniom nowej cieczy chłodzącej. Powłoki zostały porównane pod względem grubości, składu chemicznego, właściwości sprężystych i twardości.

W rozdziale 8 zaprezentowano wyniki struktury geometrycznej powierzchni badanych próbek.

W rozdziale 9 przedstawiono wyniki modelowych badań tribologicznych. W pierwszej kolejności przeprowadzono w celu określenia zależności współczynnika tarcia i intensywności zużycia od stężenia chłodziwa z asparaginianem cynku. Najmniejszy współczynnik tarcia i najmniejszą intensywnością zużycia zaobserwowano dla chłodziwa zawierającego asparaginian cynku o stężeniu 5%.

W dalszej części zrealizowano badania obejmujące 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. Najmniejszą wartość współczynnika tarcia oraz intensywności zużycia liniowego uzyskano dla skojarzenia elementu stalowego z naniesioną powłoką a-C:H smarowanego chłodziwem zawierającym asparaginian cynku.

Po badaniach tribologicznych powierzchnie tarcia skojarzeń smarowanych chłodziwem zawierającym asparaginian cynku poddano obserwacji z wykorzystaniem skaningowego mikroskopu elektronowego. W obrębie tarcia wykryto cynk. Przeprowadzono także zakrojone na szeroką skalę analizy struktury geometrycznej śladów tarcia.

Uzyskane wyniki badań potwierdziły słuszność tezy pracy *„Ciecze chłodząco-smarujące zawierające asparaginian cynku przyczyniają się do zmniejszenia zużycia elementów trących systemu tribotechnologicznego wyniku tworzenia się przeciwzużyciowych warstw wierzchnich oraz stanowią materiał eksploatacyjny o właściwościach proekologicznych”*. Osiągnięty także został pierwszy cel pracy tzn. określono wpływ cieczy obróbkowej zawierającej asparaginian cynku w kontakcie z wybranymi cienkimi, twardymi powłokami: a-C:H, TiAlN i TiCN na właściwości tribologiczne.

W dalszej kolejności, w rozdziale 10, przedstawione zostały wyniki badań toczenia poprzecznego. Do badań zastosowano noże skrawające wykonane ze stali szybko tnącej HS6-5-2C, a także użyto płytek z węglików spiekanych bez powłoki oraz z naniesioną powłoką diamentopodobną typu a-C:H. Materiałem obrabianym była stal C45. Porównano zużycie powierzchni natarcia narzędzi skrawających z węglików spiekanych po toczeniu: na sucho, z chłodziwem zawierającym olej mineralny i z chłodziwem zawierającym asparaginian cynku. Powierzchnie narzędzi po próbach toczenia poddano obserwacjom mikroskopowym. Powierzchnie przedmiotu obrabianego porównano pod względem otrzymanych parametrów struktury geometrycznej.

Określono wpływ zastosowania chłodziwa z asparaginianem cynku na trwałość narzędzi skrawających wykonanych ze stali HS6-5-2C, węglików spiekanych i węglików spiekanych naniesioną z powłoką a-C:H oraz na jakość powierzchni obrobionych przedmiotów wykonanych ze stali C45. Drugi cel pracy został osiągnięty.

W podsumowaniu Doktorantka zawarła omówienie otrzymanych wyników badań oraz przedstawiła 10 wniosków.

Praca jest zredagowana jest starannie. Napisana jest zrozumiale, poprawną polszczyzną, z życiem właściwej terminologii technicznej. Układ redakcyjny pracy jest klasyczny.

6. Uwagi merytoryczne

Lektura rozprawy skłania do refleksji nad poniżej sformułowanymi kwestiami.

- Badaniami objęto 3 rodzaje powłok przeciwzużyciowych (a C:H, TiAlN i TiCN). Proszę uzasadnić wybór powłok i technologii ich osadzania, w kontekście zastosowania na narzędzia skrawające.
- Na podstawie jakich przesłanek został wytypowany główny obiekt badań, asparaginian cynku, jako dodatek do cieczy chłodząco-smarujących? Czy asparaginian cynku może zostać zastosowany jako dodatek do innych rodzajów substancji smarujących?
- W podsumowaniu, drugim wniosku użyto stwierdzenia „w badaniach modelowych i eksperymentalnych”. Proszę uzasadnić słuszność przyjętego podziału na badania modelowe i eksperymentalne, w sytuacji gdy wszystkie badania tarciove miały charakter eksperymentalny.
- W podsumowaniu, w siódmym wniosku stwierdzono, że „Na narzędziach z węglików spiekanych z naniesioną powłoką a-C:H selektywne przeniesienie materiału było mniejsze niż na narzędziach bez powłoki”. Dlaczego uznano, że następuje selektywne przenoszenie materiału?
- W badaniach z wykorzystaniem skojarzenia kula-tarcza dokonano pomiarów oporów ruchu (współczynnika tarcia) i porównywano intensywność zużywania liniowego łącznie obu elementów trących, natomiast w procesie skrawania ocenie podlega przede wszystkim zużycie narzędzia i jakość powierzchni przedmiotu obrabianego. W badaniu kula-tarcza całkowite zużycie liniowe wynikało przede wszystkim ze zużycia stalowej kulki, natomiast zużycie elementu pokrytego powłoką było praktycznie pomijalne. Proszę odnieść się do stwierdzenia zawartego w podsumowaniu „Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów stwierdzono, że badania modelowe nie pokryły się z badaniami eksperymentalnymi”. Proszę uzasadnić wybór metody badawczej i parametrów testu w badaniach modelowych wykonywanych za pomocą testerów kula-tarcza.
- Jakie są ograniczenia badań modelowych w zastosowaniu do oceny wpływu cieczy obróbkowych i powłok przeciwzużyciowych na proces skrawania?

Podsumowując, problemy ujęte w powyższych uwagach i pytaniach nie umniejszają merytorycznej zawartości rozprawy. Należy je potraktować jako zalecenie dla Autorki do uwzględnienia w przyszłych pracach i publikacjach.

7. Ocena dysertacji i konkluzja

• Oryginalność naukowa

Rozprawa doktorska mgr inż. Joanny Kowalczyk jest pracą oryginalną. Praca wpisuje się w nurt aktualnych działań zmierzających do zastąpienia cieczy obróbkowych, które nie są biodegradowalne. W rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł literaturowych świadczącą o dużej wiedzy Autorki.

• Metody badawcze

Analityczne i tribologiczne metody badawcze dobrano właściwie. Doktorantka biegle operuje warsztatem badawczym. Wyciąga właściwe wnioski z badań.

• Stopień rozwiązania zagadnienia

Stopień rozwiązania zagadnienia oceniam jako bardzo dobry. Doktorantka udowodniła słuszność postawionej tezy oraz osiągnęła cele pracy.

- Wniosek końcowy

Rozprawę mgr inż. Joanny Kowalczyk należy ocenić bardzo dobrze. Rozprawa stanowi niewątpliwy wkład do istniejącego stanu wiedzy w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn w zakresie procesów tribologicznych występujących w procesach skrawania. Zawarty w Rozprawie materiał badawczy jest oryginalnym dorobkiem Doktorantki - ma on walory poznawcze, metodologiczne i użytkowe.

Stwierdzam, że praca pt.

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

spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez ustawę „o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” z dnia 14. marca 2003 r. z późniejszymi zmianami (Dz.U. nr 65/03 poz. 595) i proponuję Radzie Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej dopuszczenie jej Autorki do publicznej obrony, a po jej pomyślnym przebiegu - nadanie jej stopnia doktora nauk technicznych w ramach dyscypliny *budowa i eksploatacja maszyn*.

Michał