

dr hab. inż. Leszek Łatka, prof. uczelni
Katedra Przeróbki Plastycznej, Spawalnictwa i Metrologii
Wydział Mechaniczny
Politechnika Wroclawska
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

Wrocław, dn. 11.01.2021 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Mariusza Kamińskiego pt.
**„Wpływ implantacji jonowej na właściwości mechaniczne
materiałów stosowanych w budowie silników spalinowych”**
(promotor: dr hab. inż. Piotr Budzyński, prof. uczelni)

Podstawa opracowania recenzji:

Recenzja została opracowana na podstawie pisma WM/180/2020 z dnia 21.12.2020 r. sygnowanego przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Lubelskiej, dra hab. inż. Piotra Budzyńskiego, prof. uczelni.

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska Pana mgra inż. Mariusza Kamińskiego pt. „Wpływ implantacji jonowej na właściwości mechaniczne materiałów stosowanych w budowie silników spalinowych” została zredagowana jako monografia licząca 110 stron. Zawiera ona spis treści, spis oznaczeń i skrótów, 6 merytorycznych rozdziałów, spis literatury oraz streszczenie w języku polskim i angielskim.

Przedłożona do recenzji dysertacja ma typową strukturę dla pracy naukowej. Autor po krótkim wprowadzeniu dokonuje zwięzłego opisu aktualnego stanu wiedzy (rozdział 2.), który dotyczy zagadnień warstwy wierzchniej, implantacji

jonów oraz różnych materiałów stosowanych w budowie silników spalinowych. Ze względu na charakter rozprawy, Doktorant sporo uwagi poświęca problematyce niezawodności silników spalinowych oraz wpływowi sprawności działania układu wtrysku paliwa na funkcjonowanie silnika. Porusza również kwestię diagnostyki układu zasilania. Następnie w rozdziale 3. Autor formuje tezę rozprawy oraz stawia dwa cele (naukowy i użyteczny), które wyznaczają kierunki prac podjętych przez Doktoranta w ramach niniejszej dysertacji. Zagadnienia związane z przygotowaniem próbek oraz całą metodologią badań, zarówno podstawowych jak i eksploatacyjnych (związanych z realizacją celu naukowego oraz użytecznego) wykonanych przez Autora zostały opisane w rozdziale 4. W rozdziale 5. Doktorant zaprezentował uzyskane wyniki z przeprowadzonych badań, które również opracował statystycznie. W ostatnim rozdziale merytorycznym Autor przedstawił wnioski, które wyciągnął na podstawie zrealizowanych badań jak i analizy uzyskanych wyników. Zostały one podzielone na wnioski poznawcze oraz użyteczne.

Bibliografia dysertacji mgr inż. Mariusza Kamińskiego obejmuje 153 pozycje, wśród których można wyróżnić:

- 7 prac, których Doktorant jest współautorem (pierwszym albo drugim oraz, co należy podkreślić, 3 z nich to artykuły z listy JCR);
- ponad 100 prac to pozycje anglojęzyczne;
- Doktorant odpowiednio wyważył proporcje pomiędzy pracami fundamentalnymi (klasycznymi dla opisywanego zagadnienia) a literaturą aktualną (artykuły młodsze niż 5 lat, których jest 37).

2. Tematyka rozprawy i problem badawczy

Podjęta w niniejszej rozprawie tematyka jest związana z zagadnieniami poprawy właściwości mechanicznych materiałów, które są stosowane w budowie silników spalinowych, zwłaszcza kluczowych elementów (np. wtryskiwaczy paliwa). Jest to szczególnie istotne ze względu na fakt, iż pojazdy samochodowe są podstawowym środkiem transportu ładunków i osób a źródłem ich napędu nadal pozostają w dużej mierze silniki spalinowe.

Kierunki rozwoju technologii silników spalinowych zasadniczo związane są z obniżeniem emisji związków toksycznych do atmosfery, które prowadzą do ciągłego zwiększania mocy silnika z jak najmniejszej jednostki jego pojemności skokowej. To z kolei prowadzi do znacznego zwiększenia obciążeń cieplnych oraz mechanicznych. Dlatego też istotną kwestią jest zwiększenie trwałości elementów maszyn (w tym przypadku silników spalinowych), aby poprawić ich niezawodność oraz konsekwentnie obniżyć ilość tzw. złomu poeksploatacyjnego.

Osiągnięcie powyższego celu jest możliwe poprzez zastosowanie nowych materiałów, co niesie jednak dodatkowy koszt ich wytwarzania oraz potrzebnego czasu na analizę oddziaływania w środowisku eksploatacyjnym albo modyfikację warstwy wierzchniej w dotychczasowo stosowanych materiałach inżynierskich.

W niniejszej rozprawie postawiony przez Doktoranta problem badawczy dotyczył właśnie modyfikacji warstwy wierzchniej materiałów stosowanych na elementy silnika spalinowego poprzez implantację jonów oraz określenia wpływu tego procesu na poprawę właściwości mechanicznych. Podstawową przesłanką do zajęcia się tą tematyką były szerokie możliwości wpływu na właściwości materiałów poddanych technologii implantacji jonów.

Zatem z punktu widzenia walorów naukowych oraz użytkowych należy jednoznacznie uznać, że tematyka przedłożonej do recenzji dysertacji jest ważna oraz aktualna. Spełnia ona wymagania, jakie są stawiane pracom doktorskim, które są realizowane w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

3. Analiza i ocena merytoryczna rozprawy

Na podstawie merytorycznej analizy zakresu jak i treści przedłożonej dysertacji należy jednoznacznie stwierdzić, że wpisuje się ona w dyscyplinę naukową Inżynieria Mechaniczna. Rozprawę Pana mgr inż. Mariusza Kamińskiego uważam za interesującą oraz wartościową zarówno pod względem naukowym jak i praktycznym. Doktorant prawidłowo zrealizował założone zadania badawcze, zaplanował i przeprowadził szeroko zakrojone eksperymenty, które można podzielić na badania podstawowe oraz eksploatacyjne.

Należy podkreślić innowacyjny charakter pracy, ponieważ zaproponowana przez Autora metoda implantacji jonów, choć znana w technice od kilkudziesię-

ciu lat, nie była dotychczas stosowana w celu modyfikacji warstwy wierzchniej na elementy silników spalinowych. Przeprowadzone przez Doktoranta badania, które miały zweryfikować możliwości zastosowania tej technologii oraz jej funkcjonalność w obszarze wtryskiwaczy paliwa, jednoznacznie potwierdziły założoną tezę rozprawy. Autor właściwie zinterpretował uzyskane na ich podstawie wyniki oraz sformułował poprawne wnioski. Za najważniejsze osiągnięcie Doktoranta uważam przeprowadzenie badań eksploatacyjnych na stanowisku testowania pomp i wtryskiwaczy. Zaproponowany przez Pana mgra inż. ciągły tryb pracy przy zmiennych parametrach ciśnienia jak i częstotliwości wtrysku paliwa miał oczywisty cel, jakim było odwzorowania rzeczywistych warunków pracy badanych elementów. Wykonanie badań w długim okresie (500 h) pozwoliło Doktorantowi na sformułowanie poprawnych wniosków o charakterze użytecznym.

4. Uwagi krytyczne oraz sugestie

Recenzowana rozprawa została przygotowana z dużą starannością oraz poprawnie pod względem merytorycznym jak i językowym. Niemniej jednak kilka kwestii poruszonych w dysertacji budzi pewne zastrzeżenia (co jednak nie obniża pozytywnej całościowej oceny rozprawy). Uwagi sformułowano w poniższych punktach:

1. Czy klasyczne pomiary mikrotwardości (Vickersa) były przeprowadzane na powierzchni próbek czy na przekroju poprzecznym?
2. W przypadku pomiarów twardości głębokość wnikania nie powinna przekraczać 10% grubości warstwy. Czy Doktorant uwzględnił wpływ twardości podłoża na uzyskane wyniki?
3. Dlaczego w przypadku określenia nanotwardości zastosowano prędkość zmian obciążenia wynoszącą czterokrotność obciążenia maksymalnego, podczas gdy dla mikrotwardości była to dwukrotność?
4. Droga tarcia przyjęta w badaniach była nieco za krótka – czy ustabilizowały się parametry pracy, np. współczynnik tarcia?
5. Do rysunku 5.5 należało by dodać wyniki analizy EDS.

6. Doktorant stosował ultranano twardościomierz, w którym można zadawać obciążenia znacznie poniżej $1 \mu\text{N}$, dlaczego zatem tego nie zrobiono? Rozwiązało by to kwestię niewielkiej głębokości wnikania w warstwę.
7. Analiza zmian współczynnika tarcia powinna wskazywać miejsce (ilość cykli), po której następuje skokowa zmiana jego wartości (co jest dobrze widoczne na wykresach). Średnie wartości współczynników tarcia zawarte w tabelach 5.3-5.5 budzą pewne niejasności i niezbyt poprawnie oddają rzeczywisty stan.
8. Należałoby rozważyć zastosowanie mniejszego obciążenia podczas testu metodą kulka na tarczy przy jednoczesnym wydłużeniu drogi tarcia.
9. Współczynnik intensywności zużycia jest to miara, którą można porównać, do czegoś odnieść, szczególnie przy różnych wartościach obciążenia oraz różnych drogach tarcia. Oprócz zużycia „dwuwymiarowego” określonego przez Doktoranta należało by również wyznaczyć współczynnik intensywności zużycia.
10. W tabeli 4.5 (parametry testów tribologicznych) nie ma podanej wartości drogi tarcia. Wprawdzie Doktorant podał informację, cytując: „...średnice śladu zużycia zawierały się w przedziale 20-24 mm...” jednak droga tarcia powinna być taka sama (w powyższym przypadku są to wartości od 314 do 377 m). Ponadto, w celu ustabilizowania się warunków tarcia (co widać np. na wykresach przebiegu zmian współczynnika tarcia), droga tarcia powinna być dłuższa.
11. Zastanawiający jest fakt istotnie różnych przebiegów współczynnika tarcia dla próbek referencyjnych zamieszczonych na rysunkach 5.9 oraz 5.13, jak również znaczne różnice wartości zużycia tych próbek (rysunki 5.12 oraz 5.14). Nasuwa to pytanie o stan powierzchni tych próbek przed badaniami (ze szczególnym uwzględnieniem chropowatości powierzchni).
12. Na rysunku 5.29b przy początku iglicy można zauważyć fragmenty jakby wyrwanego materiału. Powinno to zostać dokładnie zbadane.
13. W podpisie do rysunku 5.1c doza powinna być zapisana jako: $1 \cdot 10^{17} \text{ Mn}^+/\text{cm}^2$.
14. W pracy brakuje prostego (i krótkiego) sposobu oznaczenia próbek.
15. W spisie literatury zauważono, iż pozycje 137 oraz 138 to ta sama praca.

Wniosek końcowy

Należy zdecydowanie podkreślić, że zawarte w mojej recenzji uwagi oraz sugestie nie wpływają na holistyczną ocenę rozprawy doktorskiej, która jest jednoznacznie pozytywna.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska **mgra inż. Mariusza Kamińskiego, pt. „Wpływ implantacji jonowej na właściwości mechaniczne materiałów stosowanych w budowie silników spalinowych”** spełnia wymogi stawiane pracom na stopień doktora nauk inżynieryjno-technicznych, w rozumieniu art. 13 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, Dz. U. nr 65, poz. 595 (z późniejszymi zmianami) oraz ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018, poz. 1668). Wniosuję zatem o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgra inż. Mariusza Kamińskiego pod publiczną dyskusję jak również procedowanie kolejnych etapów w zakresie ubiegania się przez Doktoranta o stopień naukowy doktora nauk inżynieryjno-technicznych.

Leszek Kotla