

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Bogdana Kupca, pt.:

Wpływ mikrostruktury i struktury geometrycznej powierzchni na zużycie ściernie żeliwa szarego Dual Phase

(sporządzona stosownie do zlecenia Pana Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, Pana Prof. dr hab. inż. Jarosława Sępa, z dnia 11 lipca 2019 r.)

1. Charakterystyka pracy

Rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Bogdana Kupca pt.: ***Wpływ mikrostruktury i struktury geometrycznej powierzchni na zużycie ściernie żeliwa szarego Dual Phase*** została opracowana w formie maszynopisu w Katedrze Odlewnictwa i Spawalnictwa Politechniki Rzeszowskiej pod kierunkiem Pana prof. dr hab. inż. Antoniego, Władysława Orłowicza, który był jej promotorem. Praca zawiera 140 stron maszynopisu, składa się z 7 rozdziałów, zestawienia literaturowego oraz streszczenia pracy w języku polskim i angielskim, zamieszczonym na końcu rozprawy doktorskiej, po zestawieniu bibliograficznym. Praca jest bogato ilustrowana, w części zasadniczej pracy umieszczono 114 rysunków i 8 tabel. W zestawieniu bibliograficznym Autor odwołuje się do 114 pozycji literaturowych, (31 publikacji z ostatniego 20 lecia), wśród całego bogatego zestawienia bibliograficznego znajduje się 47 pozycji w języku polskim. Recenzującą tę pracę zauważyła niestety, z pewnym zdziwieniem, iż w spisie literatury nie została zamieszczona ani jedna praca autorstwa, czy współautorstwa Pana mgr inż. Bogdana Kupca. Prosiłabym Autora dysertacji o komentarz w tej sprawie.

Na zasadniczą część pracy składają się w kolejności:

1. *Wstęp,*
2. *Bloki cylindrowe stosowane w przemyśle motoryzacyjnym,*
3. *Opracowanie gładzi tulei cylindrowych,*
4. *Obróbka cieplna żeliwa,*
5. *Stan zagadnienia w świetle literatury,*
6. *Badania własne,*

- 6.1. *Cel i program badań,*
- 6.2. *Materiał do badań,*
- 6.3. *Metodyka badań,*
- 6.4. *Wyniki badań i ich analiza,*
 - 6.4.1. *Badania metalograficzne,*
 - 6.4.2. *Badania właściwości materiałowych,*
 - 6.4.3. *Badanie właściwości współczynnika tarcia i emisji akustycznej w próbie zarysowania,*
 - 6.4.4. *Badania odporności na zużycie ściernie.*
7. *Podsumowanie.*

Już w tym miejscu Autorka recenzji, pragnie podkreślić, że praca doktorska zyskałaby jej zdaniem znacznie na przejrzystości, gdyby jej Autor zaproponował bardziej szczegółowy system jej podziału, poprzez uwzględnienie wielopoziomowego spisu rozdziałów, w miejsce wprowadzania wytłuszczonych podtytułów .

2. Uwagi dotyczące tematyki i celu pracy

Na przestrzeni lat XX i XXI wieku jesteśmy świadkami ogromnego, dynamicznego rozwoju we wszystkich dziedzinach życia. W sektorze motoryzacji, w imię ekologii i ekonomii eksploatacji, zmiany dotyczą coraz bardziej spektakularnych modyfikacji zarówno jeżeli chodzi o konstrukcję silników spalinowych (zmniejszanie ich gabarytów, wagi, wdrażania innowacyjnych technologii, oryginalnych materiałów konstrukcyjnych) jak i – co w ostatnich latach jest priorytetem – dbałości o radykalne ograniczenie emisji szkodliwych dla środowiska spalin. Producenci silników samochodów dążą do znaczącego obniżenia ich masy w celu m.in. zwiększenia w znacznym stopniu ich wydajności.

Autor dysertacji podjął się trudnego zagadnienia podniesienia żywotności silników samochodowych, poprzez opracowanie nowego materiału na tuleje-wtopki bloków cylindrowych silników spalinowych, inspirując się badaniami realizowanymi w latach 70 na Politechnice Śląskiej, nadając im zupełnie nowy charakter, poprzez zastosowanie nowoczesnej, współczesnej aparatury badawczej, a także proponując innowacyjne tworzywo – żeliwo sferoidalne o mikrostrukturze osnowy zawierającej martenzyt i ferryt, drogą jego specyficznej obróbki cieplnej, ze szczególnym uwzględnieniem odporności na zużycie ściernie, co podkreśla już sam tytuł recenzowanej dysertacji. Podjęta problematyka ma duże znaczenie zarówno poznawcze, jak i użytkowe.

W dysertacji Autor postawił sobie jako cel naukowy pracy dwa podstawowe zagadnienia, które udało mu się zrealizować w toku badań, mianowicie:

- uzyskanie zakładanej mikrostruktury żeliwa szarego z grafitem sferoidalnym o osnowie

martenzytyczno-ferrytycznej (Dual Phase), stanowiącej równomiernie rozłożone wyspy martenzytu w ferrytycznej osnowie, z uwagi na poprawę jego odporności na zużycie ściernie, oraz

- określenie wpływu wartości parametrów struktury geometrycznej powierzchni trącej oraz warunków jej współpracy w testowym, smarowanym węźle trącym, w aspekcie poprawy odporności na zużycie ściernie żeliwa szarego z grafitem sferoidalnym.

Tak sprecyzowane i zrealizowane cele naukowe, dzięki szczegółowo i wieloparametrowo zaplanowanym badaniom pozwoliły Autorowi osiągnąć cel użytkowy, jakim było:

„...opracowanie i opisanie mikrostruktury oraz struktury geometrycznej powierzchni trącej żeliwa szarego z grafitem sferoidalnym o osnowie martenzytyczno-ferrytycznej, zapewniającej dużą odporność na zużycie ściernie w warunkach tarcia ze smarowaniem, z uwagi na możliwości zastosowania w przemyśle motoryzacyjnym...”.

3. Omówienie i ocena pracy

Układ przedstawionej do recenzji pracy jest typowy dla rozprawy doktorskiej i obejmuje dwie części, co prawda nie wyraźnie rozgraniczone, niemniej pierwsza z nich obejmująca 5 rozdziałów (1. *Wstęp*, 2. *Bloki cylindrowe stosowane w przemyśle motoryzacyjnym*, 3. *Opracowanie gładzi tulei cylindrowych*, 4. *Obróbka cieplna żeliwa*, 5. *Stan zagadnienia w świetle literatury*) zawiera szczegółowy przegląd literatury związany z podjętym tematem pracy, a rozdział 5 stanowi niejako podsumowanie analizy przedmiotowej zawartej w rozdziałach od 1 do 4, druga zaś stanowi obszerny rozdział 6, w którym m.in. przedstawiono szeroko zakrojone badania doświadczalne ze starannie przygotowanym materiałem do badań.

W rozdziale pierwszym pt.: *Wstęp*, Autor w skondensowanej formie przedstawia przykłady kolejnych działań, zarówno jednostek badawczych, jak i firm produkujących silniki samochodów osobowych, zmierzających do zmniejszenia gabarytów silników, podwyższenia ich mocy, zwiększenie żywotności a także do zmniejszenia emisji toksycznych składników spalin, co w świetle normy Euro 6 obowiązującej od września 2014 roku jest niezwykle istotne.

W rozdziale drugim, zatytułowanym *Bloki cylindrowe stosowane w przemyśle motoryzacyjnym* Autor zapoznaje czytelnika z wybranymi zagadnieniami dotyczącymi różnego typu rozwiązań konstrukcyjnych w nowoczesnych silnikach samochodowych, w tym diesla, BMW V10, Jaguar, Porsche, BMW, Mercedes, czy Audi, i tu szczególnie interesujące jest zdaniem recenzującej rozprawę zestawienie tabelaryczne (tabl. 1.) przedstawiające kwintesencję różnicowania materiałów stosowanych na bloki, tuleje cylindrowe i sposób przygotowania powierzchni tulei przez wspomniane firmy. Kolejnym zagadnieniem omawianym w tym

rozdziale są materiałowe aspekty podwyższania wartości ciśnienia zapłonu w komorze spalania silnika samochodowego i wreszcie szczegółowa, krytyczna charakterystyka, w oparciu o dane literaturowe, bloków cylindrowych wykonywanych z żeliwa i ze stopów Al-Si, ze szczególnym uwzględnieniem charakterystyk obciążeń cieplnych w kontekście najkorzystniejszych właściwości mechanicznych.

W rozdziale 3. zatytułowanym *Opracowanie gładzi tulei cylindrowych* Doktorant w oparciu o dane literaturowe ustosunkowuje się m.in. do wymagań materiałowych, które sprzyjają poprawie żywotności silników samochodowych, znaczenia sposobu opracowania gładzi tulei cylindrowych dla pracy wężła trącego (honowanie, ablacja laserowa), bogato rzecz ilustrując i komentując.

Kolejną część dysertacji stanowi bardzo obszerny rozdział 4, zatytułowany *Obróbka cieplna żeliwa*, w którym Autor w sposób krytyczny analizuje na podstawie danych literaturowych następujące zagadnienia:

- wpływ składu chemicznego i warunków nagrzewania na temperaturę grafityzacji oraz temperaturę przemiany eutektoidalnej, którą to analizę ilustrują rysunki 26–30,
- znaczenie warunków austenitzowania (rysunki 31–33), wykazując, że długotrwała austenitzacja żeliwa z grafitem sferoidalnym prowadzi do degeneracji grafitu (rys. 34.),
- kształtowanie mikrostruktury podczas chłodzenia z temperatury austenitzowania,
- obróbka cieplna żeliwa celem uzyskania dwufazowej osnowy.

Podsumowanie części teoretycznej pracy stanowi rozdział 5 pt.: *Stan zagadnienia w świetle literatury*, w którym w skondensowanej formie Autor ustosunkowuje się do przeprowadzanych badań literaturowych, których zwieńczeniem jest postawienie na końcu tego rozdziału tezy pracy w brzmieniu:

„...Zastosowanie na tuleje silników żeliwa szarego z grafitem sferoidalnym, z wyeksponowanymi na powierzchni gładzi drogą trawienia, charakterystycznymi wyspami produktów hartowania, w dwuskładnikowej martenzytyczno-ferrytycznej osnowie (dual phase), uzyskanej w wyniku hartowania z temperatur zakresu przemiany eutektoidalnej i następnego wymrażania, pozwoli uzyskać wyższą odporność na zużycie ściernie, w porównaniu do dotychczas stosowanych tulei z powierzchnią honowania oraz tulei o wyeksponowanych kryształach krzemu pierwotnego i faz międzymetalicznych...”

Zdaniem recenzującej tę pracę, teza powyższa w swej formule jest zdecydowanie za długa, lepiej i jaśniej brzmiałaby, gdyby przedstawić ją nieco bardziej lapidarnie, bądź w formie podpunktów.

Kolejny rozdział 6 pt.: *Badania własne*. stanowi właściwą, badawczą część dysertacji, która jest ukierunkowana na udowodnienie przedstawionej tezy pracy. Na początku tego rozdziału, (w podrozdziałach 6.1. *Cel i program badań* i 6.2. *Materiał do badań*) o czym recenzująca pracę wspomniała wcześniej, sformułowano cele naukowe, cel użyteczny i bardzo szczegółowy zakres badań, z uwypukleniem dokładnego omówienia, wytypowania i sposobu przygotowania próbek do badań, mianowicie:

- opracowanie i przygotowanie próbek z żeliwa szarego z grafitem sferoidalnym w czterech wariantach składu chemicznego, różniącego się zawartością krzemu oraz miedzi, celem opracowania, drogą obróbki cieplnej, dwufazowej struktury osnowy oraz opracowanie struktury geometrycznej powierzchni trących do badań zużycia ściernego,
- przygotowanie próbek z dwóch materiałów wzorcowych: siluminu nadeutektycznego opracowanego dla potrzeb wykonania tulei silników samochodowych zgodnie z patentem nr PL 213037 oraz z żeliwa szarego z grafitem płatkowym, stosowanego obecnie na tuleje cylindrowe silników spalinowych, celem opracowania struktury geometrycznej próbek do badań zużycia ściernego, odpowiednio techniką trawienia techniką honowania na plateau,
- wykonanie oraz opracowanie przeciwpróbek do badań odporności na zużycie ściernie, odzwierciedlających budowę pierścienia stosowanego w układzie tłok-cylinder.

W podrozdziale 6.3. *Metodyka badań* zaplanowano szczegółowo i omówiono imponującą ilość eksperymentów, w tym:

- badania metalograficzne z wykorzystaniem zarówno mikroskopu optycznego NEOPHOT 2 wyposażonego w kamerę i zaawansowany system analizy obrazu MultiScan v.08, jak i z wykorzystaniem mikroskopu skaningowego VEGA XMH firmy Tescan, wyposażonego w przystawkę do analizy składu chemicznego INCA X-act firmy Oxford Instruments,
- pomiary twardości,
- badania dylatometryczne powiązane z techniką zamrażania mikrostruktury (badania kinetyki przemian fazowych),
- określono temperaturę początku i końca przemiany eutektoidalnej przy nagrzewaniu i chłodzeniu,
- badania mikrostruktury osnowy żeliwa otrzymanej techniką jej zamrażania z zakresu temperatur przemiany eutektoidalnej,
- opracowano warunki obróbki podzerowej żeliwa zapewniające pełną przemianę przechłodzonego austenitu w martenzyt,
- badania właściwości materiałowych (nanoindentation test),

- badania odporności na zarysowania (scratch test),
- badania odporności na zużycie ściernie wykonane na opracowanym w tym celu stanowisku zapewniającym ruch posuwisto-zwrotny próbek względem przeciwpróbek. (w smarowanym węźle trącym),
- badania profilometryczne (badania struktury geometrycznej powierzchni).

Podrozdział 6.4. *Wyniki badań i ich analiza*, stanowi wnikliwą, skrupulatną analizę osiągnięć wieloparametrowych badań doświadczalnych Doktoranta, wykazującego się nie tylko sprawnym posługiwaniem się nowoczesnymi technikami badawczymi, ale także umiejętnością analizowania i interpretowania otrzymanych wyników, które pozwoliły Autorowi dysertacji stwierdzić, że założone cele w pracy zostały osiągnięte.

Praca jest starannie napisana pod względem edycyjnym z drobnymi błędami literowymi, czasami niezręcznymi sformułowaniami, i równie starannie a zarazem niezmiernie bogato ilustrowana. Na szczególną pochwałę zdaniem recenzującej rzprawę doktorską Pana mgr inż. B. Kupca zasługuje atlas struktury geometrycznej powierzchni gładzi próbek i przeciwpróbek w stanie wyjściowym do badań zużycia ściernego, jak i po badaniach tego zużycia.

Za szczególne osiągnięcie Doktoranta należy uznać także opracowanie nowego żeliwa sferoidalnego o charakterystycznej dwuskładnikowej mikrostrukturze osnowy, zapewniającej wysoką odporność na zużycie ściernie. Ostatni rozdział (7. *Podsumowanie*) recenzowanej dysertacji dobitnie, w czterech skondensowanych punktach, wykazuje zrealizowanie zaplanowanych celów w pracy i udowodnienie postawionej tezy.

4. Szczegółowe uwagi krytyczne.

Podczas analizy rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Bogdana Kupca, recenzującej tę pracę nasunęły się następujące uwagi dotyczące poprawności pewnych określeń, nieścisłości tekstu oraz pewne braki w opisie analizowanych zagadnień, z których najistotniejsze przytacza się poniżej.

- W pracy Autor zastosował nie dość czytelny podział pracy, stosując często wytłuszczenia kwestii (tytułów) rozpoczynających omawianie nowego zagadnienia zamiast klarownego, wielopoziomowego spisu rozdziałów, o czym autorka wspomniała na wstępie recenzji.
- Niektóre z rysunków nie są opatrzone odnośnikami literaturowymi, a znajdują się w opisie części teoretycznej pracy, sugerując że były to jednak badania własne (rys. 1, rys. 10, rys. 17., rys. 18., rys. 19., rys. 20, rys. 25., rys. 26., rys. 34., rys. 37., rys. 38., rys. 39.).
- Doktorant w całym toku pracy używa określeń wysoka, niska, wyższe, niższe itp.,

zręczniejszym zdaniem recenzującej dysertację byłoby używać określeń duża, mała, większe, mniejsze, a jeszcze lepiej definiować te nieprecyzyjne określenia konkretnymi miernikami/wartościami technicznymi.

- W pracy można doszukać się różnego rodzaju niezręczności w pewnych sformułowaniach i literówek, przykładowo:

– str. 11 ostatni wiersz od dołu brakuje słowa „żeliwa”,

– str. 13, niezręczne sformułowania zdaniem recenzującej, powinno być „...w celu..” zamiast „...dla opracowania..”,

– str. 31, 5 wiersz od dołu zamiast „...o..” powinno być „...od..”,

– str. 41, 3 wiersz pod rys. 28 powinno być „...pieca..”

– str. 50 wytłuszczenie „...Obróbka cieplna żeliwa celem uzyskania dwufazowej osnowy..” lepiej brzmiałoby, „...Obróbka cieplna żeliwa realizowana w celu uzyskania dwufazowej osnowy..”,

– str. 58 zamiast „...dla zapewnienia podobnej..” lepiej byłoby „...w celu uzyskania podobnej..”... itp.,

– str. 70, 3 wiersz od góry „...ustalenia...” zamiast „...ustaleniem...”

– str. 82 i 83, zacytowano normę BN-76/1372-01 i PN-75/H-04661 recenzującą pracę interesuje czy nie było możliwości skorzystania z bardziej aktualnych norm?,

– str. 96, ostatni akapit niezręcznie sformułowany.

Powyższe uwagi nie umniejszają w najmniejszym stopniu walorów recenzowanej pracy, natomiast przy redakcji ewentualnych publikacji warto byłoby się zastanowić nad niektórymi sformułowaniami.

5. Wnioski końcowe

Podsumowując niniejszą recenzję, pomimo przedstawionych powyżej uwag krytycznych, stwierdzam, że wyniki badań przedstawione w pracy doktorskiej Pana mgr. inż. Bogdana Kupca nacechowane są istotnymi walorami poznawczymi. Stwierdzam więc, że rozprawa doktorska mgr. inż. Bogdana Kupca pt.: *Wpływ mikrostruktury i struktury geometrycznej powierzchni na zużycie ścierne żeliwa szarego Dual Phase* pisana pod opieką promotorską Pana prof. dr hab. inż. Antoniego Władysława Orłowicza, spełnia wymagania stawiane przez Ustawę o Tytule Naukowym i Stopniach Naukowych, wobec czego wnioskuje do Rady Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej o dopuszczenie Kandydata do publicznej obrony


dr hab. inż. Maria Maj, prof. AGH