

dr hab. inż. Emilia WOŁOWIEC-KORECKA, prof. uczelni

Instytut Inżynierii Materiałowej

Wydział Mechaniczny

POLITECHNIKA ŁÓDZKA

R E C E N Z J A

rozprawy doktorskiej

Pana mgr inż. Bartosza Iżowskiego

pod tytułem

*„Modelowanie i symulacja numeryczna procesu hartowania gazowego kół zębatych
wykonanych ze stali Pyrowear 53”*

wykonanej pod opieką naukową

Promotora Pana prof. dra hab. inż. Macieja Motyki, prof. uczelni
oraz Promotora pomocniczego Pana dra inż. Kamila Dychtonia

opracowana na zlecenie

Rady Dyscypliny Inżynierii Materiałowej Politechniki Rzeszowskiej
na podstawie pisma z dnia 19 czerwca 2024 roku

Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynierii Materiałowej
Pana dr hab. inż. Macieja Motyki, prof. uczelni

Podstawa opracowania recenzji

Zgodnie z wymogami Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, art. 187 recenzja rozprawy doktorskiej zawiera następujące elementy:

1. ocenę, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora w określonej dyscyplinie albo dyscyplinach;
2. ocenę, czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora;
3. ocenę, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

W świetle przedstawionych przepisów prawa oraz Rozporządzenia Ministra Edukacji i Nauki z dnia 11 października 2022 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych (Dz.U. 2022 r. poz. 2202) praca doktorska została zrealizowana w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie **inżynieria materiałowa** z pewnymi interdyscyplinarnymi elementami dyscypliny inżynieria mechaniczna.

Przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska pt. „*Modelowanie i symulacja numeryczna procesu hartowania gazowego kół zębatach wykonanych ze stali Pyrowear 53*” została przygotowana przez Bartosza Iżowskiego w języku polskim. Praca zawiera 164 strony z uwzględnieniem streszczenia, list tabel i rysunków, dwustronicowym dodatkiem oraz spisem bibliograficznym. Praca jest poprawnie skonstruowana, została podzielona na 6 rozdziałów oraz wstęp, które za wyjątkiem wstępu i rozdziału szóstego zawierają podrozdziały i sekcje na kolejnych poziomach numeracji. Rozdział 1) zawiera studium literatury z zakresu deformacji związanych z obróbką cieplną i cieplno-chemiczną oraz zjawisk i zabiegów z tym związanych, rozdział 2) zawiera cel, zakres i tezę badań, rozdział 3) zawiera wymagania technologiczne, związane z aspektem wdrożeniowym pracy. W rozdziale 4) zostały omówione metody modelowania i symulacji wykorzystane w rozprawie doktorskiej, w rozdziale 5) zawarto wyniki badań oraz dyskusję wyników. Podsumowanie oraz wnioski końcowe umieszczono w rozdziale szóstym. Praca jest spójna, kolejne rozdziały tworzą logiczną całość.

1. Ocena ogólnej wiedzy teoretycznej zaprezentowanej w rozprawie doktorskiej

Sposób realizacji rozprawy doktorskiej dowodzi, że Kandydat posiadał wiedzę w zakresie dyscypliny inżynieria materiałowa. W szczególności wykazał się On znajomością zagadnień obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej tj. nawęglania, hartowania, obróbki podzerowej (wymrażania), zjawisk z nimi związanych (mechanizmów dyfuzyjnych, przemian fazowych). Doktorant rozumie również mechanizmy przyczynowo-skutkowe związane z tą obróbką (w tym mechanizm powstawania naprężeń i odkształceń hartowniczych). Rozdział 1) prezentujący stan wiedzy Kandydata w tym obszarze (strony 15-47) zawiera liczne nawiązania do źródeł literaturowych, które oceniam jako adekwatne i aktualne. Autor rozprawy omówił szereg szczegółowych zagadnień związanych z inżynierią materiałową, jak współczynnik przewodności cieplnej, ciepło utajone przemiany fazowej, naprężenia wewnętrzne w stopach żelaza, odkształcenia hartownicze oraz aspekty związane z ich odwzorowaniem, wykazując się tym samym szczegółową wiedzą w tym obszarze.

W mojej ocenie, mgr inż. Bartosz Iżowski prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną na poziomie adekwatnym dla osoby ubiegającej się o stopień doktora w dyscyplinie inżynieria materiałowa, co zostało udokumentowane w powierzzonej mi do zaopiniowania dysertacji.

2. Ocena, czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora

Przekazana mi do oceny praca została przygotowana przez Kandydata z dużą merytoryczną starannością. Rozprawa zalicza się do coraz rzadszych przypadków rozpraw zawierających tezę badawczą. W tym przypadku Autor sformułował ją następująco: „(...) *opracowanie modelu matematycznego i prawidłowy dobór parametrów symulacji numerycznej procesu hartowania gazowego poprzedzonego nawęglaniem próżniowym, umożliwi prognozowanie rozkładu stężenia węgla w warstwie nawęglanej (1), kształtowanie składu fazowego (2), ewolucji naprężeń (3) oraz pozwoli na ich optymalizację w celu minimalizacji odkształceń (4) po procesie hartowania nawęglonych próżniowo, silnie obciążonych kół satelitarnych przekładni FDGS wykonanych ze stali Pyrowear 53*”. Z tezy wynika cel pracy, którym jest *opracowanie modelu matematycznego umożliwiającego prawidłowy dobór parametrów symulacji numerycznej procesu hartowania gazowego poprzedzonego nawęglaniem próżniowym*. Sformułowanie: „*Celem zrealizowanych prac badawczych, w ramach programu „Doktorat wdrożeniowy”, było wsparcie firmy Pratt & Whitney Rzeszów w zakresie certyfikacji i zatwierdzenia do produkcji lotniczej, innowacyjnego procesu hartowania wysokociśnieniowego (HPGQ) kół zębatach przekładni silnika lotniczego FDGS poprzez opracowanie modelu numerycznego oraz wykonanie jego symulacji komputerowej, jak również poprzedzającej obróbki cieplno-chemicznej – nawęglania niskociśnieniowego (LPC)*”, które zamieszczono zaraz po tezie badawczej uważam za zlokalizowane w tym miejscu przypadkowo i niefortunnie: z pierwszej części tak sformułowanego zdania wynika bowiem, że dotyczy ono celu postawionego w ramach programu *Doktorat wdrożeniowy* a nie celu badawczego z punktu widzenia rozprawy naukowej.

Na podstawie tezy i celu Kandydat określił zakres pracy (str. 55), który oceniam jako obszerny i szczegółowy. Obejmuje on zdefiniowanie właściwości materiałowych w celu budowy modelu numerycznego procesu obróbki cieplnej, budowę modelu materiału Pyrowear 53, modelowanie procesu nawęglania niskociśnieniowego (LPC), modelowanie wymiany ciepła podczas hartowania oraz weryfikację wyników badań numerycznych z wynikami badań eksperymentalnych. Realizacja celu zakłada wykorzystanie nowoczesnych komercyjnie dostępnych narzędzi komputerowych do obliczeń numerycznych.

W rozdziale 3) „Wymagania technologiczne” Kandydat przedstawił dodatkowe wymagania stawiane Jego pracy a wynikające z rzeczywistych uwarunkowań przemysłowych funkcjonujących w branży lotniczej oraz firmie Pratt & Whitney Rzeszów. Uwarunkowania te

musiały zostać uwzględnione podczas realizacji pracy, aby praca zachowała swój wymiar praktyczny i spełniła założenia programu *Doktorat wdrożeniowy*. W tej części pracy Autor obszernie przedstawił tok rozumowania przyjęty podczas badań własnych oraz szeroko wyjaśnił sposób swojego postępowania. Rozdział zawiera solidną podbudowę w zakresie opisu praktycznej realizacji procesów obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej: nawęglania, hartowania, odpuszczania, wymrażania oraz wielu aspektów modelowania numerycznego. W mojej ocenie ten rozdział powinien zostać zatytułowany „Materiały, metody i wymagania technologiczne”, ponieważ treści zawarte w tym rozdziale dotyczą w pierwszym rzędzie opisu materiału Pyrowear 53, praktycznej realizacji OCC, metod modelowania zastosowanych w badaniach numerycznych a następnie również opis wymagań technologicznych.

Kandydat poprawnie zaplanował kolejne etapy badań, które układają się w logiczną całość, zapewniając tym samym spójność pracy. Materiał do badań (materiał w sensie składu chemicznego oraz sposobu ukształtowania próbek) wytypował w oparciu o potrzeby Pracodawcy oraz planowane praktyczne wdrożenie pracy. Metodyka badań została poprawnie opracowana w sposób umożliwiający osiągnięcie celu. Doktorant wykazał się umiejętnością prowadzenia zarówno teoretycznych rozważań jak również planowania i realizacji prac eksperymentalnych z wykorzystaniem aparatury badawczej (np. dyfraktrometr Proto iXRD, do badań naprężeń w warstwach nawęglonych i hartowanych), przy czym należy zaznaczyć, że głównym obszarem działań Kandydata były badania oparte na modelowaniu i symulacji z użyciem opracowanych modeli. Wyniki badań teoretycznych zostały zweryfikowane eksperymentalnie i wykazały zgodność wystarczającą do zastosowania ich w rzeczywistości przemysłowej. Doktorant wykazał również, że potrafi poprawnie formułować wnioski. Zaplanowane i zrealizowane badania pozwoliły na osiągnięcie celu i potwierdzenie tezy pracy.

Realizując swoją rozprawę doktorską **mgr inż. Bartosz Iżowski potwierdził umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej**, zarówno w zakresie planowania jak i prowadzenia badań, w tym wyznaczania celu pracy, definiowania tezy badawczej, opracowania adekwatnej do celu metodyki badań, jak i formułowania wniosków.

3. Ocena, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

Kluczowym wyzwaniem współczesnej obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej jest osiągnięcie wysokiej powtarzalności i jednorodności wytwarzanych wyrobów w skali wielkoseryjnej i masowej. Dodatkowe trendy wyznacza nowoczesna organizacja produkcji przemysłowej, gdzie koncepcja zarządzania przez jakość staje się standardem zarządzania

produkcją w przedsiębiorstwach. Ten nowy sposób myślenia i podejścia do problemów zarządzania jest podstawą dla funkcjonowania organizacji w sposób, gdzie jakość wytwarzanego wyrobu jest elementem przewodnim i zarazem łączącym wszystkie sfery działania. Ekonomia rynku XXI wieku dodatkowo sprawia, że współczesny utylitarny rozwój obróbki cieplno-chemicznej jest możliwy na dwa sposoby: (1) przez oferowanie jakości na poziomie niedostępnym dla konkurencji lub (2) przez obniżenie kosztów wytwarzania bez straty jakości. Oba trendy są widoczne w obecnym rozwoju obróbki cieplno-chemicznej i często są ze sobą w jakiś sposób powiązane. Jednakże znajdowanie ich nowych obszarów przydatności jest połączone z rozwijaniem wiedzy o tych procesach. Obecnie wiele luk we współczesnym stanie wiedzy jest uzupełnianych w oparciu o wysokowydajne obliczenia komputerowe, które stały się częścią kanonu nowoczesnego warsztatu badawcza naukowego. Modele obliczeniowe i symulacje przyczyniają się zarówno do obniżenia kosztów wytwarzania, jak i poprawy jego jakości.

Mgr inż. Bartosz Iżowski postawił sobie za cel opracowanie modelu matematycznego umożliwiającego prawidłowy dobór parametrów symulacji numerycznej procesu hartowania gazowego poprzedzonego nawęglaniem próżniowym, prognozowanie rozkładu stężenia węgla w warstwie nawęglonej, składu fazowego, ewolucji naprężeń oraz umożliwiającego ich optymalizację w celu minimalizacji odkształceń po procesie hartowania nawęglonych próżniowo, silnie obciążonych kół satelitarnych przekładni FDGS wykonanych ze stali Pyrowear 53 i stosowanych we współczesnym lotnictwie. Tak postawione zadanie rozprawy doktorskiej jest ważne ze względów poznawczych, jak również z aplikacyjnego punktu widzenia i należy dołożyć wszelkich starań, aby poznać i rozumieć wszystkie aspekty z tym związane. Wybór tematyki pracy uważam zatem za uzasadniony a **problematykę recenzowanej pracy uważam za trafną, zarówno z punktu widzenia poznawczego, jak i ze względu na możliwości praktycznego zastosowania wyników badań.**

Biorąc pod uwagę tezę pracy, która mówi że poprzez *prawidłowy dobór parametrów symulacji numerycznej procesu hartowania gazowego poprzedzonego nawęglaniem próżniowym* możliwym jest prognozowanie rozkładu stężenia węgla w warstwie nawęglanej, kształtowanie składu fazowego oraz ewolucji naprężeń w stali Pyrowear 53, o której wiedza wciąż nie jest pełna oraz zastosowanie wyników badań do produkcji silnie obciążonych kół satelitarnych przekładni FDGS, która to teza została potwierdzona na drodze realizacji badań zgodnie z wyznaczoną poprawnie metodyką oraz przeprowadzonymi rozważeniami teoretycznymi w zakresie przepływu ciepła w ciele stałym, stwierdzam, że **mgr inż. Bartosz Iżowski w ramach swojej rozprawy doktorskiej rozwiązał oryginalny problem naukowy.**

4. Zagadnienia polemiczne i uwagi

Doktorant w swojej rozprawie doktorskiej nie uniknął błędów redakcyjnych, skrótów myślowych oraz nieścisłości, które nie mają wpływu na ocenę merytoryczną i naukową dysertacji. Wymieniam je zgodnie z obowiązkiem ciążącym na recenzencie w tym zakresie.

4.1. Zagadnienia polemiczne

1. Na str. 17 pracy znajduje się sformułowanie „*Badania naukowe prowadzone w celu określenia poszczególnych czynników na występowanie odkształceń hartowniczych dowodzą, że decydującą rolę odgrywa intensywność chłodzenia (...)*”. W opinii recenzenta, intensywność chłodzenia ma w pierwszym rzędzie istotny wpływ na przebieg przemiany fazowej oraz finalną strukturę chłodzonego stopu żelaza. W powstawaniu odkształceń hartowniczych decydującą rolę odgrywa nierównomierny odbiór ciepła z powierzchni ciała hartowanego, powodujący nierównomierny przebieg przemian fazowych a tym samym nierównomierne zmiany objętościowe powodowane zmianą konfiguracji ułożenia atomów w układzie krystalograficznym (sieci).
2. Na str. 91 pracy znajduje się sformułowanie „*Procesy hartowania gazowego i olejowego technologicznie różnią się znacznie, jednak zjawiska fizyczne jakie zachodzą na granicy ciało stałe-ośrodek chłodzący, są bardzo podobne*”. To sformułowanie jest kontrowersyjne. Hartowanie olejowe zawiera trzy fazy/etapy chłodzenia (etap błony parowej, etap wrzenia pęcherzykowego, etap konwekcji) podczas, gdy hartowanie gazowe jest jednoetapowe. Konsekwencją tych różnic jest wartość współczynnika przewodności cieplnej HTC, która w hartowaniu olejowym jest zmienna a w hartowaniu gazowym jest stała (o czym Kandydat sam wspomina na str. 27 pracy). Sformułowanie na str. 91 wymaga wyjaśnienia ze strony Kandydata.
3. W pracy nie zamieszczono wyników badań eksperymentalnych potwierdzających obliczenia teoretyczne wielkości przemiany martenzytycznej. Czy podczas realizacji pracy wykonano zdjęcia mikrostruktury próbek po hartowaniu lub w inny sposób potwierdzono wielkość udziału fazy martenzytycznej?
4. W jaki sposób wyznaczono eksperymentalnie profil rozkładu stężeń węgla (str. 121)?
5. Czy wykonano rozkłady twardości dokumentujące poprawny przebieg procesów hartowania?
6. Czy analizując odkształcenia uzyskane po hartowaniu olejowym i gazowym wykonano analizę statystyczną otrzymanych wyników? Czy można stwierdzić z naukową pewnością,

że różnice między odkształceniami po hartowaniu w gazie i oleju są statystycznie istotne a nie wynikające z niepewności pomiaru?

7. Czy Kandydat mógłby wyjaśnić z czego wynika różnica między profilami EXP W1 – LPC+Olej i EXP W3 – LPC+HPGQ oraz różnica między profilami SIM W1 – LPC+Olej i SIM W3 – LPC+HPGQ na rys. 5.2?
8. W pracy zabrakło aspektów statystycznej analizy wyników badań lub innych równoważnych elementów związanych ze statystyczną kontrolą procesu (SPC, Statistical Process Control), czego można by oczekiwać w związku z planowanym wdrożeniem wyników badań do produkcji przemysłowej odpowiedzialnych elementów części maszyn. Częściowo wspomniałam już o tym w komentarzu nr 6.
9. W dyskusji wyników pracy (str. 130) zamieszczono akapit: *„Pomiary kół zębatych obrabianych wg wariantu W3, czyli z zastosowaniem hartowania gazowego następującego bezpośrednio po nawęglaniu metodą niskociśnieniową, również prowadzi do deformacji średnicy podstaw oraz grubości zębów. Dochodzi w tym przypadku do zmniejszenia wymiaru obu tych charakterystyk, (...). Zmniejszenie wymiaru, w stosunku do stanu przed hartowaniem może być związane z zachodzącymi przemianami fazowymi, nie analizowanymi w tej pracy, oraz stanem naprężeń, jednak wyjaśnienie dokładnych przyczyn takiego zachowania leży poza zakresem prac zaplanowanych do realizacji w tej rozprawie.”* Nie zgadzam się z tym stwierdzeniem. Przemiany fazowe, naprężenia i odkształcenia leżą w zakresie tej rozprawy zaś badacz naukowy nie powinien unikać próby wyjaśnienia swoich wyników badań, nawet jeśli one go zaskoczyły. W części teoretycznej i modelowej Kandydat obszernie porusza zagadnienia przemian fazowych oraz naprężeń szczątkowych, jest to nic innego jak właśnie wstęp i baza do dyskusji naukowej o przyczynach i zjawiskach związanych z odkształceniami, która powinna znaleźć się w rozdziale „Dyskusja”. Czy Kandydat mógłby określić, jakie inne „zachodzące przemiany fazowe” poza modelowaną przemianą martenzytyczną miał na myśli w przytoczonym sformułowaniu? W omawianym fragmencie rozprawy kwestią kluczową nie są różnice wartości, które są nieznaczne, lecz trend zmian odwrotny do oczekiwanego przez Kandydata. Co może być tego przyczyną? Ile próbek badano pod tym kątem i w ilu obserwowano takie zjawisko?
10. Na str. 113 pracy Kandydat wyjaśnia przyczynę wyboru modelu 2D słowami: *„Dane walidacyjne pochodzące z produkcji są dostępne jedynie dla punktów pomiarowych leżących w jednym przekroju, mniej więcej, w połowie szerokości wieńca uzębienia. Wykonywanie dużo bardziej czasochłonych symulacji modeli 3D nie znajdowało zatem uzasadnienia.”* Jednakże tak przyjęte założenie, w rozdziale 6) „Wnioski” doprowadziło

Kandydata do konkluzji „*Symulacja 2D nie oddaje w pełni przebiegu zjawisk zachodzących podczas hartowania a stanowiących istotny parametr technologiczny i różnicujący hartowanie olejowe od gazowego.*” Zatem być może jednak istniały korzyści wynikające z zastosowania modelu 3D, ponieważ zadaniem modelowania, ogólnie rzecz biorąc, nie jest jedynie potwierdzenie otrzymanych z produkcji wartości walidacyjnych a odkrycie/wyjaśnienie zjawisk/procesów, których badanie eksperymentalne jest niemożliwe lub zbyt kosztowe.

4.2. Uwagi edycyjne

1. W pracy umieszczono rysunki (4.44) i (4.45), jednakże w tekście nie ma odniesień ani opisu tych rysunków.
2. Dla osi Y rysunku 4.14 brakuje jednostki.
3. Rozdział 5) „Wyniki i dyskusja” powinny zostać rozdzielone na dwa osobne rozdziały ponieważ funkcjonalnie pełnią dwie osobne role.¹ W praktyce naukowej rozdział „Wyniki” przedstawia wyniki badań bez komentarza odautorskiego, pozostawiając przestrzeń do samodzielnej interpretacji wyników przez czytelnika. Stanowi przedstawienie zgromadzonego materiału badawczego, uporządkowanego i usystematyzowanego. Jest to miejsce na zestawienia, tabele, wykresy oraz szczegółową analizę ilościową i jakościową (również statystyczną). Rozdział „Dyskusja” jest miejscem, które zawiera szczegółowy komentarz autora na temat uzyskanych wyników całego postępowania poznawczego, jak również sformułowanie ewentualnych dostrzeżonych reguł, wskazanie i uzasadnienie odstępstw, nieścisłości lub niezgodności. Jest to również miejsce na odniesienie się do wyników badań otrzymywanych przez innych badaczy i opisanych w dostępnej literaturze. W przypadku omawianego rozdziału występuje pomieszanie funkcyjne obu elementów, dodatkowo znajdują się w nim elementy opisu warsztatu badawczego, które powinny znaleźć się w wyodrębnionym rozdziale „Materiały i metody” (tę funkcję w pracy pełni rozdział „Wymagania technologiczne”).
4. Czy Kandydat mógłby zdefiniować pojęcie „zjawisko metalurgiczne” (str. 112)? Czy określenie przemiany fazowej (jak przemiana bainityczna czy martenzytyczna) zjawiskiem metalurgicznym jest w ocenie Kandydata poprawne?
5. W pracy Kandydat wymiennie stosuje polsko- i angielskojęzyczną notację liczbową (np. str. 8, 101). Wymaga to ujednolicenia w kierunku notacji polskojęzycznej.

¹ R.B. Truscott, *The essentials of college & university writing*, Research & Education Association, New Jersey, 2004.

6. W pracy znajdują się usterki edycyjne prawdopodobnie wynikające ze „zmagania” Kandydata z językiem Latex. Są to między innymi:

- a. Nieoczekiwane, nawet półstronicowe (np. str. 41, 132), przerwy między akapitami tekstu lub między tekstem a rysunkami.
- b. Liczne sekcje z wyłuszczoną nazwą, które nie posiadają numeracji.
- c. Niepoprawnie sformatowane wpisy bibliograficzne, w których nazwy miast lub tytuły czasopism i publikacji występują losowo wypisane wielką lub małą literą.
- d. Indeksy oznaczeń we wzorach matematycznych występują w formie rozstrzelonej tam, gdzie powinny występować jako skrót słowa, np. dla słowa „effective” powinno być „eff” zamiast „e e f” (str. 33).
- e. W słowach występują niezamierzone spacje.

Niemniej podkreślam jako atut i plus ocenianej rozprawy, że Kandydat podjął wysiłek zapoznania się ze specjalistycznym środowiskiem edycji tekstu oraz napisania w tym środowisku całej pracy. Pomimo licznych zalet, środowisko Latex nie posiada wielu automatycznych narzędzi autokorekty tekstu oczywistego dla środowiska MS Word, co narzuca autorowi tekstu obowiązek zwiększonej skrupulatności edycyjnej.

- f. Inne usterki edycyjne obejmują stosowanie kropki jako znaku dziesiętnego (zob. wzór (1.19)) na zmianę z przyjętym w języku polskim przecinkiem, niepełne wyjaśnienia oznaczeń symboli stosowanych we wzorach, (zob. wzór (1.16), losowe podawanie jednostek w opisach zależności fizycznych (zob. wzory (1.15), (1.16), (1.17) vs (4.16)).

Nie mniej jednak podawanie listy wszystkich edycyjnych niedociągnięć jest bezcelowe, ponieważ nie mają one wpływu na ocenę końcową pracy.

5. Wniosek końcowy

Podsumowując, stwierdzam, że przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska w dyscyplinie Inżynieria materiałowa pt. „*Modelowanie i symulacja numeryczna procesu hartowania gazowego kół zębatych wykonanych ze stali Pyrowear 53*” wykonana przez mgr inż. Bartosza Iżowskiego pod kierunkiem naukowym Promotora dra hab. inż. Macieja Motyki, prof. uczelni oraz Promotora pomocniczego dra inż. Kamila Dychtonia, dowodzi, że:

1. jej Autor jest dobrze zorientowany w poruszanej w literaturze problematyce dotyczącej mechanizmów obróbki cieplnej przez hartowanie olejowe i gazowe oraz metod modelowania i symulacji zjawisk z tym związanych,

2. pozyskał umiejętności stawiania problemów badawczych i właściwego doboru komplementarnego zestawu metod badawczych do ich rozwiązania oraz ich pełnego opracowania praktycznego,
 3. uzyskał wartościowe i oryginalne wyniki badań, o istotnym znaczeniu poznawczym, jak również o walorach aplikacyjnych oraz osiągnął założone cele naukowe pracy,
- w związku z czym stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska pt. „*Modelowanie i symulacja numeryczna procesu hartowania gazowego kół zębatych wykonanych ze stali Pyrowear 53*” **spełnia wymagania określone w Ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce** (Dz. U. 2018 r. poz. 1668 z późniejszymi zmianami) oraz wnoszę o dopuszczenie Autora rozprawy, Pana mgr inż. Bartosza Izowskiego, do publicznej obrony.

Łódź, 07 września 2024 r.



.....
/dr hab. inż. Emilia Wołowiec-Korecka, prof. PŁ/