

dr hab. inż. Mieczysław Pancielejko
Katedra Fizyki Technicznej i Nanotechnologii
Wydział Mechaniczny
Politechnika Koszalińska

Koszalin, 25.02.2022 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Artura Bajwoluka zatytułowanej „*Konstrukcyjno-eksploatacyjne czynniki procesu niszczenia odlewów palet stosowanych w piecach do obróbki cieplnej*”.

Pracę zrealizowano w Katedrze Mechaniki na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Pawła Gutowskiego, prof. ZUT.

Recenzja została opracowana na podstawie pisma Prorektora ds. Nauki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie prof. dr hab. inż. Jacka Przepiórskiego, l.dz. WIMiM/723/2021 z dnia 29.12.2021 r.

Informacje wstępne

Rozprawa doktorska przedstawiona do recenzji zawiera 157 stron. Składa się z dwunastu rozdziałów, spisu literatury, streszczeń oraz trzech załączników. Sześć pierwszych rozdziałów (41 stron) ma charakter wprowadzający w zagadnienie, zakończonych wnioskami wynikającymi z przeglądu literatury. Następny rozdział to cele, teza i zakres pracy. W kolejnych sześciu rozdziałach (85 stron), a także w załącznikach, Doktorant przedstawił własne wyniki badań zakończone podsumowaniem, wnioskami i uwagami końcowymi. Spis literatury zawiera 134 pozycje bibliograficzne.

Doktorant badał wpływ eksploatacyjnych oraz konstrukcyjnych czynników na niszczenie elementów oprzyrządowania pieców, głównie odlewów palet do transportu wsadu. Przeanalizował również mechanizmy powstawania oraz rozkłady mikro i makronapreżeń powstających w trakcie cyklu cieplnego w tych elementach.

Recenzowana rozprawa przedstawia **badania o charakterze eksperymentalnym**, dotyczy zagadnień związanych z **inżynierią mechaniczną**, w zakresie badania niezawodności oprzyrządowania stosowanego w technologii obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej.

Problem badawczy teza i cele pracy

Doktorant po przeprowadzeniu wnikliwego przeglądu literatury oraz po wykonaniu badań własnych postawił tezę: „*Możliwe jest wprowadzenie takich zmian konstrukcyjnych palet, które istotnie zmniejszą naprężenia cieplne w czasie każdego cyklu pracy, skutkiem czego będzie znaczące podwyższenie ich trwałości*”.

Aby potwierdzić tak sformułowaną tezę Doktorant postawił sobie kilka celów: **poznanie mechanizmów niszczenia palet stanowiących osprzęt pieców do obróbki**

cieplnej i cieplno-chemicznej, określenie zasad poprawnego projektowania tych palet oraz zaproponowanie metodyki mającej na celu ocenę porównawczą różnych rozwiązań konstrukcyjnych. Dla realizacji tak postawionych celów Doktorant określił czynniki determinujące procesy niszczenia odlewów palet, opracował modele przepływu ciepła przez konstrukcje palet podczas gwałtownych zmian temperatury, opracował modele obliczeniowe do analizy rozkładów naprężeń cieplnych powstających w konstrukcjach badanych palet w czasie ich gwałtownego chłodzenia i nagrzewania oraz przeprowadził, z wykorzystaniem opracowanych modeli obliczeniowych, ocenę wpływu zmian konstrukcyjnych na zmniejszenie negatywnych skutków tych procesów.

Podjętą tematykę rozprawy uważam za nowatorską i ważną, w aspekcie poznawczym jak i utylitarnym, dlatego wybór jej oceniam pozytywnie.

Wkład Autora

Poniżej przedstawiono wykaz najciekawszych aspektów rozprawy wraz z moimi opiniami na ich temat, które obejmują również komentarze o charakterze krytycznym i polemicznym.

W części wstępnej Doktorant dokonał przejrzystego wprowadzenia do tematyki Rozprawy. Następnie, w oparciu o przegląd literatury, przeprowadził charakterystykę osprzętu pieców do obróbki cieplnej, głównie przeznaczonego do transportu wsadu, opisując warunki jego eksploatacji. W rozdziale 3 opisał niekorzystne zmiany mikrostruktury, w staliwach żarodpornych stosowanych na oprzyrządowanie pieców do obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej, zachodzące w trakcie eksploatacji. Na podstawie literatury zidentyfikował źródła naprężeń cieplnych w odlewach osprzętu technologicznego pieców do obróbki cieplnej oraz scharakteryzował ich rozkład podczas nagrzewania lub gwałtownego chłodzenia. **Doktorant zauważył, że w modelach wtrąceń i wydzielen przedstawionych w literaturze, obliczenia prowadzono dla pojedynczych wydzielen o niewielkich rozmiarach, podczas gdy w rzeczywistości obserwowane pęknięcia występują w skupiskach węglików o dużej koncentracji. Wykazał również, że w obliczeniach prezentowanych w literaturze, nie uwzględniano warstwy tlenków tworzącej się na powierzchni stopów.** W dalszej części rozprawy Doktorant scharakteryzował naprężenia spowodowane gradientem temperatury tworzące się na przekroju nagrzewanego lub chłodzonego elementu oprzyrządowania. Następnie w rozdziale 5 Doktorant zaprezentował oraz opisał typowe rodzaje zniszczeń jakim ulegają odlewy oprzyrządowania pieców.

Uwaga: Tabela 3.2 na str. 18 jest zbędna ponieważ zawiera tylko jedną dodatkową informację o maksymalnej temperaturze eksploatacji. Dane te mogły być uzupełnione w tabeli 3.1 jako dodatkowa kolumna.

W tej części pracy występuje spora liczba błędów redakcyjnych, których zbiorcza lista znajduje się w dalszej części niniejszej recenzji.

Jako **przedmiot badań** (rozdział 8) Autor przyjął różne rozwiązania konstrukcyjne palet stosowane lub możliwe do zastosowania w osprzęcie pieców do transportu wsadu. Przedstawione analizy dotyczyły zarówno małych wycinków ścianek palety, samych ścianek

i ich połączeń, jak i całych konstrukcji. Doktorant przyjął, że badane palety wykonane są ze staliwa GX40NiCrSiNb38-19, z którego najczęściej wykonywane jest oprzyrządowanie przeznaczone do eksploatacji w piecach do nawęglania.

Uwagi: Przyjęcie jednego rodzaju staliwa stanowiło pewne uproszczenie, biorąc pod uwagę dużą różnorodność stopów stosowanych do budowy oprzyrządowania w praktyce. Właściwości mechaniczne austenitu Doktorant nie zbadał osobiście, a do obliczeń przyjął dane zaczerpnięte głównie z pracy [31].

Ponieważ **wyznaczenie kinetyki przepływu ciepła** (rozdział 9) z wykorzystaniem metod numerycznych MES wymaga znajomości wielu danych wejściowych Doktorant przeprowadził badania doświadczalne zmian temperatury w wybranych punktach tych elementów. W tym celu **Doktorant zbudował autorskie stanowisko badawcze** umożliwiające wielokanałowy pomiar temperatury, wewnątrz badanych próbek, podczas ich nagrzewania w powietrzu oraz chłodzenia w wodzie lub oleju. **Otrzymane krzywe kinetyki chłodzenia i nagrzewania charakteryzowały się dużą powtarzalnością, co świadczy o właściwym doborze przez Doktoranta komponentów stanowiska pomiarowego oraz o poprawnej metodyce pomiarów.** Dlatego krzywe kinetyki chłodzenia i nagrzewania mogły być wykorzystane jako odniesienie dla wyników uzyskanych w opracowanych modelach numerycznych przepływu ciepła. **Doktorant uzyskał dobrą zgodność wyników obliczeń numerycznych i badań doświadczalnych** w przypadku chłodzenia w oleju, natomiast przebiegi te nie pokrywały się w pełni z wynikami doświadczalnymi przy chłodzeniu w wodzie.

Uwaga: Doktorant wykazuje pewną niekonsekwencję przy analizie zmian temperatury próbki podczas chłodzenia (str. 60, wiersze 1-2) - podał z dużą dozą niepewności: „*można przypuszczać, iż widoczny efekt związany jest najprawdopodobniej z wydzielaniem się węglików chromu $M_{23}C_6$* ”. Natomiast przy analizie wyników badań numerycznych (str. 67, wiersze 19-22) podał, w nawiasie, już bez wątpliwości: „*Podobnie jak dla chłodzenia w oleju, wyniki analiz symulacyjnych nie oddają także zmian temperatury spowodowanych przemianami fazowymi (wydzielaniem się węglików) zachodzącymi w materiale, przy chłodzeniu z 900 °C*”.

W rozdziale dziesiątym Doktorant przeprowadził **analizę mikronaprężeń strukturalnych wywołanych gwałtownymi zmianami temperatury.** Wcześniej w przeglądzie literatury (rozdział 4) scharakteryzował źródła naprężeń cieplnych w odlewach osprzętu technologicznego pieców do obróbki cieplnej. Rozpatrywał problem naprężeń występujących w węglkach i otaczającej je osnowie, związanych z różną rozszerzalnością cieplną tych faz. Przedstawił modele wydzielenia węglików: kulisty całkowicie otoczony austenitem i walcowy dochodzący do powierzchni stopu. Wskazał, że **w węgliku całkowicie otoczonym austenitem powstają w trakcie chłodzenia naprężenia ściskające, natomiast w węgliku dochodzącym do powierzchni stopu w strefach przypowierzchniowych mogą powstawać silne naprężenia rozciągające, których rozkład sprzyja powstawaniu obserwowanych w rzeczywistości lokalnych mikropęknięć.**

Doktorant poprawnie przeprowadził obliczenia naprężeń powstających podczas gwałtownej zmiany temperatury rozpatrując model prostopadłościennego węglika w osnowie

austenitycznej, dochodzącego do powierzchni stopu. **Rozpatrywał również przypadek, zbliżony do warunków występujących w rzeczywistości**, gdy węgliki w warstwie nawęglonej nie wychodzą bezpośrednio na powierzchnię stopu, lecz odizolowane są od niej warstwą tlenków, **co stanowiło nowe autorskie podejście nie opisywane w literaturze**. W tym modelu obliczeniowym, Doktorant wykazał, że naprężenia na powierzchni zmieniły znak z rozciągających na silnie ściskające, co **ograniczać może rozwój pęknięć rozchodzących się od powierzchni**.

Doktorant przeprowadził również podobne analizy mikronaprężeń strukturalnych dla otoczenia kilku węglików oraz dla węglików na granicy ziaren austenitu. W symulacjach tych naprężeń uwzględnił również wpływ wielkości ziaren austenitu. Uważam, że **doktorant trafnie porównał rozkłady uzyskane dla analizowanych wariantów i doszedł do słusznych konkluzji**, że jednoczesne oddziaływanie gradientu temperatury powstającego w chłodzonym odlewie oraz obecność węglików, jest czynnikiem sprzyjającym powstawaniu w trakcie chłodzenia, w strefie nawęglonej, niekorzystnych rozkładów naprężeń umożliwiających zarodkowanie i rozwój mikropęknięć.

Uwagi: Dość oczywistym wydaje się stwierdzenie ze str. 70: „*Otrzymany dla opisanego modelu rozkład naprężeń kierunkowych σ_x wzdłuż osi pionowej węglika przedstawiono na wykresie na rys. 10.2a. Uzyskane wyniki są zgodne z wynikami przedstawionymi w cytowanych już pracach [31-33]*”. Wyniki te powinny być zgodne z cytowanymi pracami [31-33] ponieważ dane materiałowe zaczerpnięto właśnie z tych prac.

Aby wskazać, czy naprężenia wyliczone w analizach numerycznych badanych układów, osiągają krytyczne wartości dla węglików, dobrze by było nanieść wartość wytrzymałości na rozciąganie/ściskanie tych węglików na wykresach (rys. 10.2, 10.4, 10.5, 10.8, 10.14, 10.15).

W obszernym rozdziale jedenastym Doktorant przeprowadził **analizę makronaprężeń spowodowanych gradientem temperatury** powstającym pomiędzy powierzchnią a rdzeniem, podczas chłodzenia lub nagrzewania elementów konstrukcji oprzyrządowania stosowanego do nawęglania. Z opracowanego wcześniej numerycznego modelu przepływu ciepła w pionowych żebrach palety Doktorant przyjął dane wejściowe w analizach naprężeń cieplnych powstających na przekroju, chłodzonego w oleju lub wodzie żebra palety. Na podstawie wyników analiz numerycznych Doktorant wykazał, że **naprężenia spowodowane gradientem temperatury powstającym w wyniku gwałtownego chłodzenia na przekroju żebra palety do transportu wsadu mogą w czasie chłodzenia osiągać wartości przekraczające granicę plastyczności materiału, przyczyniając się do intensyfikacji procesu zmęczenia cieplnego**. Doktorant słusznie wskazał, że na czynniki eksploatacyjne konstruktor oprzyrządowania technologicznego pieców nie ma żadnego wpływu i w praktyce **jedynym czynnikiem konstrukcyjnym mającym realny wpływ na gradient temperatury tworzący się na przekroju żeber pionowych palety jest grubość ścianki palety**.

Na podstawie kolejnych analiz numerycznych Doktorant wykazał, że cieńsza ścianka palety sprzyja mniejszym naprężeniom cieplnym, a tym samym opóźnieniu powstawania i rozwoju pęknięć na skutek postępujących procesów zmęczeniowych. **Doktorant słusznie zauważył ograniczenie, że konstrukcja palety musi jednocześnie zapewnić odpowiednią wytrzymałość mechaniczną, dlatego możliwość redukcji naprężeń wywoływanych**

gradientem temperatury poprzez zmniejszanie grubości ścianki jest dla konstruktora ograniczona.

W podrozdziale 11.2 Doktorant przeprowadził **nowatorską analizę naprężeń w węzłach cieplnych różnych rozwiązań konstrukcyjnych połączeń ścianek odlewów palet**, wykorzystując metodykę zastosowaną we wcześniejszych analizach naprężeń na przekroju pojedynczych żeber palety. Doktorant wykazał, że **dzięki zmniejszeniu grubości połączenia zarówno obszar występowania podwyższonych naprężeń w pobliżu środka połączenia, oraz wartość powstających naprężeń uległy zmniejszeniu**. Ponadto wykazał również, że o ile zakres modyfikacji możliwych do wprowadzenia przez konstruktora w celu obniżenia naprężeń w obrębie pojedynczych żeber jest znacznie ograniczony, o tyle **poprzez dobór odpowiednich połączeń można w istotny sposób wpłynąć na zmniejszenie powstających w ich obrębie naprężeń, a tym samym na zwiększenie przewidywanej trwałości danego osprzętu**.

Analizę naprężeń w paletach obciążonych wsadem Doktorant przeprowadził w podrozdziale 11.3. Wykazał, że różna jest szybkość zmian temperatury obszarów obciążonych i nieobciążonych wsadem, co generuje w konstrukcji palety dodatkowe naprężenia cieplne. **Doktorant zauważył zgodność deformacji konstrukcji palet obserwowanych w rzeczywistości z wynikami obliczeń numerycznych i poprawnie wywnioskował z analiz numerycznych, że deformacje te są wypadkową oddziaływania naprężeń termicznych oraz obciążenia wsadem**.

W rozdziale 11.4 Doktorant zajął się wpływem modyfikacji konstrukcji na naprężenia cieplne wywołane obecnością wsadu. Sprawdził, jak modyfikacja konstrukcji palety w postaci zmniejszenia sztywności jej zewnętrznego obrysu może wpłynąć na zmniejszenie naprężeń cieplnych powstających w czasie chłodzenia w żebrach przy narożach palety. **Wyniki wykonanych przez Doktoranta analiz numerycznych wskazują, że poprzez stosowanie różnych rozwiązań konstrukcyjnych oraz rozmieszczenie ładunku można w istotny sposób wpływać na rozkład naprężeń powstających w konstrukcji palety w czasie jej cyklu cieplnego**.

Uwaga: Uważam za zbyt duże uproszczenie założenie w obliczeniach, że zarówno paleta wykonana ze staliwa stopowego austenitycznego, jak i spoczywający na niej wsad (np. stal stopowa konstrukcyjna) wykonane są z materiału charakteryzującego się takimi samymi właściwościami cieplnymi.

W rozdziale dwunastym, w oparciu o wcześniejsze analizy, Doktorant zaproponował **modernizację konstrukcji kosza do transportu wsadu**. Na wstępie przeprowadził analizy numeryczne rozkładu temperatury oraz powstających naprężeń i deformacji elementów kosza. Dzięki uzyskanej wiedzy na jakim etapie procesu zmiany temperatury powstają najwyższe naprężenia, i jakie są mechanizmy za nie odpowiedzialne, Doktorant zaproponował zmiany konstrukcyjne. **Zmiany konstrukcyjne zweryfikował doświadczalnie, wprowadzając je w koszach eksploatowanych w warunkach przemysłowych uzyskując zadowalającą trwałość 1 roku**.

Uwagi: Dopiero na str. 126, wiersz 8 wspomniano, że „w wyższych temperaturach, kiedy właściwości mechaniczne materiału są obniżone, dochodzi w połączeniach z podstawą do

odkształceń plastycznych". We wcześniejszych analizach nie uwzględniano funkcyjnej zależności właściwości mechanicznych staliwa od temperatury.

Warto wskazać odnośnikami miejsce przecięcia na rys. 12.7b oraz wprowadzone ograniczniki na rys.12.7c. Nie wskazano, na rysunku 12.7b oraz w tekście, pod jakim kątem wykonane zostały przecięcia odciążające w kolumnach ścian bocznych kosza.

W rozdziale **podsumowanie oraz wnioski i uwagi końcowe** znajduje się skrócony opis wyników badań wraz z komentarzem i uwagami, jednakże **zabrakło zwięzłe sformułowanych najważniejszych wniosków końcowych**

Spis literatury obejmuje zestawienie łącznie 134 pozycji, głównie artykułów, materiałów konferencyjnych, książek i norm. **Dobór literatury uważam za właściwy i aktualny.** Część rezultatów przedstawionych w niniejszej rozprawie opublikowana była w publikacjach Doktoranta. Podkreślić należy, że Doktorant ujął w **bibliografii 12 autorskich prac** opublikowanych w latach 2014 – 2019. We wszystkich tych publikacjach Doktorant występuje na pierwszym miejscu. **Siedem z tych prac indeksowanych jest w bazie Web of Science, a 10 w bazie Scopus, z indeksami cytowań $h = 3$.**

Uwagi redakcyjne i inne

Rozprawa jest napisana poprawnym językiem i z dużą starannością o szatę graficzną. Jednak zwykle w tak obszernym opracowaniu znajdują się jakieś błędy. Również i w tym przypadku pojawiły drobne potknięcia, których wybrane przykłady podano poniżej:

- Nie podano pozycji bibliografii lub informacji, że jest to opracowanie własne Doktoranta, w podpisach rysunków: 3.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7.
- Brak skali odniesienia na rysunkach: 3.6, 5.2, 4.5, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 8,1, 11.29, 11.32, 12.5b, 12.7.
- Strona 11 – brak odwołania w tekście do rys. 2.1 oraz brak przecinka w liście cytowanych publikacji [1, 8, 12, 13].
- Strona 15, wiersze 32-33 – mało precyzyjne, co do wymaganego czasu eksploatacji jest określenie „*zadowolającej użytkowników trwałości*”. Trwałość palet powinna być określona np. sumarycznym czasem eksploatacji lub liczbą cykli do uzyskania katastroficznego ich zużycia.
- Strona 18, wiersz 5 – podawany przedział zawartości węgla powinien być w zakresie $0,3 \div 0,5$ %.
- Strona 23 – mało precyzyjne jest określenie z jakiej głębokości pochodzą obrazy mikrostruktury na rysunku 3.2 a) „*w pobliżu powierzchni*”, b) „*na granicy warstwy nawęglonej i nienawęglonego rdzenia*”.
- Strona 24, rys. 3.4 c – błędnie opisane są węgliki „ M_7C ”, powinno być „ M_7C_3 ”.
- Strona 24, wiersz 1 – zamiast określenia „*stopu*” powinno być bardziej precyzyjne określenie „*staliwa*”.
- Strona 33, rys. 4.2 – powinny być wprowadzone oznaczenia wartości dodatnich „+” i ujemnych „-” dla osi naprężenia.

- Na rys. 5.5 a, b, str. 43 – opisywane odkształcenia warto wskazać odpowiednimi odnośnikami/strzałkami na prezentowanych fotografiach naroży palet.
- Strona 43, wiersz 11 oraz strona 47, wiersz 31 – żargonowo stosowane określenie „*detalami*” powinno być zastąpione „*przedmiotami*”.
- Strona 49, wiersz 12 – podane w tezie pracy słowo „*istotne*” powinno być zastąpione poprzez „*istotnie*”.
- Brak jest wyjaśnienia oznaczeń „*Oz*” (rys. 4.2) oraz „*E_{ai}*” (str. 53) w tekście oraz w wykazie ważniejszych skrótów i oznaczeń.
- W podanych wymiarach próbek (strona 56, wiersz 7), wycinka żebra (strona 80, wiersz 25) prostopadłościennych obszarów wydzielen węglików (strona 80, wiersz 27), żebra pionowego palety (strona 93, wiersz 6), wymiar kosza (strona 93, wiersz ostatni), prostopadłościenny wsad (strona 123, wiersz ostatni) zamiast znaków „x” powinny być znaki mnożenia „×”.
- Strona 59, wiersz 15 – określenie „*chłodzenia olejowego*” lepiej zastąpić „*chłodzenia w oleju*”.
- Strona 60, wiersz 6 – określenie „*chłodzeniu wodnym*” lepiej zastąpić „*chłodzeniu w wodzie*”.
- Strona 70, wiersz 4 – wartość współczynnika rozszerzalności cieplnej powinna być podana z separatorem dziesiętnym w postaci przecinka.
- Strona 72, wiersze 12-14 oraz podpis rys. 10.3 – w powołaniach na rysunki powinny być skróty „rys.” zamiast „Fig.”
- Strona 94, wiersze 5-6 zdanie: „*Następnie jako obciążenie założono nagłą zmianę temperatur z temperatury wynoszącej 900° C do rozkładu uzyskanego dla danego przypadku po czasie t_{max}.*”. Zdanie wymaga stylistycznej korekty.

Wymienione uwagi, głównie redakcyjne, nie wpływają na obniżenie ogólnie pozytywnej oceny opiniowanej rozprawy doktorskiej.

Głównym wkładem Autora rozprawy jest zbudowanie stanowiska badawczego, przeprowadzenie szeregu interesujących i ważnych eksperymentów, opracowanie numerycznych modeli przepływu ciepła przez ścianki palety w kolejnych etapach nagrzewania i chłodzenia w realizowanym procesie cieplnym, a następnie wykorzystanie tych modeli do obliczeń numerycznych rozkładów temperatury. Uzyskane dane dotyczące zmian temperatury w badanych konstrukcjach Doktorant przyjął za podstawę do analizy naprężeń cieplnych wywołanych gradientem temperatury. Uwzględnił również wpływ zmiany mikrostruktury rozwijającej się od powierzchni materiału w warstwie nawęglonej, jak i wpływ warstwy tlenków narastającej w kolejnych cyklach na powierzchni odlewu na powstawanie mikronaprężeń w warstwie wierzchniej odlewu. Taką metodykę obliczeniową Doktorant wykorzystał do modyfikacji rzeczywistej konstrukcji odlewów, wprowadzonych do eksploatacji w warunkach przemysłowych. Na podstawie przeprowadzonych badań określił czynniki sprzyjające powstawaniu trwałych deformacji i pęknięć palet oraz zaproponował konstrukcyjne możliwości zwiększania ich trwałości.

Podsumowanie i wniosek końcowy

Podsumowując, Doktorant wykazał, że poprzez uwzględnienie w analizach numerycznych jednoczesnego oddziaływania różnych źródeł naprężeń można zbliżyć warunki prowadzonych analiz symulacyjnych do warunków jakie występują w trakcie chłodzenia lub nagrzewania rzeczywistych obiektów. Opracowanie tych modeli wymagało od Doktoranta dużej wiedzy związanej z technologią obróbki cieplnej i ciepłno-chemicznej, opanowania również zagadnień z zakresu inżynierii materiałowej, jak i modelowania matematycznego. Przedstawiona do oceny rozprawa oraz obszerny dorobek publikacyjny świadczy o wysokim poziomie naukowym Doktoranta i jednocześnie potwierdza jego gotowość do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Rozprawa cechuje się odpowiednim poziomem merytorycznym, wymaganym w tego typu pracach, a Autor wykazał się biegłością w praktycznym stosowaniu złożonej metodyki badawczej z wykorzystaniem nowoczesnej aparatury oraz oprogramowania do symulacji. Uzyskane wyniki badań własnych są oryginalne, wartościowe poznawczo i mogą mieć również znaczenie aplikacyjne, co zostało również dowiedzione. W mojej opinii przedstawiona praca doktorska zasługuje na pozytywną ocenę merytoryczną i formalną.

Na podstawie dokonanej analizy i sformułowanych ocen stwierdzam, że rozprawa mgr inż. Artura Bajwoluka zatytułowana „*Konstrukcyjno-eksploatacyjne czynniki procesu niszczenia odlewów palet stosowanych w piecach do obróbki cieplnej*” w pełni spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące w tym zakresie przepisy (art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki - Dz. U. z dnia 21.06.2016 r., poz. 882) i może stanowić podstawę do nadania Autorowi stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Może być, zatem dopuszczona do obrony publicznej.

Pancieluk