

dr hab. inż. Jan Jezierski, prof. PŚ
Katedra Odlewnictwa
Wydział Mechaniczny Technologiczny
Politechniki Śląskiej

Gliwice, 22.03.2019

RECENZJA

pracy doktorskiej
Pana mgra inż. Michała Łuszczaka
pt.
„Analiza naprężeń własnych w połączeniu tuleja żeliwna – wysokociśnieniowy odlew bloku silnika”
przedstawionej w dyscyplinie „Metalurgia”

wykonanej pod opieką promotora Pana dra hab. inż. Rafała Dańko, prof. AGH,
oraz promotora pomocniczego dra inż. Pawła Malinowskiego,
opracowana na zlecenie
Rady Wydziału Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej
(pismo dr hab. inż. Rafała Dańko, Dziekana Wydziału z dnia 05.02.2019r.)

1. Ocena ważności i zasadności podjętej tematyki badawczej

Odlewnictwo wysokociśnieniowe jest bez wątpienia jedną z najprężniej rozwijających się technologii odlewniczych. Dotyczy to przede wszystkim sfery przemysłowej, w której niemal pełna automatyzacja i robotyzacja (w dużych, wielkoseryjnych zakładach) doprowadziła do sytuacji, że w wielu miejscach odlewni próżno już szukać pracowników produkcyjnych. Jednak, aby sprostać rosnącym i niezwykle wygórowanym oczekiwaniom klientów (głównie z branży motoryzacyjnej) konieczny jest także ciągły i szybki rozwój naukowego zaplecza wiedzy i prowadzenie badań użytkowych, realizowanych w pełnej współpracy wiodących zakładów produkcyjnych i jednostek naukowo-dydaktycznych. Recenzowana rozprawa doktorska wpisuje się w ten nurt bardzo dobrze, ponieważ podjęte w niej zagadnienie analizy naprężeń własnych w odlewie wysokociśnieniowym z wtapieniami tulejami żeliwnymi (tzw. „wtopkami”) jest niezwykle interesujące zarówno dla praktyków przemysłowych jak i naukowców, badających zjawiska towarzyszące procesom powstawania odlewów, wytwarzanych w technologii ciśnieniowej. Należy również dodać, że wiele procesów zachodzących podczas ciśnieniowego wypełniania wnęki formy, krystalizacji i krzepnięcia, czy nawet niezwykle złożony problem porowatości z pochwyconego powietrza czy rozpuszczonego w stopie wodoru, było i jest obiektem licznych badań a co za tym idzie, posiada już dość obszerną bazę literaturową.

Nie znaczy to oczywiście, że zostały one całkowicie poznane i rozwiązane bo ciągle skrywają wiele tajemnic godnych eksploracji. Natomiast problem podjęty przez Doktoranta jest bardzo mało widoczny zarówno w krajowej jak i zagranicznej literaturze, a stanowi nie tylko wyzwanie o naukowym charakterze, ale także istotny problem praktyczny. Jak wskazują analizy występowania wad układów typu odlew-wtopka, są one istotne z punktu widzenia celów jakościowych odlewni, ale także potencjalnie bardzo niebezpieczne dla użytkownika końcowego. Uważam także, że jednym z powodów, dla których problem ten jest bardzo słabo widoczny w publikacjach jest jego złożoność i multidyscyplinarność, co powoduje, że podjęcie go przez Autora jest tym bardziej godne uznania.

Podsumowując uważam, że tematyka naprężeń w układach odlew bloku silnika-żeliwna tuleja jest niezwykle ważna a jej podjęcie bezsprzecznie zasadne.

Praca reprezentuje dyscyplinę „Metalurgia” i wpisuje się moim zdaniem dobrze w ogólne międzynarodowe jej rozumienie, które mocno podkreśla zjawiska zachodzące podczas zmiany stanów skupienia, własności otrzymywanych stopów oraz wytwarzanych wyrobów (w tym przypadku odlewów) i obejmuje także szerokie spektrum metod i technik badawczych.

2. Układ pracy i dobór źródeł literaturowych

Praca składa się z 7 numerowanych rozdziałów i napisana jest na 122 numerowanych stronach, w typowym dla rozpraw doktorskich układzie, czyli można podzielić ją na część pierwszą, stanowiącą przegląd literatury, oraz drugą, stanowiącą opis badań własnych i uzyskanych wyników. Jednak ponieważ tezy, cel i zakres pracy zostały przedstawione już w rozdziale 2, zaraz po historii firmy, trudno od początku znaleźć ten wyraźny rozdział części literaturowej i badawczej. Ostatecznie można przyjąć, że przegląd literatury zawarty jest na ok. 80 stronach, co przy liczbie 122 stron (wraz z wykazem publikacji i załącznikami) zaburza moim zdaniem typowe dla rozpraw doktorskich proporcje. Niektóre rozdziały, zwłaszcza pierwszy, który stanowi opis firmy Nemark, jej rozwoju i potencjału mimo, że ciekawy, nie wnosi tak naprawdę zbyt wiele do merytorycznej wartości pracy. Z kolei rozdział 4 jest w znacznym stopniu niemal marketingowym opisem możliwości oprogramowania symulacyjnego stosowanego w badaniach własnych Autora i uważam, że bez straty dla rozprawy można by go było znacznie skrócić.

Po spisie rysunków i tabel, które moim zdaniem są niepotrzebne lub ewentualnie powinny znaleźć się na końcu pracy, znajduje się spis akronimów. Sam pomysł jego umieszczenia w sytuacji gdy w odlewnictwie ciśnieniowym funkcjonuje ich wiele, uważam za bardzo dobry i w założeniu powinien on potem znacznie ułatwić poruszanie się w gąszczu, często żargonowych i ograniczonych do środowiska odlewni Nemark nazw i zwrotów. Jednak potem w pracy Autor i tak używa wciąż pełnych nazw a często wspólnie z nimi akronimów co wzbudza wątpliwości co do zasadności ww. spisu. Ponadto, wielu użytych w tekście

akronimów nie można znaleźć w ich spisie np.: *PHEV*, *HEV*, *DMC*, *NORIS*, *EV* i in. Co więcej, w spisie i potem tekście jest wiele błędów i nieścisłości np.:

- „*FDM Finite Difference Method*” por. w tekście na str. 20 „*FED*”;
- „*LFC Lost-foam Casting – Technologia Traczonego Rdzenia*”; chodziło raczej o model;
- „*SPM Semi-permanent Casting*” – Odlewanie w Formie Trwałej; chodziło raczej o półtrwałą i in.

Praca zawiera także dodatek zawierający wybrane wyniki pomiarów i kończy się wykazem literatury. Doktorant wykorzystał 70 pozycji literaturowych co w przypadku pracy doktorskiej jest moim zdaniem liczbą wystarczającą. Jednak pewien niedosyt budzi rodzaj i idąca za nim wartość merytoryczna niektórych źródeł i tak:

- 8 pozycji są to cytowania Wikipedii oraz podobnych portali, których wadą jest niepewność treści,
- 12 pozycji zawiera treści ogólne dotyczące firmy Nematik, lub jest opracowaniami wykonanymi na jej zlecenie (tylko w jednym Autor jest współautorem),
- 10 pozycji stanowi różnego rodzaju opisy oprogramowania symulacyjnego, w tym typowe komercyjne materiały marketingowe, czy instrukcje obsługi,
- 6 pozycji są to typowe materiały promocyjne firm komercyjnych,
- 5 pozycji są to inne źródła internetowe,
- zaledwie 20 pozycji stanowią najcenniejsze i najbardziej właściwie moim zdaniem pozycje, czyli książki, artykuły naukowe i referaty konferencyjne.

Tak dobrane źródła powodują niestety, że przegląd literatury mimo, że ciekawy nie prowadzi wprost do celu, jakim powinno być wyraźne wskazanie zasadności i ważności tematyki (które są moim zdaniem bezdyskusyjne) oraz sformułowanie tez rozprawy.

3. Tezy i cele pracy

Jak wspomniałem wcześniej, tezy, cel i zakres pracy zostały moim zdaniem wprowadzone zbyt wcześnie, ponieważ powinny wynikać bezpośrednio z podsumowania i wniosków płynących z przeglądu aktualnego stanu wiedzy. O ile chodzi o tezy, to wszystkie trzy uważam za właściwe i jasno sformułowane, choć pierwsza z nich, dotycząca powstawania pola naprężenia szczątkowego wydaje się dość oczywista. Lektura pracy prowadzi także do wniosku, że fragment tezy nr 2 mówiący o: „...*różnych niepożądanych wadach odlewniczych i funkcjonalnych*” nie jest do końca poparty zakresem przeprowadzonych badań. Wątpliwości budzi natomiast sformułowanie celu pracy, którym wg Autora jest: „...*analiza wysokociśnieniowego odlewania ze stopów Al bloków silników samochodowych*...”. Fragment ten jest moim zdaniem opisem zakresu pracy, w którym wspomniana analiza jest raczej narzędziem do osiągnięcia celu, którym moim zdaniem jest: „...*opracowanie metodologii analizy stanu naprężenia szczątkowego w bloku silnika*...” opisane w końcowym akapicie str. 19. Abstrahując od tych niewielkich błędów metodologicznych uważam, że cel pracy został

osiągnięty, choć opisane badania i ich wyniki nie potwierdziły w pełni tezy nr 2 w fragmencie mówiącym o różnorodnych wadach odlewniczych i funkcjonalnych, ponieważ wśród tych pierwszych skupiono się jedynie na wadach skurczowych. Pewne wątpliwości budzi też jednoznaczne stwierdzenie w podsumowaniu realizacji eksperymentów potwierdzających tezę 3 o zgodności wyników symulacji komputerowych i pomiarów wykonanych metodą otworkową. Jak Autor sam wskazuje na str. 96 – wyniki symulacji numerycznych są poprawne ilościowo zaledwie „...co do rzędu wielkości” i dalej w dyskusji wyników na str. 107, popartej rysunkami 77-82 wykazuje wartości odchyłeń standardowych dla niektórych punktów pomiarowych na poziomie kilkudziesięciu procent. **Mimo tych wątpliwości uważam, że cele pracy zostały osiągnięte a tezy wystarczająco udowodnione.**

4. Ocena stosowanej metodologii, opisu badań własnych oraz dyskusji wyników

W pierwszym rozdziale recenzji nadmieniałem jak złożonym zagadnieniem jest problem powstawania naprężeń szczątkowych w układzie odlew bloku silnika-tuleja żeliwna a co za tym idzie, dla jego analizy konieczne jest nie tylko użycie wielu metod eksperymentalnych, ale też posiadanie gruntownej wiedzy, zarówno w obszarze metalurgii i odlewnictwa jak i wytrzymałości materiałów i metod numerycznych. W tym aspekcie rozprawę doktorską oceniam dobrze i stwierdzam, że Doktorant wykazał się dobrym warsztatem badawczym oraz wystarczającą do jego właściwego zastosowania wiedzą, co pozwoliło mu na uzyskanie wartościowych i ciekawych wyników.

Niestety, Autor nie ustrzegł się wielu błędów i niedociągnięć, które obniżają ogólną pozytywną ocenę rozprawy w tym aspekcie. Najważniejszym z nich jest powierzchowność niektórych opisów i analiz i umieszczenie w pracy w wielu przypadkach zaledwie przykładowych (do tego nie zawsze właściwie wybranych) wyników badań, zamiast ich zestawu, czy serii, pokazujących charakter opisywanych zjawisk. Dotyczy to m.in.:

- rysunków 54-58 i 61 – które pokazują zaledwie przykładowe wyniki symulacji, badań RTG odlewów czy też wymiarów przerw pomiędzy tuleją a blokiem,
- rysunków 72-75, które pokazują wykresy wartości naprężeń jedynie dla jednego, wybranego bloku.

Ponadto znaczna część wyników przedstawionych w postaci graficznej jest tak opracowana, że ich percepcja i interpretacja wymaga nie tylko dogłębnej znajomości zagadnienia ale i dużej determinacji dla porównania często niemal nieczytelnych rysunków i wykresów z odpowiednimi fragmentami tekstu rozprawy. Dotyczy to m.in.:

- rysunku 52 – podziałka i wyniki pomiarów niemal nieczytelne,
- rysunków 54, 55 – słaba czytelność wyników symulacji,
- rysunku 60 – zupełnie niewidoczne wartości naniesionych wyników pomiarów,
- rysunków 72-75 – zupełnie niewidoczne opisy osi, tytuły i wartości liczbowe.

Doktorant stosuje też w różnych miejscach często niespójne nazewnictwo i oznaczenia niektórych wielkości, parametrów czy zmiennych, co również utrudnia analizę i zrozumienie przedstawianych wyników. Najbardziej wyraźnymi przejawami takich błędów są:

- 4 różne rodzaje naprężeń opisane na str. 103, które w tabeli na str. 106 opisane zostały przez 3 inne (dodatkowo w języku angielskim), z których jedno, mianowicie naprężenie zredukowane nie odpowiada wprost żadnemu z wcześniej wymienionych,
- w pracy zapisano: „*dwa odlewy bloku A*” (str. 90), „*kilkudziesięciu bloków*” (str. 85), „*odlany blok został pocięty*” (str. 87), „*badania kilkunastu bloków*” (str. 90), „*cztery odlewy bloku silnika A*” (str. 101) itd. Dodatkowo pojawiają się oznaczenia blok 1 i blok A1 itd., w „Dodatku” są z kolei na str. 114-118 wyniki dla trzech bloków (mimo, że w pracy podano na str. 103, że „*umieszczono pełne wyniki dla wszystkich czterech*”). Te i inne podobne sformułowania wprowadziły niestety do pracy duży chaos informacyjny i trudno jest stwierdzić, na jakiej liczbie odlewów prowadzono poszczególne badania.

Wątpliwości pojawiają się także podczas analizy wyników, które w rozprawie przedstawione są w formie rysunków, zdjęć czy też tabel opatrzonych odnośnikami do literatury. Nie byłoby w tym nic niepokojącego gdyby nie fakt, że spośród pozycji [65-70], których to dotyczy, Doktorant jedynie w jednej z nich – poz. [69] jest autorem. Wyniki, o których mowa są przedstawione m.in. na: rysunkach 59, 60, 64-67, 70-75. Uważam, że koniecznym jest, aby Autor wyjaśnił swój udział w projektach i opracowaniach, będących ich efektami, które następnie zostały przedstawione jako Jego autorskie (lub co najmniej współautorskie) badania.

5. Strona edycyjna pracy oraz poprawność językowa i stylistyczna

Praca napisana jest ogólnie dobrze, poprawnym i zrozumiałym językiem, jej lektura jest interesująca a poszczególne rozdziały ułożone są w takiej kolejności, że tworzą spójną i logiczną całość. Autor nie ustrzegł się jednak stosunkowo dużej liczby błędów różnej natury i wagi w tym wielu tzw. „literówek”. Sugeruje to pewien pośpiech w opracowywaniu zwłaszcza niektórych rozdziałów. Doktorant używa także zbyt często żargonu technicznego i firmowego, co oczywiście jest zrozumiałe, biorąc pod uwagę jego środowisko zawodowe, ale w rozprawie doktorskiej powinno wystrzegać się takich sformułowań jak np.: „*zaczyszczanie*”, „*JetCoole*”, „*squeeze piny*”, „*twardych danych*”, „*na odlewni*” itp. Niestety w pracy jest także wiele sprzecznych ze sobą informacji odnoszących się do tych samych wielkości, czy procesów np.:

- str. 53, linia 9 od dołu „*temperatur od 150°C do 240°C*” por. str. 43, gdzie jest „*180°C do 220°C*”,
- str. 25, linia 12 od dołu „*traconego modelu*” (dobrze) w spisie akronimów „*traconego rdzenia*” (błędnie) i in.

Firma Nemak jest koncernem międzynarodowym, w którym językiem codziennej pracy kadry inżynierskiej na równi z językiem polskim jest język angielski. Widać to także w opiniowanej pracy, w której mnóstwo jest informacji anglojęzycznych, żargonowych spolszczeń oraz pomieszanych zwrotów polsko-angielskich. W rozprawie doktorskiej, która przedstawiana jest w języku polskim takie podejście jest niewłaściwe i wtrącenia takie powinno się ograniczać do niezbędnego minimum, gdy brak jest polskich odpowiedników. Przykładami wspomnianych niedociągnięć są m.in.: rysunek 2, 10, 13, 14, 16, 58 oraz 76, (który właściwie jest tabelą).

Niestaranny jest także zapis niektórych nazw własnych w języku angielskim, włoskim czy niemieckim, przy których powinno się zawsze zachować szczególną staranność np.:

- str. 6, jest „*Triluzi*” powinno być „*Triulzi*”
- str. 18 jest „*Politecnicio*” powinno być „*Politecnico*”
- str. 28 jest „*KS Aluminium Technologie*” (dobrze) a potem niżej „*KS Aluminium Technology*” (błędnie)
- str. 65 jest „*ABBAQUS*” powinno być „*ABAQUS*” i in.

Studiowanie wyników pracy komplikuje też trudny do zrozumienia układ, w którym grafiki różnego rodzaju umieszczone są bardzo często kilka stron wcześniej lub później niż odwołanie do nich w tekście. Dotyczy to kilkudziesięciu procent grafik a najbardziej wyrazistymi przykładami takiego postępowania są:

- tabela 7, zacytowana na str. 49 a umieszczona na str. 67,
- rysunek 8 cytowany na str. 14 a umieszczony na str. 16,
- dwie strony rysunków 91 i 92 rozdzielają zdanie, które zaczyna się na str. 90 a kończy na str. 93 itp.

6. Uwagi krytyczne o charakterze merytorycznym do dyskusji

Recenzowana praca posiada niewątpliwie istotne walory poznawcze i użytkowe i stanowi wartościowy wkład Autora w obszar analizy zjawisk występujących w procesie wytwarzania wysokociśnieniowych odlewów bloków silników ze stopów aluminium z wtapieniami żeliwnymi tulejami. Jego oryginalnym wkładem jest m.in. udana próba połączenia narzędzi symulacyjnych oraz niszczących eksperymentów, prowadzonych metodami cięcia i otworkową. Mimo pewnych wątpliwości wskazywanych wcześniej oceniam, że stworzył On podwaliny pod metodykę badań wartości naprężeń szczytkowych w analizowanych układach odlew-wtopka. Lektura rozprawy wzbudza jednak pewne wątpliwości i prowokuje pytania, z których najważniejsze zestawilem poniżej. Oczekuję od Doktoranta udzielenia na nie pisemnych odpowiedzi:

- jaki był ostateczny zakres badań (liczba badanych bloków silników) o czym wspominałem w pkt 4 opinii?
- jakiego rodzaju wady odlewnicze i funkcjonalne są efektem „*niehomogenicznego pola naprężeń własnych*” o czym wspomniano w tezie 2 (pkt 3 opinii),

- jak można krótko opisać „*metodologię analizy naprężenia szczątkowego w odlewach bloków silnika*”, ponieważ w pracy brakuje takiego jednoznacznego opisu a występują jedynie wyniki badań z użyciem istniejących już metod?
- rysunek 52 przedstawia różne typy przerwy pomiędzy blokiem i tuleją wraz z nieczytelnymi niestety wynikami pomiarów. Brak jest jednak jakiegokolwiek informacji na temat zakresu szerokości szczeliny, najlepszej z punktu widzenia jakości połączenia. Proszę o wyjaśnienie.
- podobna sytuacja występuje dla wyliczonych i zmierzonych wartości naprężeń szczątkowych. Proszę o komentarz, jakie wartości i rodzaje tych naprężeń są najkorzystniejsze i czy zależy to od rodzaju użytych tulei?
- jaki jest (o ile jest możliwy do sformułowania) wniosek końcowy mówiący o tym, który typ tulei jest najkorzystniejszy w rozwiązaniach stosowanych w odlewach bloków silników? Fragmenty pracy, porównujące osiągnięte dla nich wyniki (por. str. 90 i 98) są dość zawile i nie dają na to pytanie jednoznacznej odpowiedzi, a nawet są ze sobą w części sprzeczne.
- na str. 101 wspomniano, że: „*Podczas pomiarów zarejestrowano wpływ nie tylko takich parametrów jak...ale także kolejności wykonywania cięć, czy prędkości posuwu pily*”. W pracy niestety brak dowodów to potwierdzających – proszę o komentarz.
- dlaczego w pracy w tabeli na str. 106 nie ujęto wyników symulacji wartości naprężeń z programu Magma? Program ten jak wynika z treści rozprawy był szeroko stosowany w pracach badawczych.
- na str. 107 Doktorant bardzo rzetelnie informuje, że jednym z problemów w pomiarach tensometrycznych jest zapewnienia powtarzalnego mocowania tensometrów. Jak duży w ocenie Autora był ten wpływ na tak znaczne rozrzuty wyników i czy nie należało w takim przypadku znacznie zwiększyć liczebności próbek?
- proszę o wyjaśnienie wkładu Autora w powstanie opracowań i raportów cytowanych w pozycjach [65-68, 70].

7. Podsumowanie i wniosek końcowy

Pomimo pewnych i nieco zbyt licznych niedociągnięć edycyjnych, wątpliwości i uwag krytycznych, recenzowaną rozprawę oceniam pozytywnie i uważam, że jest ona wartościowa przede wszystkim ze względu na nowatorskie podejście do zagadnienia analizy naprężeń szczątkowych w układzie odlew-wtopka. Uznaję, że największym walorem pracy jest zastosowanie oryginalnego połączenia narzędzi komputerowej symulacji oraz badań metodami cięcia i otworkową, co pozwala na kompleksową ocenę badanych zjawisk. Stwierdzam także, że Doktorant wykazał się umiejętnością opracowania krytycznego przeglądu literatury i na jego podstawie sformułował poprawne tezy, które następnie udowodnił w odpowiednio zaplanowanym i zrealizowanym eksperymencie.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że praca doktorska Pana mgra inż. Michała Łuszczaka pt. „Analiza naprężeń własnych w połączeniu tuleja żeliwna – wysokociśnieniowy odlew bloku silnika” spełnia wymagania stawiane przez Ustawę z dnia 18 marca 2011 r. o zmianie ustawy - Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw wobec czego wnioskuję do Rady Wydziału Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej o dopuszczenie Kandydata do publicznej obrony.

