

dr hab. inż. Jacek Pezda, prof. UBB
Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji
Wydział Budowy Maszyn i Informatyki
Uniwersytet Bielsko-Bialski

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Mariusza Hejne

Wpływ zmiany konstrukcji formy wtryskowej i związanych z tym parametrów technologicznych na porowatość odlewów ciśnieniowych ze stopu EN AB-46000

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Jarosław Piątkowski, prof. PŚ

Recenzję opracowano na podstawie zlecenia Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej, prof. dr hab. inż. Marii Sozańskiej z dnia 25.09.2023 r.

Część jawna recenzji

1. Wprowadzenie, formalna ocena rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Mariusza liczy 162 strony maszynopisu formatu A4. Składa się z wprowadzenia, pięciu rozdziałów w układzie: przegląd literatury, badania wstępne, koncepcja rozprawy, badania zasadnicze, analiza uzyskanych wyników badań oraz podsumowanie, wnioski i zalecenia technologiczne. Na końcu rozprawy umieszczono bibliografię zawierającą 113 pozycji, dwa załączniki (w tym wniosek o utajnienie rozprawy doktorskiej) oraz streszczenie w języku polskim i angielskim.

Rozprawa jest związana z tematyką technologii odlewania ciśnieniowego w aspekcie wpływu zmiany konstrukcji formy odlewniczej oraz doboru parametrów procesu odlewania ciśnieniowego na porowatość odlewu pokrywy głowicy silnika wykonanej ze stopu EN AC-46000 (AlSi9Cu3(Fe)). Praca doktorska jest rozpatrywana jako osiągnięcie w dyscyplinie naukowej Inżynieria Materiałowa. Należy podkreślić, że rozprawa ma charakter wdrożeniowy, przyczyniając się bezpośrednio do rozwoju technologii odlewania odpowiedzialnych części w firmie Magna Casting Poland sp. z o.o., usprawnienia procesów produkcji oraz poprawy jakości odlewów.

We wprowadzeniu autor wyjaśnił, dlaczego wybrał ten temat rozprawy, przedstawił jej znaczenie jako istotne i aktualne, syntetycznie opisał istniejące problemy oraz proponowany sposób ich rozwiązania.

W rozdziale pierwszym stanowiącym przegląd aktualnego stanu wiedzy autor na bazie analizy literatury dokonał na wstępie ogólnej charakterystyki odlewniczych stopów Al-Si z różnymi dodatkami. Przedstawił teoretyczne podstawy procesu modyfikacji (tylko chemicznej), powodującej uzyskanie korzystnej struktury stopów, które cechując się dobrymi właściwościami mechanicznymi oraz technologicznymi znajdują szerokie zastosowanie w motoryzacji na średnio obciążone odlewy części silnikowych jak również elementy karoserii. W dalszej części rozdziału Doktorant przedstawił w bardzo ogólny sposób zagadnienie odlewania ciśnieniowego i zjawisko okluzji gazowej skupiając się głównie na porowatości w odlewach oraz wpływie zabiegów metalurgicznych i parametrów procesu odlewania na intensywność jej powstawania. Autor nawiązał również do symulacji komputerowych w procesach odlewania uzasadniając konieczność ich stosowania w procesach przygotowania produkcji i jej modyfikacji dzięki możliwości jakie dają one w zakresie wizualizacji procesów, a co za tym idzie przewidywania wad odlewów. W podsumowaniu rozdziału Doktorant odnosząc się do przedstawionych zagadnień, rozwija tematykę porowatości odlewów ciśnieniowych z uwzględnieniem miarodajnych sposobów jej pomiaru.

Rozdział opracowano z należytą starannością, jednak należy zwrócić uwagę na występujące w nim błędy edytorskie i merytoryczne. Przykładowo:

- str. 4 - ... *zapewniającej duży uzysk. Zalety te niestety wymagają dużego kosztu oprzyrządowania*, - Autor nie określił czego dotyczy duży uzysk. Zalety wymagają kosztu oprzyrządowania?,
- ... *odlewy o najlepszej jakości metalurgicznej*, - Określenie jakości metalurgiczna nie dotyczy odlewów tylko stopów,
- str. 10 - ... *jest w ostatnich latach intensywnie badane - tabela 1.1 [11, 13]*. - Przywołane publikacje są z lat 80-tych,
- str. 16 - ... *wtryskiwaniu do stalowej formy ciekłego metalu pod wpływem dużej prędkości*, - Powinno być wtlaczaniu do formy pod wpływem wysokiego ciśnienia,
- str. 21 - *Porowatość gazowa występująca w odlewie w przypadku jej ujawnienia drogą obróbki ubytkowej, powoduje znaczne obniżenie właściwości mechanicznych*,... - Czy tylko w przypadku jej ujawnienia powoduje obniżenie właściwości mechanicznych?
- str. 22 - *Nowe i rozwijające się odlewnie planują symulację odlewania jako główny obiekt, wchodzący w skład infrastruktury przedsiębiorstwa*, - Czy symulacja jest obiektem infrastruktury?
- *Odlewnie ... wymagają własnych urządzeń do symulacji odlewów, najlepiej po jednym dla każdej odlewni*. – Jakie urządzenie ma Autor na myśli? Dlaczego najlepiej po jednym dla odlewni?
- .. *Niedawne badania przeprowadzone w 215 odlewniach w Indiach [70]* – pozycja literaturowa odnosząca się do tego stwierdzenia pochodzi z 2010 roku,
- str. 24 - opisane w pkt 1.3.1. etapy projektowania symulacji dotyczą tylko jednego etapu, mianowicie etapu zbierania danych,

- ... formacie STL (format 3D uzyskany metodą stereolitografii) –format „.stl” nie został uzyskany metodą stereolitografii, tylko wykorzystany w tej metodzie,
 - str. 25 - ...*położenie elementów układu zlewowego*, - Co to jest układ zlewowy?
 - str. 38 - ... *Dzięki precyzyjnym rozmiarom części odlewanych ciśnieniowo, ich powierzchnia jest gładka i czysta.* – Czy rozmiar decyduje o jakości powierzchni i jej czystości?
 - str. 41 - *Jak wykazano w przeglądzie literatury, w Polsce ok. 70% wszystkich odlewów ze stopów aluminium i prawie 90% ze stopów magnezu i cynku wykonuje się ciśnieniowo* – Nie znajduję odniesienia do tej informacji w tekście tego rozdziału.
- Również częściowo literatura przywołana w tym rozdziale nie odpowiada odnoszącej się do niej treści: [2,22] str. 7; [29] str. 9; [60] str. 14; [65] str. 16; [68,69] str. 21; [70-72] str. 26; [91] str. 30; [81] str. 31. Pozycje 94 i 95 nie są przywołane w tekście rozprawy.

Rozdział drugi związany jest z badaniami wstępnymi przeprowadzonymi przez Doktoranta. W tym przypadku ze względu na praktyczne zainteresowanie Autora rozprawy zagadnieniami przemysłu odlewniczego i maszyn ciśnieniowych o różnym zaawansowaniu techniczno-technologicznym, ich zespołów funkcjonalnych oraz wpływu parametrów HPDC na wady wybranych odlewów ze stopów Al-Si, w szczególności porowatości stopu, rozdział ten koncentruje się na charakterystyce stopu EN AB-46000 przeznaczonego do odlewania ciśnieniowego z uwzględnieniem:

- analizy przebiegu procesu krystalizacji (ATD) oraz mikrostruktury stopu,
- opisu obiektu badań (odlew głowicy silnika spalinowego) zawierającego przebieg procesu technologicznego wykonania odlewu w spółce MCP Kędzierzyn-Koźle,
- działań prowadzonych w zakresie kontroli jakości odlewu.

Ponadto Autor dokonuje klasyfikacji oraz charakteryzuje wady występujące w odlewach produkowanych w spółce MCP, przyporządkowując do każdej z nich działania zapobiegawcze opracowane pod Jego przewodnictwem.

Istotną częścią tego rozdziału są działania naprawcze zaproponowane przez Autora w obszarze konstrukcji formy odlewniczej oraz optymalizacji parametrów odlewania, wynikające z ograniczeń narzucanych spółce przez klientów, niepozwalających na ingerencję w kształt odlewu oraz rodzaj materiału z którego jest wykonany. Biorąc pod uwagę wymagania jakościowe stawiane odlewanej części Doktorant przeprowadził analizę wskazującą na porowatość jako główną wadę odlewniczą, a co za tym idzie główną przyczynę reklamacji i braków.

Kolejnym elementem jest symulacja komputerowa procesu odlewania przeprowadzona dla układu zasilania odlewu przed jego modyfikacją, która wskazała na konieczność wprowadzenia zmian wynikających z zbyt szybkiego krzepnięcia stopu w układzie wlewowym, które utrudnia etap doprasowania stopu w formie odlewniczej. Przedstawiono również wpływ temperatury wnętrza formy i

nieodpowiedniej ewakuacji powietrza na porowatość odlewu głowicy w kilku wrażliwych miejscach. Autor odniósł się również do pomiaru szczelności i porowatości pokrywy głowicy silnikowej w firmie MCP Kędzierzyn-Koźle oraz jej bezpośredniemu powiązaniu z normą ASTM E 505.

W tym rozdziale również występuje szereg błędów edycyjnych i merytorycznych. Przykładowo:

- str. 45 - ... *wybór stopu EN AB-4600 – EN AlSi9Cu3(Fe)...*, W jaki sposób wybrano stop skoro był narzucony przez klienta?,
- str. 46 – Rysunki 2.3 (e, f) – nieczytelne,
- str. 49 – Rysunek 2.7 (a) – nieczytelny,
- str. 59 - ... *prędkość zalewania szczeliny wlewowej wynosi ok 30-40 m/s* – Szczelina nie jest zalewana, a prędkość dotyczy przepływającego przez nią stopu.
- str. 65 – Rysunek 2.25 a nieczytelny,
- str. 71 - ... *powierzchniach odlewów poddanych obróbce cieplnej*. – Według autora (poprzedni rozdział) takie odlewy nie podlegają obróbce cieplnej.
- str. 77. - .. *w procesie CNC* – Jaki to proces?
- .. *na bazach obróbczych przyrządu CNC*. – Co to jest przyrząd CNC?
- str. 78 - ... *układu dolotowego formy*. - To nazewnictwo pojawia się wielokrotnie w pracy. Czego on dokładnie dotyczy?,
- str. 79 – Rys. 2.42a – Jak to jest możliwe, że forma wypełniona została podczas 1 fazy procesu? Praktycznie już w trakcie jej trwania wlewy w obszarze szczeliny wlewowej są zakrzepnięte. To są fazy krystalizacji stopu po całkowitym wypełnieniu formy.
- str. 86 – ... *zapewnieniem odpowiedniej klasy porowatości gazowej w formach odlewniczych, stosuje się...*- Porowatość dotyczy odlewów a nie form,
- str. 88 - .. *wyznaczenie ciężaru próbki na wyświetlaczu*. – Powinno być odczytanie masy próbki,
- ..*porowatości gazowej o grubości* - Ten podział dotyczy grubości ścianki odlewu według normy ASTM E505.

W rozdziale 3 Doktorant przedstawił koncepcję rozprawy doktorskiej opierającą się na zasadniczym celu badań jakim był dobór parametrów odlewania ciśnieniowego, które po zmianie geometrii układu zasilania zmniejszą porowatość odlewu pokrywy głowicy silnika oraz celu praktycznym jakim było ograniczenia udziału wadliwych wyrobów w trakcie jego odlewania.

Ponadto przedstawił zakres badań, jego techniczny sposób realizacji, stanowisko badawcze (maszynę ciśnieniową o odpowiedniej sile zwarcia z jej danymi technicznymi) oraz plan badań uwzględniający miejsca i sposób pomiaru porowatości w odlewie oraz dobór parametrów odlewania po modyfikacji układu wlewowego.

Rozdział czwarty dotyczy badań zasadniczych wykonanych przez Doktoranta w firmie MCP Kędzierzyn-Koźle. W ich zakres wchodzi modyfikacja układu wlewowego odlewu pokrywy głowicy na bazie wykonanych symulacji komputerowych procesu zalewania formy w programie Magma. Wyniki symulacji komputerowej w zakresie prędkości zalewania formy, czasu krzepnięcia odlewu, ewakuacji

powietrza oraz rozmieszczenia porowatości w odlewie umożliwiły Autorowi potwierdzenie pozytywnego wpływu przeprowadzonej modyfikacji układu zasilania odlewu na przebieg procesu jego krzepnięcia. W dalszej części badań Doktorant na bazie przyjętego planu badań dla dwóch zmiennych na trzech poziomach dobrał najlepszy wariant procesu zalewania formy z punktu widzenia ograniczenia porowatości odlewu. Dla poszczególnych układów planu badań przeprowadzono badania RTG oraz mikrostrukturalną analizę porowatości wspomaganą komputerowym programem (MeTilo) do analizy obrazu przy uwzględnieniu wymagań normy ASTM E505.

Wprowadzone przez Autora zmiany poparto wskaźnikami sprzedaży uwzględniającymi okres lat 2019-2021 przed zmianami oraz 2021-2023 po zmianach.

W rozdziale piątym Doktorant dokonał analizy wyników badań wstępnych i zasadniczych związanych z modyfikacją układu zasilania odlewu oraz parametrami procesu odlewania pokrywy głowicy silnika wykonanej ze stopu EN AB-46000 metodą odlewania ciśnieniowego. Przeanalizowany został ponownie udział głównych wad odlewu i zaproponowana w rozprawie alternatywna ocena porowatości odlewu oraz wskaźniki sprzedażowe przed i po wdrożonych zmianach.

Rozdział 6 to wnioski, które Doktorant sformułował na podstawie uzyskanych wyników badań oraz i zalecenia technologiczne procesu odlewania pokrywy głowicy silnikowej ze stopu EN AB46000.

Ze względu na utajnienie pracy, uwagi dotyczące powyższych rozdziałów przedstawiono w części niejawnej recenzji.

2. Ocena merytoryczna pracy

Tematyka rozprawy doktorskiej mgra inż. Mariusza Hejne dotyczy zagadnienia odlewania ciśnieniowego pokrywy głowicy silnika w aspekcie ograniczenia porowatości w miejscach krytycznych odlewu. Duża ilość parametrów odlewania ciśnieniowego oraz ich zakres wymagały wiedzy praktycznej, którą wykazał się Doktorant. Podejście bazujące na zmianie geometrii układu zasilania w połączeniu z parametrami procesowymi drugiej i trzeciej fazy odlewania ciśnieniowego umożliwiło uzyskania znaczącej poprawy jakości odlewanej części.

Liczne publikacje z zakresu odlewania ciśnieniowego zawierają szereg informacji związanych z wybranymi parametrami technologicznymi takimi jak między innymi ciśnienia i prędkości w poszczególnych fazach wtlaczania stopu do formy odlewniczej i ich wpływem na właściwości odlewów, jednak w dalszym ciągu istniejący stan niewiedzy w tym zakresie jest niepełny, determinując konieczność tego typu badań z uwagi na ciągle rosnące wymagania jakościowe stawiane odlewanym częściom maszyn. Zawarte w rozprawie zagadnienia pozwoliły w sposób aplikacyjny rozwiązać problem badawczy jakim było ograniczenie porowatości odlewów pokrywy głowicy silnika wykonanej ze stopu

EN AB-46000 technologią odlewania ciśnieniowego w firmie MCP Kędzierzyn-Koźle. Należy również zwrócić uwagę, że ograniczenie porowatości stanowi istotny element wpływający na poprawę efektywności produkcyjnej, co przekłada się bezpośrednio na funkcjonowanie odlewni i jej wpływ na środowisko.

Przedstawione w rozdziale pierwszym informacje wprowadzające czytelnika w zagadnienia związane z odlewniczymi stopami aluminium i procesami metalurgicznymi mającymi na celu poprawę ich właściwości są na poprawnym poziomie. Natomiast sam proces odlewania ciśnieniowego oraz bardzo istotne zjawisko okluzji gazowej wpływające bezpośrednio na porowatość zastały moim zdaniem przedstawione dosyć pobieżnie, biorąc pod uwagę tematykę rozprawy. W żadnym miejscu wprowadzenia nie ma informacji na temat przebiegu procesu odlewania ciśnieniowego oraz funkcjach jakie pełnią główne podzespoły maszyny ciśnieniowej. Autor nie wspomina również o systemach prasowania takich jak np. Parashot czy Acurad ograniczając się tylko do systemu z multiplikacją (doprasowaniem) w części badawczej, co wynika z typu maszyny zastosowanej w badaniach. Opisanie kilku programów komputerowych wprowadza w zagadnienie ich wykorzystania do symulacji procesów odlewania, jednakże nie powinno być oparte praktycznie na jednej publikacji ([70]). Również część podsumowania dotycząca porowatości powinna znaleźć się w punkcie 1.4 rozprawy.

Ocenę merytoryczną kolejnych rozdziałów dysertacji przedstawiono w części niejawniej recenzji ze względu na utajnienie pracy.

Podsumowanie

Rozprawa doktorska mgr inż. Mariusza Hejne dotyczy zagadnienia odlewania ciśnieniowego pokrywy głowicy silnika w aspekcie ograniczenia porowatości w miejscach krytycznych odlewu. W pracy autor wykazał się znajomością współczesnych narzędzi komputerowych do symulacji procesów odlewania. Należy podkreślić złożoność podjętego tematu badań. Doktorant zajął się nie tylko zmianami konstrukcyjnymi formy odlewniczej w obszarze układu zasilania odlewu, ale w swoich badaniach uwzględnił również dobór parametrów technologicznych procesu zalewania formy warunkujących ograniczenie porowatości odlewu pokrywy głowicy silnika oraz aspekt ekonomiczny wprowadzonych zmian. Ponadto dokonał analizy sposobu identyfikacji porowatości w odlewach produkowanych w firmie MCP Kędzierzyn-Koźle proponując ich modyfikację polegającą na wprowadzeniu mikrostrukturalnej oceny porowatości stopu opartej na komputerowym programie analizy obrazu, która ma na celu ograniczenie kwestii spornych w ramach oceny stopnia porowatości odlewu.

Doktorant trafnie sformułował problem badawczy i przedstawił jego rozwiązanie. Opracowanie założeń konstrukcyjnych układu zasilania odlewu na bazie przeprowadzonych symulacji komputerowych oraz badań doświadczalnych wskazują na odpowiednie przygotowanie Doktoranta do prowadzenia samodzielnej pracy naukowo badawczej. Należy podkreślić również typowo aplikacyjny charakter rozprawy oraz wdrożenie zaproponowanego przez Autora rozwiązania do produkcji, co biorąc pod uwagę koszt wykonania oprzyrządowania podkreśla zarówno wysoki poziom pracy jak i duże doświadczenie oraz wiedzę Doktoranta. Uwagi jakie zostały zawarte w recenzji nie wpływają znacząco na ogólny poziom rozprawy, stanowiąc ewentualne wskazówki do dalszej pracy badawczej oraz planowanych publikacji.

Recenzowana dysertacja mgr inż. Mariusza Hejne pt.: „Wpływ zmiany konstrukcji formy wytryskowej i związanych z tym parametrów technologicznych na porowatość odlewów ciśnieniowych ze stopu EN AB-46000” spełnia na dobrym poziomie wymagania ustawowe stawiane pracy doktorskiej w zakresie nauk technicznych (Ustawa o stopniach i tytule naukowym - art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce). Biorąc pod uwagę wskazane powyżej konkluzje, wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Mariusza Hejne do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jacek P...' with a stylized flourish at the end.