

## RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Ferdyna pt.:**  
**"Wpływ parametrów obróbki cieplnej na wybrane właściwości mechaniczne**  
**ciśnieniowych odlewów strukturalnych ze stopów aluminium"**  
**napisanej pod promotorstwem dr hab. inż. Jarosława Piątkowskiego - prof. Pol. Śl.**

opracowana na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Materiałowa  
Politechniki Śląskiej w Gliwicach  
pismo nr RDIMa.512.10.2023 RM z dnia 25.09.2023

### I. Informacje ogólne dotyczące rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Macieja Ferdyna, w Dyscyplinie Inżynieria Materiałowa, jest doktoratem wdrożeniowym w ramach projektu MEiN - edycja II. Problem badawczy został zgłoszony przez odlewnię ciśnieniową Magna Casting Poland sp. z o.o. Kędzierzyn-Koźle (MCP), gdzie zrealizowano wszystkie badania omówione w pracy.

Rozprawa liczy 139 stron i ma klasyczny układ z podziałem na analizę obecnego stanu zagadnienia („Przegląd piśmiennictwa”) oraz badania własne. Część pierwsza (Rozdział 1) składa się z 51 stron (strony od 5 do 55). Opis badań własnych przedstawiony jest na kolejnych 65 stronach i został dodatkowo podzielony na 3 rozdziały tj.: „Badania wstępne” (Rozdział 2), „Koncepcja badań” (Rozdział 3), oraz „Badania zasadnicze i ich analiza” (Rozdział 4). W rozdziałach 5 i 6 zawarto podsumowanie, wnioski końcowe i zalecenia technologiczne.

Autor ilustruje swoje rozważania 114 rysunkami, które w większości przypadków (poza rysunkami 1.27-1.29, które są nieco nieostry) są bardzo dobrej jakości oraz 27 tabelami. W swojej pracy Pan mgr inż. Maciej Ferdyna odnosi się do 103 pozycji bibliograficznych, których spis zamieszczono na stronach 126 -130. Poruszanie się po rozprawie ułatwiają również zamieszczone na stronach 131-137 spisy wspomnianych rysunków i tabel.

Praca napisana jest poprawnym i dojrzałym językiem. Autor nie ustrzegł się pewnych drobnych błędów redakcyjnych i językowych oraz kilku budzących wątpliwości sformułowań (np. „...na rysunku 4.6 mikrostruktur niewiele widać”, „obrazy...niewiele wnoszą”). Większość zauważonych potknięć językowych ma jednak charakter edytorski i nie wpływają negatywnie na moją ocenę rozprawy. Pracę czyta się dobrze, a Doktorant płynnie prowadzi czytelnika od zagadnień teoretycznych, przez złożone procesy produkcyjne, aż do autorskiego programu badawczego i analizy uzyskanych wyników.

### II. Ocena przedmiotu rozprawy

Przedmiotem rozprawy są badania o charakterze przede wszystkim aplikacyjnym, choć poruszana tematyka jest również interesująca z naukowego punktu widzenia. Autor podejmuje się zagadnienia zmniejszenia liczby wybrakowanych odlewów wśród dwóch detali produkowanych przez firmę MCP, tj.:

- wspornika belki zderzaka tylnego tzw. Porsche Praltopf (w skrócie PP) do samochodu Porsche Panamera odlanego ze stopu AlSi7Mg i obrabianego cieplnie do stanu T5,



oraz

- tylnego wspornika zawieszenia tzw. Pedestal L462 (JLR) do samochodu Jaguar Land Rover ze stopu AlSi10MnMg i obrabianego cieplnie do stanu T7 (przesycanie i starzenie).

Doktorant w oparciu o krytyczną analizę, wskazuje, że przyczyną problemów jakościowych w tych odlewach jest niewystarczające wydłużenie oraz dodatkowo w przypadku odlewu tylnego wspornika zbyt duże odchyłki wymiarowe i obecność pęcherzy gazowych. Praca została zrealizowana w warunkach rzeczywistej produkcji, które ograniczają swobodę w poszukiwaniach nowych rozwiązań technologicznych tylko do tych, które zostały określone w specyfikacji klienta. W rozprawie poprawnie zauważono, że w zasadzie jedynym możliwym podejściem do omawianego problemu jest zmiana parametrów (czasu i temperatury) obróbki cieplnej.

Podsumowując ten fragment recenzji uważam, że wybór tematyki rozprawy jest bardzo trafny. Autor podejmuje się ważnego z praktycznego jak i naukowego punktu widzenia problemu dostosowania przebiegu obróbki cieplnej w celu poprawy parametrów jakościowych wysokociśnieniowych odlewów aluminiowych.

### III. Ocena części teoretycznej rozprawy

Swój „przegląd piśmiennictwa” (pisownia oryginalna) autor podzielił na 7 głównych sekcji, obejmujących, takie zagadnienia jak: charakterystyka stopów Al-Si i ich krystalizacja, wpływ dodatków stopowych i zanieczyszczeń na właściwości mechaniczne stopów aluminium-krzem, podstawy teoretyczne modyfikacji siluminów, informacje o odlewaniu ciśnieniowym oraz opis obróbki cieplnej stopów aluminium. Zarówno zakres jak i tematyka poruszana w tym rozdziale jest właściwa. Autor zachowuje odpowiedni poziom szczegółowości przy omawianiu poszczególnych zagadnień. Analiza literatury nie tylko wprowadza czytelnika w tematykę badań, ale uzasadnia zdefiniowane na kolejnych stronach cele pracy.

Do obszernego rozdziału pierwszego dysertacji mam tylko 3 uwagi warte odnotowania.

1. Nie jestem zwolennikiem sekcji „Wpływ intensywności odprowadzania ciepła na strukturę odlewów Al-Si (strony 14-16). Autor opisuje tu szereg, jak to określa: „metod”, które pozwalają na rozdrobnienie mikrostruktury odlewów, takich jak: odlewanie kokilowe, odlewanie w urządzeniach do szybkiej krystalizacji itp. W rzeczywistości są to odrębne procesy technologiczne, często o bardzo różnych zastosowaniach. Wydaje się, że autor powinien się tu skupić na istocie tych procesów, którą jest zapewnienie odpowiedniego gradientu temperatury/szybkości odprowadzania ciepła. Równocześnie inne sformułowania, zawarte w tej sekcji, budzą wątpliwości. Przykładowo: Doktorant stwierdza, że „Są to metody dające początek odlewaniu ciśnieniowemu”. Czy pokazana na rysunku 1.9 technologia to nie jest wprost odlewanie ciśnieniowe? Czy można stwierdzić, że metody te dały początek odlewaniu pod zwiększonym ciśnieniem, skoro cytowane i analizowane tu badania [58-60] pochodzą z lat 2006-2008? Chciałbym, aby w trakcie publicznej obrony Autor wyjaśnił również szerzej sformułowanie: „W badaniach tych wykazano, że wzrost stopnia przechłodzenia wzmacnia efekt modyfikowania struktury poprzez powiększenie liczby potencjalnych podkładek heterogenicznego zarodkowania...”.
2. Autor w żaden sposób nie odnosi się w tekście rozprawy do kilku rysunków zamieszczonych w pracy (Rys. 1.16 – 1.23).
3. Rysunki: 1.40 i 1.42 to dokładnie ta sama mikrostruktura.



W podsumowaniu oceny części teoretycznej dysertacji należy stwierdzić, że Doktorant z dużą dojrzałością i dokładnością przeanalizował dostępną, często bardzo aktualną literaturę (większość pozycji w bibliografii pochodzi z lat 2000-2022), a zdobytą w ten sposób wiedzę wykorzystał zarówno do sformułowania celów pracy, stworzenia planu badań i ostatecznie również podczas analizy otrzymanych wyników. Część ta napisana jest starannie i stanowi cenny przegląd bibliografii w zakresie odlewniczych stopów aluminium – krzem.

#### **IV. Ocena badań wstępnych rozprawy**

Badania wstępne stanowią istotną część wdrożeniowych prac doktorskich i mają za zadanie wprowadzić czytelnika w realia przedsiębiorstwa, które zainteresowane jest wynikami rozprawy oraz pozwalają dokładnie zdefiniować problem badawczy.

Tą część dysertacji Autor rozpoczął od charakterystyki odlewni ciśnieniowej Magna Casting Poland Kędzierzyn-Koźle sp. z o.o. i jej profilu produkcyjnego, na który składają się części silnikowe i odlewy ciśnieniowe, stanowiące elementy podwozia samochodowego.

Następnie szczegółowo opisał przebieg produkcji i kontroli jakości odlewów ciśnieniowych. Co ważne, opis ten nie dotyczy tylko ogólnie pojętych procesów produkcyjnych w firmie MCP, ale skupia się na wytwarzaniu wspomnianych dwóch odlewów strukturalnych, które są przedmiotem dalszych badań i analiz. W oparciu o ten fragment rozprawy można również stwierdzić, że Doktorant ma dużą wiedzę w zakresie wpływu poszczególnych etapów procesu produkcyjnego na analizowane w pracy parametry jakościowe. Poniżej zestawilem kilka moich uwag do tej części rozprawy.

1. Pewne wątpliwości budzi tu sekcja 2.4 dotycząca symulacji procesu odlewania. Autor bardzo skrótowo opisał zmiany geometryczne w obszarze układu wlewowego oraz przelewowego. Zasadne wydaje się być uzupełnienie tych informacji podczas publicznej obrony.
  - Autor powinien nieco bardziej szczegółowo określić na czym polegały te zmiany i co miały na celu.
  - Na rysunkach: 2.31-2.34 pokazano tylko wyniki „Material Trace” z oprogramowania MAGMASoft. W jaki sposób analizowano te wyniki? Czy sprawdzano również inne kryteria, takie jak: „Air Entrapment”?
  - Czy dalszym, opisanym w pracy analizom w zakresie obróbki cieplnej, wad powierzchniowych i dokładności wymiarowej poddano odlewy z dotychczasowym, czy przeprojektowanym układem wlewowym/przelewowym?
  - Jeżeli stosowano przeprojektowaną technologię, to skąd pewność, że to nie te zmiany miały główny wpływ na zmniejszenie udziału pęcherzy gazowych na powierzchni odlewów?
2. Autor nie odwołuje się w tekście do zawartych w tej części pracy rysunków od 2.37 do 2.40. Rysunki: 2.37 i 2.38 zostały skomentowane dopiero w podsumowaniu na stronie 121.

Poza powyższymi uwagami ten fragment rozprawy jest dobrze napisany i jest bardzo interesujący z poznawczego punktu widzenia. Daje on czytelnikowi wgląd w złożone procesy produkcji części dla branży motoryzacyjnej i jednocześnie w pełni uzasadnia podjęcie omawianej tematyki. Autor rozprawy doktorskiej słusznie wskazał, że niezbędne jest poszukiwanie nowych rozwiązań, zgodnych z polityką odlewni, zmierzających do poprawy jakości odlewów, a przez to wydajności produkcji, poprzez dopuszczalne zmiany technologii,



---

bez obniżenia wartości innych parametrów wytrzymałościowych oraz z pełną akceptacją klienta, jako warunku koniecznego.

## V. Ocena koncepcji rozprawy

Rozdział, który autor zatytułował koncepcja rozprawy składa się z kilku części, które w skrócie obejmują takie zagadnienia jak:

- Opis problemu technologicznego,
- Cele główne i cele użyteczne dysertacji,
- Zakres badań,
- Elementy nowości rozprawy,
- Metodykę badań.

Szczególnie istotne są tu przedstawione na stronie 90 cele główne pracy, do których należy uzyskanie odpowiedniego wydłużenia bez pogorszenia pozostałych właściwości mechanicznych, dla obu wyżej wymienionych odlewów strukturalnych oraz dodatkowo uzyskania odpowiedniej dokładności wymiarowej oraz zmniejszenia udziału pęcherzy dla odlewu tylnego wspornika zawieszenia. Na tej samej stronie autor wymienia również cele użyteczne, a wśród nich transfer opracowanego *know-how* do innych zakładów korporacji Magna. W tym miejscu rodzi się pytanie, na które nie znalazłem odpowiedzi w pracy: Czy ten konkretny cel użyteczny udało się osiągnąć? Dodatkowo, Doktorant omawia również inne bardzo ważne zagadnienie, jakim jest zwiększenie udziału złomu obiegowego w produkcji wyżej wymienionych odlewów z 50% do 70%. Badania te są w mojej opinii szczególnie cenne i wpisują się w światowe trendy w zakresie zmniejszania zużycia energii i szerzej ochrony środowiska, choć mogłyby być one w pracy nieco bardziej wyróżnione.

Na uwagę zasługuje również punkt 3.4, gdzie Doktorant wymienia te obszary swoich badań, które dotychczas nie były przedmiotem analiz innych autorów („Elementy nowości rozprawy”). W tym miejscu szczególnie ciekawa wydaje się być próba wykazania związku przyczynowo skutkowego między parametrami utwardzania wydzieleniowego, a obecnością pęcherzy gazowych w odlewach ciśnieniowych. Chciałbym tu równocześnie zwrócić uwagę Autora, że pewne prace dotyczące związku pomiędzy obróbką cieplną stopów Al-Si, a wadami pochodzenia gazowego w odlewach ciśnieniowych zostały już opublikowane [np.: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.05.024>] i zasadne wydaje się ich przytoczenie w rozprawie.

Na kolejnych stronach pracy doktorskiej w sposób zwięzły i logiczny opisano zakres i metodykę badań. Wprowadzono odpowiedni system oznaczania kolejnych prób, co znacząco ułatwia późniejszą analizę wyników i śledzenie toku rozumowania Autora. W mojej ocenie Doktorant we właściwy sposób zaplanował również wykorzystanie dostępnych w warunkach przemysłowych technik badawczych.

## VI. Ocena badań zasadniczych rozprawy

Badania zasadnicze dotyczą doboru parametrów starzenia (dla stopu AlSi7Mg) i przesycania oraz starzenia (dla stopu AlSi10MnMg), na gotowych odlewach i ich weryfikacji w warunkach przemysłowych na pracującej linii produkcyjnej.

Autor stwierdził, że wydłużenie względne dla wytypowanych parametrów dla stopu AlSi7Mg osiąga wartość ok. 8,5%, co w odniesieniu do wartości wyjściowej daje podwyższenie o ok. 1%, bez pogorszenia pozostałych właściwości mechanicznych i innych cech jakościowych, określonych w specyfikacji klienta. Dla stopu AlSi10MnMg wydłużenie dla wytypowanych



parametrów osiąga wartość ok. 14,5%, co w odniesieniu do wartości wyjściowej powoduje podwyższenie o ok. 2%. Po zmianie parametrów obróbki cieplnej dla wybranych odlewów, koszty związane z problemami jakościowymi obniżyły się o ok. 80% (dla odlewu PP) i ok. 60% (dla odlewu JLR).

Podsumowując wyniki badań zasadniczych należy stwierdzić, że:

- W oparciu o uzyskane wyniki autor proponuje zmianę temperatury przesycania oraz czasu i temperatury starzenia dla wybranych odlewów strukturalnych.
- Modyfikacje te pozwalają na istotną poprawę parametrów jakościowych odlewów, a tym samym zmniejszanie liczby braków (odlewów odrzuconych ze względów jakościowych).
- Zaobserwowano, że niewielkie obniżenie temperatury podczas obróbki cieplnej odlewów siluminowych może wpływać pozytywnie na obecność pęcherzy gazowych na ich powierzchni.
- Udowodniono, że możliwe jest zwiększenie udziału w produkcji złomu obiegowego z 50 do 70% bez pogorszenia innych, zawartych w specyfikacji wymagań.

Potwierdzono tym samym osiągnięcie głównych celów pracy. Autor wskazuje również na szereg obszarów, które jak słusznie zauważa, wykraczają poza zakres rozprawy, mogących być w przyszłości tematem dalszych analiz.

W tym punkcie mam tylko trzy uwagi/komentarze:

1. Na rysunkach: 4.1 – 4.5 przedstawiono wykresy zależności właściwości wytrzymałościowych od temperatury w formie ciągłych krzywych. Taka interpolacja wyników, szczególnie z wykorzystaniem ciągłych funkcji wielomianowych wysokich stopni nie wydaje się być tu uzasadniona. Autor posiada dyskretny zbiór wyników (dla konkretnych temperatur) i ze względu na złożoność procesu trudno przewidywać przebieg zmian wytrzymałości na rozciąganie, umownej granicy plastyczności i wydłużenia pomiędzy tymi punktami. Dodatkowo cechą wielomianowych funkcji interpolacyjnych jest to, że mogą one tworzyć lokalne ekstrema niekoniecznie tam, gdzie one w rzeczywistości występują. Stąd w mojej opinii korzystniejsze byłoby przedstawianie tych wyników np. w formie wykresów słupkowych.
2. Doktorant w podsumowaniu zwraca uwagę, że zmiana parametrów obróbki cieplnej wpływa na zwiększenie wydłużenia w analizowanych odlewach o około 1-2%. Choć nie są to duże wartości, to przyczyniają się one istotnie do obniżenia kosztów związanych z problemami jakościowymi (wspomniane 80% i 60% odpowiednio dla analizowanych odlewów). Czy Doktorant może wyjaśnić jak oszacowano te koszty? Czy uwzględniają one np.: mniejsze zużycie energii w związku z obniżeniem temperatur, mniejszy nakład pracy na prostowanie odlewów itp.?
3. W pracy brak jest nieco bardziej dogłębnej analizy zaobserwowanej zależności pomiędzy parametrami obróbki cieplnej, a wadami powierzchniowymi w postaci pęcherzy gazowych. Czy Autor może spróbować wyjaśnić ten mechanizm (por. punkt V)?

Reasumując należy jednoznacznie stwierdzić, że usystematyzowana i krytyczna analiza wyników dowodzi dojrzałości naukowej i wiedzy Doktoranta oraz jego zdolności do samodzielnego planowania i prowadzenia badań naukowych. Równocześnie przedstawione

---

w dysertacji wyniki mają duży potencjał aplikacyjny, o czym świadczy fakt, że zaproponowane zmiany znalazły akceptację władz spółki Magna Casting Poland i są na etapie wdrażania.

## **VII. Ocena końcowa rozprawy**

Przedstawiona do opinii rozprawa mgr inż. Macieja Ferdyna pt.: „Wpływ parametrów obróbki cieplnej na wybrane właściwości mechaniczne ciśnieniowych odlewów strukturalnych ze stopów aluminium” stanowi przykład dobrze uzasadnionego, zaplanowanego, przeprowadzonego i wreszcie opisanego logicznego cyklu badań o charakterze wdrożeniowym. Autor zrealizował wszystkie główne cele pracy. Wymienione powyżej drobne uchybienia i mankamenty nie wpływają negatywnie na odbiór całości dysertacji, a część moich uwag ma charakter komentarzy, zachęcających do dyskusji i dalszych badań nad przedmiotowym problemem.

Na tej podstawie stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w rozumieniu Ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz. U. z 2018 roku, poz. 1669), Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jednolity Dz. U. z 2016 roku, poz. 882 ze zmianą Dz. U. z 2026 roku, poz. 1311) oraz Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 26 września 2016 roku w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadaniu tytułu profesora (Dz. U. z 2016 roku, poz. 15860) i wnoszę o dopuszczenie Doktoranta do publicznej dyskusji nad Jego rozprawą doktorską przed Radą Dyscypliny Naukowej Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej.

**Prof. Dr.-Ing. Michał Szucki**

TenureTrack-Professor

GIESSEREI-INSTITUT