

Prof. dr hab. inż. Marcin Górny

1.09.2023 r.

Wydział Odlewnictwa

Akademia Górniczo-Hutnicza

im. Stanisława Staszica w w Krakowie

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Mateusza Czerepaka pt. „Technologiczne metody ograniczenia zużycia stopu do alfinowania wkładek pierścieniowych w odlewach tłoków silników spalinowych”

Podstawa formalna recenzji: Pismo Przewodniczącej Rady ds. Stopni Naukowych Politechniki Śląskiej w dyscyplinie inżynieria materiałowa z dnia 11.07.2023 r.

1. Charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Mateusza Czerepaka „Technologiczne metody ograniczenia zużycia stopu do alfinowania wkładek pierścieniowych w odlewach tłoków silników spalinowych” została opracowana w formie monografii na Politechnice Śląskiej w 2023 roku. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Jarosław Piątkowski, prof. PŚ, a promotorem pomocniczym dr inż. Barbara Juszczak. Praca zawiera 175 stron, w tym 156 rysunków i 19 tabel. W bibliografii Autor odwołuje się do 124 pozycji literaturowych, wśród których znajduje się 41 prac w języku polskim.

Doktorant dokonał szerokiego przeglądu literatury związanej z podjętym tematem, poczynając od prac oznaczeniu fundamentalnym dla procesów krystalizacji i kształtowania struktury stopów aluminium z krzemem, aż do zagadnień związanych z ich recyklingiem i metodami zagospodarowania odpadów. W początkowej części przeglądu aktualnego stanu wiedzy Doktorant przedstawił charakterystykę stopów aluminium, wpływ głównych dodatków stopowych, ze szczególnym uwzględnieniem żelaza jako zanieczyszczenia. Przegląd aktualnego stanu zagadnienia obejmuje również ważny z punktu widzenia podjętego tematu obszar, tj. recykling stopów z grupy Al-Si. Drugi rozdział dotyczy badań wstępnych, które dobrze wprowadzają czytelnika do celów, zakresu i tezy pracy- podanych w rozdziale trzecim. W dalszej części pracy

przedstawiono metodykę badań z opisem materiału i stanowiska badawczego. Badania zasadnicze Autor opisuje w rozdziale piątym, po czym w rozdziale szóstym analizuje uzyskane wyniki. Wnioski wraz z zaleceniami technologicznymi zostały sformułowane w rozdziale siódmym. Opracowanie zamyka spis literatury oraz trzy załączniki stanowiące wewnątrz materiały - firmy Tenneco.

2. Uwagi dotyczące tematyki, tezy i celów pracy

Temat pracy doktorskiej jest aktualny i ważny z punktu widzenia recyklingu, a także możliwości zmniejszenia negatywnego oddziaływania zanieczyszczeń - głównie żelaza na trwałość połączeń odlewów z żeliwa ze stopami z grupy Al-Si. Podjęta problematyka ma również istotne znaczenie z punktu widzenia kształtowania struktury stopów z grupy Al-Si podczas alfinowania wkładek z żeliwa. Recenzowana rozprawa poświęcona jest zatem ważnemu i ciągle aktualnemu zagadnieniu optymalizacji procesu łączenia stopów z grupy Al-Si z żeliwem z grafitem płatkowym o wysokiej zawartości niklu. Analiza literatury wskazuje, że wybór tematyki badawczej jest w pełni uzasadniony.

Doktorant przedstawił cel zasadniczy pracy, cztery cele szczegółowe, a także cel użytkowy wynikający z charakteru pracy realizowanej w warunkach przemysłowych. Podano szczegółowy zakres badań wstępnych oraz zasadniczych. Teza pracy (**„Podczas alfinowania żeliwnych wkładek pierścieniowych możliwe jest wdrożenie takich metod technologicznych, które spowodują zwiększenie uzysku stopu AS9 poprzez wydłużenie czasu jego stosowalności nie przekraczając granicznej zawartości żelaza i nie wpływając na pogorszenie połączenia pomiędzy wkładką, a korpusem tłoka”**, s. 92) jest oryginalna i poprawnie sformułowana. Odnosi się do możliwości otrzymywania wysokojakościowego połączenia stopu z grupy Al-Si z żeliwem szarym wysokoniklowym przy zmiennej zawartości żelaza w ciekłym metalu. Aby udowodnić postawioną tezę, Doktorant opracował plan badań, który konsekwentnie realizował w dalszej części pracy.

Stwierdzam, że teza oraz cele pracy zostały jasno sprecyzowane, a podjęta metodyka badań dobrana w sposób prawidłowy.

3. Ocena formalna pracy

Układ pracy jest typowy dla większości rozpraw doktorskich i obejmuje dwie części. Pierwsza z nich zawiera wprowadzenie i przegląd literatury związany z podjętą tematyką pracy, w drugiej przedstawiono badania własne zakończone wnioskami, spisem literatury i trzema załącznikami (w j. angielskim). Wersja elektroniczna zawiera dodatkowo streszczenie w j. polskim oraz angielskim.

W rozdziale pierwszym Doktorant przedstawił aktualny stan wiedzy dotyczący podjętych badań. Wychodząc od przeglądu odlewniczych stopów aluminium, przeprowadzono gruntowną analizę wpływu dodatków stopowych takich jak: krzem, miedź, magnez, tytan, chrom, nikiel, molibden, mangan oraz żelazo na strukturę oraz właściwości stopów z grupy Al-Si. W podrozdziale 1.3 Doktorant zaprezentował krzywe chłodzenia obrazujące ścieżkę krystalizacji stopów Al-Si z dodatkami żelaza z poprawnym opisem i właściwą ich interpretacją. Podjęte w rozdz. 1.4. zagadnienie recyklingu jest ważne i aktualne w aspekcie ekonomii, a także ekologii. Opisano źródła zanieczyszczeń, metody recyklingu, techniki separacji faz międzymetalicznych i związków chemicznych. W dalszej części Doktorant charakteryzuje metody oddziaływania na ciekły metal poprzez pole elektromagnetyczne, wibrację, obróbkę termiczną stopu, a także poprzez wprowadzanie dodatków stopowych (Cr, Co, Mo i Mn). Rozdział 1.5. to podsumowanie aktualnego stanu wiedzy, w którym Doktorant wskazuje źródła zanieczyszczeń, a także szczegółowo opisuje fazy zawierające żelazo w stopach z grupy Al-Si z uwzględnieniem stechiometrii, morfologii oraz wpływu na właściwości badanej grupy stopów. Widoczna jest pełna świadomość Autora co do wpływu faz zawierających żelazo na powstawanie wad odlewniczych, obniżanie właściwości mechanicznych i użytkowych, a także na aspekty ekonomiczne i ekologiczne.

W rozdziale drugim Doktorant opisuje badania wstępne, podkreślając ich przemysłowy wymiar. Przybliży czytelnikowi różne rodzaje tłoków i pierścieni tłokowych, ich rolę w silniku spalinowym, konstrukcję, charakterystykę pracy z uwzględnieniem agresywnego środowiska spalania oraz cyklicznego obciążenia termicznego. Dobrze omówiono rolę wkładek z żeliwa i stawiane im wymagania w aspekcie ich połączenia ze stopami z grupy Al-Si. W dalszej części Doktorant dobrze opisał proces alfinowania wkładek pierścieniowych w zakładach Federal-Morgul w Gorzycach. Rozdział jest bogato ilustrowany, zawiera szczegółowe dane związane z

parametrami procesu alfinowania. Szczególnie cenny jest podrozdział 2.3, w którym Autor przeprowadza analizę parametrów technologicznych alfinowania wkładek z żeliwa. W rozdziale 2.4 Doktorant przybliży kontrolę jakości odlewów tłoków wg schematu obowiązującego w zakładach Federal-Morgul Gorzyce. Rozdział 2.5 to bogato ilustrowana analiza powstawania wad odlewniczych w obszarze połączenia żeliwo szare-stop z grupy Al-Si. Szczególnie wartościowa w aspekcie podjętej tematyki pracy doktorskiej w tej części pracy jest analiza przyrostu żelaza w stopie AS9 (skład którego podano na stronie 57) i jego przyczyny. W kolejnym rozdziale 2.7 Autor podsumowuje badania wstępne, identyfikuje wady i problemy procesu łączenia żeliwa ze stopami z grupy Al-Si, a także szczegółowo definiuje prawidłowe połączenie wkładki z żeliwa z odlewem tłoka.

W rozdziale trzecim Doktorant zaprezentował cele, zakres badań i tezę pracy doktorskiej. Cel zasadniczy badań koncentruje się na opracowaniu metod przedłużenia czasu użytkowania stopu z grupy Al-Si, do alfinowania wkładek pierścieniowych z żeliwa szarego (o wysokiej zawartości niklu) z uwzględnieniem dopuszczalnej zawartości żelaza i prawidłowego połączenia z odlewem tłoka silnika spalinowego w warunkach produkcji przemysłowej. Autor poprawnie sformułował sześć celów szczegółowych, a także cel praktyczny w brzmieniu: „Celem praktycznym badań jest zmniejszenie zużycia stopu AS9 oraz energii elektrycznej podczas alfinowania żeliwnych wkładek pierścieniowych bez pogorszenia wymagań jakościowych połączenia: tłok - wkładka”. W rozdziale 3.3 Doktorant szczegółowo opisał zakres badań wstępnych oraz zasadniczych. Teza pracy jest oryginalna i poprawnie sformułowana, dotyczy zwiększenia uzysku stopu AS9 poprzez wydłużenie czasu jego stosowania bez przekroczenia granicznej zawartości żelaza i bez negatywnego wpływu na połączenie pomiędzy wkładką z żeliwa a korpusem tłoka.

W czwartym rozdziale rozprawy Autor przedstawia metodykę badań ukierunkowaną na udowodnienie postawionej tezy. Obejmuje ona m.in. materiał, opis stanowisk badawczych, opis analizy termicznej oraz badań metalograficznych i dyfrakcyjnych.

W rozdziale piątym opisano badania zasadnicze związane z optymalizacją temperatury stopu AS9 w trakcie alfinowania wkładek pierścieniowych z żeliwa. Doktorant analizie poddał połączenie stop AS9 - żeliwo szare po różnym czasie alfinowania koncentrując się na spełnieniu wytycznych (zakładowych) warunkujących otrzymanie „zdrowego” odlewu. Doktorant wykazał się umiejętnością interpretacji wyników z analizy metalograficznej stopów aluminium oraz żeliwa

szarego, z uwzględnieniem wad typu porowatości gazowe, wtrącenia, niewłaściwa morfologia faz. W rozdziale tym Doktorant przedstawił dokumentację wyników, które ujęto w postaci mikrostruktur wraz z ich skróconym opisem jakościowym i ilościowym. W rozdziale 5.3 Autor zanalizował wpływ manganu przy użyciu wyników z analizy termicznej, badań metalograficznych i dyfrakcji rentgenowskiej. W tabeli 5.6 na stronie 111 widoczny jest przyrost niklu wraz ze zwiększeniem manganu w stopie AS9. Czym można to wyjaśnić i jaka jest rola niklu (obecnego również w żeliwie) podczas alfinowania? Autor poddał analizie powstałą porowatość, przypisując fazie P-A15FeSi istotną rolę w jej tworzeniu. Rozdział 5.4 świadczy o dużym doświadczeniu Doktoranta w optymalizacji procesowej i ekonomicznej związanej z poprawą uzysku stopu AS9 podczas alfinowania wkładek z żeliwa. Autor wskazał przyszłe kierunki badań w tym zakresie, a w szczególności związane z filtracją, sedymentacją i ograniczeniem wnikania tlenków do ciekłego stopu AS9.

W rozdziale szóstym Autor przedstawił poprawną analizę wyników badań własnych, które koncentrują się na optymalizacji temperatury stopu AS9 i przyrostu zawartości żelaza, krystalizacji stopu AS9 bez i po wprowadzeniu zaprawy Al-Mn.

W rozdziale siódmym Doktorant właściwie sformułował 10 wniosków, które wnoszą nową wiedzę do technologii otrzymywania odlewów tłoków silników spalinowych z wkładkami z żeliwa szarego o wysokiej zawartości niklu. Uzupełnił je o 10 zaleceń technologicznych dla Federal-Morgul Gorzyce.

Przedstawiona analiza wyników badań oraz sformułowane na jej podstawie wnioski są poprawne, a cel jaki postawił sobie Autor pracy doktorskiej został osiągnięty.

Uwagi szczegółowe i pytania do Kandydata db stopnia doktora związane z przeglądem literatury oraz badaniami własnymi zamieszczono w kolejnym punkcie recenzji.

4. Uwagi szczegółowe

Po lekturze rozprawy nasuwają się następujące uwagi dotyczące poprawności pewnych sformułowań, koniecznych wyjaśnień, nieścisłości tekstu lub błędów. Najważniejsze z nich podano poniżej:

- 1) Jakie są warunki modyfikacji stopów z grupy Al-Si? Na stronie 7 podano, że równomierne rozłożone kryształy krzemu, czy słusznie?
- 2) Autor pisze na stronie 13, że „Dodatek chromu powoduje też istotne zwiększenie wytrzymałości na rozciąganie i granicy plastyczności”. Sformułowanie bardzo ogólne, niewiele z niego wynika. Podobnie na str. 14, „Nikiel poprawia wytrzymałość na rozciąganie, twardość, żarowytrzymałość...”.
- 3) W tabeli 1.1 podano „Morfologia faz typu AlXFeYSiZ w stopach Al-Si w zależności od wskaźnika SF”. Wskaźnik SF w tabeli nie występuje.
- 4) Autor podaje „Niedogodność tą można wyeliminować kontrolując strukturę metalu w stanie ciekłym i w odpowiedni sposób przygotowując ją do modyfikacji”. Jak to jest możliwe? Jaka jest struktura metalu w stanie ciekłym?
- 5) Etapy krystalizacji opisane np. na stronie 134 nie zostały zweryfikowane przy pomocy innych technik badawczych np. analizy DSC lub oprogramowania Thermocalc.
- 6) Tabela 6.1. Czy Autor dysponuje krzywymi ze statycznej próby rozciągania? Jakie są wartości $R_{p0,2}$ oraz A?
- 7) Szósty wniosek brzmi: „W stopie AS9 do zawartości ok. 1,0%mas.Fe jednocześnie krystalizują dendryty roztworu stałego $\alpha(\text{Al})$ i faza $p\text{-Al}_{15}\text{FeSi}$ o morfologii „płytkowej”, (na powierzchni zglądu w formie „iglastej”).” Brakuje dowodu na takie stwierdzenie.
- 8) Pozycja literatury [6] jest tożsama z [27].

5. **Opinia końcowa**

Mimo przedstawionych uwag krytycznych, uważam, że przyjęta teza rozprawy została udowodniona, a wyznaczone cele pracy zostały zrealizowane. Rozprawa doktorska charakteryzuje się celowo dobraną i ważną, zwłaszcza do zastosowań w praktyce, tematyką. Poszerza wiedzę z zakresu ograniczenia zużycia stopu AS9 do alfinowania wkładek pierścieniowych w odlewach tłoków silników spalinowych.

Stwierdzam, że dysertacja mgr. inż. Mateusza Czerepaka „Technologiczne metody ograniczenia zużycia stopu do alfinowania wkładek pierścieniowych w odlewach tłoków silników spalinowych”, napisana pod opieką naukową dr. hab. inż. Jarosława Piątkowskiego,

prof. PŚ, oraz dr inż. Barbary Juszczyk, spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w dyscyplinie inżynieria materiałowa i na tej podstawie wnoszę o dopuszczenie Kandydata do publicznej obrony.