

Dr hab. inż. Edward CZEKAJ, e. prof, nadzw.
Sieć Badawcza Lukasiewicz -
Krakowski Instytut Technologiczny
(dawny: Instytut Odlewnictwa w Krakowie)
os. Dywizjonu 303 14/81
31-782 Kraków

Kraków, dnia 5 września 2023 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Mateusza CZEREPAKA

pt.

**Technologiczne metody ograniczenia zużycia stopu do alfinowania
wkładek pierścieniowych w odlewach tłoków silników spalinowych**

Promotor: Dr hab. inż. Jarosław PIĄTKOWSKI, prof. PŚ

**Promotor pomocniczy: Dr inż. Barbara JUSZCZYK, Dyrektor Instytutu Metali
Nieżelaznych Sieć Badawcza Lukasiewicz, Gliwice**

Recenzja wykonana została na zlecenie

prof. dr hab. inż. Marii SOZAŃSKIEJ

Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa
Politechniki Śląskiej w Gliwicach

Biuro Dziekana

wołynelo dnia

tfoW»1tŁ.Kri

nr zał. ».....».....

1. OCENA FORMALNA

1.1. Struktura rozprawy

Praca (rozprawa doktorska) składa się z: 7 **rozdziałów** i napisana jest na **156 numerowanych stronach** (tekst, ilustracje oraz tabele), w formacie A4, z marginesami 3,5x3,0x2,5x2,0 cm; tekst podstawowy pisany jest czcionką normalną (prostą) typu Time Roman 12, z interlinią 1,5 wiersza; podpisy rysunków i tabel - Times Roman 11 kursywą (ang. *Italic*), stosowana była także czcionka pogrubiona (ang. *Bold*), co zwiększyło czytelność poszczególnych fragmentów tekstu. Rozprawa na samym jej początku zawiera **stronę tytułową** oraz **spis treści** w tradycyjnym układzie: numer rozdziału -1,2...; następnie podrozdziału -1.1, 1.2, ...; a na koniec punktu - np. 5.3.1,5.3.2, ... itd. Tytuły głównych rozdziałów pisane są dużymi literami, z pogrubioną czcionką (ang. *Bold*) - co zwiększyło ogólną przejrzystość rozprawy. Numeracja rysunków, tabel i wzorów matematycznych ma układ rozdziałowy; ich podpisy Doktorant kończy kropką, co jest nierzadko stosowane w tekstach technicznych w Polsce (na wzór publikacji angielskojęzycznych). Pracę kończy spis wykorzystanych źródeł literaturowych, w kolejności pojawiania się ich w tekście.

Rozprawa zawiera:

- **146 rysunków** (deklaratywnie, w rzeczywistości brakuje jednego rysunku 1.12 str. 15-16) w postaci: schematów, wykresów, obrazów mikro- i makrostruktury oraz ich pochodnych (np. dyfraktogramów), zdjęć (fotografii) wykorzystywanych w pracy urządzeń produkcyjnych, aparatury badawczej itp.; jakość zaprezentowanych na rysunkach ilustracji jest na bardzo dobrym poziomie, o dostatecznie dużej rozdzielczości (niemała ich część stanowi materiał własny Autora rozprawy);
- **17 zestawień tabelarycznych;**
- **4 wzory (wyrażenia) matematyczne;**
- **124 pozycji literaturowych** z lat 1982-2023 tj.: artykuły, książki, normy krajowe oraz standardy zagraniczne, a także źródło internetowe (prawidłowo podano datę dostępu); uporządkowane one zostały - mniej więcej, chociaż nie jest to ścisłą zasadą w pracy, w kolejności pojawiania się w tekście. Dodatkowo na końcu rozprawy, na 16 stronach, umieszczono 3 załączniki (Nr 1, Nr 2 i Nr 3), dotyczące badań akceptowalności połączenia ALFIN, w warunkach produkcyjnych Federal-Mogul w Gorzycach Sp. z o.o. (członka korporacji międzynarodowej TENNECO); przy tym w ww. załącznikach były zaznaczone zmienione warunki odbioru odlewów tłoków z żeliwnymi wkładkami pierścieniowymi, będące m.in. wynikiem prac realizowanych z udziałem Doktoranta;

Ogólnie należy stwierdzić staranne przygotowanie pracy pod względem edytorskim; od pierwszego momentu robi ona wrażenie starannie i estetycznie wydanej; niewiele uwag ma recenzent co do błędów gramatycznych czy stylistycznych (*vide* końcowa część recenzji, rozdział 4 Recenzji); jakość ilustracji jest na dobrym poziomie, tzn. są one czytelne i dobrze opisane.

1.2. Tematyka rozprawy

Jak słusznie stwierdza Doktorant już we WPROWADZENIU, iż „...choć technologia alfinowania odlewów żeliwnych nie jest nową (np. wg *K. Schmidt: Elementy silników samochodowych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1973* podaje, że sięga ona roku 1941), to wciąż napotyka na wiele trudności, które wynikają z nieznanymi procesami zapewniającymi otrzymanie trwałego połączenia”.

Rozprawa - jak odnotowuje to sam Autor w podrozdziale 3.2 oraz w rozdziale 7 - ma charakter praktyczny (przemysłowy), a jej tematyka zlecona została przez firmę Federal-Mogul Gorzyce Sp. z o.o. (członek grupy TENNECO), producenta tłoków silników spalinowych.

Tematyka pracy dotyczy bardzo ważnego i jednocześnie trudnego technologicznie wycinka procesu produkcyjnego tłoków ze wstawkami pierścieniowymi (inaczej zwanymi nośnymi lub też podpierścieniowymi). Pomimo upływu lat od pierwszych zastosowań podobnego typu wkładek,

wyniki badań nad nimi nie są powszechnie znane - z przyczyn braku dotychczasowego zainteresowania badaczy danymi problemami, czy też - raczej - z powodów tajemnicy producentów tłoków.

Zagadnienie oszczędzania stopu aluminium typu AS9 (AlSi9), poprzez określenie granicznych (maksymalnych dopuszczalnych) zawartości żelaza oraz innych przejściowych pierwiastków (tj.: Mn, Ni, Cr, Mo czy Cu), jest w pewnym stopniu pokrewna z wymaganiami dotyczącymi jakości stopów aluminium przeznaczonych do odlewania pod wysokim ciśnieniem (ang. HPDC - *High Pressure Die Casting*). Podobnie jak w przypadku warstwy ALFIN przy produkcji tłoków z żeliwnymi czy stalowymi wkładkami pierścieniowymi, chodzi o dopuszczalne zawartości żelaza (i innych przejściowych pierwiastków) z uwagi na ilości, morfologię i rozkład międzymetalicznych faz żelaza i/lub manganu (z udziałem Cr) w stopie aluminium samej warstwy do alfinowania, czy też w korpusie odlewu oraz osadu (szlamu, ang. *sludge*) mierzonego tzw. współczynnikiem osadu SF (od ang. *Sludge Factor*).

Jak wskazuje K. Schmidt (*vide* wyżej), warstwy ALFIN poza tłokami znajdują także zastosowanie w odniesieniu do innych elementów pojazdów samochodowych tj.: cylindry, głowice cylindrów czy też bębny hamulcowe. Metoda połączeń tego typu wykorzystywana jest przy produkcji szeregu innych części maszyn i urządzeń (np. dla przetwórstwa spożywczego).

Zagadnienia jakościowego i/lub ekonomicznego wykonania połączenia elementów konstrukcyjnych ze stopów żelaza (stopowego żeliwa, stali czy staliwa) ze stopem aluminium - w połączeniach typu ALFIN - mają jeszcze kilka innych aspektów. Dotyczą one nie tylko specyfiki recyklingu stopów aluminium z wkładkami na osnowie żelaza, ale również odzysku wkładek z żeliwa typu Ni-Resist z wadliwych czy zużytych tłoków (pokrytych zwykle warstwą stopu aluminium). Żeliwo *Ni-Resist* zawierał 3-19% mas. drogiego i deficytowego niklu; aktualnie na giełdzie londyńskiej (www.lme.com; <https://tradingeconomics.com/commodity/nickel>) ceny te w notowaniach dziennych przekraczają poziom 30 000 USD/t.

Z treści rozprawy oraz bieżących dotychczasowych uwag recenzenta wynika, iż tematyka rozprawy jest bardzo interesująca - zarówno poznawczo, jak i w praktycznym planie, w znacznie szerszym kontekście niż to wynika z samego zapisu samego tematu rozprawy; ma też wyraźny akcent ekonomiczny, co w dzisiejszej rywalizacji wytwórców części konstrukcyjnych ma pierwszorzędne znaczenie; stąd należy uznać ją za potrzebną i aktualną.

2. OCENA MERYTORYCZNA

Recenzowana praca ma prawidłowy (klasyczny) podział, charakterystyczny dla rozpraw z dziedziny nauk technicznych; czyli dzieli się na część teoretyczną oraz eksperymentalną; ponadto zawiera część wprowadzającą, metodykę badań, wnioski oraz spis wykorzystywanych materiałów źródłowych; niekiedy - jak w przypadku rozpatrywanej rozprawy doktorskiej - odpowiednie do tematu załączniki. W pewnym stopniu jednakże zaprezentowane w rozdziale 2 „BADANIA WSTĘPNE” mogą sugerować własne badania Autora. Po bliżej analizie można się przekonać, iż stanowią one - autorski (Doktoranta) - dość szczegółowy opis procesu technologicznego wytwarzania - w warunkach *Fédéral Mogul Gorzyce Sp. z o.o.* - tłoków z wkładkami żeliwnymi, z wykorzystaniem metody ALFIN. Opisy te w zasadzie nie zawierają odnośników literaturowych, a jedynie przywoływane są w nich normy zakładowe czy korporacyjne grupy TENNECO, stanowiąc zapewne informacje poufne.

2.1. CZĘŚĆ TEORETYCZNA (wprowadzenie oraz rozdziały 1-3)

WPROWADZENIE (s. 4)

We WPROWADZENIU Doktorant, krótko (na jednej stronie), definiuje istotę podjętego tematu rozprawy. Podkreśla przy tym potrzebę podejmowania tego typu zagadnień problemowych, mających prowadzić do racjonalizacji rozwiązań techniczno-technologicznych, a w konsekwencji do zmniejszenia nakładów finansowych wytwarzania tłoków z wkładkami żeliwnymi.

Głównym zadaniem, które stawia sobie Autor jest próba - poprzez kilka niekosztownych zabiegów technologiczno-organizacyjnych - ograniczenia zużycia stopu aluminium typu AS9 (AlSi9) do alfinowania wkładek pierścieniowych. Cel ten ma być osiągnięty poprzez analizę - w wymiarze teoretycznych rozważań oraz prób eksperymentalnych - dynamiki wzrostu zawartości żelaza oraz innych metali przejściowych w stopie AS9.

Ostatecznym celem podjętego tematu miało być wydłużenie czasu używania danego wsadu stopu do alfinowania, w warunkach Federal-Mogul Gorzyce Sp. z o.o. (dalej skrótowo też: F-M Gorzyce), bez pogorszenia jakości połączenia wkładki pierścieniowej z korpusem aluminiowego tłoka.

Szczegółowe cele opracowania zostały wyszczególnione w rozdziale 3 rozprawy.

Rozdział 1. PRZEGLĄD AKTUALNEGO STANU WIEDZY (s. 5-46)

Doktorant na wysokim poziomie merytorycznym analizuje dane literaturowe dotyczące odlewniczych stopów aluminium: a) główne ich serie (grupy) występujące w normach polskich i zagranicznych (podrozdział 1.1); b) wpływ wybranych dodatków na właściwości aluminium i jego stopów (podrozdział 1.2); oddziaływanie żelaza, w połączeniu z manganem, na morfologię i rozkład faz żelaza w mikrostrukturze stopów Al (podrozdział 1.3); d) zagadnienia recyklingu stopów aluminium (podrozdział 1.4), szczególnie tych z podwyższoną zawartością Fe - z podaniem kilku zabiegów technologicznych jego usuwania czy też neutralizacji szkodliwego oddziaływania i ostatecznie e) podsumowanie aktualnego stanu wiedzy w powyższym zakresie. Jest to bez wątpienia cenny materiał do zaradczych działań w warunkach przemysłowych.

W pewnej mierze recenzentowi brakuje w tej części opracowania zestawienia wiedzy z rozpatrzenia sekwencji układów Al-Si, Al-Si-Fe, Al-Si-Mn, Al-Si-Fe-Mn - także z udziałem Cr, Ni czy nawet Mo i Cu - oraz uporządkowanej charakterystyki (właściwości i cech morfologicznych) występujących faz międzymetalicznych - podobnych do danych zamieszczonych w tabeli 1.1. Pewna ilość tej informacji została zawarta też w późniejszych rozdziałach, przy omawianiu wyników badań własnych.

Na krzywych krystalizacji i chłodzenia stopów Al-Si₉ (rysunki 1.26 i 1.27), z różną zawartością żelaza pokazano (co również wykorzystano w badaniach własnych w rozdziale 5), iż fazy żelaza i/lub manganu mogą krystalizować w temperaturze: a) wyższej od krystalizacji α Al- roztworu stałego w reakcjach (przemianach) perytektycznych, tzw. fazy predendrytyczne; b) nieco poniżej przemiany ciekłego stopu L w dendryty fazy γ Al (L \rightarrow γ Al), również w reakcji perytektycznej; wreszcie c) w temperaturze tuż po krystalizacji eutektyki krzemowej (α Al + β Si) w temperaturze z zakresu 575-577°C (pozycja [36] z rozprawy). Fazy żelaza mogą też krystalizować w również w niższej temperaturze, w różnych konfiguracjach układu Al-Si-(Fe,Mn) z Cr, Ni, Cu i innymi dodatkami czy zanieczyszczeniami.

Bardzo dobrze, że w przeglądzie aktualnego stanu wiedzy znalazły się informacje dotyczące zagadnienia tworzenia się w stopach aluminium - przy podwyższonych zawartościach żelaza, manganu i/lub chromu - osadu (szlamu) charakteryzowanego współczynnikiem SF. Autor zaznacza nam też, co jest pozytywne, z pojęciem krytycznej zawartości żelaza (Fekryt.) - co jest również ważne w kontekście warunków fizykochemicznych powstawania faz żelaza o niekorzystnej morfologii. W stopach aluminium do odlewania pod wysokim ciśnieniem (i dużych szybkości krystalizacji) dopuszczalne wartości SF to 1,4... 1,8; natomiast stop AS9 do alfinowania może mieć

znacznie wyższe dopuszczalne poziomy SF: > 3,5... 4,0; rodzi się pytanie: czym można by tłumaczyć takie przyzwolenie na obecność cząstek szlamu (osadu) Al(Fe,Mn)Si czy Al(Mn,Fe)Si - o znacznie większym udziale objętościowym i zapewne większych rozmiarach (mniejsze szybkości krystalizacji przy alfinowaniu, w odniesieniu do analogicznej wielkości podczas odlewania pod wysokim ciśnieniem)?

W kontekście powstawania niekorzystnych postaci faz żelaza oraz osadu (szlamu) w stopach aluminium, aktualnie istnieje duża ilość publikacji - krajowych i zagranicznych - z zakresu odlewnictwa ciśnieniowego (a precyzyjniej wysokociśnieniowego. Niektóre odniesienia w tym względzie można znaleźć w dalszej części rozprawy doktorskiej. Dotyczy to też zagadnień, odnotowanych w innych fragmentach opracowania, pozbywania się osadu (szlamu) w procesach recyklingu. W tym zakresie istnieje już bogata literatura specjalistyczna. Niektóre firmy polskie radzą sobie nieźle z recyklingiem odpadów aluminiowych o dużych zawartościach żelaza, w tym zanieczyszczonych osadem (szlamem).

Należy podkreślić, iż analiza stanu wiedzy z danego tematu w aspekcie poznawczym, a tym bardziej aplikacyjnym nie należy do prostych. Ma to szczególne jednakże znaczenie techniczno-technologiczne i ekonomiczne w bieżącej sytuacji, kiedy zdecydowana część (ponad 90%) odlewniczych stopów aluminium w naszym kraju jest wytwarzana z surowców wtórnych. Z doświadczeń recenzenta wynika, iż stopy aluminium zanieczyszczone znacznymi zawartościami żelaza z powodzeniem można wykorzystać przy produkcji stopów dla odlewnictwa wysokociśnieniowego, jak również do produkcji odlentaczy stosowanych w procesach stalowniczych.

Rozdział 2. BADANIA WSTĘPNE (s. 47-88)

Jak odnotowano to już we wstępie niniejszej recenzji, rozdział 2 rozprawy stanowi w zasadzie uporządkowany opis procesu wytwarzania tłoków aluminiowych z wkładkami żeliwnymi (ze stopu typu Ni-Resist), w warunkach firmy Federal-Mogul Gorzyce Sp. z o.o. (członek grupy korporacyjnej firmy TENNECO z USA).

Nigdzie w dysertacji Doktorant nie podaje symbolu, ani tym bardziej składu chemicznego bazowego stopu tłokowego; znajdujemy w tekście jedynie lakoniczne stwierdzenie, iż aktualnie wkładki żeliwne coraz częściej są wykorzystywane przy produkcji tłoków mniej obciążonych silników spalinowych (a więc i o innym składzie chemicznym korpusu tłoka, tj. z mniejszymi zawartościami Cu i Ni).

W opisie dotyczącym szczegółów konstrukcji podobnego typu tłoków (podrozdział 2.1) oraz samego procesu alfinowania (podrozdział 2.2) Doktorant nie powołuje się na literaturę podręcznikową czy akademicką (naukową) pisaną przez specjalistów z zakresu budowy silników spalinowych, jak również metalurgów-metaloznawców czy odlewników. Wykorzystuje natomiast niemałą wiedzę i doświadczenie zgromadzone przez dziesięciolecia w zakładzie (F-M Gorzyce), jak też i obecnie stosowane normy korporacji TENNECO.

W podrozdziale 2.1 poprawnie opisane zostały ogólne zagadnienia dotyczące roli tłoka silnika spalinowego oraz stawiane wobec niego wymagania. W szczególności zwrócono uwagę na część pierścieniową, w której umieszczane są żeliwne czy staliwne (stalowe) wkładki pierścieniowe. Z uwagi na temat rozprawy podany zakres informacji jest w tym fragmencie - zdaniem recenzenta - w pełni wystarczający.

W następnym podrozdziale 2.2, Doktorant opisuje stosowany w Federal-Mogul W Gorzycach Sp. z o.o. proces technologiczny alfinowania wkładek pierścieniowych. Podaje najpierw jego istotę, a następnie przechodzi do opisu szczegółów jego poszczególnych etapów.

W kontekście tematu rozprawy doktorskiej, ciekawym dla czytelnika byłby krótki rys historyczny zastosowania odlewów warstwowych metodą ALFIN. Istnieją materiały źródłowe podające początki - przypadające, jak to już odnotowano wyżej w recenzji, na rok 1941 - wykorzystywania tej technologii do produkcji cylindrów silników spalinowych z żeberkami chłodzącymi (*fin*,

ang. żebro - stąd nazwa metody). W Polsce prace w tym zakresie były zapoczątkowane we wcześniejszych latach 60. XX wiek w Instytucie Odlewnictwa w Krakowie we współpracy z Instytutem Technologii Odlewniczej w Lipsku {Lech Z.: *Odlewanie warstwowe Al-Fe. Przegląd Odlewnictwa, lipiec 1962, RokXII, Nr 7, s. 185-192*}. Istnieje niemały materiał źródłowy zawarty w opisach patentowych, szczególnie pochodzenia zagranicznego.

W odniesieniu do uporządkowanego opisu i analizy procesu alfinowania wkładek pierścieniowych w warunkach Federal-Mogul Gorzyce Sp. z o.o., w dostępnych materiałach źródłowych - polskich i zagranicznych - praktycznie zawsze występuje w nim etap odtłuszczania (ang. *degreasing*) żeliwnych wkładek przed zanurzeniem w ciekłym stopie aluminium do alfinowania. Z jakich powodów odstąpiono od tego procesu w Gorzycach? Co go zastępuje? Być może względy natury ekologicznej czy inne (np. techniczno-technologiczne) zabiegi kompensujące są przyczyną pominięcia odtłuszczania wkładek. W publikacjach *S. Manasijevic et al. z 2014 i 2015 r. (vide np. w ResearchGate)* wspomina się na przykład o ich odtłuszczeniu przy zastosowaniu techniki ultradźwiękowej.

W zakresie procesu alfinowania (zwanego też w Polsce jako alferowanie) wykorzystywane są stopy aluminium o różnej zawartości krzemu ($8\text{--}12\%$ mas.) w układzie Al-Si-Fe, a niekiedy wieloskładnikowe siluminy stopowe w których zawartości Si sięgają 13% mas. Tego typu informacje mogłyby być interesującym uzupełnieniem wiedzy o charakterze poznawczym, w ramach rozpatrywanych w rozprawie zagadnień.

W zakresie analizy parametrów technologicznych alfinowania, bardzo dobrze i ciekawie opisanych (podrozdział 2.3), u recenzenta rodzi się sugestia stosowania w przyszłości w Federal-Mogul w Gorzycach Sp. z o.o. badań połączenia ALFIN metodą tomografii komputerowej, szczególnie na etapach uruchamiania produkcji danego typu tłoka z wkładką. Pozwolą one na jakościowe i ilościowe oceny wad w mikrostrukturze - zarówno w całym odlewie, jak też w poszczególnych jego fragmentach.

W tabeli 2.4 podano skład chemiczny żeliwa austenitycznego typu GJLA-XNiCuCr15 62 (wg DIN EN 13835) stosowanego w Zakładzie (F-M Gorzyce) na wkładki pierścieniowe do tłoków aluminiowych. Przy zawartościach w nim drogiego i deficytowego niklu w zakresie od $14,0$ do $17,0\%$ mas. rodzi się refleksja, iż zastosowanie wkładek ze stopu Ni-Resist ma dodatkowy aspekt ekonomiczny. Drogim elementem procesu są też konstrukcyjne elementy zawiesi (haków) wykonanych ze stopów na podstawie bardzo drogiego molibdenu. Niewątpliwie słusznie jednak, zagadnienia dotyczące ograniczenia zużycia stopu AS9 do alfinowania mają tutaj priorytetowe znaczenie.

Do zalet podrozdziałów 2.4 i 2.5 należy precyzyjny opis analizy wad połączenia ALFIN (wkładka - korpus tłoka), który w analizie ilościowej wykorzystuje oprogramowanie komputerowe. Ma to ważne znaczenie dla prawidłowego prowadzenia kontroli jakości tłoków produkowanych w Federal-Mogul Gorzyce Sp. z o.o.

W dalszej części (podrozdział 2.7) Autor przedstawia dynamikę wzrostu zawartości żelaza w stopie ASD9 do alfinowania w czasie (w zakresie: od 0 do 15 godzin), przy dotychczas stosowanej temperaturze stopu (770°C); pokazuje na wykresach przyrosty Fe w czasie [h] oraz na odpowiednich obrazach mikrostruktury. Ciekawe i godne rozważenia mogą być w niedalekiej przyszłości badania zużywania się, w warunkach produkcyjnych F-M Gorzyce, haków (zawiesi) molibdenowych (vide rys. 2.50).

Rozdział 2 kończy podsumowanie badań wstępnych, tj. danych odnoszących się do prowadzonego w F-M Gorzyce procesu alfinowania. Doktorant w tym fragmencie pracy czyni konstatacje odnoszące się do potrzeby wydłużenia tegoż procesu i w konsekwencji jego ekonomii. Podaje przy tym listę możliwych do wykorzystania sposobów ograniczających przyrost Fe w stopie do alfinowania oraz czynników fizykochemicznych wpływających na zmianę (modyfikację) niekorzystnej morfologii faz żelaza i/lub manganu.

Na stronach 85 i 86 stwierdzono, iż zgodnie z obowiązującą w zakładzie (F-M Gorzyce) specyfikacją techniczną oraz normami branżowymi, na prawidłową ocenę połączenia wkładki pierścieniowej z odlewem tłoka mają wpływ wymiary oraz mikrostruktura warstw: 1) dyfuzyjnej oraz 2) przetopowej. Dodatkowo określono wymagania jakościowe dotyczące: powłok tlenkowych, dopuszczalnego stopnia porowatości czy obecności pęknięć.

Warte odnotowania w tym miejscu jest fakt, iż Autor rozprawy doktorskiej uczciwie i rzetelnie mówi zarówno o możliwościach, jak i ograniczeniach wprowadzania zmian technologiczno-organizacyjnych w przypadku zakładów produkcyjnych w Polsce, będących członkiem międzynarodowych korporacji. Jest to znany recenzentowi symptom wielu firm w Polsce, powiązanych z kapitałem zagranicznym. Nieznacząca jest też rola polskich jednostek naukowych w doskonaleniu procesów wytwarzania w tych zakładach. W związku z tym inicjatywa mgr. inż. Mariusza Czerepach zmienić trochę tę sytuację - oczywiście za zgodą wyższych gremiów zarządzających - stanowi chlubny wyjątek i godna jest najwyższej pochwały, a także wzorem do naśladowania.

Rozdział 3. CELE, ZAKRES BADAŃ I TEZA PRACY (s. 89-92)

Biorąc pod uwagę opisane w rozdziale 2 możliwości zaradcze prowadzące do poprawy techniczno-technologicznych i ekonomicznych wskaźników produkcji tłoków ze stopów aluminium z żeliwnymi wstawkami, jak również uwarunkowania wynikające z bycia członkiem korporacji międzynarodowej TENNECO, rozpatrzono możliwe warianty zmiany parametrów procesu alfinowania, na który otrzymano akceptację.

Wychodząc z powyższych założeń i ograniczeń sformułowano (podrozdział 3.1) zasadniczy cel badań, sprowadzający się do stwierdzenia, iż „...celem rozprawy jest opracowanie metod przedłużenia czasu użytkowania stopu układu Al-Si (AS9) do alfinowania wkładek pierścieniowych, przy uwzględnieniu dopuszczalnych zawartości żelaza w stopie aluminium, zabezpieczających prawidłowe połączenie z odlewem tłoka silnika spalinowego...”.

W celu realizacji powyższego celu zasadniczego wyspecyfikowano cztery cele szczegółowe, a w szczególności: 1) zbadanie możliwości obniżenia temperatury alfinowania; 2) ograniczenie negatywnego oddziaływania faz żelaza; 3) opracowanie permanentnej kontroli zawartości żelaza w stopie AS9 podczas alfinowania oraz 4) wskazanie przyszłościowych kierunków badań w danym zagadnieniu problemowym.

Wszystkie wymienione wyżej cele - zasadniczy i szczegółowe - prowadzić miały do (podrozdział 3.2) zmniejszenia zużycia stopu AS9 oraz oszczędności energii elektrycznej, bez pogorszenia jakości produkowanych w F-M Gorzyce tłoków z wkładkami pierścieniowymi.

Ostatecznie na podstawie sformułowanych celów, w podrozdziale 3.3 wyszczególniono zakres badań eksperymentalnych - obejmujący testy, próby i badania laboratoryjne oraz przemysłowe - w warunkach Federal-Mogul Gorzyce Sp. z o.o.

Biorąc powyższe pod uwagę w podrozdziale 3.4 sformułowano ostatecznie tezę pracy w brzmieniu:

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 .

W opinii recenzenta sformułowane cele badań - zasadniczy, szczegółowe i użytkowy - są zasadne i odpowiadają możliwościom produkcyjnych F-M Gorzyce oraz uwarunkowaniom korporacyjnym. Proponowany zakres badań jest obszerny i dostosowany do możliwości badawczych zakładu oraz wspomagających ośrodków naukowych (głównie: Politechniki Śląskiej w Gliwicach oraz Oddziału Metali Lekkich w Skawinie - Sieć Badawcza Łukasiewicz).

2.2. CZĘŚĆ EKSPERYMENTALNA (rozdziały 4-7)

Rozdział 4. PLAN, MATERIAŁ, METODYKA I STANOWISKA BADAWCZE (s. 93-96)

Ze sformułowanych wcześniej celów badań oraz podaniu ich zakresu, w następnym rozdziale (w szczególności w podrozdziale 4.1) zamieszczono plan badań eksperymentalnych. Podano go w formie opisowej, jak również na schemacie rysunku 4.1; zaprezentowany plan ujmuje zarówno wcześniejsze badania rozpoznawcze (z części teoretycznej, dotyczącej analizy piśmiennictwa, jak też badań wstępny), a w części centralnej przewidziane do realizacji eksperymentalne badania laboratoryjne i przemysłowe.

W podrozdziale 4.2 scharakteryzowano wyjściowy materiał badawczy, w postaci 220-280 gramowych próbek stopu AS9, po określony czasie alfinowania (od 0 do 15 [h]) prowadzenia procesu alfinowania. W następnym podrozdziale 4.3 opisano stanowisko badawcze (Crystaldigraph NT3-8K) do rejestracji krzywych krystalizacji i chłodzenia metodą ATD (Analizy Termiczno-Derywacyjnej). Dalej podano nazwy i ogólną charakterystykę: a) mikroskopu optycznego (światłowego) oraz b) mikroskopu skaningowego ze spektrometrem rentgenowskim do badań EDS. Na rysunku 4.3 zaprezentowano czytelny schemat pobierania próbek do badań z okolic połączenia wkładka-odlew tłoka (części pierścieniowej). Jak już to wcześniej odnotowano, Doktorant nigdzie nie podaje w pracy składu chemicznego aluminiowego stopu tłokowego; na podstawie znalezionej niedawno w Internecie publikacji z 2023 r. (*Szwajka K. et al.: Influence of the Duration and Temperature of the Al-Fi Process..., Metals 2023, 13, 897, pp. 1-18*), recenzent domyśla się, iż był to tłokowy stop aluminium S2N (typu AlSi12Cu3Ni2Mg).

Z opisu metodyki badań wynika, że ocena jakości połączenia ALFIN w badaniach zasadniczych oceniana była głównie na podstawie obrazów metalograficznych oraz porównywania ich z obowiązującymi w F-M Gorzyce wzorcami dołączonymi do recenzowanej rozprawy doktorskiej w Załączniku Nr 1.

Rozdział 5. BADANIA ZASADNICZE (s. 97-131)

W rozdziale 5 Doktorant prezentuje wyniki zrealizowanych badań eksperymentalnych.

W podrozdziale 5.1 na wykresach rysunków 5.1 i 5.3 pokazano dynamikę wzrostu w czasie zawartości żelaza (w % mas.), w zależności od temperatury stopu AS9, odpowiednio: 760 i 750°C. Jakość połączenia wkładka-odlew tłoka oceniano wielkością (grubością, w [pm]) warstw dyfuzyjnej i przetopowej. Jak stwierdza Autor pracy na str. 98 udział wyrobów (tłoków) wadliwych nie zwiększył się, a grubości ww. warstw mieściły się w dopuszczalnych zakresach. W tym czasie graniczne zawartości Fe w stopie do alfinowania nie przekraczały 3,50% mas., a czas prowadzenia procesu zwiększył się z 18 do 19 godzin. W dalszych fragmentach tego (5.1) podrozdziału, na rysunkach 5.5-5,9 zaprezentowano mikrofotografie połączenia (typu ALFIN) wkładki żeliwnej z aluminiowym odlewem tłoka, z warstwami: dyfuzyjną i przetopową. Tabełaryczne zestawienia wielkości tych warstw przy początkowej zawartości Fe (ok. 0,25% mas., tabela 5.1) oraz końcowej (3,50% mas. Fe, tabela 5.3) pozwoliły na stwierdzenie, iż temperatura 750°C jest graniczną możliwą temperaturą dla stopu AS9 podczas alfinowania. Zestawienie danych liczbowych w tabeli 5.2 potwierdza fakt, iż obniżenie temperatury stopu AS9 z poziomu 770 do 700°C zwiększa możliwość wydłużenia prowadzenia procesu alfinowania 15 do 22 godzin. Limitującymi czynnikami są jednak parametry mikrostruktury; oprócz wielkości i jakości warstw dyfuzyjnej i/lub przetopowej, znaczenie mają także występujące w warunkach obniżonej temperatury defekty w postaci: porowatości, rzadzisz czy rozwarstwień. Uzyskane wyniki badań laboratoryjnych były weryfikowane w procesie produkcyjnym na seriach tłoków wynoszących kilka tysięcy (nawet 10 000) sztuk. Pozytywne wyniki badań laboratoryjnych i przemysłowych skutkowały wprowadzeniem w tym względzie - za zgodą Działu Kontroli Jakości oraz kierownictwa Spółki F-M Gorzyce - zmian, mających na celu obniżenie temperatury alfinowania z 770 do 750°C. Wprowadzenie tych zmian

w Zakładzie skutkowało znaczącą ekonomią stopu AS9 oraz oszczędnościami w zużyciu gazu (co w aktualnej sytuacji międzynarodowej ma niemałe znaczenie).

Podrozdział 5.2 opisuje wdrożenie w Federal-Mogul Gorzyce Sp. z o.o. (przy udziale Doktora) systemu rejestracji oraz kontroli zawartości Fe w stopie AS9, z wykorzystaniem standardowego oprogramowania komputerowego. Wprowadzone zmiany techniczno-organizacyjne pozwoliły na bardziej precyzyjne określenie granic użyteczności stopu AS9 do alfinowania. Zaproponowane i wprowadzone zmiany dały również wymierne korzyści: a) w ekonomii stopu (ok. 96 [ton], tj. zmniejszenie zużycia od 7 do 10% w skali roku; str. 110 rozprawy) oraz b) zmniejszenia zużycia gazu o 18 336 m³ (*vide* tabela 5.5).

Z uwagi na niekorzystną morfologię faz żelaza w stopach aluminium przy zwiększonych zawartościach Fe, w podrozdziale 5.3 postanowiono zbadać wpływ dodatków manganu (wprowadzanych z zaprawy AlMn20). Propozycja taka, to efekt przeprowadzonego w rozdziale 2 rozeznania literaturowego. W eksperymentach wprowadzano co 5 godzin do stopu mangan w ilości wynikającej z zalecanej zależności Mn : Fe ~ 0.5, w odniesieniu do bieżącej zawartości Fe w stopie AS9. Wyniki zaprezentowano w postaci krzywych krystalizacji i stygnięcia (ATD), jak też obrazów mikrostruktury dla poszczególnych wariantów stopu.

W tym miejscu mała dygresja. Autor dysertacji w tabeli 5.6 (str. 111 rozdziału 5) zamieszcza bardzo ciekawe wyniki analizy chemicznej stopu AS9 w stanie wyjściowym oraz po 5, 10 i 15 (stan końcowy, tj. osiągnięcie zawartości Fe bliskie 3,50% mas.); należy żałować tylko, że przeprowadzona chemiczna analiza spektralna nie obejmowała oznaczenia molibdenu, w kontekście obserwowanych na rysunku 2.50 (str. 83) zniszczeń haków (zawiesi). Na podstawie tych danych można obliczyć przyrosty - tak w wymiarze bezwzględny, jak i procentowo - poszczególnych składników stopu AS9 po 15 [h] alfinowania, w odniesieniu do stanu wyjściowego (0 [h]).

Tabela. Przyrosty bezwzględne i względne pierwiastków w stopie AS9 po 15 [h] procesu alfinowania

Pierwiastki	Si	Fe	Cu	Mn	Ni	Cr	pozostałe*
Wartość wyjściowa 0 [h]	7,949	0,250	0,021	0,025	0,041	0,005	—
Wartość końcowa po 15 [h]	8,114	3,440	0,330	0,110	0,845	0,084	—
Przyrost bezwzględny, [% mas.]	0,165	3,190	0,309	0,085	0,804	0,079	~ constans
Przyrost względny, [%]	2	1 276	1 471	340	1 961	1 580	~ constans
* Niestety brak jest oznaczeń zawartości Mo.							

Z zaprezentowanych wyżej danych liczbowych wynika, że wszystkie dodatki stopowe żeliwa Ni-Resist dyfundują do stopu AS9, w stopniu proporcjonalnym do ich współczynników dyfuzji w stanie ciekłym i stałym w Al (*vide* np. pozycja [36] ze spisu literatury). Ich przechodzenie do stopu aluminium jest też w pewnej zależności do zawartości dodatku stopowego w składzie chemicznym żeliwnej wkładki. W wyniku procesu rozpuszczania składników stopowych żeliwa Ni-Resist w stopie AS9 oraz dodatków manganu, powstają w mikrostrukturze złożone fazy żelaza (udziałem tych pierwiastków, jak też dodatkowo fazy np. Ni (co odnotowano w rozprawie).

Bardzo interesujące są wyniki analizy termicznej ATD zaprezentowane na rysunkach 5.20-^{5.23} w punkcie 5.3.1 oraz na rysunkach 5.24-^{5.27} w punkcie 5.3.2. W stopach bez dodatkowych zawartości manganu na wykresach ATD w punktach X obserwujemy sygnał krystalizacji z ciekłego stopu AS9 predendrytycznych faz żelaza Al(Fe,Mn)Si; dotyczy to stopu po 10 i 15 godzinach alfinowania. Inne fazy, głównie P-A((Fe,Mn)Si, mogą też tworzyć się podczas końcowego etapu powstawania dendrytów «Al- roztworu stałego czy eutektyki krzemowej (UAI + Psi). Po wprowadzeniu zaprawy AlMn20 do stopu AS9 krystalizacja predendrytycznych faz żelaza i/lub

manganu powstaje - co widać na wykresach ATD - już w temperaturach znacznie wyższych niż w punktach X (przynajmniej tak uważa recenzent).

Oddzielnym zagadnieniem jest tworzenie się w stopach aluminium, poza znanymi fazami żelaza i/lub manganu, cząsteczek szlamu (osadu) zawierające te pierwiastki, jak również pozostałe pierwiastki przejściowe (Cr, Ni, Cu czy Mo). Analiza tych zagadnień wymaga jednak pogłębionej analizy metalograficznych na mikroskopach SEM czy nawet TEM, z mikroanalizą rentgenowską. To też może stanowić kierunek przyszłościowych prac badawczych o charakterze poznawczym, z dużym potencjałem aplikacyjnym.

Wyniki badań metodą ATD znalazły pełne potwierdzenie w obrazach mikrostruktury zaprezentowane w punktach 5.3.3 i 5.3.4. Żałować należy tylko, że Doktorant nie zamieścił w rozprawie podobnych mikrostruktur (z mikroskopu optycznego) z dodatkami Mn, w odniesieniu do tych z rysunku 5.29 dla stopu AS9 bez tego pierwiastka. Wykresy badań SEM-EDS w stopie AS9 z 3,50% mas. Fe oraz dodatkami Mn pokazują na powstawanie w mikrostrukturze złożonych faz żelaza typu $Al_x(Fe,Mn)_ySi_z$ (str. 121). Obecność niklu sprzyja - zdaniem recenzenta - raczej tworzeniu się fazy $Al_3(Ni,Fe)$ niż $Al_x(Fe,Ni)_ySi_z$ - co wynika z wykresu e) rysunku 5.38 oraz mikroanalizy składu chemicznego tej fazy (na tymże rysunku). Obecność niewielkich zawartości Si w wynikach analizy jest - zdaniem recenzenta - typowym efektem tła (otoczenia) wokół analizowanego elementu mikrostruktury (specyfika badań EDS).

W punkcie 5.3.5 Doktorant rozważa porowatość w stopie AS9, z uwagi na morfologię faz żelaza. Obserwacje mikrofotografii na rysunku 5.40 wskazują, że zamknięte pomiędzy długimi (iglastymi) wydzieleniami (3-Fe fazy porowatości ma charakter mieszany — tj. gazowo-skurczowy).

W podrozdziale 5.4 Doktorant rozważa inne - przyszłościowe - kierunki badań zagadnień nad stopami do alfinowania. W tym miejscu należy w pełni zgodzić się z poglądem, iż filtracja jest jednym z najbardziej perspektywicznych sposobów recyklingu tego typu stopów aluminium. I nie chodzi tu głównie o poziomy Fe w ciekłym stopie, a odfiltrowanie stałych cząstek osadu (szlamu); w tym zakresie zarówno ośrodki badawcze, jak i praktycy obecnie mają niemałe osiągnięcia; nie mała jest też obecnie liczba publikacji zagranicznych z tego zakresu. Stopy zanieczyszczone tylko Fe (a nie cząsteczkami szlamu) łatwo poddają się recyklingowi przy rozpuszczaniu stopami Al (pochodzącymi również z recyklingu), o składzie chemicznym bliskim czystemu aluminium (najczęściej są to stopy układu Al-Mg-Mn czy Al-Mn-Mg), przy niskich zawartościach Mn i Mg). Zaprezentowane w pracy wyniki niemieckich akademickich badaczy (związanych z korporacją TENNECO) uznać należy - w świetle wiedzy i doświadczenia recenzenta - za jak najbardziej wiarygodne; filtracja usuwa bowiem przede wszystkim cząsteczki czy granule szlamu (osadu), a nie rozpuszczonego w ciekłym aluminium Fe i/lub Mn.

Rozważana w podrozdziale 5.4 sedymentacja stopu AS9 jest ważna i nie pozbawiona spektakularnych efektów z punktu widzenia badań poznawczych. Od lat badana, m.in. w Instytucie Odlewnictwa w Krakowie, ma jednakże wady polegające na czasochłonności procesu oraz jego wysokich kosztach energetycznych (potrzeba podtrzymywania metalu w stanie ciekłym przez dziesiątki godzin).

Propozycja stosowania pokryw na piecach z ciekłym stopem aluminium podczas alfinowania jest bez wątpienia dobrym kierunkiem działania, w kontekście zapobiegania tworzeniu się w warstwie ALFIN błonek tlenkowych oraz pochłaniania wodoru z powietrza, szczególnie wilgotnego w otoczeniu w piecu do topienia i/lub przetrzymywania. Zdaniem recenzenta jednakże przykrywanie i odkrywanie pieca to nieco złożony zabieg technologiczny. Prostszy rozwiązaniem byłoby zastosowanie ochrony gazowej, niewymagającej stosowania jakichkolwiek pokryw (oraz zamykania i otwierania przestrzeni pieca). Zastosowanie lekkiego nadmuchu argonu (na dzień dzisiejszy jest on w cenie azotu) nad powierzchnią ciekłego stopu AS9 mogłoby lepiej spełniać to zadanie. Ochrona gazowa może zabezpieczać dodatkowo alfinowane wkładki przed nadmiernym tworzeniem się warstwy tlenkowej na jej powierzchni. Ogólnie jednak ochrona stopu aluminium

w tracie długotrwałego (15-20 [h]) procesu jest bez wątpienia godna dalszego badania, w szczególności w aspekcie odnotowywanych defektów połączenia ALFIN.

Rozdział 6. ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW BADAŃ (s. 132-147)

W rozdziale 6 dokonano syntetycznej analizy uzyskanych wyników badań eksperymentalnych. Ta część rozprawy doktorskiej stanowi pewne podsumowanie i powtórzenie najważniejszych wyników opisanych w rozdziale 5.

Konsekwencją badań dotyczących optymalizacji temperatury procesu alfinowania jest obniżenie jej z 770 do 750°C; w wymiarze praktycznym przełożyło się to na opracowaniu nowej normy zakładowej - co potwierdzają Załączniki Nr 2 i Nr 3.

Rezultaty ciągłej kontroli zawartości żelaza w stopie AS9, z jej zapisem w arkuszu kalkulacyjnym programu EXCEL, pozwoliły uzyskać oszczędności na poziomie 7-10% wsadu w skali roku.

Podobne uwagi dotyczą analizy procesów krystalizacji stopów z różną zawartością Fe (bez- i z dodatkami Mn, podrozdział 6.4), gdzie powtórzono - z dodatkowymi komentarzami - rezultaty zawarte w rozdziale 5.

Analogiczne uwagi dotyczą podrozdziału 6.5, gdzie analiza wyników badań własnych dotyczących krystalizacji (metodą ATD) i mikrostruktury jest w dużym stopniu uzupełniana o dane literaturowe. Są to ważne uzupełnienia, ale winny być one - zdaniem recenzenta - umieszczone w części teoretycznej pracy; szczególnie informacje literaturowe -niekiedy powtórzone z części teoretycznej - dotyczące tworzenia w stopach aluminium szlamu (osadu). W tym miejscu bardziej interesujące byłyby wyniki mikroanalizy rentgenowskiej cząstek osadowych (szlamu) żelaza i/lub manganu obserwowane w materiale własnym.

W podrozdziale 6.5 podkreślono raz jeszcze perspektywiczność badań dotyczących procesów filtracji, sedymentacji oraz tych związanych z ochroną lustra ciekłego stopu AS9 przed nasyceniem wodorem i utlenianiem w trakcie procesu alfinowania.

Rozdział 7. WNIOSKI I ZALECENIA TECHNOLOGICZNE (s. 148-149)

W rozdziale 7 rozprawy doktorskiej jej Autor w 10-ciu punktach precyzuje wnioski końcowe. Wynika z nich, że w na podstawie przeprowadzonych badań - teoretycznych i eksperymentalnych - uzyskano pozytywny wpływ obniżenia temperatury ciekłego stopu AS9 na zmniejszenie dynamiki rozpuszczania żelaza, a tym samym oszczędność samego stopu i wydłużenie procesu alfinowania. Potwierdzono też pozytywny wpływ dodatków manganu na zmianę niekorzystnej morfologii faz żelaza powstających w stopie przy krystalizacji. Odnotowano ponadto korzystny efekt ciągłej kontroli zawartości żelaza w stopie do alfinowania na poprawę organizacji procesu produkcji tłoków i oszczędności wsadu metalowego. W uzupełnieniu tych danych Doktorant poczynił również pewne konstatacje płynące z badań teoretycznych, a dotyczących warunków powstawania igłowych faz β -AEFeSi, jak też związanych z tym wad odlewów w postaci porów gazowych i/lub rzadzików skurczowych. Wskazano raz jeszcze na potrzebę rozszerzenia badań w danej tematyce o zagadnienia sedymentacji i filtracji, jak również ochrony ciekłego metalu (np. poprzez zastosowanie pokryw).

Na podstawie wniosków, sformułowano ostatecznie 7 zaleceń technologicznych, do wdrożenia w warunkach przemysłowych Federal-Mogul Gorzyce Sp. z o.o. W szczególności zaleca się wzmożoną kontrolę składu chemicznego stopu AS9 w trakcie procesu alfinowania. nie tylko w odniesieniu do Fe, ale także innych pierwiastków (Ni czy Cu). W punkcie 3 tych zaleceń Doktorant proponuje obniżenie zawartości krzemu w stopie AS9 z 9 do 7% mas.; w świetle przywoływanych w rozprawie materiałów źródłowych [45] i [54] czytamy jednakże „...w przypadku wzrostu zawartości krzemu, zwiększa się ilość żelaza, która jest tolerowana przed tworzeniem się β -fazy

żelaza bezpośrednio przed reakcją eutektyczną w układzie Al-Si; przy zawartości 5% mas. Si wartość krytyczna (Fkryt.) wynosi -0.35% Fe, przy 7% mas. Si -0,5% Fe, przy 9% mas. Si -0,6% mas. Fe, a przy 11% mas. Si sięga poziomu -0,75% mas. Fe...”; wynika to również z zależności 1.18 czy 6.1. Czy w świetle tego, kierunek proponowanych zmian zawartości Si w stopie do alfinowania nie powinien być przeciwny? Ta uwaga recenzenta jest bez wątpienia dyskusyjna. Co prawda we wczesnych latach 60. stosowano w Polsce do alfinowania stop AlSi 11 ; tymczasem patent amerykański o numerze 6,127,046 z 3 października 2000 roku wspomina o stopie do alfinowania z 6% mas. Si. Na patent ten powołuje się autor publikacji 5. *Manasijevica et al. (Serbia) z 2014 roku* (wcześniej już przytaczanego w recenzji); w innej publikacji z 2015 roku (w *Revista de Metalurgia*) ten sam autor podaje jednakże, że wkładka pierścieniowa przetrzymywana jest przez 6,5 minuty w ciekłym stopie tłokowym o temperaturze 760-780°C, w celu wytworzenia warstwy o grubości 30[^]-100 [pm]. Wychodząc z analizy zwilżalności czystego aluminium oraz aluminium z dodatkami stopowymi, w pracy *Sadokha M.A.: Osobennosti alitirovaniya niresistovoy bstavki pri proizvodstve aluminiyekhporshney. Lit'yo i Metallurgiya, 3(57), 2010, s. 9-12* podaje się, iż Ni-Resist-owe żeliwne wstawki poddaje się alfinowaniu w tym samym tworzywie co korpus tłoka, tj. w stopie typu AlSi12Cu2MgNi. Zgodnie z europejskim patentem EP3554746A1, z datą publikacji 3 X 2019 r. (*Piston with cofused alfin ring andprocess to obtain it*), kąpiel do zanurzania (o temperaturze 650-750°C) żeliwnego pierścienia (wkładki) podczas alfinowania zawiera 8-12% mas. Si. Ogólnie należy stwierdzić, że tego typu informacje są rzadko podawane w publikacjach; stanowią raczej pilnie strzeżoną tajemnicę producentów tłoków. W dalszych pracach pożądane byłaby głębsza analiza dostępnych danych literaturowych, a następnie własne badania eksperymentalne. W tym zagadnieniu niejasne dla recenzenta powiązanie wykresu 1.18 (6.6) z wielkością tzw. krytycznej zawartości żelaza wg zależności 1.1 i 6.1. (analogiczne). W odniesieniu do zmian morfologii faz żelaza interesującym, zdaniem opiniującego, byłoby sprawdzenie oddziaływania niewielkich dodatków strontu (w ilościach 0,005[^]-0,025% mas.) na zmianę morfologii faz żelaza.

Należy stwierdzić, iż zaprezentowana rozprawa doktorska dotyczy próby rozwiązania wybranych, ale trudnych zagadnień natury technologicznej przy produkcji tłoków aluminiowych z wkładkami żeliwnymi, z którymi badacze dotychczas nie bardzo sobie radzą. Podjęte działania wymagały zmierzenia się z niemałą ilością problemów naukowych, techniczno-technologicznych i organizacyjnych; dlatego ich ogarnięcie budzi podziw; tym bardziej, że realizowana praca była wykonywana w ograniczony zespół, jak również w warunkach odnotowanych w pracy formalno-prawnych ograniczeń. Osiągnięte wyniki rozważań teoretycznych, prób i eksperymentów (laboratoryjnych i przemysłowych) oraz zaproponowanych koncepcji dalszych badań należy ostatecznie ocenić wysoko.

3. UWAGI EDYTORSKIE

Jak już wcześniej odnotowano, praca napisana jest na dobrym poziomie edytorskim; również niewiele jest błędów natury gramatycznej czy merytorycznej; dlatego też recenzent odniesie się poniżej tylko do niektórych, w sumie mało znaczących, czy wręcz dyskusyjnych uwag.

Oto ogólna charakterystyka najważniejszych uwag:

- Na początku rozprawy brak jest zestawienia wykorzystywanych w tekście skrótów; nie jest ich wiele, a większość - poza nielicznymi wyjątkami - jest w tekście objaśniona. To samo dotyczy oznaczeń chemicznych czy zależności matematycznych.
- W oznaczeniach tabel są zapisy w skrócie Tab. 1, Tab. 2, ... itd., tymczasem w polskim piśmiennictwie technicznym używa się raczej pełnych wyrazów: Tabela 1, Tabela 2,... Podpisy rysunków są prawidłowe.
- W zapisach zawartości dodatków (pierwiastków) są pewne nieprawidłowości, polegające na łącznym zapisie typu: 0,15%mas.Cr; powinno być: 0,15% mas. Cr (str. 13); W pewnym

stopniu jest to przenoszenie anglojęzycznych (europejskich czy amerykańskich) wzorców do polskich tekstów technicznych.

- Występuje w pracy kilka niepotrzebnych powtórzeń: a) wzorów 1.1 i 1.2 oraz odpowiednio 6.1 i 6.2 (ich zapis nie jest jednakowy i nie do końca prawidłowy); b) wykresów na rysunkach 1.18 i 6.6; c) pozycje literatury [6] i [27],
- W pracy doktorskiej brak jest rysunku 1.12 (s. 15-16).
- Siluminy tłokowe mają najczęściej współczynnik rozszerzalności liniowej w zakresach $17-22 \cdot 10^{-6}$ [K⁻¹] (to jeszcze zależy od zakresu temperatury, dla technicznego współczynnika rozszerzalności cieplnej), a nie $23 \cdot 10^{-6}$ [K⁻¹] (to jest duża rozszerzalność cieplna); ta sama uwaga dotyczy współczynnika przewodności cieplnej: wynosi ona od 110-170 [W/(mK)], a nie 200-280 [W/(mK)] (*vide* str. 52).
- W kontekście realizacji trudnych (czy bardzo trudnych, jak w danym przypadku) tematów prac o charakterze techniczno-technologicznym, należy zalecać młodym adeptom nauki przeprowadzanie kwerendy w zakresie krajowych i zagranicznych patentów.

4. PODSUMOWANIE

Recenzowana rozprawa doktorska mgr. inż. Mateusza CZEREPKA pt. *Technologiczne metody ograniczenia zużycia stopu do alfinowania wkładek pierścieniowych w odlewach tłoków silników spalinowych* pomimo, iż ma praktyczny wymiar z celami zastosowań (wdrożeń) przemysłowych, to nosi też niemały potencjał poznawczy. Fakt ten wzbogaca Doktoranta nie tylko jako technologa-praktyka firmy Federal-Mogul w Gorzycach Sp. z o.o., ale także w planie nowych umiejętności dotyczących organizacji, prowadzenia badań eksperymentalnych i ich analiza zarówno w laboratorium badawczym (w ośrodku akademickim czy branżowym instytucie), jak też - co szczególnie ważne - w warunkach przemysłowych, przy różnego rodzaju ograniczeniach.

Niełatwy temat dysertacji, z uwagi na jego złożoność i wieloaspektowość oraz rozwiązywane zagadnienia problemowe natury techniczno-technologicznej, organizacyjnej (z wykorzystaniem techniki komputerowej), czy też koncepcyjne dotyczące dalszych badań, podparte były - tak we wstępnej części opracowania, jak i na etapie analizy własnych badań eksperymentalnych - najnowszymi materiałami źródłowymi. Wszystko to zostało osiągnięte łącząc codzienną pracę w warunkach produkcyjnych z pracą naukowo-badawczą. Tego typu uwarunkowania i poświęcenia doskonale znane są recenzentowi, wieloletniemu pracownikowi branżowej jednostki badawczej (d. Instytutu Odlewnictwa w Krakowie).

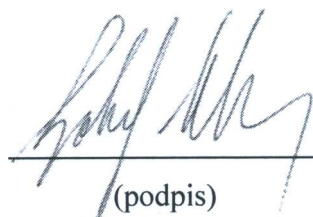
Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że wszystkie badania dotyczące np. obniżenia temperatury stopu AS9, zweryfikowano w warunkach przemysłowych - najpierw na partii 2 500, a następnie 10 000 sztuk wkładek zamontowanych w odlewach tłoków do różnych typów silników spalinowych. Wyniki zostały potwierdzone przez Dział Kontroli Jakości Federal-Mogul Gorzyce. Na tej podstawie ośrodek naukowo-badawczy F-M TENNECO w Norymberdze, jako nadrzędny organ certyfikujący, wprowadził nową specyfikację TS, odnośnie obniżenia temperatury stopu AS9 z 770°C do 750°C (starą i nową normę w tym zakresie przedstawiono w załącznikach 2 i 3).

To samo dotyczy wprowadzenia do stopu AS9 dodatku manganu w postaci zaprawy AlMn20. Na podstawie badań mgr. inż. Mateusza CZEREPKA zmieniono również zapis w normie TS odnośnie podwyższenia dopuszczalnej zawartości żelaza z 3,5 do 4,0% mas. (starą i nową normę w tym zakresie również przedstawiono w załącznikach 2 i 3).

Jest bardzo cennym to, że na podstawie badań mgr. inż. Mateusza CZEREPKA, ośrodek certyfikujący w Norymberdze dokonał zmian w zapisie stosownych norm, które obowiązują dla całej Korporacji TENNECO (dawny POWERTRAIN AUTOMOTIVE CORPORATION), w tym dla ośrodków naukowo-badawczych TENNECO w Chinach, Meksyku i Stanach Zjednoczonych.

Oceniając wysoko zaprezentowane wyniki badań aplikacyjnych, uzupełnione o analizy na wysokim poziomie interpretacji (podparte danymi z aktualnych materiałów źródłowych), jak również uwzględniając ogólną staranność edycji (pomimo odnotowanych uwag oraz zauważonych niewielkiej ilości błędów) stwierdzam, iż w świetle zaprezentowanej wyżej recenzji, rozprawa doktorska spełnia wymagania określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14.03.2003 r. Dz. U. z 2017 r. (poz. 1789, z późniejszymi zmianami).

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam niniejszym, iż ogólnie pozytywnie oceniam rozprawę doktorską mgr. inż. Mateusza CZEREPAKA, a w konsekwencji wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej w Gliwicach o dopuszczenie jej do publicznej obrony. Jednocześnie na podstawie przełożonej recenzji, zwracam się do Pani Przewodniczącej oraz Wszystkich Członków Rady Dyscypliny Materiałowej Politechniki Śląskiej w Gliwicach o rozważenie - przy akceptacji pozostałych Recenzentów - wyróżnienia Autora rozpatrywanej rozprawy doktorskiej.



(podpis)