

dr hab. inż. Mariola Saternus, prof. PŚ  
Katedra Metalurgii i Recyklingu  
Wydział Inżynierii Materiałowej  
Politechnika Śląska  
ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice

Katowice, dnia 28.04.2021

## **RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

**mgr inż. Alexandry DOBOSZ**

**pt. „Thermophysical Properties of Ga-Sn-Zn Alloys”**

(wykonana na zlecenie Rady Naukowej Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej  
im. A. Krupkowskiego PAN w Krakowie – uchwała z 18.03.2021)

Recenzowana praca dotyczy zagadnień związanych z właściwościami ciekłych stopów metali o niskich temperaturach topnienia. Autorka skoncentrowała się głównie na nowych stopach na bazie galu z trójskładnikowego układu Ga-Sn-Zn. Problematyka ta jest bardzo istotna z punktu widzenia możliwości ich zastosowania w miejsce wcześniej powszechnie stosowanej rtęci, bądź stopów ołowiu. Zaproponowane stopy, co jest niewątpliwą ich przewagą w stosunku do wspomnianej rtęci oraz stopów ołowiu są nietoksyczne, niereaktywne i jednocześnie znacznie bardziej przyjazne dla środowiska. Doktorantka skoncentrowała się na określeniu właściwości termofizycznych, takich jak gęstość, lepkość i napięcie powierzchniowe, całego układu czyli stopów Sn:Zn z dodatkiem galu,  $\text{GaSn}_{\text{eut}}$  z dodatkiem cynku oraz  $\text{GaZn}_{\text{eut}}$  z dodatkiem cyny. Wybór tematu jest więc w pełni uzasadniony.

Rozprawa doktorska składa się z 6 rozdziałów, dwóch załączników oraz literatury. W rozdziale 1 zatytułowanym Introduction przedstawiono genezę tematu oraz dobrze napisane umotywowanie podjęcia tematyki. Rozdział 2 to część teoretyczna pracy przybliżająca gal i jego niskotemperaturowe stopy, opis termodynamiczny stopów z dwuskładnikowych układów Ga-Sn, Ga-Zn, Sn-Zn oraz z trójskładnikowego układu Ga-Sn-Zn. Przybliżono także metodę uczenia maszynowego wraz z algorytmem lasu losowego. Autorka wykazała brak danych literaturowych dotyczących termodynamicznych właściwości ciekłych stopów z trójskładnikowego układu Ga-Sn-Zn, co pozwoliło jej na sformułowanie trzech głównych celów pracy. Cele te nie budzą zastrzeżeń, co więcej zostały w pełni

osiągnięte poprzez określenie gęstości, lepkości i napięcia powierzchniowego stopów z układu Ga-Sn-Zn w zakresie temperatur 323-873 K metodą tygła wykładowczego, a następnie porównanie tych wyników eksperymentalnych z wynikami obliczeniowymi otrzymanymi z różnych modeli opartych na właściwościach termodynamicznych. Ponadto opracowano także metodykę uczenia maszynowego w celu przewidzenia gęstości, lepkości i napięcia powierzchniowego stopów Ga-Sn-Zn o niebadanym składzie chemicznym.

W rozdziale 4 zatytułowanym Materials and Methods Autorka opisuje metodykę badawczą, skupiając się na metodzie tygła wykładowczego oraz przedstawieniu różnych modeli opartych na właściwościach termodynamicznych zastosowanych do zamodelowania właściwości termofizycznych. Bardzo krótko przedstawiono także model lasu losowego.

W rozdziale 5 i 6 zaprezentowano wyniki badań własnych eksperymentalnych, a także symulacji przeprowadzonych w oparciu o wybrane modele. Wyniki badań przedstawiono w postaci graficznej i tabelarycznej oraz obszernie przedyskutowano. Uzyskano zgodność porównanych wyników eksperymentalnych i otrzymanych z obliczeń modelowych.

Oryginalnym osiągnięciem pracy jest przeprowadzenie badań eksperymentalnych na ponad 30 stopach z układu Ga-Sn-Zn oraz wyznaczeniu dla tych stopów po raz pierwszy właściwości termofizycznych takich jak gęstość, napięcie powierzchniowe i lepkość. Przybliżyło to niewątpliwie możliwość zastosowania stopu Ga-Sn-Zn jako alternatywnej opcji w stosunku do stopów na bazie indu (Ga-In-Sn) ze względu na jego rzadkość i wysoką cenę. Ponadto Autorka zastosowała metodę uczenia maszynowego, zwłaszcza algorytmu lasu losowego do określania własności termofizycznych dla stopów układu Ga-Sn-Zn wcześniej nie badanych. Efektem takiego zabiegu może być dostosowanie właściwości ciekłych stopów układu Ga-Sn-Zn do wybranych zastosowań.

Recenzowana praca bazuje na 199 pozycjach literaturowych, w tym 9 publikacji własnych Doktorantki. Zakres tematyczny cytowanych pozycji literaturowych można uznać za właściwy dla realizacji pracy, ponadto przeprowadzona analiza źródeł jest wystarczająco obszerna. Należy tutaj także podkreślić, że wszystkie cytowane własne artykuły Doktorantki (w których jest wiodącym autorem) zostały opublikowane w czasopiśmie z listy JCR, takich jak Journal of Molecular Liquids (3 publikacje, 100 pkt MNiSW, IF 5,065), Journal of Physical and Chemical Reference Data (1 publikacja 100 pkt MNiSW, IF 3,051), Journal of Chemical and Engineering Data (1 publikacja, 70 pkt MNiSW, IF 2,369), International Journal of Heat and Mass Transfer (1 publikacja, 140 pkt MNiSW, IF 4,947), Fluid Phase Equilibria (2 publikacje, 100 pkt MNiSW, IF 2,838), Materials Letters (1 publikacja, 70 pkt MNiSW, IF 3,204).

Autorka pisząc pracę nie ustrzegła się jednakże drobnych błędów czy niejednoznacznych sformułowań, czytając pracę nasunęło mi się także kilka uwag o charakterze merytorycznym:


- str. 18 wers 3 od góry – as a byproduct of aluminium extraction from bauxites – tutaj powinno być raczej alumina, proszę podać jak otrzymuje się aluminium elektrolitycznie, z jakich etapów się składa i w którym momencie istnieje możliwość odzysku galu,
- str. 18 wers 8 od góry – Autorka pisze: „gallium is considered to be non-toxic and has been proposed as a biocompatible material for cardiac rhythm management devices, carrier for drugs, cancer therapy .....”, proszę podać, czy wymienione zastosowania są wdrożone, czy na etapie testowania i jakie zastosowania ma gal wraz z udziałami procentowymi,
- str. 19 wers 11 od dołu – Autorka pisze: „it should reduce the corrosive properties compared to pure gallium or binary alloys” – na jakim poziomie może być ta redukcja, czy mogłaby Pani rozwinąć ten temat?
- str. 20 wers 10 od dołu – Autorka pisze: „due to the price of elements forming those binary alloys” – czy może Pani podać ceny tych metali dla porównania,
- str. 21 wers 4 od góry – „in the measured temperature range” – jaki to zakres temperatur, proszę go podać,
- str. 21 wers 15 od góry – Galinstan may contain zinc and lead – proszę doprecyzować, np. podać skład chemiczny,
- rys. 2 str. 26 oraz rys. 3 i 4 str. 27 - rysunki mało czytelne zwłaszcza wartości temperatur, w całej pracy temperatura podawana jest w K, tutaj w °C,
- w równaniu (1), (2), (5) pojawia się współczynnik  $C_d$ , w równaniach (8-13) pojawia się współczynnik  $C_d$  – zapis różny, czy jest to ta sama wielkość? W spisie symboli pojawia się tylko  $C_d$ ,
- podobnie we wzorze (3) liczba Froude'a podana jest jako  $Fr$ , we wzorze (5) zaś  $Fr$  – niezbędny jednakowy zapis symboli,
- we wzorze (6) pojawia się symbol  $h$  – w spisie symboli oznacza to stałą Plancka, jeśli tak to jaką jednostkę ma  $C_d$ , tutaj powinno być raczej duże  $H$ , to samo dotyczy wzorów nr (8), (9) (12), (16),
- str. 42 wers 2 od dołu – skrót DC powinien zostać wyjaśniony lub wcześniej pojawić się w tytule rozdziału 4.2,
- co we wzorach (12) oraz (13) i (14) oznaczają  $a$  i  $b$  – brak w spisie symboli,
- parametr  $e$  ma zgodnie z listą symboli jednostkę  $g/cm^3$ , zaś  $f$   $g/cm^3 \cdot K^{-1}$ , jaka jest zatem jednostka gęstości w tym wzorze, w pracy pojawiają się dwa wzory na gęstość: wzór (20)

na stronie 45 oraz wzór (51) na str. 55, w Tabelach 5 i kolejnych parametry te mają odwrócone jednostki, w pracy wkradła się pewna niekonsekwencja w opisie symboli,

- podobnie jak wyżej ma się sytuacja w przypadku wzoru (53) oraz (35) na napięcie powierzchniowe,
- co oznacza A we wzorze (32), zgodnie z listą symboli jest to pole powierzchni,
- co we wzorze (38) oznacza  $x_1$  i  $x_2$  – brak w liście symboli, jest tylko X, zauważono pewne niekonsekwencje we wzorach, braku wyjaśnienia tych symboli pod wzorem, a wyjaśnieniami w liście symboli,
- co oznacza N we wzorze (48),
- proszę podać więcej informacji o Modelu Lasu Losowego – np. w postaci diagramu,
- pod opisem Tabeli 5 pojawia się p jako ciśnienie, w liście symboli jest P,
- Tabela 10 –  $V_x$  – zgodnie z opisem Tabeli excess volume parameter, w spisie symboli interaction parameter,
- we wzorze (52) A opisane jest jako pre-exponential parameter, zaś w spisie symboli pojawia się jako pole powierzchni,
- Appendix 2 – czym można tłumaczyć ponad 30% różnicę pomiędzy wynikami eksperymentalnymi (real value) a obliczonymi (predicted value) dla lepkości dla 0,5 i 0,75% at. Ga,
- generalnie brak w pracy schematu badań – mapy/diagramu, schematycznie przedstawiony plan badawczy pozwoliłby na większą przejrzystość pracy, a przede wszystkim ukazania obszerności przeprowadzonych badań,
- brak konsekwencji w opisie publikacji, brak danych, brak nr stron, brak nr tomu; pozycje [27], [35], [37], [78], [101], [105], [124], [186], [188], [190] – brak stron; [47], [66], [73], [104], [183] – brak stron i nr tomu; pozycja [10], [110] – brak daty i godziny; pozycja [15], [126], [147], [149], [158], [177], [182] – brak miejsca wydania.

Wskazane uwagi nie wpływają jednakże na zasadniczą wartość pracy. Przedstawiona dysertacja stanowi oryginalne osiągnięcie naukowe Pani mgr inż. Alexandry Dobosz, która wykazała się zarówno znajomością podstaw właściwości stopów niskotemperaturowych z układu Ga-Sn-Zn, jak i dobrą umiejętnością w prowadzeniu trudnych badań eksperymentalnych oraz wnikliwością analityczną, co świadczy o umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy badawczej. Praca stanowi obszerny i cenny materiał badawczy, a uzyskane wyniki mogą mieć praktyczne znaczenie.

Reasumując uważam, że przedstawiona praca doktorska Pani mgr inż. Alexandry Dobosz pt. „Thermophysical properties of Ga-Sn-Zn alloys” spełnia warunki stawiane przez Ustawę z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 nr 65 poz. 595) i wnoszę o jej przyjęcie oraz dopuszczenie do publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Sate", with a long horizontal stroke extending to the right.