

Wrocław, 21/09/2026

Dr hab. inż. Jacek Ćwik
Kierownik Oddziału Niskich Temperatur i Nadprzewodnictwa
Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych Polskiej Akademii Nauk
ul. Okólna 2, 50-422 Wrocław
tel. +48 71 3907116
tel. kom. 508908869
e-mail: j.cwik@intibs.pl

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Kacpra Surmy

**pt. „Analiza synergii efektów mechano-magnetokalorycznych w stopach
Ni-Mn-In oraz opracowanie koncepcji ich zastosowania w układach chłodniczych”**

1. Podstawa opracowania

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Mechanicznej, prof. dr hab. inż. Zbigniewa Gronostajskiego z dnia 14 lipca 2026 roku i dołączona do niego rozprawa doktorska mgr. inż. Kacpra Surmy pt. „Analiza synergii efektów mechano-magnetokalorycznych w stopach Ni-Mn-In oraz opracowanie koncepcji ich zastosowania w układach chłodniczych”, zrealizowana pod kierunkiem dr hab. inż. Daniela Lewandowskiego oraz dr inż. Rafała Mecha w Katedrze Mechaniki, Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej na Wydziale Mechanicznym.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska dotyczy analizy synergii efektów mechano-magnetokalorycznych w stopach Ni-Mn-In oraz opracowania koncepcji ich zastosowania w układach chłodniczych. Rozprawa napisana jest w języku polskim. Rozprawa liczy 147 stron formatu A4. Część wprowadzająca obejmuje 49 stron i zawiera streszczenia napisane w języku polskim i angielskim, wykaz skrótów, pojęć i oznaczeń, spis treści. W dalszej kolejności autor przedstawił część teoretyczną zawierającą wprowadzenie oraz analizę stanu wiedzy, w której opisuje zjawiska kaloryczne, obiegi termodynamiczne stosowane do opisu układów kalorycznych, cykle multikaloryczne oraz poddaje analizie materiały kaloryczne, ich rodzaje, właściwości i sposoby otrzymywania, z wyróżnieniem stopów Fe-Rh oraz stopów Hauslera. Następnie autor zapoznaje nas z celami oraz tezą rozprawy.

Drugą część rozprawy stanowią badania własne, w których autor prezentuje systemy do wytwarzania stopów z rodziny Ni-Mn-In, po czym przechodzi do opisu wytwarzania

masywnych próbek tych stopów. W kolejnym etapie zostajemy zapoznani ze stanowiskiem badawczym i systemami pomiarowymi, mającymi na celu między innymi określenie właściwości magnetycznych, elastokalorycznych i magnetokalorycznych. Następnie autor przechodzi do charakteryzacji mechanomagnetokalorycznej otrzymanych materiałów, gdzie określa między innymi wpływ składu chemicznego na charakterystykę termomagnetyczną stopów Ni-Mn-In oraz prezentuje właściwości kaloryczne stopu In15. W ostatnim punkcie autor prezentuje demonstrator układu chłodniczego. Zakończenie rozprawy stanowią wnioski i podsumowanie, proponowane kierunki dalszych działań, bibliografia licząca 174 pozycji oraz spis wykresów i tabel.

W dorobku naukowym Doktoranta widnieją dwie publikacje z bazy JCR. Sumaryczny współczynnik oddziaływania (IF) wynosi 13 (licząc IF obowiązujący w roku opublikowania). Według bazy Scopus na dzień 20 września liczba cytowań wyniosła 8 natomiast indeks Hirscha wyniósł 2. Według bazy DONA autor rozprawy w okresie od 2021 do 2026 roku był współautorem czterech nieopublikowanych materiałów konferencyjnych.

3. Ocena merytoryczna

Przedłożona rozprawa doktorska podejmuje aktualną i istotną problematykę badawczą z zakresu inżynierii materiałowej, mechaniki oraz nowoczesnych technologii chłodniczych opartych na efektach kalorycznych. Tematyka pracy doskonale wpisuje się w światowy nurt badań nad alternatywnymi, energooszczędnymi i przyjaznymi dla środowiska technologiami chłodniczymi.

Głównym celem pracy była analiza synergii efektów magnetokalorycznych i mechanokalorycznych w stopach z rodziny Ni-Mn-In oraz ocena możliwości ich wykorzystania w konstrukcji nowoczesnych układów chłodniczych. Teza pracy została jasno sformułowana i konsekwentnie realizowana przez autora w całym toku pracy.

Na szczególne podkreślenie zasługuje bardzo szeroki zakres przeprowadzonych badań. Doktorant zaprojektował i skonstruował autorski układ, który pozwolił na syntezę materiałów kalorycznych w ilościach rzędu kilkudziesięciu gramów. Do budowy pieca indukcyjnego wykorzystał lampy elektronowe GU-81, umożliwiające przetop do 200 g metalu w temperaturze do 1600 °C. Opracowana procedura pozwoliła na uzyskanie jednorodnych próbek stopów Ni-Mn-In przy ubytku masy poniżej 0,5 %.

Doktorant zaprojektował i wykonał stanowisko pomiarowe do badań właściwości magnetokalorycznych, elastokalorycznych i multikalorycznych. Unikatowe stanowisko stanowiło przystawkę do maszyny wytrzymałościowej MTS-810 i było wyposażone w macierz Halbacha zapewniającą pole magnetyczne o indukcji 0,9 T, komorę z regulacją temperatury

w zakresie od 10 do 60 °C. Zbudowany układ umożliwił precyzyjny pomiar adiabatycznych zmian temperatury pod wpływem dwóch bodźców jednocześnie.

Doktorant przeprowadził syntezę próbek z rodziny stopów Hauslera, tj. Ni-Mn-In. Jako docelowe próbki wybrał grupę obejmującą pięć różnych składów. Następnie w wyniku przeprowadzonych analiz zmian przenikalności magnetycznej w funkcji temperatury, na autorskim stanowisku badawczym, do dalszych badań wybrał stop o składzie $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{35}\text{In}_{15}$.

Autor wykazał, że dla w/w stopu przy odpowiednio dobranych warunkach obciążenia mechanicznego oraz pola magnetycznego możliwe jest uzyskanie efektów multikalorycznych przewyższających parametry uzyskiwane przy wykorzystaniu pojedynczych efektów kalorycznych. Oddziaływanie w fazie (MuF), w ograniczonym zakresie naprężeń, pozwoliło na uzyskanie efektu multikalorycznego w poszerzonym zakresie temperatur w stosunku do czystego efektu magnetokalorycznego lub elastokalorycznego.

Kolejnym osiągnięciem doktoranta była budowa i badania demonstratora pompy ciepła z Aktywnym Magnetokalorycznym Regeneratorem (AMR). Skonstruował układ bazujący na gadolinie, testując dwie geometrie wypełnienia złoża: sferoidalną i płatkową. Uzyskał stabilną różnicę temperatur między stroną zimną a ciepłą, co potwierdziło poprawność przyjętych założeń konstrukcyjnych.

Doktorant przedstawił koncepcję cyklu pracy AMER i konstrukcji pompy ciepła opartej na efektach multikalorycznych. Zaprojektował regenerator multikaloryczny w postaci wiązki prętów ze stopu Ni-Mn-In, zapewniający równomierne przenoszenie naprężeń mechanicznych przy zachowaniu swobodnego przepływu medium przenoszącego ciepło. Opracował sekwencje pracy układu dla stymulacji synfazowej i przeciwfazowej, które wykorzystują informacje o właściwościach badanych materiałów Ni-Mn-In.

4. Ocena metodyki badawczej

Przyjęte przez doktoranta metody badawcze zostały prawidłowo dobrane w stosunku do stawianych celów badawczych. Autor wykazał się dobrą umiejętnością łączenia różnych metod badawczych, tj. materiałoznawczych, magnetycznych, mechanicznych i termodynamicznych. Połączenie charakterystyki otrzymanych materiałów z praktyczną próbą ich implementacji w proponowanym demonstratorze zasługuje na szczególną uwagę.

Należy również docenić samodzielność badawczą. Doktorant skonstruował piec do topienia indukcyjnego, przygotował własne procedury technologiczne, opracował układy pomiarowe a także stworzył algorytmy do analizy otrzymanych danych eksperymentalnych. Powyższe świadczy o jego bardzo dobrym przygotowaniu naukowym i inżynierskim.

5. Uwagi

Poniżej wskazuję kilka punktów wymagających uwagi:

1. Część teoretyczna zawiera zbyt obszerne fragmenty o charakterze podręcznikowym.
2. Niektóre z przedstawionych tabel są nieczytelne, ponadto ich opis jest bardzo ogólny. Należałoby dokładnie opisać w tytułach czego dotyczą poszczególne dane. Tabele także zawierają błędy, np. zmiana entropii wyrażona jest w niewłaściwych jednostkach. Ponadto w literaturze fachowej zmianę entropii definiujemy dużą literą. Wyrażenie temperatury, w której występuje maksimum danego efektu także przedstawione jest niewłaściwie.
3. Str. 56. Jaki obszar wsadu był kontrolowany temperaturowo ? Czy mierzono temperaturę dolnej części wsadu ?
4. Str. 66. „Bardzo ważnym aspektem okazało się oczyszczenie składników, a zwłaszcza manganu”. Na jakim etapie dochodziło do zanieczyszczeń manganu, skoro metal miał czystość co najmniej 99,95 % ? Czy ubytek masy faktycznie był na tak niskim poziomie (0,5 %) ? Czy dla wszystkich próbek ubytek masy był zbliżony ?
5. Str. 67. W literaturze fachowej nie spotkałem się z określeniem „prosty efekt MC”. Ogólnie przyjętym określeniem jest konwencjonalny (normalny) MCE oraz odwrotny MCE.
6. Str. 68. „Zakupiono metale (nikiel, mangan, ind, kobalt) o czystości co najmniej 99,95 %.” Czy były prowadzone syntezy z udziałem Co ?
7. Str. 73. Warto było pokazać przekrój pozostałej części stopu.
8. Str. 77. Autor skonstruował system do pomiaru zmian przenikalności magnetycznej. Czy otrzymane wyniki były jedynym kryterium decydującym o wyborze konkretnego materiału do dalszych badań ? Czy wyłącznie dla jednej próbki wykonano pomiary przy użyciu PPMSa ? W polu o jakiej indukcji magnetycznej prowadzono pomiar ?
9. Str. 88. Na rysunku 6.8 autor prezentuje wykres nie podając dla jakiej próbki są to wyniki, nie podaje także przy jakiej wartości indukcji pola magnetycznego prowadzono pomiary.
10. Str. 90. Niepoprawny opis prezentowanych zależności. Brak też w opisie określenia dla jakich wartości pola magnetycznego określono zmiany adiabaticznej temperatury. Natomiast sam wynik jak najbardziej poprawny. Adiabaticzna zmiana temperatury dla czystego Gd, zmierzona metodą bezpośrednią w temperaturze 294 K i w polu 1 T, wynosi 2,6 K.
11. Str. 91. Wyniki zaprezentowane na rys. 7.1 powinny zostać szczegółowo przeanalizowane i porównane z danymi literaturowymi, przynajmniej dla wybranego stopu $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{35}\text{In}_{15}$. Brakuje dyskusji.
12. Str. 92. Tabela 7.1 Podawanie wartości T_c z dokładnością do dwóch miejsc po przecinku jest zbędne.
13. Str. 93. Dlaczego nie przeprowadzono analiz XRD ?

14. Str. 100. W jaki sposób wykonano pomiar ? Czy próbka była podgrzewana w pierwszym etapie, a następnie ściskana? Jeśli tak to w jaki sposób? Co było przyczyną przesunięcia maksimum w stronę wyższych temperatur przy próbie pod ciśnieniem 127 MPa ? Jak autor wyjaśni, że pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego następuje obniżenie ΔT_{ad} i przesunięcie w stronę wyższych T ?
15. Str. 108. Zastanawiam się czy takie porównanie jest do końca właściwe. Autor porównuje otrzymane wyniki efektów multikalorycznych i elastokalorycznych $Ni_{50}Mn_{35}In_{15}$ z wynikami magnetokalorycznymi dla Gd. Brakuje porównania efektów magnetokalorycznych $Ni_{50}Mn_{35}In_{15}$ lub multikalorycznych dla Gd. Poza tym autor napisał; „Przewyższa on nawet charakterystykę gadolinu w szerokim zakresie, od $-15^{\circ}C$ do ponad $+25^{\circ}C$ względem wartości maksymalnej” Powinno być od $-10^{\circ}C$.
16. Str. 114 autor po raz kolejny opisuje AMR.
17. Odnośnie demonstratora układu chłodniczego. Autor zaprojektował urządzenie wykorzystujące pojedynczy efekt kaloryczny. Jako aktywny czynnik chłodniczy użył Gd w dwóch postaciach i zaprezentował wyniki pracy demonstratora w postaci krzywych zmian ΔT_{ad} w funkcji czasu dla dwóch różnych form czynnika. Uważam, że otrzymane wyniki powinny zostać podane wprost i przeanalizowane. W jakich okolicznościach autor mógłby spodziewać się wyższych wartości ΔT_{ad} . Zastanawiającym jest dlaczego autor nie wykorzystał jako czynnika chłodniczego otrzymanego stopu $Ni_{50}Mn_{35}In_{15}$? Bardzo interesujące mogą być wyniki proponowanych kierunków dalszych badań. Zakładam, że realizacja dalszych badań da nam odpowiedź jaki jest wpływ synergii tych dwóch efektów dla badanego związku.
18. Czy autor mógłby omówić poszczególne zmiany zachodzące na krzywej zależności zmian przenikalności magnetycznej w funkcji temperatury czy też magnetyzacji w funkcji temperatury (rys.6.3). Jakie obserwujemy efekty ? Jakie przemiany ? W pracy nie doszukałem się szczegółowego opisu tych zmian dla Ni-Mn-In. Np. co jest związane ze zmianami obserwowanymi w temperaturze około $-70^{\circ}C$?
19. Czy autor może określić, jaki byłby wpływ powtarzalności (ściskania) na właściwości fizyczne stopu oraz jakiego można oczekiwać efektu MC w wyniku cyklicznych zmian wywołanych ściskaniem.
20. Czego należy się spodziewać w sytuacji współistnienia faz martenzytycznej i austenitycznej podczas ściskania i podczas działania na badany stop polem magnetycznym.

6. Uwagi edytorskie

Pomimo wysokiego poziomu przedłożonej rozprawy można wskazać kilka błędów edytorskich. Oto wybrane z nich:

1. Streszczenie. „.....badania nad efektami: mechano-, magneto- i multikalorycznym...”. Po przyimku „nad” wymagany jest narzędnik liczby mnogiej. Powinno być: „....badania nad efektami mechano-, magneto- i multikalorycznymi” albo „....badania nad efektami mechanokalorycznym, magnetokalorycznym i multikalorycznym”.
2. Streszczenie. „ Dużą luką badawczą jest synteza nowo opracowanych materiałów kalorycznych w ilościach umożliwiającym skonstruowanie układu chłodniczego.” To nie synteza jest luką badawczą, lecz brak odpowiednich metod lub wiedzy. Powinno być np. „Istotną luką badawczą jest opracowanie metod syntezy nowych materiałów kalorycznych...”
3. Streszczenie. „Prace z zakresu inżynierii materiałowej zwykle opisują syntezy nowych materiałów, ale na mikroskalę...”. To nie „prace” są prowadzone na mikroskalę, lecz proces syntezy. Powinno być : „W publikacjach z zakresu inżynierii materiałowej zwykle opisuje się syntezę nowych materiałów prowadzoną w niewielkiej skali.”
4. Str. 11. „Zasadniczym celem przeglądu literatury i opisu termodynamiki jest krótkie omówienie podstaw fizycznych teorii pracy kalorycznych układów chłodniczych...”. Sformułowanie „teoria pracy układów chłodniczych” brzmi nienaturalnie. Lepiej brzmi : „Zasadniczym celem przeglądu literatury oraz omówienia zagadnień termodynamicznych jest przedstawienie podstaw fizycznych działania kalorycznych układów chłodniczych i pomp ciepła.”
5. Str. 32. Zdanie rozpoczęte z małej litery. „Schematyczne działanie układu z cyklem AMR przedstawiono na rysunku 2.12. obieg ten może.....”
6. Str. 37. „....ma bardzo niewielkie szanse na szerokie zastosowanie w chłodnictwie z uwagi na bardzo wysoką cenęrodu, wynoszącą około 1981 PLN za gram. Skoro około to lepiej należałoby napisać 2 tys. PLN.
7. Str. 81. „....temperatura próbki musi istnieć powoli zmieniana w zakresie, dla którego chcemy prowadzić pomiar...”. Powinno być: Temperatura próbki powinna być zmieniana w sposób powolny i kontrolowany w zakresie temperatur, dla którego planowany jest pomiar.
8. Str. 91. „....a następnie chłodzono razem z piecem....” Wiadomo o co chodzi, ale lepiej brzmi : „po wyżarzaniu próbki chłodzono wraz z piecem do temperatury pokojowej.”
9. Str. 117. Wyraz „ilość” odnosi się do wielkości niepoliczalnych. Zdanie „ ilość i prędkość pompowanej cieczy” lepiej zastąpić „ objętość pompowanej cieczy”.

Podsumowanie

Rozprawa doktorska pana mgr inż. Kacpra Surmy, pt. „Analiza synergii efektów mechano-magnetokalorycznych w stopach Ni-Mn-In oraz opracowanie koncepcji ich zastosowania w układach chłodniczych” stanowi oryginalne i wartościowe opracowanie naukowe z pogranicza inżynierii materiałowej, mechaniki oraz inżynierii cieplnej. Autor podjął aktualny problem badawczy związany z rozwojem ekologicznych technologii chłodniczych opartych na zjawiskach kalorycznych.

Do najważniejszych osiągnięć należy zaliczyć opracowanie autorskiej technologii otrzymywania stopów Ni-Mn-In, zaprojektowanie i wykonanie unikatowej aparatury badawczej, przeprowadzenie kompleksowych badań magnetokalorycznych, elastokalorycznych i multikalorycznych, wykazanie synergii oddziaływań magnetycznych i mechanicznych, opracowanie demonstratora układu chłodniczego wykorzystującego efekty kaloryczne oraz porównanie osiągnięć badanego materiału z gadolinem, stanowiącym materiał referencyjny. Szczególnie cenne jest wykazanie, że odpowiednio dobrane warunki oddziaływania mechanicznego i magnetycznego prowadzą do korzystnego efektu multikalorycznego, mogącego stanowić podstawę nowych układów chłodniczych.

Praca nie jest pozbawiona pewnych niedoskonałości, o których pisałem jak wyżej. Brakuje między innymi dyskusji dotyczącej trwałości zmęczeniowej materiałów Ni-Mn-In podczas długotrwałej pracy. Pewne elementy dotyczące demonstratora technologii mają charakter koncepcyjny i wymagają dalszej walidacji eksperymentalnej. Autor rozprawy na chwilę obecną posiada skromny dorobek publikacyjny.

Powyższe uwagi nie umniejszają wartości poznawczej pracy doktorskiej mgr inż. Kacpra Surmy, którą oceniam wysoko. Biorąc pod uwagę merytoryczną zawartość rozprawy oraz jakość i zakres osiągniętych rezultatów uważam, że rozprawa doktorska spełnia warunki ustawowe określone w art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2024 r. poz. 1571).

W związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie kandydata, mgr inż. Kacpra Surmy, do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.

