

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Doktorant: Upadesh Subedi, mgr inż.

Tytuł rozprawy: „Towards Digital Twins for Laser Processed Multi-Component Alloys through Laser–Microstructure Interface Quantification”

Dyscyplina: Inżynieria Materiałowa

Recenzent: dr hab. Francisco Javier Dominguez Gutierrez

1. Ocena formalna

Przedłożona rozprawa doktorska pt. „Towards Digital Twins for Laser Processed Multi-Component Alloys through Laser–Microstructure Interface Quantification” została przygotowana w formie spójnego cyklu publikacji naukowych uzupełnionego obszernym opracowaniem syntetyzującym dorobek naukowy doktoranta. Rozprawa dotyczy aktualnej i istotnej problematyki z pogranicza inżynierii materiałowej, obliczeniowej nauki o materiałach, modelowania metodą pola fazowego, termodynamiki, uczenia maszynowego oraz cyfrowego wytwarzania. Celem pracy jest opracowanie metod obliczeniowych umożliwiających przyspieszenie przewidywania ewolucji mikrostruktury podczas obróbki laserowej oraz stworzenie podstaw dla przyszłych systemów typu Digital Twin w zaawansowanych procesach wytwarzania. Rozprawa obejmuje pięć recenzowanych publikacji poświęconych oddziaływaniom laser–materiał, modelowaniu termodynamicznemu, tensorowej reprezentacji mikrostruktur, predykcji ewolucji mikrostruktury z wykorzystaniem uczenia maszynowego oraz modelowaniu przemian indukowanych laserowo metodą pola fazowego.

2. Wartość naukowa i oryginalność

Tematyka rozprawy jest aktualna i ważna. Opracowanie modeli predykcyjnych łączących parametry procesu z ewolucją mikrostruktury pozostaje jednym z głównych wyzwań Integrated Computational Materials Engineering (ICME) oraz rozwoju koncepcji Digital Twin.

Do najważniejszych osiągnięć naukowych należą:

- opracowanie tensorowej reprezentacji danych mikrostrukturalnych do opisu i kompresji wielowymiarowych zbiorów danych,
- zastosowanie zaawansowanych modeli pola fazowego do symulacji ewolucji mikrostruktury indukowanej laserowo,
- integracja metod uczenia maszynowego (Conv-LSTM i U-Net) do przyspieszonej predykcji mikrostruktury i charakterystyki jeziora ciekłego,
- sformułowanie koncepcji interfejsu Laser–Microstructure jako pośredniej reprezentacji między parametrami procesu a stanem materiału,
- demonstracja ram obliczeniowych mogących stanowić element przyszłych architektur Digital Twin.

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 01.07.2026

RD JMa/141/51/2026.

nr zał.

Doktorant wykazuje szeroką wiedzę z zakresu termodynamiki, przemian fazowych, modelowania numerycznego oraz materiałowej analizy danych. Interdyscyplinarny charakter pracy stanowi jedną z jej największych zalet.

3. Ocena metodyki

Metodyka łączy modelowanie metodą pola fazowego, obliczenia termodynamiczne, dekompozycję tensorową oraz algorytmy uczenia maszynowego. Sformułowania modeli są poprawne i zgodne z zasadami termodynamiki. Implementacja numeryczna jest przekonująca i zilustrowana przykładami dla układów Ti–Au, Ti–Cu, Au, Ti–Cr oraz CoCrFeNi. Integracja modeli fizycznych z uczeniem maszynowym została przeprowadzona w sposób spójny i nowoczesny.

4. Wkład naukowy

Rozprawa wnosi wkład do inżynierii materiałowej obliczeniowej, modelowania pola fazowego, materiałowej informatyki, fizycznie ugruntowanego uczenia maszynowego oraz metodologii Digital Twin. Największą wartością jest integracja tych podejść w jednolite ramy badawcze.

5. Uwagi krytyczne

Mimo wysokiego poziomu naukowego pracy, kilka kwestii wymaga dyskusji:

5.1. Nowość Thermodynamic Tensor Model powinna zostać wyraźniej odróżniona od istniejących metod dekompozycji tensorowej (Tucker, HOSVD i pokrewnych).

5.2. Przedstawione rozwiązanie stanowi raczej technologię umożliwiającą budowę Digital Twin niż kompletną implementację cyfrowego bliźniaka, gdyż brakuje mechanizmów aktualizacji w czasie rzeczywistym, dwukierunkowej komunikacji oraz zarządzania niepewnością.

5.3. Walidacja eksperymentalna ma głównie charakter jakościowy; szersza walidacja ilościowa zwiększyłaby wiarygodność modeli.

5.4. Warto szerzej omówić zdolność modeli uczenia maszynowego do ekstrapolacji oraz przenoszenia na układy niewystępujące w zbiorze treningowym.

5.5. Możliwość zastosowania metod do szerszej klasy stopów wieloskładnikowych wymaga dalszego potwierdzenia.

6. Pytania do doktoranta

1. Co zasadniczo odróżnia proponowany Thermodynamic Tensor Model od istniejących metod dekompozycji tensorowej i modeli zredukowanego rzędu?

2. W jaki sposób można włączyć sprzężenie zwrotne z eksperymentu w czasie rzeczywistym do proponowanej architektury Digital Twin?

3. Jak proponowana metodologia sprawdziłaby się w przypadku ewolucji mikrostruktury indukowanej napromienianiem zamiast obróbki laserowej?

4. Jaką strategię zastosowano do ilościowej oceny niepewności predykcji modeli uczenia maszynowego?

7. Ocena końcowa

Rozprawa doktorska podejmuje ważny problem naukowy z zakresu współczesnej inżynierii

materiałowej i przedstawia oryginalne osiągnięcia naukowe. Doktorant wykazał umiejętność samodzielnego formułowania celów badawczych, stosowania zaawansowanych metod obliczeniowych, krytycznej analizy wyników oraz publikowania w uznanych czasopismach międzynarodowych. W mojej ocenie rozprawa spełnia wymagania ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce oraz regulacji Politechniki Śląskiej dotyczących nadawania stopnia doktora. Wnoszę o dopuszczenie Kandydata do dalszych etapów postępowania doktorskiego oraz o nadanie stopnia doktora w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa.

Biorąc pod uwagę jakość publikacji, interdyscyplinarny charakter pracy oraz jej międzynarodową widoczność, rozprawa może być również rozważona do wyróżnienia, o ile spełnione zostaną dodatkowe kryteria Rady Dyscypliny.

Data: 01.07.2026

dr hab. F. Javier Dominguez G.



Digitally signed
by Francisco
Javier Dominguez
Gutierrez
Date: 2026.07.01
10:17:56 +02'00'