

Katowice, 20 stycznia 2023

## **Recenzja**

### **rozprawy doktorskiej mgr inż. IZABELI MANIA**

**pt. „Krystalograficzne aspekty formowania się pasm ścinania w metalach odkształcanych w zakresie dużych i ekstremalnie dużych prędkości odkształcenia”**

#### **Uwagi formalne**

Opinię niniejszą wykonałam na podstawie przesłanego do mnie pisma Pani Dyrektor Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej im. Aleksandra Krupkowskiego Polskiej Akademii Nauk w Krakowie dr hab. Joanny Wojewoda-Budki, prof. Instytutu z dnia 12.12.2022 roku.

Opracowując recenzję rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Izabeli Mania kierowałam się zgodnie z przyjętymi standardami oraz literą i duchem regulacji prawnych, głównie następującymi kryteriami:

- trafność wyboru tematyki badawczej oraz umiejętność określenia przedmiotu i zakresu pracy,
- oryginalność rozwiązania problemu naukowego, poprawność ustalenia celów rozprawy, tez rozprawy, strategii i procedur badawczych oraz struktury rozprawy,
- jakość rozprawy z punktu widzenia warsztatu naukowego i poziomu pisarskiego,
- stopień realizacji przyjętego celu rozprawy,
- wykazanie ogólnej wiedzy z zakresu objętego tematyką rozprawy oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia dyskursu naukowego.

#### **Ocena istotności problemu naukowego rozprawy**

Zasadniczym problemem podjętym w rozprawie doktorskiej Pani mgr inż. Izabeli Mania, jest próba szczegółowego wyjaśnienia mechanizmów jakie odpowiadają za lokalizację odkształcenia a tym samym za możliwość propagacji pęknięć w wyrobach metalowych kształtowanych lub eksploatowanych w warunkach dużych i ekstremalnie dużych prędkości odkształcenia. Strukturalnie w obszarach zlokalizowanego

odkształcenia plastycznego elementami mikrostruktury odpowiedzialnymi za skłonność do znacznych odkształceń plastycznych są, generowane w takich warunkach, pasma ścinania, czy też innego typu struktury takie jak mechaniczne bliźniaki, z drugiej strony jednak efektem kumulacji odkształcenia może być zarodkowanie i propagacja pęknięć.

Zagadnienia związane z analizą i szczegółowym wyjaśnieniem ewolucji mikrostruktury, w trakcie odkształcenia plastycznego, były już przedmiotem opracowań. W większości dotyczyły jednak zmian mikrostrukturalnych jakie generowane są w trakcie odkształcenia plastycznego w zakresie niskich prędkości. Nieliczne prace i opracowania naukowe skupiały się na tematyce ewolucji mikrostruktury i wpływu zamiany pracy odkształcenia plastycznego w ciepło, a tym samym charakterystycznych zmian w mikrostrukturze prowadzących do formowania się struktur odpowiedzialnych za możliwy dalszy proces odkształcenia bez utraty spójności. Do takich struktur zaliczane są pasma ścinania (PS) a szczególnie adiabatyczne pasma ścinania, jakie mogą powstawać w warunkach dużych i ekstremalnie dużych prędkości odkształcania, w wyniku lokalizacji odkształcenia i lokalnych kumulacji energii podczas wspomnianego zjawiska zamiany pracy odkształcenia plastycznego w ciepło.

Procesy kształtowania i eksploatacji wyrobów metalowych w wyniku technologii związanej z wywieraniem na materiał fali uderzeniowej podczas odkształcenia w zakresie dużych i ekstremalnie dużych prędkości są znane od dawna. Pomimo, iż znane są opracowania w zakresie oddziaływań lokalnych struktur związanych z kształtowaniem się adiabatycznych pasm ścinania w metalach i stopach takich jak Al czy Ti, w tym wielofazowych, nie podejmowano dotychczas prób analizy warunków krystalograficznych i przyczyn oraz tendencji ewolucji mikrostrukturalnych stanowiących podstawy formowania się pasm ścinania w strukturach mniej złożonych takich jakimi są monokryształy bądź struktury jednofazowe o znanej i opisanej teksturze wyjściowej. W tym obszarze istnieje wyraźna luka, gdyż nie udało się dotychczas w sposób uporządkowany dokonać analizy i opisu krystalograficznych aspektów formowania się struktur takich jak pasma ścinania, będących następstwem ewolucji i przegrupowań struktury dyslokacyjnej zależnych od prędkości odkształcania.

W tym kontekście wybór tematyki rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Izabeli Mania jest w pełni uzasadniony. Ma to odzwierciedlenie zarówno w przyjętej strategii zaprojektowania i realizacji poszczególnych etapów pracy, które Autorka wnikliwie przemyślała, na podstawie przeanalizowanej literatury i doświadczeń zespołu kierowanego przez promotora rozprawy Pana Profesora Henryka Paula w tym obszarze, jak również w prowadzeniu kolejnych etapów prac badawczych w rozprawie, w tym badań zaplanowanych w zdefiniowanej przez Autorkę pierwszej grupie analiz obejmujących eksperymenty na monokryształach metali o różnej wartości energii błędu ułożenia sieci RSC, oraz orientacjach uprzywilejowanych dla tworzenia się pasm ścinania oraz drugiej grupie analiz prowadzonych na polikryształach metali o strukturze jednofazowej, takich jak Al, Cu i stop CuZn30 w warunkach odkształceń dynamicznych. Przedłożona do recenzji praca doktorska wpisuje się więc, swoją tematyką w interesujące i bardzo aktualne obszary badań podstawowych ale jednocześnie dających podstawy aplikacyjne w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

Przedłożone do oceny zwarte ale i kompleksowe opracowanie zostało przygotowane w formie oprawionego wydruku komputerowego formatu A4 o objętości 112 stron. Atutem pracy jest bardzo estetyczna forma przedstawienia rysunków a szczególnie mikrostruktur i map orientacji uzupełnionych o opisy szczegółów istotnych dla wskazania istotnych elementów mikrostrukturalnych stanowiących dokumentację, zarówno wybranych z literatury wyników badań, jak i badań własnych Autorki. Struktura rozprawy nie odbiega od przyjętych standardów dla tego rodzaju opracowań. Doktorantka podzieliła pracę na dwie zasadnicze części.

Pierwsza z nich, zatytułowana „Wprowadzenie”, zajmuje 23 strony i podzielona jest na 6 podrozdziałów. Wprowadzają one czytelnika w tematykę zagadnień związanych z formowaniem się pasm ścinania i podstaw krystalograficznych zarodkowania, i propagacji PS w warunkach odkształceń statycznych i quasi statycznych, a także zarysowują zagadnienia inicjowania tworzenia PS w warunkach dużych prędkości odkształcenia. Co prawda, ta część dysertacji nie zawiera podsumowania stanowiącego wprost nawiązanie do chęci podjęcia problematyki badawczej pracy, niemniej jednak takowy opis znajdziemy niejako we wstępie. Literatura pracy jest właściwie dobrana i aktualna. W spisie literatury, Doktorantka podaje 117 pozycji krajowych i zagranicznych, do których odwołuje się w swojej rozprawie. W tej grupie, co budzi zastanowienie, nie odnaleziono prac współautorstwa Doktorantki, a jedynie liczne dzieła naukowe z obszaru związanego z tematyką pracy, współautorstwa promotora rozprawy.

Druga część, którą należy zaliczyć do części eksperymentalnej, przedstawiona została na 67 stronach, co stanowi niemal 60 procent objętości pracy. Tę część pracy otwiera rozdział „Teza i cel pracy”, a następnie rozdział „Część eksperymentalna”, zawierający 3 podrozdziały opisujące ideę podjętego zagadnienia, materiał do badań, stanowiska badawcze, oraz metodykę badań. Kolejny 5 rozdział pracy to omówienie wyników badań. Zawiera on dwa główne podrozdziały podzielone pod względem badań na próbkach monokrystalicznych i polikrystalicznych. Rozdział 6 dysertacji obejmuje podsumowanie uzyskanych wyników a przedostatni rozdział pracy to „Wnioski”, w którym zawarto syntetyczne odniesienie się Autorki do uzyskanych w toku rozprawy wyników badań. Wnioski Doktorantka zawarła pięciu syntetycznych ustępach. Na str. 5 i 6 rozprawy Doktorantka zamieściła wykaz symboli, oraz skrótów co podnosi jakość opracowania i ułatwia interpretację i analizę treści, rysunków i opisów.

### **Merytoryczna ocena pracy**

Szczegółowe studium literaturowe Doktorantka zaprezentowała w rozdziale 2 rozprawy. Autorka przedstawiła charakterystykę PS typu miedzi i mosiądzu oraz kwestie formowania się PS w zakresie prędkości odkształcenia odpowiadających testom laboratoryjnym, i konwencjonalnym procesom przeróbki plastycznej. Omówiła wpływ orientacji krystalograficznych na procesy tworzenia się PS na przykładzie orientacji tzw. stabilnych tj. nie ulegających znaczącym zmianom w szerokim zakresie odkształceń oraz orientacji niestabilnych, które wykazują zdolność do generowania różnorodnych formacji strukturalnych, związanych z niestabilnością odkształcenia plastycznego takich jak pasma przejściowe, pasma odkształcenia czy też pasma ścinania. Dalej Autorka rozprawy dokonała opisu pasm ścinania w materiałach polikrystalicznych, wskazała

na aspekty lokalizacji odkształcenia i jego wpływu na zarodkowanie i wzrost lokalnych pęknięć a także przeanalizowała zagadnienia powstawania PS w warunkach odkształceń dynamicznych. W tym miejscu podkreślam, iż ta częśći rozprawy jest dobrze przygotowana i zawiera najważniejsze aspekty ściśle związane z tematyką pracy. Tak więc studium literaturowe zostało przeprowadzone w sposób logiczny, a omówiona w nim problematyka dobrze koresponduje z problematyką zaprezentowaną w części praktycznej dysertacji.

W części eksperymentalnej pracy, na podstawie analizy przeglądu literatury Doktorantka stawia tzw. założenia pracy i cel rozprawy. **Założenie 1 (wstępne) brzmi:** proces ‘zarodkowania’ pasm ścinania w warunkach obciążeń dynamicznych związany jest z wystąpieniem lokalnej, lecz ściśle ukierunkowanej re-orientacji sieci krystalicznej wewnątrz pasma, pozwalającej na realizację procesu ścinania w metalach wzdłuż płaszczyzn najgęstszeo obsadzenia atomami.

**Założenie 2 zasadnicze brzmi:** formowanie się pasm ścinania w zakresie ekstremalnie dużych prędkości odkształcenia (APS) opisują te same mechanizmy, jakie dominują w przypadku pasm (IPS) formujących się w metalach odkształcanych w zakresie ‘konwencjonalnych’ prędkości odkształcenia.

Zasadniczo zatem, jeśli przyjęto założenie podstawowe związane z danym przekonaniem, **iz w warunkach dynamicznych odkształceń realizacja procesu ścinania zachodzi wzdłuż płaszczyzn najgęstszeo upakowania poprzez zarodkowanie i wzrost pasm w obszarach lokalnej i ściśle ukierunkowanej re-orientacji sieci krystalicznej wewnątrz pasma, to według uznania recenzentki niefortunnie określono założenie 2, które to powinno stanowić tezę zasadniczą rozprawy. W tej jednak, wg recenzentki, powinno znaleźć się doprecyzowanie, iz:** formowanie się pasm ścinania w zakresie ekstremalnie dużych prędkości odkształcenia (APS) opisują te same mechanizmy, jakie dominują w przypadku pasm (IPS) formujących się w metalach odkształcanych w zakresie ‘konwencjonalnych’ prędkości odkształcenia co jest efektem ściśle ukierunkowanej rotacji sieci krystalicznej charakterystycznym zarówno dla monokryształów jaki i dla materiałów polikrystalicznych a odmiennosc zachowania się krystalitów w głównej mierze związana jest z intensywnością procesu bliźniakowania mechanicznego.

Ponadto w dalszej części dysertacji Doktorantka uznaje, że oba założenia to tezy rozprawy, co skłania do namysłu.

Nie do końca doprecyzowano również pojęcie „konwencjonalne” prędkości odkształcenia (strona 7 maszynopisu).

Celem rozprawy jaki został postawiony do zrealizowania (str. 28) jest **wyjaśnienie mechanizmów formowania się niestabilności plastycznego płynięcia w postaci pasm ścinania w procesie dynamicznego odkształcenia metali.**

W tym miejscu pozwolę sobie stwierdzić, że **cel został dobrze i jasno sprecyzowany. W opinii recenzentki doprecyzowanie jego realizacji w oparciu o dwa szczegółowe aspekty wynikające z naukowo-poznawczego charakteru prowadzonych badań stanowią istotną wartość dodaną pracy.** Doktorantka inteligentnie uszczegółowiła cel rozprawy, który niemal prowadzi czytelnika dalej w Jej tok rozumowania.

Zatem muszę podkreślić, iż pomimo rozbieżności w sprecyzowaniu tezy rozprawy odnosząc się do tzw. założeń, ich słusznosc oraz bardzo dobrze postawiony cel Autorka wykazała w kolejnych rozdziałach

badawczych swojej pracy. Jednocześnie zrealizowała szeroki, adekwatny i właściwie dobrany program badań a całość opracowania posiada bez wątpienia znamiona oryginalności, i rzetelnej sztuki prowadzenia pracy na poziomie rozprawy doktorskiej.

Rozdziały od 4 i 5, a także rozdział 6, są najważniejszymi rozdziałami w pracy doktorskiej Pani mgr inż. Izabeli Mania. Przeprowadzone badania mają charakter eksperymentalny i są bardzo dobrze opisane. Na podkreślenie zasługuje przede wszystkim połączenie dobrze opisanych metod odkształcenia, dla zaprojektowanych parametrów prób zarówno dla próbek monokrystalicznych jak i polikrystalicznych; dobrze zaplanowanych, właściwie zdefiniowanych i precyzyjnie wskazanych wyciętych z większych obszarów próbkach, na których prowadzono analizy strukturalne; szczegółowy opis i analiza przeprowadzonych obserwacji mikrostrukturalnych, pomiarów lokalnych orientacji krystalograficznych z użyciem kilku technik badawczych; jak też dokumentalistyczny styl opisu wyników badań.

Jak wcześniej sygnalizowano dla dowiedzenia tzw. tezy/pracy i realizacji celu rozprawy, Doktorantka przede wszystkim wykonała szeroki, Autorski, specjalistyczny i zawierający triangulację wielu metod badawczych program badań doświadczalnych, który obejmował:

- 1) Doprecyzowanie i zdefiniowanie rodzaju materiałów na jakich prowadzone będą badania z podziałem na monokrystały i polikrystaliczne metale i stopy.
- 2) Wybór metod odkształcenia plastycznego w warunkach dużych i bardzo dużych prędkości.
- 3) Zaplanowanie i opis metodyki badawczej wraz z deskrypcją poszczególnych metod m.in. takich jak mikroskopia świetlna, skaningowa mikroskopia elektronowa, dyfrakcja elektronów wstecznie rozproszonych, transmisyjna mikroskopia elektronowa, dyfrakcja promieniowania rentgenowskiego, badania nanotwardości.
- 4) Wykonanie eksperymentów w zaprojektowanych warunkach.
- 5) Określenie i opis zachowania się krystalitów w trakcie odkształcenia z dużymi prędkościami.
- 6) Ustalenie wpływu EBU na zmiany strukturalne i teksturę w tym uwarunkowania geometryczne.
- 7) Określenie i opis mechanizmu powstawania PS związanego z reorientacjami sieci krystalicznej.
- 8) Wykazanie podobieństw w naturze powstawania PS w zależności od zastosowanej prędkości odkształcenia plastycznego w próbach dynamicznych w odniesieniu do prób odkształcenia z niższymi prędkościami.

Część doświadczalna pracy ma dużą wartość poznawczą i stanowić może przyczynek do użycia poszczególnych wyników badań, wzbogaconych o jeszcze bardziej zaawansowane techniki, szczególnie w obszarze zmian mikrostruktury i analizy tekstury czy też gęstości defektów generowanych w wyniku bardzo dużych odkształceń plastycznych, w pracach naukowych na wysoce światowym poziomie.

Oceniając tę część rozprawy stwierdzam, że jest ona poprowadzona logicznie i poszczególne rozdziały w sposób rzeczowy następują po sobie tworząc spójny układ, który prowadzi do realizacji celu i potwierdzenia przyjętej tezy/założenia.

Konkludując, Doktorantka zebrała ciekawy poznawczo, o wysokiej wartości naukowej, warty uwagi materiał z badań. Część eksperymentalna recenzowanej rozprawy została przygotowana bardzo pieczołowicie. Doktorantka dołożyła wszelkich starań aby zadbać o racjonalny i przemyślany tok realizacji pracy,

w tym także odpowiednie przygotowanie i prowadzenie eksperymentów. Opisy eksperymentów są kompletne. Duży wysiłek został włożony w szczegółową deskrypcję wyników badań mikrostruktury oraz tekstury. Załączone rysunki, mikrofotografie, tabele oraz schematy są przejrzyste i dobrze uzupełniają tekst rozprawy. Muszę zaznaczyć, iż tekst rozprawy został przygotowany z poszanowaniem reguł języka polskiego. Strona redaktorska pracy nie budzi zastrzeżeń, a błędy redakcyjne są bardzo nieliczne.

W tym miejscu czuję się zobligowana do poruszenia kilku kwestii dyskusyjnych, do których Pani mgr inż. Izabela Mania będzie miała możliwość ustosunkować się podczas publicznej obrony:

1. W pracy prowadzono badania zarówno na monokryształach o trzech różnych wartościach EBU poprzez ściskanie w matrycy kanalikowej w warunkach bardzo dużych prędkości odkształcenia (wykorzystanie energii wybuchu) oraz na próbkach tzw. kapeluszowych wykonanych z polikrystalicznych metali Al i Ci oraz stopu CuZn w warunkach laboratoryjnych z użyciem młota spadowego. Jednocześnie w opisie wskazano na uzyskany/założony podczas odkształcenia wskaźnik odkształcenia plastycznego jakim jest 60% stopień gniotu.

Nasuwa się pytanie jaki był wskaźnik odkształcenia dla próbek polikrystalicznych i w jakim stopniu jest on porównywalny z uzyskanym stopniem gniotu dla monokryształów ścispanych w matrycy kanalikowej? Jakie znaczenie ma w przyjętych rozważaniach wartość odkształcenia z punktu widzenia lokalizacji odkształcenia i formowania się PS?

Uwaga dodatkowa: w pracy błędnie do opisu wskaźnika odkształcenia plastycznego jakim jest stopień gniotu wyrażony w % zastosowano pojęcie zgniotu (str.36 i 96), które to pojęcie jest znanym w materiałoznawstwie jako strukturalny efekt odkształcenia plastycznego zwykle na zimno. Nie należy mylić tych pojęć, stąd uwaga recenzentki na przyszłość aby w sposób precyzyjny posługiwać się pojęciami związanymi z przeróbką plastyczną vs. pojęciami definiowanymi jako fundamentalne w inżynierii materiałowej/metaloznawstwie.

2. W rozdziale 5.1.2.2 Autorka wskazuje na ukształtowanie w monokryształe Cu-14%Al PS, wewnątrz których definiuje obecność wydłużonych w kierunku ścinania podziarn. Czy można w tym miejscu jednoznacznie wskazać, że widoczne struktury wewnątrz pasma to z pewnością podziarna?
3. W rozdziale dotyczącym efektów umocnienia struktur typu pasma ścinania i bliźniaki odkształcenia w wyniku odkształcenia Doktorantka wskazuje na wzrost wartości nanotwardości, zarówno w nowo ukształtowanych pasmach ścinania jak i mechanicznych bliźniakach, w porównaniu do nanotwardości osnowy. Z tym związane są pytania dyskusyjne recenzentki:
  - czym Doktorantka może uzasadnić wyższe wartości nanotwardości struktur typu pasma ścinania i struktur bliźniaczych w porównaniu do nanotwardości osnowy?
  - jak można wyjaśnić niemal identyczne wartości nanotwardości PS i bliźniaków mechanicznych na próbkach monokryształu Cu o orientacji początkowej (112)[11-1]?

- czy porównywano w badaniach nanotwardość PS zarodkujących na lokalnych niestabilnościach struktur warstwowych typu osnowa – bliźniak z PS zarodkującymi według innego schematu?
- czy analizowano nanotwardość PS wewnątrz których obserwowano „podziarna”? Ma to związek z pytaniem nr 2.

Uwaga dodatkowa: na obrazach w rozdziale 5.1.3 prezentujących mikrostrukturę obszarów poddanych badaniom nanotwardości nie widoczne są zastosowane powiększenia co utrudnia czytelnikowi porównanie analizowanych obszarów.

4. Czy rzeczywiście poddanie materiałów jakie wytypowano do badań ekstremalnie dużym prędkościom odkształcenia, co wiąże się z lokalną kumulacją energii odkształcenia a tym samym zlokalizowana energia częściowo ulega zamianie na ciepło nie prowadzi do lokalnych przyrostów temperatury? W Podsumowaniu Autorka twierdzi, że nie dochodzi do tzw. efektu mięknięcia termicznego i wyklucza w swoich eksperymentach zajście procesów zdrowienia i rekrytalizacji.

Jak wiadomo przeprowadzenie bilansu cieplnego wymaga określenie jaka część pacy (energii) odkształcenia plastycznego jest rozpraszana w postaci ciepła a jaka część jest zatrzymywana w strukturze materiału odkształcanego. Energia ta zwana energią zmagazynowaną, związana jest głównie z generowaniem, blokowaniem i anihilacją dyslokacji, co prowadzi do zmian gęstości i przegrupowania dyslokacji, tworzeniem struktury podziarnowej i tworzeniem lokalnych pól naprężeń. Z punktu naukowego jak i praktycznego istotne jest poznanie współczynnika Taylor-Quinney'a -  $\beta = Q/E$  określającego stosunek ciepła wydzielonego podczas odkształcenia do całkowitej pracy odkształcenia plastycznego. Ilość wydzielonego ciepła decyduje o rzeczywistej temperaturze odkształcanego materiału, natomiast energia zmagazynowana o umocnieniu materiału oraz jego podatności do odbudowy zdefektowanej struktury.

W tym kontekście recenzentka ma wątpliwości, czy aby na pewno udowodniono dostatecznie w badaniach, że dla wytypowanych materiałów lokalny przyrost temperatury jest nieznaczącym czynnikiem wpływającym na możliwe zmiany mikrostrukturalne towarzyszące procesom deformacji w zakresie dużych i ekstremalnie dużych prędkości.

Nasuwa się również pewna sugestia ogólna. Bardzo ciekawym byłoby podsumowanie graficzne wyników dysertacji pokazujące schematycznie różnice i podobieństwa w procesach formowania się PS dla monokryształów o założonej orientacji początkowej i dla polikryształów szczególnie w aspekcie oddziaływań osnowa – bliźniak i związków z anizotropią struktury wyjściowej. Również analiza pól naprężeń wokół tworzących się struktur w następstwie dynamicznej deformacji zarówno dla monokryształów jaki i materiałów polikrystalicznych wydaje się być swoistym novum w tematyce tych zagadnień. Choć praca jest już bardzo ciekawym i dobrze udokumentowanym opracowaniem, te kwestie mogą być z powodzeniem rozwijane w dalszych pracach zespołu i samej Autorki z tego zakresu i stanowić nie prezentowane dotychczas w literaturze ujęcie tematu.

Powyższe pytania oraz uwagi, w tym dyskusyjne, nie umniejszają mojej nader pozytywnej opinii o recenzowanej pracy doktorskiej Pani mgr inż. Izabeli Mania.

Stwierdzam, iż przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska stanowi cenną bazę informacji dla dalszych, celowych badań w obszarze lokalnych oddziaływań krystalograficznych i ewolucji mikrostruktury jakie towarzyszą odkształcaniu metali z prędkościami definiowanymi jako duże i ekstremalnie duże. Ponadto przedstawione i opisane w pracy wyniki badań nakreślają wiele kierunków dalszych prac badawczych z tego obszaru w tym szczególnie prac o charakterze naukowym.

### **Wniosek końcowy**

Moja ogólna ocena pracy jest bardzo pozytywna. Doktorantka rozwiązała problemy o ważnym znaczeniu poznawczym, naukowym a częściowo też technologicznym z zakresu krystalograficznych aspektów powstawania lokalnych niestabilności mikrostrukturalnych w materiałach o różnej EBU. Wykazała się niezbędną wiedzą z zakresu przedmiotu pracy, stosowanych technik i metod badawczych oraz przede wszystkim umiejętności połączenia wielu wyników badań i logicznego wnioskowania. O dobrym poziomie naukowym opiniowanej pracy świadczy również skoncentrowanie na precyzyjnym ujęciu problemu, krytycznej dyskusji wyników i wytyczeniu ciekawej ścieżki badawczo-eksperymentalnej będącej uzupełnieniem dotychczasowych osiągnięć w obszarze objętym tematyką rozprawy w tym prac badawczych z zakresu, krystalografii struktur stabilnych i niestabilnych oraz kształtowania plastycznego materiałów w zakresie bardzo dużych prędkości odkształcenia, i możliwości definiowania lokalnych obszarów niestabilności i lokalizacji odkształcenia sprzyjających generowaniu pęknięć i dekohezji.

Stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska  
Pani mgr inż. Izabeli Mania pt.:

### **„Krystalograficzne aspekty formowania się pasm ścinania w metalach odkształcanych w zakresie dużych i ekstremalnie dużych prędkości odkształcenia”**

jest jak najbardziej dziełem dysertabilnym i spełnia wymagania określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2022 r. poz. 574 z późn. zm.). W związku z tym **wnoszę o przyjęcie rozprawy mgr inż. Izabeli Mania i dopuszczenie jej Autorki do publicznej obrony.** Ponadto uznaję, że dysertacja posiada wysoką wartość merytoryczną, naukową i poznawczą.

Magdalena B. Jachonisko.

