

---

Gliwice, dn. 18.08.2023 r.

## **RECENZJA**

**pracy doktorskiej mgra inż. Sebastiana Sumary**  
**pt. "Odwrotne bliźniakowanie odkształceniowe w materiałach metalicznych średnio- oraz**  
**wysoko-entropowych"**

### **1. Podstawa opracowania**

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Dyrektora Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej im. A. Krupkowskiego PAN w Krakowie, Pani Dr hab. Joanny Wojewody-Budki, prof. instytutu z dnia 13 lipca 2023 r., informującego, że Rada Naukowa tej Jednostki uchwałą z dnia 29 czerwca 2023 r. powołała mnie na recenzenta pracy doktorskiej mgra inż. Sebastiana Sumary. Dokumentację otrzymałem w dniu 14.07.2023 r.

### **2. Ogólna charakterystyka rozprawy**

Praca doktorska mgra inż. Sebastiana Sumary jest zwartym, monograficznym opracowaniem liczącym 108 stron tekstu (z podwójną interlinią) wraz materiałem graficznym i tablicami. Praca jest sztandarowym przykładem opracowania mieszczącego się w dyscyplinie naukowej inżynierii materiałowej, gdyż dotyczy fundamentalnych zagadnień związanych z mechanizmami odkształcenia plastycznego analizowanych z punktu widzenia krystalografii oraz zaawansowanych badań mikroskopowych. Celem pracy było eksperymentalne dowiedzenie występowania mechanizmu odwrotnego bliźniakowania odkształceniowego w nowego typu materiałach metalicznych typu CrCoNi i CrFeCoMnNi o średnim i wysokim poziomie entropii. Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Maciej Szczerba, prof. instytutu, jeden ze światowych prekursorów tego zjawiska w materiałach metalowych o sieci regularnej ściennie centrowanej (RSC).

Rozprawa doktorska zawiera 9 głównych rozdziałów oraz Streszczenia w języku polskim i angielskim, Wykaz skrótów i oznaczeń oraz Bibliografię. Spis treści został logicznie zaprojektowany, przy czym nie ma wyraźnego podziału na typowy dla prac doktorskich Przegląd piśmiennictwa i Badania własne, a kolejne rozdziały zaprojektowano bardziej w sposób typowy dla opracowań habilitacyjnych. Praca napisana jest na bardzo dobrym poziomie językowym z małą liczbą błędów

literowych czy stylistycznych. Mimo podjęcia relatywnie trudnych zagadnień z fundamentalnych podstaw metaloznawstwa, pracę czyta się płynnie. Zawiera ona także krótkie odniesienia do praktycznych aspektów wykorzystania ujawnionych mechanizmów odkształcenia plastycznego. Pracę charakteryzuje oszczędność słów, nie ma w niej zbędnych czy pobocznych zagadnień. Autor prosto zmierza do wykazania celu i udowodnienia postawionej tezy rozprawy doktorskiej.

### **3. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej**

#### **3.1. Ocena doboru tematyki oraz celu i zakresu pracy**

Tematyka odwrotnego bliźniakowania mechanicznego jest jednym z najbardziej aktualnych tematów metaloznawstwa początku XXI wieku (w zasadzie ostatnich 15 lat) w zakresie krystalografii i mechanizmów odkształcenia plastycznego. Jest to naturalny, kolejny etap badań po pionierskich odkryciach tego mechanizmu przez Wu i in. w stopie magnezu o układzie heksagonalnym w 2008 r. oraz w monokrystalicznym stopie Cu-Al, nanodrutach złota oraz polikrystalicznej stali austenitycznej (układ regularny ściennie centrowany) dowiedzionym m.in. przez Promotora rozprawy i zespół w składzie Szczerba/Kopacz/Szczerba w pierwszym z wymienionych układów, po raz pierwszy w roku 2012. Należy nadmienić, że Autor rozprawy miał już do czynienia wcześniej z monokrystalicznym stopem Cu-8,5% at. Al w pracy inżynierskiej z roku 2017, gdzie badał efekt Bauschingera.

Jeszcze bardziej intensywny rozwój obserwuje się w ostatniej dekadzie w zakresie badań metalicznych stopów o wysokiej oraz średniej entropii, które mogą oferować nowe, aplikacyjnie atrakcyjne właściwości mechaniczne, fizykochemiczne i inne. Jako cel rozprawy Autor postawił więc sobie dostarczenie eksperymentalnych dowodów na występowanie mechanizmu odwrotnego bliźniakowania mechanicznego w dwóch stopach o sieci RSC typu CrCoNi oraz CrFeCoMnNi. Tematyka pracy jest więc bardzo aktualna a cel precyzyjnie określony. Na podstawie celu zdefiniowano także tezę pracy postulującą eksperymentalne potwierdzenie tego mechanizmu w badanych stopach w temperaturze obniżonej do 77 K.

Zakres pracy jest poprawie dobrany do realizacji celu i udowodnienia postawionej tezy rozprawy. W ramach pracy przeprowadzono:

- wytopienie wlewka i przygotowanie stopu średnio-entropowego wraz z jego obróbką cieplną,
- przeprowadzenie testów statycznego, jednoosiowego rozciągania do zerwania oraz rozciągania przyrostowego, a także jednoosiowego ściskania próbek pierwotnie rozciąganych w temperaturze 77 K w celu aktywacji bliźniakowania odkształceniowego,
- szczegółowe badania w skaningowym mikroskopie elektronowym techniką EBSD w celu wizualizacji i pomiarów cech geometrycznych bliźniaków odkształcenia,
- rentgenowską analizę fazową jakościową w celu weryfikacji jednofazowości stopów przez próbami wytrzymałościowymi.

#### **3.2. Ocena aktualnego stanu wiedzy**

Aktualny stan wiedzy zamieszczono w kilku początkowych rozdziałach rozprawy do strony 51 włącznie. Objętość tej części rozprawy jest mniej więcej po połowie zbilansowana z częścią eksperymentalną, co oceniam jako trafny wybór dla tego typu opracowania. W jasny i przejrzysty sposób Doktorant dokonał opisu podstaw krystalograficznych i dyslokacyjnych mechanizmów

bliźniakowania mechanicznego oraz odwrotnego bliźniakowania mechanicznego w metalach o sieci RSC, podał przykłady eksperymentalne dowodzące badanego mechanizmu w monokryształach i polikryształach, a także scharakteryzował podstawowe mechanizmy deformacji plastycznej w badanych stopach średnio- i wysokoentropowych. Tak skrojony przegląd literatury pozwolił mu na przejrzyste zdefiniowanie, celu, tezy i zakresu pracy.

W przeglądzie literatury Autor wykorzystał 82 pozycje literaturowe, przy czym ilość wszystkich cytowanych w pracy referencji wynosi 85. Autor nie odwołuje się do żadnego swojego artykułu, za wyjątkiem przywołanej wcześniej pracy dyplomowej inżynierskiej. Autor powołuje się na cenne pozycje źródłowe oraz najnowsze prace opublikowane w ostatniej dekadzie. Przytacza także dokonania macierzystego ośrodka w zakresie pionierskich prac z zakresu odwrotnego mechanizmu bliźniakowania odkształceniowego. Niestety nie znalazłem w pracy odniesień do wkładu innych polskich naukowców w rozwój krystalografii i mechanizmów dyslokacyjnych w stopach metali, a także dotyczących mechanizmów odkształcenia podczas obciążeń cyklicznych. Dziwi także fakt, że Autor nie nawiązał do licznych osiągnięć macierzystego ośrodka w zakresie metodycznych podstaw techniki EBSD, co jest wiodącym motywem części badawczej pracy. W tym aspekcie jest to pewne, niefortunne niedociągnięcie Autora rozprawy.

Autor nie dołożył wystarczającej staranności do cytowanej Bibliografii. Nie podaje nr voluminów / tomów, a także zakresu stron, co nie ułatwia jednoznacznego i szybkiego wyszukania przywołanych pozycji. Dodatkowo wykazuje wiele stylów oraz niejednoznaczności podczas cytowania artykułów naukowych, które szczegółowo udokumentowałem w dalszej części opinii.

### **3.3. Ocena zastosowanej metodyki badawczej**

Materiał do badań stanowiły dwa stopy: o wysokiej (CrFeCoMnNi) i średniej wartości entropii (CrCoNi). Pierwszy materiał (pozyskany dzięki współpracy badawczej) był poddany wyciskaniu hydrostatycznemu na zimno z redukcją przekroju 70%. Drugi materiał wytopiono przy użyciu pieca indukcyjnego w atmosferze ochronnej argonu. Po homogenizacji w 1200°C przez 48 godzin materiał poddano walcowaniu na zimno ze stopniem gniotu 50%. Oba stopy poddano wyżarzaniu rekrystalizującemu w temperaturze 900°C.

Zasadnicze eksperymenty polegały na rozciąganiu do zerwania, rozciąganiu przyrostowym w celu monitorowania rozwoju bliźniaków odkształceniowych oraz ściskaniu jednoosiowym próbek wcześniej poddanych rozciąganiu w celu analizy potencjalnej aktywacji systemów odwrotnego bliźniakowania. Próby realizowano w temperaturze 77 K ze względu na obniżenie krytycznego naprężenia bliźniakowania. Wartością dodaną pracy jest zaprojektowanie i wytworzenie przez Autora przystawek do jednoosiowego rozciągania i ściskania w temperaturze ciekłego azotu ze szczególnym uwzględnieniem zaprojektowanych szczęk do badań niskotemperaturowych. Powierzchnie próbek, które poddawano badaniom EBSD bardzo precyzyjnie szlifowano, polerowano mechanicznie, a następnie elektrolitycznie. Na uwagę zasługuje zastosowanie markerów na powierzchni próbki (wykonanych skupioną wiązką jonów) umożliwiających monitorowanie i ewolucję strukturalną tego samego obszaru próbki po próbach rozciągania i ściskania. Jednofazowość stopów potwierdzono w badaniach rentgenowskich.

Podsumowując uważam, że zastosowana metodyka badawcza jest relatywnie skromna, ale w pełni odpowiadająca zdefiniowanemu celowi pracy i zorientowana właściwie na rozwiązanie postawionego problemu naukowego.

### **3.4. Ocena uzyskanych wyników badań i ich dyskusji**

Główne wyniki badań zawarto w rozdziale 8 rozprawy pt. Wyniki badań eksperymentalnych i dyskusja. Rozdział ten podzielono na 2 podrozdziały traktujące odpowiednio o stopie średnio-entropowym CrCoNi oraz wysoko-entropowym CrFeCoMnNi, w których w metodyczny sposób prezentowane są wyniki dotyczące stanu materiału wyjściowego, prób jednoosiowego rozciągania i ściskania oraz zmian mikrostruktury w warunkach przyrostowego odkształcenia rozciągającego oraz zmiany drogi odkształcenia przez ściskanie. Na uwagę zasługuje przeprowadzenie eksperymentów mikrostrukturalnych w skali jednego ziarna, co umożliwiło bezbłędne monitorowanie powstających defektów strukturalnych. Decydujące znaczenie miało znacznikowanie obszaru badanego. Doktorant musiał pokonać trudności metodyczne związane z perfekcyjnym przygotowaniem badanej powierzchni ze względu na istotny wpływ odkształcenia próbki na jakość poprawnego indeksowania podczas badań EBSD. Badania te nie byłyby też możliwe bez wcześniejszego przygotowania oprzyrządowania do prób statycznego rozciągania oraz ściskania w temperaturze ciekłego azotu.

Wyniki badań są logicznie poukładane i łatwo przyswajalne dla czytelnika. Autor właściwie odnosi wyniki badań mikrostrukturalnych do badań właściwości mechanicznych. Zasadnicze dla pracy jest monitorowanie struktury w funkcji wzrastającego odkształcenia i uchwycenie krytycznego zakresu odkształcenia, odpowiadającego zakresowi naprężenia krytycznego, aktywującego mechanizm bliźniakowania odkształceniowego oraz odwrotnego bliźniakowania mechanicznego. Poprzez metodyczne podejście Autor osiągnął zakładany cel pracy oraz potwierdził jednoznacznie tezę pracy poprzez eksperymentalne dowiedzenie, że w obu materiałach możliwe jest zajście mechanizmu odwrotnego bliźniakowania odkształceniowego w zastosowanych warunkach termodynamicznych. Dodatkowo wyznaczył naprężenia aktywacyjne obu mechanizmów dla obu badanych stopów o średniej i wysokiej entropii, co jest największą wartością poznawczą pracy.

Recenzent ma niedosyt co do przeprowadzonej dyskusji naukowej, która w części badawczej jest na minimalistycznym poziomie. Autor odwołuje się podczas analizy wyników badań do literatury zaledwie kilka razy i są to na ogół bardzo ogólne stwierdzenia. Oczywistym jest, że ze względu na oryginalność tematyki bezpośrednie odwołania do stopów CrCoNi oraz CrFeCoMnNi w zakresie badanych mechanizmów są praktycznie niemożliwe, natomiast można było dokonać bardziej zaawansowanej dyskusji w odniesieniu do wcześniej badanych w tym aspekcie materiałów o sieci RSC. Autor koncentrując swoją uwagę jedynie na mechanizmach bliźniakowania nie przeanalizował w możliwym stopniu pozostałych efektów strukturalnych związanych z rozwojem podstruktury dyslokacyjnej. Uważam, że dysponując zebrany materiał badawczy dyskusja wyników badań mogła mieć nieco szerszy zasięg. To niedociągnięcie nie zostało zniwelowane w rozdziale zatytułowanym Podsumowanie i wnioski, gdzie już tylko w encyklopedyczny sposób de facto zrekapitulowano wcześniejsze opisy wynikające z przeglądu literatury oraz zastosowanego podejścia metodycznego umożliwiającego osiągnięcie celu pracy.

### 3.5. Uwagi dyskusyjne i szczegółowe

Doceniając wkład Doktoranta w wyjaśnienie mechanizmu odwrotnego bliźniakowania mechanicznego w nowej grupie stopów metali, mam kilka pytań i komentarzy, głównie o charakterze polemicznym:

#### Uwagi dyskusyjne i polemiczne:

1/ Zacznę od pytania / komentarza najbardziej polemicznego. Autor badał stopy o średniej i wysokiej wartości entropii. Przeprowadzając próby właściwości mechanicznych w temperaturze ciekłego azotu zmienia się stan entropii układu ze względu na zmianę temperatury. Czy zatem zastosowane stopy w badanej temperaturze, znacznie obniżonej w stosunku do temperatury pokojowej, dalej będą należeć do stopów definiowanych jako średnio- oraz wysoko-entropowe? Bardziej ogólnie, jaki jest wpływ temperatury na entropię układu? Czy można dostarczyć pewnych danych ilościowych dla badanych stopów?

2/ Wraz z obniżeniem temperatury obniżeniu ulega także energia błędu ułożenia (EBU) stopów. Autor nie podaje wartości EBU, a jedynie odnosi się do danych literaturowych. Istotną byłaby informacja ile wynosi EBU w temperaturze 77 K oraz w temperaturze pokojowej, w której wykonywano identyfikację mikrostrukturalną. Czy zmiany temperatury między testami właściwości mechanicznych a badań mikrostrukturalnych mogły mieć jakiś wpływ na identyfikację mechanizmu pierwotnego oraz odwrotnego bliźniakowania mechanicznego? Czy na wynik mogą wpływać np. potencjalne mechanizmy relaksacyjne czy związane z odkształceniem sprężystym? Dodatkowo, czy przygotowanie próbki walcowej do próby ściskania mogło mieć wpływ na wyniki badań?

3/ Ze względu na właściwości ciekłego azotu większość badań w temperaturach ujemnych prowadzi się z zastosowaniem tego medium. Motywacją badań w temperaturze 77 K była konieczność obniżenia wartości naprężenia aktywującego mechanizmy bliźniakowania mechanicznego. Interesujący byłby wykres zmian naprężenia aktywującego bliźniakowanie odkształceniowe w funkcji temperatury: od temperatury pokojowej do 77 K. Recenzent rozumie, że mogą być problemy z takim wykresem dla badanych w pracy stopów. Czy znane są takie charakterystyki dla bardziej znanych / stosowanych materiałów?

4/ W różnych miejscach pracy Autor podaje różny czas wyżarzania rekrystalizującego w temperaturze 900°C. Na s.54 jest to 48 godzin, na s.62: 2 godziny, a na s.80: 1 godzinę. Proszę o podanie właściwego czasu procesu. Należy zwrócić także uwagę na różny stopień gniotu na zimno, w dwóch stopach. Zarówno czas wyżarzania oraz wcześniejsza redukcja przekroju determinują wielkość ziarna kształtującą się podczas wyżarzania rekrystalizującego. W przypadku stopu CrCoNi wynosi ona 15  $\mu\text{m}$ , a w dla stopu CrFeCoMnNi: 25  $\mu\text{m}$ . Czy różna wyjściowa wielkość ziarna może wpływać na uzyskane wyniki w zakresie momentu aktywacji mechanizmu bliźniakowania odkształceniowego i odwrotnego bliźniakowania odkształceniowego?

5/ Czym było podyktowane zastosowanie różnej geometrii próbek dla obu stopów w statycznej próbie rozciągania jednoosiowego?

6/ Autor w podpisach obrazów EBSD używa wielokrotnie różnych określeń typu: Obraz mikrostruktury ..., Obszar mikrostruktury ..., Zdjęcie EBSD mikrostruktury ... podczas gdy rzeczywisty obraz mikrostruktury w SEM obserwujemy w standardowym trybie obserwacji z użyciem elektronów wtórnych czy wstecznie rozproszonych. Podczas prezentacji wyników EBSD podaje się raczej rodzaj wygenerowanej mapy / lub nałożonych map. Jakiego rodzaju mapy użyto w badaniach EBSD ?

7/ Osiągnięciem pracy jest identyfikacja bliźniaków odkształceniowych obecnych wśród wielu bliźniaków wyżarzania. W jaki sposób odbywało się techniczne ujawnienie pierwszego / pierwszych bliźniaków odkształceniowych ? Na tej podstawie Autor przeszedł od stanu jednoosiowego rozciągania do stanu jednoosiowego ściskania. Dla stopu CrCoNi była to wartość odkształcenia 25%, a dla stopu CrFeCoMnNi: 35%.

8/ W jaki sposób dobrano wartość odkształcenia podczas próby ściskania. Dla stopu CrCoNi było to 1,5%, podczas gdy dla stopu CrFeCoMnNi: 5%.

9/ Mechanizm bliźniakowania odkształceniowego został zidentyfikowany przy dużych wartościach odkształcenia rozciągającego: 25% dla stopu CrCoNi oraz 40% dla stopu CrFeCoMnNi. Utrudniło to znacznie detekcję bliźniaków odkształceniowych oraz monitorowanie tego samego obszaru próbki ze względu na zależność poprawnej indeksacji od stopnia odkształcenia. Czy Autor po wykonanych badaniach może zaproponować warunki termodynamiczne prób mechanicznych, dla których będzie możliwa detekcja obu mechanizmów bliźniakowania, przy mniejszej wartości odkształcenia ?

10/ Skupiając swoją uwagę na mechanizmach bliźniakowania Autor nie skomentował w wystarczającym stopniu mechanizmów związanych z rozwojem podstruktury dyslokacyjnej. Przykładowo w przypadku stopu CrFeCoMnNi po odkształceniu 30% wartość kąta dezorientacji krystalicznej dochodzi do 18° (rys. 67), a po ściskaniu maleje ona do zakresu od 6° do 8°. Recenzent jest świadomy, że ze względu na zmianę monitorowanych ziarn, nie jest to ten sam mikroobszar, jednak przez analogię należy domniemywać, że podobne procesy będą zachodzić w większej objętości próbki. W pracy nie wyjaśniono jaki jest mechanizm dyslokacyjny związany ze zmniejszeniem kąta dezorientacji krystalicznej po ściskaniu. Dodatkowo, jeśli po rozciąganiu zidentyfikowano kąty większe od 15° powinno to być związane z tworzeniem się podziarn, a nawet wykształceniem szerokokątnych granic ziarn. Proszę o wyjaśnienie tych mechanizmów.

11/ Autor postuluje zapoczątkowanie mechanizmu bliźniakowania odkształceniowego w stopie wysoko-entropowym w zakresie odkształcenia od 35% do 40%. Tymczasem analiza wyselekcjonowanych ziarn na rys. 70a (ziarno 2) sugeruje, że bliźniaki odkształceniowe istniały już po odkształceniu 35%. Wskazuje to, że zainicjowanie tego mechanizmu mogło być już w zakresie odkształcenia od 30% do 35%. Także niejasny jest przebieg kątów dezorientacji na rys. 72 dla ziarna 2, z którego wynika, że po odkształceniu 35% występuje jeden bliźniak, a po odkształceniu 40% dwa bliźniaki. Tymczasem analiza ziarna na rys. 70b (ziarno 2) wskazuje, że wskazany odcinek AB nie przecina żadnego bliźniaka oraz przecina jeden bliźniak, odpowiednio dla odkształcenia 35% i 40%. Podobne niejednoznaczności występują podczas porównania rys. 71 (gdzie dla odkształcenia 40% występuje jeden bliźniak o kącie dezorientacji 60°), a na korespondencyjnym rys. 70b (ziarno 1) uwidocznione są dwa bliźniaki. Proszę o wyjaśnienia w tym zakresie.

### **Inne uwagi szczegółowe i edycyjne:**

- Autor w Bibliografii nie stosuje odwołań do tomów / voluminów, numerów oraz stron;
- Ostatni akapit pracy stanowi w zasadzie powielenie ostatniego akapitu Streszczenia;
- Rysunki w rozdziałach poświęconych przeglądowi literatury zamieszczone są w wersji anglojęzycznej. Należało oczekiwać, że powinny być one w języku polskim, biorąc pod uwagę, że całość pracy napisana jest w tym języku;
- Błędy literowe, np. Na Rys. 4. Przedstawiono ... zamiast Na Rys. 4 przedstawiono ... (s.15); ... na płaszczyźnie pełniącą rolę ... zamiast ... na płaszczyźnie pełniącą rolę ... (s.18); ... w strukturach charakteryzujące się ... zamiast ... w strukturach charakteryzujących się ... (s.19); W konsekwencji wydają się ... zamiast W konsekwencji wydaje się ... (s.42); ... na zmianę średniej gęstości dyslokacji ... zamiast ... na zmianę średniej gęstości dyslokacji ... (s.45); ... stosując metodą EBSD ... zamiast ... stosując metodą EBSD ... (s.62); ... w rozdziale dotyczącej ... zamiast ... w rozdziale dotyczącym ... (s.81); Granica plastyczność wyniosła ... zamiast Granica plastyczności wyniosła ... (s.82); ... odróżniając ich od bliźniaków ... zamiast ... odróżniając je od bliźniaków ... (s.97);
- Co oznacza stwierdzenie: wysoki współczynnik odkształceniowo-wytrzymałościowy ? (s.16);
- Zamienne stosowanie długich i krótkich myślników (s.27);
- Brak odwołania do c) w podpisie rys. 16 oraz 22;
- Na s.54, s.61, s.62 Autor używa określenia „zgniot” na podanie wartości redukcji przekroju. Poprawnym jest posługiwanie się zwrotem „stopień gniotu”, gdyż zgniot nie oznacza miary odkształcenia plastycznego, ale stan strukturalny spowodowany odkształceniem plastycznym na zimno;
- Nie granica wytrzymałości (s.66), a powinno być wytrzymałość na rozciąganie;
- ... w zakresie około 600 MPa (s.66). Słowo zakres wymaga użycia: od ... do ...;
- Kształt ziarn wyselekcjonowanych na rys. 66 (szczególnie rys. a i b) nie odpowiada ziarnom widocznym na rys. 62 i 63;

### ***Niekonsekwencja sposobu cytowania:***

- Odwołanie do tytułu naukowego: pozycja 3;
- Brak roku wydania: pozycja 4;
- Małe litery czasopisma: pozycja 59;
- Pierwszeństwo nazwiska zamiast przyjętego w pracy imienia: pozycje 20, 35, 45;
- Pełne imię zamiast przyjętych w pracy inicjałów: pozycje 5, 12, 14, 18, 22, 23, 27, 29, 31, 38, 39, 40, 42, 43, 46, 47, 48, 49, 53, 59, 60, 64, 65, 67, 69, 71, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 83, 84;
- Brak nazwy czasopisma: pozycje 14, 82;
- Duże litery tytułów: pozycje 13, 15, 17, 19, 24, 25, 36, 41, 44, 54, 65, 67, 85.

Powyższe uwagi nie zmieniają mojej wysokiej oceny rozprawy doktorskiej mgra inż. Sebastiana Sumary. W zdecydowanej większości mają one charakter polemiczny lub wynikają z niedopowiedzeń i skrótów myślowych. Pozostałe uwagi są drobnymi niedociągnięciami oraz błędami edycyjno-językowymi.

#### 4. Podsumowanie i wniosek końcowy

Oceniana rozprawa doktorska jest zwartym opracowaniem skoncentrowanym na osiągnięciu założonego celu pracy. Autor wykazał odpowiednie przygotowanie literaturowe oraz metodyczne, które pozwoliły mu zaprojektować eksperyment badawczy i programowo go realizować. Praca ma charakter pionierski w zakresie ujawnienia nowych mechanizmów odkształceniowych w nowych materiałach, należących do stopów średnio- oraz wysoko-entropowych. Do najważniejszych osiągnięć pracy doktorskiej mgra inż. Sebastiana Sumary zaliczam eksperymentalne udowodnienie mechanizmu odwrotnego bliźniakowania mechanicznego w stopach CrCoNi i CrFeCoMnNi o sieci regularnej ściennie centrowanej wraz z oszacowaniem wartości naprężenia aktywującego ten proces, co stanowi Jego wkład do dyscypliny inżynieria materiałowa. Autor w bardzo systematyczny i logiczny sposób zaprojektował i przeprowadził eksperymenty, które wymagały także skonstruowania i wykonania przystawek do badań jednoosiowego rozciągania i ściskania w temperaturze ciekłego azotu.

Rozwiązanie problemu naukowego wymagało opanowania wiedzy teoretycznej z zakresu krystalografii i mechanizmów odkształcenia plastycznego metali, metodycznego prowadzenia eksperymentu przy użyciu poprawnie dobranej i zaprojektowanej aparatury badawczej oraz umiejętności prowadzenia pracy naukowej i wyciągania właściwych wniosków. Stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska spełnia wymagania określone w obowiązującej ustawie: Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2022, poz. 574 z póź. zm.), wobec czego wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN o dopuszczenie mgra inż. Sebastiana Sumary do publicznej obrony.

