

Dr hab. Tomasz Goryczka prof. UŚ  
Instytut Nauki o Materiałach  
Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach  
Uniwersytet Śląski w Katowicach  
Ul. 75 Pułku Piechoty 1A  
41-500 Chorzów

Chorzów, 19.06.2019 r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Urbańczyk-Gucwa  
pt.: "Wpływ wydzieleni faz wtórnych na rozdrobnienie struktury stopów CuFe<sub>2</sub> i CuCr<sub>0,6</sub>  
odkształcanych metodami SPD"**

Podstawę do opracowania niniejszej recenzji stanowiła uchwała Rady Wydziału Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Politechniki Śląskiej przekazana w piśmie Pana Dziekana Wydziału – dr hab. inż. Jerzego Łabają prof. nzw. PŚl. (pismo z dnia 22.05.2019 r.).

### **Informacje ogólne**

Pośród metalicznych materiałów inżynierskich miedź i jej stopy (zwłaszcza trójskładnikowe) stanowią istotną grupę w zastosowaniach technicznych ze względu na wysokie właściwości przewodnictwa elektrycznego, dobre przewodnictwo cieplne czy zdolności do przeróbki. Jednakże właściwości wytrzymałościowe, silnie skorelowane ze strukturą, nie należą do najwyższych. Stąd podejmowane są liczne próby oraz badania mające na celu polepszenie właściwości wytrzymałościowych przy jednoczesnym utrzymaniu wysokiego przewodnictwa elektrycznego. Jedną z dróg prowadząca do takiego celu, oprócz modyfikacji składu chemicznego, jest modyfikacja samej struktury prowadzona poprzez zmniejszenie wielkości ziarna i/lub wprowadzeniem wydzieleni. Szerokie możliwości, które oferuje przeróbka plastyczna zwłaszcza w zakresie intensywnej deformacji otwiera możliwości zmiany wielkości ziarna z mikro do wielkości nanometrycznych - szczególnie interesujące właściwości wykazują materiały ultradrobnaziarniste. Przeróbka plastyczna realizowana zwłaszcza metodami intensywnej deformacji w połączeniu z obróbką cieplną daje narzędzie kontroli właściwości mechanicznych poprzez zmianę wielkości ziarna w połączeniu z umocnieniem. Wiele prac badawczych poświęcono tym zagadnieniom, jednakże były to prace ukierunkowane na wprowadzenie tekstury, doprowadzenie materiału do postaci amorficznej czy nanostrukturalnej.

Autorka przedłożonej rozprawy doktorskiej dostrzegła możliwość modyfikacji właściwości miedzi poprzez wprowadzenie złożonego mechanizmu umocnienia składającego się z umocnienia roztworowego - tworząc roztwory stałe miedzi z żelazem lub chromem;

umocnienia granicami ziaren - doprowadzając stopy do ultraziarnistości; umocnienia wydzieleniowego - wprowadzając wydzielenia koherentne oraz umocnienia powodowanego obecnością dyslokacji. Tematyka ta wpisuje się w najnowsze trendy badań prowadzonych nad materiałami o wysokim przewodnictwie elektrycznym i zwiększonych właściwościach mechanicznych.

## Ocena pracy

Recenzowana praca została napisana w układzie klasycznym, charakterystycznym dla rozpraw doktorskich. Treść pracy, obejmująca 165 stron, została podzielona na rozdziały oraz podrozdziały, które w całościowej ocenie tworzą logiczną i zwartą całość.

Szata graficzna pracy na ogół jest poprawna - jedynie w przypadku niektórych rysunków zbyt mała czcionka uniemożliwia odczytanie opisów lub skali.

W przeglądzie literatury, który stanowi objętościowo zaledwie około 22% całości pracy Autorka posługując się 214 pozycjami literaturowymi dokonała analizę stanu wiedzy obejmując mechanizmy umocnienia, charakterystyki stopów CuFe oraz CuCr oraz możliwości wprowadzenia struktur ultradrobnoziarnistych metodami intensywnego odkształcenia plastycznego. Autorka umiejętnie dobrała literaturę, co świadczy o bardzo dobrej znajomości zagadnienia. Przegląd ten zdaniem Recenzenta może posłużyć studentom jako skrócone kompendium wiedzy z zakresu podstaw nauki o materiałach oraz przetwórstwa materiałów.

Z opracowanego przeglądu literatury wynika jasno określony cel pracy razem z przyjętymi do realizacji zadaniami badawczymi. Aby go zrealizować Autorka wytworzyła stopy CuFe<sub>2</sub> oraz CuCr<sub>0,6</sub>, przesyciła je, wprowadziła odkształcenia (metodami walcowania z poosiowym ruchem walców RCMR oraz ściskania oscylacyjnego - COT), a następnie starzyła. Mając świadomość niejednorodności wprowadzanych odkształceń w sposób uzasadniony dokonała wyboru miejsca pobrania próbek do badań strukturalnych. Struktura stopów została szczegółowo scharakteryzowana poprzez przeprowadzenie obserwacji mikroskopowych wspartych metodami dyfrakcji elektronów, jak i rentgenowskich. Właściwości mechaniczne oceniła na podstawie wyników z pomiarów twardości oraz przeprowadzonej statycznej próby rozciągania, natomiast właściwości przewodnictwa z pomiarów konduktywności elektrycznej.

O dojrzałości badawczej Autorki świadczy podejście do analizy struktury z zastosowaniem metod uzupełniających się nawzajem. Autorka nie zadowoliliła się jedynie wynikami uzyskanymi z mikro czy nanoobszarów ale zastosowała metody oceny struktury obejmujące obszary makro. Przykładem może być identyfikacja fazowa prowadzona na podstawie dyfrakcji elektronowej, jak i rentgenowskiej, czy też ocena orientacji ziarna dokonana na podstawie wyników badań EBSD, czy funkcji rozkładu orientacji (FRO).

Poprawnie przeprowadzona analiza uzyskanych wyników oraz modyfikacji struktury materiału z następującą każdorazowo charakterystyką właściwości mechanicznych oraz przewodnictwa elektrycznego umożliwiła Autorce wytypowanie warunków obróbki mechaniczno-ciepłej prowadzących do nadania stopom CuFe oraz CuCr możliwie najwyższych właściwości mechanicznych przy jednoczesnym utrzymaniu wysokich

właściwości przewodzących. Ponadto Autorka wskazuje na mechanizmy odpowiedzialne za umocnienie stopów kreśląc schemat ewolucji struktury w zależności od przyjętych parametrów obróbki.

Fakty te świadczą o znajomości i opanowaniu technik badawczych oraz swobodnym poruszaniu się pośród zagadnień związanych z mechanizmami odpowiedzialnymi za właściwości materiałów inżynierskich. Wyniki własnej pracy badawczej zostały podsumowane w przeprowadzonej szerokiej dyskusji ujmującej osiągnięcia własne na tle wyników cytowanej literatury. Całość pracy zamykają poprawnie sformułowane wnioski.

***W mojej opinii uzyskane wyniki umożliwiły zrealizowanie postawionego celu pracy.***

***Osiągnięciem naukowym wykazanim w pracy jest zaproponowana przez Autorkę modyfikacja struktury stopów CuFe oraz CuCr prowadzona z zastosowaniem technik dużych odkształceń plastycznych oraz opisanie mechanizmów umocnienia prowadzących do uzyskania wysokich właściwości mechanicznych oraz przewodnictwa elektrycznego.***

Wczytując się wnikliwie w rozprawę doktorską nasuwają się następujące uwagi, komentarze lub pytania:

1. Jedną z charakterystycznych cech prac doktorskich jest postawienie tezy naukowej, którą doktorant udowadnia w postaci wyników przeprowadzonych badań. Takiej tezy zabrakło w pracy, a z przeprowadzonej analizy literatury można było się pokusić o jej postawienie.
2. Jaka jest korelacja pomiędzy lokalną teksturą wynikającą z badań mikroobszarów metodą EBSD w stosunku do wyników zmierzonych dla większych objętości (FRO)?
3. Na podstawie, których wyników Autorka doszła do konkluzji o koherencji wydzieleni cząstek Fe czy też Cr z osnową stopu?
4. Przedstawione na rysunkach 63 oraz 108 część „a” przedstawiają wybrane orientacje komórki elementarnej w przestrzeni Eulera, a nie funkcję rozkładu orientacji.
5. Rentgenowska identyfikacja fazowa ma sens jeżeli udział objętościowy fazy przekracza rentgenowską granicę wykrywalności. W przypadku wydzieleni identyfikowanych metodami mikroskopii elektronowej nie zawsze identyfikacja rentgenowska jest skuteczna. Stąd uzupełnianie się obu technik. Oznaczenia położeni linii dyfrakcyjnych dla wydzieleni Fe (rys. 34), czy też Cr (rys. 46) można traktować jedynie informacyjnie a nie jako wynik identyfikacji.

### ***Ocena i wniosek końcowy***

Podsumowując stwierdzam, że praca jako całość wnosi istotne elementy nowości w zakresie poznania mechanizmów umocnienia stopów CuFe oraz CuCr. Praca zawiera cenny materiał badawczy uzyskany przez Autorkę w wyniku przeprowadzonych szczegółowych badań własnych. Fakt ten świadczy o bardzo dobrej znajomości stanu wiedzy w tym zakresie.

Przedstawione przeze mnie uwagi nie wpływają na wysoką jakość własnej pracy badawczej Autorki. Odnoszą się do niektórych sformułowań, interpretacji wyników badawczych, czy też nieświadomych pominięć niektórych faktów dla Autorki oczywistych, a nie ujętych w pracy. Uwagi mają charakter dyskusyjny i nie wpływają na moją pozytywną ocenę.

W mojej opinii przedstawiona do recenzji praca Pani mgr inż. Anny Urbańczyk-Gucwa zatytułowana.: "Wpływ wydzieleni faz wtórnych na rozdrobnienie struktury stopów CuFe<sub>2</sub> i CuCr<sub>0,6</sub> odkształcanych metodami SPD" **spełnia ustawowe wymogi stawiane pracom doktorskim. W związku z powyższym wnoszę do Rady Wydziału Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej o dopuszczenie rozprawy do dalszego procedowania.**

Tomasz Ganczler