



Kraków, 12.06.2025

Prof. Jerzy Morgiel

**Recenzja pracy doktorskiej
Mgr. inż. Piotra Jencyka**

pod tytułem „Modyfikacja połączenia osnowa - wzmocnienie w kompozytach Ni-SiC w celu poprawy ich właściwości tribo-mechanicznych”

przygotowanej pod kierunkiem:

Dr. hab. Dariusza Jarzabka

(imię i nazwisko promotora)

Dr. Szymona Nosewicza

.....
(imię i nazwisko promotora pomocniczego)

I. Podstawa opracowania

Recenzja w dyscyplinie „Inżynieria Materiałowa” została przygotowana na zlecenie Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN wystosowanej na posiedzeniu w dn. 27.03.2025. Za podstawę jej wykonania przyjęto art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (z późniejszymi zmianami). W związku z powyższym recenzja dotycząca przedmiotowej rozprawy doktorskiej zawiera trzy elementy każdorazowo obejmujące ocenę wraz z uzasadnieniem, że:

- 1) Rozprawa ta właściwie prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie inżynieria materiałowa, ze szczególnym uwzględnieniem poruszanej w pracy tematyki;
- 2) Doktorant wykazuje umiejętność prowadzenia eksperymentów naukowych, jak też analizy uzyskanych wyników zastosowanych metod badawczych oraz ich opisu (z uwzględnieniem kwestii edycji pracy);
- 3) Rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, tj. poszerza zakres wiedzy w zakresie objętym tematem pracy.

II. Ocena przedstawionego stanu wiedzy oraz postawienia problemu

Praca doktorska mgr. inż. Piotra Jencyka została nakierowana na zbadanie możliwości uzyskania kompozytowych powłok Ni/SiC o zwiększonej odporności na zużycie, co lokuje ją w głównym nurcie badań materiałowych ostatnich lat. Jest to ważna tematyka, gdyż postęp w tym obszarze daje bezpośrednie możliwości aplikacyjne odnoszące się do wydłużenia czasu pracy elementów pracujących jako pary cierne. Problem ten jest powiązany z presją Komisji Europejskiej na eliminację procesów chromowania z wykorzystaniem elektrolitów z jonami Cr na VI stopniu utlenienia szkodliwych dla środowiska oraz trudnych do utylizacji. Powierzchnie pokryte Ni są równie dekoracyjne i odporne na korozję, jak te poddane chromowaniu, ale cechuje je niższa odporność na zużycie ściernie. Udane próby zaradzenia tej sytuacji przedstawione zostały m. in. w monografiach Budniok i Łągiewka [2009], czy też Beltowska-Lehman [2013]. Szkoda, że autor obecnej pracy nie omówił dorobku polskich zespołów zajmujących się tą problematyką. Ma to istotne znaczenie w odbiorze tego opracowania, w którym brak zarówno wyjaśnienia dlaczego podjął problem poprawienia właściwości funkcjonalnych kompozytowych powłok niklowych, czym się kierował wprowadzając do osnowy cząstki SiC zamiast np. Al_2O_3 oraz dlaczego zdecydował się na pokrywanie ich powłoką niklową. Szczególnie ta ostatnia decyzja niosła w sobie źródło potencjalnych problemów na polu badań podstawowych, gdyż taki dobór materiałów utrudnia, a nawet wyklucza jednoznaczną ocenę procesów zachodzących w czasie ich współosadzania z osnową niklową. W tej części pracy bardzo potrzebny byłby przegląd metod badawczych stosowanych przy ocenie takich eksperymentów pod kątem ich efektywności i możliwości uzyskania jednoznacznych wyników. Jedyne uzasadnienie wyboru nanoszenia powłok Ni na SiC wprowadzanych do osnowy niklowej widziałbym w wynikach wyprzedzających badania wstępne, ale chyba nic takiego nie miało miejsca (nigdzie nie padło w tekście takie stwierdzenie). Wskazane braki dotyczące dyskusji decyzji odnośnie badanych materiałów stwarzają wrażenie, jak gdyby problemy te były powszechnie znane, tj. np. poprzedzone innymi pracami doktorskim o tym profilu realizowanymi w IPPT PAN. Niestety w rozdz. 1.6. „Problemy do rozwiązania & wcześniejsze prace grupy badawczej” takich informacji brak. Z kolei otwierający rozprawę rozdział 1.1. „O badaniach naukowych”, w których Autor wskazuje na istnienie obszaru badań podstawowych oraz stosowanych z zaznaczeniem, że jego praca lokuje się na ich granicy, jest całkowicie zbędny. Postawienie trzech hipotez, z których dwie pierwsze są w dużym stopniu tożsame, było niepotrzebne i sprawia wrażenie, jak gdyby Autor nie mógł się zdecydować co jest w przypadku jego pracy najważniejsze. Z kolei ostatnia z hipotez z rozwinięciem w postaci podpunktu w ogóle nie spełnia wymogów, gdyż takie jej sformułowanie uniemożliwia postawienie sensownej antytezy. Niestety, jak to często bywa w przypadku omawianych hipotez, „więcej” nie przełożyło się na „lepiej”.

Dlatego, o ile podjęcie wysiłku nakierowanego na opracowania kompozytowych powłok Ni/SiC o zwiększonej odporności na zużycie należy uznać za celowe, to sposób przedstawienia stanu wiedzy wraz ze wskazaniem możliwości w jaki sposób mogłoby to być możliwe do osiągnięcia, pozostawia wiele do życzenia.

III. Ocena zaproponowanej metodyki oraz analizy uzyskanych wyników

Część przedstawiającą badania własne Autor rozpoczął od rozdziałów opisujących problematykę metod wytwarzania, znaczenia przygotowania próbek do badań, a w tym cięcia i polerowania, poszerzonych definicji modułu Younga, wytrzymałości na rozciąganie, opisu dostępnych metod charakterystyki mikrostruktury i składu chemicznego, itd. W jakimś stopniu kwestie takie mogłyby zostać uwzględnione we wstępie, ale umieszczenie ich w osobnym rozdziale w części poświęconej zwyczajowo badaniom własnym, sprawia wrażenie dedykowania pracy studentom lub osobom nie mającym bliższej styczności z taką problematyką. Natomiast informacje o istotnym znaczeniu dla tej rozprawy (tj. umożliwiające niezależne odtworzenie takich powłok), a w tym źródło pozyskania proszków SiC oraz rozkład ich wielkości, Doktorant całkowicie pominął. Zamieszanie z tym związane pogłębia fakt, że o ile na str. 36 można doszukać się informacji o tym, że warstwy wytworzone zostały z cząstek o średnim rozmiarze 20 μm i 1 μm , to już na str. 49 (Rys. 15) przedstawiono krystalit SiC o wielkości 300 μm . Przy wskazanych powyżej brakach w opisie dotyczącym rodzaju użytych materiałów, taka sytuacja automatycznie wywołuje pytanie, czy był to kolejny proszek. Również na str. 49 pada stwierdzenie, że „Niestety zastosowanie tych cząstek przy osadzaniu kompozytu Ni-SiC nie przyniosło zamierzonego skutku – cząstki były zbyt duże, aby się współosadzić.” W tym wypadku należy zaznaczyć, że w pracy nie przedstawia się, ani nie dokumentuje nieudanych eksperymentów, gdyż przy ocenie pracy nie ma znaczenia ile ktoś się przy jej wykonaniu napracował, ale jakie osiągnął nowe wyniki, tj. czy dokonał się postęp w dziedzinie. W tym obszarze ratuje sytuację jedynie profesjonalne podejście Doktoranta do opisu metody pomiarów zginania mikro-belek oraz charakterystyki powierzchni tak uzyskanych przełomów metodą AFM, a następnie sparowania tych eksperymentów z symulacjami właściwości mechanicznych.

W kolejnej części dedykowanej prezentacji wyników badań Autor ponownie myli te pojęcia z kwestiami dotyczącymi metodyki, gdyż przykładowo w rozdz. 3.1.2 „Współelektroosadzanie warstwy kompozytowej Ni-SiC” czytelnik uzyskuje informacje dot. wymiarów i liczby przygotowanych próbek do dalszych badań. Przy prezentacji wyników SEM/EDS czytelnik napotyka szereg skrótów myślowych, które praktycznie uniemożliwiają ustosunkowanie się do wiarygodności przedstawianych wyników. Przykładowo na rys. 26 „Zawartość SiC w zależności od miejsca pomiaru EDS” oś pionową opisano jako „wzmocnienie – zawartość %”, przy czym z tekstu zdaje się wynikać, że Autorowi chodzi o udział cząstek SiC

w warstwie. Takie podejście jest dość karkołomne, bo wymaga precyzyjnej oceny stosunku sygnałów od Si + C do Ni, a tu będzie problem z określeniem absorpcji (miękkiego promieniowania C) i fluorescencji (Ni poprzez Cu jeżeli napięcie przyspieszające doprowadziło do wnikania sondy w podłoże). Niestety taka dyskusja nie została podjęta w pracy, co obniża rangę tych wyników. Jeżeli wyniki XRD miały umożliwić weryfikację powyższego podejścia, to niestety, ale należało przedstawić również sześć punktów, bo trudno mówić o statystyce opartej na trzech pomiarach (Rys. 29). Odrębny problem stanowią badania EBSD, z których Autor wyciąga szereg wniosków odnośnie zmiany wielkości ziarna Ni wraz z odległością od cząstek SiC. Niestety, zaprezentowane obrazy są obciążone tak wielką liczbą nierozwiązanych dyfrakcji, że w efekcie trudno z nich cokolwiek wywnioskować bez angażowania dużej ilości tzw. „dobrej woli” (Rys. 35). Pomijając „pikselozę” od fałszywie rozwiązanych dyfrakcji (program prawie zawsze dopasuje „jakąś orientację”), to wiarygodność prezentowanego wyniku obniża obecność względnie dużego obszaru rozwiązań odpowiadających Ni w miejscu występowania SiC (udokumentowanego obrazem SEM/SE). Większych zastrzeżeń nie można mieć właściwie jedynie do testów własności mikro-mechanicznych na „beleczkach” wycinanych techniką FIB, które zostały zarówno odpowiednio szeroko opisane, jak również zaprezentowane. To właśnie połączenie tych ostatnich wyników z rezultatami z modelowaniem stanowi o wartości pracy.

IV. Uwagi do edycji przedstawionej pracy

Manuskrypt jest obszernym opracowaniem, w którym tekst wsparty jest 84 rysunkami oraz obrazami mikrostruktur, czy też elementów wycinanych z wykorzystaniem techniki FIB. O ile do jakości graficznej rysunków nie można mieć zastrzeżeń, to zdarza się, że niektóre z nich nie znajdują bezpośredniego odniesienia w tekście pracy (np. Rys. 16), a inne zawierają zbyt dużą ilość informacji (przykładowo nakładające się widma XRD na Rys. 28, przy praktycznie nieczytelnej legendzie/czcionka 6?). Podział na podrozdziały zwykle zwiększa czytelność przedstawianej pracy, ale o ile spełniło to swoją rolę w części dotyczącej prezentacji wyników, to już analogiczne dzielenie dyskusji wydaje się raczej zaciemniać obraz sytuacji. Podobnie, namnożenie wniosków do 10 pozycji spowodowało rozwodnienie przekazu, gdyż te ważniejsze zostały przemieszane z mniej istotnymi, np. zwracającymi uwagę, że trawienie jonowe umożliwia uzyskanie jedynie przybliżonych geometrii testowanych beleczek. Cały manuskrypt sprawia wrażenie rękopisu, nad którym w dalszym ciągu trwa praca (np. ostatnia linia na str. 65). Jeżeli tak, to należałoby jeszcze zastąpić wszystkie stwierdzenia typu że coś „nie jest” (str. 18; „nie jest kulisty ...”, tamże; „nieidealnym polikryształem ...”, str. 22; „nie jest obarczonym ...”) na te wskazujące jaki dany element/wielkość „jest”. Dlatego, przedstawiony manuskrypt wymaga dalszej pracy na jego edycję, co powinno zdecydowanie poprawić prezentację uzyskanych wyników.

V. Wniosek końcowy

W posumowaniu pragnę stwierdzić, że w przedstawionym opracowaniu dobrze oceniam przede wszystkim osadzenie tematyki w jednym z ważniejszych obecnie nurtów badań materiałowych oraz zaplanowanie do udowodnienia postawionych hipotez ciągle nowatorskich metod testów mikro-mechanicznych oraz wsparcie ich modelowaniem. Równocześnie należy przyznać, że pomimo kontrowersyjnego podejścia związanego z nakładaniem niklowych powłok na cząstki SiC wprowadzane do niklowej osnowy (co spowodowało utratę kontroli od strony oceny mikrostruktury nad procesami na ich granicy), udało się Doktorantowi doprowadzić do wzrostu gęstości cząstek w osnowie, a w konsekwencji obniżenia zużycia takich powłok, co było głównym celem pracy. Pracę cechuje również szereg poważnych mankamentów, z których najważniejsze zostały podniesione już powyżej, tj. problematyczna kontrola nad mikrostrukturą nanoszonych powłok (patrz wniosek nr 2), nadinterpretacja części uzyskanych danych eksperymentalnych SEM/EDS oraz mało przejrzysta forma manuskryptu. Każdy z tych aspektów uważam za istotny, ale te pozytywne stanowią, że uzyskano jednak postęp w obszarze badań powłok kompozytowych o osnowie metalicznej.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki określonej w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (z późn.zm.) i wnioskuję o jej dopuszczenie do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa.



(podpis recenzenta)