

Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej
KATEDRA INŻYNIERII POWIERZCHNI I ANALIZ MATERIAŁÓW

Dr hab. inż. Sławomir KAĆ, prof. AGH
Kierownik Katedry

Kraków, dnia 25 stycznia 2025 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Aleksandry Dybeł
pt.: „The effect of graphene on the phenomena occurring at the interface between liquid
SEC305 and solid Cu substrate”

promotor: dr hab. inż. Janusz Pstruś, profesor instytutu
promotor pomocniczy: dr hab. Marcela Trybuła, profesor instytutu

1. Podstawa wykonania recenzji

Podstawą do wykonania recenzji rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Aleksandry Dybeł było pismo nr DP.520.5.2024 z dnia 18 listopada 2024 r. p. Dyrektor Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie, dr hab. inż. Joanny Wojewody-Budki, prof. Instytutu.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Praca doktorska p. mgr inż. Aleksandry Dybeł pt.: „The effect of graphene on the phenomena occurring at the interface between liquid SEC305 and solid Cu substrate” dotyczy wpływu obecności grafenu na zjawiska występujące na granicy międzyfazowej ciekły stop na bazie cyny oraz stałe podłoże miedzi. Praca napisana jest w języku angielskim. Tematyka pracy ściśle wpisuje się w dyscyplinę inżynieria materiałowa, gdyż dotyczy osadzania cienkich warstw grafenu na podłożu miedzi, analizy zjawisk zwilżalności występujących na powierzchni materiału podłoża w kontakcie z ciekłym stopem lutowniczym, charakterystyki morfologii, składu chemicznego i fazowego powstających faz międzymetalicznych. Praca ma klasyczny dla prac doktorskich układ. Rozpoczyna się od rozdziału wprowadzenia, w którym Autorka wprowadza w tematykę pracy i zwięźle, ale logicznie uzasadnia potrzebę podjęcia prowadzonych badań. W następnym rozdziale przedstawiono listę skrótów używanych w pracy, co bardzo ułatwia czytanie kolejnych rozdziałów pracy.

Praca podzielona jest na dwie główne części. Część I, zatytułowana „Przegląd literatury”, obejmująca 30 stron, zawiera analizę literatury, będącą wprowadzeniem do badań własnych. Autorka opisała krótko stopy bezołowiowe do lutowania niskotemperaturowego, procesy zwilżalności zachodzące na powierzchniach materiałów lutowanych oraz sposoby pomiaru zwilżalności, jak: metoda leżącej kropli oraz test równowagowego zwilżania (metoda

Akademia Górniczo-Hutnicza | Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej
Katedra Inżynierii Powierzchni i Analiz Materiałów

al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,
tel. +48 12 617 38 17; e-mail: Slawomir.Kac@agh.edu.pl, www.agh.edu.pl,



meniskograficzna). Opisała również procesy jakie zachodzą na granicy międzyfazowej podczas lutowania.

Kolejny rozdział części pierwszej pracy dotyczy charakterystyki grafenu. Autorka opisała sposoby wytwarzania oraz, bardzo ogólnie, wpływ parametrów procesów osadzania na strukturę cienkich warstw grafenu. Przedstawiła również jego praktyczne wykorzystanie oraz zagadnienia zwilżalności grafenu przez różne ciecze.

Powyższe zagadnienia są opisane dość skrótowo, ale ze szczegółowym odniesieniem do bardzo aktualnych pozycji literaturowych. Warto zauważyć, że Autorka nie pominęła prac realizowanych w krajowych ośrodkach naukowych.

Ostatni rozdział części pierwszej dotyczy analizy literatury związanej z modelowaniem zwilżania grafenu z wykorzystaniem dynamiki molekularnej.

W przeglądzie literatury, opisując poszczególne, wyżej wymienione, zagadnienia Autorka jasno zaznaczyła jakich informacji (jakich wyników badań) brakuje jeszcze w literaturze, co uzasadnia realizację podjętej tematyki badawczej i płynnie wprowadza w część doświadczalną pracy. Podsumowaniem tej części pracy jest rozdział 2, zatytułowany „Teza i cele pracy”. Autorka postawiła następującą tezę: „Obecność nieciągłości warstwy grafenu osadzonej na powierzchni miedzi umożliwia reaktywne zwilżanie stopu SAC305 (stop Sn-Ag-Cu) oraz ogranicza wzrost faz międzymetalicznych na granicy międzyfazowej”. Aby udowodnić postawioną tezę Doktorantka postawiła dwa cele badawcze:

1) Analiza zjawisk zwilżania zachodzących pomiędzy miedzią pokrytą powłoką grafenu, a kroplą stopu SAC305 z uwzględnieniem aspektów mikrostrukturalnych zachodzących na granicy międzyfazowej ciała stałe – ciecz.

2) Zbudowanie realistycznego modelu zwilżania pokrytej grafenem miedzi ciekłym stopem SAC305 opracowanego na podstawie symulacji dynamiki molekularnej i badań eksperymentalnych, w tym spektroskopii ramanowskiej.

Część II pracy doktorskiej, zamieszczona na 68 stronach, zawiera wyniki badań własnych. W tej części pracy Autorka zamieściła wyniki przeprowadzonych badań własnych oraz ich krytyczną dyskusję. W pierwszym rozdziale drugiej części pracy, zatytułowanym „Materiały i metody” Autorka opisała szczegółowo przeprowadzone eksperymenty osadzania cienkich warstw grafenu, badania zwilżalności miedzi pokrytej oraz niepokrytej grafenem, zastosowane techniki badań mikrostruktury, składu chemicznego i fazowego wraz z opisem parametrów osadzania i technik badawczych. Na uwagę zasługuje fakt, że większość badań (zarówno procesy osadzania CVD, jak i badania materiałów) została przeprowadzona z wykorzystaniem aparatury zaprojektowanej i wykonanej w Instytucie Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie, co umożliwia nieograniczony dostęp, dostosowanie aparatury do własnych potrzeb oraz duże doświadczenie eksperymentalne zespołu badawczego.

Zasadniczą część pracy to rozdział 4 zatytułowany „Wyniki i dyskusja”. W rozdziale tym Autorka, analizując wyniki własnych badań krytycznie odnosi się do badań innych autorów, co znacząco podnosi poziom dyskusji wyników.

Wyniki badań własnych zakończono dość obszernym rozdziałem „Podsumowanie”, który jest jeszcze zakończony wnioskami głównymi. Praca zawiera także spis literatury (rozdział 7), zawierający 216 pozycji, spis rysunków (58 pozycji), spis tabel (8 pozycji) oraz streszczenie w języku angielskim i polskim. Cała praca liczy 129 stron.

3. Ocena trafności wyboru tematyki

W pracy podjęto interesujący i ważny zarówno z poznawczego jak i użytkowego punktu widzenia problem zwilżania reaktywnego podłoża miedziowego ciekłymi bezołowiowymi stopami lutowniczymi na bazie cyny. Stop SAC305 jest jednym z bardziej interesujących i stosowanych w praktyce stopów lutowniczych.

Kiedy ciekły metal zwilża stałe podłoże, reakcje zachodzące na granicy, np. powstawanie faz międzymetalicznych i m.in. związana z tym zmiana chropowatości powierzchni powodują zmianę zwilżalności w czasie. Jest to zagadnienie niezmiernie ważne w praktyce, gdyż często decyduje o jakości połączenia lutowanego, zarówno pod względem wytrzymałości połączenia, jak również pod względem jego przewodności elektrycznej. Poznanie mechanizmów tworzenia faz międzymetalicznych, kinetyki ich wzrostu, a przede wszystkim wpływu parametrów procesu zwilżania (temperatury, czasu kontaktu) podłoża pokrytego grafenem przez ciekły metal jest bardzo użyteczne i może przyczynić się do opracowania innych, tańszych niż SAC305 stopów lutowniczych. Jak wskazuje analiza dostępnej literatury, rzeczywiście pomimo pojawiających się nowych publikacji dotyczących nowoczesnych stopów lutowniczych, dotyczących grafenu, to nadal jest niewiele publikacji opisujących procesy zwilżania grafenu przez ciekłe metale. Dlatego też uważam, że tematyka podjęta przez Doktorantkę w ramach pracy doktorskiej jest w pełni uzasadniona, a uzyskane wyniki badań stanowią znaczący wkład do dyscypliny Inżynieria Materiałowa.

4. Merytoryczna ocena pracy doktorskiej

W pierwszej części pracy, dotyczącej analizy bibliografii, Autorka w logiczny sposób wprowadza czytelnika w zagadnienia stopów lutowniczych, zagadnienia zwilżalności powierzchni podczas lutowania oraz krótko charakteryzuje grafen. Przedstawia jego sposoby wytwarzania, rodzaje, oraz zastosowanie praktyczne.

Tak skonstruowana część pierwsza pracy, będąca przeglądem literatury, płynnie wprowadza czytelnika do części drugiej i logicznie uzasadnia tok zaplanowanych badań eksperymentalnych. Jednocześnie analiza literatury, zaprezentowana w części pierwszej pozwoliła na postawienie trafnej tezy oraz wyznaczenie dwóch celów badawczych, które mają udowodnić tezę. Warto podkreślić, że Autorka wykorzystwała bardzo aktualne publikacje naukowe. Spośród 216 pozycji literaturowych, aż 115 (ponad 53 %) wydano w ostatnich 10 latach, natomiast 36 publikacji (prawie 17 %) zostało wydane w ciągu ostatnich 5 lat.

W zasadniczej części rozprawy, gdzie Doktorantka przedstawiła wyniki badań własnych, wykazała wpływ jakości powierzchni podłoża na jakość osadzanych powłok grafenu.

Akademia Górniczo-Hutnicza | Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej
Katedra Inżynierii Powierzchni i Analiz Materiałów
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,
tel. +48 12 617 38 17; e-mail: Slawomir.Kac@agh.edu.pl, www.agh.edu.pl

Obecność powłok grafenu została potwierdzona badaniami spektroskopii ramanowskiej, na co wskazuje obecność odpowiednich pasm w widmie ramanowskim. Ponadto, szczegółowa analiza otrzymanych widm pozwoliła określić morfologię powłok grafenowych. Stosunki intensywności odpowiednich $I(2D)/I(G)$ pasm widmowych (w oparciu o dane literaturowe) pozwoliły oszacować, że na badanych powierzchniach osadzono głównie 2-3 warstwy grafenu. Z kolei intensywności innych pasm widmowych ($I(D')/I(G)$ oraz $I(D)/I(G)$) wskazują, że to granice ziaren są elementami na powierzchni, które najbardziej zaburzają strukturę grafenu.

W kolejnym rozdziale Doktorantka przedstawiła wyniki badań zwilżalności. Wykonała symulacje zwilżania metodą dynamiki molekularnej, jak również wykonała eksperymenty pomiarów zwilżania różnymi metodami: metodą leżącej kropli oraz metodą równowagi zwilżania (metodą meniskograficzną).

Doktorantka wykonała badania mikrostrukturalne za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej. Analizowała wpływ parametrów zwilżania stopem SAC305 podłoża miedzianych pokrytych i niepokrytych powłoką grafenu na grubość oraz morfologię (co przekłada się na chropowatość zwilżanej powierzchni) faz międzymetalicznych na granicy podłoża – lut. Wykonała również analizy liniowego rozmieszczenia pierwiastków w obszarze granicy międzyfazowej.

Badania prowadzone były dla różnych warunków zwilżania. Badano wpływ czasu zwilżania (od 5 s do 5400 s) przy stałej temperaturze 250°C, jak również wpływ temperatury (od 250°C do 325°C) dla stałego czasu zwilżania rozplwowego.

Wyniki badań wykazały, że dla wszystkich wariantów obróbki (zwilżania) na granicy międzyfazowej podłoża – lut, zarówno dla podłoża z czystej miedzi, jak i dla miedzi pokrytej grafenem powstały warstwy faz międzymetalicznych, których grubość rosła wraz z czasem zwilżania.

Na podstawie mikroanalizy składu chemicznego, morfologii wytworzonych faz międzymetalicznych oraz w odniesieniu do odpowiednich układów równowagi fazowej, uwzględniając współczynniki dyfuzji poszczególnych pierwiastków układu, Autorka wnikliwie przeanalizowała etapy wzrostu faz międzymetalicznych w czasie kontaktu cieczy ze stałym podłożem i przedstawiła ich budowę oraz skład fazowy. W dyskusji wyników badań własnych Doktorantka swoje wyniki skonfrontowała z wynikami badań przedstawionych w literaturze, co znacząco podnosi wartość prowadzonej dyskusji wyników.

Ciekawe wyniki badań, ukazujące wpływ powłoki grafenowej, Doktorantka uzyskała analizując budowę warstw faz międzymetalicznych podczas długotrwałego kontaktu stopu SAC305 z podłożem miedzianym (z powłoką grafenu oraz bez powłoki) w czasie starzenia próbek w temperaturze 250°C w różnym czasie (od 3 min. do 90 min.). Dla najkrótszych czasów starzenia, niezależnie od obecności powłoki grafenowej na powierzchni miedzi, warstwy faz międzymetalicznych są porównywalne pod względem grubości jak i pod względem budowy. Ze wzrostem czasu starzenia, w przypadku podłoża bez powłoki grafenowej warstwa faz międzymetalicznych staje się coraz bardziej rozbudowana, widoczna jest ciągła warstwa Cu_3Sn .

Obecność grafenu ogranicza natomiast zjawisko dyfuzji i spowalnia wzrost warstwy faz międzymetalicznych. Autorka zwraca przy tym uwagę, że grafen działa jako bariera dyfuzyjna, kiedy dominujący typ dyfuzji nie obejmuje granic ziaren. Na podstawie badań własnych Doktorantka wykazała obecność nieciągłych wydzieleni fazy Cu_3Sn (w przypadku podłoża bez warstwy grafenu, faza ta występuje w postaci ciągłej warstwy) w miejscach, które są granicami ziaren fazy Cu_6Sn . Wskazała ponadto, że głównym mechanizmem dyfuzji, kiedy na powierzchni podłoża znajduje się powłoka grafenu, są granice ziarna.

W ramach badań Autorka pracy, wykorzystując obliczone wcześniej grubości warstw fazy międzymetalicznej, korzystając z równania Arrheniusa i wykorzystując metodę regresji liniowej, wykonała obliczenia energii aktywacji dla stałego czasu zwilżania (3 min.) i różnych temperatur (od 250°C do 325°C). Choć prawdziwe wyniki uzyskanych badań odbiegają nieco od wyników podanych w literaturze, jednak różnice w wartościach względnych energii aktywacji dla podłożach pokrytych grafenem i bez grafenu są wyraźne. Obliczona, na podstawie wyników badań, energia aktywacji dla podłoża pokrytych grafenem jest prawie 10 razy wyższa niż dla czystego podłoża miedzianego, co wyraźnie potwierdza istotny wpływ powłoki grafenu jako czynnika hamującego procesy dyfuzyjne na granicy międzyfazowej i ograniczającego wzrost warstw międzymetalicznych.

Wartościową częścią pracy są badania mikrostrukturalne wykonane za pomocą transmisyjnej mikroskopii elektronowej. Badania wykonane za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej nie dały pewności, czy po procesach zwilżania w dalszym ciągu na powierzchni miedzi znajduje się powłoka grafenu. Autorka słusznie zdecydowała się więc na wykonanie badań techniką TEM. Na lameli wyciętej techniką FIB, obejmującej podłoże, stop SAC305 oraz warstwę faz międzymetalicznych, dla podłoża zwilżanego w temperaturze 275°C i w czasie 5 s, analizowano szczegółowo mikrostrukturę oraz za pomocą techniki STEM-HAADF wykonano mikroanalizę składu chemicznego. W obszarze międzyfazowym wykonano analizy liniowego rozmieszczenia jak również mapy rozmieszczenia pierwiastków. Wykonano również badania wygrzewania in-situ badanej próbki w zakresie temperatur 150°C – 210°C , na podstawie których Autorka przeanalizowała charakter wzrostu faz międzymetalicznych oraz przemiany zachodzące w warstwie faz międzymetalicznych.

W kolejnym rozdziale pracy Autorka przedstawiła wyniki badań eksperymentalnych dotyczących testów zwilżania metodą meniskograficzną, w których podłoża z miedzi zarówno pokrytej grafenem jak i bez grafenu były zanurzane w ciekłym stopie SAC305, przy temperaturach od 250°C do 300°C . Analiza mikrostruktury obszarów międzyfazowych po testach zwilżania wskazuje, że zarówno grubość warstw międzymetalicznych jak i ich morfologia jest porównywalna dla różnych temperatur jak i dla podłoża pokrytych grafenem i bez grafenu. Brak znaczących różnic w morfologii i grubości warstw faz międzymetalicznych Autorka tłumaczy krótkim (10 s) czasem oddziaływania ciekłego stopu lutowniczego z podłożem, co jest charakterystyczne dla tej metody pomiaru zwilżalności.

Interesującym aspektem tej części pracy jest analiza zachowania powłoki grafenowej podczas zwilżania metodą zanurzeniową. Na podstawie analizy wyników badań spektroskopii Ramana Autorka wyjaśnia, zupełnie odmienny sposób zachowania się grafenu podczas eksperymentów zwilżania. Autorka sugeruje, że w czasie zanurzania w ciekłym stopie lutowniczym grafen może zostać oderwany od podłoża miedziowego, ulega spiętrzeniu i przez pewien czas blokuje dalsze przemieszczanie ciekłego stopu lutowniczego, jednak po pewnym czasie ciekły metal pokonuje tę barierę i następuje dalsze zwilżanie powierzchni podłoża. Ponadto Autorka wskazuje, że ciekły metal może przemieszczać się pod powłoką grafenową, wykorzystując zjawisko kapilarne, co prowadzi do zwiększenia zwilżalności, i co tłumaczy zwiększoną zwilżalność w porównaniu do zwilżalności przy metodzie leżącej kropli.

Ostatnim rozdziałem części pracy prezentującej wyniki badań jest rozdział dotyczący modeli zwilżania. Ze względu na różny sposób kontaktu ciekłego stopu lutowniczego z podłożem przy różnych sposobach zwilżania wykorzystanych w prowadzonych eksperymentach, Autorka pracy zaproponowała dwa różne modele zwilżania, które w interesujący i zrozumiały sposób opisują badane procesy zwilżania.

Niewątpliwie, podczas czytania pracy można stwierdzić, że na uwagę zasługuje duża liczba eksperymentów wykonanych w ramach realizacji pracy doktorskiej.

5. Uwagi o charakterze krytycznym i dyskusyjnym

Praca napisana jest zrozumiałym językiem. Ma logiczny układ. Elementem, który delikatnie utrudnia czytanie pracy jest jakość niektórych rysunków. Np. rys. 1, 4, 5, 12 itd. Na wielu rysunkach opisy są napisane zbyt drobnym, nieczytelnym tekstem. Kolejnym mankamentem są przesunięte na kolejną stronę podpisy pod rysunkami (np. rys. 3.). Szczegóły zaznaczono w wersji papierowej pracy i przekazano Autorce. Są to drobne usterki, które nie obniżają wysokiej oceny pracy, ale przy dalszej publikacji recenzowanej pracy należałoby poprawić jakość rysunków.

Ponadto, przy czytaniu pracy nasuwają się pewne pytania.

- 1) Na str. 54, rozdział 4.1. Autorka pisze, że chropowatość powierzchni podłoża jest jednym z ważniejszych parametrów, który wpływa na sposób osadzania i na jakość powłok grafenowych. Jednak wyniki badań mikroskopii sił atomowych (AFM) przedstawiają wyniki dla jednej powierzchni. Czy badano wpływ podłoża o różnej chropowatości na jakość powłok grafenowych? Czy przygotowując podłoża w jakiś sposób oceniano jaka będzie optymalna jego chropowatość. Jeżeli tak, to na jakiej podstawie?
- 2) Na str. 67, rys. 35 wyraźnie są widoczne zmiany zawartości pierwiastków na przekroju analizowanej fazy międzymetalicznej, natomiast ze względu na małe powiększenie obrazu (i w ogóle mały format mikrofotografii) nie widać szczegółów struktury. Można byłoby wykorzystać większe powiększenie obrazu, a przynajmniej powiększyć rysunek.

- 3) Na str. 95, rys. 55 przedstawiono wyniki badań mikrostruktury. Zgodnie z opisem w tabeli 7 eksperymenty zwilżania prowadzono dla różnych parametrów. W opisie badań mikrostruktury (np. w podpisie rysunku) nie przedstawiono wyraźnie, których próbek dotyczą prezentowane wyniki. Proszę uprzejmie o komentarz uzupełniający.
- 4) Czy jakość powłok grafenowych wykorzystywanych w eksperymentach zwilżania zanurzeniowego była identyczna jak w przypadku zwilżania metodą leżącej kropli? Czy były osadzone metodą CVD w takich samych warunkach? Dlaczego w przypadku eksperymentów zwilżania metodą zanurzeniową nie szacowano ilości warstw grafenu na podstawie ilorazu intensywności odpowiednich pasm widm ramanowskich jak w przypadku eksperymentów zwilżania metodą leżącej kropli?
- 5) Dlaczego dla próbek wykonanych przy zwilżaniu zanurzeniowym nie wykonano badań szczegółowych za pomocą TEM jak dla zwilżania metodą leżącej kropli, chociaż jak widać z badań spektroskopii Ramana na granicach międzyfazowych mogą zachodzić bardzo ciekawe zjawiska.
- 6) Jak mają się uzyskane wyniki do potencjalnego praktycznego zastosowania powłok grafenowych na powierzchniach lutowanych? Wykazano, że grafen jest barierą dyfuzyjną, w przypadku zwilżania rozplwowego pogarsza zwilżalność. Jak to wpływa na skuteczność lutowania? Czy kluczem są nieciągłości powłoki grafenowej?
- 7) Jak w praktyce rozwiązać problem osadzania (szybkiego i taniego) cienkich warstw grafenu?

6. Najważniejsze osiągnięcia pracy

Ważnymi osiągnięciami w pracy, które są istotnym wkładem w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa jest:

1. Wykazanie, że powłoka grafenowa osadzona na podłożu miedzianym może być wykorzystana jako bariera dyfuzyjna.
2. Wykazanie, że obecność powłoki grafenu pogarsza zwilżalność rozplwową (badaną metodą leżącej kropli), ale polepsza zwilżalność zanurzeniową (badaną metodą meniskograficzną).
3. Wykazanie, że nieciągłości występujące w powłoce grafenu umożliwiają dyfuzję na granicy stop SAC305 – podłożu miedzianego, ale jednocześnie pozwalają na uzyskanie trwałego połączenia lutowni i materiału lutowanego.
4. Opis mechanizmów wzrostu faz międzymetalicznych podczas procesów zwilżania miedzi z powłoką grafenową ciekłym stopem SAC305.
5. Opracowanie różnych modeli zwilżania dla różnych metod pomiaru zwilżalności.

7. Wniosek końcowy

Recenzowaną pracę doktorską oceniam jednoznacznie pozytywnie. Autorka zrealizowała poprawnie zaplanowany cykl badań, rozwiązując ciekawy problem badawczy o potencjale aplikacyjnym, zrealizowała założone cele oraz udowodniła postawioną tezę.

Akademia Górniczo-Hutnicza | Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej
Katedra Inżynierii Powierzchni i Analiz Materiałów

al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,

tel. +48 12 617 38 17; e-mail: Slawomir.Kac@agh.edu.pl, www.agh.edu.pl

Doktorantka wykazała się znajomością podstaw teoretycznych dotyczących zagadnień poruszanych w pracy oraz solidnym warsztatem badawczym.

Na podstawie analizy rozprawy doktorskiej p. mgr inż. Aleksandry Dybeł pt.: „The effect of graphene on the phenomena occurring at the interface between liquid SEC305 and solid Cu substrate” stwierdzam, że zawiera ona wartościowe i oryginalne wyniki badań i stanowi twórczy wkład w rozwój dyscypliny Inżynieria Materiałowa.

Ponadto stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymagania określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tj. Dz. U. 2023, poz. 742 z późn. zm.).

Niniejszym wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony oraz o dopuszczenie p. mgr inż. Aleksandry Dybeł do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa.

