

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Zdunek
Wydział Inżynierii Materiałowej
Politechnika Warszawska
Ul. Wołoska 141, 02-507 Warszawa

Warszawa, 15 marca 2025 r.

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Rafała Psiuka z IPPT PAN pt.:

„Wpływ parametrów osadzania oraz dodatków stopowych na właściwości powłok WB_2 wytwarzanych metodami magnetronowymi i magnetronowo-laserowymi”

Podstawą do sporządzenia niniejszej recenzji jest uchwała Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN z dn. 30 stycznia 2025 r. o powołaniu mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej jw. Wraz z pismem przewodnim nr RN-D-0002.5.2024 z dn. 31.01.2025 r. informującym mnie o powołaniu na recenzenta podpisanym przez Sekretarza RN IPPT PAN prof. dr hab. inż. Zbigniewa Ranachowskiego otrzymałem dokumentację, zawierającą:

- a) egzemplarz rozprawy doktorskiej,
- b) autoreferat kandydata do stopnia doktora (KSD),
- c) życiorys naukowy i syntetyczny wykaz dorobku KSD,
- d) opinię promotorską rozprawy KSD dr hab. inż. Tomasza Mościckiego.

Rozprawa doktorska mgr inż. Rafała Psiuka sporządzona została w postaci opracowania napisanego drukiem zwartym na 112 stronach z podziałem na 5 rozdziałów. Składa się z pięciu rozdziałów, odzwierciedlających w zasadzie klasyczny układ treściowy opracowania naukowego, tzn. 1. Wprowadzenie, 2. Cel pracy, 3. Metodyka, 4. Wyniki Badań i ich dyskusja, 5. Wnioski oraz z wykazu cytowanej literatury.

W autoreferacie KSD zaprezentował wykaz informacji odzwierciedlających formalne dane odzwierciedlające dotychczasowe jego w aktywności (cyt.): „w zakresie uzyskania efektów uczenia się na poziomie 8 Polskiej Ramy Kwalifikacji”.

Zasadniczą treścią kolejnego dokumentu jest przedstawienie danych bibliometrycznych KSD, w tym wykaz publikacji, których współautorem jest. Z wykazu wynika, że liczba takich publikacji to 11, z czego w 4 KSD jest pierwszym współautorem i także w 4 – drugim współautorem. Dodać należy, że znakomita większość tych publikacji (10) ulokowana zostały w dobrych czasopismach o rotacji międzynarodowej i odznaczają się znaczącymi wartościami współczynnika oddziaływania (sumaryczny IF 10 publikacji to 10). Oprócz tego KSD jest współautorem 17 wystąpień na konferencjach międzynarodowych i 4 – na konferencjach krajowych. Współautorskie publikacje KSD były cytowane 76 razy (Scopus) lub 68 razy (WoS). Index Hirscha KSD to 6.

Zdaniem promotora rozprawy, wyrażonym a jego opinii, zasadniczą wartością rozprawy doktorskiej KSD jest skuteczne dążenie do zwiększenia wartości użytkowych powłok borku wolframu osiągnięte dzięki stopowaniu tego materiału tytanem, tantalum oraz cyrkonem a także wykazaniu, że najkorzystniejsze efekty uzyskuje się stosując technologię HIPMS.

1. Ocena rozprawy doktorskiej KSD

Lektura recenzowanej rozprawy doktorskiej KSD bez wątpliwości dowodzi, że tematyka tej rozprawy ułożona jest w dyscyplinie Inżynieria materiałowa, co w pełni odpowiada wskazanej we wniosku KSD dyscyplinie jego doktoratu. O inżynierii materiałowej, jako dyscyplinie, której dotyczy problematyka rozprawy świadczy: skoncentrowanie uwagi KSD na konkretnym materiale i jego zamierzonych modyfikacjach, na technologii syntezy tego materiału w postaci powłok oraz wreszcie charakterystyka materiałowa wytworzona powłok z punktu widzenia stanu fazowo-strukturalnego oraz wybranych właściwościach funkcjonalnych. To są atrybuty właściwe dla inżynierii materiałowej.

Poniżej odniosę się szerzej do merytorycznej oceny rozprawy:

Jak wiadomo, fazy międzywęzłowe metali przejściowych od dawna wzbudzają zainteresowanie naukowe, zwłaszcza w dziedzinie inżynierii powierzchni, a dokładniej – plazmowej inżynierii powierzchni (PSE), gdyż zapewniają syntezę tych interesujących materiałów w postaci warstw i wykorzystanie ich w sensie funkcjonalnym zarówno, jako samodzielnych elementów czynnych o oczekiwanych, unikalnych właściwościach (zwłaszcza elektronika), jak i części składowych kompozytu powierzchnia/rdzeń w przypadku konieczności zapewnienia trwałości powierzchniowej składnika rdzeniowego na degradujące oddziaływanie środowiska pracy (zwłaszcza mechanika i chemia). Badania opisane w rozprawie dotyczą tego drugiego ze wspomnianych wyżej aspektów i koncentrują się na wybranym przykładowym materiale – borku wolframu. W pełni zgadzam się z oceną KSD wyrażoną w rozdz. 1 jego rozprawy oraz ze zdaniem promotora, że jest to interesujący wysokotopliwy materiał, zaliczany do materiałów supertwardych, a więc o dużym potencjalnie aplikacyjnym. Warto zauważyć, że o ile w literaturze jest bardzo dużo wyników dotyczących azotków, czy węglików, o tyle borki metali przejściowych stały się przedmiotem intensywnych badań relatywnie niedawno. Prawdopodobną przyczyną tego mogą być autentyczne trudności w skutecznej syntezie warstw borkowych, wynikające, poza samym faktem wysokotopliwości, np. z dużej ilości faz, jakie mogą wystąpić w odniesieniu do poszczególnych wysokotopliwych metali przejściowych (zwłaszcza) i czułości tego składu fazowego na warunki syntezy. W moim przekonaniu problematykę opisaną w rozprawie doktorskiej KSD zaliczyć można do zupełnie współczesnych zagadnień badawczych, które właśnie obecnie wzbudzają zainteresowanie społeczności naukowej. Borek wolframu, będący przedmiotem badań w rozprawie doktorskiej KSD, syntetyzowany metodami plazmowymi, choć doczekał się już całkiem pokażnej bibliografii, właśnie w zakresie jego modyfikacji chemicznej poprzez stopowanie, stanowi przedmiot intensywnych badań przede wszystkim ze względu na jego bardzo dobre właściwości mechaniczne w zastosowaniach przeciwwyżyciowych, ale także swoistą modelowość w badaniu skutków stopowania borków innymi metalami przejściowymi w zakresie bezpośredniego oddziaływania podstawieniowego, węzłowego w sieci krystalicznej i związanymi z tym modyfikacjami właściwości materiału osnowy poprzez generację naprężeń sieciowych. Poznanie możliwości sterowania tymi modyfikacjami ma zarówno znaczenie jednostkowe, związane z konkretnymi uwarunkowaniami eksperymentalnymi, jak i szersze, poznawcze – w odniesieniu do wiedzy o kształtowaniu właściwości złożonych faz międzywęzłowych, w tym głównie borków metali przejściowych.

Spśród różnych metod PSE, KSD zdecydował się na wykorzystanie technologii rozpylania magnetronowego (MS), a także laserowania impulsowego (PLD). Generalnie w pełni akceptuję wybór technologii MS, jako właściwego kierunku technologicznego, w tym zwłaszcza doceniam skupienie uwagi na modzie HIPMS. Rzeczywiście, zgodnie ze stwierdzeniem KSD zawartym w rozprawie, technologia MS, to obecnie najbardziej rozpowszechniona technologia plazmowej inżynierii powierzchni, dotycząca wytwarzania powłok. Wynika to przede wszystkim z relatywnej łatwości skalowania wyników i kontroli przebiegu procesów technologicznych oraz w konsekwencji –

użytkowych skutków tych procesów. W literaturze wytworzyła się przy tym pętla dodatniego sprzężenia zwrotnego pomiędzy technologiczną przydatnością MS a badaniami podstawowymi, dotyczącymi analizy zjawisk elementarnych i możliwości sterowania ich przebiegiem prowadzonymi przez wiele ośrodków światowych. Miałbym jednak pewne zastrzeżenia odnośnie do dwóch technologii, stanowiących wybór KSD, tj. RF MS (rozpylanie magnetronowe w warunkach zasilania w.c.z., 13.6 MHz) oraz PLD (wytwarzanie warstw z zastosowaniem lasera pulsowego). Wymienione technologie wykazują oczywiście swoje indywidulane zalety, zwłaszcza w odniesieniu do możliwości generacji par materiałów elektroizolujących (w zasadzie niedostępnych dla modu dcMS), ale wykazują też ograniczenia, które stawiają pod znakiem zapytania ich przydatność w warunkach produkcji przemysłowej, wielkoskalowej co do obszaru pokrywania lub ilości detali pokrywanych w jednym procesie technologicznym. Zatem wyniki uzyskane z wykorzystaniem tych metod, które mogą mieć walor interesujących, wydają się być dosyć trudne do adaptacji w szerszej skali, tu rozumianej przecież w odniesieniu do powłok antyściernych. Myślę, że dobrą alternatywą w stosunku do RF MS, czy PLD byłoby tu zwrócenie uwagi na pulsowe technologie stałoprądowe dcMS, które obecnie, na skutek intensywnych badań, doczekały się wielu racjonalnych wariantów realizacyjnych. Z drugiej strony rozumiem, że KSD mógł mieć, niezależnie od jego chęci, niejako narzucone okolicznościami możliwości wykonawcze, wynikające z dostępności w jego otoczeniu laboratoryjnym takiej, czy innej aparatury.

KSD w rozdz. 1 (Wprowadzenie) przedstawił w sposób nadzwyczaj skondensowany stan wiedzy literaturowej, dotyczący rozdzielnie z jednej strony materiału stanowiącego przedmiot jego badań oraz z drugiej – zasadniczych cech zastosowanych technologii, a więc RF MS, PLD i HIPMS. Przegląd, choć przywołuje najbardziej wyróżniające cechy zarówno borków, cech strukturalnych powłok (w ogólności) wytwarzanych metodami PSE, jak i wybranych w rozprawie metod ich syntezy nie jest niestety przyporządkowany jakiejś generalnej idei, którą można by wskazać, jako myśl przewodnią wypowiedzi. Wyraźnie brakuje tu dyskusji kontekstowej, łączącej informacje o syntezie powłok borku wolframu i pochodnych materiałów z omawianymi metodami tak, jakby w literaturze nie było żadnych doniesień w tej kwestii. Mam wrażenie, że KSD potraktował rozdz.1 po prostu, jako niezbędną formalność w konstrukcji jego rozprawy, która jedynie miała wykazać, że „orientuje się w podjętej problematyce”. Po rozdz. 1 brakuje rozdziału, który mógłby stanowić swoistą konkluzję stanu wiedzy literaturowej, wskazania literaturowej wiedzy utrwalonej, ale i ewentualnych znaków zapytania, jakie dałyby się z analizy literatury wywieść. Według mnie taki rozdział w rozprawie doktorskiej jest koniecznością, a jego istnienie powinno poprzedzać, ale i wprost prowadzić do sformułowania zagadnienia badawczego, które powinno być dla KSD naukowym sensem jego badań w doktoracie. Zamiast tego KSD wprowadził rozdz. 2 pt.: Cel pracy, w którego w jednym z akapitów napisał, że (cyt.): „Motywacją pracy jest poszerzenie wiedzy nad dwuborkami wolframu ...”, a dalej, że (cyt.): „Celem pracy jest opracowanie składu chemicznego powłok $(W,M)B_2$, gdzie $M = Ta, Ti, Zr \dots$ oraz dobór metody osadzania.” Takie dosyć ogólne sformułowania w odczuciu recenzenta, choć pewnie precyzyjniej rozumiane przez KSD, pozbawione dedykowanych odniesień podstawowych i niewsparte konfrontacją z odnośną wiedzą literaturową, sprawiają recenzentowi kłopot w ocenie merytorycznej spójności zaplanowanych do wykonania a opisywanych dalej w rozprawie badań. Można odnieść wrażenie, że dla zastosowanej konstrukcji rozprawy, obiektywnie zgodny z wiedzą literaturową, ale jednak dosyć ogólny przegląd literatury w kontekście szczegółów problemowych rozprawy, pasowałby w zasadzie do dowolnie zaproponowanego celu o podobnym brzmieniu. W moim przekonaniu taki stan rzeczy uzasadnia przypuszczenie, że KSD chyba nie kierował się w swoich badaniach opisanych w rozprawie jakimkolwiek *a priori* założonym planem badawczym, ale zrealizował i opisał sukcesywnie w rozprawie współautorskie badania, dotyczące poszczególnych wątków obecnej rozprawy, badania wcześniej opublikowane w postaci publikacji, dotyczących borku wolframu i jego modyfikacji materiałowych, które następnie *a posteriori* złożył następczo w całość.

Kolejne rozdziały rozprawy, a więc rozdz. 3 – Metodyka oraz rozdz. 4 – Wyniki badań i ich dyskusja prezentują osiągnięcia eksperymentatorskie KSD. Opisane tam badania oraz wnioski oparte zostały na publikacjach wydanych w dobrych czasopismach, co oznacza, że ich jakość merytoryczna została już one pozytywnie zweryfikowana w procesie edycyjnym poszczególnych wydawnictw i według mnie jest poza dyskusją. Przyznam jednak, że z nieco większą ciekawością studiowałem poszczególne publikację współautorskie KSD niż odnośne wątki jego rozprawy doktorskiej. Zarówno argumentacja celowości badań, jak i interpretacja osiąganych wyników eksperymentów wydawały mi się dogłębniej, szerzej opisane w publikacjach niż w samej rozprawie, tym bardziej, że były one bardziej zespolone z określonymi w poszczególnych *Introduction(s)* oczekiwaniami. Niezależnie jednak od moich odczuć czytelniczych doceniam fakt, że wyniki badań tak te opisane w rozprawie, ale przede wszystkim ich odpowiedniki zawarte w publikacjach należy zaliczyć do wyników wartościowych, mogących wzbudzić zainteresowanie badaczy zajmujących się podobną tematyką. Niewątpliwie swoją zasługą KSD, co podkreślił promotor jego rozprawy w swojej opinii, jest zwrócenie uwagi na stopowanie WB₂ cyrkonem. Rzeczywiście, kwerenda literaturowa nie pozostawia tu cienia wątpliwości, jeśli brać pod uwagę na skali czasowej rok wydania poszczególnych publikacji współautorskich KSD w tej sprawie. „Cyrkonowe” współautorskie publikacje KSD pojawiły się w obiegu międzynarodowym od 2021 roku (Autoreferat, Życiorys naukowy KSD), chociaż trzeba odnotować, że jednak już w 2019 roku wraz ze swoim promotorem zaprezentował on problematykę syntezy metodą hybrydową RF MS/PLD powłok borku wolframu dotowanych cyrkonem podczas International Vacuum Congress (21th IVC 2019), Malmo. Nie oznacza to, że w poprzedzającym okresie nie były w literaturze prowadzone badania w zakresie dwuborku cyrkonu lub wykorzystania cyrkonu, jako dodatku stopowego w innych borkach, jednak to badania współautorskie KSD w zakresie powłok dwuborku wolframu stopowanych cyrkonem mają walor pierwszeństwa.

Ostatni rozdział rozprawy – Wnioski (rozdz. 5) zawiera 11 wniosków za badań. Są to oczywiście wnioski motywowane wynikami eksperymentów, ale według mnie tak duża ilość wniosków z badań, i to dosyć szczegółowych w niektórych przypadkach, potwierdza moje przypuszczenie o tym, że rozprawa doktorska KSD to raczej kompilacja jego współautorskich publikacji niż spójny referat problemowy.

Rozprawa doktorska KSD zakończona jest wykazem 133 publikacji i opracowań cytowanych przez KSD w tekście rozprawy. Oceniam, że publikacje te dobrze odpowiadają tematyce rozprawy, a ok. 20% z nich to publikacje z ostatnich 10 lat. Zwraca jednak uwagę, że relatywnie mało jest wśród tych publikacji tych, które bezpośrednio odnoszą się do problematyki syntezy powłok borkowych metodami plazmowej inżynierii powierzchni, w tym w szczególności powłok dwuborku wolframu. Większość publikacji dotyczy zagadnień w ogólności związanych ze specyfiką poszczególnych technologii plazmowej inżynierii powierzchni i zasadniczych poglądów podstawowych w tym zakresie. Nie negując wartości tych właśnie publikacji, czy ich przydatności z punktu widzenia potrzeb rozprawy doktorskiej KSD, oczekiwałbym jednak w zestawie cytowanej literatury silniejszego zwrócenia uwagi przez KSD na publikacje bliższe bezpośrednio tematyce rozprawy.

2. Rozważania końcowe

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Rafała Psiuka rozmija się nieco z moim wyobrażeniem konstrukcji rozprawy doktorskiej, a dokładniej technologii doktoratu, jeśli przyjąć, że rozprawa doktorska odzwierciedla taką technologię (a chyba jednak powinna !). Coraz częściej spotykam się z sytuacją, że do recenzji przedstawiany jest po prostu publikowany dorobek doktoranta (dowolnego), opisany w sposób bardziej lub mniej skondensowany, stanowiąc sobą po prostu

streszczenie publikacji. Jest to oczywiście dopuszczalna interpretacja wymogów ustawowych, prawdopodobnie nawet wspierana tymi wymogami, sądząc z ducha odnośnych przepisów. Argumentem za taką formą prezentacji dorobku doktorskiego jest właśnie fakt wcześniejszego opublikowania wyników ze wszystkimi konsekwencjami z tego wynikającymi. Doceniam znaczenie tego faktu i z nim nie dyskutuję, choć uważam, że gubi się w ten sposób jeden z istotnych elementów ocennych doktoratu – umiejętność sformułowania przez doktoranta klarownego problemu badawczego na podstawie najpierw analizy literatury, następnie syntezy wiedzy literaturowej, wyciągnięcia wniosków merytorycznych i twórczego zdefiniowania problemu badawczego. To według mnie jest klucz do wykazania zdolności do kreowania nauki, a nie tylko bycia sprawnym realizatorem badań. Współczesny model finalizacji doktoratu zakłada prawdopodobnie, że fakt opublikowania badań zawiera w sobie domyślnie wspomniany element. W pewnym sensie tak, ale myślę jednak, że zawartość *Introduction* obecnego oczywiście w poszczególnych publikacjach, a wykazanie się umiejętnością postawienia hipotezy badawczej w pracy doktorskiej, to jednak nie są sprawy łatwo i wprost porównywalne. W tym kontekście przyznam, że po lekturze rozprawy doktorskiej KSD nie podchodzę do niej entuzjastycznie. Na podstawie wrażenia, wynikającego z tej lektury, nie mam przekonania graniczącego z pewnością, czy KSD ma zdolność do samodzielnego sformułowania problemu badawczego w szerszym planie niż tylko w odniesieniu do poszczególnej publikacji współautorskich. Z drugiej strony fakt opublikowania wyników współautorskich badań oraz fakt, że w 4 publikacjach KSD jest pierwszym współautorem pokazuje, że w zespole współautorów to jemu ten zespół przypisał rolę sprawczą w każdej z tych publikacji. Mam tutaj pewien dylemat, gdyż moim zdaniem kilka dosyć indywidualnych publikacji współautorskich a rozprawa doktorska to jednak nieco inne kategorie, różniących się między sobą nie tylko zakresem spójności merytorycznej.

Co do edytorsko-technicznej formy recenzowanej rozprawy, to jak każdy tekst tego typu, rozprawa ta nie jest pozbawiona drobniejszych defektów. Nie chciałbym się jednak do tego bliżej odnosić i ten wątek w mojej recenzji pomijam. Zwrócę jednak uwagę na kilka spraw, które jednak w moim przekonaniu wymagają pewnej uwagi.

Na str. 11 rozprawy KSD pisze, omawiając tzw. modele struktur powłok i przywołując wcześniej model M-D (Mowczana-Demczyszyna), że (cyt.): „W kolejnym modelu zaproponowanym przez Barnę i Adamika [5] wprowadzona została strefa T, której temperatura osadzania znajduje się pomiędzy strefą 1 oraz 2.” Takie stwierdzenie KSD nie jest zgodne z rzeczywistością, dotyczącą chronologii wprowadzenia do obiegu literaturowego strefy T. Strefa ta została wprowadzona do literatury nie przez Barnę i Adamika w 1998 r., a przez Thorntona w 1978 r., skoncentrowanego w jego publikacji na MS, jako skutek jego dyskusji z opracowanym w 1969 r. modelem M-D, odnoszącym się przecież do wytwarzania powłok metodą odparowania ciała stałego. W swoistej odpowiedzi na fakt, że w metodzie rozpylania magnetronowego, ze względu na wyżej energetyczny, niż podczas parowania, mechanizm wzbudzenia par i w związku z tym większą energię kinetyczną par w tej metodzie, Thornton wskazał, że obok wzbudzenia cieplnego par kondensujących na ogrzewanym do różnych temperatur podłożu, (model M-D), w budowaniu struktury powłoki odgrywa rolę także relaksacja na powierzchni podłoża energii kinetycznej cząstek par wzbudzonych mechanizmem wymiany pędu. Relaksacja ta prowadzi do fragmentacji krystalitów wzrastających na odrdzeniowo na powierzchni podłoża (zwiększenie gęstości zarodkowania) i sprzyja efektywności dyfuzji lateralnej (efekt cieplny). Stąd, dodatkowy wkład energetyczny w mechanizm wzrostu powłoki, wynikający z ich energii kinetycznej, większej niż podczas parowania, pozwala na swoistą kompensatę/uzupełnienie skutków energii cieplnej, wynikającej z ogrzewania podłoża i w konsekwencji – na pojawienie się strefy T w modelu struktur. Jako czynnik sterujący zasięgiem strefy T na osi temperatury, Thornton przyjął w jego dwuwymiarowym modelu wartość ciśnienia gazu roboczego – argonu, a więc czynnika rozpraszającego energię kinetyczną cząstek par poprzez zderzenia z cząstkami gazu. Publikacja Barny i Adamika pochodzi z 1998 roku i jest ciekawą,

ale jedną w wielu publikacji w tym zakresie, jakie ukazały się na przestrzeni lat. Szkoda także, że KSD pominął w swojej wypowiedzi kolejny ważny model – model Messiera z 1984 r. Messier zamienił wprost efekt rozpraszania energii kinetycznej cząstek par na cząstkach gazu roboczego, wyrażony poprzez ciśnienie gazu roboczego, na szacowaną energię kinetyczną cząstek par, a więc w modelu strefowym oś ciśnienia w dwuwymiarowym modelu Thorntona została zastąpiona osią energii w dwuwymiarowym modelu Messiera. Na marginesie, wspomniany i dyskutowany następnie przeze mnie wyżej cytat z rozprawy KSD otwiera nieco dłuższy akapit w tekście rozprawy, odnoszący się do dyskusji modeli struktur. Łatwo sprawdzić, że akapit ten jest w swoim brzmieniu i wymowie niezwykle zbliżony do fragmentu z publikacji Andersa (autora kolejnego modelu strukturalnego powłok), przywołanego przez KSD dalej w tekście swojej rozprawy w wątku prezentacji modeli struktur. To oczywiście dobrze, że KSD wspominał w swojej rozprawie o modelu Andersa (wraz z przywołaniem odnośnej publikacji), ale gdyby KSD wyraźnie zaznaczył w tekście, że fragment jego wypowiedzi odzwierciedla pogląd pochodzący z publikacji Andersa, to zdjąłby z siebie odpowiedzialność za brak precyzji w jego własnej wypowiedzi w odniesieniu do genezy strefy T.

Zauważyłem z pewnym zaskoczeniem, że KSD dołożył wysiłku, aby uzyskać zgodę wydawców publikacji do zacytowania ilustracji z danej publikacji w tekście jego rozprawy w rozdz. 1. Zaskoczenie wynikało z faktu, że spotkałem się z tym po raz pierwszy. Nie wiem, czy rzeczywiście takie działanie jest konieczne, wydawało mi się bowiem dotychczas, że rozprawa doktorska taka, jak rozprawa KSD, wydana co najwyżej w kilku egzemplarzach, ma cechy druku wewnętrznego i wymóg *copyright* w takim przypadku nie obowiązuje. Zwrócę jednak uwagę, że już w rozdz. 4 KSD cytuje dosłownie ilustracje z współautorskich publikacji, ale już bez notki, że ubiegał się i uzyskał zgodę wydawcy tych publikacji na zamieszczenie kopii ilustracji. Troszkę mnie ten brak konsekwencji zdziwił i zaskoczył.

Z większą ostrożnością niż KSD, podchodziłbym to prób domyślnego zestawiania mocy elektrycznej w układzie RF MS i HIPMS tak, jak to w pewnym sensie można odczytać np. na str. 31. Moc średnia w HIPMS ma zdecydowanie znaczenie techniczno-ekonomiczne i kompletnie nie oddaje energetycznej istoty procesu HIPMS w sensie przebiegu zjawisk elementarnych i ich funkcji w kształtowaniu powłoki. Z kolei w RF MS, w dyskusji znaczenia eksperymentalnego mocy elektrycznej należy uwzględnić współczynnik dopasowania źródło-obciążenie, a przebieg zjawisk elementarnych wyraźnie różni się znacząco od tych w HIPMS.

I na koniec zupełnie drobna uwaga i 2 pytania (pytania – z autentycznej ciekawości):

Unikałbym w badaniach SEM topografii powierzchni powłok wytwarzanych metodami plazmowej inżynierii powierzchni powiększenia przy znaczniku długości 50 μm (np. rys. 55), czy nawet 10 μm (np. rys. 19). Przy tej skali obserwacji, po pierwsze dokumentacja fotograficzna w zasadzie nic nie ilustruje, także w kontekście modeli struktur (co potwierdzają odnośne zdjęcia SEM, a na którym nie są widoczne żadne szczegóły strukturalne), a po drugie twierdzenie, nawet jakościowe o gładkości/chropowatości powłoki jest co najmniej dyskusyjne.

Dlaczego w metodzie hybrydowej targetem magnetronowym jest borek wolframu, a targetem „laserowym” borek cyrkonu, a nie na odwrót ?

Czy w zastosowanej aranżacji działa magnetronowego i „laserowego” nie obserwuje się wzajemnego pokrywania targetów obu dział w trakcie ich pracy, czy było to przedmiotem badań ?

3. Konkluzja recenzji

Jak wspomniałem wcześniej forma recenzowanej rozprawy doktorskiej ma konstrukcję w zasadzie standardową. Taka forma opracowania w sposób w ogólności odpowiada logice wypowiedzi naukowej, której sensem jest zaprezentowanie własnych wyników eksperymentalnych. W moim przekonaniu, w przypadku rozprawy doktorskiej szczególną rolę odgrywa nie tylko dosyć formalnie rozumiana motywacja potrzeby podjęcia badań w tym zakresie, ale także, a może przede wszystkim wykazanie się przez doktoranta umiejętnością nie tyle analizy literatury, ale syntezy wynikającej z niej wiedzy i na tej podstawie wskazania istoty problemu badawczego. Tego aspektu w recenzowanej rozprawie brakuje. W związku z tym moje odczucia w odniesieniu do oceny rozprawy są ambiwalentne. Z jednej strony w pełni doceniam osiągnięte przez KSD wyniki eksperymentalne. Bez wątpliwości lokują one tematykę rozprawy w dyscyplinie inżynieria materiałowa i dotyczą zupełnie aktualnych zagadnień badawczych tak w sensie podstawowym, jak i aplikacyjnym (zarówno w rozprawie doktorskiej, jak i opinii promotora wspomniano o konkretnym zastosowaniu wyników badań otrzymanych z zastosowaniem HIPMS). KSD wykazał w ten sposób swoją sprawność eksperymentatorską. Z drugiej jednak strony brakuje mi pewności w jednoznacznej ocenie, na podstawie tekstu rozprawy, czy KSD ma umiejętności w planowaniu eksperymentów w sensie szerszej strategii badawczej.

W konkluzji mojej recenzji, niezależnie od stanu moich odczuć, muszę jednak wziąć pod uwagę zalecenia, wynikające z odnośnych przepisów. Według tego kryterium należy odnotować, że:

- KSD odznacza się bardzo dobrym, jak na doktoranta dorobkiem naukowym – 11 publikacji współautorskich, w tym 10 publikacji indeksowanych – wydanych w okresie kilku ostatnich lat, w których 4 jest pierwszym współautorem, prace te są cytowane przez innych badaczy,
- KSD uczestniczył z prezentacjami w wielu konferencjach naukowych,
- indeks Hirscha KSD to zupełnie przyzwoita, jak na doktoranta wartość – 6.

Przytoczone dane są jednoznaczne i rysują sylwetkę badacza zaangażowanego w badania i potrafiącego te badania opisać i upowszechnić w związku z realizacją doktoratu. Taka sylwetka odzwierciedla ducha współczesnych wymagań ustawowych.

Biorąc zatem pod uwagę wymogi, niezbędne do formalnego wyrażenia pozytywnej opinii o dorobku naukowym mgr inż. Rafała Psiuka, jako kandydata do stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa, stwierdzam, że spełnia on te wymogi w stopniu wystarczającym. W dalszym postępowaniu będę wspierał wniosek o nadanie mgr inż. Rafałowi Psiukowi tego stopnia.

Krzysztof Zdunek