

Kraków, 27.08.2021 r.

Prof. dr hab. inż. Dariusz Kopyciński
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Odlewnictwa, Katedra Inżynierii Stopów i Kompozytów Odlewnych

RECENZJA

pracy doktorskiej Pana mgra inż. Marcina Szmula, pt.:

**„Nowe technologie spawania stali platerowanej wybuchowo tytanem
stosowanej w budowie aparatury procesowej”**

opracowana na zlecenie z-cy Dyrektora ds. Naukowych dra hab. inż. Macieja Szczerby, prof. Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie (pismo nr IMIM/DP/214/2021 z dnia 5 lipca 2021 r.)

Przedstawiona do recenzji praca doktorska dotyczy wdrożenia nowej technologii spawania stali platerowanej wybuchowo tytanem przeznaczonej do zastosowania w budowie urządzeń dla przemysłu chemicznego, rafineryjnego, spożywczego oraz gazownictwa. Promotorem pracy jest Pani dr hab. inż. Joanna Wojewoda Budka, prof. Instytutu IMIM PAN, natomiast promotorem pomocniczym Pani dr inż. Katarzyna Stan Głowińska. Zakładając, że opracowana technologia spawania stali platerowanej wybuchowo tytanem zostanie szeroko zastosowana w warunkach przemysłowych, to niewątpliwie badania zaprezentowane w pracy doktorskiej przyczynią się do osiągnięcia nowych możliwości podczas produkcji dobrej jakości, pozbawianych wad i odpornych na korozję urządzeń i aparatów procesowych.

Tytuł pracy doktorskiej odpowiada zawartej treści a sama rozprawa doktorska stanowi istotne rozwiązanie problemu związanego z łączeniem blach ze stali platerowanej wybuchowo tytanem w procesie spawania. Co więcej, opracowana technologia została już wdrożona w produkcji części maszyn i urządzeń produkowanych w firmie FAMET S.A. Pozostaje więc uznać, że podjęta przez mgra inż. Marcina Szmula tematyka badawcza jest aktualna i mieści się w zakresie dyscypliny inżynierii materiałowej. Ponadto, należy podkreślić, że praca ta związana jest z procesami krystalizacji, ponieważ podczas spawania, czy napawania następuje częściowe roztapianie metalu w warstwie przetapianej. Tworzy się wówczas jeziorko w którym następuje wymieszanie ciekłego metalu i jego krystalizacja. W pracy doktorskiej źródłem ciepła wytwarzającym jeziorko był wytworzony łuk elektryczny elektrodą nietopliwą w osłonie gazów obojętnych. Natomiast podczas napawania wykorzystywano podczas badań elektrodę topliwą w osłonie gazowej. Przemieszczając źródło ciepła z określoną prędkością wzdłuż określonej drogi po powierzchni metalu, jednocześnie przemieszcza się także jeziorko przed czołem, którego metal się roztapia i krystalizuje na jego końcu. W ten sposób jeziorko pozostawia za sobą ślad, to jest przetopioną warstwę metalu w postaci spoiny, która łączy metale lub w innych przypadkach napoiny, czyli warstwy nałożonej na metal. Oczywiście wraz ze wzrostem prędkości źródła ciepła możemy sterować geometrią jeziorka i tym samym ponownie wzrastającymi kryształami. Bowiern powierzchnię jeziorka, czyli powierzchnię rozdziału ciec - faza stała przed rozpoczęciem krystalizacji tworzą nadtopione kryształy metalu, które stykają się z cieczą. Taką ciecz wystarczy

przechłodzić względem równowagowej temperatury krystalizacji, aby rozpoczął się proces nadbudowy sieci krystalicznej - czyli procesu kształtowania kryształu. Procesy zarodkowania w tym przypadku pomijamy. Zatem teoretycznie możemy dowieść, że wystarczy sterować parametrami krystalizacji aby otrzymać poprawną mikrostrukturę spoiny (czy w innej technologii - napoiny), która nie będzie podlegać zjawisku pęknięcia. Jednak w praktyce łączenie nowoczesnych konstrukcji metodą spawania nie jest już takie proste i wymaga dodatkowej wiedzy praktycznej, a szczególnie dotyczy to łączenia specjalnych blach wykonanych ze stali warstwowych, na przykład przedmiotowej stali platerowanej wybuchowo tytanem. W tym wypadku zazwyczaj zakłady przemysłowe opracowują tzw. wiedzę *know how*. Dobrym przykładem w tym zakresie jest recenzowany doktorat, który powstał w wyniku dobrze zaplanowanego projektu wdrożeniowego. Pozytywne wdrożenie nowej technologii spawania stali platerowanej wybuchowo tytanem odbyło się w firmie FAMET S.A. Firma FAMET S.A. zatrudnia w pięciu zakładach na terenie Polski ponad 1200 osób i specjalizuje się w projektowaniu, produkcji, dostawach i usługach montażowych aparatury procesowej i urządzeń dla kluczowych gałęzi przemysłu w Polsce i za granicą. Do obszaru działalności spółki należy również produkcja stalowych części i komponentów dedykowanych dla maszyn budowlanych, przeładunkowych, elektrycznych oraz do elektrowni wiatrowych. Promotorem pomocniczym recenzowanej pracy doktorskiej od strony jednostki wdrażającej był główny spawalniki w firmie FAMET Pan mgr inż. Andrzej Chudzio.

Przedstawiona do recenzji praca doktorska stanowi autorskie opracowanie nowej technologii spawania zestawione na 197 stronach. Praca składa się z 5 rozdziałów i 29 podrozdziałów oraz zawiera 18 tabel i ponad 104 rysunki w formie schematów, wykresów i mikrostruktury wykonanych spoin. Część analizy literatury jest zawarta na 42 stronach, część doświadczalna to 119 stron. Autor rozprawy doktorskiej przywołał 186 pozycji aktualnej literatury oraz sporządził wykaz 38 obowiązujących norm. Dodatkowa na 10 stronach znajduje się 6 załączników dotyczących składów chemicznych, właściwości mechanicznych i fizycznych materiałów, stopów i pierwiastków oraz wykonanych napoin wykorzystanych podczas realizacji badań. W tej części pracy znajdują się również dane dotyczące odporności korozyjnej tytanu w środowisku płynów. W załączniku 6 autor opisał podstawy technologii zgrzewania wybuchowego w aspekcie platerowania stali niestopowej tytanem i dodatkowo załączył tam literaturę uzupełniającą (20 pozycji).

W części teoretycznej doktorant przybliżył problem wytwarzania aparatury i urządzeń przemysłowych z materiałów różnoimiennych, które są trudno spawalne lub obecnie niespawalne. Z tej części pracy dowiadujemy się, że rozwiązanie obecnych problemów w tym zakresie i produkcja takich urządzeń przyniesie wielokierunkowe korzyści ekonomiczne i ekologiczne. Następnie doktorant zestawiał podstawowe czynniki, które wpływają na projektowanie części aparatury procesowej. Do tych czynników należą: skład chemiczny warstwy wierzchniej, wielkość ziaren, zdefektowanie struktury, naprężenia własne oraz orientacja krystalograficzna. Stąd w logicznej kolejności doktorant zajmuje się zagadnieniem obróbki cieplnej dotyczącej wyżarzania odprężającego stali platerowanej wybuchowo tytanem, która charakteryzuje się wysokim poziomem naprężeń własnych. Po omówieniu powyższego zagadnienia czytelnik zapoznany zostaje z pojawiającymi się problemami związanymi z procesami dyfuzyjnymi i powstawaniem faz międzymetalicznych zachodzących podczas obróbki cieplnej i spawania. Podczas opracowaniu tej części pracy doktorant przewidział na podstawie analizowanej literatury, że będzie musiał się zmierzyć z powstawaniem: węglików tytanu w obszarze złącza Ti/stal, twardych faz międzymetalicznych z układu Fe-Ti, porowatości Kirkendalla po stronie stali. Dalej część teoretyczna obejmuje opis znanych technologii spawalniczych, które można zastosować do przedmiotowych stali z użyciem warstw pośrednich podczas ich łączenia. Dowiadujemy się również, że jednym ze sposobów wykonywania złącza doczołowego stali platerowanej wybuchowo tytanem jest zastosowanie technologii spawalniczych wykorzystujących łuk elektryczny – spawanie elektrodą topliwą w osłonie gazowej (GMAW) oraz spawanie

elektrodą nietopliwą w osłonie gazów obojętnych (GTAW). Wymienione metody zostaną wykorzystane w badaniach własnych. W tej części pracy również omówiono technologie spawalnicze polegające na zastosowaniu wkładek wlutowywanych w miejsce materiału nakładanego lub spawania z niepełnym przetopieniem, dla zapewnienia niecałkowitego wymieszania materiału nakładanego (tytanu) z materiałem podstawowym. Rozważana jest również koncepcja spawania z użyciem przejściowej warstwy metalu o wysokiej temperaturze topnienia. Przedstawione badania w części teoretycznej pracy świadczą o dużym zainteresowaniu uzyskaniem złącza doczołowego o możliwie najkorzystniejszych właściwościach przy jednoczesnym zapewnieniu efektywności i ekonomiczności procesu. Do wad tej technologii, których jak dotąd nie rozwiązano, należą: brak ciągłości materiałowej uzyskiwanego złącza, występowanie karbów geometrycznych, konieczność uwzględnienia miejscowego zwiększenia grubości materiału przez stosowanie nakładek, zmniejszenie pola przekroju poprzecznego złącza spawanego, duże koszty materiałowe oraz zwiększona pracochłonność procesu spawania i konieczność stosowania kosztownych materiałów lutowniczych. Ponadto bardzo ważnym zadaniem jest zapewnienie dobrej odporności korozyjnej i szczelności takiego połączenia, stąd w tej części pracy pojawiło się również zagadnienie wykorzystania technologii spawania/lutowania wkładek i spawania nakładek tzw. pasów tytanu. Zastosowanie warstw pośrednich ma również przeciwdziałać powstawaniu kruchych faz międzymetalicznych. Powyższe zagadnienia związane są także z przeprojektowaniem geometrii samego złącza spawanego. Jak wynika z przeprowadzonej analizy w każdym wariantcie stosowanego złącza pojawia się przeważnie niewielka nieciągłość materiałowa i pęknięcia. Tym samym doktorant w rzeczowy sposób uzasadnił ważność realizowanego tematu pracy doktorskiej.

Zgodnie z powyższym, sformułowana została teza pracy, która w pierwszej chwili wydaje się bardzo ogólna. Jednak gdy zastanowimy się chwilę i przeanalizujemy ogrom stojących przed doktorantem wyzwań, raczej dojdziemy do wniosku, że nie było wielu możliwości uszczegółowienia tezy pracy. Dodatkowo wchodzi tutaj wiedza *know how*, która pewnie w umowie została zastrzeżona przez firmę FAMET S.A.

Praca doktorska posiada dobrze sformułowany główny cel badań, który stanowi opracowanie technologii spawania stali platerowanej wybuchowo tytanem. Materiał ten ma obecnie największy potencjał w odniesieniu do możliwości wytwarzania aparatury chemicznej i procesowej w połączeniu z przedstawionymi korzyściami ekonomicznymi i natury ekologicznej. Natomiast opracowana technologia zapewni firmie FAMET S.A. nowe możliwości produkcyjne innowacyjnych urządzeń w przyszłości. Aby to osiągnąć, w pracy sformulowano cele podrzędne, które dotyczyły optymalizowania parametrów procesów wyżarzania odprężającego przedmiotowej stali i jego wpływu na odporność korozyjną warstwy nakładanej na powierzchnię tej stali oraz zagadnień związanych z naprawą warstwy wierzchniej. Natomiast cele naukowe obejmowały wpływ obróbki cieplnej oraz technologii spawania na mikrostrukturę, właściwości mechaniczne złącza i projektowanej spoiny oraz ich właściwości mechaniczne i korozyjne.

Dodatkowo muszę przyznać, że wiedza zaprezentowana w części literaturowej pozwoliła doktorantowi sformułować poprawną tezę pracy oraz wymagające cele pracy, a to wszystko doprowadziło do zaprojektowania rzetelnej metodyki badań. Wydaje się, że sukces w dochodzeniu do ostatecznego sformułowania parametrów nowej technologii zaistniał już na wstępie dobrze dobranej współpracy pomiędzy Instytutem Metalurgii i Inżynierii Materiałowej Polskiej Akademii Nauk a przedsiębiorstwem FAMET S.A. Natomiast kryterium oceny, czy opracowana nowa technologia łączenia blach warstwowych spełnia wymagania producenta urządzeń chemicznych i znajduje się w normach zestawionych w pracy doktorskiej, co ułatwiało ocenę postępów w prowadzonych badaniach.

W części praktycznej, w podrozdziale dotyczącym procesów spawania i napawania naprawczego doktorant jasno przedstawił koncepcje przyjętych badań. Opis ten został poparty schematami wykonawczymi dla etapów napawania i spawania doczołowego, uwzględnieniem

przewidzianych zabiegów. W przypadku spawania było to; przygotowanie krawędzi łączonych materiałów do spawania; wykonanie ściągów nr 1 (drut TA1) i 2 (drut SG-CuSi3); wykonanie ściągów nr 3 i 4 (drut Ni200) z zastosowaniem chłodzenia w kąpeli wodnej; wykonanie ściągów od nr 5 do nr 13 (drut MEGAFIL 710M) z zastosowaniem chłodzenia w kąpeli wodnej. Jedynie w tej części pracy odczuwa się pewien niedosyt związany z prezentacją parametrów dotyczących procesu napawania i również spawania. Jaka jest tego przyczyna? Ponadto w tym rozdziale pojawia się pojęcie pęknięć gorących. Może zastosowanie pojęcia znanego w metalurgii w formie pęknięcia na gorąco będzie bardziej zrozumiałe? Oczywiście rozumiem, że w nazewnictwie związanym z szeroko rozumianym spawalnictwem stosuje się pojęcia typu: pęknięcie zimne, pęknięcie gorące - jednak proszę doktoranta o opinie w tym zakresie. W następnych rozdziałach pracy doktorant przeprowadził na wysokim poziomie naukowym wielokierunkową analizę metaloznawczą wykonanych złącz zgrzewanych wybuchowo, połączeń spawanych oraz obszarów napawanych wykorzystując do tego celu, m.in.: mikroskopię świetlną, skaningową mikroskopię elektronową, transmisyjną mikroskopię elektronową dyfraktometrię. Badania właściwości mechanicznych złącz zgrzewanych wybuchowo i spawanych dotyczyły pomiarów mikrotwardości, prób ścinania statycznego oraz rozciągania statycznego oraz prób zginania bocznego i udarności. Ponadto w pracy doktorskiej autor ocenił odporność korozyjną badanych materiałów techniką elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej.

Bardzo interesujące badania analizy metalograficznej złącza zgrzewanych wybuchowo oraz już tych spawanych dotyczą ich obróbki cieplnej oraz oznaczania i dyskusji nad powstaniem dodatkowych faz międzymetalicznych, które bezpośrednio wpływają na możliwość pojawiania się pęknięć na gorąco. W tym zakresie doktorant porównał obrazy TEM przedstawiające mikrostrukturę obszaru złącza zgrzewanego wybuchowo bez i po obróbce cieplnej tzw. *ex situ* w odróżnieniu od prowadzonej równoległe obróbki cieplnej próbek w mikroskopie transmisyjnym, nazwanej w pracy *in situ*. Na podstawie tych badań doktorant sporządził schematy mikrostruktury obszaru granicy rozdziału złącza zgrzewanego wybuchowo Ti/stal niskowęglowa w stanie bez obróbki cieplnej oraz po obróbce cieplnej *in situ* a także *ex situ*. Na schematach tych zaznaczono otrzymane podwarstwy zdefiniowanych faz oraz naniesiono wymiary w nanometrach. W tym miejscu proszę doktoranta o odpowiedź na następujące pytanie: czy jest prawidłowe porównywanie zmian mikrostrukturalnych zachodzących podczas obróbki cieplnej *in situ* w przypadku próbki cienkiej folii w mikroskopie transmisyjnym do rzeczywistych zmian w mikrostrukturze zachodzących w próbkach wyciętych bezpośrednio ze złącza zgrzewanego wybuchowo. Proszę również sprecyzować cel przeprowadzonych badań zmian mikrostruktury próbek cienkiej folii po obróbce cieplnej *in situ*. Czy można znaleźć wartość dodaną tych badań dla projektowanych rzeczywistych spoin podczas wdrażania nowej technologii?

Następnie w tej części pracy doktorskiej została przeprowadzona wielokierunkowa analiza 12 platerowanych płyt próbnych po napawaniu naprawczym tytanu. Na podstawie obrazów mikrostruktury SEM/BSE przekroju poprzecznego napoin naprawczych oraz wykonanych prób gięcia bocznego doktorant wytypował prawidłowe napoiny, które spełniają wymagania stawiane przez odpowiednią normę. Oczywiście badania te miały na celu optymalizację parametrów napawania. I tak porównanie parametrów napawania oraz otrzymanej mikrostruktury napoiny nr 5 i nr 9 wskazuje, że ta ostatnia jest kształtowana bez kruchej warstwy dyfuzyjnej a parametry napawania są podobne t.j. prędkość podawania drutu wynosi w obu przypadkach 2,5 m/min natomiast napięcie łuku elektrycznego nieco się różni 11.8 V do 11.0 V. Czy zwiększanie jedynie napięcia łuku elektrycznego o tak małe wartości będzie sprzyjało rozrostowi takich warstw dyfuzyjnych i będą pojawiać się pęknięcia i rozwarstwienia napoiny dla wartości napięcia łuku elektrycznego na poziomie 13V/14V. Jakie parametry procesu spawania/napawania decydują o powstaniu wad w badanej spoinie/napoinie?

Rozdział dotyczący badań technologii spawania złącza doczołowego stali platerowanej wybuchowo tytanem zawiera przegląd wielokierunkowych badań mikrostruktury, badań faz występujących w spoinie, składu chemicznego poszczególnych podwarstw, badań właściwości mechanicznych oraz właściwości korozyjnych badanego złącza spawanego.

Sekwencja spawania złącza została już przybliżona w recenzji. Po wykonaniu pierwszej warstwy pośredniej wykonano szlifowanie wyrównujące lico lutospoiny. Następnie wykonano dwa ściegi spoiwem Ni200, aby utworzyć drugą warstwę pośrednią zabezpieczającą przed powstawaniem pęknięć na gorąco podczas wykonywania ściegów na bazie stopu żelaza. Ustalono eksperymentalnie, że podczas napawania metodą GMAW materiałem dodatkowym na bazie żelaza na podłożu zawierającym ponad 90% Cu, występują pęknięcia na gorąco spowodowane obecnością niskotopliwej fazy ciekłej. W badaniach wykorzystanie właściwości niklu miało ograniczyć zawartość miedzi i przeciwdziałać pęknięciom na gorąco. Cel udało się zrealizować – pęknięć nie zaobserwowano podczas spawania warstw z użyciem drutu MEGAFIL 710M (od ściegu nr 5), ale zaobserwowano pęknięcia na gorąco typu „chevron” podczas wykonywania ściegów spoiwem Ni200. W tym miejscu proszę doktoranta o zdefiniowanie wady pęknięcia typu „chevron”? I jakie są przyczyny powstawania tego rodzaju wady? Dalej w pracy może się podobać interesujące, autorskie podejście do analizy metalograficznej otrzymanej spoiny. Z racji występowania w obrębie ściegów nr 1, 2 i 3 obszarów o złożonej mikrostrukturze, uzyskane wyniki badań z wykorzystaniem skaningowej mikroskopii elektronowej podzielono na sektory zgodnie z opisem przedstawionym na Rys. 4.3.2. Sektor pierwszy - obejmujący przejście pomiędzy ściegiem nr 1 i strefą „X” oraz strefę „X” analizowaną w kierunku osi spoiny; Sektor drugi - obejmujący stopiwo ściegu nr 2; Sektor trzeci - obejmujący strefę reakcji „X” wzdłuż granicy ze spoiną TA1 oraz SWC-1 oraz część strefy reakcji „Y”. Doktorant przeprowadził analizę mikrostruktury oraz składu fazowego w poszczególnych sektorach oraz ocenił skłonność do pęknięć na gorąco w tych obszarach, co pozwoliło zoptymalizować technologię powstawania przedmiotowego złącza. Jedyne w tym rozdziale mam pewne zastrzeżenia, ponieważ nie jest pewne czy pojawiające się pęknięcia są wynikiem kształtowania faz międzymetalicznych, spawalniczych naprężeń własnych, czy wręcz prostego zabiegu prostowania próbek po spawaniu? Proszę doktoranta o komentarz.

Co do badań korozyjnych badanego złącza nie zgłaszam zastrzeżeń. Natomiast wyniki badań mechanicznych i opracowanie technologii doczołowego złącza spawanego stali platerowanej wybuchowo tytanem połączonej z wyżarzaniem odprężającym jest najważniejszym osiągnięciem recenzowanej pracy doktorskiej. Brak pęknięć w mikrostrukturze spoiny, kąt zgięcia wynoszący 180° , wytrzymałość na rozciąganie R_m rzędu 421-427 MPa, uzyskana twardość w spoinie 80-281 HV0.1, praca łamania w spoinie KV na poziomie 110,53 J dowodzą, że otrzymano innowacyjną technologię. **Dlatego uważam, że przedstawiony do recenzji doktorat wdrożeniowy powinien zostać wyróżniony.** Poglądowe zestawienie uzyskanych wyników badań na tle wyników innych autorów cytowanych w pracy doktorant przedstawił w tabeli nr 16. Tym samym teza pracy została udowodniona oraz niewątpliwie mogę potwierdzić, że doktorant posiada duże umiejętności w prowadzeniu badań doświadczalnych szczególnie tych dotyczących optymalizacji i projektowania nowej technologii. Dodatkowo poproszę doktoranta już jako eksperta o wyjaśnienie jeszcze jednego zagadnienia związanego z gradientem temperatury pojawiającym się w spoinie. Z badań literaturowych wynika, że gradient temperatury zmniejsza się w miarę oddalania się od brzegu do środka przetopionej warstwy. Zatem największe prawdopodobieństwo powstania płaskiego frontu krystalizacji występuje na brzegu spoiny, gdzie gradient temperatury jest największy. Następnie odpowiedni do zmniejszającego się gradientu temperatury powstaje komórkowy front krystalizacji i dalej komórkowo - dendrytyczny i dalej w środku spoiny może wystąpić strefa ziaren równoosiowych. W przedstawionych spoinach obserwowano dendrytyczną mikrostrukturę. Czy jest możliwe w warunkach przemysłowych sterowanie wartością gradientu temperatury

w taki sposób, aby eliminować te najmniej korzystne struktury w których istnieje największe prawdopodobieństwo inicjacji pęknięć na gorąco?

Pod względem formalnej oceny, recenzowana rozprawa doktorska jest napisana poprawnie również językowo, jednak zawiera dosłownie kilka błędów edytorskich oraz pomyłek czy niejasności, a mianowicie:

- Str. 47 - drugie zdanie od dołu strony - jest *schemat spawalnia*, powinno być *schemat spawania*.
- Str. 52 - osiemnaste zdanie od góry strony – cyt. „*W celu zwiększenia przejrzystości pracy oraz z uwagi na tajemnicę firmy FAMET S.A., nie wszystkie wyniki dotyczące technologii spawania zostaną przedstawione w niniejszej pracy.*” Zdanie można różnie rozumieć – proszę o wyjaśnienie.
- Str. 54 - w tabeli nr 1 jeden z dwóch podanych parametrów T_w powinien być oznaczony jako t_w .
- Str. 59 - w pierwszym zdaniu jest podany odnośnik do Tabeli nr 5Z, Załącznik nr 3, nie zgadza się nr podanego załącznika.
- Str. 107 - opis rys. 4.1.24 (f) i (g) dotyczącego map EBSD po trzeciej obróbce cieplnej; na obrazach ziarna różnią się wymiarami natomiast opis zastosowanej obróbki cieplnej jest taki sam dla obydwu przypadków.
- Str.120 – bezpośrednio po tytule podrozdziału jest zamieszczony rys. 4.3.1; przed rysunkiem powinna pojawić się informacja dotycząca tego rysunku.

Na koniec stwierdzam, że recenzowaną pracę doktorską oceniam jako ważną. Zaprezentowane badania wnoszą wkład w rozwój inżynierii materiałowej, między innymi w wyniku bezpośredniego zastosowania czyli inaczej mówiąc wdrożenia w przemyśle oraz zaplanowane są i specjalnie dedykowane dla produkcji aparatury chemicznej i procesowej. **W związku z tym praca doktorska mgra inż. Marcina Szmula, pt.: „Nowe technologie spawania stali platerowanej wybuchowo tytanem stosowanej w budowie aparatury procesowej” spełnia wymagania stawiane przez aktualną Ustawę o Tytule Naukowym i Stopniach Naukowych wobec czego wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie o dopuszczenie jej do publicznej obrony.**