

Prof. dr hab. Tadeusz Hejwowski

Lublin, 20 kwietnia 2019 r.

Katedra Inżynierii Materiałowej

Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej

### Recenzja

W postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego dr inż. Sławomirowi Kowalskiemu w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn

Podstawą do opracowania recenzji jest pismo Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej Pana prof. dr hab. inż. Jerzego Śładka zawierające prośbę o opracowanie recenzji w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

Dokumenty złożone przez dr inż. Sławomira Kowalskiego zawierają; wniosek o przeprowadzenie postępowania, poświadczoną kopię dokumentu potwierdzającego uzyskanie stopnia doktora, autoreferat, wykaz opublikowanych prac, osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych i technologicznych, monografię „Wpływ powłok PVD na rozwój zużycia frettingowego w połączeniach włączanych” wskazaną jako osiągnięcie naukowe, dane personalne i teled adresowe oraz wersję elektroniczną wniosku na płycie CD.

Recenzja została przygotowana z uwzględnieniem rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 r. poz. 261), rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 r. w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego (Dz. U. z 2011 r. nr 196, poz. 1165), ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 z późn. zm.).

### **Informacje ogólne**

Dr inż. Sławomir Kowalski ukończył studia I stopnia w Politechnice Karkowskiej na Wydziale Mechanicznym, kierunku Transport i specjalności Eksploatacja środków transportu szynowego w 2003 r. Studia II stopnia Habilitant ukończył z wyróżnieniem w Politechnice Krakowskiej, Wydział Mechaniczny, kierunek: Transport, specjalność: Eksploatacja i Zarządzanie w Transporcie w 2005 r. W 2006 r. Habilitant ukończył w Akademii Pedagogicznej w

Krakowie studia podyplomowe na kierunku Pedagogika. W 2010 r. Habilitant uzyskał stopień doktora nauk technicznych na podstawie rozprawy doktorskiej „Wpływ wybranych procesów technologicznych na zużycie frettingowe w modelu połączenia kołowego”, promotorem rozprawy był dr hab. inż. Stanisław Guzowski, prof. PK, a recenzentami prof. dr hab. inż. Marian Szczerek i dr hab. inż. Paweł Piec, prof. PK.

W trakcie studiów inżynierskich podjął pracę początkowo na stanowisku ślusarza mechanika na wydziale hamowni silników spalinowych firmy NEWAG w Nowym Sączu. Potem Habilitant pracował na stanowisku technologa odpowiadającego za dział regeneracji i montażu zestawów kołowych. W 2005 r. objął stanowisko specjalisty technologa w dziale Badań i Rozwoju i pracuje nadal na tym stanowisku do 2016 r. w firmie Newag S.A. Nowy Sącz a od 2017 r. w firmie NEWAG IP Management Sp. z o.o. Początkowo uczestniczył w procesie homologacji lokomotyw spalinowych i elektrycznych zespołów trakcyjnych. Aktualnie koordynuje dystrybucję dokumentacji technicznej i zarządza dystrybucją norm. Pracę na stanowisku wykładowcy w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Nowym Sączu dr inż. Sławomir Kowalski rozpoczął w 2011 r. i pracuje nadal, z przerwą w latach 2013-2015.

### **Ocena osiągnięcia naukowego**

Habilitant jako osiągnięcie naukowe podał monografię S. Kowalski „Wpływ powłok PVD na rozwój zużycia frettingowego w połączeniach włączanych”, wydaną przez Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji- PIB, Radom 2018 r. Recenzentami monografii byli prof. dr hab. inż. Marian Szczerek oraz prof. dr hab. inż. Paweł Pawlus. Monografia zawiera 192 strony, 105 rysunków oraz 26 tablic. Spis literatury liczy 218 pozycji. Monografia jest napisana w klasycznym układzie i zawiera następujące rozdziały: Wprowadzenie, Założenia naukowe i teza pracy, Metodyka badań, Charakterystyka powłok przeznaczonych do badań zużyciowych, Analiza wyników badań zużyciowych, Analiza wytrzymałości zmęczeniowej próbek, Podsumowanie pracy i wnioski końcowe.

We wprowadzeniu (Rozdział 1) Autor uzasadnia celowość podjętej tematyki. Problematyka dotyczy zużycia frettingowego połączeń wciskowych. Jako możliwe zastosowanie badanych powłok Autor wskazuje zestawy kołowe pojazdów szynowych, a konkretnie połączenie koło-oś zestawu. Zagadnienia zużycia oraz metody zwiększania trwałości zestawów kołowych były tematyką prac dyplomowych inżynierskiej i magisterskiej oraz pracy doktorskiej Habilitanta. Problematyka zużycia frettingowego zestawów kołowych jest istotna ze względów ekonomicznych oraz bezpieczeństwa transportu. Tematyka stanie się jeszcze bardziej istotna po przewidywanych w kraju modernizacjach torów i taboru kolejowego oraz zwiększ-

szeniu prędkości pociągów. Uszkodzenia zestawów kołowych spowodowane frettingiem były przedmiotem polskich publikacji. Przegląd literatury, wykonany podczas przygotowywania recenzji, wykazał również zainteresowanie badaczy tureckich i japońskich. Autor wskazuje możliwe do zastosowania technologie inżynierii powierzchni: azotowanie, hartowanie powierzchniowe, nagniatanie oraz nakładanie powłok molibdenowych.

Habilitant stwierdza, że koszt nakładania powłoki molibdenowej jest wysoki i widzi tańszą alternatywę w postaci powłok PVD. Z tym stwierdzeniem polemizuję, technologie nakładania powłok molibdenowych są stosowane od dawna w przemyśle w zastosowaniach przeciwzużyciowych oraz w celu zabezpieczenia przed korozją. Odporność na zużycie frettingowe wciskanych połączeń wałek natryskiwany cieplnie powłoką Fe-Ni/ tuleja była badana w obrotowym zginaniu (W.Liu i in., *Surface and Coatings Technology*, vol. 217, 2013, s. 58-63). Stwierdzono 50% wzrost wytrzymałości zmęczeniowej. Cechą natryskiwania cieplnego są niemal dowolne wymiary natryskiwanych elementów. Wadą procesu PVD jest to, że wymaga specjalistycznych drogich stanowisk do wytwarzania powłok, a nakładanie powłok wykonuje się w komorach próżniowych, które posiadają ograniczone rozmiary. Nakładanie powłoki wymagałoby daleko idącej adaptacji stanowiska do nakładania powłok metodą PVD i PACVD.

Habilitant trafnie wskazuje na stosunkowo niewielką liczbę prac dotyczącą zużycia frettingowego połączeń wciskanych i na brak prac dotyczących zużycia frettingowego powłok PVD stosowanych w złączu wciskany. Rozważane przez habilitanta powłoki są również nakładane na narzędzia skrawające. Zagadnienia mikrostruktury i właściwości tych powłok oraz trwałości narzędzi pokrytych powłokami były przedmiotem intensywnych badań. Powłoki te były również przedmiotem opublikowanych prac dotyczących zużycia frettingowego wykorzystujących maszyny testowe z innymi węzłami tarcia. Reasumując, pomimo pewnych wątpliwości, tematykę rozprawy uważam za istotną pod względem poznawczym i aplikacyjnym.

W rozdziale 2 monografii Habilitant przedstawia stan wiedzy dotyczący zużycia frettingowego. Informacje dotyczą zużycia stopów metali za wyjątkiem stopu aluminium pokrytego powłoką anodową. Tematyką monografii jest wpływ powłok PVD na rozwój zużycia frettingowego. Powłoki po nałożeniu na wałek podlegają zużyciu frettingowemu. Zauważam brak prac dotyczących zużycia powłok PVD i CVD. Opis zjawiska frettingu Autor oparł zasadniczo na pracach Mindlina i Johnsona pochodzących z lat 50. W bibliotece cyfrowej polskich uczelni jest dostępna książka D. A.Hills, D.Nowell „Mechanics of Fretting Fatigue Springer-Science+Business Media B.V., 1994 (Springer Link). W modelowaniu

zarodkowania pęknięć frettingowych stosuje się tak zwane podejście CP (critical plane) oraz parametry FP (parametr Findley'a), MD (McDiarmida), SSR (shear stress range parameter), BM (Brown-Millera), parametr Liu oraz parametry SWT i F-S. Autor podaje w monografii jedynie informacje na temat parametrów SWT i F-S. W 1992 r. zostały wprowadzone mapy zużycia pokazujące warunki występowania określonych mechanizmów zużycia. Autor nie zauważył także pracy Y.B. Zhang i in., Wear vol. 400-401, 2018, s. 177-183 gdzie dla połączenia wciskowego i próbki zbliżonej kształtem i wymiarami jest podana procedura symulacji metodą elementów skończonych inicjacji pęknięcia frettingowego.

Autorzy pracy [180] stwierdzili podobieństwo rozkładu naprężeń kontaktowych wzdłuż powierzchni styku modelu zestawu oraz obiektu rzeczywistego, wniosek dotyczący możliwości przeniesienia wyników badań na zestaw kołowy nie został przez nich podany.

W rozdziale 3 Autor określa cel, zakres i tezę pracy. Celem pracy jest ograniczenie zużycia frettingowego przez nałożenie cienkich powłok metodą PVD na wałki. Celami naukowymi są: określenie wpływu powłok na inicjację rozwój i intensywność zużycia frettingowego, określenie lokalizacji uszkodzeń frettingowych i ocena stanu warstwy wierzchniej wałka przed i po badaniach zużycia, ocena wpływu powłok na wytrzymałość zmęczeniową połączenia wtlaczanego, sformułowanie wytycznych doboru powłok. Habilitant formułuje tezę: cienkie powłoki nakładane na wałek metodą PVD lub PACVD pozwolą ograniczyć lub wyeliminować rozwój zużycia frettingowego w połączeniach wciskowych wykonanych metodą wtlaczania i pracujących w warunkach cyklicznego, obrotowego zginania.

Habilitant wymienia dwie różne metody nakładania powłok: PVD oraz PACVD. W tytule monografii jest wymieniona jednak tylko metoda PVD. Autor podejmuje się zadania określenia wpływu powłok na inicjację i intensywność zużycia frettingowego, co wymaga pokazania faz rozwoju zjawiska. W uzasadnieniu tezy naukowej pracy habilitant stwierdza, że wybrane powłoki cechują się odpowiednią twardością, odpornością na zużycie ściernie oraz zużycie korozyjne. Można oczekiwać, że w dalszej części monografii autor poda wyniki badań potwierdzających te stwierdzenia, w poprzedniej części monografii nie były podane informacje dotyczące takich powłok. Autor nie wymienia odporności frettingowej powłok jako cechy badanych powłok, pomimo tego że niektóre z wybranych powłok były przedmiotem opublikowanych badań.

#### Rozdział 4 metodyka badań.

Metodyka pomiarów stosowana przez Habilitanta jest bardzo zbliżona do stosowanej i opisanej przez dr hab. inż. S. Guzowskiego, prof. PK w monografii „Analiza zużycia frettin-

gowego w połączeniach wciskowych na przykładzie osi zestawów kołowych pojazdów szynowych”, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2003. S. Guzowski stwierdził dla badanych stali: lokalizację uszkodzenia frettingowego na stronie podpiaścia przeciwnej do strony, od której rozpoczynano montaż oraz fakt iż rzeczywisty styku elementów połączenia wciskanego dla wartości wcisku 0,02 mm występuje tylko na fragmentach długości połączenia. Taką wartość wcisku stosował Habilitant. Podczas montażu połączenia wciskanego można oczekiwać powstania miejscowych głębokich zarysowań powłoki i usunięcia powłoki z fragmentu powierzchni wałka. W przypadku połączeń zaciskanych S. Guzowski stwierdza, że lokalizacja uszkodzeń frettingowych jest w przypadkowych miejscach na powierzchni wałka. Bardziej jednoznaczne wyniki mógł Habilitant uzyskać dla połączeń zaciskanych.

Morfologia powłoki oraz jej właściwości zależą od grubości powłoki oraz chropowatości podłoża. Habilitant nie podaje faktu pomiaru twardości powłoki, można przypuszczać, że podane w dalszej części monografii twardości są wartościami podanymi przez wytwórcę powłok lub producenta urządzeń do nakładania powłok. Habilitant powinien wykonać pomiary nanotwardości, współczynnika tarcia oraz próbę przyczepności powłok na przykład za pomocą scratch testera.

Habilitant powinien wykonać testy na znacznie większej liczbie próbek w celu zbadania procesu rozwoju uszkodzeń frettingowych. Tematem monografii jest rozwój zużycia frettingowego, a więc proces zajmujący pewien czas.

Habilitant powinien podać wartości nacisków niezbędnych po badaniach frettingowych do demontażu połączeń. Wykonanie takich badań umożliwiłoby dodatkowy opis ilościowy uszkodzenia połączenia. W tabeli 4.3 Autor podaje, że maksymalna siła wtłaczania zależała od rodzaju powłoki, w monografii zagadnienie to powinno być przedyskutowane.

Habilitant podaje wyniki analizy MES badanych połączeń, nie podaje jednak amplitudy poślizgów połączenia wałek/tuleja. Znajomość amplitudy poślizgu jest istotą do interpretacji wyników doświadczalnych. Amplitudy poślizgu na styku tulei i wałka powinny być zmierzone dla każdego zestawu powłokowego kilkakrotnie w trakcie badań. Nie zgadzam się ze stwierdzeniem Autora, że jest trudno zmierzyć amplitudę poślizgów. W przynajmniej jednej opublikowanej pracy dokonano tego (W.Liu i in., *Surface and Coatings Technology*, vol. 217, 2013, s. 58-63).

Metoda EDS analizy składu chemicznego jest obciążona stosunkowo dużym błędem. Jest dostępne darmowe oprogramowanie umożliwiające oszacowanie objętości materiału, z której pochodzi analizowany sygnał. Metoda WDS (spektrometria z dyspersją długości fali) wyróżnia się znacznie większą rozdzielczością w porównaniu do EDS. Zalecanymi metodami

badania składu chemicznego cienkich warstw są XPS, spektroskopia elektronów Augera, SIMS, spektrometria Ramana.

Habilitant powinien zamieścić wyniki badań składu fazowego nałożonych powłok. Informacji na temat występujących faz dostarczają metody XPS, dyfraktometryczne, spektroskopia Ramana. W przypadku dużej chropowatości podłoża może wystąpić efekt ocienienia spowodowany preferencyjnym osadzaniem się nakładanych atomów na wierzchołkach nierówności podłoża. Powoduje to wytworzenie struktury kolumnowej zawierającej cienkie ziarna. Powłoki o wysokiej gęstości uzyskuje się dla podłoży o niskiej chropowatości. Chropowatość wałków stosowanych przez Habilitanta jest wysoka ( $R_a$  w przypadku większości powłok zbliżone jest do grubości powłok) i dlatego należy oczekiwać w dalszej części monografii prezentacji wyników badań mikrostruktury powłok. Powinny być wykonane systematyczne badania SEM wykonanych powłok w celu określenia ich mikrostruktury. Szczególnie istotne są obserwacje przełomów powłok, które ujawniają strukturę kolumnową i kropelkową.

Habilitant nie przewiduje wykonania badań właściwości podłoża. Powinny być wykonane badania mikrotwardości (najlepiej profile mikrotwardości) podłoża. Stan materiału wpływa na szybkość rozwoju pęknięcia, Autor zamieszcza przecież w monografii wyniki badań zmęczeniowych.

Habilitant powinien wyraźnie określić jakie przesłanki Nim kierowały przy wyborze materiałów powłokowych. Można odnieść wrażenie, że zasadniczą przesłanką była dostępność wytranych zaawansowanych powłok.

Autor nie opisuje metody przecinania próbek. Zwykle w celu ograniczenia zmian w strukturze materiału towarzyszących cięciu stosuje się metodę elektroiskrową. Na zdjęciach skaningowych rozciętych połączeń tuleja/wałek autor pokazuje obecność trzeciego ciała w szczelinach. Cząstki ciętego materiału mogły wypełniać szczelinę. Podczas cięcia można wytworzyć mikropęknięcia oraz spowodować delaminację powłoki. Obserwacje SEM na przekrojach powłok zostały wykonane na zglądach szlifowanych i polerowanych, proces przygotowania zglądu mógł zmienić skład materiału w szczelinie oraz na powierzchni powłoki

## Rozdział 5. Charakterystyka powłok przeznaczonych do badań zużyciowych.

Dość pobieżny przegląd literatury wykonany podczas przygotowywania recenzji wykazał aktywność innych autorów w zakresie badań zużycia frettingowego niektórych powłok o składzie chemicznym i strukturze zbliżonych lub zgodnych z powłokami badanymi przez Habilitanta. Publikowane wyniki badań zostały wprawdzie wykonane na urządzeniach zawierających inne typy węzłów tarcia ale nie można ich pomijać. Autor powinien poświęcić znacz-

nie więcej miejsca w swojej monografii rezultatom badań frettingowych innych badaczy. Na przykład zużycie frettingowe powłok DLC zawierających wolfram było przedmiotem pracy A.I. Mohd Tobi, P.H. Shipway, S.B. Leen, *Wear*, vol. 271, 2011, s. 1572-1584, powłok dwuwarstwowych SiCN/DLC w pracy D. Pech i in., *Wear*, vol. 266, 2008, s. 832-838, powłok CrN i Cr<sub>2</sub>N w pracy A. Tricoteaux i in. *Surface and Coatings Technology*, vol. 174-175, 2003, s. 440-443 (praca ta nie była cytowana przez Autora, chociaż znajduje się w spisie literatury), powłok TiB<sub>2</sub> w pracy B. Prakash i in., *Surface and Coatings Technology*, vol. 154, 2002, s. 182-188.

Powłoka CrN (Balinit CNI, firmy Oerlikon) jest stosowana do zabezpieczania przez frettingiem elementów podwozia samolotów. Powłoka WC/DLC Balinit C obniża zużycie adhezyjne, zapewnia niską wartość współczynnika tarcia. Powłoki zawierające DLC, o nazwie Tribobond są zalecane przez firmę Ionbond do zastosowania w przypadku frettingu. W monografiach prof. M. Kupczyka przedstawiono wytwarzanie powłok i wyniki badań eksploatacyjnych narzędzi skrawających pokrytych powłokami. Monografie obejmują między innymi niektóre powłoki badane przez Habilitanta. Habilitant powinien w dyskusji swoich wyników nawiązać do opublikowanych prac.

Habilitant podaje jedynie bardzo ogólne informacje dotyczące metod nakładania powłok oraz parametrów procesu i struktury powłok. Autor nie podaje metody przygotowania próbek. Mapy rozkładu pierwiastków chemicznych w przekroju poprzecznym powłoki zostały prawdopodobnie wykonane dla powłok eksploatowanych, wskazują na to niektóre zdjęcia.

W monografii powinny być podane informacje dokumentujące stan powłok po nałożeniu, bezpośrednio po montażu oraz po badaniach frettingowych. Zdjęcia SEM powierzchni wykonanych powłok zostały wykonane pod niewielkimi powiększeniami, nie zostały niestety wykonane badania na przelomach. Autor zwraca uwagę na obecność nierówności powierzchni oraz porów, nie podaje natomiast innych informacji na temat struktury powłok. Podane twardości powłok są prawdopodobnie danymi literaturowymi.

Należy zwrócić uwagę na pewne niezręczności w opisie wyników badań: na przykład str. 68 „...wysoką wydajność mechaniczną powłoki..”, str. 82 „... pęcherzyki zawierające węgiel wolframu oraz otwory po ich wypadnięciu.” Zagadnienie wpływu struktury powłoki na jej właściwości jest złożone, przywoływanie jedynie zależności Halla-Petcha jest nadmiernym uproszczeniem (s.56).

Ze względu na specyfikę metody EDS Autor dokonał selekcji pierwiastków objętych tabelami składu chemicznego. Powinny być podane powiększenia zdjęć pokazujących mapowany obszar. Zdjęcie podłoża przedstawione na rys 5.13 różni się od zdjęć wykonanych dla

innych powłok, jaka jest tego przyczyna? Mapping został wykonany na próbce nachylonej pod pewnym kątem i wyniki dotyczą fragmentu powierzchni powłoki i fragmentu przekroju poprzecznego.

Autor nie komentuje zastanawiające wyniki badań: w powłoce TiSiN stwierdzono obecność Al w znacznej zawartości, w powłoce ZrN obecność Ti, w powłoce TiB<sub>2</sub> obecność N. Wyniki pomiarów profilometrycznych wykazały znaczną (w porównaniu do grubości) chropowatość powłoki. Z pewnością ma to wpływ na właściwości powłoki oraz przyczepność podczas wtlaczania. Można spodziewać się powstania nieciągłości powierzchni powłoki. Autor pomija w swojej pracy zagadnienie przyczepności powłok, co jest dużym uproszczeniem.

## Rozdział 6. Analiza wyników badań zużyciowych.

Habilitant podaje, że badania zużyciowe zostały wykonane dla każdej powłoki na 5 próbkach, ale opis uszkodzeń frettingowych dotyczy jedynie próbki przedstawionej na zdjęciach. Niestety nie zostały wykonane na zglądach poprzecznych i przełomach badania uszkodzeń struktury powłok. Prawdopodobnie wystąpiły również mierzalne zmiany stanu podłoża metalowych co nie zostało wykonane- autor dokumentuje jedynie na przekrojach poprzecznych próbek obecność pęknięć. Obrazy lokalizacji zużycia frettingowego wałków prezentowane przez Habilitanta są często niesymetryczne, co sugeruje lokalizację uszkodzeń frettingowych w miejscach uszkodzonych (wytartych) podczas montażu. Autor nie podaje orientacji zamieszczonych zdjęć względem kierunku poślizgu. Skład chemiczny badanych stali powinien być w zasadzie zbadany (na przykład za pomocą spektrometru iskrowego). Badane stale różnią się zawartością Cr oraz Mo, co potencjalnie umożliwia wykrycie transferu metalu. Autor obrazuje obecność nalepień adhezyjnych na rys. 6.3 i w tabeli 6.1 w postaci warstw produktów korozji. Zastanawia obecność lekkich pierwiastków.

Pomiary chropowatości były wykonywane przed badaniami zużyciowymi i po badaniach. Porównywano prawdopodobnie różne obszary i dlatego porównywanie ekstremalnych wartości parametrów jest niezbyt uzasadnione. Rys. 6.8 przedstawia przekrój poprzeczny złącza tuleja/walek. Widać uszkodzenia tulei (prawdopodobnie mikropęknięcia). Powierzchnia styku tulei /wałka jest częściowo wypełniona produktami powstałymi podczas wtlaczania, ale również może zawierać produkty zużycia frettingowego. Podczas prób w obrotowym zginaniu występuje cykliczne przemieszczanie tulei względem wałka i w punktach styku tulei z powierzchnią powłoki mogą wystąpić postaci zużycia charakterystyczne dla powłok stosowanych do pokrywania ostrzy narzędzi skrawających: pęknięcia powłok i ich ubytki wskutek odrywania mikroplątków powłoki.



Dla skojarzenia stali Autor zaobserwował na długości połączenia nieciągłość powierzchni styku, szczeliny były wypełnione produktami wtlaczania tulejki na wałek. Na powierzchni tulejki widoczne są mikropełnięcia biegnące popod kątem 18-20° w głąb materiału. Dla wałka pokrytego powłoką CrN+OX zaobserwowano narosty na powierzchni tulei. Brak powierzchniowych wykruszeń powłoki i zarysowań. Niemal na całej długości stwierdzono występowanie krótkich pęknięć tulei. Rys. 6.15 pokazuje także pęknięcia występujące pod powłoką

W przypadku zastosowania powłoki TiN stwierdzono znaczne uszkodzenie powłoki i obecność nalepień pochodzących z materiału tulei. W zasadzie badania powinny być powtórzone, obraz uszkodzenia powierzchni sugeruje bowiem możliwy błąd eksperymentalny. Autor zauważa ślady węgla na powierzchni i przypuszcza, że węgiel wydzielił się podczas nakładania powłoki. Takie stwierdzenie jest mocno dyskusyjne i wymaga komentarza. Narosty w większości nie były utlenione. Stwierdzono obecność pęknięć na powierzchni tulei.

Dla wałka pokrytego powłoką TiSiN stwierdzono uszkodzenia powłoki powstałe podczas montażu. Po liczbie cykli  $8,5 \times 10^6$  nie stwierdzono wyraźnych uszkodzeń frettingowych powłoki. Na powierzchni tulei zauważono ślady zużycia w postaci pierścieni. Analiza SEM wykazała miejscowe nieciągłości powłoki i obecność nalepień prawdopodobnie powstałych podczas montażu. Po nieco większej liczbie cykli ( $10^7$ ) występują mikrouszkodzenia powłoki w postaci lokalnych wyrwań oraz pęknięcia w warstwie powierzchniowej wałka.

Dla wałka pokrytego powłoką ZrN stwierdzono uszkodzenia powłoki spowodowane montażem, wytarcia powłoki były zlokalizowane losowo na obwodzie wałka. Występujące na powierzchni wałka narosty powstały zasadniczo podczas wtlaczania. Rys. 6.40 pokazuje również drobne wykruszone fragmenty powłoki.

W przypadku wałka pokrytego powłoką TiB<sub>2</sub> stwierdzono uszkodzenia powłoki powstałe podczas montażu połączenia. Badania wykonano dla dwóch liczby cykli. Autor podaje, że wykorzystana powłoka jest zbliżona do kompozytu TiN-TiB<sub>2</sub> spiekanego metodą SPS/FAST. Kompozyty spiekane są odmienne strukturalnie od powłok i takie porównanie jest zbyt przybliżone. Autor wskazuje na samosmarność powłoki spowodowaną reakcjami tribochemicznymi z udziałem boru. Autor nie dowiódł w badaniach EDS wystąpienia takich reakcji. Analiza SEM wykazała brak uszkodzeń frettingowych powłoki, występują jedynie uszkodzenia montażowe. W tulei stwierdzono występowanie drobnych pęknięć.

Dla powłoki CrN+a-C:H oraz CrN+a:H:W stwierdzono lokalne wyrwania zewnętrznej części powłoki oraz obecność narostów materiału tulei i mikropełnięć powłoki. Na znacznej długości połączenia znajdują się produkty zużycia.

W przypadku powłoki DLC nie stwierdzono w badaniach makroskopowych obecności uszkodzeń powłoki. Ocenę powłok wykonano dla dwóch liczby cykli. W badaniach SEM/EDS stwierdzono w powłoce obecność mikrokropel oraz obecność narostów materiału tulei. Na rys. 6.65 można stwierdzić obecność uszkodzeń (wyrwań materiału tulei) pod powłoką powstałych prawdopodobnie podczas przygotowania zglądu.

W badaniach topografii powierzchni wykazano:

- w przypadku wałka stalowego i wałków pokrytych powłokami CrN+OX, TiN i ZrN stwierdzono spadek wartości parametrów objętościowych związanych z krzywą udziału materiałowego oraz wzrost parametrów wysokościowych chropowatości, co potwierdza obecność narostów materiału,
- w przypadku wałków pokrytych powłokami TiSiN, TiB<sub>2</sub>, CrN-a:C:H:W i DLC stwierdzono spadek wartości mierzonych parametrów chropowatości, co dowodzi wytarcia powierzchni.

W dyskusji otrzymanych wyników, Autor powinien opierać się na wynikach opublikowanych przez innych badaczy. Rozdział stanowi w zasadzie raport z wykonanych badań i nie zawiera odpowiednio pogłębionej analizy. Warunki przeprowadzonego eksperymentu nieco odbiegają od warunków podanych w tabeli 4.3. Niektóre złożenia wałek z powłoką/tuleją były badane przy zwiększonej liczbie cykli. Autor stosował dwie różne średnice wałka, co powinno być uwzględnione na rys. 4.6-4.8. Można w związku z tym postawić istotne pytanie: czy przedstawione w pracy wyniki badań zużycia frettingowego i badań zmęczeniowych zostały uzyskane na próbkach o jednakowych wymiarach?

W przypadku 3 powłok (na 8 badanych) obserwacje zużytej powierzchni były prowadzone dla dwóch liczby cykli, w pozostałych przypadkach jedynie dla jednej liczby cykli. Podczas wtlaczania tulei następowało uszkodzenie powłoki, powodowało niesymetryczność obrazu zużycia oraz lokalizację uszkodzeń w miejscach powierzchni wałka pozbawionych powłoki. Analiza rezultatów badań jest w dużym stopniu analizą jakościową. Zastosowana do pomiaru składu chemicznego powierzchni jest obarczona dużym błędem. Autor nie proponuje modeli zużycia powłok i mechanizmu wpływu powłok na trwałość złącza.

W rozdziale 7 zawarto analizę wytrzymałości zmęczeniowej próbek.

Najwyższa wartość amplitudy naprężeń występuje w wałku w miejscu zmiany średnicy. Na rysunku 7.1 pokazano liczbę cykli do złomu dla połączeń tulei z wałkami stalowymi oraz dla połączeń z wałkami pokrytymi powłokami. Najniższą trwałość wykazano dla połączeń stalowych tulei i wałka ( $10,3 \times 10^7$  cykli) najwyższą stwierdzono dla połączenia tulei i wałka po-

krytego powłoką DLC ( $60 \times 10^7$  cykli), nieco niższą dla połączenia tuleja/wałek pokryty powłoką  $TiB_2$  ( $50,5 \times 10^7$  cykli). W każdym przypadku przelom wystąpił w wałku. Autor stwierdza, że obecność powłok nie miała znaczącego wpływu na pękanie.

Można postawić pytanie jeśli pęknięcia występują w strefie zmiany przekroju to w jaki sposób powłoki wpływają na wytrzymałość zmęczeniową połączenia?. Autor powinien zbadać stan materiału podłoża (wałka) przed wykonaniem powłok, bezpośrednio po nałożeniu powłok oraz po wykonaniu prób zmęczeniowych. Autor powinien wykonać również badania zmęczeniowe dla innych amplitud naprężeń. Autor nie podał w monografii parametrów procesów nakładania powłok oraz sposobu maskowania powierzchni tulei podczas nakładania powłok. Habilitant nie wykazał, że mikropęknięcia powstałe w powłoce i bezpośrednio pod nią stanowią zarodki pęknięć zmęczeniowych.

W podsumowaniu (Rozdział 8) habilitant przedstawił zakres pracy. Sformułowane wnioski dotyczą zasadniczo stanu powierzchni powłoki oraz tulei po badaniach frettingowych. Autor stwierdza, że najkorzystniejsze właściwości wykazała powłoka DLC. Zalecaną powłoką jest również powłoka  $TiB_2$ . Autor przewiduje kontynuację badań.

Spis literatury zawiera 218 pozycji ale zawiera publikację występującą dwukrotnie. Habilitant nie cytuje w tekście monografii 39 pozycji literaturowych. Recenzowana monografia jest podana w wykazie dorobku habilitacyjnego z innym tytułem „Wpływ wybranych cienkich powłok ochronnych na ograniczenie zużycia frettingowego w połączeniach wciskowych”

Monografia została napisana głównie z wykorzystaniem prac Autora opublikowanych w latach 2016-2018. Uzyskane wskaźniki liczby cytowań oraz indeksu Hirscha są minimalne, oznacza to, że prace Autora są praktycznie nieznane społeczności pracowników naukowych, ewentualnie prace nie są akceptowane. Monografia habilitacyjna powinna stanowić bardziej dokładne i krytyczne oraz pozbawione błędów opracowanie, porównując do recenzowanej monografii. Habilitant mógł łatwo uzyskać dostęp do nowoczesnych metod badawczych poprzez budowanie zespołu badawczego i publikowanie wspólnych prac z dysponentami zaawansowanych metod.

**Uważam, że monografia dr inż. Sławomira Kowalskiego „Wpływ powłok PVD na rozwój zużycia frettingowego w połączeniach włączanych” nie stanowi istotnego wkładu w rozwój dyscypliny budowa i eksploatacja maszyn.**

Ocena osiągnięć Kandydata, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 r. Dz. U. Nr 196, Poz. 1165.

#### 1. Ocena osiągnięć naukowo-badawczych

Zainteresowania naukowe dr inż. Sławomira Kowalskiego dotyczą mechanizmów zużycia tribologicznego zestawów kołowych, problematyki eksploatacji pojazdów szynowych, zarządzania i organizacji transportu oraz bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Tematyka zużycia zestawów kołowych była przedmiotem prac dyplomowych inżynierskiej i magisterskiej. Tematyka pracy doktorskiej dotyczyła zużycia frettingowego w modelu połączenia zestawu kołowego.

Problematykę zużycia frettingowego Habilitant przedstawił w 6 pracach opublikowanych przed obroną rozprawy doktorskiej oraz po obronie rozprawy w 4 pracach opublikowanych czasopiśmie wyróżnionych w JCR oraz w 6 publikacjach w czasopiśmie krajowej oraz w monografii S. Kowalski „Wpływ powłok PVD na rozwój zużycia frettingowego w połączeniach włączanych” dołączonej do wniosku i zgłoszonej jako osiągnięcia naukowe. Po obronie pracy doktorskiej Habilitant publikował prace z zakresu badań zużycia frettingowego w 2010 r. oraz w latach 2016-2018.

a) Autorstwo lub współautorstwo publikacji naukowych w czasopiśmie znajdujących się w bazie JCR.

Habilitant wykazuje w swoim wniosku 5 prac opublikowanych. Po obronie rozprawy doktorskiej, według bazy Web of Science obowiązującej w chwili składania wniosku, Habilitant opublikował 2 prace, ogólna liczba cytowań wynosi 1,  $h=1$ . W dniu składania wniosku, według bazy Scopus Habilitant był autorem 4 prac, a w chwili pisania recenzji (9.04.2019) autorem 5 prac. Prace dotyczyły zużycia frettingowego i były publikowane w czasopiśmie: Wear (35 punktów), Eksploatacja i niezawodność- Maintenance and Reliability (25 punktów MNiSzW), Journal of the Balkan Tribological Association (15 punktów MNiSzW), Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette (15 punktów MNiSzW MNiSzW). Ogółem liczba punktów za publikacje w czasopiśmie wyróżnionych w JCR wyniosła 105 punktów MNiSzW, a po uwzględnieniu liczby autorów 87,5 punktu MNiSzW. Sumaryczny Impact Factor wyniósł 6,503. Tylko jedna praca była opublikowana w wiodącym czasopiśmie. W wszystkich 5 pra-

cach Habilitant był jedynym autorem. Uzyskany dorobek oceniam jako stosunkowo słaby, ale akceptowalny.

b) Autorstwo zrealizowanego oryginalnego osiągnięcia projektowego, konstrukcyjnego lub technologicznego.

Habilitant wykazał 11 zrealizowanych projektów. Wdrożenia zostały dokonane w regionalnych firmach prowadzących działalność w zakresie transportu i naprawy samochodów. Sądząc po tytułach projektów i miejscach wdrożenia, wykazane prace były stosunkowo proste. Habilitant nie wykazał żadnych projektów realizowanych w firmie NEWAG. Aktywność Habilitanta w tym zakresie jest akceptowalna, ale z pewnością nie wyróżniająca się. Jakość i istotność wdrożonych projektów ocenia się na podstawie uzyskanych patentów lub wzorów użytkowych, względnie na podstawie poświadczonych rezultatów ekonomicznych.

c) Wynalazki, wzory użytkowe i przemysłowe

W tym zakresie nie zauważam aktywności Habilitanta.

2. Ocena w zakresie osiągnięć naukowo-badawczych habilitanta we wszystkich obszarach wiedzy

1) Autorstwo lub współautorstwo publikacji w czasopiśmie międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazach lub na liście, o których mowa w §3 pkt. 4a

Przed uzyskaniem stopnia doktora Habilitant był autorem 17 prac w czasopiśmie krajowych oraz materiałach krajowych konferencji. Ogólna liczba punktów obliczona według wykazu wyniosła 67 punktów, a po uwzględnieniu liczby współautorów 35,5 punktu MNiSzW.

Po obronie pracy doktorskiej Habilitant opublikował 18 prac w krajowych czasopiśmie oraz materiałach konferencyjnych. Liczba uzyskanych punktów wyniosła ogółem 147 punktów MNiSzW, a po uwzględnieniu liczby autorów 105,4 punktów MNiSzW.

Dorobek naukowy Habilitanta jest słaby ale akceptowalny.

2) Sumaryczny impact factor publikacji naukowych

Sumaryczny Impact Factor wyniósł 6,503.

3) Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science oraz indeks Hirscha

Po obronie rozprawy doktorskiej, według bazy Web of Science obowiązującej w chwili składania wniosku, Habilitant opublikował 2 prace, ogólna liczba cytowań wynosi 1,  $h=1$ .

W dniu składania wniosku, według bazy Scopus Habilitant był autorem 4 prac cytowanych 5 razy, indeks  $h=2$ . Po odjęciu autocytowań  $h=1$ .

W chwili pisania recenzji (9.04.2019) autorem 5 prac, które były cytowane 5 razy, indeks Hirscha  $h=2$ , po odjęciu autocytowań baza wykazuje 3 cytowania i indeks Hirscha  $h=1$ . W dniu składania wniosku baza Scopus wykazuje 4 opublikowane prace.

**Uzyskane przez Habilitanta wskaźniki bibliometryczne uważam za zbyt niskie. Habilitant nie spełnił w tym zakresie wymagań stawianym dorobkowi naukowemu osób ubiegających się o nadanie stopnia doktora habilitowanego**

4) Kierowanie międzynarodowymi lub krajowymi projektami badawczymi lub udział w takich projektach

Po obronie pracy doktorskiej Habilitant był wykonawcą w projekcie InTech „Opracowanie tramwaju nowej generacji na potrzeby transportu miejskiego” finansowanego przez NCBiR oraz kierownikiem dwóch wewnętrznych projektów badawczych Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Nowym Sączu.

5) Międzynarodowe lub krajowe nagrody za działalność naukową.

Przed uzyskaniem stopnia doktora, Habilitant uzyskał stypendium doktoranckie finansowane ze Zintegrowanego Programu Operacyjnego Rozwoju Regionalnego 2004-2006 co można traktować za pewną formę nagrody. Po obronie pracy doktorskiej, Habilitant nie uzyskał nagród za działalność naukową.

h) wygłoszenie referatów na międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych

Po obronie rozprawy doktorskiej Habilitant wygłosił 3 referaty na Międzynarodowych Konferencjach Naukowych zorganizowanych w kraju oraz 2 referaty na konferencji w USA.

**Podsumowując ocenę osiągnięć naukowo-badawczych habilitanta we wszystkich obszarach wiedzy stwierdzam niespełnienie wymagań w zakresie liczby cytowań i indeksu Hirscha. Pozostałe kryteria są spełnione, ale uzyskane wyniki są słabe.**

Ocena w zakresie dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej habilitanta we wszystkich obszarach wiedzy

1) Habilitant nie uczestniczył w programach europejskich i innych programach międzynarodowych lub krajowych.

2) Udział w międzynarodowych lub krajowych konferencjach naukowych lub udział w komitetach organizacyjnych tych konferencji

Przed obroną rozprawy doktorskiej, Habilitant wziął udział w 7 konferencjach, po obro-  
nie rozprawy doktorskiej wziął udział w 5 konferencjach naukowych zorganizowanych w  
kraju. Dr inż. Sławomir Kowalski był członkiem, sekretarzem oraz przewodniczącym komite-  
tów organizacyjnych 3 międzynarodowych konferencji zorganizowanych w kraju, był także  
przewodniczącym komitetu organizacyjnego konferencji koła naukowego przy PWSZ w No-  
wym Sączu.

6) Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism

Habilitant był współredaktorem, względnie redaktorem zeszytów streszczeń 2 między-  
narodowych konferencji zorganizowanych w kraju i 1 konferencji koła naukowego przy  
PWSZ w Nowym Sączu.

7) Członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach nauko-  
wych.

Habilitant jest członkiem Polskiego Towarzystwa Tribologicznego, Polskiego Nauko-  
wo-Technicznego Towarzystwa Eksploatacyjnego, Komisja Regionalna w Krakowie, Cze-  
skiego Towarzystwa Eksploatacyjnego, Chorwackiego Towarzystwa Eksploatacyjnego

8) Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki lub sztuki

Habilitant prowadził praktyczne pokazy przemysłowe w ramach projektu „Inżynier me-  
chatroniki napędem do rozwoju innowacyjnego przemysłu i konkurencyjnej gospodarki”  
współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Społeczne-  
go. Ponadto Habilitant jest współautorem skryptu do ćwiczeń.

10) Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora

Habilitant nie pełnił wymienionych funkcji.

11) Staże w zagranicznych lub krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich

Habilitant odbył 2 krótkoterminowe staże naukowe w Rosji (Samara) w State Transport  
University.

12) Wykonanie ekspertyz lub innych opracowań

Dr inż. Sławomir Kowalski opracował materiały dydaktyczne w zakresie modułu  
kształcenia „Grafika biznesowa” dla Fundacji ECCC z siedzibą w Lublinie. W ramach współ-  
pracy z Podkarpacką Szkołą Wyższą opracował karty 3 przedmiotów dla kierunku Transport.  
Opracował ekspertyzę dotyczącą uszkodzenia noża introligatorskiego

13) Udział w zespołach eksperckich i konkursowych

Habilitant był przewodniczącym komisji oceniającej wystąpienia na konferencji koła  
naukowego przy PWSZ w Nowym Sączu oraz Międzynarodowej Konferencji Naukowej  
„Przemysł i system transportowe”

14) Recenzowanie projektów międzynarodowych lub krajowych oraz publikacji w czasopi-  
smach krajowych i międzynarodowych.

Habilitant wykonał 1 recenzję dla czasopisma z listy JCR oraz 1 Recenzję dla prac Na-  
ukowych Politechniki Warszawskiej, seria Transport. Uważam, że jest to bardzo słaby wynik.

Habilitant podaje również informacje na temat swojej działalności dydaktycznej. Habili-  
tant prowadzi od 2011 r. zajęcia dydaktyczne w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w  
Nowym Sączu. Zajęcia obejmowały: wykłady, ćwiczenia, seminaria oraz zajęcia projektowe.  
Zwraca uwagę szeroki zakres przedmiotów. Habilitant opracował 74 karty przedmiotów (sy-  
labusy) i prowadził zajęcia na kierunkach kształcenia: Zarządzanie i Inżynieria Produkcji,  
Mechatronika, Informatyka stosowana, Transport i logistyka, Ekoenergetyka, Inżynieria me-  
chaniczna, Inżynieria produkcji żywności. Habilitant był promotorem 51 ukończonych prac  
dyplomowych.

Habilitant jest aktualnie kierownikiem projektu „Zintegrowany Program Rozwoju Pań-  
stwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Nowym Sączu, finansowanego przez NCBiR. Dr inż.  
Sławomir Kowalski był lub jest także członkiem komisji ds. jakości kształcenia oraz komisji  
dyplomowych, komisji ds. oceny jakości prac dyplomowych, komisji rekrutacyjnej zespołu  
ds. uruchomienia kierunku studiów Mechatronika.

**Stwierdzam, że kryteria oceny w zakresie dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego  
oraz współpracy międzynarodowej Habilitanta zostały spełnione.**

Podsumowując stwierdzam, że dr inż. Sławomir Kowalski nie spełnił ustawowe wyma-  
gania określone w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym  
oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 z późn. zm.) i rozporządze-  
nia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 r. w sprawie kryteriów  
oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego (Dz. U. z  
2011 r. nr 196, poz. 1165).

Stwierdzam, że:

1. Złożony przez dr inż. Sławomira Kowalskiego wniosek jest przedwczesny. Wskazana  
jako osiągnięcie naukowe monografia dr inż. Sławomira Kowalskiego „Wpływ powłok  
PVD na rozwój zużycia frettingowego w połączeniach włączanych” nie stanowi istot-  
nego wkładu w rozwój dyscypliny budowa i eksploatacja maszyn.

2. Uzyskane przez Habilitanta wskaźniki bibliometryczne ( liczba cytowań i indeks Hir-  
scha) uważam za zbyt niskie. Habilitant nie spełnił w tym zakresie wymagań stawianym



dorobkowi naukowemu osób ubiegających się o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

3. Pozostałe kryteria oceny są spełnione, ale uzyskane wyniki uważam za słabe.

4. Wysoko oceniam działalność dydaktyczną i organizacyjną Habilitanta w PWSZ w Nowym Sączu.

**Wnioskuje do Komisji habilitacyjnej oraz Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej o nienadanie stopnia doktora habilitowanego dr inż.**

**Sławomirowi Kowalskiemu.**

Tadeusz Hejwowski

Prof. dr hab. Tadeusz Hejwowski