



Leszek A. DOBRZAŃSKI

M. Dr h.c. prof. zw. dr hab. inż.

Dyrektor Instytutu

Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych

Wydział Mechaniczny Technologiczny

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ul. Konarskiego 18a

44-100 GLIWICE

Gliwice, 30 października 2011 roku

R E C E N Z J A

pracy doktorskiej

Pana mgra inż. Andrzeja Stanisława Klimpla

pod tytułem

„Struktura i własności płyt ściernych napawanych łukowo drutem proszkowym samoosłonowym”

wykonanej pod opieką promotora Pana Prof. dra hab. inż. Zbigniewa Rdzawskiego,

opracowana na zlecenie Rady Wydziału Mechanicznego Technologicznego

Politechniki Śląskiej w Gliwicach z dnia 8 czerwca 2011 roku (pismo RMT0-460/D/006/10/11 z

dnia 8 czerwca 2011 roku Dziekana Pana Prof. zw. dra hab. inż. Jerzego Świdra)



Tematyka opiniowanej pracy doktorskiej dotyczy badań procesu napawania automatycznego łukowego warstw wierzchnich płyt ściernych drutem proszkowym samoosłonowym o strukturze żeliwa chromowego, w celu zwiększenia odporności na zużycie ściernie typu metal-materiał ceramiczny. Tematyka ta wpisuje się w znacznie szersze zagadnienie, dotyczące wykonywania technologiami spawalniczymi, na różnych elementach o zróżnicowanych: kształcie i wymiarach, powłok, głównie odpornych na zużycie ściernie oraz/lub na korozję, o bardzo szerokim zakresie grubości, z wykorzystaniem na powłoki wielu znanych materiałów inżynierskich. Ma to szczególne znaczenie, wobec znaczącego udziału technologii tzw. „reengineeringu” we współczesnej gospodarce materiałowej u wielu wytwórców i wobec globalnych wyzwań w zakresie zrównoważonego rozwoju i ściśle związanego z tym oszczędzania energii i surowców. Każdy zużyty element maszyny można bowiem poddać regeneracji, a technologie spawalnicze odgrywają przy tym znaczącą rolę. Jest to tym ważniejsze, że w ten sposób można istotnie wydłużyć okres rzeczywistej eksploatacji maszyny, wyłącznie poprzez naprawę zużytych i to niektórych tylko elementów, co znakomicie ogranicza konieczność produkowania w całości wielu nowych maszyn i do niezbędnego minimum ogranicza procesy „reengineeringu”. Konkurencyjnym w stosunku do tej koncepcji, jest pomysł projektowania i wytwarzania elementów maszyn (których robocze warstwy

wierzchnie pracujące w warunkach intensywnego zużycia z oddziaływania tarcia, korozji, obciążeń udarowych i zmęczeniowych, erozji, wysokiej temperatury, lub tylko niektórych z tych czynników), w sposób umożliwiający wielokrotne nakładanie powłok, po każdorazowym zużyciu, zagrażającym dalszej bezpiecznej, lub ekonomicznie uzasadnionej eksploatacji danego elementu maszyny. Pomysł ten polega na wytwarzaniu płyt i rur ściernych, gdzie w typowym rozwiązaniu na podłoże w postaci blach lub rur z niestopowych stali konstrukcyjnych, są napawane lub natryskiwane cieplnie, warstwy wierzchnie z materiałów metalowych, cermetalowych lub ceramicznych, zapewniając szczególnie wysoką odporność na zużycie. W przeglądowej części pracy Autor szczegółowo informuje, że takie płyty ściernie służą do regeneracji zużytych oraz produkcji nowych elementów maszyn, szczególnie o dużych powierzchniach roboczych, płaskich lub walcowych oraz w przypadkach gdy bezwzględne ograniczenie masy tych elementów nie jest najistotniejszym warunkiem. Płyty ściernie wytwarzane są za pomocą automatycznego lub zrobotyzowanego napawania lub piecowego nalutowywania proszkowego warstw odpornych na zużycie ściernie, erozję i korozję, o grubości od 3-20 mm, na podłoża z blach ze stali niskowęglowych, niskostopowych i wysokostopowych. Płyty ściernie mogą być stosowane na wymienne wykładziny czerpaków koparek, wewnętrznych i zewnętrznych powierzchni rur, rynien zsyków, stożków i dzwonów zsykowych, przenośników śrubowych, walców i płyt kruszarek. Produkowane są również rury ściernie o średnicach od 80 do 1000 mm. Zagadnienie, pomimo że ma wyraźnie położony akcent na aspekty technologiczne oraz ekonomiczne, jest ważne i aktualne i z pewnością warte naukowych opracowań. Opiniowana praca wychodzi naprzeciw tym oczekiwaniom, a temat jest aktualny i poprawnie sformułowany. Z oczywistych względów w opiniowanej pracy doktorskiej rozpatrzono szczegółowe aspekty, mieszczące się w tym szeroko zakrojonym planie działań inżynierskich i poznawczych. Sformułowano tezę badawczą w brzmieniu:

„Odpowiedni dobór warunków technologicznych zrobotyzowanego napawania SSA drutem proszkowym samoosłonowym TeroMatec 4666, a w tym zastosowanie kontrolowanego chłodzenia wodnego dolnej powierzchni napawanej blachy ze stali niestopowej S235JRG2, zapewni zwiększenie wydajności napawania, umożliwi sterowanie szybkością i kierunkiem krystalizacji metalu napoiny z żeliwa chromowego oraz otrzymanie korzystniejszego składu fazowego warstwy wierzchniej, w celu zwiększenia odporności na zużycie ściernie i zużycie erozyjne w porównaniu do przemysłowych płyt ściernych CDP 4666”.

Niezależnie od krytyki, dotyczącej bardzo szczegółowego sformułowania tezy pracy doktorskiej oraz innych uwag związanych z jej brzmieniem, należy stwierdzić, że Autor jasno określił w niej cel i zakres wykonanych przez siebie badań. Wobec tego i zważywszy ponadto, że przepisy ustawowe obowiązujące w przypadku tego kontynuowanego przewodu doktorskiego, otwartego przed laty, nie wymagają jednoznacznie formułowania tezy naukowej rozprawy doktorskiej, stwierdzę jedynie, że bardziej szczegółowa analiza (w istocie semantyczna) tego

zagadnienia nie jest warta dalszej uwagi. Cel i zakres pracy zostały więc jasno sformułowane i jak wykaże moja analiza dokonana w dalszej części niniejszej recenzji, zostały także osiągnięte. Wykonane badania i analizy mieszczą się w paradygmacie „*Inżynierii materiałowej*”, i z tego względu, w mej opinii, właściwym jest przeprowadzenie tego przewodu doktorskiego w tej właśnie dyscyplinie naukowej. Fakt, że żaden z fragmentów tej pracy nie stanowi moich wspólnych publikacji z Autorem rozprawy, umożliwia mi *bezstronną ocenę* Jego pracy, czego nie może również zmienić fakt, że Autora tej pracy znam jeszcze od Jego czasów studenckich, a obydwójce Jego Rodziców od dziesięcioleci.

Opiniowana praca doktorska ma układ klasycznego raportu naukowego. Zawiera ona 108 stronicy wydruku komputerowego (czego na pewno nie należy zaliczać do wad pracy, gdyż jest napisana w sposób zwarty i konkretnie), w tym 58 rysunków i zdjęć, 27 tablic oraz 87 pozycji literaturowych, w tym sporo katalogów technicznych oraz specjalnie zaznaczone na niebiesko, pozycje dostępne w Internecie.

Pierwszą część opiniowanej pracy doktorskiej Pana mgra inż. Andrzeja Stanisława Klimpla stanowi przegląd piśmiennictwa, złożony z 4 podrozdziałów i poprzedzający część badawczą. Przedstawiono w nim przyczyny i mechanizmy zużycia elementów maszyn i narzędzi, technologię napawania łukowego drutem proszkowym samoosłonowym, wraz z omówieniem materiałów dodatkowych, a także opisano proces wytwarzania płyt ściernych. Wykonany, szczegółowy i kompetentny przegląd piśmiennictwa, który oceniam pozytywnie, dowodzi dobrego przygotowania teoretycznego Autora opiniowanej pracy doktorskiej do jej wykonania i daje Mu podstawy do sformułowania tezy, celu i zakresu pracy oraz planu wykonanych badań, co zawarto w kolejnym rozdziale pracy. Poza ogólną dyskusją, dotyczącą tezy pracy doktorskiej w ogóle, nie zgłaszam istotnych zastrzeżeń, chociaż oczywistym jest, że wobec ogromnej rozległości dostępnych obecnie metod badań materiałoznawczych, zawsze można sformułować uwagę, dlaczego nie wykorzystano kolejnej i następnej metody, aczkolwiek równocześnie warto się zastanowić w jakim stopniu byłoby to konieczne dla przeprowadzenia procesu dowodowego, który podjęto w pracy, a wtedy już bardziej oczywistym staje się, że to co wykonano jest wystarczające. Omówienie wyników badań własnych, zawarte w rozdziale 4. wraz z ich podsumowaniem przedstawionym w rozdziale 5., stanowią najobszerniejszą część opiniowanej pracy doktorskiej, natomiast wnioski obejmujące rozdział 6. najlepiej charakteryzują osiągnięcia naukowe i technologiczne jej Autora.

Opiniowana praca doktorska P. mgra inż. Andrzeja Stanisława Klimpla porusza aktualną tematykę badawczą, zawiera wiele interesujących wyników badań, zarówno z punktu widzenia technologicznego, jak i poznawczego. Ma ona także znaczenie praktyczne. Wykonane badania eksperymentalne i zaprezentowane ich wyniki stanowią spójną i logiczną całość, potwierdzającą założenia tej pracy, co bez wątplenia stanowi o wartościowym naukowym dorobku Autora opiniowanej pracy doktorskiej. W pracy udowodniono, bazując na danych literaturowych oraz

wynikach badań własnych, dotyczących technologii napawania zrobotyzowanego blach ze stali S235JRG2 o grubości 6,0 mm, drutem proszkowym samoosłonowym TeroMatec 4666 o średnicy 2,8 mm i składzie chemicznym stopiwa: Fe + 5,2% C, 22% Cr, 7,0% Nb i 1,8% B, że przez odpowiedni dobór warunków technologicznych napawania warstw wierzchnich, możliwe jest w zależności od warunków napawania, zwiększenie o 14-30% odporności płyt ściernych na zużycie ściernie typu metal-materiał ceramiczny, w związku ze zwiększeniem o 20-30% twardości lica napoin, w stosunku do płyt ściernych seryjnie wytwarzanych przez firmę Castolin-Krieffel. To właśnie można zaliczyć do niezaprzeczalnych osiągnięć naukowych opiniowanej pracy doktorskiej Pana mgr inż. Andrzeja Stanisława Klimpla. W ramach realizacji celów pracy zaprojektowano także i zbudowano stanowisko eksperymentalne do zrobotyzowanego napawania płyt ściernych, wyposażone w stół wodny o regulowanym natężeniu przepływu wody, chłodzącej dolną powierzchnię napawanej blachy, co umożliwia napawanie płyt ściernych ścięciem prostym i szerokim ścięciem z ruchem wahadłowym palnika, przy wysokich natężeniach prądu 440-450 A, a jednocześnie sterowanie jakością, kształtem i wymiarami poszczególnych ściągów warstwy wierzchniej płyty ścierniej oraz udziałem metalu podłoża w napoinie, nawet poniżej 20%. Wykonane badania metalograficzne, analiza składu chemicznego oraz identyfikacja faz stopu żeliwa chromowego w różnych obszarach napoiny jednowarstwowej wielościęgowej wykazują, że w osnowie stopu występują węgliki typu $(Fe,Cr)_7C_3$, oraz węgliki niobu Nb_2C , borki żelaza Fe_3B i złożone borki żelaza i niklu typu $Fe_3Ni_3B_2$, zapewniające łącznie wysoką twardość spoin i ich odporność na zużycie ściernie typu metal-materiał ceramiczny i zużycie erozyjne. Odpowiedni dobór szybkości chłodzenia metalu napoiny warstwy wierzchniej płyty ścierniej o składzie chemicznym żeliwa chromowego, umożliwia oddziaływanie na mechanizm krystalizacji napoiny, w taki sposób, że wydzielenia węglików typu $(Fe,Cr)_7C_3$, krystalizują prostopadle do powierzchni lica napoiny, a węgliki niobu Nb_2C , borki żelaza Fe_3B i złożone borki żelaza i niklu typu $Fe_3Ni_3B_2$, wydzielają się między dendrytami węgla bogatego w chrom typu $(Fe,Cr)_7C_3$. Wykazano, że taka struktura napoin z żeliwa chromowego zapewnia stałą odporność na zużycie ściernie typu metal-materiał ceramiczny i zużycie erozyjne, przy różnym stopniu zużycia warstwy wierzchniej płyty ścierniej. Opisane wyniki badań są interesujące, a poziom merytoryczny badań i interpretacji wyników odpowiada wymogom stawianym pracom doktorskim. Nie sposób nie docenić również praktycznych walorów opiniowanej pracy doktorskiej Pana mgr inż. Andrzeja Stanisława Klimpla. Autor ponadto formułuje również generalny plan dalszych badań w podjętym przez siebie zakresie, słusznie stwierdzając, że powinny one dotyczyć opracowania warunków technologicznych napawania oraz oceny własności i struktury płyt ściernych o większej grubości, z warstwą wierzchnią odporną na zużycie ściernie i erozyjne w wysokiej temperaturze, oraz ścieranie i adhezję, na podłożach ze stali wysokostopowych kwasoodpornych i żaroodpornych oraz rur ściernych, z zastosowaniem techniki sterowanego chłodzenia metalu napoiny, a także poszerzonych badań

morfologii i struktury stopów warstw wierzchnich. Oceniam to pozytywnie, gdyż świadczy to o dojrzałości badawczej Kandydata, gdyż w miarę osiągania kolejnych rubieży poznania, horyzont i związane z tym aspiracje badawcze się przesuwają. Ta dojrzałość niewątpliwie ma związek z większym doświadczeniem zawodowym Kandydata, niż to zwykle ma miejsce w przypadku słuchaczy Studiów Doktoranckich, którym na realizację pracy doktorskiej musi wystarczyć 5-6 lat.

Praca jest również starannie opracowana pod względem edycyjnym.

Ostatnie, a może nawet pierwsze pytanie, jakie należy sobie postawić opiniując każdą pracę doktorską, to czy praca ma wady, czy występują w niej błędy i czy to może przesądzić o ostatecznym wyniku oceny. Oczywiście praca doktorska wykonana przez Pana mgr inż. Andrzeja Stanisława Klimpla, jak każda, ma wady. Zauważyłem błędy literowe, omyłki korektorskie lub nawet ich brak, niektóre zdania, czy sformułowania można by poprawić lub zmienić. Nie odpowiadają mi niektóre określenia w zakresie terminologii, np słowo właściwości, zwłaszcza, że Autor stosuje je zamiennie z własnościami, słowo „temperatury” (liczba mnoga), wyroby (lepiej produkty), części maszyn (lepiej elementy maszyn) itp. Szczegółowy wykaz tych uwag i spostrzeżeń przekazuję bezpośrednio Autorowi, a ponieważ uważam że nie wpływają one istotnie na umniejszenie pozytywnej oceny tej pracy, nie zamieszczam ich w tekście recenzji. Nie jest ich zresztą na tyle dużo, aby stanowiło to jakikolwiek problem, natomiast uwagi te z pewnością warto wykorzystać przy publikowaniu wyników pracy.

Przedstawiam jedynie w formie pytań (być może retorycznych) niektóre uwagi generalne, choć niewątpliwie dyskusyjne (pomimo ogólnych refleksji zaprezentowanych w początkowej części recenzji) lub z istoty formalne:

- Jakie przesłanki zadecydowały o arbitralnym wyborze podłoża do badań wykonanych w ramach opiniowanej pracy?
- Czy pomimo wszystko Autor nie był zbyt powściągliwy w wykorzystaniu niektórych metod badań strukturalnych, zwłaszcza metod dyfrakcji elektronów, dla wsparcia przedstawionych wniosków związanych z umocnieniem i podwyższeniem odporności badanych płyt na ścieranie?
- Czy zastosowane metody badania odporności na ścieranie i testy erozyjne są wystarczające dla formułowania tak generalnych wniosków, jak uczynił to Autor?
- Czy w opiniowanej pracy, nie należało pełniej wykorzystać metod statystycznych planowania eksperymentu i analizy błędów pomiarowych, dla przeprowadzenia dyskusji na temat ich istotności i czy nie warto było opracować jakiegoś modelu obliczeniowego dla generalizacji wyników badań?

Podane uwagi krytyczne, a w większości jedynie dyskusyjne, w żadnej mierze nie wpływają na obniżenie pozytywnej ogólnej oceny opiniowanej pracy doktorskiej Pana mgr inż. Andrzeja Stanisława Klimpla. Bezdyskusyjnie bilans zalet pracy i jej uchybień w pełni przemawia na korzyść

Autora tej pracy doktorskiej. Praca stanowi bowiem wartościowy zbiór wyników w pełni dokumentujących wykonane badania. Uważam, że cel pracy został w pełni osiągnięty, a przedstawione wnioski znajdują pokrycie w zgromadzonym materiale dowodowym. Praca, jak podkreśla sam Autor pobudza do dalszych dyskusji nad kolejnymi aspektami, dotyczącymi podjętej przez Niego tematyki badawczej.

Oceniam, że praca doktorska Pana mgra inż. Andrzeja Stanisława Klimpla pod tytułem „*Struktura i własności płyt ściernych napawanych lukowo drutem proszkowym samoosłonowym*” wykonana pod opieką promotora Pana Prof. dra hab. inż. Zbigniewa Rdzawskiego stanowi wartościowe dzieło, a podsumowując niniejszą recenzję, biorę pod uwagę, że w pracy tej Autor wykazał, że:

- *jest dobrze zorientowany w poruszanej w literaturze problematyce dotyczącej napawania lukowego drutem proszkowym samoosłonowym stali niestopowych i podwyższania w ten sposób odporności na ścieranie produktów wykonanych z wykorzystaniem tej technologii, wykazując się erudycją w tym zakresie dyscypliny naukowej „Inżynieria Materiałowa”,*
- *pozyskał umiejętności stawiania problemów badawczych i odpowiedniego doboru komplementarnego zestawu metod badawczych oraz ich pełnego opanowania praktycznego,*
- *osiągnął wartościowe i oryginalne wyniki badań, o istotnym znaczeniu poznawczym i o znaczących walorach praktycznych,*
- *opanował umiejętności opracowania wyników wykonanych badań oraz syntezy osiągniętych rezultatów badawczych,*

wobec czego z pełnym przekonaniem stwierdzam, że opiniowana praca doktorska spełnia wszelkie wymagania określone w Ustawie o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki (Dz. U. nr 65 z dnia 16 kwietnia 2003 roku poz. 595 z późniejszymi zmianami) (w tym przypadku nadal obowiązuje tryb określony w tej właśnie Ustawie zgodnie z art. 33 ust. 1 Ustawy o zmianie ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw - Dz. U. Nr 84, poz. 455 i Nr 112, poz. 654 z dnia 18 marca 2011 roku) i wnioskuję do Rady Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej w Gliwicach o dopuszczenie Pana mgra inż. Andrzeja Stanisława Klimpla do publicznej obrony.

