

dr hab. inż. Aleksandra Pertek-Owsianna, prof. Uczelni
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Koninie
ul. Przyjaźni 1, 62-510 Konin

Poznań 10.09.2021 r.

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
mgr inż. Pawła Walentego Kraśniewskiego,**

**pt: „Zwiększanie trwałości eksploatacyjnej sworzni łańcuchowych ze stali
42CrMo4 z wykorzystaniem nowoczesnych rozwiązań inżynierii
powierzchni”**

Promotor: dr hab. Ewa Kasprzycka

Promotor pomocniczy: dr inż. Bogdan Bogdański

Podstawa wykonania recenzji: pismo dr hab. inż. Renaty Walczak, prof. Uczelni,
Dziekana Wydziału Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii
Politechniki Warszawskiej, 09-400 Płock, ul. Łukasiewicza 17
Ldz./ PO / 2 /2021 z dnia 26.07.2021 r.

1. CHARAKTERYSTKA ROZPRAWY

1.1. Układ rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa o w/w tytule liczy 110 stron, zawiera 48 rysunków, 20 tablic, w tym 125 pozycji literaturowych, 16 odwołań do stron internetowych, 1 patent, 1 ustawę, 4 zgłoszenia reklamacyjne, 1 katalog produktu. Ilość zagranicznych pozycji literatury w bibliografii wynosi 71 (pozycje angielskie), w tym z okresu ostatnich 10 lat - 42.

Praca składa się z 11 rozdziałów i zawiera wszystkie rozdziały charakterystyczne dla prac doktorskich, w tym:

1. Wprowadzenie (2 strony),
2. Stan zagadnienia (27 stron),
3. Analiza stanu zagadnienia (2 strony)
4. Cel, teza i zakres pracy (3 strony),
5. Metodyka badań (19 stron),
6. Wyniki badań (27 strony),
7. Dyskusja wyników badań (4,5 strony),
8. Wnioski (2 strony).
9. Literatura (7 stron)
10. Spis tablic (1 strona)
11. Spis rysunków (3 strony)

Rozprawa rozpoczyna się: spisem treści (2 strony), streszczeniem w języku polskim (1 strona) i angielskim (1 strona), wykazem ważniejszych oznaczeń (1 strona) oraz wykazem ważniejszych skrótów anglojęzycznych (1 strona).

Praca ma charakter interdyscyplinarny i dotyczy dyscyplin inżynieria mechaniczna w zakresie kształtowania i właściwości sworzni będących podstawowym elementem konstrukcyjnym łańcuchów napędowych oraz inżynierii materiałowej, z którą związane są zagadnienia technologii osadzania powłok diamentopodobnych DLC (diamond like coating) metodą odparowania łukiem elektrycznym Arc PVD (Arc Physical Vapour Deposition) na powierzchni stali stosowanej na sworznie.

Sformułowany temat rozprawy jest zgodny z treścią i zagadnieniami poruszonymi w pracy. Celem naukowym rozprawy było wytworzenie i zbadanie struktury i właściwości powłok diamentopodobnych typu W/W-DLC i Cr/Cr-DLC otrzymanych metodą Arc PVD na powierzchni stali konstrukcyjnej 42CrMo4, dla polepszenia właściwości eksploatacyjnych, takich jak odporność na ścieranie i korozję.

Nowoczesne metody inżynierii powierzchni zastosowane w rozprawie zostały wykorzystane w celu zwiększania trwałości sworzni, stanowiących element rolkowych łańcuchów do przenoszenia napędu mechanizmów roboczych.

Podjęta tematyka jest aktualna, gdyż łańcuchy tego typu są powszechnie stosowane w przemyśle, np. metalowym, górniczym, rolniczym, spożywczym.

W rozprawie w części teoretycznej Doktorant przeprowadził analizę i badania własne czynników niszczących sworznie w łańcuchach napędowych, które wykazały, że głównym czynnikiem niszczącym jest zużycie ściernie. Jako czynnik niszczący uwzględniono również oddziaływanie korozyjne środowiska.

Rozprawa składa się z dwóch podstawowych części: 1 - Stan wiedzy (str. 13-39), 2 - Badania własne (str.40-99).

W rozdziale 1 zatytułowanym „Wprowadzenie” Autor przedstawia uzasadnienie podjęcia tematyki rozprawy na podstawie przeglądu prac z dziedziny rozprawy i formułuje w sposób ogólny zakres swoich badań.

W rozdziale 2 omówiony jest stan wiedzy, dotyczący łańcuchów napędowych, stanowiących element przekładni łańcuchowych, stosowanych do przenoszenia ruchu w wielu maszynach i urządzeniach stosowanych w różnych gałęziach przemysłu, m.in. motoryzacyjnym, maszynowym oraz wydobywczym. Autor przedstawił typy konstrukcji,

szczegółową budowę i analizę mechanizmów zużycia łańcuchów, na podstawie danych z literatury oraz badań własnych. Z tych rozważań wynika, że podstawowymi elementami konstrukcyjnymi narażonymi podczas eksploatacji na zniszczenie są sworznie łańcuchów, a główne czynniki niszczące sworznie to zużycie ściernie i korozja.

W dalszym ciągu rozdziału 2, przedstawiającego stan wiedzy, omówione zostały jedne z najnowocześniejszych i najczęściej stosowanych technik inżynierii powierzchni stosowanych dla zwiększenia trwałości części maszyn i narzędzi, a mianowicie techniki PVD (Physical Vapour Deposition) i Arc-PVD - metodę odparowania łukiem elektrycznym. Przedstawiono również twarde powłoki węglowe diamentopodobne, a w szczególności powłoki typu a-C:H:Cr oraz a-C:H:W. Powłoki te są wykorzystywane w celach przeciwzużyciowych, w wysokoobciążonych węzłach tarcia.

W rozdziale 3 pracy przedstawiono analizę stanu zagadnienia, w której Autor wskazał na brak danych dotyczących nowoczesnych technik inżynierii powierzchni w zastosowaniu do zwiększenia trwałości łańcuchów napędowych, a w szczególności sworzni, narażonych podczas eksploatacji m.in. na zużycie tribologiczne oraz na korozję. Na podstawie szczegółowej analizy stanu wiedzy w zakresie możliwości wykorzystania nowoczesnych metod inżynierii powierzchni dla zwiększania trwałości sworzni, Doktorant zaproponował zastosowanie powłok diamentopodobnych (typu W/W-DLC i Cr/Cr-DLC) wytwarzanych metodą Arc PVD, dla polepszenia ich właściwości eksploatacyjnych w tym odporności na ścieranie i korozję. Należy zauważyć, że technologia Arc PVD zalicza się do technologii wysoko zaawansowanych i czystych ekologicznie.

W oparciu o autorską analizę mechanizmów zużycia sworzni, Doktorant sformułował tezę badawczą oraz cel i zakres pracy, które przedstawiono w rozdziale 4.

Celem pracy było zbadanie możliwości zastosowania nowoczesnych metod inżynierii powierzchni do zwiększenia trwałości sworzni stanowiących element rolkowych łańcuchów napędowych.

Sformułowana została przez Doktoranta następująca teza pracy:

„Zwiększenie trwałości sworzni, stanowiących główny element konstrukcyjny łańcuchów napędowych, stosowanych powszechnie w przemyśle, można uzyskać przez wytworzenie powłoki diamentopodobnej modyfikowanej wolframem, typu W/W-DLC, osadzonej dwuetapowo metodą Arc PVD, najpierw przez nałożenie czystego wolframu na powierzchnię stali, a następnie powłoki DLC typu a-C:H:W.”

Zakres pracy obejmował: wytworzenie powłok dwuwarstwowych typu W/W-DLC i Cr/Cr-DLC DLC na wybranej stali 42CrMo4, zbadanie ich budowy oraz właściwości, jak chropowatość, twardość, moduł Younga, adhezja do podłoża, odporność na ścieranie oraz na korozję.

W dalszej części pracy przedstawione są badania własne, a w szczególności w rozdziale 5 - metodyka badań, w rozdziale 6 - wyniki badań oraz w 7 - ich dyskusja, a w 8 rozdziale – wnioski, po czym w rozdziale 9 zamieszczony jest spis literatury zgodny z przypisami. Praca kończy się spisem tablic (rozd.10) oraz spisem rysunków (rozd. 11). Spis treści, streszczenie w języku polskim i angielskim, wykaz ważniejszych oznaczeń oraz skrótów anglojęzycznych zamieszczono na początku rozprawy.

W pracy zastosowano szeroki program badawczy, odpowiednio dobrane i nowoczesne metody badań i aparaturę. Powłoki wytwarzano metodą odparowania łukiem elektrycznym Arc PVD na urządzeniu technologicznym typu Standard MZ 383, produkcji Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, badania budowy powłok wykonano za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego firmy HITACHI TM 3000, wyposażonego w detektory BSE i EDS. Skład chemiczny powłok badano metodą EDS z wykorzystaniem mikroanalizatora rentgenowskiego f-my: Noran Instruments, w który wyposażony jest mikroskop skaningowy Hitachi TM 3000. Rentgenowską analizę fazową wykonano na dyfraktometrze rentgenowskim firmy Bruker D8 ADVANCE. Do pomiaru chropowatości wykorzystano Profilograf Form Talysurf PGI 830 firmy Taylor Hobson. Obserwacje powierzchni próbek wykonano za pomocą mikroskopu cyfrowego KEYENCE VHX 1000. Badania twardości i modułu Younga warstw przeprowadzono z wykorzystaniem urządzenia Nano-Hardness TESTER szwajcarskiej firmy CSM. Test zarysowania wykonano przyrządem typu REVETEST produkcji firmy CSEM, zastosowanym do badań adhezji. Adhezję powłok do podłoża określono również na podstawie wciskania wgłębnika. Badania odporności na zużycie ściernie wykonano na tribotesterze typu kula-tarcza (ball – on – disc) firmy DUCOM. Odporność na korozję określano metodą elektrochemiczną w roztworze 0,5 M NaCl.

Układ pracy doktorskiej jest prawidłowy, typowy dla układu pracy naukowo badawczej, w którym po przeglądzie i analizie literatury, określony jest cel i zakres badań, a następnie sformułowana jest teza pracy, omówiona metodyka badań, wyniki i ich dyskusja zakończona wnioskami.

1.2. Ocena tematu pracy

Przy obecnym, szybkim rozwoju wszystkich branż przemysłu istnieje potrzeba ograniczania zużycia elementów konstrukcyjnych części maszyn i narzędzi. Osiągnąć to można przez zmiany konstrukcyjne, zastosowanie nowych materiałów czy też lepszych środków smarnych. Innym rozwiązaniem, jest modyfikowanie powierzchni znanego materiału przez tworzenie warstw wierzchnich lub osadzanie powłok. Zabiegi takie będące przedmiotem zainteresowania dyscypliny naukowej jaką jest inżynieria powierzchni mogą być bardzo efektywne i pozwalać na wydłużenie czasu eksploatacji wyrobów i podnosić ich trwałość i niezawodność.

Badacze i przemysł są zainteresowani zarówno technologiami tradycyjnymi, jak obróbka cieplno-chemiczna (np. azotowanie), ale znane są również osiągnięcia światowe i krajowe w zakresie opracowywania nowych metod i technik osadzania warstw węglkowych, azotkowych, borkowych, w szczególności z fazy gazowej z udziałem reakcji chemicznych - CVD oraz fizycznych - PVD, laserowych, jonowych oraz ich różnych modyfikacji.

Metody te są stosowane dla części maszyn pracujących w warunkach tarcia i korozji, narzędzi do obróbki skrawaniem i plastycznej, narzędzi pomiarowych i dla innych urządzeniach, w których występują trudne warunki pracy.

Wyniki wielu prac badawczych prowadzonych w zakresie inżynierii powierzchni pod koniec dwudziestego wieku wykazały, że w celu uzyskania polepszenia właściwości wytrzymałościowych i tribologicznych niezbędne jest kształtowanie układu powłoka (warstwa) – podłoża jako całości, zgodnie z zasadą synergizmu zdefiniowanego w Polsce przez prof. Tadeusza Burakowskiego¹. Układ ten konstituuje się zarówno przez warstwę (powłokę) i materiał podłoża, który powinien być poddany obróbce cieplnej i on decyduje o zachowaniu się elementu w czasie eksploatacji, czyli podczas przenoszenia obciążeń mechanicznych, a także zużycia się w czasie tarcia.

W związku z tym nie ma bezpośredniej zależności między twardością a odpornością na zużycie przez tarcie^{1,2}, tzn. im wyższa twardość tym wyższa odporność na ścieranie. Właściwość ta zależy od cech synergicznych wyrobu, związanego ze stanem naprężeń własnych, który wytworzy się podczas zastosowanych obróbek powierzchniowych

¹ Burakowski T. Rozważania o synergizmie w inżynierii powierzchni. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom, 2004.

² Pertek-Owsianna A. Kształtowanie struktury i właściwości warstw borków żelaza otrzymywanych w procesie borowania gazowego. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2001.

i objętościowych. Najkorzystniejsze są na powierzchni naprężenia ściskające. W przypadku powłok wielowarstwowych, międzywarstwa Cr lub W wpływa na stan naprężeń, ale wymagałoby to potwierdzenia za pomocą np. badań rentgenowskich jaki jest w nich rozkład naprężeń.

W ostatnich latach XX wieku nastąpił dynamiczny rozwój metod wytwarzania powłok tribologicznych osadzanych technikami CVD i PVD, będących azotkami, węglnikami i innymi fazami oraz powłok złożonych z mieszaniny tych faz. Nowe kierunki badawcze pojawiły się pod koniec XX w. dotyczą powłok diamentopodobnych DLC, a także wielowarstwowych i hybrydowych. W tym zakresie osiągnięcia mają prof. prof. Ewa Kasprzycka, Jerzy Smolik, dr Bogdan Bogdański. Rozwinęły się także techniki wytwarzania warstw i powłok hybrydowych z wykorzystaniem laserów, w czym udział ma Autorka niniejszej recenzji. Warstwy wierzchnie i powłoki mogą mieć wymiary mikrometryczne ale również nanometryczne, zainteresowania współczesne obejmują także warstwy i powłoki kompozytowe oraz nanokompozytowe. Ogólny rozwój współczesnej techniki i informatyki stał się w XXI w. inspiracją do pogłębienia i dalszych badań oraz wdrażania nowych metod i urządzeń oraz wyników tych osiągnięć do nauki i praktyki przemysłowej.

Początkowo pod koniec ubiegłego wieku poza klasycznymi warstwami dyfuzyjnymi (azotowane, nawęglane, borowane, chromowane) otrzymywanymi przez obróbkę cieplno-chemiczną np. w gazach, z zastosowaniem próżni, wyładowania jarzeniowego lub metod CVD i PVD, zaczęto wytwarzać warstwy wieloskładnikowe, modyfikowane przy zastosowaniu tego samego typu metod (połączenie azotowania, borowania, nawęglania, chromowania), a następnie łącząc różne metody wytwarzania np. gazowe azotowanie z metodą PVD albo obróbką laserową, zaczęto nazywać te technologie kompleksowymi a później hybrydowymi. Szczególnie w wieku XXI nastąpił rozwój połączonych technik inżynierii powierzchni, jakkolwiek tradycyjne metody obróbki głównie azotowanie, stanowią obecnie przykład utrzymywania się tej technologii jako najważniejszej w przemyśle światowym np. w motoryzacji. Duże znaczenie dla stabilności lub rozwoju współczesnych technologii mają koszty i ekologiczne aspekty metody, do których należą rodzaj materiału eksploatacyjnego (stosowane gazy, targety), energochłonność procesu wynikająca z temperatury i czasu procesu. Dlatego niektóre z technologii XX wieku np. nawęglanie nie są obecnie stosowane lub zalecane.

Postęp wiedzy w zakresie wielu dyscyplin wiedzy przyczynił się do rozwoju metod inżynierii powierzchni. Występuje w tym obszarze złożoność problemów, która dotyczy zarówno wiedzy teoretycznej o charakterze interdyscyplinarnym z różnych dziedzin; fizyki, chemii, informatyki, mechaniki, materiałoznawstwa oraz projektowania i wdrażania metod do praktyki przemysłowej, konstruowania urządzeń technologicznych i oprzyrządowania. Wymaga to szerokiej współpracy twórców, konstruktorów, specjalistów z branży przemysłowej zainteresowanych nowymi technologiami. Aby warstwa wierzchnia miała pożądane właściwości użytkowe w powiązaniu z materiałem podłoża, którym mogą być stopy żelaza, ale także innych metali, jak aluminium, tytanu, oraz kompozyty lub inne materiały, należy jej wytwarzanie poprzedzić zaprojektowaniem z zastosowaniem metod informatycznych np. coraz szerzej stosowanej metody sztucznej inteligencji. Do tego celu niezbędne są zasoby wiarygodnych baz danych z zakresu tematyki badawczej, wynikające z własnych doświadczeń lub dostępne w wielu publikacjach.

Aby potwierdzić wyniki użytkowe niezbędne są urządzenia do badań struktury warstw, jak mikroskopy różnego typu optyczne i elektronowe, aparatura do badań składu chemicznego i fazowego warstw, w tym zakresie też widoczny jest postęp. Także w dziedzinie badań tribologicznych i badań innych właściwości użytkowych w ostatnim czasie nastąpił znaczący rozwój aparatury. Takim przykładem dla rozwoju metod inżynierii powierzchni i badania ich efektów jest Instytut Badań i Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy w Radomiu.

Wcześniej niejednokrotnie badacz we własnym zakresie konstruował niezbędne urządzenia do wytwarzania i weryfikacji uzyskanych wyników.

Kompleks badań pozwala dopiero na wdrożenie wyników do praktyki przemysłowej.

Autorka niniejszej recenzji ma również w swoim dorobku o charakterze praktycznym zastosowanie pod koniec ubiegłego wieku, technologii inżynierii powierzchni – borowania, dla łańcucha rozrządu samochodu osobowego. Przeprowadzono badania porównawcze sworzni borowanych i nawęglanych wykonanych ze stali konstrukcyjnej i do nawęglania². Sworznie łańcucha nawęglano lub borowano oraz obrabiano cieplnie (hartowanie i odpuszczanie), a tulejki i płytki podane były tylko hartowaniu i odpuszczaniu. Następnie przed zmontowaniem łańcuchów elementy poddane były szlifowaniu ze względu na tolerancje wymiarowe. Tak przygotowane łańcuchy przekazano do prób eksploatacyjnych w maszynie imitującej pracę silnika samochodowego. Próby te przeprowadzono w Poznaniu, w krajowym wiodącym wówczas producencie łańcuchów samochodowych i rowerowych w Polsce. Łańcuchy po określonym czasie pracy zdejmowano i mierzono wydłużenie na

ogniowie. Jeśli w jakimkolwiek przedziale czasowym nastąpiło większe wydłużenie od dopuszczalnego, próbę uznano za negatywną. Próba trwałości zarówno dla łańcuchów ze sworzniami nawęglanymi i borowanymi zakończyła się pozytywnie, gdyż oba łańcuchy wydłużyły się poniżej wartości dopuszczalnych dla poszczególnych przedziałów czasowych.

W nowoczesne trendy zastosowania metod inżynierii powierzchni do zwiększania trwałości eksploatacyjnej sworzni łańcuchowych wpisuje się praca mgr inż. Pawła Walentego Kraśniewskiego, związana z powłokami diamentopodobnymi typu W/W-DLC i Cr/Cr-DLC DLC, do której Autor został zainspirowany badaniami własnymi i przedstawianymi w literaturze.

1.3. Cel pracy oraz teza

Doktorant podjął tematykę technologii procesów wytwarzania powłok z zastosowaniem metody Arc-PVD, co jest trudnym zadaniem, gdyż z jednej strony obejmuje wiele nowych problemów technologicznych z wytwarzaniem etapowym powłok (dobór parametrów procesów (temperatura, czas, rodzaj materiałów eksploatacyjnych), a z drugiej badaniem mechanizmu tworzenia nowych faz, które mogą powstać w wyniku procesów oraz nieznanymi dotychczas właściwościami eksploatacyjnymi obrabianego wyrobu. Dlatego badania te mają charakter interdyscyplinarny, gdyż dotyczą zarówno wiedzy i umiejętności z zakresu dyscypliny – inżynieria materiałowa, która jest niezbędna do badań strukturalnych z zastosowaniem wielu nowoczesnych metod i aparatury, a także wiedzy z zakresu inżynierii mechanicznej dotyczącej zarówno charakterystyki pod względem konstrukcyjnym analizowanych sworzni łańcucha jak i badań eksploatacyjnych pod względem właściwości i przewidywania możliwości zastosowania.

Teza i cel i zakres pracy zostały sprecyzowane na podstawie przeglądu literatury, z którego wynikało, że brak pełnej wiedzy dotyczącej zastosowania obróbki powierzchniowej w przypadku narażenia sworzni łańcucha jednocześnie na zużycie tribologiczne i korozję.

2. OCENA MERYTORYCZNA ROZPRAWY

Temat podjęty przez Doktoranta mieści się we współczesnych zainteresowaniach krajowych i zagranicznych w zakresie wytwarzania powłok osadzanych technikami PVD na stalach oraz badaniach ich struktury i właściwości z możliwością zastosowania w praktyce.

Najważniejsze osiągnięcia pracy

- Badania strukturalne powłok z zastosowaniem najnowszych technik i urządzeń, pozwalających na ujawnienie i porównanie budowy strefowej otrzymanych powłok, ich grubości, składu fazowego, jakościowego stężenia pierwiastków w warstwach, które przedstawiono na rys. 30-37.
- Wykazanie obecności faz międzywęzłowych węglików chromu i wolframu, różnego typu, w zależności od pierwiastka nasycającego chromu lub wolframu. Interesujące byłoby porównanie mikrostruktur powłoki wyłącznie Cr i W. Obrazy skaningowe powierzchni 2-warstwowej powłoki W/W- DLC i Cr/Cr-DLC różnią się grubościami stref, rodzajem, ilością i wielkością faz, co może być przyczyną ich zróżnicowanych właściwości. Na obrazie powłoki Cr, w tle widoczna jest także mikrostruktura stali, przy czym nie jest ona opisana.
- Badania właściwości warstw: mikrotwardości, chropowatości, adhezji:
 - chropowatość; dlaczego chropowatość powłoki Cr/Cr-DLC jest najmniejsza, czy zaważyły czynniki technologiczne czy inne?
 - najwyższą z badanych twardość mają powłoki W/W- DLC, które są twardsze ok. 2-krotnie od Cr/Cr-DLC i ok. 6- krotnie od Cr.

Podobną własnością na odkształcenia cechują się obie dwuwarstwowe powłoki W/W- DLC i Cr/Cr-DLC (wskaźnik H/E jest porównywalny), przy czym analizując wskaźnik H^3/E^3 , powłoki W/W- DLC wykazują lepszą odporność na plastyczną deformację, co wskazuje na możliwość przenoszenia wyższych obciążeń przez te powłoki.

Jest to ważny wniosek do wskazania możliwości eksploatacyjnych badanych powłok.

- Badania odporności na zużywanie, dzięki którym widoczne są możliwości technologiczne zaproponowanej w pracy powierzchniowej obróbki z zastosowaniem metody Arc-PVD. Wykazanie, że lepszą odporność na zużycie przez tarcie mają powłoki dwuwarstwowe typu W/W- DLC i Cr/Cr-DLC w odróżnieniu od powłok pojedynczych Cr, o czym decyduje ich budowa strefowa oraz dobra adhezja międzystrefowa oraz powłoki z podłożem. Badane właściwości są dobrze udokumentowane za pomocą obrazów mikroskopowych (rys. 43-47) rys i ścieżek po próbach adhezji i tribologicznych oraz zebrane w tabelach. Do badań cienkich powłok bardziej wiarygodny jest test zarysowania.

- Wyniki przeprowadzonych badań mają poza walorem poznawczym charakter aplikacyjny. Pozwalają na zastosowanie opracowanej technologii na elementach łańcucha lub innych częściach konstrukcji wykonanych ze stali konstrukcyjnych.

Uwagi

1. Stal stopowa 42CrMo4 (chromowo-molibdenowa) została właściwie dobrana do badań, gdyż jest jedną z najczęściej używanych stali konstrukcyjnych do wielu rozwiązań praktycznych. Czym podyktowane były wymiary próbek do badań? czy miały one związek z rzeczywistymi wymiarami analizowanych sworzni łańcuchowych?
2. W celu wytworzenia warstw wierzchnich została wybrana jedna z najnowocześniejszych, współcześnie stosowanych metod - Arc PVD, przy której udziale możliwe jest przygotowanie powierzchni oraz wytwarzanie powłok pojedynczych jak i wielowarstwowych z zastosowaniem różnych materiałów eksploatacyjnych. Pozwala ona na uzyskanie powłok o bardzo dobrej adhezji zarówno między powłokami jak i podłożem, o dowolnych grubościach, w tym przypadku mikrometrycznych.
3. Ważną rolę, niedocenioną przez Autora, odgrywa obróbka cieplna elementów konstrukcyjnych, czyli hartowania i odpuszczania zastosowana w powiązaniu z wytworzonymi powłokami. Doktorant informuje o jej przeprowadzeniu przed badaniami na zużycie ściernie, natomiast jest ona istotna także dla badań adhezyjnych, ale również strukturalnych. Czy zatem próbki do tych badań też zostały tak przygotowane? Wiadomo, że w wyniku obróbki cieplnej zachodzą zmiany wymiarowe próbek i pogarsza się chropowatość powierzchni, które odgrywają ważną rolę w dalszej obróbce powierzchniowej. Ponadto ze względu na tolerancje wymiarów przewidziane jest szlifowanie elementów. Wytwarzanie zaproponowanych powłok ze względu na ich grubość powinno być ostatnią operacją technologiczną.
4. Dlaczego chropowatość powierzchni po obróbce typu W/W- DLC jest największa spośród badanych (tabela 15), czy ma to związek ze strukturą powłoki czy innymi czynnikami?
5. Dlaczego nie zastosowano do porównania struktur i właściwości powłok dwustrefowych jednostrefowej powłoki wolframowanej lecz tylko chromowaną?

6. Wyniki badań odporności korozyjnej, w których porównano stal bez powłoki ze stalą z powłokami dwustrefowymi, są oczywiste. Bardziej poznawcze byłyby badania porównawcze stali z powłokami Cr i W, ze stalą z powłokami dwustrefowymi.

Praca pod względem merytorycznym jest na wysokim poziomie. Doktorant zaprezentował niezwykle szeroki aspekt problematyki związanej z podjętym tematem, świadczący o znacznym wkładzie pracy. Koncepcja pracy przyjęta na podstawie analizy potrzeb przemysłu, wynikająca z własnych doświadczeń oraz przeglądu literatury, pozwoliła na sformułowanie tematu i celu pracy oraz tezy i zakresu badań. Do ich realizacji przyjęto trafną i szeroko zakrojoną metodykę badań, obejmującą wiele nowoczesnych technik i urządzeń, które pozwoliły na potwierdzenie założonej tezy i wykazanie, że cel pracy został osiągnięty, co zostało uwidocznione w wynikach i wnioskach.

3. OCENA REDAKCYJNA ROZPRAWY

Rozprawa jest zredagowana bardzo starannie, z dobrą znajomością poruszanych zagadnień, a jej język jest logiczny i zrozumiały. Terminologia i symbolika oznaczeń stosowana w pracy jest zgodna z aktualnie stosowaną w literaturze tematu. Bibliografia Rysunki i tablice są wykonane przejrzysto, a zdjęcia struktur są bardzo dobrej jakości. Zamieszczone wyniki badań związane z mikrostrukturami powłok oraz ich właściwościami dobrze ilustrują omawiane zagadnienia i uzasadnienie wniosków na poparcie postawionej tezy i celu pracy.

4. WNIOSEK KOŃCOWY

W rozprawie mgr inż. Paweł Walenty Kraśniewski, podjął trudny i złożony problem wytworzenia oraz zbadania struktury i właściwości powłok nowej generacji diamentopodobnych DLC, wytwarzanych metodą Arc PVD na stali konstrukcyjnej, mogących znaleźć zastosowanie w celu zwiększenia właściwości eksploatacyjnych sworzni łańcuchowych oraz innych elementów konstrukcyjnych i części maszyn, które narażone są podczas eksploatacji na zużycie przez tarcie i korozję.

Analizowane w rozprawie przez Doktoranta zagadnienia i otrzymane wyniki dostarczają nowej interesującej wiedzy w dziedzinie nowoczesnych obróbek powierzchniowych.

Temat podjęty przez Doktoranta mieści się we współczesnych trendach krajowych i zagranicznych w zakresie zagadnień budowy i eksploatacji maszyn oraz aktualnej tematyki inżynierii powierzchni.

Podsumowując ocenę stwierdzam, że Autor wykazał się bardzo dobrą znajomością poruszanych zagadnień, wykazał umiejętności praktyczne oraz zrealizował postawioną tezę i cel pracy.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Walentego Kraśniewskiego, pt: „Zwiększanie trwałości eksploatacyjnej sworzni łańcuchowych ze stali 42CrMo4 z wykorzystaniem nowoczesnych rozwiązań inżynierii powierzchni” spełnia wymagania wynikające z obowiązującej ustawy z dnia 14 marca 2003 roku „O stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” i w związku z tym wnoszę o dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony.

A. Perle