

Zielona Góra, 16.08.2023 r.

Dr hab. inż. Mariusz Jenek, prof. UZ
Uniwersytet Zielonogórski
Wydział Mechaniczny
Instytut Inżynierii Mechanicznej
ul. Prof. Z.Szafrana 4, 65-516 Zielona Góra
m.jenek@iim.uz.zgora.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Monety, pt.:

„Badanie procesu azotowania stali ze szczególnym uwzględnieniem obniżonego ciśnienia”

1. Podstawa opracowania

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Monety pod wyżej wymienionym tytułem, opracowana została na podstawie zlecenia Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Chemiczna, prof. dr hab. inż. Zofii Lenzion-Bieluń – pismo ZUT/RDICH/15/2023 z dnia 17.07.2023 r.

2. Uzasadnienie wyboru tematu

Proces azotowania znajduje szerokie zastosowanie we współczesnej technologii maszyn, a jego głównym celem jest utwardzenie powierzchniowe elementów. Swoim zakresem obejmuje on szereg wysoko obciążonych i pełniących odpowiedzialne funkcje elementów maszyn, jak koła zębate, wały, a także powierzchnie narzędzi, zwłaszcza przeznaczonych do obróbki plastycznej. Dodatkowe utwardzenie poprzez obróbkę cieplno-chemiczną może podwyższyć nawet kilkukrotnie ich trwałość.

W zależności od odmiany technologicznej procesu azotowania, jego parametrów oraz gatunku materiału, możliwe jest kształtowanie struktury utwardzonych warstw wierzchnich oraz ich właściwości. Wytworzone w procesie azotowania warstwy mają budowę strefową, w której mogą występować strefy bardzo kruche (strefa związków azotowych, obszar wydzieleni azotków typu γ'), charakteryzujące się dodatkowo porowatością. Obniża to właściwości użytkowe elementów maszyn, a nawet dyskwalifikuje z zastosowań technicznych. Celowym jest zatem poszukiwanie metod pozyskiwania warstw o pożądanej morfologii, przy jednoczesnym skróceniu czasu ich wytwarzania. Istotnym aspektem, poza skróceniem czasu obróbki, jest także możliwość ograniczenia zużycia gazów roboczych, co niesie za sobą pozytywne skutki ekonomiczne i środowiskowe, wpisując się w strategię zrównoważonego wytwarzania.

Z tego względu temat rozprawy jest ważny, a jego podjęcie w pełni uzasadnione.

3. Układ i zakres rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pt.: „Badanie procesu azotowania stali ze szczególnym uwzględnieniem obniżonego ciśnienia” autorstwa mgr inż. Marcina Monety,

napisana została na 128 stronach i zawiera 10 ponumerowanych rozdziałów oraz krótkie streszczenia w języku polskim i angielskim. W pracy wyróżniono również wykaz literatury, wykaz najważniejszych skrótów i akronimów, spis rysunków oraz tabel, a także 5 załączników przedstawiających, opracowaną w ramach pracy doktorskiej, koncepcję pieca do azotowania pod obniżonym ciśnieniem. Rozprawa ilustrowana jest 73 rysunkami, zawiera 15 tabel. Wykaz literatury zawiera 115 pozycji, w tym 73 pozycje literaturowe obcojęzyczne o zasięgu międzynarodowym, 30 pozycji w języku polskim, pozostałe 11 to normy, źródła internetowe oraz patent. Struktura czasowa tych źródeł jest następująca: najliczniejsza grupa źródeł w liczbie 48 zawiera się w przedziale czasowym lat 2011-2020, 35 pozycji z przedziału lat 2001-2010, 7 pozycji jest z roku 2021 i nowszych. Świadczy to o rzetelnym i bieżącym przeglądzie literatury. Pozostałe pozycje (11) pochodzi sprzed 2000 roku. Jedna z pozycji (nr 51) nie ma podanego roku wydania.

Ogólnie rozprawa napisana jest poprawnie językowo, chociaż można dostrzec drobne problemy Doktoranta z poprawnością frazeologiczną formułowanych komentarzy i wniosków. Terminologia i pojęcia stosowane w pracy nie budzą zastrzeżeń. Układ pracy jest przejrzysty, a podział przedstawianych treści na rozdziały i podrozdziały właściwy.

Rozdział 1 to krótkie, zawarte na 5 stronach, przedstawienie podstawowych informacji dotyczących procesu azotowania. Przedstawiono w nim model warstwy azotowanej, zależność pomiędzy elementami struktury warstwy azotowanej oraz wynikającymi z nich właściwościami użytkowymi. Przedstawiono również i scharakteryzowano poszczególne fazy występujące w układzie Fe-N.

W rozdziale 2 Doktorant (na 11 stronach) analizuje na podstawie danych literaturowych, wpływ poszczególnych parametrów procesu azotowania na przebieg procesu oraz strukturę powstałych warstw. Analizę tę przeprowadzono oddzielnie dla każdego z rozpatrywanych czynników w wyszczególnionych w pracy podrozdziałach. Analizując wpływ temperatury na grubość warstwy związków, Autor wykazał nieścisłość we wpływie temperatury na twardość powstałych w procesie azotowania warstw. Przytoczone z literatury przykłady dotyczą trzech materiałów o różnym składzie chemicznym: stali nierdzewnej (o nie podanym oznaczeniu), stali 31CrMoV9 oraz stali niestopowej C45. (str. 19, 20). Porównanie takie, bez komentarza uwzględniającego wpływ dodatków stopowych na proces azotowania, jest trochę niefortunne. W trzech miejscach, doktorant powołując się na literaturę przy objaśnianiu zjawisk i zależności nie podał źródeł (str. 17, 18, 21).

Rozdział 3 zawiera opis procesu azotowania pod obniżonym ciśnieniem. Autor zawarł w nim informacje dotyczące kinematyki procesu azotowania pod obniżonym ciśnieniem oraz zalety tego procesu. Dyskusyjne jest stwierdzenie Doktoranta, że azotowanie pod obniżonym ciśnieniem może służyć do kontroli struktury warstwy azotowanej. Proces nie może służyć do kontroli jego efektu. Bardziej prawidłowym byłoby stwierdzenie, że azotowanie pod obniżonym ciśnieniem ułatwia, czy też pozwala na kontrolę procesu azotowania, a w efekcie na prognozowanie właściwości uzyskanych warstw.

W rozdziale 4, przedstawiono na podstawie danych literaturowych oraz informacji internetowych, rozwiązania techniczne stanowisk przeznaczonych do azotowania pod obniżonym ciśnieniem. Szkoda, że zostały one tylko przedstawione, bez zbiorczego porównania i krytycznej ich oceny.

Scharakteryzowane powyżej rozdziały 1-4 stanowią przedstawienie aktualnego stanu wiedzy dotyczącego procesu azotowania. Brakuje na zakończeniu tej części pracy analizy zebranych informacji, z której wynikała by zasadność podjęcia tematu.

Rozdział 5 to cele, tezy i zakres pracy. Uwagi do tej części pracy, ze względu na jej istotność, zostały przedstawione oddzielnie w rozdziale 4 recenzji.

W kolejnym rozdziale 6 omówiono metodykę i warunki badań. Opis procedury badawczej (str. 41) jest trochę enigmatyczny. Można było rozpisać ją zgodnie z przedstawionym na rys. 22 schematem realizacji badań. W ten sposób można było usystematyzować użyte w poszczególnych etapach materiały oraz zakres wykonywanych badań. Zaproponowane w metodyce materiały zostały dobrane w sposób właściwy, umożliwiając ustalenie założonych właściwości. Niewątpliwą zaletą pracy byłoby przyjęcie w badaniach, oprócz znanych od połowy XX wieku, materiałów uzyskanych metalurgią proszków, coraz szerzej stosowanych w produkcji oprzyrządowania do obróbki plastycznej.

W metodyce, Autor nie wspomina o statystycznej obróbce wyników pomiaru. Brak opisu ile próbek z każdego materiału zostało poddane badaniom w poszczególnych etapach, czy badania były powtarzane.

Przy opisie pomiaru chropowatości (str. 52) przy definicji parametrów chropowatości, powołano się na nieaktualną (od 1997 roku) normę. Parametr Rz oznacza wysokość chropowatości na długości odcinka elementarnego, a dawne Rm obecnie oznaczane jest Rt i definiuje wysokość chropowatości na odcinku pomiarowym.

Opis wykorzystanych w badaniach mikroskopów optycznego i skaningowego jest zbyt szczegółowy. Zajmuje on 4 strony dysertacji (str. 47 – 51). Lepszym rozwiązaniem byłoby uzasadnienie użycia go w badaniach. Podobna uwaga dotyczy dyfraktometru XRD oraz spektroskopii fotoelektronów XPS.

Niemniej jednak, z zadania zaplanowania zakresu badań mającego na celu odpowiedź na postawione w dysertacji tezy, oraz związanym z tym doбором niezbędnej aparatury badawczej Autor wywiązał się dobrze.

Wyniki badań własnych Autor przedstawił w rozdziale 7, który podzielił na sześć części. Na omówienie i graficzne przedstawienie wyników badań doktorant poświęcił 50 stron. Są to kolejno:

1. Podrozdział 7.1, w którym autor przeprowadza ocenę poprawności działania zbudowanego stanowiska do azotowania. Tytuł tego rozdziału „7.1. Badania stanowiska do azotowania” (str. 57) wydaje się trochę nieadekwatny do zawartości rozdziału. Rozdział ten raczej jest weryfikacją poprawności działania, czy pewną formą wzorcowania stanowiska badawczego w odniesieniu do próbki wykonanej w warunkach przemysłowych przyjętych jako wzorzec. W tym celu należało raczej przeprowadzić proces azotowania z parametrami zgodnymi z tymi, z którymi przeprowadzono proces w warunkach przemysłowych (a nie zbliżonymi) i ustalić dopuszczalną różnicę w uzyskanych wartościach parametrów. W rozdziale tym podjęto również decyzję o opracowaniu metodyki pomiaru mikrotwardości, przyjętej w dalszych badaniach. Rozdział ten kończy się stwierdzeniem poprawności działania zbudowanego stanowiska do azotowania w wyniku uzyskanych zbieżnych rezultatów badań.
2. Podrozdział 7.2, opisujący zaproponowaną przez Autora metodę badania mikrotwardości warstw azotowanych. Przeprowadzono badania rozkładu mikrotwardości na wykonanym

zglądzie przekroju warstwy azotowanej, przypisując mikrotwardość poszczególnym składnikom fazowym struktury. Ze względu na strefową budowę warstw azotowanych o zróżnicowanych właściwościach, metoda ta może być przydatna w ocenie warstw azotowanych.

3. Podrozdział 7.3, w którym przedstawiono wyniki wpływu chropowatości powierzchni na proces azotowania. W tej części badań autor przygotował poprzez obróbkę mechaniczną, próbki z jednego gatunku materiału, które poddał azotowaniu na zbudowanym stanowisku. Następnie przeprowadził analizę zmian chropowatości powierzchni, badania metalograficzne oraz identyfikację poszczególnych stref w warstwie azotowanej, wykorzystując opracowaną przez siebie metodę pomiaru mikrotwardości. Wyniki przedstawiono w postaci tabelarycznej. Wyniki zmian chropowatości można było dodatkowo określić procentową wartością zmiany parametru i zilustrować zmiany w postaci graficznej, co ułatwiłoby weryfikację wyników. Wyniki pomiaru chropowatości powierzchni na przedstawionym rys. 41 (str. 66) nie uwzględniają niepewności pomiaru – przedziałów ufności, a przecież autor pisze o 3-krotnym powtarzaniu pomiarów. Szkoda, że Autor nie zaznaczył na zdjęciach zglądów struktur, które opisuje w wynikach badań pomimo, że niektórym z nich przypisuje istotną rolę. Dodatkową wartością pracy byłoby określenie parametryczne porowatości występującej w strefie związków.
4. Podrozdział 7.4, w którym Doktorant przeprowadził analizę składu fazowego związków. Analiza, przeprowadzona na trzech materiałach: C45, 41Cr4 i 42Cr4Mo obejmowała wykonanie zglądów po procesie azotowania, weryfikację przydatności trawiantów, badania z wykorzystaniem mikroskopu skaningowego z mikroanalizatorem rentgenowskim oraz badania z wykorzystaniem dyfraktometru XRD i spektroskopii elektronowej XPS. Tak dobrana aparatura badawcza pozwoliła na identyfikację poszczególnych składników struktury. Jednak zaproponowany jako zmienna „czas szlifowania” próbek w celu usuwania zewnętrznych warstw próbki jest niezasadny i nie daje żadnych informacji o głębokości na jakiej wykonywane były poszczególne pomiary, których wyniki przedstawiono na rys. 53 (str. 77).
5. Podrozdział 7.5, w którym przedstawione zostały wyniki badań wpływu temperatury na wynik procesu azotowania. W badaniach wykorzystano 5 materiałów: C24, 41Cr4, 42Cr4Mo, WCL oraz WLV, w celu wyjaśnienia wpływu dodatków stopowych ma proces azotowania. Dyskusyjne jest przyjęcie w badaniach procesu azotowania temp. 700° C. To wartość znacznie powyżej stosowanych temperatur w procesie azotowania (480 – 500° C) i blisko temperatury przemiany austenitycznej (wyżarzania zmiękczającego). Wyniki badań przedstawione na rys. 60 – 64 podsumowano tabelami 6 – 9. Zdaniem recenzenta, rys. 60 – 64 można było umieścić jako załączniki w pracy, a jako podsumowanie przedstawić wykres słupkowy ilustrujący zbiorcze wyniki. Ułatwiłoby to interpretację wyników osobie czytającej pracę
6. Podrozdział 7.6, przedstawia wyniki badań wpływu obniżonego ciśnienia na proces azotowania. Badania przeprowadzono w oparciu o dwie zmienne: ciśnienie (na 5 poziomach) oraz czas (na 3 poziomach), zmniejszając w kolejnych krokach eksperymentu przepływ amoniaku. Szkoda, że nie ujęto tych badań w statystyczny plan eksperymentu, co wpłynęłoby na jasność i przejrzystość wykonanych badań. Wyniki dla poszczególnych próbek zostały przedstawione oddzielnie, bez zbiorczego przedstawienia w postaci

graficznej. Występowanie dodatkowej pośredniej struktury, którą na podstawie informacji literaturowych Autor określa jako warstwę austenitu można było zaznaczyć na przedstawionych zglądach zamiast odwoływać się do informacjach literaturowych.

Na podstawie uzyskanych w dysertacji wyników nie opracowano zależności matematycznych i nie przedstawiono analizy statystycznej uzyskanych wyników, co niewątpliwie podniosłoby osiągnięcia naukowe oraz praktyczne pracy a także pozwoliłoby na uogólnienie zaobserwowanych w ramach pracy relacji i prawidłowości pomiędzy analizowanymi czynnikami.

W rozdziale 8 przedstawiono w sposób bardzo ogólny, opracowaną koncepcję pieca do azotowania w oparciu o dołączone do pracy w postaci załączników schematy.

W rozdziały 9 i 10 zawierają podsumowanie oraz wnioski końcowe, które nawiązują w dużej części do celu i zakresu pracy oraz realizowanych zadań badawczych. Nie podzielono ich jednak na poznawcze, utylitarne i rozwojowe, jak zazwyczaj ma to miejsce w pracach doktorskich.

Część z przedstawionych powyżej uwag ma charakter dyskusyjny i ma na celu podniesienie jakości przyszłych rozważań i opracowań Doktoranta.

4. Analiza poprawności sformułowania tezy, celu i zakresu pracy

Cel pracy został przedstawiony w sposób jasny. Nadrzędnym celem pracy, było uzyskanie wiedzy teoretycznej i praktycznej, dotyczącej procesu azotowania pod obniżonym ciśnieniem oraz właściwości uzyskanych warstw azotowych, w celu stworzenia koncepcji pieca umożliwiającego realizację tego procesu.

W pracy postawiono trzy tezy. Dwie pierwsze zapisano w sposób dość oczywisty i nie wymagają one weryfikacji naukowej. Oczywistym jest, że stan powierzchni wpływa na proces azotowania (jak i każdej innej obróbki cieplno-chemicznej), a właściwości uzyskanych warstw można modyfikować poprzez sterowanie i kontrolę parametrów procesu. Uwzględniając uzyskane w pracy wyniki, można było tezy te bardziej uszczegółowić. Teza trzecia dotyczy opracowanej przez Doktoranta metodyki i nie budzi zastrzeżeń.

Zakres pracy jest rozległy i można w nim wyróżnić trzy obszary odpowiadające postawionym tezom, co Autor w sposób przejrzysty przedstawił w postaci graficznej.

5. Uwagi merytoryczne i dyskusyjne

1. Podczas analizy wpływu temperatury na grubość warstwy związków, Autor wykazuje pewne nieścisłości literaturowe. Jednak przytoczone z literatury przykłady dotyczą trzech różnych materiałów: stali nierdzewnej (o nie podanym oznaczeniu), stali 31CrMoV9 oraz stali niestopowej C45. (str. 19, 20)

Czy takie porównanie ma sens bez komentarza uwzględniającego wpływ dodatków stopowych na proces azotowania?

2. „Zgodnie z literaturą zależność pomiędzy grubością warstwy azotowanej a czasem obróbki przedstawiona jest za pomocą następującego wzoru:

$$NHD = D_N \cdot \sqrt{t}$$

Ze względu na fakt, iż wpływ czasu jest czynnikiem występującym pod postacią pierwiastka kwadratowego, należy spodziewać się spadku szybkości wzrostu warstwy azotowanej wraz z wydłużeniem czasu procesu” (str. 21, 22)

Czy na pewno tak należy interpretować tę zależność matematyczną?

3. „Procesy azotowania zostały przeprowadzone na stanowisku badawczym..... który został zmodyfikowany celu zapewnienia wymaganej miarodajności, wiarygodności oraz powtarzalności wykonywanych procesów.” (str. 43)

Co Autor rozumie pod pojęciem miarodajność, wiarygodność, powtarzalność i przy pomocy jakich parametrów je określał?

4. Na jakiej podstawie do oceny struktury geometrycznej powierzchni wybrano parametr chropowatości Ra . Do analiz naukowych zaleca się i przyjmuje parametr Rq , który ma właściwości statystyczne. Jest to odchylenie średniokwadratowe rzędnych profilu, a więc jest on równy statystycznie odchyleniu standardowemu rzędnych profilu i wykazuje mniejszą wrażliwość na pojedyncze „piki” profilu, będące z reguły jego zakłóceniem.
5. Dlaczego w badaniach użyto stali 41Cr4 i 42 CrMo4 poddane uprzednio hartowaniu oraz wysokiemu odpuszczaniu, natomiast stale WLW i WCL w stanie zmiękczonej. (str. 45)
6. Skoro odstęp pomiędzy odciskami przy pomiarze mikrotwardości wynosił 20 μm , to skąd uzyskano wartości grubości stref dyfuzyjnych 159 i 252 μm ? (str. 60) Czy są to wartości średnie z pomiarów?
7. W rozdziale 7.3. Badanie wpływu chropowatości powierzchni na wynik procesu azotowania (str. 64) wymieniono jako materiał badawczy stal 42CrMo4 w stanie dostawy. Dlaczego nie w stanie ulepszonym cieplnie, tak jak opisano w metodyce?
8. Wyniki pomiaru chropowatości powierzchni na przedstawionym rys. 41 (str. 66) nie uwzględniają niepewności pomiaru – przedziałów ufności. Przyjęcie pojedynczego pomiaru chropowatości za wynik zgodny z rzeczywistością jest raczej nie do przyjęcia.
9. Czym można wytłumaczyć nieciągłości w podłożu zauważalne na zdjęciach struktury po procesie azotowania – rys. 42 (str. 67).
10. „Na otrzymane wyniki mogło mieć wpływ powstanie warstwy tlenku żelaza na powierzchni badanych próbek. Jej występowanie widoczne jest na załączonych zdjęciach struktur – Rys. 42.” (str. 71) Szkoda, że Autor ich nie zaznaczył na zdjęciach, pomimo, że przypisuje im istotną rolę.
11. Zdaniem recenzenta, skoro w warstwie zewnętrznej występuje porowatość charakteryzująca się różną wielkością i gęstością porów (str. 71), to można było pokusić się o określenie parametryczne porowatości tej strefy. W omówionej w części teoretycznej pracy metodzie Nitralox®, pory wykorzystywane są do impregnacji polimeru.
12. Dlaczego w dalszych badaniach stosowano szlifowanie papierem ściernym P320, skoro graniczną wartość chropowatości 0,330 μm osiągnięto dla obróbki papierem P 800 (str. 72). W jaki sposób przeprowadzono proces szlifowania? Na polerce automatycznej – do zglądów? Tego nie opisano w metodyce.
13. Zaproponowany „czas szlifowania” próbek w celu usuwania zewnętrznych warstw próbki jest niezasadny i nie daje żadnych informacji o głębokości na jakiej wykonywane były poszczególne pomiary, których wyniki przedstawiono na rys. 53 (str. 77). Należało,

zdaniem recenzenta, posłużyć się parametrem odległości od powierzchni. Nie wiadomo jaką grubość warstwy materiału zdjęto w czasie 30 s obróbki mechanicznej. W jaki sposób realizowano proces szlifowania? Może celowym byłoby trawienie próbek w celu usunięcia warstw materiału?

14. Niefortunny wydaje się tytuł podrozdziału 7.5. Optymalizacja temperatury azotowania. Optymalizacja powinna być przeprowadzona w oparciu o funkcję, której szukamy ekstremum. W pracy zależności matematycznej nie ustalono.
15. Dlaczego w badaniach wpływu temperatury na proces azotowania przyjęto temp. 700° C. to znacznie powyżej stosowanych temperatur w procesie azotowania (480 – 500) i blisko temperatury przemiany austenitycznej?
16. „Grubość strefy porowatej skorelowana jest z temperaturą procesu.” (str. 92). Na jakiej podstawie postawiono takie stwierdzenie, skoro nie określono współczynników korelacji?
17. W interpretacji wyników badań (str. 92) Autor zwraca uwagę na występowanie dodatkowej pośredniej struktury, którą na podstawie informacji literaturowych określa jako warstwę austenitu. Dlaczego oparto się na informacjach literaturowych, a nie wykonano badań metalograficznych, które potwierdziłyby postawioną tezę?
18. Na jakiej podstawie przyjęto temperaturę 540° C jako optymalną? (str. 93)
19. „Brak korelacji wartości ciśnienia dotyczył wszystkich badanych parametrów warstwy azotowanej...” (str. 105) Korelację i jej siłę określamy na podstawie współczynnika korelacji. O takim Autor nie wspomina w metodyce, nie przedstawia w wynikach badań. W związku z powyższym uważam to stwierdzenie za zbyt odważne.
20. „W przypadku strefy dyfuzyjnej, wartość jej grubości wynosiła średnio...”(str. 105). Jeżeli wartość średnia, to warto opisać w metodyce z ilu próbek/badań oraz podać niepewność.
21. „W rozdziale 7.4. otrzymano wyraźny związek pomiędzy zaproponowanym profilem twardości, strukturą warstwy związków oraz profilem zawartości azotu” (str. 111). Wyraźny związek powinien zostać opisany zależnością matematyczną, której w pracy nie zamieszczono.
22. „Wykonane badania potwierdziły użyteczność stosowania azotowania austenitycznego w przypadku wymagania wysokiej grubości warstwy, przy jednocześnie niskich wymogach odnośnie właściwości mechanicznych” (str. 112). Stwierdzenie wydaje się nieco nietrafione. Badaniom poddano materiały stosowane na wały, koła zębate, czy narzędzia, więc nie można stwierdzić, że nie wymaga się od tego typu części niskich wymogów dotyczących właściwości mechanicznych.
23. „Przeprowadzone badanie umożliwiło zmniejszenie grubości warstwy związków, z zachowaniem jej twardości, przy jedynie niewielkim zmniejszeniu wartości jej strefy dyfuzyjnej. Stanowi to bardziej ekonomiczny wariant kontroli warstwy azotowanej, znacznie ograniczający zużycie gazów roboczych (str. 113). Raczej bardziej ekonomiczny wariant wytwarzania warstwy azotowanej.

6. Poziom edytorski rozprawy

Praca napisana jest poprawnym poziomie edytorskim. Wszystkie niedoskonałości i usterki redakcyjne (głównie: stosowanie dowolności w zaznaczaniu kursywą zmiennych), oraz błędy stylistyczne zaznaczyłem w tekście rozprawy. Naniósłem je ręcznie w przesłanej mi

kopii pracy, przedstawiłem na spotkaniu Autorowi z zaleceniem korekty w przyszłych opracowaniach. Uwagi te nie obniżają w sposób znaczący poziomu pracy, a niektóre z nich mają charakter dyskusyjny. Mają one na celu zwrócenie uwagi na staranność w opracowywaniu wyników badań oraz podniesienie jakości przyszłych rozważań i opracowań Doktoranta.

7. Osiągnięcia naukowe i badawcze pracy

W świetle analizy wyników badań oraz przedstawionych wniosków można wymienić następujące osiągnięcia naukowe i badawcze pracy:

- ważnym osiągnięciem pracy jest opracowanie własnej koncepcji stanowiska do azotowania pod obniżonym ciśnieniem,
- wyznaczenie wpływu temperatury na proces azotowania pod obniżonym ciśnieniem,
- wyznaczenie wpływu chropowatości powierzchni na strefę dyfuzyjną oraz budowę warstwy związków,
- opracowanie metody wykonywania profilu mikrotwardości,
- wykazanie związku pomiędzy profilem mikrotwardości, strukturą warstwy oraz profilem zawartości azotu,
- ważnym osiągnięciem jest opracowanie i weryfikacja metody badawczej warstw azotowanych wykorzystującej rozszerzone profile mikrotwardości,
- istotnym osiągnięciem pracy jest pozyskanie teoretycznej oraz praktycznej wiedzy z zakresu sterowania właściwościami warstwy azotowanej obrabianych elementów,
- wykorzystanie nowoczesnych przyrządów oraz technik pomiarowych.

8. Końcowa ocena pracy

Na podstawie analizy treści rozprawy, poruszonych problemów badawczych i naukowych, a także zastosowanych metod ich rozwiązania i uzyskanych wyników stwierdzam, że **ogólna ocena pracy jest pozytywna**.

Na takie stanowisko składają się następujące fakty:

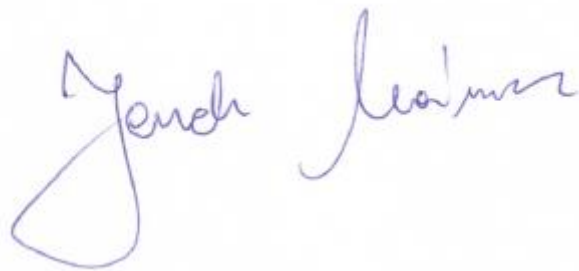
1. Opiniowana rozprawa doktorska dotyczy ważnych i aktualnych problemów obróbki cieplno-chemicznej (azotowania), związanych z wytwarzaniem WW na elementach stalowych.
2. Zadania badawcze oraz analiza uzyskanych wyników badań pod względem metodologicznym, zostały przeprowadzone poprawnie.
3. Realizacja badań doświadczalnych wraz z analizą wyników, świadczy o dobrym przygotowaniu inżynierskim i naukowym autora.
4. Praca wnosi nowe i wartościowe informacje dotyczące procesu azotowania stali oraz stanu konstytuowanej w tym procesie WW.
5. Uzyskane rezultaty mogą zostać wykorzystane w projektowaniu procesów technologicznych obróbki cieplno-chemicznej (azotowania) elementów stalowych.

Autor rozprawy wykazał się w trakcie jej realizacji:

1. Przygotowaniem do samodzielnego prowadzenia badań doświadczalnych w aspekcie materiałowym.
2. Umiejętnością formułowania problemów badawczych, doboru właściwej do problemu badawczego metodyki, oraz umiejętnością poprawnego wnioskowania.

3. Wiedzą w zakresie obróbki cieplno-chemicznej
4. Umiejętnością opracowywania i analizy wyników badań
5. Umiejętnością pozyskiwania i analizy wiedzy z literatury technicznej i naukowej.

Na podstawie powyższych uzasadnień wyrażam opinię, że rozprawa doktorska pt.: „**Badanie procesu azotowania stali ze szczególnym uwzględnieniem obniżonego ciśnienia**” autorstwa mgr inż. Marcina Monety, jest samodzielnym i oryginalnym opracowaniem technologicznym. Ponieważ spełnia ustawowe wymagania stawiane pracom doktorskim (ustawa Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r., Dz. U. 2018, poz. 1668, art. 187) wnoszę o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Janek Jankowski". The signature is written in a cursive, flowing style.