

Lublin, dn. 2023-08-10

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Piotra Biskupa pt.:

**„Wpływ zastosowania napawania metodami o wysokiej gęstości energii na odporność ścierną i korozyjną napoin”**

wykonanej pod opieką promotora Pana dr hab. inż. Leszka Łatki, prof. uczelni

### Uwaga formalna

Opinię niniejszą opracowano na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej, na podstawie przesłanego do mnie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Prof. dr hab. inż. Zbigniewa Gronostajskiego z dnia 28.06.2023 r.

### **1. Charakterystyka i ocena formalna rozprawy**

Rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Biskupa przedstawiona została w postaci zwartej opracowania na 151 stronach formatu A4. Struktura opracowania nie odbiega od przyjętych standardów dla tego typu prac i została podzielona na 15 numerowanych rozdziałów. Pierwszy rozdział (wstęp) został poprzedzony wykazem skrótów i symboli odnoszących się m.in. do stosowanych w pracy metod badawczych. We wstępie Autor m.in. charakteryzuje rodzaje zużycia występujące w przedsiębiorstwie KGHM Polska Miedź S.A. Oddział Huta Miedzi Legnica oraz wprowadza w tematykę regeneracji części maszyn. W rozdziale drugim dokonano przeglądu danych literaturowych związanych z problematyką rozprawy, gdzie scharakteryzowano rodzaje zużycia elementów maszyn oraz przedstawiono informację wprowadzające do złożonej problematyki napawania powłok odpornych na zużycie, skupiając głównie uwagę na: napawaniu łukowym w osłonie gazowej drutem rdzeniowym, napawaniu plazmowym i laserowym. W części tej pracy Doktorant tworzy odważnie, choć na wyrost termin „*napawalność*”, który jak sam przyznaje nie znajduje odzwierciedlenia w literaturze oraz normatywach spawalniczych. Odbiegając już od trafności tak zdefiniowanego terminu, nie wiadomo w jakim celu jest on proponowany skoro



w dalszej części pracy (zarówno przeglądowej jak i eksperymentalnej) Autor się już do niego nie odnosi. Rozdział ten kończy się trafnym i właściwym podsumowaniem z przeprowadzonych studiów literaturowych na podstawie, których Autor w rozdziale trzecim formuje tezę oraz określa dwa cele: naukowy i użytkowy. Szkoda, że w tym miejscu zabrakło zwartych w chociażby w wypunktowanej formie pewnych konkluzji z tego przeglądu. Trzeci rozdział zatytułowano *Teza cele oraz zakres pracy* – niestety ale w tym miejscu pomimo tego, że tak sugeruje tytuł zabrakło przedstawienia zakresu badań. Właściwie zakres ten scharakteryzowano dopiero w rozdziale 4, gdzie Autor prezentuje w formie graficznej, a następnie krótko charakteryzuje poszczególne etapy badań. W tym miejscu należy zaznaczyć, że teza i cele pracy postawione są jasno i poprawnie. Kolejny rozdział czwarty stanowi część eksperymentalną („*Badania własne*”), w której Doktorat określa zakres pracy umożliwiających osiągnięcie postawionych celów, charakteryzuje materiały badawcze, opisuje metodykę oraz analizuje wyniki badań makro- i mikrostrukturalnych, twardości, odporności na zużycie ścierne oraz korozyjne, - odpowiednio we właściwych podrozdziałach. Cel, zakres tematyczny i metodyka badawcza wskazane w rozprawie doktorskiej są dopasowane do dyscypliny *inżynieria mechaniczna*. Rozdział piąty stanowią wnioski z badań: 9 wniosków o charakterze poznawczym i 13 o charakterze użytkowym. W tej sekcji pracy Autor wskazuje na potrzebę kontynuacji i kierunki przyszłych badań. Kolejne rozdziały 6 i 7 zatytułowane odpowiednio kolejno: *Odniesienie do celów naukowych i użytkowych* oraz *Weryfikacja słuszności postawionej hipotezy* w ocenie recenzenta są nie potrzebne, bo nic nie wnoszą do pracy. Jako konkluzję z tych rozdziałów można było zamieścić informację w rozdziale 8 - *Podsumowanie*, dodając w nim informację, że w świetle powyższych wniosków z pracy wszystkie cele zostały osiągnięte, a postawiona teza udowodniona. W dalszej części rozprawy, kolejno umieszczono dwa numerowane rozdziały obejmujące - spis rysunków i tabel, co ułatwia analizę treści, a przy tym podnosi jakość opracowania rozprawy oraz rozdziały: *bibliografia* i *wykaz stosowanych norm*.

Wykaz cytowanej literatury zawiera 160 pozycji i w ocenie recenzenta jest on wystarczający do poprawnie przeprowadzonej analizy stanu wiedzy w obszarze tematu rozprawy. Głównie jest to literatura zagraniczna o zasięgu międzynarodowym, przy czym blisko 57% pozycji literatury jest nie starsza niż 10 lat, co dodatkowo świadczy, że tematyka badawcza jest aktualna i warta podejmowania dalszych badań w tym zakresie. Zaznaczyć należy przy tym, że wśród cytowanej literatury odnotowano jedną pozycję współautorską Doktoranta (tj. poz. 57).

Pracę zamykają kolejno numerowane rozdziały: „*Od Autora*”, streszczenie w języku polskim i angielskim oraz *Załącznik 1* (nienumerowany rozdział - dodatek). Załącznik ten stanowi swoistą wartość dodaną pracy, gdzie w formie tabeli Autor dokonał analizy rodzajów zużycia występujących w Hucie Miedzi Legnica. Ta tabelaryczna analiza podkreśla i dodatkowo utwierdza w słuszności



przyjętej koncepcji badań związanych z poszukiwaniem rozwiązań technologicznych z obszaru spawalnictwa, które mogłyby się sprawdzić w przedsiębiorstwie.

Pomimo pewnych drobnych potknięć układ pracy należy uznać za jasny i przejrzysty. Doktorant w sposób dostatecznie poprawny opanował stosowanie zwrotów i opisów technicznych, a terminologia i pojęcia stosowane w pracy są stosowane zasadniczo poprawnie.

Tytuł przedstawionej rozprawy „*Wpływ zastosowania napawania metodami o wysokiej gęstości energii na odporność ścierną i korozyjną napoin*” w pełni koresponduje z treścią zawartą w pracy. Mimo na ogół w miarę poprawnej redakcji pracy, Doktorant nie ustrzegł się pewnych uchybień i nieścisłości. Niektóre sformułowania są użyte w pracy niezręcznie lub niewłaściwie:

1) Autor bezkrytycznie wielokrotnie zamiennie stosuje terminy do następujących określeń:

- „*tribologia*” oraz „*trybologia*”, poprawnie powinno być *tribologia* jako pochodna słów greckich „*tribos*”-tarcie i „*logos*”-nauka;

- „*ubytek masowy*” oraz „*ubytek wagowy*”, poprawnie powinno być *ubytek masowy*;

- „*własność*” oraz „*właściwość*” stosowane są zamiennie w pracy do określania tych samych cech – osobiście w tym przypadku jestem zwolennikiem konsekwentnego nazewnictwa nie wdając się przy tym w spór środowiskowy odnośnie prawidłowości powyższego terminu;

- „*matryca*” oraz „*osnowa*”, poprawnie powinno być *osnowa* z ang. *matrix*, *matryca* oznacza formę, w niektórych opracowania w języku polskim się nawet ona przyjęła, a jej geneza wynika z dosłownego tłumaczenia z języka angielskiego;

2) str. 17 rys. 2.6b – brak jednostki i oznaczeń wartości na osi rzędnych wykresu;

3) str. 19 czytamy „...*jeżeli: stosunek  $F_1/F_2=0$  zjawisko nazywamy mikroskrawaniem...*” z punktu poprawności działań matematycznych iloraz dwóch wielkości nie może być równy zero, dalej mamy również: „...*jeżeli stosunek  $0 \leq F_1/F_2 \leq 1$  zjawisko nazywamy rysowaniem...*” przy tak zdefiniowanym przedziale możliwe są wszystkie warianty mechanizmów zużycia, zarówno bruzdowanie, mikroskrawanie i rysowanie,

4) str. 34 rys. 2.25b – podano błędnie wzór na pole przekroju poprzecznego drutu rdzeniowego proszkowego;

5) literówki bądź mylenie słów tzw. przekręcanie wyrazów, które wypacza ich znaczenie, a w niektórych miejscach brzmi wręcz komicznie i tak dla przykładu:

- str. 32 „*Spawanie łukowe drutem elektrodowym proszkowym o rdzeniu tonikowy...*” powinno być „...o rdzeniu topnikowym...”;

- str. 60 mamy „...*może być wynikiem zabiegów ciepłych.*” powinno być – „...*zabiegów cieplnych*”



- str. 84 czytamy „*Ścierniwo stanowił granat glinokrzemianowy...*” powinno być „*Ścierniwo stanowił garnet glinokrzemianowy...*”

- str. 125 mamy „*...ilość niegodności spawalniczych...*” powinno być „*...ilość niezgodności spawalniczych...*”

6) liczne błędy stylistyczne (wynikające m.in. z braku podmiotu lub orzeczenia, zmiany szyku zdania itp.) i tak poniżej dla przykładu tylko próbka tego co można znaleźć w pracy:

- str. 25 mamy „*W ramach różnych gatunków stali nierdzewnych, w tym austenitycznych i martenzytycznych stali nierdzewnych, są szeroko stosowane w wielu różnych zastosowaniach przemysłowych, gdzie właściwości mechaniczne, takie jak wytrzymałość, odporność na zużycie trybologiczne i nietrybologiczne muszą być wysokie.*” - brakuje podmiotu w zdaniu. Poprawnie powinno być: „*Stale nierdzewne w ramach różnych gatunków, w tym austenitycznych i martenzytycznych, stosowane są szeroko w wielu różnych zastosowaniach przemysłowych, gdzie właściwości mechaniczne, takie jak wytrzymałość, odporność na zużycie tribologiczne i nietribologiczne muszą być wysokie.*”

- str. 74 czytamy „*Ponadto wzrost równoramiennych ziaren dendrytycznych w pobliżu górnej krawędzi warstwy, podobnie jak w przypadku obserwacji ujętych w [113] [114] [115].*” – brak orzeczenia w zdaniu;

- str. 86 czytamy „*Ubytek materiału w warstwie wierzchniej podczas zużycia ściernego sklasyfikowano jako żłobienie związane z odkształceniem plastycznym powierzchni styku.*” – ubytek materiału nie jest klasyfikowany jako żłobienie, a mechanizm zużycia związany z tym ubytkiem można sklasyfikować jako żłobienie;

- str. 92 czytamy „*Struktury badanych napoin, w zależności od zastosowanego materiału, wykazywały odmienny charakter zużycia...*” powinno być: „*Materiał badanych napoin, w zależności od rodzaju struktury, wykazywał odmienny charakter zużycia...*”;

- str. 123 wniosek nr 2 sformułowany niepoprawnie stylistycznie – czytamy: „*Wyższa odporność na ścieranie napoin kompozytowych wynika z obecności jednolitych, twardych faz w matrycy osadzonych w plastycznej osnowie metalowej.*”, powinno być – „*Wyższa odporność na ścieranie napoin kompozytowych wynika z obecności jednolitych, twardych faz osadzonych w plastycznej osnowie metalowej.*”

7) używanie niepoprawnych sformułowań w kontekście opisu podatności na korozję np.: str.27 „*...zjawisko uwrażliwienia na korozję...*”, również na str. 121 „*Uwrażliwienie napoiny na korozję...*” dalej na tej samej stronie „*...efekt uwrażliwienia na korozję...*”

8) str. 62 jest „*...zjawiska zmęczenia termicznego*” porwanie powinno być „*...zjawiska zmęczenia cieplnego*”;



- 9) Rys. 4.19 - dotyczący analizy EDS powierzchni wytarcia próbki F/SK900/1D2 po testach zużycia ściernego nie powinien być analizowany w roz. 4.4. *Wyniki badań dla pojedynczych ściągów* tylko w rozdziale 4.5.2 odnoszącym się do wyników zużycia ściernego.
- 10) powtórzenie tego samego tekstu, na dole str. 68 czytamy: „*Analiza składu chemicznego w zaznaczonym obszarze na przekroju napoiny P/SK600/111 (Rys. 4.22) wykazała brak nagłej zmiany składu chemicznego w obszarze napoiny, począwszy od napoiny, przez strefę wtopienia częściowego wymieszania, aż do materiału.*” – ten sam tekst występuje na kolejnej stronie za rys. 4.21.
- 11) str. 70 jest „*...na podłoże ze niskowęglowej osadzono...*” powinno być „*...na podłoże ze stali niskowęglowej osadzono...*”
- 12) str. 74 nieprawidłowe podpisy dotyczące fotografii mikrostruktur patrz rys. 4.26 b i 4.26c. Powinno być w przypadku rys. 4.26b – „*mikrostruktura obszaru przy linii wtopienia napoiny*”, a w przy rys.4.26c - „*mikrostruktura obszaru napoiny*”;
- 13) str. 83 czytamy: „*napawanie pełnych warstw*”, dalej ta sama strona „*...wykonane pełne warstwy...*” i potem w dalszej części pracy wielokrotnie podobne zapisy, stąd tu kieruję pytanie czy mogą być „*nie pełne warstwy?*”;
- 14) str. 84, Autor używa do opisu grupy próbek określenia błędnie - „*populacja*”, która odnosi się do grupy osobników danego gatunku;
- 15) str. 97 Autor mylnie nazywa „*...powierzchniową analizę składu chemicznego EDS.*” w kontekście omawiania rys. 4.50 , dla którego wykonano analizę punktowa EDS;
- 16) str. 102 nieprawidłowo jest: „*...w wyniku niewystarczającej adhezji na styku ziarno-osnowa.*”, a poprawnie powinno być „*...w wyniku niewystarczającej adhezji na granicy faza zbrojąca-osnowa.*”
- 17) str. 111 jest „*Beilbylego*” powinno być „*Beilby'ego*”
- 18) Autor nie zadał sobie trudu aby opisać innymi słowami analizę dotyczącą rys.4.78, tylko w tym miejscu dosłownie skopiował obszerny opis analizy dotyczący rys. 4.77.
- 19) str. 124 – nieprawidłowo sformułowany podpis Tab. 12, gdyż w zasadzie jest to wybór najkorzystniejszych technologii napawania od właściwości użytkowych.
- 20) str. 124 Tab.12 błąd w podaniu wartości względnej odporności na ścierania dla metody LMWD (drut SK600) jest 2,79 a powinno być dużo poniżej - ok. 1,8.
- 21) str. 50 rys. 4.6 oraz str. 53 rys. 4.8 dodano po 5 reprezentatywnych zdjęć decydując się na pokazanie przykładowych napoin, warto byłoby przy tym opisać rysunki chociaż symbolami aby wiadomo było, które z nich były wykonane jakim drutem i przy jakich parametrach.



Mając na uwadze powyższe stwierdzenia, pod względem formalnym praca została opracowana poprawnie, jej struktura odpowiada przyjętym zasadom dla rozpraw doktorskich, a objętość wynika z potrzeby opisu przeprowadzenia obszernego programu badań.

## 2. Ocena merytoryczna pracy

Zużycie ściernie i korozyjne stanowi poważny problem eksploatacyjny, którego mechanizm i skutki stanowią przedmiot badań wielu uczonych. Ośrodki przemysłowe stawiają coraz to wyższe wymagania w poszukiwaniu niezawodnych powłok, o wysokiej odporności na zużycie w różnych środowiskach eksploatacji, które mogłyby się dobrze sprawdzić szczególnie w obszarze regeneracji części maszyn i urządzeń. Wybór odpowiedniej technologii do regeneracji podyktowany jest często rodzajem materiału podłoża, geometrią wyrobu, warunkami eksploatacyjnymi, a nawet względami ekonomicznymi. Dane literaturowe wskazują, że zastosowanie technik napawania o wysokiej gęstości energii może przyczynić się do zwiększenia odporności ścierniej i korozyjnej powierzchni roboczych części maszyn. Ponadto Doktorant w podsumowaniu z analizy studiów literaturowych wskazuje, że *„dostępne zasoby literaturowe w niewielkim stopniu odnoszą się do zagadnień wielofunkcyjnych powłok napawanych w zastosowaniach przemysłowych pracujących w złożonych warunkach w których jednocześnie występuje proces zużycia ściernego i korozyjnego”*. Autor rozprawy odnajduje więc inspirację do podjęcia badań w powyższym obszarze. Z badań własnych Doktoranta realizowanych w przedsiębiorstwie (Huta Miedzi Legnica) wynika, że elementy regenerowane metodami spawalniczymi spełniają swoje funkcje użytkowe niejednokrotnie przewyższając trwałość nowych elementów. Co tylko utwierdza w przekonaniu o prawidłowo obranej koncepcji planu badawczego i słuszności badań podjętych w powyższej rozprawie doktorskiej. Powłoki do badań wykonano trzema metodami spawalniczymi stosując: napawanie łukowe drutem elektrodowym proszkowym (*Flux Cored Arc Welding*), napawanie plazmowe (*Plasma Transferred Arc*) oraz napawanie laserem (*Laser Metal Wire Deposition*). Do badań wykorzystano dwa komercyjne typy drutów proszkowych z rdzeniem metalicznym: Bohler SK 600-G (o jednofazowej strukturze martenzytycznej) oraz Bohler SK 900 Ni RTC-G (o strukturze kompozytowej zawierającej WC w osnowie niklu z dyspersyjnymi wydzieleniami boru). Tematykę badań uważam za aktualną i istotną nie tylko z naukowego punktu widzenia ale również utylitarne. Uzyskane wyniki doboru parametrów napawania w kontekście badań odporności na zużycie ściernie oraz korozyjne powłok mogą stanowić cenną informację dla konstruktorów i technologów przy doborze materiałów do regeneracji i projektowaniu maszyn nie tylko w Hucie Miedzi Legnica ale również innych zakładach o podobnym profilu zmagających się



z trudnymi warunkami eksploatacyjnymi. Dlatego też wybór tematyki pracy jest w pełni uzasadniony, a sformułowanie tematu rozprawy poprawne.

Na podstawie analizy stanu wiedzy Autor przyjął następującą tezę:

*„Napawanie metodami o wysokiej gęstości energii umożliwia wytworzenie napoin o zwiększonej odporności na ścieranie i korozję w porównaniu do warstw wykonanych metodami konwencjonalnymi”*

oraz sformułował cel naukowy pracy:

*„Celem naukowym rozprawy jest określenie wpływu parametrów procesu oraz warunków technologicznych napawania łukowego, plazmowego i laserowego na strukturę powstałych napoin oraz własności użytkowe.”,*

a także cel użytkowy:

*„Celem użytkowym rozprawy jest dobór warunków napawania plazmowego oraz laserowego warstw o podwyższonej odporności na zużycie ścierne i korozję w odniesieniu do napoin wykonanych metodami konwencjonalnymi.”*

Przedstawione przez Doktoranta cel i tezy uważam za właściwe, sformułowane w miarę jasno i klarownie. Doktorant właściwie zaplanował i zrealizował program badań. Dla osiągnięcia celu i udowodnienia tezy wykorzystał szerokie spektrum metod badawczych obejmujących m.in. badania makroskopowe, mikroskopię świetlną, mikroskopową analizę SEM połączoną z analizą składu chemicznego EDS, pomiary twardości metodą Vickersa, stanowiskowe badania zużycia ściernego, pomiary profilometryczne chropowatości śladów zużycia oraz badania korozyjne w komorze solnej. Metodologia badań i zrealizowany program jest w miarę dobrze opisany i świadczy o dobrym przygotowaniu Autora w obszarze współczesnych metod pomiarowych i planowania eksperymentu.

Doktorant wykonał obszerne (zważywszy na liczbę próbek właściwą dla grup badawczych) badania odporności na ścieranie (test rubber wheel) oraz badania odporności na korozję w obojętnej mgle solnej. Wprawdzie deklarowana przez Autora koncepcja badań wynikała z poszukiwania synergizmu oddziaływania zjawisk tribologicznych i korozyjnych na powłoki napawane, ale korzystne rezultaty z badań realizowanych w osobnych warunkach na zużycie ściernie oraz korozyjne wskazują na duże prawdopodobieństwo, że wytworzone powłoki sprawdzą się również w warunkach jednoczesnego oddziaływania tych czynników.

Autor dokonał analizy procesów zniszczenia oraz identyfikacji mechanizmów powierzchni po testach zużycia. Stopień uszkodzenia powierzchni po testach zużycia ściernego i korozyjnego został udokumentowanych licznymi zdjęciami SEM wspartymi pomiarami składu chemicznego EDS w mikroobszarach, co dodatkowo wzmacnia walory edycyjne recenzowanej pracy. Niestety, w wielu



miejskach poświęconych analizie EDS zabrakło obszerniejszej analizy merytorycznej w treści pracy odnośnie oceny prezentowanego materiału graficznego.

Całość pracy dopełnia 9 wniosków o charakterze poznawczym i 13 o charakterze użytkowym z przeprowadzonych badań, które poprawnie się komponują z postawionymi tezą i celami pracy. Przy czym, w tym miejscu należy wspomnieć, że wniosek 9 (poznawczy) nie wynika bezpośrednio z badań Autora (patrz komentarz 17 w sekcji „3. Uwagi...”).

Należy podkreślić, że koncepcja badań i sposób podwyższenia właściwości użytkowych elementów części maszyn i wyrobów w Hucie Miedzi Legnica są trafne. Autor rozprawy skupił się przede wszystkim na czynnikach o charakterze użytkowym a niewielki nacisk przełożył na poprawność stylistyczną opisywanych zjawisk. Taką sytuację można zapewne usprawiedliwić niewielkim doświadczeniem publikacyjnym, gdzie podczas realizacji doktoratów wdrożeniowych uwaga Doktoranta skupia się głównie na rozwiązaniu problemu w danej firmie.

Podsumowując rozprawa jest oryginalna i ma charakter zarówno poznawczy, ponieważ wnosi nowe elementy do wiedzy o strukturze i właściwościach przeciwwyżyciowych napawanych powłok jak i niewątpliwie aplikacyjny, polegający na opracowaniu parametrów procesu napawania metodami o wysokiej gęstości energii z dużym powodzeniem pozwalającym na zastosowanie w Hucie Miedzi Legnica do regeneracji części maszyn pracujących w różnych warunkach eksploatacji.

### **3. Uwagi, wątpliwości i zapytania**

Pomimo na ogół pozytywnego odbioru pracy oraz jej pozytywnej oceny pod względem merytorycznym podczas zapoznawania się z treścią rozprawy nasunęły mi się pewne pytania i uwagi. Proszę o ustosunkowanie się do wyszczególnionych poniżej:

1. Zakres badań pracy obejmował m.in. pomiary twardości metodą Vickersa z zadaniem obciążeniem 1kG/9,807 N/ HV1, a w całej pracy wielokrotnie w opisach tabel i wykresów mamy informacje o mikrotwardości. Według Autora to jeszcze mikrotwardość, a prawidłowo już powinna być to twardość?
2. W charakterystyce próbek napawanych techniką FCAW str. 50 podano niepełną informację, że „*obróbkę cieplną po napawaniu realizowano w temperaturze 210 °C*”. Proszę o podanie informacji o rodzaju obróbki, czasie i warunkach (tj. aparatura, środowisko) dla procesu nagrzewania i chłodzenia.
3. W którym miejscu mierzono szerokość SWC? W Tab. 6 str. 60 nie podano wartości odchylenia standardowego, co może sugerować, że wykonano jeden pomiar lub uzyskano powtarzane co do szerokości obszaru SWC dla każdej grupy próbek.



4. Na stronie 66 odnośnie analizy śladu powierzchni zużycia próbki F/SK900/1D2 czytamy: *„Obecność tlenu prawdopodobnie wynika z utlenienia powierzchni podczas procesu ścierania abrazyjnego. Wytwarza się wówczas wyższa temperatura na powierzchni, co prowadzi do jej miejscowego utlenienia.”* - co wskazuje na sugestię o możliwym wystąpieniu zużycia utleniającego. Czy przy tak dobranych warunkach testu zużycia można mówić o zużyciu utleniającym? Niestety we wnioskach i w dalszym opisie pominięto ten fakt i wskazano jedynie na mechanizmy typowe jedynie dla zużycia ściernego, stąd też kieruję prośbę do Autora o komentarz.
5. Na str. 66 czytamy: *„Spójność strukturalną analizowano po kątem równomierności rozłożenia węglików wolframu w osnowie napoiny. Oznaczone punkty 1 i 2 (Rys. 4.19) znajdują się w osnowie napoiny, punkt 3 w cząstce węgliku wolframu napoiny, natomiast punkt 4 umiejscowiony jest w materiale rodzimym.”* Ten komentarz jest niejasny. Proszę o wyjaśnienie co Autor rozumie przez pojęcie „spójność”. Czy może Autorowi chodziło raczej o jednorodność? Niestety dalej w tekście nie ma żadnych komentarzy dotyczących powyższej analizy, gdyż później już jest zamieszczony kolejny rozdział 4.4.2 dotyczący napawania plazmowego.
6. Autor na str. 71, omawiając wyniki analizy EDS przedstawiane na rys. 4.25 podaje: *„Analiza składu chemicznego w zaznaczonym obszarze wykazała, że występuje nagła zmiana składu chemicznego od składu napoiny (wyraźnie zwiększona zawartość Cr i Ni), poprzez strefę wtopienia i częściowego wymieszania, aż do materiału rodzimego (wzrost zawartości Fe, znaczne obniżenie Cr oraz Si).”* Dlatego kieruję pytanie do Autora skąd takie stwierdzenie skoro powyższa analiza w ogóle nie uwzględnia Cr i Si. Proszę o przedstawienie wyników potwierdzających zgodność tego opisu.
7. Na str. 74 podano następujący opis odnośnie omawianych makro- i mikrostruktur odnoszących się do rys. 4.26 – *„W wyniku intensywnego odprowadzenia ciepła do podłoża, występowały warunki sprzyjające tworzeniu się kolumnowo-dendrytycznych ziaren.”* Niestety ale brak jest potwierdzenia powyższych obserwacji w prezentowanym materiale graficznym.
8. Na str. 78 zauważono pewną niespójność (bądź nieprecyzyjność) w opisie wyników badań twardości odnoszących się do rys. 4.30 oraz Tab. 8, gdzie czytamy: *„Rozkład twardości na przekroju poprzecznym w obszarze napoiny w serii L utrzymywał się na podobnym poziomie (Tab. 8). „ Z analizy wykresu rys. 4.30 wynika że twardość napoiny dla próbki L/SK900/1L4 zawiera się w zakresie ok. 580÷1080HV przy SD ok. ±218HV, z kolei z Tab. 8 odczytujemy twardość dla konkretnie tej próbki na poziomie 688±62HV. Natomiast z analizy wyników (Tab. 8) dla całej serii L średnie twardości zawierają się w przedziale*



- od 566 do 731HV co daje nam blisko 30% różnicę. Podobne podejście o opisie zmian tzw. „poziomów twardości” odnajdujemy również na str. 63 gdzie czytamy: „*Rozkład twardości na przekroju poprzecznym w obszarze napoiny w serii C utrzymywał się na stałym poziomie i mieścił się przedziale od 390 do 521 HVI*” – to daje nam również różnice ponad 30%. Dodatkowo zostając przy komentarzach dotyczących badań twardości, kieruje zapytanie do Doktoranta dlaczego wszystkie wyniki prezentowane na rys. 4.34 mają takie same SD („wąsy”)? Skoro z tab. 8 wynika że wartości SD kształtują się w zakresie 43÷93HV.
9. W pracy stwierdzono rażąca nieścisłość związaną z faktem, iż Autor wielokrotnie stosuje pojęcia: „*pełne warstwy*”, „*struktura warstw powierzchniowych*”, „*na powierzchni warstw napawanych*” itp. W tym miejscu proszę o uzupełnienie wyjaśnienia, co Autor rozumie przez pojęcie „warstwy”, czy w tym przypadku nie powinniśmy mówić już o powłoce?
  10. W pracy podano, że pomiary chropowatości wykonano zgodnie z normami PN-EN ISO, stąd pytanie jak się dobór odcinka pomiarowego do uzyskanych wyników parametrów Ra i Rz dla próbek P/SK900/1J1 i P/SK900/2J1 (Tab.11, str. 93).
  11. Wyznaczenie zużycia względnego wymaga m.in. przeliczenia ubytku masowego zużycia na zużycie objętościowe. Niestety ale w pracy nie podano nigdzie informacji o wielkości zużycia objętościowego lub przynajmniej o gęstości materiałów z których wykonano napoiny.
  12. Na str. 110 i następnie str. 111 zauważono pewną niespójność (bądź nieprecyzyjność) w opisie wyników badań korozyjnych odnoszących się do rys. 4.75, gdzie czytamy: „*Wszystkie badane warstwy napawane charakteryzowały się mniejszym ubytkiem masy w porównaniu do materiału podłoża. Najmniejszy ubytek masy stwierdzono dla próbki P/SK900/2J1, największy dla próbki P/SK600/1I1. Dla próbki referencyjnej (S235JR) oraz próbek P/SK600/1I1 i P/SK600/2I2 stwierdzono w przybliżeniu liniową zależność ubytku masy od czasu trwania testu*”. W ocenie recenzenta najmniejszym ubytkiem masy charakteryzują się próbki L/SK600/1K2 oraz L/SK600/1K8, ponadto jeżeli dla każdej z próbek poprowadzić linię trendu i wyznaczyć współczynnik  $R^2$  to prawdopodobnie dla wszystkich badanych wariantów próbek otrzymalibyśmy potwierdzoną zależność liniową.
  13. W kontekście testów korozyjnych w komorze solnej, które są badaniami porównawczymi, kieruję pytanie: z czego wynikała koncepcja nieobrabania powierzchni napoin próbek użytych w tym eksperymencie np. poprzez wykonanie zabiegu szlifowania? Nierównomierny stopień przygotowania powierzchni może powodować nadmierną korozję w miejscach stanowiących zagłębienie, ściekanie produktów korozyjnych na pozostałą część próbki, a tym samym niepoprawną interpretację wyniku finalnego. Czy stopień niejednakowego



- rozwnięcia powierzchni, a tym samym inna wielkość powierzchni aktywnej korozyjnie nie będzie znacząco wpływała na porównanie wyników pomiędzy różnymi grupami próbek?
14. Przy metodyce dotyczącej badań korozyjnych w komorze solnej zabrakło informacji w jaki sposób usuwano produkty korozji z próbek do pomiarów ubytku masy.
  15. W związku z oszczędnym w słowach opisem zmian powierzchni po testach korozyjnych w komorze solnej, kieruję pytanie, czy w przypadku próbek wykonanych z użyciem drutu SK 900 mogły wystąpić wżery w okolicach występowania WC związane z możliwym tworzeniem się mikroogniw galwanicznych w powłoce kompozytowej?
  16. Na str.121 podano, że „...w przypadku warstwy napawanej materiałem SK 600 zauważono korelację twardości z intensywnością korozji...” Proszę o wyjaśnienie w jaki sposób koreluje wielkość twardości z intensywnością korozji, pamiętając, że wszystkie testy wykonano w takich samych warunkach przy takim samym stężeniu NaCl w całej komorze? Również na tej samej stronie podano: „Wielkość wżerów skorelowana jest z wagowym stężeniem chlorków” – bardzo proszę o komentarz w kontekście tego stwierdzenia.
  17. Wniosek nr 9 (o charakterze poznawczym) str. 123 tj. „Stopień korozji wżerowej jest skorelowany ze stopniem chropowatości powierzchni warstwy pasywnej warstwy pasywnej na powierzchni napoiny. W przypadku chropowatości  $R_a > 0,5 \mu\text{m}$  następuje intensyfikacja procesów korozyjnych.” w opinii recenzenta nie jest poparty wynikami badań Autora, - w pracy nie realizowano pomiarów chropowatości powierzchni pasywnej napoin.

W tym miejscu chciałbym zaznaczyć, że powyższe pytania oraz uwagi nie umniejszają mojej pozytywnej opinii o recenzowanej pracy doktorskiej Pana mgr inż. Piotra Biskupa, a praca dotyczy niewątpliwie zagadnień związanych z dyscypliną - inżynieria mechaniczna.

#### 4. Wniosek końcowy

Moja ogólna ocena pracy jest pozytywna. Pan mgr inż. Piotr Biskup w przedłożonej rozprawie doktorskiej zrealizował obszerny i ciekawy program badawczy. Uzyskane wyniki są oryginalne zarówno pod względem poznawczym jak i użytkowym. Doktorant pomimo pewnych niedociągnięć (mających podłoże głównie stylistyczne w poprawnym formułowaniu opisu zachodzących zjawisk i procesów) wykazał się jednak dojrzałością naukową, samodzielnością w planowaniu i realizacji badań, dość poprawną analizą i interpretacją ich wyników zmierzającą do rozwiązania problemu naukowego proponując przy tym oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej, a także ogólną wiedzą teoretyczną z zakresu realizowanej tematyki pracy. Powyższe cechy pozwoliły na osiągnięcie postawionych celów,



sformułowanie wniosków, a w konsekwencji przygotowanie rozprawy na odpowiednim poziomie merytorycznym.

Stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska

Pana mgr inż. Piotra Biskupa

pt.: *Wpływ zastosowania napawania metodami o wysokiej gęstości energii na odporność ścierną i korozyjną napoin*”

spełnia wymagania określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2022 r., poz. 574 z późn. zm.) W związku z tym wnoszę o przyjęcie rozprawy mgr inż. Piotra Biskupa i dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony w dyscyplinie *inżynieria mechaniczna*.

*Marian Dęlar*