

Dr hab. inż. **Santina Topolska**, prof. PŚ  
Katedra Spawalnictwa  
Wydział Mechaniczny Technologiczny  
**Politechnika Śląska**

## RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. **Karoliny Poch** nt.: „**Wpływ parametrów badań magnetyczno-proszkowych na ocenę jakości złączy ze spoiną pachwinową**”

Promotor: dr hab. inż. **Ryszard Krawczyk**, prof. P.Cz.

*Podstawa opracowania: pismo R-WIMiI-510-11/13 z dnia 06.06, 2022 r. Kierownika Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, dra hab. inż. Janusza Szmidla, prof. PCz, wystosowane na podstawie Uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna nr 21/2021/2022 z dnia 28.04.2022 r.*

### **1. Zakres i charakterystyka rozprawy.**

Przedstawiona do recenzji rozprawa obejmuje 132 strony, a w tym: 1 str. spisu treści, 1 str. wykazu skrótów, 1 str. streszczenia w j. polskim, 1 str. streszczenia w j. angielskim oraz 6 str. spisu literatury (78 pozycji) a także oświadczenie autora.

Sama rozprawa składa się ze Wstępu a także 10 zasadniczych rozdziałów oraz 3 rozdziałów końcowych (Podsumowanie wyników badań, Wnioski i Wskazanie kierunków dalszych badań).

**We Wstępie (rozdział wprowadzający)** Autorka rozprawy przedstawia genezę pracy podkreślając, że w przypadku badań magnetyczno-proszkowych *analiza jakości badanych elementów odbywa się na zasadzie oceny i charakterystyki ujawnionych wskazań jako defektów zakłóconego pola magnetycznego obrazujących wielkość oraz kształt występującej nieciągłości*. Zwraca także uwagę, iż *możliwości wykrywania nieciągłości*, w przypadku badań magnetyczno-proszkowych, *zawężana jest zazwyczaj do głębokość do 4 mm bez określenia szczegółowych danych dotyczących warunków badania*. Podkreśla ona, że *nie ma w literaturze źródłowej szczegółowych danych precyzyjnych* wskazane warunki badania. Zwraca także uwagę, że w przypadku wybranego rodzaju spoin *dotychczas można je badać jedynie powierzchniowo, nie zapewniając możliwości badania i oceny rzeczywistego stanu spoiny wewnątrz*. Bazując na tych stwierdzeniach wskazuje ona cel naukowy pracy jako *próbę zastosowania badań magnetyczno-proszkowych do oceny poprawności wtopienia (i braku przyklejeń) w złączach teowych ze spoiną pachwinową*. Podkreśla istotność tego celu, gdyż *brak wtopienia (lub występowanie przyklejenia) może być niewątpliwie przyczyną utraty stateczności konstrukcji*. Słusznie też zwraca uwagę, że wypracowana metodyka badania powinna dawać jednoznaczne wyniki w sposób efektywny pozwalając na prowadzenie badań.

**Do przeprowadzonej przez Doktorantkę analizy w tym rozdziale mam kilka uwag:**

1. Nie zwrócono uwagi, przy omawianiu charakterystyki metody magnetyczno-proszkowej, na przestrzenne ułożenie nieciągłości (na przykład równoległe lub

prostopadle do linii pola). Wskazano natomiast na kształt, jej wymiary oraz głębokość zalegania.

2. W rozdziale tym występuje kilka istotnych stwierdzeń, które nie są poparte analizą bibliograficzną. Na przykład: *dotychczasowa wiedza w tym zakresie związana z oceną czułości badań magnetyczno-proszkowych jest dosyć ogólnikowa i mało precyzyjna*. Proszę o komentarz, na jakiej podstawie taki wniosek został wyprowadzony.

W **rozdziale 1** została zaprezentowana charakterystyka niezgodności spawalniczych. Doktorantka omówiła ich typologię w odniesieniu do normy PN-EN ISO 6520-1 (6 typów klasyfikacyjnych). Wskazała na różnicę pomiędzy niezgodnością a wadą. Omówiła kilka podejść klasyfikacyjnych odnoszących się do niezgodności. Omówiła też przyczyny powstawania niezgodności spawalniczych.

Odnosząc się do zagadnień omówionych we Wstępie podkreśliła konieczność dokładniejszego omówienia niezgodności grupy 4, wskazane jako zakres tematyczny ocenianej pracy. Omówiła zarówno przeklejenia (4011, 4012, 4013), jak i braki przetopu (402). Poddała także analizie wpływ niezgodności na jakość złącza spawanego.

#### **Do przeprowadzonego przez Doktorantkę wywodu w tym rozdziale mam kilka uwag:**

1. Stwierdzenie, co stanowi *podstawowe przyczyny powstawania niezgodności w złączach spawanych* nie zostało poparte wskazaniem literaturowym.
2. W rozdziale używane są naprzemiennie określenia *brak przetopu* i *brak wtopienia*, chociaż norma PN-EN ISO 6520-1 wskazuje na to pierwsze.
3. Nie wskazano niezgodności 4014 (mikroprzyklejenia). Rozumiem, że wynikało to z faktu nie uwzględnienia ich w zakresie pracy.
4. Wydaje się, że lista przyczyn powstawania przyklejeń jest niepełna. Można dodatkowo wskazać na: niewłaściwe przygotowanie złącza lub zanieczyszczenia na brzegach spawanych blach. Również zbyt duży prąd lub za mała prędkość spawania powodują nadpływanie jeziora przed łuk spawalniczy, co powoduje brak przetopu.
5. Numery 1, 2 na rys.1.2 nie są opisane.
6. W definicji braku przetopu (PN-EN ISO 6520-1) mowa jest o różnicy między *rzeczywistym a nominalnym przetopem* a nie wtopieniem.
7. Nie wspomniano o niezgodności 4021 (niepełny przetop grani).
8. Szkoda, że nie wskazano informacji o przyczynach powstawania braku przetopu. Można było zwrócić uwagę na przykład na: źle przygotowane złącze, zbyt dużą średnicę elektrody lub nadmierną prędkość spawania.
9. Omawiając czynniki wpływające na wytrzymałość konstrukcji spawanych Doktorantka nie wskazała źródeł literaturowych.
10. Czy niezgodności spawalnicze nie wpływają, poza wytrzymałością mechaniczną także na przykład na odporność chemiczną? W analizie na końcu tego rozdziału nie zwrócono na to uwagi.

W **rozdziale 2** Doktorantka omówiła problematykę związaną z metodą spawania MAG. Doktorantka omówiła zarówno wady i zalety tej metody, jak i jej parametry technologiczne. Wskazała także na zakres jej wykorzystania. Odnosząc się do wyboru tej metody spawania podkreśliła, że jest ona wykorzystywana w 80% przypadków. Zwróciła także uwagę, że często w jej przypadku występują niezgodności z grupy 4. Stanowi to uzasadnienie dla przyjętego zakresu ocenianej pracy.

Następnie dokonała omówienia zagadnień związanych z kwalifikowaniem technologii spawalniczych. Zwróciła uwagę, że *stosowanie kwalifikowanych technologii spawalniczych przez producentów metalowych wyrobów konstrukcyjnych, stanowi potwierdzenie i dowód na to, że dany proces wytwórczy zostanie zrealizowany zgodnie ze wszystkimi wymaganiami technicznymi i jakościowymi*. Omówiła także etapy samego procesu kwalifikowania technologii.

**Do przeprowadzonego przez Doktorantkę wywodu w tym rozdziale mam kilka uwag:**

1. Opis metody MAG jest trochę zbyt lakoniczny. Należałoby bardziej podkreślić relacje między parametrami tej metody spawania a wybraną 4 grupą niezgodności.
2. W opisie procesu kwalifikowania technologii spawalniczej brak informacji konkretnych odnoszących się do spawania metodą MAG (skoro taki jest tytuł rozdziału). Opis ten odnosi się do każdej technologii spawalniczej.
3. Brak odwołania do rys.1.3 w tekście.
4. Na rys.1.3 niewidoczne jest oznaczenie grubości blachy i nie zostało ono opisane.
5. Brak potwierdzenia literaturowego dla stwierdzenia, że *ponad 80% konstrukcji spawanych, jest wytwarzanych właśnie tą metodą* (czyli MAG).

W **rozdziale 3** zostały omówione zagadnienia związane z problematyką badań nieniszczących. Doktorantka omówiła ich typologię oraz wskazała na ich cechy podstawowe. Omówiła także zagadnienie korelacji między poziomami jakości a poziomami akceptacji dla poszczególnych metod. Słusznie zauważyła, że *dokonując wyboru odpowiedniej metody badań nieniszczących, należy wziąć pod uwagę, jaki rodzaj nieciągłości może znajdować się w badanym elemencie*. Zwróciła także uwagę na relację pomiędzy typem złącza spawanego a efektywnością stosowania danej metody badań (poza badaniami wizualnymi i penetracyjnymi, których efektywność nie zależy silnie od tego parametru). W przypadku badań ultradźwiękowych złączy teowych ze spoiną pachwinową, *przeprowadzenie badania jest możliwe, jednak w oparciu o pisemną procedurę badawczą, opracowaną dla konkretnego przypadku i zatwierdzoną przez personel 3 stopnia a personel wykonujący badania w takim zakresie musi być przeszkolony oraz posiadać bardzo wysokie kwalifikacje gdyż podczas przeprowadzania oceny dla złączy teowych, trudno jest odróżnić niezgodności rzeczywiste od fałszywych wskazań*. Także w przypadku badań radiologicznych napotyka się na trudności w badaniu złączy teowych, co wynika z faktu, iż w złączu tym, w całej jego objętości, mamy do czynienia z różnymi grubościami materiału. Skutkuje to tym, że w przypadku złączy teowych wymagane by było wykonanie nawet kilkunastu ekspozycji, co znacznie podraża koszt wykonania badania. Również łatwymi nie są badania magnetyczno-proszkowe takich złączy jednakże rzeczywiście, w świetle wskazanych informacji wydają się one najbardziej właściwymi dla praktyki przemysłowej, co uzasadnia ich wybór w ramach zakresu niniejszej pracy i potwierdza końcowy wniosek wskazanych w tym rozdziale. Podkreśla ten wniosek stwierdzenie, że metoda magnetyczno-proszkowa *umożliwia wykrywanie zarówno niezgodności powierzchniowych jak i podpowierzchniowych (zalegających wg źródeł literaturowych do 3 mm pod badaną powierzchnią)*.

**Do przeprowadzonego przez Doktorantkę wywodu w tym rozdziale mam kilka uwag:**

1. Do kilku stwierdzeń w tym rozdziale brak odnośników literaturowych. Na przykład wskazanie celów badań nieniszczących lub opis możliwości tych badań.
2. Podrozdział 3.2 (Wybór metody badań) nie zawiera takiego wyboru.

3. Wskazano na podział, na metody badań powierzchniowych i metody badań objętościowych (s.18). Czy nieciągłość objętościowa (badanie objętościowe) nie może być powierzchniowa? A jeśli tak, to czy nie może być badana metodą wizualną? Omawiając podział nieciągłości zaraz przed tym fragmentem Doktorantka nie łączy tych nieciągłości w jedną grupę stąd też dziwi łączenie ich w zakresie metod, gdyż czym innym są metody badań (nieciągłości powierzchniowych) i (nieciągłości) wewnętrznych a czym innym metody badań (nieciągłości) płaskich i (nieciągłości) objętościowych. To są z definicji inne klasyfikacje i nie powinny być, moim zdaniem, mieszane. Proszę o komentarz.
4. Stwierdzenie *metoda ta (magnetyczno-proszkowa) umożliwia wykrywanie zarówno niezgodności powierzchniowych jak i podpowierzchniowych (zalegających wg źródeł literaturowych do 3 mm pod badaną powierzchnią)* nie jest podparta żadnymi powołaniami literaturowymi, o których mowa w tekście.

W **rozdziale 4** przedstawiono pogłębioną analizę procedur i parametrów badań magnetyczno-proszkowych. Doktorantka zwróciła uwagę, że *wyróżnia się badania w polu wzbudzonym tzw. pełnym lub po uprzednim magnesowaniu obiektów- badania w polu wzbudzonym tzw. szczątkowym*. Wskazała, że *według źródeł literaturowych optymalna wykrywalność niezgodności obiektów uzyskiwana jest przy natężeniu pól magnesujących mieszczących się w zakresie 2 – 6 kA/m*. Podkreśliła, że *metoda magnetyczno-proszkowa jest wykorzystywana do wykrywania nieciągłości materiałowych, odznaczających się różnorodnymi kształtami oraz wymiarami*. Omówiła także podstawy fizyki zjawisk magnetycznych odnosząc się do zagadnień podstawowych bez uwzględniania problematyki ferromagnetyków. Wskazała jednak na kwestię powstawania pętli histerezy w przypadku materiałów ferromagnetycznych (wąska dla ferromagnetyków „miękkich” a szeroka dla „twardych”). Omówiła też podział metody magnetyczno-proszkowej na suchą i mokrą. Odnosząc się do pogłębionej charakterystyki suchej zwróciła uwagę, że w tej metodzie *nie została określona bezwzględna czułość proszków i zawieszin magnetycznych*. Natomiast jako parametr stosowalności metody mokrej wskazała jakość (dobrą) powierzchni (*powierzchnia obrobiona mechanicznie, gładka, ciemna oraz matowa*). W rozdziale tym Doktorantka omówiła także wyposażenie stosowane w badaniu magnetyczno-proszkowym oraz stosowane detektory i ich wymagane własności.

Podsumowanie analizy przeprowadzonej w tym rozdziale jest wnioskiem, że *zważywszy na fakt, iż złącza będące przedmiotem badań to złącza teowe najbardziej efektywną wydają się być technika wzbudzania pola magnetycznego za pomocą cewki elektromagnetycznej (przelotowej)*. Stwierdzenie to można określić jako sprecyzowanie zakresu badań. Biorąc pod uwagę wskazane w pracy przesłanki jest ono jak najbardziej uzasadnione.

#### **Do przeprowadzonego przez Doktorantkę wywodu w tym rozdziale mam kilka uwag:**

1. Część stwierdzeń zawartych w rozdziale nie ma potwierdzenia w powołaniach literaturowych. Na przykład stwierdzenie: *wykrywalność niezgodności obiektów uzyskiwana jest przy natężeniu pól magnesujących mieszczących się w zakresie 2 – 6 kA/m*.
2. Na stronie 21 mowa jest, że *metoda ta umożliwia wykrycie ... zalegających na głębokości do 4 mm*. A na stronie 19, że *zalegających wg źródeł literaturowych do 3 mm pod badaną powierzchnią*. Proszę o komentarz.
3. Brak powołania literaturowego do rys.4.1. Pochodzi on z materiałów: TUV Rheinland: Badania magnetyczno – proszkowe MT (1 + 2), materiały szkoleniowe, TUV Akademia Polska Sp. z o.o., 2007

4. Na stronie 23 indukcja magnetyczna  $B$  ma jednostkę [Wb] a powinno być [T].
5. Wzór 4.4 powinien mieć bardziej ogólną postać  $B = \mu H$ . Przenikalność magnetyczna  $\mu_0$  odnosi się do próżni a więc wzór  $B = \mu_0 H$  opisuje zjawiska magnetyczne w próżni. Natomiast ze wzoru ogólnego  $B = \mu H$  przyjmując, że  $\mu = \mu_r \mu_0$  można otrzymać wzór w postaci:  $B = \mu_r \mu_0 H$ . Ponadto do wzoru tego nie można podstawić natężenia pola magnetycznego  $H$  w jednostce kA/m bowiem nie zawiera on stosownego przelicznika a uzyskany wynik będzie błędny (nie w [T] lecz w [kT]).
6. Wzór 4.5 powinien mieć postać:  $M = \chi H$ . Biorąc pod uwagę, że  $\chi = \mu_r - 1$  otrzyma się postać:  $M = (\mu_r - 1) H$  a nie postać wskazaną we wzorze. Proszę o komentarz.
7. Na stronie 26 mowa o ściankach / ścianach domenowych. Czy dotyczy to tylko ścianek Blocha czy też ścian Néela również? Określenie między domenowe jest mniej poprawne wobec przyjętego w literaturze.
8. We wzorze 4.8 użyto symbolu temperatury Curie w postaci  $\Theta$ . Zazwyczaj używa się symbolu  $T_C$ , a symbol  $\Theta$  odnosi się do temperatury Curie-Weissa. Chociaż różnica między nimi jest w zasadzie formalna. I litera  $\chi$  powinna być mała a jest duża  $X$ .
9. Stwierdzenie, że *przy schładzaniu od temperatury Curie, materiały ferromagnetyczne znów stają się magnetykami* jest nieprecyzyjne. One znów stają się ferromagnetykami. Powyżej temperatury Curie są paramagnetykami.
10. Powinno się stosować jednolitość nazw, to znaczy albo elektromagnes jarzmowy albo defektoskop jarzmowy. Proszę sprecyzować te pojęcia.

W **rozdziale 5** zostało zaprezentowane podsumowanie badań literaturowych. W skrócie omówiono cały zakres analiz przedstawionych w poprzednich rozdziałach. Przedstawiono dwie konkluzje, które można uznać za wskazania do przeprowadzenia badań. Po pierwsze zwrócono uwagę na fakt, że *głównym czynnikiem, który przemawia za słuszością zastosowania metody magnetyczno-proszkowej w celu wykrycia niezgodności braku wtopienia oraz przyklejenia w złączach teowych ze spoiną pachwinową jest fakt, iż metodą tą można wykrywać niezgodności zarówno powierzchniowe jak i podpowierzchniowe do 4 mm w głąb spoiny*. Po drugie Doktorantka wskazała, że *metoda magnetyczno-proszkowa daje realne szanse na wykrycie niezgodności z grupy 4 w złączach teowych*. Można uznać te stwierdzenia za w miarę prawidłowo określone wskazania dotyczące celu badawczego ocenianej pracy.

**Do przeprowadzonego przez Doktorantkę wywodu w tym rozdziale mam kilka uwag:**

1. Stwierdzenie, iż *w porównaniu do pozostałych metod badawczych z grupy objętościowych, tj. ultradźwiękowej, radiograficznej, metoda magnetyczno-proszkowa daje realne szanse na ...* nie jest w pracy uzasadnione, gdyż na str.19 nie zaliczono tej metody do badań „objętościowych”.
2. Należy żałować, że Doktorantka nie sprecyzowała bardziej luki badawczej, a mianowicie nie określiła, na podstawie literatury światowej, co już wiadomo w zakresie badań magnetyczno-proszkowych złączy teowych ze spoiną pachwinową.

Oceniając część rozprawy dotyczącą analizy literatury oraz w zakresie problematyki badań magnetyczno-proszkowych złączy teowych ze spoiną pachwinową a także odnoszących się do mechanizmów leżących u podstaw badań magnetyczno-proszkowych materiałów metalowych stwierdzam, że jest to prawidłowo opracowany materiał, świadczący o wiedzy i rzetelności w przygotowaniu mgr inż. Karoliny Poch do podjęcia własnych badań. Mojej opinii nie zmieniają zawarte powyżej uwagi szczegółowe, które w dużej części odnoszą się do edytorskiej strony tej pracy.

W **rozdziale 6** zostały omówione teza, cel i zakres pracy. Doktorantka sformułowała tezę w postaci *badania magnetyczno-proszkowe umożliwiając wykrywanie niezgodności usytuowanych pod powierzchnią badanego elementu. Przy spełnieniu określonych warunków możliwe jest wykrycie przyklejeń i braków wtopienia w złączach teowych ze spoinami pachwinowymi*. Teza ta została wyrażona także w celu pracy, który brzmi: *celem badań jest opracowanie i opis metodyki badań magnetyczno-proszkowych dla oceny występowania niezgodności braku wtopienia oraz przyklejenia w przypadku spoin pachwinowych w złączach teowych*. **W świetle analizy literaturowej uważam tą tezę i wskazany cel za poprawne i odpowiadające wymogom prac doktorskich. Uważam także, że posiadają one walor naukowy.** Zakres pracy został przedstawiony w postaci planu działań w ramach realizowanego zadania badawczego określonego wskazanym poprzednio celem..

**Do przeprowadzonego przez Doktorantkę wywodu w tym rozdziale mam kilka uwag:**

1. Proszę odnieść się do wątpliwości dlaczego nie wskazano zakresu grubości spoin (który jest w relacji do grubości blach), które będą przedmiotem badań, gdyż wcześniej jasno stwierdzono, że granicznej głębokości wykrywania nieciągłości metodą magnetyczno-proszkową to 3 / 4 mm. Zatem czy spoina pachwinowa o szerokości 30 mm też jest brana pod uwagę?
2. Plan prac nie jest zakresem pracy. Nazwa jest moim zdaniem niewłaściwa a część ta nie zawiera prawdziwego zakresu pracy. Zakres pracy to ograniczenia, jakie na pracę są nakładane (na przykład złącza tylko na bazie blach „węglowych”, stosowanie tylko zawiesziny a nie proszku, jako detektora, wykorzystanie cewki otwartej ani defektoskopu jarzmowego). O wyborze cewek otwartych do namagnesowania próbek wspomniano na str. 34, a o stosowaniu tylko zawiesziny na str. 37.
3. Odnosząc się do pkt 2 należy stwierdzić, że wobec deklaracji o stosowaniu cewek otwartych i detektorów w zawieszynie punkt 4 (wybór optymalnej, ze względu na wykrywalność braku wtopienia i przyklejeń, techniki badań magnetyczno-proszkowych) wydaje się dziwnym, chyba, że deklaracje te nie zostały podtrzymane, o czym należałoby poinformować na tym etapie. Rozumiem, że wykazując się sceptycyzmem do danych literaturowych Doktorantka postanowiła sprawdzić swoje założenia wstępne wskazane w tych deklaracjach.

W **rozdziale 7** zostały omówione *przygotowanie do badań, czyli badania czułości wybranych technik wprowadzania pola magnetycznego*. W celu porównania różnych metod wzbudzania pola magnetycznego wykonano płytę wzorcową w celu porównania wykrywalności zasymulowanych nieciągłości struktury. *W płycie tej nawiercono nieprzelotowe, płaskodenne otwory o średnicy  $\varnothing 2$  mm i głębokościach rzeczywistych  $h$  wynoszących odpowiednio: 1,28 mm, 1,82 mm, 2,0 mm, 2,6 mm. Otwory te rozmieszczono w odległościach co 40 mm*. Taki wybór odległości podyktowany był wyeliminowaniem wpływu jednych nieciągłości na inne podczas badania. Następnie przeprowadzono badania wykrywalności tych nieciągłości stosując różne urządzenia do magnesowania. Badania wykonano w zgodzie z wymaganiami normy PN-EN ISO 17638: 2017. Opracowano też instrukcję wykonywania pomiarów.

Niestety w trakcie badań magnetyczno-proszkowych nie wykryto żadnej z tych nieciągłości. Nie pomogło też zwiększenie średnic otworów do 3 mm. Biorąc pod uwagę brak wyników przeprojektowano płytę wzorcową wykonując skośne nacięcie o szerokości 2 mm, biegnące na różnej głębokości przez osie otworów. Odnoszą się do wyników badań Doktorantka stwierdziła, że *tym razem uzyskano wskazania we wszystkich przeprowadzonych próbach. Porównując przedstawione obrazy można zauważyć, iż podczas wzbudzania pola*

*magnetycznego za pomocą elektromagnesu jarzmowego ustawionego na prąd stały, przy obserwacji w świetle ultrafioletowym wyraźnie widać zarys jednego z otworów wykonanych w pierwszej serii badań. Obraz ten jest widoczny na tle dominującego wskazania liniowego. Defektogram ten, może być widoczny dzięki zakłóceniom pola wywołanym przez nieciągłość liniową.*

Podsumowując zaprezentowane badania wstępne należy zwrócić uwagę, że pozwalają one na wyciągnięcie trzech interesujących wniosków:

- z zaprezentowanych metod wzbudzania pola magnetyczne najlepszymi okazały się wzbudzanie pola elektromagnesem jarzmowym na prąd stały (DC) oraz wykorzystanie elektrod stykowych przy natężeniu pola 28kA/m (poziom 70% w stosunku do elektromagnesu jarzmowego DC),
- lepsze wyniki, dla wskazanych metod, wykrywalności dawała metoda z wykorzystaniem zawieszin fluorescencyjnych (według piszącej recenzję jest to poziom 15% dla elektromagnesu jarzmowego i 55% dla elektrody stykowej),
- również dobre wyniki uzyskano dla cewki dającej natężenie pola 4 kA/m (poziom 80% w stosunku do elektromagnesu jarzmowego DC) przy zastosowaniu zawiesziny proszkowej (odwrotnie niż powyżej, lepsze wyniki dla zawiesziny proszkowej o około 30%).

Elementem godnym wzmiankowania jest wskazanie Doktorantki, że cewka elektromagnetyczna, stosowana w badaniach była własnej konstrukcji.

#### **Do przeprowadzonego przez Doktorantkę wywodu w tym rozdziale mam kilka uwag:**

1. W opisie płyty wzorcowej wskazano, że w płycie tej nawiercono nieprzelotowe, płaskodenne otwory o średnicy  $\varnothing 2$  mm i głębokościach rzeczywistych  $h$  wynoszących odpowiednio: 1,28 mm, 1,82 mm, 2,0 mm, 2,6 mm. Wskazane wielkości nie są głębokościami otworów, lecz odległościami ich dna od drugiej powierzchni płyt, czyli głębokościami zalegania nieciągłości.
2. Odnosząc się do opisu płyty z punktu 1 niezrozumiałym jest opis: *głębokości otworów, a właściwie odległości dna otworów od powierzchni badania przyjęto w zakresie od 1 do 4 mm. Zakres ten przyjęto w oparciu o dane literaturowe, które podają możliwość wykrywania nieciągłości w materiale do 4 mm pod badaną powierzchnią. Przyjęto również, iż głębokości symulowanych nieciągłości będą rozmieszczone począwszy od 1 mm od powierzchni badania i dalej stopniowo co 0,5 mm, do głębokości nieprzekraczającej 4 mm.* Taki opis nie zgadza się z rysunkiem. Biorąc pod uwagę ten opis musiałyby powstać otwory na głębokościach (mm): 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, (4 – nie jest on pewny wobec stwierdzenia o nieprzekraczaniu 4 mm). Byłoby zatem 6 lub 7 otworów. Proszę o komentarz.
3. Komentarz: stwierdzenie, że zdolności wykrywania nieciągłości dotyczą zalegania ich do 4 mm pod powierzchnią wymagałoby zbadania nieciągłości na głębokości 4,5 mm. Chyba, że dowiedziemy, iż zdolność ta jest mniejsza (np. 3 mm).
4. Brak wyników dla pierwszej i drugiej wersji płyty wzorcowej (otwory  $\varnothing 2$  i  $\varnothing 3$  mm) jest prawdopodobnie w części spowodowany brakiem pełnej analizy literaturowej, a zwłaszcza dotyczącej wielkości i orientacji, wykrywanych na głębokościach 3 / 4 mm, nieciągłości. Linie pola przez tak wykonane otwory były „odpychane” głównie na boki a nie do góry (i w dół). Żeby tak się stało nieciągłości winny być prawdopodobnie poziome a nie pionowe.

5. Komentarz. Nacięcie wykonane w ramach drugiej modyfikacji płyty wzorcowej można by potraktować nieciągłość liniową o długości 181,5 mm. Jest to wiele więcej niż wskazano w 3-cim poziomie akceptacji (6 mm).
6. Komentarz. W metodyce badań magnetyczno-proszkowych zaleca się namagnesowywanie powierzchni w dwóch ułożonych prostopadle kierunkach by wykryć nieciągłości, które są ułożone wzdłuż linii pola wzbudzanego z jednym z wspomnianych położeń. W pracy brak informacji jak „przykładano” pole do próbek.

W **rozdziale 8** zaprezentowano opracowanie wzorca niezgodności z grupy 4. Jak stwierdza Doktorantka *badania wykonano na specjalnie zaprojektowanych wzorcach, mających oddawać kształt złącza teowego z zachowanymi wymiarami granicznymi, pozwalającymi na uzyskanie efektywnych wyników badań. We wzorcach została zasymulowana nieciągłość braku wtopienia, w postaci nacięcia o grubości 0,25 mm na całej długości wzorca.* Pomiedzy nacięciem a licem spoiny pozostawiono materiał na grubości (mm): 1, 2, 3 i 4. Następnie na wzorcach tych Doktorantka przeprowadziła badania magnetyczno-proszkowe w celu stwierdzenia, czy nieciągłość ta będzie wykrywana. Wyniki były pozytywne.

**Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że próbki symulujące poprzez nacięcie wzdłużne nieciągłość w postaci braku przetopu zostały przygotowane w zgodzie z wymaganiami rzetelnych badań naukowych a wyniki osiągnięte przy ich wykorzystaniu będą wiarygodne.**

**Do przeprowadzonego przez Doktorantkę wyводу w tym rozdziale mam kilka uwag:**

1. Nazwa rozdziału w Spisie treści jest inna.
2. Rysunki nie odpowiadają wymogom rysunku technicznego (rys.8.1, rys.8.2).
3. Doktorantka stwierdziła, że *biorąc pod uwagę rozmiar wzorców, w celu otrzymania efektywnych wyników badań, należało zastosować pole magnetyczne o natężeniu  $H = 0,8 \text{ kA/m}$ .* Proszę określić na jakiej podstawie. I jak mają się do tego stwierdzenia badania z rozdziału 7.
4. Wymiar  $a$  ma dwa znaczenia w tym rozdziale. Jedno to głębokość podcięcia (rys.8.1), a drugie to szerokość pozostałego materiału w spoinie (rys.8.4).

W **rozdziale 9** zostały omówione wyniki badań opisanych w rozdziale 8. Doktorantka stwierdza, że *badania przeprowadzone na wzorcach projektowanych opisane w rozdziale 8 dają nadzieję na uzyskanie efektywnych wyników badań w warunkach rzeczywistych. Wzorce projektowane odzwierciedlają złącza teowe ze spoiną pachwinową, z zasymulowanymi nieciągłościami w różnych wariantach.* Tym samym potwierdza jedynie ustalenia dokonane poprzednio.

**Do przeprowadzonego przez Doktorantkę wyводу w tym rozdziale nie mam uwag.**

W **rozdziale 10** zostały omówione uzyskane w ramach pracy wyniki. Jednak tytuł rozdziału może nieco mylić, gdyż prezentuje on wyniki następnej serii badań na innych w rodzaju próbkach wzorcowych. Jak doktorantka stwierdza w *kolejnym etapie badań podjęto próbę wykonania złącza teowego ze spoiną pachwinową z zasymulowaną niezgodnością przyklejenia, wykorzystując do tego celu miedzianą folię, która ma za zadanie zasłonić luk spawalniczy i wywołać w odpowiednim miejscu niezgodność braku wtopienia.* Doktorantka wskazała też, że wykonano następną wersję złącza wzorcowego, w którym brak wtopienia osiągnięto poprzez wyfrezowanie krawędzi jednej z blach tworzących złącze. **Uważam, że**



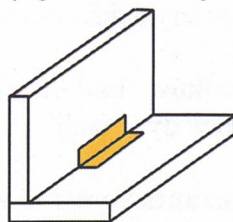
także tak przygotowane próbki, symulujące poprzez nacięcie wzdłużne nieciągłość w postaci braku przetopu, zostały przygotowane w zgodzie z wymaganiami rzetelnych badań naukowych. Następnie doktorantka poddała te próbki badaniom magnetyczno-proszkowym oraz metalograficznym. Dodatkowo przygotowane zostały próbki złączy ze spoiną pachwinową wykonane metodą TIG. Badania metalograficzne służyły ocenie poprawności rozpoznania, gdyż w procesie spawania celowo przygotowana nieciągłość mogła zostać zniwelowana.

Uważam, że opis metodyki prowadzenia badań potwierdza prawidłowość procedur badawczych zastosowanych przez Doktorantkę w toku jej prac badawczych. Należy stwierdzić, że zaprezentowane wyniki, w znaczącej mierze badań magnetyczno-proszkowych, to rzetelnie zebrany i poprawnie opracowany materiał badawczy, pozwalający na wyprowadzenie rzeczowych wniosków naukowych.

Doktorantka dokonała także weryfikacji swojej metodyki na przemysłowo wykonanym złączy spawanym. Dokonała także oceny wpływu wartości natężenia pola magnetycznego na jakość rozpoznania nieciągłości wskazując przedział 2 – 2,5 kA/m jako najbardziej optymalny.

Do przeprowadzonego przez Doktorantkę wywodu w tym rozdziale mam kilka uwag:

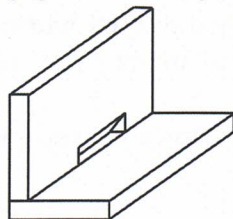
1. Rys.10.1 jest niejasny, Czy należy go rozumieć jak poniżej?



2. Doktorantka stwierdza, że zaprezentowane powyżej złącza zostały wykonane ze stali S355 o wymiarach płyt pionowej i poziomej 200 mm x 50 mm x 6 mm. Dlaczego zmieniono grubość blachy?
3. Doktorantka stwierdza, że wykonane próbne złącza zostały poddane badaniom magnetyczno-proszkowym z wykorzystaniem cewki elektromagnetycznej jako wzbudnika pola magnetycznego. Dlaczego, skoro najlepsze wyniki uzyskano dla wzbudzanie pola elektromagnesem jarzmowym na prąd stały?
4. Złącza są opisane numerami (karty badań), a w analizie zbiorczej (np. tabela 10.2) dużymi literami. Powoduje to dysonans w ocenie tych wyników.
5. Na rys.10.3 pozycja pierwszego przekroju jest niewłaściwa. Winno być chyba:



6. Rys.10.4 jest niejasny, Czy należy go rozumieć jak poniżej?



7. Na stronie 72 doktorantka stwierdza, że *biorąc pod uwagę iż w tym wariantcie wykonania złącza wykorzystano proces frezowania, a nieciągłość została zasymulowana w postaci nacięcia usytuowanego w określonym miejscu, uznano że nie jest wymagane wykonywanie badań makroskopowych, ponieważ dokładnie wiadomo, iż struktura spoiny nie została w pełni zachowana, co daje efekt braku wtopienia w złączu*. Osoby niebędące przy wykonywaniu złącza nie mogą tego stwierdzić, więc badania makroskopowe pomogłyby im ocenić uzyskane wyniki. Tak pozostaje wierzyć, że w procesie spawania sfrezowanie nie zostało całkowicie przetopione.
8. Proszę uzasadnić konieczność tak częstej zmiany rodzaju złącza wzorcowego (podcięcie, folia miedziana, wyfrezowanie).

**Podsumowując całość badań i uzyskanych wyników stwierdzam, że zostały one wykonane i opracowane na właściwym poziomie. Pewną zaletą pracy jest także przeprowadzenie badań dla różnych metod spawania (MAG i TIG) oraz weryfikacja metodyki z wykorzystaniem złącza wykonanego metodą przemysłową. Należy podkreślić również wkład pracy Doktorantki w przygotowanie niniejszej dysertacji. Pani mgr inż. Karolina Poch potwierdziła, że jest przygotowana do prowadzenia pracy naukowej i badawczej.**

Rozprawę zamykają rozdziały Podsumowanie wyników badań, Wnioski i Wskazanie kierunków dalszych badań. Ich charakterystyka i ocena zostały przedstawione poniżej

W **rozdziale Podsumowanie wyników badań** zawarto stwierdzenia odzwierciedlające przebieg prac badawczych opisanych w dysertacji.

**Do przeprowadzonego przez Doktoranta wywodu w tym rozdziale mam jedną uwagę:**

1. Doktorantka stwierdza na początku tego rozdziału, że: *badania magnetyczno-proszkowe umożliwiają wykrywanie niezgodności z grupy 4 typu brak wtopienia i przyklejenia w złączach teowych ze spoinami pachwinowymi. Tezy tej dowodzą przeprowadzone szczegółowe badania eksperymentalne*. A stroną dalej pisze: *wykonano złącza z umieszczoną folią miedzianą pod spoiną, ... W przypadku złączy z umiejscowioną folią miedzianą, otrzymano wskazanie tylko na jednym złączu (karta badań 1.2)*. Proszę o komentarz. Moim zdaniem potwierdzono możliwość wykrywania braku przetopu, jednak nie jest pewne czy potwierdzono wykrywanie przyklejeń.

W **rozdziale Wnioski** zawarto stwierdzenia odzwierciedlające wyniki prac badawczych opisanych w dysertacji.

**Do przeprowadzonego przez Doktorantkę wywodu w tym rozdziale nie mam uwag, poza wskazanymi w poprzednich częściach recenzji.**

W **rozdziale Wskazanie kierunków dalszych badań** zawarto stwierdzenia odnoszące się do możliwych kierunków kontynuacji badań przedstawionych w niniejszej dysertacji.

**Do przeprowadzonego przez Doktoranta wywodu w tym rozdziale nie mam uwag.**

Podsumowując ocenę całość dysertacji stwierdzam, że została ona wykonana oraz opracowana na właściwym poziomie. Zaletą tego opracowania jest przeprowadzenie badań różnorodnych płyt i złączy wzorcowych, różnych technik namagnesowania, różnych detektorów, a także wykorzystanie dwóch metod spawania. W mojej ocenie Pani mgr inż. Karolina Poch potwierdziła, że jest przygotowana do prowadzenia samodzielnych prac naukowo-badawczych w obszarze inżynierii mechanicznej.

## 2. Merytoryczna ocena pracy

Treść przewodnia rozprawy doktorskiej dotyczy oceny przydatności badań magnetyczno-proszkowych złączy ze spoiną pachwinową do wykrywania braku przetopu. W zaprezentowanych badaniach Autorka określiła i zebrała dane empiryczne konieczne do wyznaczenia wpływu struktury złącza na czułość analizowanej metody badań. Opracowała także kilka wariantów płyt wzorcowych i złączy wzorcowych z zasymulowanymi nieciągłościami. Uzyskane wyniki, zarówno negatywne jak i pozytywne są istotne, gdyż wskazują na zakres stosowalności analizowanego podejścia. Dodatkowo Doktorantka przeprowadziła analizę swojego podejścia na złączu wykonanym metodą przemysłową. Potwierdziło to charakter użyteczny i pokazało jej możliwości aplikacyjne analizowanego podejścia. Należy podkreślić, że duża część uwag zawartych w niniejszej recenzji odnosi się do elementów edytorskich pracy.

**Rozprawa doktorska Pani mgr Karoliny Poch mieści się w dziedzinie nauk Inżynieryjno-Technicznych, w dyscyplinie naukowej Inżynieria Mechaniczna, w zakresie będącej obecnie jej częścią starej dyscypliny Budowa i eksploatacja maszyn.** Przeprowadzone badania nad opracowaniem metodyki oceny przydatności badań magnetyczno-proszkowych złączy ze spoiną pachwinową do wykrywania braku przetopu wpisują się w następujące obszary prac naukowo-badawczych mieszczących się w zakresie Budowy i eksploatacji maszyn: specjalność Diagnostyka techniczna i specjalność Badania nieniszczące.

Wybór problematyki badawczej oceniam jako trafny. Autorka poprawnie rozpoznała lukę badawczą, w zakresie luki badawczej odnośnie do przydatności badań magnetyczno-proszkowych złączy ze spoiną pachwinową do wykrywania braku przetopu. Dotychczas nie stosowano takiego systematycznego podejścia do oceny tego podejścia, które pozwalałoby na uzyskanie większej jego wiarygodności. Tematyka badań stanowi aktualny i istotny temat zarówno dla przemysłu a także nauki w zakresie inżynierii mechanicznej (budowy i eksploatacji maszyn).

Problem badawczy został poprawnie rozpoznany i sformułowany. Autorka uzasadniła wybór tematyki badań oraz jej ważność, motywując ją wynikami dokonanej analizy literatury i dokumentacji źródłowej oraz przeprowadzonych analiz.

Rozprawa ta ma w pewnym sensie charakter interdyscyplinarny, ponieważ łączy w sobie zagadnienia dotyczące inżynierii mechanicznej oraz fizyki technicznej (jednak w bardzo małej części).

Rozwiązanie problemu badawczego jest oryginalne ze względu na:

- przeprowadzenie badań magnetyczno-proszkowych złączy ze spoiną pachwinową i ustalenie występujących przy tym zależności, co dotychczas stanowiło lukę badawczą,

- wypracowanie własnej metodologii badań wraz z zaprojektowaniem płyt wzorcowych i złączy wzorcowych,
- opracowanie ogólnego i szczegółowego schematu zależności pomiędzy parametrami badanych próbek a parametrami badań magnetyczno-proszkowych,
- opracowanie własnych wytycznych do przeprowadzania badań magnetyczno-proszkowych złączy ze spoiną pachwinową, które można wykorzystać w praktyce przemysłowej.

### 3. Ocena metodologicznej i metodycznej koncepcji rozprawy doktorskiej

Metodyka została przez Autorkę zakreślona jako ciąg uporządkowanych działań, prowadzących do wyznaczenia korelacji pomiędzy zmiennymi konstrukcyjnymi, zmiennymi materiałowymi (tworzywowymi) a zmiennymi dynamicznymi w zakresie rozpatrywanego zagadnienia.

Praca doktorska potwierdza umiejętności Doktorantki w zakresie samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Pani mgr Karolina Poch wykazała się umiejętnością zidentyfikowania luki badawczej, rozpoznania problemu badawczego, formułowania celów naukowych, dokonania analizy prawidłowego doboru metod badawczych oraz wnioskowana.

Rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i jest nowym podejściem do tematyki oceny przydatności badań magnetyczno-proszkowych złączy ze spoiną pachwinową do wykrywania braku przetopu. Opracowana metodyka może być pomocna dla zakładów przemysłowych. Pod względem metodycznym cele główne pracy i jej cele użyteczne zostały poprawnie sformułowane. Odnoszą się one do istoty podjętej tematyki badawczej i odpowiadają poszczególnym etapom badań. Wszystkie cele zostały w miarę zrealizowane. Wnioski sformułowane przez Doktorantkę odpowiadają uzyskanym wynikom badań. Oceniam je jako poprawne i realne. Są spójne z założonymi w pracy celami i potwierdzają realizację tematu rozprawy doktorskiej. Ponadto mogą zostać wykorzystane w przyszłości do prowadzenia dalszych badań.

Na podstawie przedstawionej analizy rozprawy doktorskiej i procedury rozwiązywania zadań badawczych **metodologiczną i metodyczną koncepcję rozprawy doktorskiej oceniam pozytywnie**, albowiem zawiera ona w miarę spójną merytorycznie analizę stanu wiedzy nt. oceny przydatności badań magnetyczno-proszkowych złączy ze spoiną pachwinową do wykrywania braku przetopu, oraz opracowanie praktycznej procedury do rozwiązania sformułowanego w pracy problemu badawczego.

### 4. Ocena końcowa rozprawy doktorskiej

Przedstawiona rozprawa doktorska należy do aktualnego i ważnego obszaru badawczego, związanego z metodyką oceny stanu złączy spawanych w konstrukcjach spawanych. Praca zawiera oryginalne propozycje niektórych rozwiązań, w tym rozwiązania odnośnie do metodyki badań tego typu złączy. **Przedstawione w recenzji uwagi nie umniejszają znacząco walorów merytorycznych pracy.** Odnoszą się one do kwestii technicznych i edytorskich. Nie poddają jednak w wątpliwość zasadniczych elementów pracy.

Konkludując stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska, mieszcząca się w dyscyplinie „Inżynieria Mechaniczna” posiada cechy nowości i walory użyteczne.

Na podstawie przedstawionej opinii stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Karoliny Poch nt.: „Wpływ parametrów badań magnetyczno-proszkowych na ocenę jakości złączy ze spoiną pachwinową” spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (ustawa z dnia marca 2003 r., tekst ujednolicony z dnia 29 września 2014 r. wraz z ustawą z dnia 21 kwietnia 2017 r. o zmianie ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz niektórych innych ustaw a także rozporządzeniem Ministra Nauki Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r.) i wnoszę o dopuszczenie jej Autorki do publicznej Obrony.



Gliwice, dnia 17.06 2022