

Częstochowa, 17.07.2023r.

Prof. dr hab. inż. Janina ADAMUS  
Politechnika Częstochowska  
ul. Dąbrowskiego 69  
42-201 Częstochowa

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr inż. Waldemara Łogina**  
nt. **„Analiza wpływu geometrii narzędzia do punktowego zgrzewania  
tarciovego z przemieszaniem i wypełnieniem krateru przy łączeniu blach  
ze stopów aluminium stosowanych w przemyśle lotniczym”**

Opinię opracowano na podstawie pisma przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza dr hab. inż. Andrzeja Burghardta prof. PRz, nr RM-530-05-02/19/2023 z dnia 31.05.2023 r.

Recenzowaną rozprawę doktorską napisano pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Romany Ewy Śliwy z Politechniki Rzeszowskiej oraz promotora pomocniczego - dr inż. Roberta Ostrowskiego z Politechniki Rzeszowskiej.

Niniejsza praca doktorska reprezentuje dyscyplinę: inżynieria mechaniczna.

### **1. Aktualność podjętego tematu**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska prezentuje udane podejście do problemu łączenia w stanie stałym elementów struktur lotniczych z blach ze stopów aluminium 7075-T6 i 2024-T3. Oba stopy znajdują szerokie zastosowanie w przemyśle lotniczym nie tylko z uwagi na wysoką wytrzymałość, ale i mały ciężar właściwy, co przede wszystkim oznacza zmniejszenie masy pojazdów powietrznych, a w konsekwencji redukcję zużycia paliwa i ograniczenie zanieczyszczenia środowiska (zmniejszenie emisji spalin).

Ponieważ oba stopy uważane są za materiały trudno spawalne przy użyciu konwencjonalnych metod spawalniczych, w pracy skupiono się na zgrzewaniu tarciovym z przemieszaniem łączonych materiałów (Friction Stir Welding – FSW), a zwłaszcza technologii zgrzewania punktowego z wypełnieniem krateru (Refill Friction Stir Spot Welding – RFSSW). Istotną zaletą procesu RFSSW, na co wskazuje Autor pracy, jest możliwość łączenia blach platerowanych, często stosowanych w strukturach lotniczych w celu przeciwdziałania korozji.

Mimo iż technologia zgrzewania tarciovego z przemieszaniem materiału jest znana od ponad 30 lat, to ciągle jeszcze brak jest wyczerpującej wiedzy i doświadczenia w zakresie

łączenia cienkich blach, zwłaszcza blach z powłokami antykorozyjnymi, które są przedmiotem rozważań Autora niniejszej rozprawy doktorskiej. Nadal istnieje wiele problemów wymagających rozwiązania, jak chociażby uzyskanie odpowiedniego wymieszania materiałów łączonych elementów, tak by uzyskać wytrzymałe, dobrej jakości zgrzeiny bez wad, a w przypadku zgrzein punktowych odpowiednie wypełnienie krateru, powstającego po wycofaniu narzędzia.

Ponadto opanowanie technologii łączenia blaszanych struktur lotniczych metodą RFSSW zwiększy konkurencyjność firmy, w której pracuje Doktorant.

**W związku z powyższym, tematykę pracy uważam za celową i aktualną z naukowego punktu widzenia, a przede wszystkim wychodzącą naprzeciw oczekiwaniom przemysłu lotniczego na szersze wdrożenie technologii FSW/RFSSW do produkcji pojazdów powietrznych.**

## 2. Zakres opiniowanej pracy

Opiniowana praca ma charakter eksperymentalno-aplikacyjny. Powołania na współautorskie publikacje [64, 70, 86] wskazują, że praca została zrealizowana przy częściowym wsparciu finansowym projektu INNOLOT/I/4/NCBR/2013 „Advanced techniques for the fabrication of airframe structures using innovative friction stir welding (FSW) technology”, co z pewnością ułatwiło Autorowi wykonanie szerokiego i kosztownego programu badawczego z wykorzystaniem specjalnie wykonanych w tym celu narzędzi. Wymagało to od Autora rozprawy opanowania niestandardowej metodyki badawczej oraz umiejętności wykorzystania wiedzy teoretycznej z zakresu łączenia metali w praktyce.

*Struktura pracy zasadniczo obejmuje dwie części:*

- *teoretyczną*, omawiającą teoretyczne podstawy zagadnienia i aktualny stan wiedzy na temat procesów łączenia blach, ze szczególnym uwzględnieniem łączenia metali w stanie stałym

oraz

- *badawczą*, obejmującą badania własne, w ramach których przeprowadzono badania połączeń punktowych na blachach 2024-T3 i 7075-T6 wykonanych przy użyciu narzędzi o zmodyfikowanej powierzchni czołowej narzędzia RFSSW.

Ponadto praca zawiera spis treści, wykaz ważniejszych oznaczeń i akronimów, wprowadzenie, dwa streszczenia: w języku polskim i angielskim oraz spis literatury.

Objętość pracy wynosi 140 stron, a spis literatury obejmuje 91 pozycji.

Praca rozpoczyna się *WPROWADZENIEM*, w którym Autor akcentuje, że procesy łączenia materiałów konstrukcyjnych są niezbędną operacją przy budowie wszelkiego rodzaju urządzeń technicznych i konstrukcji, a dobór procesów łączenia jest jednym z pierwszych i podstawowych etapów projektowania niemal wszystkich elementów.

*Rozdział I - TEORETYCZNE PODSTAWY ZAGADNIENIA* wprowadza czytelnika w zagadnienie łączenia struktur lotniczych, ze szczególnym uwzględnieniem tradycyjnych



metod łączenia blach, takich jak nitowanie i zgrzewanie oporowe. Autor podkreśla, że ostateczny wybór metody zależy od rodzaju łączonych elementów i warunków eksploatacji. Omawiając nitowanie (*podrozdział 1.1.1*) Autor wskazuje, że mimo dużej uniwersalności połączeń nitowanych, z konstrukcyjnego punktu widzenia są one narażone na występowanie zjawiska zmęczenia wskutek eksploatacji - otwór pod nit jest karbem konstrukcyjnym, powodującym spiętrzenie naprężeń, co w efekcie może prowadzić do uszkodzenia części. Wśród ograniczeń i wad zgrzewania oporowego (*podrozdział 1.1.2*) Autor wymienia konieczność stosowania specjalistycznych zgrzewarek, wymagających dedykowanej instalacji elektrycznej i specjalnego układu chłodzenia elektrod oraz konieczność odpowiedniego przygotowania zgrzewanych powierzchni (dokładnego ich oczyszczenia, usunięcia ewentualnych powłok antykorozyjnych – niemożność łączenia blach platerowanych).

W *podrozdziale 1.2* omówiono łączenie materiałów metalicznych w stanie stałym, tj. proces liniowego zgrzewania tarcowego z przemieszaniem materiału (FSW) i punktowego zgrzewania tarcowego z przemieszaniem i wypełnieniem krateru (RFSSW).

W *podrozdziale 1.3* Autor scharakteryzował stopy aluminium stosowane w przemyśle lotniczym, podkreślając, że istotnym zagadnieniem w przypadku elementów konstrukcji lotniczych jest ich odporność na korozję, związana z długotrwałą eksploatacją (nawet powyżej 50 lat), często w różnych warunkach temperaturowych ( $-40^{\circ}\text{C}$  do  $+60^{\circ}\text{C}$ ) i wilgotnościowych (w tym w środowisku morskim), co wymaga stosowania zabezpieczeń antykorozyjnych łączonych części (*podrozdział 1.4*). **W tym miejscu poproszę Autora o kilka słów wyjaśnienia na temat procesu anodowania i alodynowania blach. Chociaż Autor wspomina o łączeniu blach z alodyną, to badania ograniczone zostały do blach z powłoką anodową. Dlaczego? Czy rodzaj powłoki ma wpływ na sposób wymieszania materiału zgrzeiny?**

W *rozdziale 2. „Charakterystyka procesu zgrzewania tarcowego z przemieszaniem i wypełnieniem krateru”* omówione zostały parametry procesu RFSSW (*podrozdział 2.1*), przebieg procesu RFSSW (*podrozdział 2.2*) ze szczegółowym omówieniem charakterystycznych stref zgrzeiny RFSSW, ciepło generowane podczas łączenia wysokowytrzymałych stopów aluminium (*podrozdział 2.3*) i jego wpływ na zmiany strukturalne, a przez to zmianę właściwości mechanicznych materiału zgrzeiny w strefie wpływu ciepła. W *podrozdziale 2.4* Autor omówił typowe wady zgrzein RFSSW (hak, pustki, brak wymieszania/połączenia, przyklejenie, brak wypełnienia – krater), podając przyczyny ich powstawania. Natomiast w *podrozdziale 2.5* na temat modelowania procesu RFSSW Autor zwrócił uwagę na problemy wynikające ze złożoności procesu i dużej liczby parametrów mających wpływ na jego przebieg i kinematykę. Kluczową wydaje się też kwestia określenia współczynnika tarcia w zależności od zmieniającej się w czasie procesu temperatury. Wszystko to wymusza stosowanie pewnych uproszczeń, które w konsekwencji ograniczają uniwersalność opracowywanych modeli numerycznych. Intensywne badania procesu RFSSW prowadzą do kolejnych ulepszeń i modyfikacji technologii, o czym sygnalizuje Autor w *podrozdziale 2.6*.

W *rozdziale 3*. Autor podkreśla, że istotnym czynnikiem mającym wpływ na możliwość i ekonomiczność stosowania stopów aluminium są procesy łączenia części z nich wykonanych, podkreślając, że wiele problemów związanych z klasycznymi metodami łączenia (rozległa strefa wpływu ciepła, zmiany strukturalne, pękanie itp.) rozwiązuje technologia zgrzewania tarcowego z przemieszaniem materiału. Autor podkreśla, że daje ona możliwość



łączenia elementów o różnych grubościach i z różnych materiałów, w tym kompozytowych i przechodząc do *rozdziału 4*. Autor przedstawia aplikacje procesu RFSSW.

Podsumowując w *rozdziale 5*. „*Krytyczna analiza stanu zagadnienia*” dotychczasowy stan wiedzy na temat zgrzewania tarcowego z mieszaniem, zwłaszcza jego odmiany RFSSW, Autor uzasadnia podjęcie i realizację programu badań, zwracając uwagę na potrzebę rozwoju technologii RFSSW w celu poprawy jakości połączeń elementów z blach ze stopów aluminium w konstrukcjach lotniczych. **Szkoda, że w rozdziale tym Autor nie zawarł krótkich wniosków w formie wypunktowanej, na temat tego, co już wiadomo (przebadano) w zakresie procesu zgrzewania tarcowego z przemieszaniem materiału, jakie są braki/wątpliwości/ co należy wyjaśnić. Byłoby to bardziej przejrzyste.**

Po analizie stanu wiedzy w zakresie rozwoju technologii RFSSW w odniesieniu do łączenia elementów z blach ze stopów aluminium w konstrukcjach lotniczych w *rozdziale 6*. Doktorant stawia tezę, że „**Określona modyfikacja powierzchni czołowej tulei wewnętrznej narzędzia RFSSW znacząco wpływa na zjawisko uplastycznienia oraz efekt wymieszania łączonych materiałów w strefie złącza a zastosowanie odpowiednio dobranej do rodzaju połączeń geometrii gwarantuje uzyskanie wysokiej jakości zgrzein przy łączeniu blach platerowanych ze stopu aluminium z powłoką anodową**”.

*Część druga pracy, tj. część badawcza (II. BADANIA WŁASNE)* obejmuje 4 rozdziały główne, w których ze względu na złożoność procesu RFSSW oraz niedostateczny stan wiedzy literaturowej na temat wpływu modyfikacji narzędzi na przebieg procesu, zrealizowane badania mają charakter porównawczy. W *rozdziale 7*. Doktorant jako cel pracy wyznacza określenie wpływu geometrii powierzchni czołowej tulei narzędzia RFSSW oraz trzpienia na proces uplastycznienia i efekt mieszania materiału w trakcie łączenia blach wykonanych ze stopów aluminium, obustronnie platerowanych, poddanych procesowi anodowania. Rozdział ten obejmuje program badań własnych (*podrozdział 7.1*), omówienie materiałów i metodyki badań (*podrozdział 7.2*), stanowiska badawczego i geometrii narzędzi stosowanych w badaniach. W ramach niniejszej pracy Doktorant analizował 14 narzędzi, których geometria różniła się rozmieszczeniem, kształtem i głębokością rowków wykonanych na wewnętrznej tulei narzędzia. Ponadto Autor pokusił się o wykonanie połączeń między blachami aluminiowymi i blachami ze stopów miedzi. **Prosiłabym Doktoranta o uzupełnienie w tym zakresie, jaki cel miały te badania i czy w przemyśle lotniczym występują takie połączenia, a jeśli tak, to gdzie?**

*Rozdział 8*. zawiera wyniki badań przeprowadzonych przez Doktoranta w celu ustalenia optymalnej geometrii narzędzia, umożliwiającej prawidłowe wymieszanie materiału przy tych samych parametrach technologicznych procesu w ramach określonych grup materiałowych (7075-T6 i 2024-T3). Wpływ modyfikacji powierzchni czołowej tulei określano na podstawie analizy makro- i mikrostruktury zgrzein oraz nośności połączeń. Dodatkowo w trakcie wykonywania zgrzein prowadzono pomiar temperatury na tulei zewnętrznej oraz kowadełku. Wyniki badań odnoszono do zgrzein wykonanych narzędziem handlowym (bez modyfikacji - G0). W *rozdziale 9*., w którym stwierdzono, że kluczową rolę w procesie tworzenia zgrzein RFSSW odgrywają odpowiednio dobrane do rodzaju łączonych metali parametry technologiczne procesu oraz geometria narzędzia. Nawet niewielkie zmiany w geometrii narzędzia znacząco wpływają na ilość generowanego ciepła



i przebieg mieszania materiałów w obszarze zgrzeiny, a zatem na ostateczny efekt procesu łączenia blach platerowanych i anodowanych. Oprócz analizy zgrzein wykonywanych na złączu zakładkowym, w *podrozdziale 9.4* przedstawiono również rezultat wykonania struktury lotniczej z wykorzystaniem zmodyfikowanego narzędzia RFSSW.

Wyniki swoich badań Autor podsumowuje w *rozdziale 10.*, w postaci ośmiu wypunktowanych wniosków.

### 3. Ocena merytoryczna rozprawy

Ocenę pracy naukowej można przeprowadzić uwzględniając dwa podstawowe jej elementy:

- wiedzę Autora o analizowanej dyscyplinie naukowej,
- wiedzę o metodach pracy badawczej.

Po zapoznaniu się z pracą doktorską stwierdzam, że *Autor wykazał się znajomością ogólnej wiedzy w dyscyplinie: inżynieria mechaniczna.* Dotyczy to zarówno ogólnych podstaw teoretycznych procesu łączenia blach w stanie stałym, jak i szczegółów o charakterze technologicznym. *Autor posiada również wiedzę o metodach pracy badawczej.*

Postawiony cel pracy, tj. określenie wpływu geometrii narzędzia na proces uplastycznienia i wymieszanie materiału w trakcie łączenia blach z wysoko wytrzymałych stopów aluminium, obustronnie platerowanych wychodzi naprzeciw oczekiwaniom praktyki przemysłowej, poszukującej rozwiązań sprzyjających zmniejszeniu masy konstrukcji i ochronie środowiska, w tym ograniczeniu zużycia paliw i emisji spalin. Z tego względu podjęcie przez Autora rozprawy badań dotyczących określenia optymalnej geometrii narzędzia umożliwiającej odpowiednie wymieszanie materiałów łączonych elementów stanowi podstawę do tworzenia lekkich, aluminiowych struktur lotniczych. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż *postawione przez Doktoranta zadanie ma w pełni aplikacyjny charakter, a rezultaty pracy mogą stanowić podstawę dalszych badań rozwojowych.* Zaprezentowane w pracy *wyniki badań materiałowych i technologicznych uzasadniają przyjęty temat rozprawy doktorskiej: „Analiza wpływu geometrii narzędzia do punktowego zgrzewania tarcowego z przemieszaniem i wypełnieniem krateru przy łączeniu blach ze stopów aluminium stosowanych w przemyśle lotniczym”, chociaż w samym sformułowaniu tematu pracy brakuje mi dookreślenia (pełnego określenia) na co wpływa geometria narzędzia. (?)*

Chociaż generalnie pozytywnie oceniam część teoretyczną pracy, to przedstawiony przez Doktoranta przegląd literatury jest niepełny. Pominięto w nim prace realizowane przez Instytut Spawalnictwa w Gliwicach, który jako jeden z pierwszych ośrodków naukowych w Polsce analizował proces zgrzewania tarcowego z mieszaniem. Całkowicie pominięto wyniki badań realizowanych przez zespół Politechniki Częstochowskiej w kooperacji z PZL Mielec w ramach projektu INNOLOT/I/4/NCBR/2013, a szeroko prezentowanych w literaturze technicznej. Poza tym cytowane prace, mimo niewielkiej ich ilości (86 pozycji + 5 stron internetowych), są aktualne i generalnie dobrze dobrane. W dużej części są to publikacje z uznanych czasopism. Wśród cytowanych publikacji są również prace, w których Doktorant jest współautorem (4 artykuły, w tym *trzy opublikowane w czasopismach wyróżnionych*



w *Journal Citation Reports (JCR): Materials* [64] - IF 3.623 w 2020 r. (140 pkt.) i *Archives of Metallurgy and Materials* [70] - IF – 0,74 w 2019 r. (40 pkt.) oraz [71] - IF – 0,71 w 2022 r. (40 pkt.).

Jak wynika z przeprowadzonej przez Autora rozprawy analizy stanu zagadnienia, większość producentów statków powietrznych na ich poszycia najczęściej wykorzystuje blachy aluminiowe, a ich łączenie odbywa się metodą nitowania. Przegląd literatury był podstawą zdefiniowania celu pracy (przytoczonego przeze mnie wcześniej), do realizacji którego przyjęto odpowiedni program badań i analiz.

Chociaż program badań był dobrze przemyślany i zapewnił Autorowi osiągnięcie sukcesu, to w pracy brakuje mi wniosków:

- z przeglądu literatury, wyraźnie wskazujących na braki i luki w istniejącej wiedzy na temat łączenia blach aluminiowych

oraz

- z badań własnych, wskazujących na uzupełnienie tej wiedzy przez Autora.

W obecnej formie praca wymaga od czytelnika dużego skupienia i zaangażowania w jej analizę. Część rysunków zaczerpniętych z literatury angielskojęzycznej nie została przetłumaczona na język polski (np. rys. 2.24+2.31, rys. 2.32). Pokazując na rysunku 4.2 demonstrator technologii RFSSW [88] można było odwołać się również do demonstratora technologii wykonanego w ramach projektu INNOLOT/I/4/NCBR/2013. Cennym byłoby również, po analizie poszczególnych partii badań, podanie krótkiego podsumowania, w którym Autor wykluczyłby z badań bądź wskazał geometrię i parametry zgrzewania, które Jego zdaniem powinny być badane dalej, podobnie jak to uczyniono na 102 stronie na zakończenie *podrozdziału 8.2.1* stwierdzając, że ze względu na niekorzystne właściwości zgrzein nie kontynuowano modyfikacji danej grupy geometrii (G41 i G43).

Na pozytywne podkreślenie zasługuje ogrom pracy, którą Autor włożył w realizację części eksperymentalnej. Podstawą do określenia wpływu geometrii narzędzia na wymieszanie materiału zgrzeiny było wykonanie szeregu narzędzi o zróżnicowanej geometrii i przeprowadzenie procesu zgrzewania, co wymagało od Doktoranta wiedzy teoretycznej z zakresu materiałoznawstwa, obróbki cieplnej, obróbki plastycznej metali i tribologii. Na podstawie analizy wyników badań Autor stwierdza, że zastosowanie narzędzi o geometrii G2, G3 i G4 pozwoliło na uzyskanie wyższej nośności połączenia w stosunku do wykonanych narzędziem G0, Doktorant zaznacza przy tym, że najwyższą nośność uzyskano dla narzędzia o geometrii G4. Na podkreślenie zasługuje fakt, że Doktorant jest świadomy tego, iż w konstrukcjach lotniczych ważne są nie tylko obciążenia statyczne, ale przede wszystkim dynamiczne i dlatego połączenia RFSSW wykonane narzędziem o geometrii G4 poddał również badaniom trwałości zmęczeniowej, stwierdzając we wnioskach (*rozdział 10*), że zmodyfikowana geometria narzędzi RFSSW pozwala na bardziej skuteczne rozdrobnienie materiału plateru i uzyskanie korzystniejszego jego rozkładu w objętości zgrzeiny, co pozwala na uniknięcie koncentracji i skupisk tworzących karby strukturalne, które mają niekorzystny wpływ na nośność i trwałość zmęczeniową połączeń. Ważne jest też, że Doktorant nie ograniczył się tylko do oceny nośności pojedynczych zgrzein, ale podjął się również oceny zniekształceń blach łączonych za pomocą narzędzia G4 w odniesieniu do blach łączonych narzędziem G0, wykorzystując do tego nowoczesny, optyczny system skanowania 3D - ATOS



Triple Scan firmy GOM, który umożliwia bezdotykowy pomiar geometrii analizowanych elementów.

Z przedstawionej pracy wynika, że Doktorant posiada dużą wiedzę na temat łączenia blach w stanie stałym, w tym blach aluminiowych, platerowanych i anodowanych metodą RFSSW. Zainteresowanie tą tematyką jest zbieżne z potrzebami przemysłu lotniczego. W większości Doktorant zastosował standardowe lub znormalizowane procedury badawcze zgodnie z ich przeznaczeniem. Wyniki badań raczej nie budzą zastrzeżeń, a ich opis i dyskusja świadczą o znajomości poruszanego problemu. W podsumowaniu rozprawy doktorskiej zawarto syntezę przeprowadzonych badań. Przytoczono i podkreślono wyniki badań potwierdzające słuszność postawionej tezy i celu rozprawy.

Chociaż stwierdzam, iż generalnie praca napisana jest poprawnie, to Autor nie ustrzegł się pewnych błędów, które nie mają jednak wpływu na merytoryczną stronę pracy. Są to m.in.:

- *drobne błędy językowe (zwłaszcza, pojawiające się już w wykazie oznaczeń, określenie „głębokość zagłębienia” (pleonazm) – wystarczyłoby zagłębienie narzędzia lub wielkość zagłębienia), przy okazji wykaz oznaczeń i akronimów powinien być podany w porządku alfabetycznym; brak lub źle postawione znaki interpunkcyjne np. który jest zaimkiem wprowadzającym zdania podrzędne, przecinek wstawia się przed całym zdaniem podrzędnym, a zatem i przed zaimkiem „który”; zawsze stawiamy przecinek przed wyrazem „gdy” itp.),*
- *na kilku rysunkach zaczerpniętych z literatury angielskojęzycznej nie przetłumaczono opisów na język polski,*
- *str. 18: w tekście poniżej rysunku po raz pierwszy pojawia się określenie „kowadełkiem”, które jako jedyny element narzędzia nie zostało wskazane na rysunku 1.6, czytelnik musi domyślać o który element chodzi, chociaż jest to kluczowy element urządzenia RFSSW, na co wskazują dokonane przez Doktoranta pomiary temperatury w tym właśnie miejscu – rys. 8.1.4÷8.1.11, 8.1.34÷8.1.41, 8.2.7, 8.2.8),*
- *str. 19: również na rysunku 1.7 można było wskazać opisane w tekście powyżej rysunku strefy oddziaływania poszczególnych części narzędzia,*
- *na tej samej stronie znajduje się zdanie: „Kolejnymi zaletami stopów aluminium są łatwość wytwarzania, różnorodność właściwości oraz podatność do przeróbki plastycznej.” – jaką różnorodność właściwości miał Autor na myśli?*
- *str. 27, rys. 2.4: proszę wyjaśnić w jakim celu opracowano ten model narzędzia,*
- *str. 30: „...zwykle w badaniach stosowany jest przedział zmienności 90% ÷ 120% grubości górnej blachy.” Czy przy zagłębieniu narzędzia wynoszącym 90% grubości górnej blachy dojdzie do wymieszania łączonych materiałów?*
- *str. 31: „... przed rozpoczęciem etapu zagłębienia tulei przez zdefiniowany czas narzędzie rozgrzewa materiał.” Należałoby wyjaśnić w jaki sposób; dla czytelnika to zbyt duży skrót myślowy,*



- str. 35, rys. 2.12: oznaczenie obszarów na rysunku 2.12 a) jest mało czytelne; nie wiadomo z jakiego obszaru jest powiększenie na rysunku c)
- str. 35: „Wydzielenia umocnieniowe są rozbite na małe cząstki i rozpuszczone wskutek mieszania materiału przez narzędzie a większe skupiska wytrąciły się ponownie po ochłodzeniu ...”. Moim zdaniem nie było tam wystarczająco dużo czasu na wytrącanie się wydzieleni (poza tym one zarodkują i się wydzielają). W jaki sposób potwierdzono ich obecność, jaka jest wielkość tych wydzieleni. Proszę o komentarz w tym zakresie
- str. 39, rys. 2.16: wyjaśnić na czym polegała modyfikacja narzędzia?
- str. 44, rys. 2.20: co oznacza parametr „S” na rysunku, bo chyba nie prędkość obrotową narzędzia według wykazu ważniejszych oznaczeń (str. 7)?
- Str. 61: „w aplikacjach, gdzie wymagana jest wysoka szczelność naprawy, ...” chyba chodziło o szczelność połączenia, a nie naprawy,
- str. 77: pada stwierdzenie: „W analizie wyników badań odnoszono się do nośności zgrzein, a nie ich wytrzymałości...”, proszę o wyjaśnienie pojęcia „nośność złącza” i dlaczego jest ono kluczowe dla analizy wyników,
- str. 88, podrozdział 8.1.3: dlaczego proces zgrzewania realizowano z zestawem parametrów R4, podczas gdy wcześniejsze badania (podrozdział 8.1.2) prowadzono z zestawem parametrów R3. Poza tym brakuje mi zestawienia parametrów np. w formie tabeli, aby ułatwić czytelnikowi ich odnalezienie.

Przedstawione uwagi krytyczne nie podważają pozytywnej oceny całości pracy, lecz wymagają korekty przy dalszym jej rozpowszechnianiu oraz przy prowadzeniu przyszłych badań tego procesu.

#### 4. Wniosek końcowy

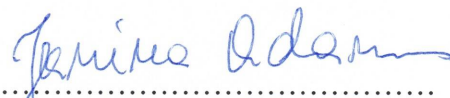
Reasumując, stwierdzam, iż opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Waldemara Łogina pt.: „Analiza wpływu geometrii narzędzia do punktowego zgrzewania tarcowego z przemieszaniem i wypełnieniem krateru przy łączeniu blach ze stopów aluminium stosowanych w przemyśle lotniczym” stanowi istotny wkład w rozwój wiedzy w zakresie technologii łączenia w stanie stałym blach platerowanych, wykonanych z wysokowytrzymałych stopów aluminium i pozwala na określenie optymalnej geometrii narzędzia RFSSW. Należy podkreślić, że rozprawa ta wychodzi naprzeciw problemom zgłaszanym przez firmy związane z przemysłem lotniczym, m.in. PZL Mielec. Doktorant osiągnął założony cel wykazując się znajomością zagadnień technologicznych, nowoczesnej metodyki i technik badawczych, zaprezentował oryginalne rozwiązanie problemu technologicznego, wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

W mojej ocenie przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Waldemara Łogina w pełni spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez Ustawę z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki



wraz z późniejszymi zmianami (Dz. U. 2003 nr 65 poz. 595) i **wnioskuje o jej dopuszczenie do publicznej obrony.**

Ponadto, biorąc pod uwagę, trafność wyboru tematyki rozprawy, wysoki poziom jej wykonania oraz możliwość wykorzystania opracowanych geometrii narzędzi w praktyce, wnioskuje o jej wyróżnienie.



.....  
Prof. dr hab. inż. Janina Adamus