



Dr hab. inż. Jerzy JÓZWIK, prof. Uczelni
POLITECHNIKA LUBELSKA
WYDZIAŁ MECHANICZNY

Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji
Ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin

Telefon: + 48/606 296 823; + 48 691 035 576; j.jozwik@pollub.pl

Lublin, 22/05/2020

RECENZJA

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Rafała Burka pt.: Analiza wpływu parametrów zgrzewania tarcowego z przemieszaniem na właściwości połączenia zakładkowego blach ze stopu Al 7075-T6, w związku z prowadzonym przez Radę Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza przewodem o nadanie stopnia doktora.

Zamawiający

Opinię wykonano na zlecenie dra hab. inż. Aleksandra Mazurkow, prof. PRz. Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza (pismo RM-530-09-03/2020, z dn. 20/02/2020r., Umowa NN/15/2020, z dn. 26/02/2020).

Informacje ogólne

Recenzja obejmuje ocenę treści merytorycznych rozprawy, ocenę wartości naukowej, tezy i rozwiązanie problemu badawczego jak również ocenę redakcyjną rozprawy i wnioski końcowe. Promotorem rozprawy jest: dr hab. inż. Tadeusz Balawender, Prof. Uczelni. Pracę przedstawiono na 132 stronach maszynopisu w logicznym układzie 6 rozdziałów i podrozdziałów wraz z załącznikami i streszczeniem w j. polskim oraz w j. angielskim. Rozprawę poprzedza krótkie, 2 stronicowe wprowadzenie, wykaz ważniejszych oznaczeń, skrótów i akronimów, zaś kończy podsumowanie i wnioski, wykaz literatury oraz załączniki i streszczenia.

Treść rozprawy, tezy i rozwiązanie problemu naukowego

Przedmiotem rozprawy doktorskiej mgr inż. Rafała Burka jest analiza wpływu parametrów zgrzewania tarcowego z przemieszaniem na właściwości połączenia zakładkowego blach ze stopu Al 7075-T6. W pracy szeroko omówiono funkcjonujące w przemyśle technologie łączenia struktur lotniczych, ze szczególnym ukierunkowaniem na techniki łączenia stopów aluminium poprzez zgrzewanie oraz najnowsze trendy w ich rozwoju. Opracowano program badań wstępnych i zasadniczych zgrzewania wybranego do analiz stopu aluminium, posługując się metodą planowania ewolucyjnego. Autor zaplanował bardzo szeroki zakres prac badawczych skupiając się jedynie na jednym, aczkolwiek o największym zastosowaniu w lotnictwie, stopie Al 7075-T6. Doktorant przyjął jeden zestaw grubości łączonych blach 0,8 mm i 1,6 mm. Z jednej strony można by powiedzieć, że takie ograniczenie (1 stop aluminium oraz 1 zestaw grubości łączonych materiałów) jest nieuzasadnione, lecz z drugiej, zakres i czasochłonność wykonanych badań, uniemożliwiłyby doktorantowi realizację wszystkich zamierzeń w rozsądnym czasie. Treści pracy uważam za dobrane w sposób trafny i adekwatny do przyjętego tematu rozprawy, a także postawionego w rozdziale drugim celu, tezy i zakresu pracy. Autor poprzedził je, nieco pobieżną, aczkolwiek krytyczną analizą problemu, omawiając wcześniej w rozdziale pierwszym bardzo szczegółowo i z dużym zdyskretyzowaniem, takich tematów jak: elementy struktur lotniczych, stopy aluminium w przemyśle lotniczym, metody łączenia struktur lotniczych, procesy zgrzewania (metody: FSSW, RFSSW, FSW). Doktorant w rozdziale trzecim omawia założenia i przebieg badań eksperymentalnych (materiały, geometrię próbek badawczych oraz stosowaną, nowoczesną aparaturę badawczą). W rozdziale 4 omówiono metodykę i przebieg badań wstępnych procesu zgrzewania FSM, skupiając się na optymalnym doborze narzędzia i parametrów technologicznych zgrzewania, przy założonej kinematyce procesu. Dokonano również oceny istotności wpływu warunków technologicznych procesu na takie cechy połączenia, jak: wytrzymałość statyczna, wytrzymałość zmęczeniowa, mikrostruktura, odkształcenia, stereometria powierzchni łożyska oraz mikrotwardość przekroju poprzecznego. Rozdział 5 poświęcono pracom badawczym oraz dyskusji otrzymanych wyników badań eksperymentalnych, zdefiniowanych na podstawie badań wstępnych i analizy literatury. Taki przebieg eksperymentu należy uznać za właściwy. Wyznaczenie związków funkcyjnych i ocena zależności cech połączeń zgrzewanych w funkcji technologicznych warunków procesu zgrzewania pozwala na osiągnięcie nie tylko celu poznawczego, ale również umożliwia osiągnięcie efektów naukowych i użytkowych rozprawy. W podsumowaniu autor rozprawy w sposób usystematyzowany przedstawia najważniejsze osiągnięcia i wynikające z nich wnioski. W moim odczuciu są one ujęte zbyt jakościowo a nie ilościowo. Brakuje pewnych uogólnień, które można by przenieść, czy też przeskalować przynajmniej na określoną grupę stopów aluminium z serii 7XXX. Nasuwa się zatem pytanie czy inne gatunki stopów - przynajmniej z serii 7XXX będą

podatne na proces zgrzewania i dadzą porównywalne wyniki w zakresie wytrzymałości, twardości czy struktury jak badany stop Al 7075-T6. Nie wspomnę tutaj o stopach z innych serii. Uwzględniając całokształt przedstawionych treści merytorycznych zarówno w części teoretycznej jak i praktycznej pracy, oceniam je pozytywnie, aczkolwiek autor nie ustrzegł się pewnych sformułowań w sferze językowej o charakterze „przemysłowym”. Struktura pracy i treści merytoryczne, odpowiadają wymaganym standardom stawianym rozprawom doktorskim.

Ocena wartości naukowej rozprawy

Autor pracy podejmuje bardzo ważny i aktualny problem naukowy dotyczący trwałych połączeń części lotniczych, mających wpływ na wytrzymałości konstrukcji i minimalizację masy podzespołów lotniczych. W Polsce pierwsze badania rozpoznawcze nad zastosowaniem FSW zrealizowano w Instytucie Spawalnictwa w Gliwicach (IS) w 2003 r. w ramach zamawianego przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji projektu badawczego (Synaba sn125050). To wskazuje, że zagadnienia będące przedmiotem rozprawy doktoranta są aktualne i cały czas rozwijane. Zatem każda nowa wiedza z tego zakresu może znaleźć swoje odzwierciedlenie w użytych zastosowaniach praktycznych. Badania prowadzone w Instytucie Spawalnictwa dotyczyły aluminium i jego stopów gatunku 1050 i 5255, stali węglowej 45, stali nierdzewnej X6CrNiTi10-10, miedzi oraz następujących skojarzeń tych materiałów: Al+Cu, Al+stop Al, Cu+Al. Autor natomiast w odróżnieniu od nich, skupia się na najbardziej popularnym stopie z serii 7XXX, a konkretnie Al 7075-T6. W publikacjach zachodnich również dużo uwagi poświęca się tej grupie stopów. Jest to zrozumiałe, gdy prześledzi się cele aplikacyjne tych prac i adresatów tych opracowań, którymi są: przemysł kosmiczny, lotniczy ale także samochodowy i zbrojeniowy. Badania w zakresie zgrzewania liniowego FSW realizowane są na różnych stanowiskach, ale zazwyczaj są to stanowiska badawcze zbudowane na bazie frezarek i obrabiarek CNC, co również uczynił doktorant. Umożliwiają je specjalistyczne maszyny i narzędzia a także odpowiednia kinematyka frezarek sterowanych numerycznie CNC. Do istotnych niedociągnięć pracy o charakterze naukowym zaliczam przede wszystkim nieco niefortunne sformułowanie 1 celu rozprawy w brzmieniu: „...sprawdzenie możliwości aplikacyjnych dostępnych na rynku handlowych narzędzi FSW do łączenia cienkich blach ze stopów aluminium 7075-T6..” (str.40). Cel ten nie ma nic wspólnego z nauką i powinien znaleźć się na końcu, słusznie zresztą zdefiniowanych innych celów pracy, takich jak: ocena i analiza zależności funkcyjnych pomiędzy parametrami procesy zgrzewania tarcowego z przemieszaniem FSW a wytrzymałością statyczną, wytrzymałością zmęczeniową, mikrostrukturą, odkształceniami połączenia, stereometrią powierzchni lica oraz mikrotwierdością przekroju poprzecznego (nie wszystkie te związki zostały też zdefiniowane w celach, mimo, że zostały przebadane). Nasuwa się również pytanie, czy Autor pisząc w celach „...wyznaczenie efektywnych parametrów zgrzewania...” ma na myśli optymalnych? Jeśli efektywnych to jakie parametry, czy warunki, dają największą efektywność wykonywania połączeń zgrzewanych FSW, zaś jeśli optymalnych - to jaka była funkcja celu optymalizacji i jakie funkcje ograniczające przyjęto? Również, przeprowadzenie badań wstępnych to raczej jeden ze składników pracy badawczej, a nie cel sam w sobie. Teza pracy jest sformułowana stosunkowo poprawnie, aczkolwiek zastanawiające jest, czy te właściwości powinny być nazwane eksploatacyjnymi, czy raczej ściśle - wytrzymałościowymi. Kolejna uwaga dotyczy wielokrotnie powtarzanego w rozprawie sformułowania „deformacja”, która ma swoje konkretne miary (str. 72-76 i wiele innych). Autor nie definiuje o jaką deformację chodzi i jakie oddziaływania są jej powodem (siłowe, termiczne, inne). Miarą deformacji jest odkształcenie ciała poddanego siłom zewnętrznym, które może być: liniowe, postaciowe, objętościowe, itd. W moim odczuciu autor powinien używać miar deformacji jako odkształcenia, ugięcia, itp. Efektem tych odkształceń jest nie tylko oddziaływanie siłowe ale i oddziaływania termiczne. W tym kontekście zupełnie niezrozumiałe jest również stwierdzenie na str. 88 rozdz. 5,4 „...zmierzone deformację na reprezentatywnej próbce...”. Zastanawiająca jest również analiza stereometrii powierzchni lica połączenia zgrzewanego. Autor używa sformułowania „topologia”, przy czym topologia (gr. τόπος (tópos), λόγος (lógos), słowo, nauka) – to dział matematyki zajmujący się badaniem własności, które nie ulegają zmianie nawet po radykalnym zdeformowaniu obiektów (figur geometrycznych, brył i obiektów o większej liczbie wymiarów), definiuje fundamentalne pojęcia wykorzystywane w wielu innych działach matematyki, na przykład pozwala na abstrakcyjne podejście do opisu ciągłości funkcji lub uogólnienia pojęcia spójności zbioru na przestrzenie funkcyjne. Czy takie zjawiska mają miejsce przy konstytuowaniu struktury geometrycznej powierzchni? Uważam to za niewłaściwe językowo i formalnie. Jakże Autor widzi powiązanie stereometrii powierzchni z wytrzymałością i cechami eksploatacyjnymi takiego połączenia? Tak naprawdę analiza stereometrii została nakreślona w pracy jedynie symbolicznie. Autor nie prześledził do końca związków funkcyjnych parametrów powierzchni z warunkami zgrzewania, nie wykazano celu pomiaru parametrów stereometrii a uzasadnienie nie jest przekonujące czytelnika o słuszności takich badań (powstawanie ognisk korozyjnych, podczas gdy materiałem badanym jest stop aluminium - odporny na procesy utleniania). Na str. 34 autor pisze o pocienieniu warstwy wierzchniej elementów zgrzewanych, co autor miał na myśli? Wydaje się, że pocienienie dotyczy grubości łączonych materiałów w skali makro a nie warstwy wierzchniej WW, która ma swoją skonkretyzowaną definicję. Bardzo ważna, krytyczna analiza problemu ze str. 35 oparta na 4 pozycjach publikacyjnych wydaje się być bardzo skromna i mało naukowa - w świetle dokonanej analizy literatury (wykaz literatury str. 108, 115 pozycji), co u czytelnika może sprawiać wrażenie, że nie wyczerpuje ona w pełni uzasadnienia podjęcia tematu. Analizując rys. 5.11 oraz 5.12 ze str. 87 autor mało precyzyjnie dokonuje opisu rys. 5.12. Mierzona temperatura nie dotyczy trzpienia i opory, co wynika z ułożenia termopar (rys. 5.11) a jedynie uśrednionej temperatury powierzchni materiałów łączonych (pod trzpieniem i oporą). Oczywiście, znając opór cieplny materiałów łączonych (a z pewnością Autor dysertacji mógł je wyznaczyć mając do dyspozycji grubość i przewodność cieplną łączonych materiałów), można stosunkowo łatwo obliczyć temperaturę powierzchni trzpienia i opory.

Dużym wzbogaceniem rozprawy byłaby analiza połączeń ze sobą innych materiałów, takich jak np.: stopy aluminium – stopy miedzi, stopy magnezu – stopy aluminium, stopy aluminium – stal oraz materiały po różnych procesach obróbki. Brakuje też analizy skojarzeń różnych grubości łączonych materiałów (blach). Ponadto, wykresy przedstawione na rysunkach zaprezentowanych od str. 66 posiadają wyniki dyskretnie aproksymowane funkcjami sklejanymi liniowymi, co przy zależnościach nieliniowych nie powinno mieć miejsca. Na takie właśnie związki wskazują rezultaty prac badawczych Doktoranta, co powinno skłaniać go do aproksymacji wielomianowej wielomianami wyższych rzędów. Zastanawiające są również, pomimo przedstawianego uzasadnienia zmianami strukturalnymi, zmiany mikrotwardości połączenia. Oczywistym jest, że zgniót wpływa na wzrost twardości, na co wskazują wyniki badań innych autorów, a nie brak zmian czy wręcz spadek mikrotwardości łączonych blach. W moim odczuciu wymaga to większego uszczegółowienia i przeprowadzenia bardziej wnikliwych analiz. Autor pisze o nośności połączenia i przedstawia ją na wykresach. Jak wiadomo nośność to możliwość przejścia przez materiał, złącze lub konstrukcję obciążeń zewnętrznych. W wytrzymałości materiałów, pojęcie to używane jest także dla określenia parametrów dopuszczalnego obciążenia, np. nośności zakładkowych połączeń zgrzewanych (str. 49). Powstaje pytanie czy Autor prowadząc badania eksperymentalne, w taki sam sposób potraktował definicję nośności? Czy uwzględnił wszystkie warunki prowadzące do definicyjnego jej określenia? Pytanie to się nasuwa szczególnie w przypadku, kiedy Autor, prędkość ruchu posuwowego narzędzia traktuje jako prędkość zgrzewania. To budzi zastrzeżenia i pytanie, czy zgrzeina powstaje z taką samą prędkością co przemieszczające się narzędzie?

Do ważniejszych zalet pracy, co nie było nawet jej zasadniczym celem, zaliczam wyniki pomiaru i analizy metalograficzne, przedstawione podwójnie, w treści pracy i załączniku. Za bardzo cenne uznaję badania SEM i EDS, chociaż dotyczyły tylko 1 próbki nr 4. Wiedza z tych pomiarów i analizy na ich podstawie przeprowadzone, mogłyby znacznie podnieść wartość naukową pracy. Żałuję, że Autor tak mało miejsca poświęcił tym badaniom, analizie i dyskusji wyników. Autor nie przeanalizował też wad zgrzein wykonanych przy niedokładnym spasowaniu łączonych elementów i nie zaproponował żadnych środków zaradczych. Analiza pracy, jako całości stanowi podstawę do oceny, że autor wykonał bardzo dużą liczbę badań, ale nie dokonał ich wyczerpującej dyskusji, szczególnie w powiązaniu ze sobą. Każde badania przedstawił niezależnie i oddzielnie oraz nie dokonał zestawień porównawczych surowych wyników prezentowanych w pracy. Takie opracowanie pozwoliłoby łatwiej wyciągnąć wnioski naukowe, poznawcze i użytkowe. Przez to w pracy brak uogólnień i przeniesienia wiedzy pozyskanej podczas badań na całą grupę badanych stopów aluminium. Podsumowanie i wnioski pracy uważam za minimalne i bardzo skromne w kontekście zakresu pracy. Autor powinien odnieść się do rezultatów nie tylko jakościowych ale i ilościowych. Streszczenie pracy w j. polskim i angielskim jest bardzo krótkie i nie oddaje treści rozprawy. Dostrzegam jednak wiele pozytywnych cech aplikacyjnych wykonanych badań. Mogą one przynieść dużo efektów użytkowych z zastosowania w praktyce. Biorąc pod uwagę całość pracy, zaprezentowane wyniki posiadają również wymiar poznawczy i naukowy. Podsumowując aspekty naukowe pracy, pomimo wielu jej niedoskonałości uważam, że autor osiągnął przyjęte w pracy założenia i pozyskał wystarczający materiał badawczy do udowodnienia postawionej w rozprawie tezy.

Ocena językowa i redakcyjna rozprawy

Ocena redakcyjna rozprawy obejmuje: strukturę pracy, poprawność językową, stosowanie odpowiednich skrótów, odnośników i cytowań, zamieszczania rysunków, wzorów i tabel wraz z ich właściwym opisem, podpisami i wyjaśnieniami, opracowanie literatury, normatywnych aktów prawnych, wykazu oznaczeń, skrótów, akronimów i streszczeń w j. polskim i j. angielskim.

Analiza rozprawy pod kątem reakcyjnym nie budzi większych zastrzeżeń, nie mniej jednak autor nie ustrzegł się wielu niedociągnięć i niedoskonałości. Do najważniejszych z nich należą:

- Autor buduje bardzo długie i niewłaściwie gramatycznie zdania, co powoduje że czytelnik ma czasami problem ze zrozumieniem, co autor miał na myśli (np. str. 6 „Wstęp”, pierwszy akapit, str. 20, str. 37 - podpis pod rys. 2,3, str. 43, str. 46, str. 105 „Podsumowanie i wnioski”, itd.,).
- Autor rozprawy popełnia błędy interpunkcyjne, stylistyczne, zastrzeżenia budzi często sens zdania, jego szyk, brak akapitów w odpowiednich miejscach, przeskok tekstowy do drugiego wiersza (str. 12, str. 36 i inne),
- Autorowi pracy zdarza się niewłaściwie stosować skróty, nie znajdujące uzasadnienia formalnego (np. „odchl.Stand.”, Odch/Fśr*100”, Nośności cieńszej (np. tab. 5,3, str. 85), Wytrzym. blachy 0,8, - dotyczy to wszystkich tabel w części eksperymentalnej rozprawy),
- Autor jednym zmiennym przypisuje jednostkę zaś inne zmienne podaje bez jednostek (tabele w części eksperymentalnej rozprawy),
- Autor (w całej pracy) wyrażając wartość wielkości stosuje zapis jednostki w nawiasie kwadratowym (np. $F=10[N]$ zamiast $F=10N$), zupełnie w sposób nieuzasadniony. Wyrażając wartość wielkości nie ma potrzeby używać nawiasu dla jednostki w jakiej jest ona wyrażona. Definiując wielkość (zmienną) zastosowanie nawiasu jest jak najbardziej uzasadnione, np. $F [N]$,
- po dwukropku Autor wymienia treści z dużej litery (str. 13, 14, itd.),
- Autor pracy kończy niejednokrotnie rozdział lub podrozdział rysunkiem, wzorem lub tabelą, co jest raczej rzadko spotykane w pracach naukowych (str. 11, 27, itd.),
- rysunek 1,8; 1,9; 1,10;1,11; 1,17; 1,20; 1,21; 2,1; 2,2; 2,3; 2,4; 2,5; 4,1; 4,2; 4,3; budzi wątpliwości czy jest rysunkiem autorskim Doktoranta, czy raczej zaczerpniętym z literatury, podobnie rys. 1.2, rys. 1,21 nie mają odniesienia do literatury (str. 9),

- rys. 2.3 oraz 2,4 str. 37 jest niejasny i trudny do jednoznacznej interpretacji i zrozumienia, brak wystarczających objaśnień skrótów (1, 2, 3, 4, 5), rys. 37 wydaje się źle wykonany,
- rys. 4,11 ze str. 55 jest źle wykonany, (czy jest on przekrojem, czy widokiem ?),
- rys. 4.3 niegodny z zasadami rys. technicznego (urwanie, gwint, stopień uproszczenia), brak odniesienia do literatury,
- rys. 4.4, rys. 4.5, oraz 4.8 są źle opisane,
- Autor używa sformułowań „blacha dolna”, „blacha górna”, to nie jest jednoznaczne dla czytelnika,
- podpisy pod rysunkami wielokrotnie nie posiadają stosownych doniesień do prezentowanych figur (rysunki wieloelementowe) np. a)....., b).....c)....., d)....., brak takich opisów również na samym rysunku (np. rys. 4,11; 4,15; 4,14; 4,18; 4,19; 4,20; 4,21, 4,26; 4,27; rys. 4,25, rys. 5.7 i wiele innych),
- Autor rozprawy w tekście nie używa skrótów rysunków i tabel (rys. 1, Tab. 1),
- podrozdział 1.3 ma bardzo skąpe odniesienia do pozycji literatury, a w nim aż się prosi zacytować wiele prac z wykazu przeanalizowanej literatury, dodatkowo brak odniesień w akapitach ze str. 15, 16, 24, 30, itd.),
- wykaz ważniejszych oznaczeń zawiera jedynie 13 oznaczeń, skrótów i akronimów, zaś w pracy Autor używa bardzo wielu różnych oznaczeń zmiennych, itp.,
- Autor jednej zmiennej przypisuje różne wielkości, np. n w jednym przypadku jest prędkością obrotową wyrażoną w obr/min, zaś w innym liczbą próbek lub całkowitą liczbą pomiarów (np. na str. 63-65, str. 66 - rys. 4.22),
- dlaczego w równaniu (8) ze str. 92, wstawiono jednostki przy wartościach wielkości f_x i n ? równanie (8) nie jest opisane właściwie ($2x$ prędkość zgrzewania, raz w mm/obr, zaś drugi raz w mm/min – czy chodzi o prędkość obrotową oraz prędkość liniową? to wymaga wyjaśnienia nazewnictwa),
- wykaz literatury nie jest sporządzony wg przyjętych standardów, praktycznie każda pozycja literaturowa jest sformatowana inaczej, brak niejednokrotnie wydawnictw lub są one źle wpisane, brak jednolitego sposobu zapisu rozdziałów, woluminów, stron, tytułów czy samych imion i nazwisk autorów. Wykaz literatury, który jest bardzo ważny w pracy, sprawia wrażenie, że autor w dużym pośpiechu go redagował, a także cytował;

Podsumowując, przytoczone niedociągnięcia, mimo iż są liczne, nie obniżają wartości naukowej i poznawczej pracy.

Wniosek końcowy

Uwzględniając przedstawioną do recenzji rozprawę doktorską i jej naukowy wkład w Dyscyplinę Inżynieria Mechaniczna stwierdzam, że mgr inż. Rafał Burek, spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytułach naukowych oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki (ustawa z dnia 14 marca 2003r. (Dz.U. nr 65, poz. 595), tekst ujednolicony z dnia 29 września 2014 r. wraz z późniejszymi rozporządzeniami z dnia 20 września 2018r.) i wnioskuję o jej przyjęcie i dopuszczenie Autora do publicznej obrony rozprawy.

Politechnika Lubelska
 WYDZIAŁ MECHANICZNY
 Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji
 dr hab. inż. Jerzy Józwik
 profesor uczelni

Lublin, dnia 22 maja 2020r.