

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Michała Krzysztoforskiego pt:

„Właściwości użytkowe szynoprzewodów spawanych z wykorzystaniem techniki mikro-jetowej”

wykonana na zlecenie Rady Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej

na podstawie uchwały nr IV/46/2018/2019.

Ogólna charakterystyka pracy

Praca doktorska mgr inż. Michała Krzysztoforskiego napisana pod kierownictwem prof. zw. dr hab. inż. Tomasza Węgrzyna dotyczy możliwości wytwarzania szynoprzewodów spawanych z wykorzystaniem techniki mikro-jetowej. Praca ma układ klasyczny i składa się z dwóch zasadniczych części – Przegląd literaturowy oraz Badania własne, rozdziały te poprzedzone są Wprowadzeniem. Praca zawiera 117 stron tekstu, 27 tablic, 60 rysunków oraz 69 pozycji literaturowych. We Wprowadzeniu Autor uzasadnia swoje zainteresowanie i jednocześnie wprowadza czytelnika w zagadnienia dotyczące właściwości użytkowych szynoprzewodów spawanych z wykorzystaniem techniki mikro-jetowej na tle dotychczas stosowanych technik spajania. W części literaturowej Doktorant przedstawił procesy spajania stosowane w łączeniu aluminium i jego stopów oraz scharakteryzował rozwiązania konstrukcyjne szynoprzewodów. Następnie szczegółowo omówił spawanie z zastosowaniem chłodzenia mikrostrumieniowego i możliwości sterowania strukturą spoiny złącza stalowego przy pomocy inżektora mikrostrumieniowego. W ostatniej części przeglądu literaturowego Autor przedstawił zagadnienia dotyczące możliwości sterowania strukturą aluminium i jego stopów. Część przeglądu literatury Doktorant zakończył zwięzłym podsumowaniem. Na podstawie podsumowania przeglądu literatury oraz wstępnych badań własnych Doktorant sformułował tezę pracy. Z postawionej tezy oraz celu wynikał zakres i metodyka badań przedstawionej w zasadniczej części badawczej recenzowanej pracy. W tej części Doktorant przeprowadził eksperyment związany z analizą wpływu parametrów chłodzenia mikrostrumieniowego na

przewodność, właściwości wytrzymałościowe – wytrzymałość na rozciąganie oraz strukturę uzyskanych połączeń spawanych. Wyniki badań przedstawiono głównie w postaci wykresów oraz tabelaryzowanych wartości liczbowych. Merytoryczną część rozprawy kończy rozdział Podsumowanie w którym zawarto 9 wniosków. Na końcu rozprawy zamieszczona jest bibliografia oraz spis rysunków i tablic.

Ocena rozprawy oraz uwagi ogólne

Ciągły rozwój cywilizacji i związany z nim rozwój gospodarki, powoduje rosnące zapotrzebowanie na energię elektryczną. Wymaga to ponoszenia dużych nakładów inwestycyjnych związanych z budową nowych i modernizacją istniejących elektrowni. Zarówno modernizacja, rozbudowa, jak i budowa nowych bloków energetycznych wymaga dostarczania określonych kluczowych elementów. Jednym z tych komponentów są szynoprzewody służące do wyprowadzania mocy z generatorów do transformatorów blokowych w elektrowniach. Szynoprzewody wykonywane są najczęściej ze stopów aluminium, a głównym procesem przy ich produkcji i montażu jest spawanie. Dążenie przez inwestorów do minimalizacji ryzyka wystąpienia awarii stawia przed producentami poszczególnych systemów, w tym szynoprzewodów, wysokie wymagania jakościowe – bezawaryjność eksploatacji. Również istotnym z punktu widzenia ograniczenia kosztów użytkowania są straty własne szynoprzewodów. Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom przemysłu w ramach rozprawy doktorskiej została opracowana innowacyjna technologia spawania aluminium z wykorzystaniem przystawki mikro-jetowej. W rozprawie podjęto próby wytworzenia złączy spawanych stopu aluminium o wyższych właściwościach wytrzymałościowych (wytrzymałości na rozciąganie) oraz obniżonych stratach przewodnictwa elektrycznego w odniesieniu do obecnie stosowanych złączy. Uważam, że tematyka opiniowanej rozprawy wpisuje się w alternatywne poszukiwanie nowych możliwości kształtowania właściwości metali i stopów, w tym również ich złączy spawanych. Podjęte w rozprawie doktorskiej aspekty badań są oryginalne i stanowią alternatywę do klasycznych metod łączenia elementów szynoprzewodów wytwarzanych ze stopów aluminium. W tym aspekcie należy docenić innowacyjne podejście Doktoranta do podjętej tematyki. Doktorant dążąc do osiągnięcia celu pracy zmodyfikował stanowisko do spawania wzdłużnego oraz zaprojektował i wykonał prototyp inżektora mikrostrumieniowego. Szczególnie cenne z punktu widzenia aplikacyjnego zastosowania otrzymanych wyników badań było opracowanie równań

regresji. Uzyskane na podstawie wyników eksperymentalnych równania można wykorzystać do oszacowania wartości przewodnictwa elektrycznego i wytrzymałości na rozciąganie spoiny w zależności od następujących parametrów: liczby strug i ciśnienia gazu chłodzącego oraz odległości inżektora mikrostrumieniowego od palnika spawalniczego. Otrzymane równania stanowią znaczący i nowatorski wkład Doktoranta w rozwój nowych technik spawania.

W pierwszej części rozprawy Doktorant dokonał przeglądu prawie 70 pozycji literaturowych obejmujące zarówno pozycje źródłowe, jak i najnowsze publikacje naukowe. Odwołania obejmują zarówno klasyczne podręczniki akademickie, jak i specjalistyczne czasopisma naukowe, w tym znaczną część z ostatnich kilkunastu lat. Część pozycji pochodzi jednak z początku lat 90-tych ubiegłego wieku i uznać je należy za częściowo nieaktualne. Doktorant powołuje się również na cztery publikacje współautorskie zamieszczone w czasopismach recenzowanych, co świadczy o wkładzie Autora w rozważaną problematykę badawczą. Przegląd literaturowy jest jasny i zrozumiały, chociaż nie pozbawiony błędów edytorskich i stylistycznych. Bez uszczerbku dla niniejszej rozprawy można byłoby ograniczyć objętość rozdziału pt. „Szynoprzewody jako wielogabarytowe spawane konstrukcje aluminiowe”, natomiast zdaniem recenzenta należałoby rozbudować rozdział dotyczący spawania aluminium i jego stopów metodą MIG.

Część badawcza recenzowanej pracy podzielona jest zasadniczo na dwa rozdziały: Badania rozpoznawcze złączy aluminium chłodzonych mikrostrumieniowo (rozdział 8) oraz Badania zasadnicze (rozdział 10). Określenie przez Doktoranta w tytule rozdziału 8 badań wstępnych jako badań rozpoznawczych, nie jest zbyt trafnym wyborem, tym bardziej że Doktorant w dalszej części pracy stosuje nazewnictwo – badania wstępne. W oparciu o dane literaturowe oraz wstępne doświadczenia własne Doktorant sformułował następującą tezę pracy „*Wykonanie spoin z użyciem techniki mikrostrumieniowej w konstrukcji szynoprzewodów zapewnia lepsze właściwości użytkowe połączeń spawanych oraz obniża straty własne mostów szynowych*”, która w mojej opinii jest prawidłowa. Do zweryfikowania postawionej tezy Doktorant przyjął w rozdziale 10 harmonogram realizacji badań obejmujący m.in. wytworzenie spoin schładzanych z zastosowaniem różnych parametrów chłodzenia mikrostrumieniowego, przeprowadzenie badań właściwości elektrycznych i mechanicznych złączy spawanych. Wykonano również badania mikrostruktury oraz rentgenowską analizę fazową. Dobór metodyki badawczej nie budzi zastrzeżeń, choć moim zdaniem cennym byłoby poszerzenie badań właściwości mechanicznych (np. o pomiar twardości) i badań mikrostrukturalnych.

Oceniając pracę od strony merytorycznej, należy stwierdzić że zarówno zaplanowanie eksperymentu, dobór technik badawczych, interpretacja wyników były wykonane prawidłowo i jako całość nie budzą większych zastrzeżeń. Niestety w pracy widoczne były względnie liczne błędy edycyjne i stylistyczne, co zapewne wynikało ze znacznego pośpiechu przy edycji końcowej opiniowanej pracy. Szkoda, że Doktorant nie poświęcił więcej czasu i uwagi przy przygotowaniu ostatecznej wersji opiniowanej pracy. Pewien niedosyt budzi również dyskusja wyników badań, która w niektórych miejscach mogła być zdecydowanie pogłębiona. Recenzowana rozprawa doktorska kończy się Podsumowaniem, w którym Doktorant przedstawił 9 wniosków. W punkcie tym brakuje jednak odniesienia w tekście do zamieszczonych w części badawczej rysunków i tabel.

Uwagi dyskusyjne i szczegółowe

W trakcie szczegółowej analizy rozprawy nasuwają się pewne spostrzeżenia natury polemicznej oraz uwagi szczegółowe, które wyrażam poniżej

1. Zbyt zwięźle przedstawiona została w pracy charakterystyka zastosowanego w czasie eksperymentu stopu aluminium 1050.
2. Doktorant w treści rozprawy wielokrotnie stosuje wyrażenia „Analiza informacji w artykułach...”, „Dostępne publikacje ...”, czy też „Analiza artykułów ..” nie podając które pozycje literaturowe ma na myśli. Podobnie Doktorant stosuje w pracy zwroty „Z rysunków wynika ...”, „Na podstawie powyższych wykresów...” etc. nie podając numeracji rysunków, których dotyczą.
3. Doktorant w treści rozprawy wielokrotnie stosuje termin „wytrzymałość”, nie precyzując, o którym parametrze mowa. Proszę o komentarz.
4. Doktorant w pracy stosuje naprzemiennie słowo własności i właściwość, należałoby używać jednego terminu, sytuacja analogiczna jest dla stosowanego w pracy określenia tabela i tablica.
5. Według aktualnego podziału stali stopowych nie ma wśród nich stali kwasoodpornych, są natomiast stale nierdzewne do których zaliczamy stale odporne na korozję, a wśród nich stale o strukturze austenitycznej.
6. Istotnym uzupełnieniem rozprawy byłoby zamieszczenie planu badań w postaci graficznego schematu blokowego, co zdecydowanie pomogłoby czytelnikowi w lepszym zrozumieniu celu i idei badań.

7. Należałoby uzupełnić opisy rysunków i tabel o dokładne podpisy i wyjaśnienia m.in. rys. 15, 17-20, 34, 35 oraz tabela 6, 7, 16, 20, 21 itd.
8. W pracy widoczne są nazbyt często błędy edytorskie, tzw. literówki, zdania i wyrażenia, których styl odbiega od norm obowiązujących w języku polskim, np. na stronie 5 wers 2 i 3 od góry, strona 10 wers 1, strona 30 wers 4-7 od góry, strona 31 wers 2 od góry, strona 32 wers 7-8 od góry, strona 33 wers 2-3 pod tabelą nr 7 etc.
9. Doktorant w części literaturowej na stronie 40 przy opisie makrostruktury aluminium odlanego do kokili metalowej pisze o strukturze transkryształicznej, prosiłbym o wyjaśnienie tego terminu.
10. Wykonując badania właściwości mechanicznych należy opierać się na polskich normach, stąd na stronie 80 rozprawy należałoby cytować normy jak następuje: PN EN ISO 6892-1, PN EN ISO 10113, PN EN ISO 10275, z tym że dwie ostatnie normy do przeprowadzonego badania tj. statycznej próby rozciągania nic nie wnoszą.
11. W metodyce badawczej nie podano szczegółów dotyczących wykonania statycznej próby rozciągania oraz preparatyki zglądów metalograficznych.
12. Czy widoczne na rys. 55, strona 95 wady w objętości złącza są to niezgodności spawalnicze, czy też defekty na powierzchni zglądu metalograficznego? Proszę o komentarz.
13. Jaka jest typowa struktura stopu 1050, o której Doktorant wspomina na stronie 95. Proszę o komentarz.
14. Szkoda, że nie rozbudowano rozdziału związanego z badaniami mikrostrukturalnymi, tym bardziej, że zamieszczone w pracy obrazy mikrostruktury złącza spawanego nie zawsze spełniały kryterium jakości.
15. Zastosowana w pracy norma PN-H04507-01:1984 pozwalająca mikroskopowo określić wielkość ziarna za pomocą wzorców rysunkowych, została wycofana i zastąpiona normą PN EN ISO 643:2013-06.
16. Dla lepszego zrozumienia przez czytelnika wpływu wielkości ziarna na analizowane właściwości użytkowej należało podać dla każdej określonej wielkości ziarna parametr stereologiczny np. średnią średnicę ziarna.
17. Brak jest szczegółowej metodyki przeprowadzenia badań rentgenowskiej analizy fazowej.
18. Błędne powołanie się na rys. 58 zamiast na rys. 60 na stronie 99.
19. Czy Doktorant mógłby wyjaśnić przedstawione na stronie 100 stwierdzenie "we wszystkich spoinach analizowano dwa składniki krystaliczne: aluminium oraz krzem.

Nie należy spodziewać się, że w analizowanym materiale są fazy międzymetaliczne w ilości większej niż 1%”.

20. W przedstawionych na stronie 105 wnioskach numer 2 i 6 Doktorant pisze o właściwościach plastycznych, natomiast w pracy przeprowadzone badania pozwoliły na określenie wpływu zastosowanych parametrów chłodzenia mikrostrumieniowego na wytrzymałość na rozciąganie. Czy określono również właściwości plastyczne złącza, proszę o komentarz
21. Przedstawione w pracy na stronie 106, w punkcie 8 i 9 wnioski nie wynikają z przeprowadzonego eksperymentu, lecz są to raczej sugestie dotyczące możliwości wykorzystania uzyskanych wyników w praktyce przemysłowej lub zalecenia dotyczące możliwości dalszego prowadzenia badań w tym temacie. Proszę o komentarz.
22. Zamieszczony na stronach 113-114 spis publikacji również nie jest pozbawiony błędów edycyjnych.

Wniosek końcowy

Wnikliwa lektura pracy przyniosła dużą liczbę uwag szczegółowych, które nie wpływają na pozytywną ocenę ogólną rozprawy. Uważam, że niniejsza rozprawa doktorska stanowi wkład naukowy w rozwój inżynierii spajania i mieści się w zakresie dyscypliny – budowa i eksploatacja maszyn. Podsumowując stwierdzam, że Autor w stopniu wystarczającym poradził sobie z rozwiązaniem sformułowanego problemu badawczego oraz osiągnął zaplanowane cele badawcze i potwierdził tezę. Autor rozprawy wykazał się również umiejętnością korzystania z różnorodnych metod badawczych oraz z nowoczesnej aparatury badawczej, a także wykazał zdolność samodzielnego zaprojektowania i prowadzenia badań naukowych.

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską mgr inż. Michała Krzysztoforskiego pt: „Właściwości użytkowe szynoprzewodów spawanych z wykorzystaniem techniki mikro-jetowej”, stwierdzam, że spełnia ona wymagania stawiane przez obowiązującą ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz wnioskuję do Rady Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Golanowski Grzegorz