

dr hab. Bartłomiej Wierzba, Prof. PRz

Rzeszów, 12.11.2015

Recenzja

pracy doktorskiej mgr. inż. Agnieszki Poradki

p.t. **"Wpływ przemian fazowych na mikrostrukturę i właściwości mechaniczne lutowanych połączeń rurowych w silnikach lotniczych"**

Podstawa opracowania recenzji: pismo Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej im. I. Łukasiewicza w Rzeszowie z dnia 05.10.2015 roku.

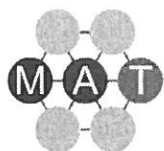
1. Ocena celowości i aktualności tematyki badawczej.

Recenzowana praca doktorska Mgr. inż. Agnieszki Poradki p.t. "Wpływ przemian fazowych na mikrostrukturę i właściwości mechaniczne lutowanych połączeń rurowych w silnikach lotniczych" dotyczy zagadnień wytwarzania połączeń rurowych w procesie wysokotemperaturowego lutowania dyfuzyjnego i ocena ich wytrzymałości w warunkach użytkowania w silnikach lotniczych. W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczące procesu kształtowania składu fazowego i mikrostruktury oraz właściwości mechanicznych uzyskanych połączeń. Badaniom poddano serię próbek ze stali X8CrNiTi18-10 według różnych wariantów przygotowania powierzchni oraz lutowie o składzie chemicznym Au-18Ni. W ocenie budowy i właściwości wykorzystano metodę mikroskopii skaningowej (SEM). Praca wpisuje się w aktualne trendy inżynierii materiałowej.

2. Uwagi formalne

Łączna objętość pracy doktorskiej Mgr. inż. Agnieszki Poradki wynosi 112 stron. Praca składa się z 6 podstawowych rozdziałów: 1) wprowadzenie, 2) studium literatury, 3) stan zagadnienia w świetle literatury - założenia i cel pracy, 4) badania własne, 5) wyniki badań oraz 6) analiza wyników badań i wnioski.

Statystycznie około 35% objętości pracy poświęcone jest analizie aktualnego stanu wiedzy w zakresie wybranych zagadnień, natomiast pozostałe 65% badaniom własnym i ich dyskusji.



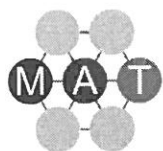
Celem opiniowanej pracy było "charakteryzacja zjawisk fizycznych i termodynamicznych - dyfuzji i adhezji - występujących w procesie lutowania połączeń rurowych stosowanych w silnikach i konstrukcjach nowoczesnych samolotów oraz śmigłowców i zapewniających dobre właściwości wytrzymałościowe i użytkowe"

Zakres pracy obejmuje analizę stanu wiedzy dotyczącej charakterystyki procesu lutowania dyfuzyjnego zarówno w zakresie badań eksperymentalnych jak i teoretycznych. Autorka scharakteryzowała podstawy fizyczne procesu lutowania, skupiając się głównie na zjawiskach: zwilżalności i rozplýwności lutowia, kapilarności ciekłego lutowia do szczeliny lutowanego połączenia oraz degradacji warstwy wierzchniej i dyfuzji na granicy międzyfazowej składników lutowia. Ponadto rozdział dotyczący numerycznego modelowania jest pewną próbą dyskusji o teoretycznych podstawach procesu.

Uważam, że cel i zakres pracy wynikają logicznie z analizy literatury przedstawionej w części pierwszej rozprawy.

3. Treść Pracy

Pracę rozpoczyna ogólne wprowadzenie, w którym Autorka uzasadnia wybór tematyki. Zwraca uwagę na właściwości wytrzymałościowe tworzącego się połączenia jako podstawowy parametr procesu technologicznego. Uzasadnia to podjęte w pracy próby określenia kinetyki procesu krystalizacji oraz kształtowania mikrostruktury zarówno materiału lutowia jak i strefy połączenia dyfuzyjnego. W rozdziale drugim - "studium literatury" - Autorka charakteryzuje proces lutowania dyfuzyjnego. Przedstawia ona istniejące technologie, m. in. lutowanie nisko i wysokotemperaturowe. W kolejnym rozdziale opisuje teorie charakteryzujące proces lutowania dyfuzyjnego. Przedstawia matematyczny model Gosele i Tu z roku 1982. Podstawą tego modelu są przyjęte założenia o stałości współczynnika dyfuzji i lokalnej równowadze termodynamicznej na granicy międzyfazowej. Przedstawia prawo zachowania masy oraz warunki początkowe i brzegowe. W następnych rozdziałach mgr inż. Agnieszka Poradka charakteryzuje podstawy fizyczne i chemiczne procesu lutowania: zwilżalność, rozplýwność oraz kapilarność. Ostatni rozdział w tej części pracy stanowi charakterystyka procesu lutowania próżniowego. Opisano w nim podstawowe zalety procesu, uzasadniono wybór lutowia o składnie chemicznym Au18Ni.



Opracowanie literaturowe jest przeglądem pozycji, krytycznie wybranych przez Doktorantkę spośród bardzo bogatej literatury. W pracy zawarto łącznie 69 odnośników literaturowych. Zawierają one informacje, które pozwalają umieścić tematykę pracy na tle aktualnego stanu wiedzy.

Kolejna część pracy jest poświęcona badaniom własnym. W tej części rozprawy mgr inż. Agnieszka Poradka opisuje przyjęte materiały do badań oraz metodykę badań. Autorka proponuje pięć wariantów przygotowania powierzchni próbek i przebadanie ich wpływu na zwilżalność i rozplwność lutowia Au-18Ni. W kolejnych rozdziałach opisuje technologię przygotowania połączenia rurowego oraz metody badań makroskopowych i mikroskopowych wykonanych w analizie wyników. Autorka w swojej pracy wykonała pomiary chropowatości powierzchni, próbę statycznego rozciągania, pomiar twardości oraz próbę zginięcia trójpunktowego. W części „analiza wyników badań i wnioski” Mgr. inż. Agnieszka Poradka wymieniła najważniejsze rezultaty pracy.

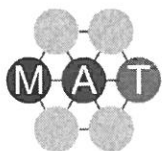
Podsumowując tę część recenzji stwierdzam, że treść pracy jest zgodna z jej tytułem. Sposób prezentacji i interpretacji zróżnicowanych eksperymentów wskazuje na dobre przygotowanie Doktorantki w zakresie inżynierii materiałowej.

Rysunki, zdjęcia i wykresy cechuje dobra jakość, są poprawnie opisane i związane z tekstem. Jednostki miar i symbole jednostek są stosowane prawidłowo.

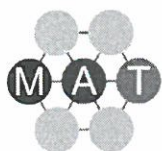
4. Uwagi, wątpliwości, zapytania.

Czytając rozprawę nasuwają się następujące zapytania:

- 1) Jednym z celów rozprawy był wpływ przygotowania powierzchni próbek na proces lutowania. Autorka jednak już na stronie 10 napisała: "Lutowanie dyfuzyjne jest procesem łączącym w sobie zalety lutowania konwencjonalnego z uwagi na ciągłość lutowni i brak konieczności specjalnego przygotowania powierzchni łączonych materiałów" nasuwa się więc pytanie czy przed procesem lutowania jest konieczne specjalne przygotowanie powierzchni?
- 2) Nie jest jasna różnica pomiędzy lutowaniem nisko i wysokotemperaturowym. Czy zawsze, jak sugeruje autorka, podczas procesu lutowania wysokotemperaturowego w lutowni nie powstają granice międzyfazowe? Jak przebiega proces lutowania w stopach NiAl?



- 3) Jaka jest różnica pomiędzy modelami Gosele i Tu oraz Illingwortha (str. 15)? Prawa charakteryzujące zmianę masy w stopach są takie same dla tych modeli (równanie 1 = 5; równanie 4 = 6). Czemu w równaniu 6 jest uwzględniony strumień dyfuzji tylko jednej fazy? W których równaniach zostały wprowadzone parametry bezwymiarowe?
- 4) Z równania 7 oraz zależności: $E_g = 2E_s \cos \Theta$ wynika, że zmiana wartości potencjału termodynamicznego układu wynosi 0: $\Delta G \cong (-E_g + 2E_s \cos \Theta) \Delta I_g = (0) \Delta I_g = 0$. Czy możliwy jest wtedy proces dyfuzji?
- 5) Na stronie 36 autorka napisała, że podjęto próby charakteryzacji procesu krystalizacji, czy proces ten można również opisać w sposób teoretyczny? czy są modele charakteryzujące to zjawisko?
- 6) Jaki jest wpływ przygotowania powierzchni na głębokość strefy dyfuzyjnej?
- 7) Rysunek 21 b) ma źle podpisane osie, szerokość szczeliny w połączeniu rurowym powinna być stała a nie jak przedstawiono zmienia się w sposób liniowy. Ponadto, równania 25 - 30 mają inne oznaczenia jak na rysunku 19. Utrudnia to ich analizę. Czy w równaniu (25) powinno być $Dr_{\max} - Dr_{\min}$ czy, jak wynika to ze średniej arytmetycznej: $Dr_{\max} + Dr_{\min}$
- 8) Na stronie 74, rysunek 58 przedstawiono mikrofotografię schematu pomiaru głębokości strefy dyfuzyjnej. Dlaczego strefę dyfuzyjną mierzono dla tej głębokości? Czy strefa dyfuzji nie może być większa? Może należało zrobić analizę EDS oraz sprawdzić zmianę stężenia na dłuższym odcinku.
- 9) Rysunek 107 został podpisany: "Schemat pomiaru twardości elementów połączenia lutowanego (a) i lutowni (b)" jednakże na mikrofotografii nie zaznaczono tych miejsc. Ponadto w tabelach 16 i 17 nie wiadomo dlaczego wykonano raz 7 a potem 13 pomiarów.
- 10) Linia przerywana łącząca punkty (g-h) przedstawiona na rysunku 3 nie jest linią równoległą do konody. Ta linia musi przechodzić dokładnie wzdłuż konody. W trapezie nie ma dwóch równoległych konod przy założeniu, że są one równomiernie rozmieszczone.
- 11) strona 22, w równaniu określającym $\Delta X_j(t)$ nie powinno być oznaczenia różniczki zupełnej po czasie.
- 12) strona 25, równanie 19: zamiast znaku + powinien być znak =.
- 13) Odnośniki literaturowe wskazują na błędne prace: np. str. 14 zamiast [20] powinno być [22]; str. 15 zamiast [21] powinno być [20] itd.



14) W spisie treści rozdział 4.2.3. został zatytułowany "Symulacja numeryczna procesu lutowania dyfuzyjnego" natomiast rozdział 5.5. "Symulacja numeryczna" należało by precyzyjniej nazywać rozdziały.

5. Ocena osiągnięć uzyskanych w czasie realizacji pracy

Do głównych osiągnięć recenzowanej pracy doktorskiej Mgr. inż. Agnieszki Poradki należy zaliczyć: otrzymanie połączeń dyfuzyjnych oraz analiza ich morfologii, składu chemicznego, zaproponowanie modelu mechanizmu wzrostu warstw dyfuzyjnych podczas procesu lutowania wysokotemperaturowego oraz zrealizowanie celu pracy.

Po szczegółowym zapoznaniu się z treścią przedstawionej rozprawy doktorskiej Mgr. inż. Agnieszki Poradki stwierdzam, duży nakład pracy Doktorantki w przeprowadzeniu czasochłonnych eksperymentów w celu wytworzenia i przebadania połączeń dyfuzyjnych.

6. Wniosek końcowy

Recenzowaną rozprawę doktorską Mgr. inż. Agnieszki Poradki oceniam pozytywnie ze względu na jej tematykę badawczą bardzo istotną między innymi dla rozwoju inżynierii materiałowej. Należy podkreślić poprawność sformułowania tematyki badawczej oraz wykorzystanie wiedzy z zakresu eksperymentalnego wytwarzania warstw dyfuzyjnych.

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy doktorskiej Mgr. inż. Agnieszki Poradki uważam, że Doktorantka jest specjalistą z zakresu łączenia elementów rurowych. Doktorantka opublikowała 2 prace naukowe z zakresu swojej pracy badawczej, brała udział w 3 konferencjach oraz wielu projektach badawczych.

W oparciu o przedstawioną rozprawę doktorską Mgr. inż. Agnieszki Poradki stwierdzam, iż spełnia ona wymagania stawiane pracom doktorskim określone ustawą o stopniach i tytułach zawodowych. Wnoszę zatem do Rady Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej o dopuszczenie jej Autorki, Mgr. inż. Agnieszki Poradki do publicznej obrony niniejszej pracy.

Bartłomiej Wieleba

