



RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr Katarzyny Korzyńskiej nt.
„Badania wpływu procesu pneumokulowania na wytrzymałość zakładkowych połączeń
klejowych”

Niniejszą recenzję opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki
Lubelskiej prof. dra hab. inż. Zbigniewa Patera– pismo nr WM/378/2019
z dnia 2 października 2019 r.

1. Ogólna, formalna charakterystyka pracy

Recenzowana rozprawa została przedstawiona na 133 stronach maszynopisu i zawiera poza wykazem oznaczeń i skrótów oraz wprowadzeniem:

- rozdział pierwszy, w którym Doktoranta dokonała przeglądu literatury dotyczącej: klejenia konstrukcyjnego (zjawiska adhezji, klasyfikacji klejów, technologii klejenia, czynników wpływających na wytrzymałość połączeń klejowych, metod badania wytrzymałości, zastosowania połączeń klejowych) oraz obróbek nagniatania, a zwłaszcza pneumokulowania i jego wpływu na stan warstwy wierzchniej części oraz na wytrzymałość zakładkowych połączeń elementów stalowych. W rozdziale tym opisano również właściwości stopu tytanu Ti6Al4V i jego zastosowanie oraz sformułowano wnioski wynikające z przeglądu bogatej literatury,

- rozdział drugi zawierający tezę oraz opisujący cel i zakres pracy,
- rozdział trzeci opisujący plan i metodykę badań,
- rozdział czwarty, w którym przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań,
- rozdział piąty będący wnioskami z przeprowadzonych badań i analiz,
- wykaz cytowanej literatury, zawierający 181 pozycji,
- spis rysunków.

2. Ocena tematu i zakresu pracy

W przedłożonej pracy Doktorantka rozwinęła temat dotyczący możliwości zwiększania wytrzymałości klejowych połączeń zakładkowych poprzez obróbkę powierzchniową nagniataniem powierzchni utwardzonych złączy klejowych oraz podjęła próbę wyjaśnienia

mechanizmu wzrostu wytrzymałości połączeń oraz oszacowania wartości sił działających na spoinę w wyniku zastosowania pneumokulowania. Zabiegi technologiczne polegające na wprowadzaniu naprężeń ściskających do powierzchni zewnętrznych elementów łączonych techniką klejenia w celu zwiększenia wytrzymałości połączeń klejonych są znane z nielicznych publikacji, głównie zespołu profesora Zieleckiego. Doktorantka przeprowadziła badania w celu optymalizacji procesu umacniania zgniotem w wypadku klejenia stopu tytanu Ti6Al4V klejem Araldite 2014-1. Podejmowanie problematyki zwiększania wytrzymałości połączeń klejowych, których udział w technikach montażu jest istotny, uważam za celowe i pożyteczne.

3. Ocena rozprawy

Do podstawowych zalet rozprawy pod względem wyboru metod i zakresu badań, opracowania i prezentacji wyników oraz badawczego wkładu Doktorantki zaliczam:

- a) podjętą tematykę,
- b) opracowanie planu realizacji badań eksperymentalnych i metodyki obliczeń,
- c) wieloaspektowe badania eksperymentalne (wytrzymałościowe, naprężeń własnych, elastoptyczne, natężenia przepływu, profilometryczne),
- d) optymalizację procesu zwiększania wytrzymałości połączeń klejowych metodą pneumokulowania.

Doktorantka powołuje się na 175 publikacji naukowych, co jest dużą liczbą w wypadku pracy doktorskiej. Analiza literatury zajmuje ponad 50 stron i nie dotyczy tylko klejów konstrukcyjnych, które są obiektem badań. Przeprowadzona wieloaspektowa analiza procesu klejenia musiała być ze względu na obszerność tematyki powierzchowna. Moim zdaniem większy nacisk w analizie powinien być położony na rozkłady naprężeń w spoinach, których zmiany powoduje obróbka nagniataniem realizowana po utwardzeniu spoin.

Recenzowana praca wnosi, moim zdaniem, oryginalny wkład w rozwój inżynierii produkcji, za który uważam opracowaną metodykę optymalizacji technologicznego procesu zwiększania wytrzymałości zakładkowych połączeń klejowych metodą obróbki nagniatania łączonych elementów po procesie utwardzenia spoin oraz wykazanie korelacji między poziomem naprężeń w warstwie wierzchniej łączonych elementów i wzrostem wytrzymałości połączeń. Przedstawiona praca świadczy o dobrym przygotowaniu Doktorantki do planowania i prowadzenia badań eksperymentalnych, co stanowi dobrą podstawę do samodzielnego prowadzenia dalszych badań naukowych. Lektura całości rozprawy sprawia pozytywne wrażenie. Jednak przeprowadzona analiza dwukryterialna wydaje mi się jedynie „przygodą intelektualną”, gdyż koszty proponowanej obróbki powierzchniowej sklejonnych połączeń są tak małe, że nie powinny być obniżane kosztem wytrzymałości połączeń. Za błąd uważam

potraktowanie wytrzymałości i kosztów z jednakową wagą równą 1. Jeśli właściwie odczytuję wyniki z tabeli 4.5.2.3. to optimum analizy dwukryterialnej występuje przy jednej z najniższych wytrzymałości połączeń.

Rozprawa jest logiczna, nie mam również poważniejszych uwag co do prowadzonego eksperymentu oraz poprawności wnioskowania. Chciałbym jednak dowiedzieć się więcej o technice pomiaru ugięcia kulowanych płytek z dokładnością 0,0001 mm oraz realizacji nacisków w badaniach elastooptycznych.

Przy lekturze pracy zauważyłem kilka pomyłek i niezręczności językowych:

- jednostkami wytrzymałości są zasadniczo Pa, jeśli „wytrzymałość” podajemy w N to raczej powinniśmy nazywać ją nośnością,
- „Kleje chemoutwardzalne reagują po uformowaniu złącza w wyniku reakcji fizycznej...” str. 15,
- rys. 1.5.3. – naprężenia zredukowane to zsumowane wszystkie składowe stanu naprężenia wg jakiejś hipotezy, na rysunku są naprężenia średnie styczne,
- str. 25 – poprawa wytrzymałości najwyżej o 23% jest zdecydowanie zaniżona dla połączeń klejonych na skos i z fazą na całej długości,
- rys. 1.5.11 - rozkład naprężeń na trzecim rysunku jest nieprawidłowy, w środku spoiny naprężenia powinny być równe zero,
- rys. 1.5.13 – jeśli kąty odkształcenia postaciowego są takie same dla różnych grubości spoin klejowych to naprężenia styczne mają taką samą wartość,
- str. 30 – sztywność elementów łączonych to iloczyn modułu Younga i pola przekroju,
- str. 91 – jeśli każdy z brzegów zakładki jest dociskany siłą $F/2$ to spoina klejowa jest ściskana taką wartością siły, a nie siłą F , dotyczy to również siły działającej w środku zakładki,
- zależność 4.3.1 – bardziej właściwe byłoby przyjęcie modelu belki podpartej na końcach obciążonej wydatkiem sił, a nie siłą skupioną,
- w zależności 4.3.2 podano błędnie wykładnik potęgi, chociaż wyniki obliczeń są poprawne,
- „giętkość” jako cecha materiałów nie jest pojęciem technicznym,
- opisane w punkcie 3.4.4. badania są badaniami profilometrycznymi a nie metalograficznymi,

- waga jest przyrządem do mierzenia masy ciała, a więc mierzona była masa kulek a nie ich waga,
- w trzeciej kolumnie tab. 4.5.2.3. są błędne jednostki siły.

4. Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę zakres i poziom recenzowanej pracy doktorskiej, jej bezpośredni związek z praktyką inżynierską oraz brak poważnych uwag merytorycznych stwierdzam, że spełnia ona wymagania stawiane rozprawom doktorskim w rozumieniu art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, Dziennik Ustaw nr 65, poz. 595. Wnioskuje zatem o dopuszczenie mgr Katarzyny Korzyńskiej do publicznej obrony Jej rozprawy.

