

RECENZJA

poprawionej rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Szymkowiak nt.
„Metoda badań wytrzymałości złącza klejowego z zastosowaniem próbki typu sandwich”

Niniejszą recenzję opracowano na zlecenie Przewodniczącego Rady naukowej dyscypliny inżynieria mechaniczna prof. dra hab. inż. Łukasza Muślewskiego z Politechniki Bydgoskiej
– pismo
z dnia 6 września 2024 r.

1. Ogólna, formalna charakterystyka pracy

Recenzowana poprawiona rozprawa została przedstawiona na 166 stronach maszynopisu (jej objętość została zwiększona o 10 stron w porównaniu z pierwszą wersją) i ma podobny układ. Zawiera poza wykazem oznaczeń i skrótów:

- wprowadzenie (rozdział pierwszy):
- rozdział drugi, w którym Doktoranta dokonała przeglądu literatury dotyczącej: klejenia konstrukcyjnego (zjawiska adhezji i swobodnej energii powierzchniowej, klasyfikacji klejów, przykładów zastosowań klejenia w budowie maszyn, technologii klejenia, czynników wpływających na wytrzymałość połączeń klejowych, metod badania wytrzymałości). Rozdział ten został uzupełniony o przykłady tworzyw adhezyjnych, które umożliwiają uzyskiwanie grubych spoin oraz przykłady norm dotyczących badania połączeń klejowych,
- rozdział trzeci zawierający oprócz opisu problemu badawczego celu i zakresu pracy również tezę badawczą,
- rozdział czwarty zawierający charakterystykę metody badań połączeń klejonych z zastosowaniem próbek typu „sandwich” oraz obliczenia numeryczne rozkładu naprężeń w elementach takich próbek. W rozdziale tym wprowadzono drobne korekty językowe,
- rozdział piąty zawierający metodykę badań eksperymentalnych próbek zakładkowych i typu „sandwich”, wyniki badań oraz analizę tych wyników. W rozdziale tym w tabeli 5.10 zmieniono oznaczenie siły z F na F_1 , aby uzasadnić wartości strzałki ugięcia f_1 oraz podano zależność, na podstawie której obliczano wartości strzałek ugięcia.
- rozdział szósty zawierający analizę statystyczną wyników badań,

- rozdział siódmy zawierający podsumowanie badań oraz wnioski,
- wykaz cytowanej literatury, zawierający 132 pozycji (dodano 7), oraz normy, strony internetowe i zgłoszone patenty.

Istotne, zauważone przeze mnie, zmiany w poprawionej wersji pracy doktorskiej to:

- podanie w rozdziale drugim przykładu dziewięciu klejów metakrylowych, za pomocą których można uzyskiwać grube spiny, oraz pięć przykładów dziedzin techniki, w których wykorzystywane są takie kleje,
- dodanie podrozdziału 2.6 opisującego znormalizowane metody badania połączeń klejowych,
- sformułowanie tezy w rozdziale trzecim,
- zastąpienie w tabeli 5.10 oznaczenia siły z F na F_1 ,
- dodanie w podsumowaniu i wnioskach zdania, że „Sformułowana teza badawcza może być przyjęta na podstawie uzyskanych wyników testów”,
- dodanie siedmiu pozycji literaturowych.

2. Uwagi do wprowadzonych zmian

W polskim nazewnictwie technicznym klejami nazywane są różnego rodzaju tworzywa adhezyjne od klejów do tapet do klejów błonowych utwardzanych na gorąco, służących do konstrukcyjnego łączenia metali. Spieranie się o nazewnictwo nie jest konstruktywne w związku tym uznaję, że badane były kleje montażowe.

Podane przykłady norm dotyczących badania połączeń klejowych określają jakie właściwości klejów są badane. Na podstawie podanych przykładów norm narzuca się pytanie: jakie właściwości kleju pozwala określić próbka typu „sandwich”? Jeśli w obliczeniach numerycznych analizowano by dodatkowo naprężenia w spoinach może dałoby się znaleźć uzasadnienie stosowania takich próbek.

W poprawionej pracy Doktorantka sformułowała tezę, którą potwierdziła wykonując pracochłonne badania na autorskich próbkach typu „sandwich”. Wykazała, że jest możliwa ocena zniszczenia spoiny klejowej na podstawie pomiarów odkształceń łączonych elementów.

Jeśli w tabeli 5.10 podane są wartości sił F_1 a nie F, czyli pomyłkowo wprowadzone błędne oznaczenie, to dalsze obliczenia można uznać za prawidłowe. Przyjmuję więc, że w pierwszej wersji pracy wystąpiła pomyłka a nie błąd. Jeśli tak było to na rys. 5.26 do 5.37 w poprawionej wersji pracy zamiast oznaczeń F powinny być również oznaczenia F_1 .

Dodatkowa literatura, na którą powołuje się Doktorantka dotyczy ważności badań eksperymentalnych dla racjonalnego zastosowania klejenia w budowie maszyn i urządzeń. Dla

jakiego rozwiązania konstrukcyjnego połączenia klejowego wyniki badań próbki „sandwich” mogą być przydatne?

3. Ocena rozprawy

Recenzowana praca świadczy o dobrym przygotowaniu Doktorantki do prowadzenia badań eksperymentalnych oraz opracowania statystycznego ich wyników, co stanowi dobrą podstawę do prowadzenia dalszych badań naukowych. Doktorantka wykazała również umiejętność prowadzenia analiz numerycznych, które są przydatne do wstępnej oceny planowanego eksperymentu. Obszerny przegląd literatury świadczy o znajomości problematyki klejenia konstrukcyjnego.

Podtrzymuję moją opinię, że recenzowana praca nie wnosi istotnego wkładu w rozwój inżynierii mechanicznej poza potwierdzeniem, że pomiar odkształcenia klejonych elementów może być wykorzystywany do oceny stopnia wyężenia spoiny klejowej. Zaproponowana skomplikowana procedura badawcza wykazała jakościową zgodność wyników badań próbek „sandwich” z wynikami uzyskanymi na próbkach jednozakładkowych wykonanych z zastosowaniem takich samych materiałów. W związku z tym nie ma uzasadnienia ze względów ekonomicznych (budowa skomplikowanych przyrządów, pomiary tensometryczne, wykorzystywanie próbek o dużych wymiarach) stosowanie proponowanych autorskich próbek do badań porównawczych klejów i połączeń klejonych, jeśli nie umożliwiają one określenia jakiś specyficznych właściwości klejów.

Wykorzystane w badaniach połączenie klejowe nie znajduje, moim zdaniem, praktycznego zastosowania w technice. Uważam, że wyników badań próbek typu „sandwich” nie da się wykorzystać przy projektowaniu innych rodzajów połączeń klejonych. Mogą służyć jedynie do jakościowego porównywania różnych tworzyw adhezyjnych, ale takie badania można wykonywać na mniej skomplikowanych połączeniach. Stosowane w badaniach grubości spoin są praktycznie rzadko stosowane, chociażby ze względu na cenę tworzyw adhezyjnych.

Podsumowując potwierdzam, że nie widzę uzasadnienia prowadzenia tak skomplikowanych badań, chyba że miały one wykazać umiejętność prowadzenia badań eksperymentalnych oraz opracowywania ich wyników przez Autorkę.

Podtrzymuję moje stwierdzenie, że obliczona dla identycznego obciążenia różnica wartości pracy zginania samego płaskownika i płaskownika z przyklejonym usztywnieniem nie jest energią niszczenia ani połączenia, ani spoiny klejowej. Jest różnicą energii odkształceń sprężystych próbki mniej i bardziej sztywnej pod tym samym obciążeniem. Energię niszczenia połączeń zakładkowych (nie ich spoin klejowych) Doktorantka obliczyła poprawnie. Należy

również uzasadnić jakie znaczenie ma obliczanie i porównywanie pracy niszczenia różnych typów połączeń klejowych, jeśli wartość takiej pracy głównie zależy od energii odkształceń sprężystych łączonych elementów metalowych a jedynie w kilku procentach od energii odkształceń spoiny klejowej, co można sprawdzić wykonując odpowiednie obliczenia numeryczne.

4. Wniosek końcowy

Przyznając się przez Doktorantkę do pomyłki w oznaczeniach siły w tabeli 5.10. wyjaśnia problem różnicy wartości naprężeń obliczonych numerycznie i wynikających z pomiarów tensometrycznych i powoduje, że dalsze obliczenia można uznać za poprawne. W związku z tym moja najbardziej istotna krytyczna uwaga, która ostatecznie zadecydowała o negatywnej ocenie pracy, została wyjaśniona.

Uwzględniając dobre przygotowanie Doktorantki do prowadzenia badań eksperymentalnych, w tym projektowania przyrządów, statystycznego opracowywania wyników badań, umiejętność prowadzenia obliczeń numerycznych uważam, że poprawiona praca zawierająca tezę, poprawki i uzupełnienia, pomimo mojej krytycznej oceny obiektu badań, w dostatecznym spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie Doktorantki do obrony pracy.