

RECENZJA

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. Dariusza Borońskiego z Politechniki Bydgoskiej –
pismo
z dnia 26 września 2023 r.

1. Ogólna, formalna charakterystyka pracy

Recenzowana rozprawa została przedstawiona na 155 stronach maszynopisu i zawiera poza wykazem oznaczeń i skrótów oraz wprowadzeniem (którym jest 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 oraz metod badania ich wytrzymałości),

- rozdział trzeci zawierający opis problemu badawczego, celu i zakresu pracy,

- rozdział czwarty zawierający charakterystykę metody badań połączeń klejonych z zastosowaniem próbek typu „sandwich” oraz obliczenia numeryczne rozkładu naprężeń w takich próbkach,

- rozdział piąty, w którym przedstawiono metodykę, wyniki przeprowadzonych badań próbek zakładkowych i typu „sandwich” oraz analizę tych wyników,

- rozdział szósty zawierający analizę statystyczną wyników badań,

- rozdział siódmy zawierający podsumowanie badań oraz wnioski,

- wykaz cytowanej literatury, zawierający 124 pozycje, oraz normy, strony internetowe i zgłoszone patenty.

2. Ocena tematu i zakresu pracy

W przedłożonej pracy Doktorantka nie sformułowała tezy lub hipotezy naukowej, którą chce potwierdzić lub nie, wykonując pracochłonne badania. Podjęła się weryfikacji eksperymentalnej metody badania autorskiego połączenia klejonego. Do takich badań zaproponowała próbkę, którą nazwała próbką „sandwich”. Weryfikowana metoda powinna umożliwić wg Autorki „ocenę uszkodzenia złącza klejonego w warunkach obciążeń statycznych” na podstawie pomiaru odkształceń łączonych elementów oraz obliczonej pracy niszczenia połączenia. Tak sformułowany główny cel badań jest niezrozumiały. Nie jest jasne co Doktorantka rozumie pod pojęciem „ocena uszkodzenia” czy dotyczy to rodzaju zniszczenia spoiny (adhezyjne lub kohezyjne), wytrzymałości spoiny, odkształceń niszczących spoiny, energii potrzebnej do zniszczenia badanej próbki, czy jak się okazało samego faktu zniszczenia spoiny. Nie jest jasne do czego mogą być przydatne wyniki takich badań, zwłaszcza, że przeprowadzono je tylko dla jednego kleju. Nie można więc stwierdzić jakie właściwości kleju można porównywać stosując skomplikowaną próbkę typu „sandwich”. Nie zostało wyjaśnione też czy i w jaki sposób wyniki badań próbek typu „sandwich” mogą być wykorzystane przy projektowaniu innych połączeń klejonych. Proponowane do badań połączenie klejowe nie znajduje praktycznego zastosowania. Nie wyjaśniono również, gdzie mogą znaleźć zastosowanie spoiny klejowe o grubości kilku milimetrów. Przy takich grubościach spoin nie mamy do czynienia z klejeniem konstrukcyjnym tylko raczej ze szpachlowaniem lub uszczelnianiem.

Z siedmiu celów szczegółowych tylko ostatni można uznać za istotny. Pozostałe dość jednoznacznie wynikają z teorii wytrzymałości połączeń klejonych i praktyki ich badań.

Podsumowując nie znajduję uzasadnienia przeprowadzenia tak skomplikowanych badań, chyba że mają one być „przygodą intelektualną Doktorantki” wykazującą jej umiejętności i predyspozycje do prowadzenia badań eksperymentalnych.

3. Ocena rozprawy

Przedstawiona praca świadczy o niezłym 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 (124 pozycje) świadczy o znajomości problematyki klejenia konstrukcyjnego. Szkoda jednak, że z przeglądu literatury nie wynika uzasadnienie celowości planowanego programu badań z wykorzystaniem próbek

typu „sandwich”, a próbkom tego typu poświęciła Doktoranta w przeglądzie literatury jedynie sześć zdań.

Recenzowana praca, moim zdaniem, nie wnosi istotnego wkładu w rozwój inżynierii materiałowej. Za istotny, praktyczny wniosek z przeprowadzonych badań można uznać wykazanie tego, że monitorowanie naprężeń w klejonych strukturach można wykorzystywać do kontroli czy nie wystąpiło zniszczenie spoiny, ale to już wynikało z przeglądu literatury (str. 43).

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 jest zasadne ze względów ekonomicznych (budowa skomplikowanych przyrządów, pomiary tensometryczne, wykorzystywanie próbek materiałochłonnych) stosowanie proponowanych autorskich próbek do badań porównawczych klejów i połączeń klejonych. Wyniki badań eksperymentalnych nie zawierają żadnych zdjęć przelomów badanych połączeń, na podstawie których można by określić charakter zniszczenia spoin klejowych.

Mam również uwagi merytoryczne dotyczące wyników:

- z obliczeń numerycznych wynika, że przy obciążeniu 500 N naprężania maksymalne w klejonym elemencie wynoszą 281 MPa. Uwzględniając zmierzone odkształcenia rzędu 2500 $\mu\text{m}/\text{m}$ (tabela 5.11) przy mniejszym obciążeniu naprężenia są rzędu 500 MPa. Narzuca się pytanie z czego wynikają te tak duże różnice. Jednocześnie we wszystkich analizowanych próbkach naprężenia w górnych elementach mają jednakową wartość przy identycznym obciążeniu. Wynika z tego, że sztywność dolnego elementu próbki praktycznie nie ma wpływu na sztywność całej próbki.

- teoretyczne wartości strzałki ugięcia w tabeli 5.12 są dwukrotnie zawyżone (w pracy brak zależności analitycznej, na podstawie której obliczono wartość tego parametru). W związku z tym rysunki 5.26...5.37 zawierają istotne błędy. Skutkuje to błędną analizą wyników tej części badań. Szkoda, że Doktorantka nie przeprowadziła pomiarów ugięcia samego płaskownika stalowego o grubości 4 mm.

- obliczona dla identycznego obciążenia różnica wartości pracy zginania samego płaskownika i płaskownika z przyklejonym usztywnieniem (ΔW), moim zdaniem, nie jest energią niszczenia połączenia. Jest różnicą energii zginania próbki mniej i bardziej sztywnej pod tym samym obciążeniem. Jeśli dla próbki zakładkowej określano energię potrzebną do zniszczenia połączenia jako całkę z funkcji $F = s(s)$ (rys. 5.5) to konsekwentnie należało liczyć energię potrzebną do zniszczenia próbki typu sandwich. Należy również zastanowić się jakie

znaczenie ma obliczanie, a zwłaszcza 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.

- analizy wyników obliczeń numerycznych oraz badań eksperymentalnych próbek zakładkowych i typu sandwich są bardzo drobiazgowo (podawane są procentowe różnice oraz równania regresyjne, których przydatność jest wątpliwa) a kończą się ogólnym oczywistym podsumowaniem, że „grubość warstwy kleju, rodzaj materiału płaskownika i grubość płaskownika mają wpływ” na np. wartość energii niszczenia i nie zostało stwierdzone nawet czy pozytywny, czy negatywny.

Podsumowując: doktorantka zaproponowała klejoną próbkę typu „sandwich” do badań połączeń klejonych, których wynikiem jest zasadniczo wartość siły niszczącej połączenie. Fakt niszczenia połączenia był rejestrowany poprzez zmianę odkształceń klejonych elementów z zastosowaniem tensometrów. Z doświadczeń eksperymentalnych wynika, że niszczeniu połączeń towarzyszą efekty akustyczne i skokowe zmiany siły, a więc ocena wartości siły niszczącej jest stosunkowo łatwa. W przeprowadzonej analizie numerycznej nie wykazano, że wyniki badań próbki typu sandwich umożliwiają określenie jakichś specyficznych właściwości spoin lub, biorąc pod uwagę ich grubość, właściwości kleju traktowanego jako tworzywo polimerowe. W związku z tym Doktorantka wykazała jedynie, że istnieje korelacja jakościowa między próbkami zakładkowymi i typu „sandwich” dotycząca wpływu grubości warstwy kleju oraz klejonych elementów i ich modułów sprężystości na nośność porównywanych przez Nią połączeń. Wykazała więc, że stosowanie próbek typu „sandwich” nie ma uzasadnienia. Dodatkowe ograniczenia analizowanej metody badawczej wynikają z możliwości badania jedynie klejów o konsystencji past.

Przy lekturze pracy zauważyłem kilka niedokładności, pomyłek i niezręczności językowych:

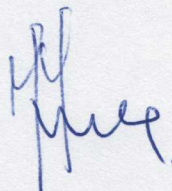
- „a, c – parametry materiałowe” (str. 5) jakie parametry?
- „ R_a - chropowatość” (str. 5), - średnie odchylenie profilu od linii średniej,
- „S – powierzchnia” (str. 5) – chyba pole powierzchni,
- „ S_1, S_2, S_3 – wartości naprężeń” (str. 6) – jakich naprężeń? (normalnych, stycznych, zredukowanych),
- „niska wartość pracy” (str. 47) – niezrozumiałe (czy chodzi o udarność?),

- „naprężenia rozciągające” (str. 52) – naprężenia mogą być normalne, styczne lub zredukowane,
- „materiały jednoimienne i materiały różnoimienne” (str. 52) – chyba jednakowe i różne,
- na rysunku 4.5 b zamiast F_1 powinno być F ,
- „odporność na oddzieranie 6-10 MPa” (str. 76) - chyba w N/mm,
- „[71] i [72]” (str. 147) – powtórzona publikacja.

4. Wniosek końcowy

Nisko oceniam recenzowaną pracę głównie ze względu na nieuzasadnienie celu prowadzonych badań jak również istotne błędy merytoryczne. Uważam, że forma prezentacji wyników zamieszczonych w pracy badań jest znacznie lepsza (zgodna z wymaganiami) niż ich wartość. Brakuje również wykazania znaczenia naukowego wyników przeprowadzonych badań na skomplikowanych próbkach typu „sandwich” lub chociażby możliwości praktycznego ich wykorzystania.

Uwzględniając nawet niezłe przygotowanie Doktorantki do prowadzenia badań eksperymentalnych, w tym projektowania przyrządów, a także statystycznego opracowywania wyników badań, oraz umiejętność prowadzenia obliczeń numerycznych uważam jednak, że recenzowana praca nie spełnia w dostatecznym stopniu wymagań stawianych pracom doktorskim. W związku z tym wnioskuję o niedopuszczenie Doktorantki do obrony Jej pracy doktorskiej i sugeruję istotną modyfikację treści pracy.



- „naprzemiennie rozciągające” (str. 22) - rozciąganie mogło być normalne, nieważne lub zmiennokierunkowe.
- „maszynowy jednocierownik i maszynowy różnicznik” (str. 22) - chyba jednakowoż i różnic.
- na rysunku 4.2 b zamieszczonego, powinno być F.
- „odporność na oddziaływanie 6-10 MPa” (str. 26) - chyba w N/mm.
- „[71] i [72]” (str. 147) - powołano publikacja.

4. Wniosek końcowy

Nisko oceniam rozważaną pracę głównie ze względu na niezasadniczo dużą prowadzonych badań jak również istotne błędy merytoryczne. Uwzględniłem, że forma prezentacji wyników zamieszczonych w pracy jest nieczytelna (zgodnie z wymaganiami) nie jest wartościowa. Brakuje również wykazania znaczenia naukowego wyników przeprowadzonych badań na skomplikowanych próbach typu „sandwich” lub chociażby możliwości praktycznego ich wykorzystania.

Uwzględniając nawet niemożliwość przygotowania Dokumentacji do prowadzenia badań eksperymentalnych, w tym projektowania próbek, a także statystycznego opisywania wyników badań, oraz umiarkowaną poprawność obliczeń numerycznych uważam jednak, że rozważana praca nie spełnia w dostatecznym stopniu wymagań stawianych pracom doktorskim. W związku z tym wnioskuję o niedopuszczenie Dokumentacji do obrony tej pracy doktorskiej i sugeruję istotną modyfikację treści pracy.

