

**STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ  
nt. „DETERMINANTY WYTRZYMAŁOŚCI POŁĄCZEŃ  
KLEJOWYCH NA ODDZIERANIE”**

Tematyka rozprawy doktorskiej nt. „Determinanty wytrzymałości połączeń klejowych na oddzieranie” skupiona jest wokół szeroko pojętych pomiarów parametrów wytrzymałościowych złączy klejowych, a także modyfikowania klejów epoksydowych napelniającami w postaci materiałów nanometrycznych. Połączenia klejowe są coraz szerzej stosowaną technologią łączenia części maszyn, szczególnie w tych dziedzinach przemysłu, gdzie pożądana jest minimalizacja masy wyrobów. Jest to niezastąpiona forma spajania w przypadku konstrukcji kompozytowych, co determinuje stosowanie klejenia w konstrukcjach lotniczych. Uzasadnionym jest więc prowadzenie pracy naukowej w tym temacie angażującej nowoczesne techniki badawcze.

Praca doktorska skupia się na badaniach nośności statycznej i wytrzymałości zmęczeniowej połączeń klejowych obciążonych naprężeniami normalnymi do warstwy kleju. Taki stan naprężeń wywołuje rozwarstwianie (oddzieranie) elementów klejowych, co jest częstą przyczyną destrukcji konstrukcji kompozytowych.

Zakres badań realizowanych w pracy jest interdyscyplinarny, wiąże w sobie takie dyscypliny jak: mechanika teoretyczna, budowa i eksploatacja maszyn, matematyka, chemia, informatyka, czy metrologia.

Zasadniczym celem pracy jest wykazanie możliwości poprawy właściwości wytrzymałościowych połączeń klejowych obciążonych na oddzieranie przy obciążeniach statycznych oraz dynamicznych.

Badania obejmują kompleksowe pomiary parametrów związanych z wytrzymałością statyczną oraz zmęczeniową złącza klejowego. Podjęto również analizę cech samej masy klejowej w wariacie podstawowym oraz przy różnych modyfikacjach napelniającami w postaci materiałów nanometrycznych. Badania właściwości zmodyfikowanej masy klejowej obejmują badania cech termicznych oraz pomiary swobodnej energii powierzchniowej.

W ramach pracy przyjęty został model matematyczny rozpatrywanego połączenia adhezyjnego, zbudowane zostały także modele numeryczne. W tym celu wykorzystano programy bazujące na Metodzie Elementów Skończonych.

Przeprowadzono pomiary eksperymentalne względnego przemieszczenia elementów klejonych przy użyciu specjalnie opracowanego wizyjnego systemu pomiarowego bazującego na mikroskopie optycznym, z którego obraz analizowany jest drogą informatyczną. Przeprowadzono także badania z wykorzystaniem wizyjnego skanera konstrukcji ARAMIS, który bazuje na metodzie trójwymiarowej cyfrowej korelacji obrazu.

Cykliczne obciążenie wywołujące stan rozwarstwiania elementów klejowych to najczęstsza przyczyna zniszczeń analizowanych konstrukcji rzeczywistych. Tak więc pożądane są wszelkie rozwiązania zapewniające poprawę wytrzymałości przy takich stanach obciążeń. Dla poprawy wytrzymałości przyjęto dwa kierunki działań. Pierwszy, to modyfikacje konstrukcyjne złącza mające zapewnić optymalny rozkład naprężeń. Badania

eksperymentalne w tym zakresie poprzedzone zostały analizami naprężeń w złączu przy użyciu metod numerycznych (MES).

Wyniki badań eksperymentalnych wykazały możliwości poprawy nośności przy statycznej próbie oddzierania połączenia klejowego. W najkorzystniejszych wariantach osiągnięto poprawę nośności o ok. 17%. Znacząco wzrosła trwałość zmęczeniowa, a także wytrzymałość zmęczeniowa.

Drugi kierunek badań, to modyfikowanie kompozycji klejowych poprzez napełnianie ich nanomateriałami. Stosowane są do tego celu przede wszystkim nanorurki węglowe, jest to materiał który w ostatnich latach zyskał szerokie zastosowanie światowych ośrodków badawczych, a naukowcy zajmujący się tym materiałem są przekonani, że zrewolucjonizuje wiele dziedzin przemysłu gdyż cechuje się bardzo interesującymi właściwościami. Innymi napełniaczami stosowanymi do poprawy właściwości klejów są nanoproszki materiałów ceramicznych m.in. krzemionka, tlenek glinu.

Przeprowadzone badania laboratoryjne wykazały możliwości znaczącej poprawy nośności statycznej oraz wytrzymałości zmęczeniowej połączeń klejowych dzięki napełniaczom nanometrycznym. Wykazano także możliwości poprawy innych cech użytkowych jak podwyższona temperatura zeszklenia.

Wynikiem realizowanych badań w ramach rozprawy doktorskiej jest opracowanie wariantów złączy klejowych cechujących się podwyższonymi właściwościami użytkowymi.