

Polish Summary

Wzrost udziału materiałów kompozytowych w przemyśle dyktowany jest przez rozwój nowoczesnej technologii wytwórczej, satysfakcjonujących właściwości, jakie te materiały wykazują, takich jak wysoka wytrzymałość właściwa, niska gęstość, wysoka odporność na korozję, zmęczenie i środowisko chemiczne. Ponadto dowolność kształtowania geometrii pozwala na wytwarzanie nowych, bardziej skomplikowanych geometrycznie części i obiektów dostosowanych do przemoszenia znacznych obciążeń przy zachowaniu niższej masy w stosunku do odpowiedników wykonanych z materiałów metalicznych.

Istotnymi przykładami elementów wykonanych z materiałów kompozytowych są łopaty turbin wiatrowych, wały napędowe, zbiorniki wysokociśnieniowe czy nawet korpusy samolotów. Biorąc pod uwagę przytoczone zastosowania można zauważyć, że są one poddawane różnym obciążeniom cyklicznym. Na przykład wał napędowy jest poddawany obciążeniom skręcającym i zginającym zmiennym w czasie. Warunki te w istotny sposób wpływają na eksploatację elementów i wymagają uwzględnienia ich na etapie projektowym. Proces projektowania elementów z materiałów kompozytowych jest bardzo kompleksowego i zaawansowany z uwagi na anizotropię materiału. W celu zapewnienia bezpieczeństwa i niezawodność w eksploatacji, bardzo często wymagana jest kosztowna procedura eksperymentalna pozwalająca opisać zachowanie mechaniczne elementu. Proces ten można zoptymalizować przez opis matematyczny poszczególnych zjawisk wpływających na wytrzymałość projektowanego elementu.

Dysertacja skupia się na opisie proces zmęczeniowego cienkościennego elementu cylindrycznego wykonanego z materiału polimerowego wzmocnionego włóknem węglowym (CFRP), który poddany jest działaniu sił osiowych i skręcania. Ponadto działające obciążenie jest przesunięte w fazie. Proces ten wciąż nie jest jednoznacznie opisany w materiałach kompozytowych w przeciwieństwie do materiałów metalicznych. Literatura naukowa podaje kilka kryteriów zmęczeniowych, które wykorzystuje się w projektowaniu elementów narażonych na uszkodzenie zmęczeniowe. Jednakże, dostępne kryteria nie obejmują wszystkich czynników wpływających na degradację zmęczeniową konstrukcji warstwowych jak np. przesunięcie fazowe obciążenia lub naprężenie średnie. W rozprawie doktorskiej zaproponowano kryterium zmęczeniowe bazujące na podejściu płaszczyzny krytycznej. Opracowane kryterium zmęczeniowe, oparte na naprężeniowym parametrze uszkodzenia definiowanego dla płaszczyzny krytycznej, pozwala ocenić uszkodzenie materiału biorąc pod uwagę naprężenie średnie oraz przesunięcie fazowe obciążenia.

Rozprawę doktorską podzieloną jest na dwa główne etapy: eksperymentalny i analityczny. Pierwsza faza obejmuje prace eksperymentalne, czyli badanie statyczne oraz cykliczne wykorzystane do opisu procesu modelowania zmęczenia wieloosiowego. W tej części cylindryczne próbki CFRP wytwarzane metodą nawijania poddawane są obciążeniom rozciągającym/ściskającym oraz skręcającym. Obciążenie generowane jest przez dwuosiową hydrauliczną maszyną wytrzymałościową wyposażoną w specjalne uchwyty zapewniającą odpowiednie warunki obciążenia.

Druga faza związana jest z modelowaniem procesu zmęczeniowego oraz przewidywanie trwałości. W oparciu o opracowany model numeryczny, analiza naprężeń jest przeprowadzona w celu zdefiniowania wartości parametru zniszczenia. Korelacja danych dla trwałości oraz parametru zniszczenia pozwoliła uzyskać krzywe S-N, które wykorzystane zostały do przewidywania trwałości zmęczeniowej. Ponadto ta część pracy pokazuje aplikacyjność opracowanego podejścia w przypadku innego materiału tej samej klasy.

Część eksperymentalna zostanie wzbogacona o metody nieniszczące (ND) w celu zbadania mechanizmów uszkodzeń. W materiałach kompozytowych może wystąpić kilka mechanizmów niszczenia, na przykład rozwarstwienie, odspojenie, pękanie osnowy lub wyrywanie włókien. Metody ND pozwalają na określenie defektów pojawiających się w procesie technologicznym oraz ich rozwój w trakcie eksperymentu. Tomografia komputerowa jest niezawodną metodą oceny jakości struktury m.in. defektów i wtrąceń będących następstwem procesu technologicznego. Ponadto analiza in-situ z wykorzystaniem emisji akustycznej wykazała globalną ewolucję pojawiających się defektów i mechanizmów uszkodzeń podczas testu zmęczeniowego. Dodatkowo do pomiaru odkształceń podczas testu użyte zostało urządzenie do cyfrowej korelacji obrazu (DIC), które dostarczyło informacji o defektach występujących na zewnętrznej powierzchni próbki oraz dystrybucję odkształceń. Dane zostały wykorzystane do weryfikacji metody numerycznej.

Zaproponowane podejście pozwala na kompleksowe wypełnienie istniejącej luki w literaturze w zakresie modeli przewidujących trwałość zmęczeniową uwzględniając przesunięcie fazowe obciążenia, stan naprężenia oraz jego wartość średnią.