

7 Streszczenie

Materiały stosowane do konstrukcji układów paliwowych, które w większości dobrano ponad 30 lat temu, znakomicie spełniały ówczesne normy i wykazywały wysoką trwałość. Współczesne wymagania związane z redukcją emisji CO₂ oraz wprowadzaniem nowych składników biopaliw powodują jednak zmianę warunków pracy układów paliwowych, obejmującą wzrost temperatury i ciśnienia paliwa, zwiększone obciążenia dynamiczne oraz obecność agresywnych chemicznie komponentów. Jednym z elementów wymagających weryfikacji w tych warunkach jest połączenie kształtowe turbiny pompy paliwa z wałkiem napędowym. Praca koncentruje się na analizie mechanizmów niszczenia w połączeniu kształtowym typu D-drive, przenoszącym napęd ze stalowego wałka na piastę turbiny pompy paliwa silnika spalinowego wykonaną z kompozytu polisiarczku fenylenu wzmocnionego ciętym włóknem szklanym (PPS/GF), a następnie na ocenie możliwości zastosowania kompozytów polioksymetylenu (POM) z dodatkiem 7% i 15% ciętego włókna bazaltowego (POM/BF) jako materiału alternatywnego.

Badania PPS/GF przeprowadzono w oparciu o przyspieszone testy eksploatacyjne całych pomp paliwa, odwzorowujące warunki cykli rozruchowych i pracy w obecności gorącej mieszanki paliwowej z dodatkiem alkoholu (FAM B). Identyfikację mechanizmów niszczenia oparto na analizie mikroskopowej, badaniach FTIR, DSC, XRD oraz modelowaniu numerycznym MES. W przypadku PPS/GF w materiale pobranym z obszaru odległego od strefy styku nie wykazano istotnych zmian stopnia krystaliczności po starzeniu w przyjętych warunkach. Jednocześnie lokalne zmiany strukturalne stwierdzone w obszarze piasty turbiny, w zestawieniu z wynikami obliczeń MES, wskazują, że głównym mechanizmem degradacji były cykliczne naprężenia stykowe prowadzące do uszkodzeń zmęczeniowych po fazie kontrolowanego zużycia, a nie samo oddziaływanie środowiska paliwowego. Zmiany krystaliczności ujawnione w obszarze przenoszenia obciążeń miały charakter lokalny i były związane z obszarem zniszczenia o cechach uszkodzenia zmęczeniowego, podczas gdy w materiale pobranym z obszaru odległego od piasty wpływ starzenia był słaby i ledwie zauważalny.

Kompozyty POM/BF w stanie wyjściowym wykazywały wyraźnie lepsze własności wytrzymałościowe niż POM oraz dodatnie odkształcenie wynikające z ekspansji przetwórczej. Po starzeniu w mieszance FAM B ich wytrzymałość na rozciąganie uległa obniżeniu do poziomu POM, przy jednoczesnym wzroście wydłużenia oraz zdolności pochłaniania energii, szczególnie w przypadku kompozytu B7. W warunkach zginania kompozyty po starzeniu nadal przewyższały POM pod względem wytrzymałości i modułu sprężystości. Starzenie spowodowało obniżenie odporności na zużycie tribologiczne wszystkich badanych materiałów w warunkach wysokich nacisków stykowych. Największą odporność wykazywał POM, natomiast kompozyt B7 zachował potencjał aplikacyjny ze względu na korzystny kompromis pomiędzy własnościami mechanicznymi i zużyciem.

Analiza FTIR nie wykazała obecności nowych pasm charakterystycznych dla zaawansowanej degradacji chemicznej POM. Obserwowane zmiany miały charakter subtelny i były ograniczone głównie do warstwy przypowierzchniowej materiału. Ze względu na nakładanie się pasm charakterystycznych dla osnowy POM i potencjalnych pasm włókien bazaltowych metoda ta nie pozwalała na jednoznaczną identyfikację udziału ani degradacji włókien. Analiza DSC wykazała zmiany temperatury topnienia i entalpii wskazujące na reorganizację struktury krystalicznej materiałów podczas starzenia i eksploatacji tribologicznej. Uzupełniając analiza XRD wskazała na zmiany struktury krystalicznej osnowy w warstwie przypowierzchniowej, przy czym zmiany te były wyraźniejsze w POM niż w kompozytach. Na podstawie łącznej analizy SEM, FTIR, DSC i XRD stwierdzono, że degradacja kompozytów POM/BF ma charakter wielomechanizmowy, jednak decydującą rolę w pogorszeniu ich właściwości mechanicznych odgrywa degradacja strefy międzyfazowej włókno-osnowa, podczas gdy

zmiany strukturalne osnowy mają charakter wtórny. Proces ten objawia się osłabieniem adhezji oraz uszkodzeniami powierzchni włókien, prowadzącymi do pogorszenia efektywności przenoszenia obciążeń.

W pracy wykazano, że w nowych warunkach eksploatacji materiału PPS/GF w turbinie pompy paliwa, pracującej w gorącej mieszance paliwowej z dodatkiem alkoholu FAM B, decydujący udział w procesie niszczenia miały lokalne cykliczne naprężenia stykowe, a nie samo oddziaływanie środowiska paliwowego. Wniosek ten oparto na braku istotnych zmian stopnia krystaliczności w materiale oddalonym od strefy styku po starzeniu oraz na stwierdzeniu lokalnych zmian krystaliczności w obszarze piasty turbiny, zgodnych z obszarami podwyższonych naprężeń ujawnionymi w modelu numerycznym oraz z lokalizacją pęknięć i uszkodzeń zmęczeniowych rozwijających się po fazie kontrolowanego zużycia. Drugim osiągnięciem pracy było zbadanie wpływu starzenia kompozytów POM/włókno bazaltowe w gorącej mieszance paliwowej z alkoholem FAM B na ich własności mechaniczne oraz charakterystyki zużycia. Osiągniętym celem wdrożeniowym było uzyskanie danych przydatnych do projektowania komponentów i materiałów pracujących w układach paliwowych w nowych warunkach eksploatacji, przy czym kompozyt POM z udziałem 7% włókna bazaltowego wykazał potencjał wdrożeniowy w nowych kryteriach optymalizacji uwzględniających ślad węglowy oraz przewidywalną utratę własności mechanicznych.