Silesian University of Technology
Faculty of Materials Engineering
Department of Materials Technologies

Goftila Gudeta Sirata Msc, Eng

Influence of combined relaxation, creeping and low-cycle fatigue on the final durability and structure of material

Dissertation

Supervisor: dr hab. inż. Krzysztof Wacławiak
Assistant supervisor: dr inż. Grzegorz Junak

Katowice, 2024

Wpływ Parametrów Procesu Wulkanizacji na Właściwości Fizyko-Mechaniczne Materiałów Włókienniczych Stosowanych do Wzmacniania Wyrobów Gumowych

mgr inż. Goftila Gudeta Sirata

Promotor: dr hab. inż. Krzysztofa Wacławiaka

Asystent promotora: dr inż. Grzegorza Junaka

STRESZCZENIE

Rośnie zainteresowanie opracowywaniem udoskonalonych materiałów, które są opłacalne w produkcji, lekkie i trwałe, ponieważ konwencjonalne materiały nie są w stanie sprostać rosnącym wymaganiom przemysłu motoryzacyjnego, lotniczego i wojskowego. Aby zaspokoić potrzeby tych sektorów, ważne jest stosowanie zaawansowanych materiałów o doskonałych właściwościach. Badanie właściwości mechanicznych tych materiałów ma zasadnicze znaczenie dla zwiększenia ich przydatności w wymagających branżach i zapewnienia, że są one w stanie wytrzymać duże obciążenia w trudnych warunkach środowiskowych. W niniejszej pracy wybrano do badania kompozyt aluminium z osnową metalową (AMMC), ponieważ jest on obiecującym, zaawansowanym materiałem inżynierskim o ulepszonych właściwościach. AMMC są godne uwagi ze względu na ich ulepszone właściwości mechaniczne w porównaniu do konwencjonalnych stopów aluminium. Te zaawansowane materiały są bardzo obiecujące w zastosowaniach wymagających wysokiej precyzji w różnych branżach przemysłu. Aluminiowe kompozyty o osnowie metalowej znajdują ważne zastosowania w różnych dziedzinach przemysłu. Materiały te zostały opracowane w celu poprawy wytrzymałości, odporności na ścieranie, sztywności, odporności na pełzanie i stabilności wymiarowej. Kompozyty na osnowie metalowej (MMC) wykorzystujące stop aluminium jako materiał bazowy zyskały znaczną popularność w sektorze lotniczym i motoryzacyjnym ze względu na ich szerokie i wszechstronne zastosowanie.

Jednak występowanie złożonych obciążeń i wysokiej temperatury znacząco wpływa na trwałość tych materiałów. Pełzanie i uszkodzenia zmęczeniowe są bardziej prawdopodobne, gdy materiały są poddawane cyklicznym obciążeniom i podwyższonej temperaturze. W niniejszej pracy badawczej wykorzystano badania eksperymentalne w celu scharakteryzowania zachowania materiału AMMC i jego stopu bazowego w podwyższonej temperaturze. Początkowo przeprowadzono jednoosiowe próby rozciągania w temperaturze pokojowej i podwyższonej w celu oceny właściwości mechanicznych materiału. Przeprowadzono również pomiary twardości w celu oceny zarówno kompozytu, jak i stopu osnowy. Do analizy struktury materiału wykorzystano mikroskopię świetlną i skaningową mikroskopię elektronową.

Wyniki analizy mikrostrukturalnej pokazują, że cząstki SiC są równomiernie rozmieszczone w matrycy. Wyniki badań eksperymentalnych wskazują, że właściwości wytrzymałościowe na rozciąganie i twardość kompozytu EN AC-Al Si12CuNiMg/10SiCp są znacznie wyższe niż w przypadku niewzmocnionego stopu eutektycznego. W przypadku kompozytu EN AC-Al Si12CuNiMg/10SiCp przyrosty właściwości wytrzymałościowych w stosunku do niewzmocnionego stopu matrycy są następujące: wytrzymałość na rozciąganie 21%, granica plastyczności 16%, moduł sprężystości 20%, i twardość 11%. Jednak niewzmocniony stop EN AC-Al Si12CuNiMg ma procentowe wydłużenie o 16% wyższe niż materiał kompozytowy. Pokazuje to, że kompozyt EN AC-Al Si12CuNiMg/10SiCp ma niższą ciągliwość niż niewzmocniony stop EN AC-Al Si12CuNiMg. Rozciągane próbki badanego kompozytu pękały w sposób kruchy bez widocznego rozwoju szyjki, w przeciwieństwie do próbek matrycy, które pękały się w sposób ciągliwy z bardzo mało widocznym tworzeniem się szyjki.

Badania wykazały, że połączenie obciążenia zmęczeniowego i pełzania znacznie zmniejsza trwałość zmęczeniową materiału. Sekwencja obciążenia zmęczeniowego i pełzania powoduje 65% spadek liczby cykli do zniszczenia w porównaniu z pełnym testem zmęczeniowym. Materiał doświadcza bardziej znaczącego odkształcenia podczas etapów obciążenia pełzającego niż podczas etapów obciążenia zmęczeniowego, zwłaszcza gdy jest poddawany stałemu naprężeniu równemu maksymalnemu cyklicznemu poziomowi naprężenia przez dłuższy czas. Połączenie obciążeń zmęczeniowych i pełzających przyspiesza degradację materiału poprzez mechanizmy takie jak propagacja pęknięć i degradacja granic ziaren, co skutkuje skróceniem żywotności. Wyniki testu sekwencyjnego obciążenia zmęczeniowo-relaksacyjnego wskazują na 60% redukcję trwałości materiału ze względu na połączony efekt obciążenia zmęczeniowego i relaksacyjnego.

Analiza powierzchni pęknięć kompozytu Al-Si/SiCp wykazuje pęknięcia zmęczeniowe, głównie z powodu utraty spójności na granicy cząstka-matryca w podwyższonych temperaturach. W pracy zbadano zachowanie się próbek kompozytowych Al-Si/SiCp po obciążeniu pełzaniem w temperaturze 250°C. Wysoka temperatura zmiękcza matrycę Al-Si, prowadząc do zmian mikrostrukturalnych, które osłabiają połączenie między cząstkami SiC a matrycą, przyspieszając degradację kompozytu. Analiza SEM ujawnia międzykrystaliczny tryb pękania, wgłębienia i puste przestrzenie na powierzchni pęknięcia, co wskazuje na miejscowe odkształcenie i akumulację naprężenia. Kompozyt ma kombinację właściwości kruchych i ciągliwych, przy czym zachowanie ciągliwe jest dominujące podczas procesu pękania. Obciążenie zmęczeniowe prowadzi do większego stopnia pękania międzykrystalicznego i większej gęstości pęknięć wtórnych, co wskazuje na bardziej złożony mechanizm zniszczenia. Materiał ulega zarówno ciągliwemu, jak i kruchemu procesowi pękania zarówno pod obciążeniem pełzania zmęczeniowego, jak i relaksacji zmęczeniowej.