

Identyfikacja uszkodzenia zmęczeniowego stopu aluminium 2017 na podstawie pomiarów konduktywności

Conductivity measurements to the identification and location of fatigue failure in the aluminum alloy 2017

Streszczenie

Zaprezentowane badania skupiały się na ocenie możliwości wykorzystania pomiarów konduktywności do identyfikacji i lokalizacji uszkodzenia zmęczeniowego w próbkach ze stopu aluminium 2017. Monitorowanie zmian przewodności w wybranych punktach próbki po kolejnych cyklach obciążeń rozciągających pozwoliło stwierdzić spadek tego parametru w miejscu powstania i rozwoju uszkodzenia, prowadzącego do pęknięcia próbki. Istotne zmiany przewodności występują w ostatnim etapie zmęczenia i są związane prawdopodobnie z lokalnym odkształceniem plastycznym towarzyszącym rozwojowi pęknięcia dominującego. Testy prowadzono na próbkach wyciętych z blachy walcowanej o grubości 1, 2 i 3 mm podanych cyklicznym obciążeniom rozciągającym. Pomiar konduktywności realizowany był kilkakrotnie, po zadanej sekwencji cykli, w siedmiu miejscach po obu stronach próbki, co umożliwiło na lokalizację uszkodzenia zmęczeniowego.

Abstract

The research have focused on the use of conductivity measurements to the identification and location of fatigue failure in the aluminum alloy 2017 samples. Monitoring changes in conductivity at selected points of the samples, following subsequent tensile load, have revealed the decrease in conductivity in place of the initiation and development of damage, before the cracks sample. Significant changes in conductivity occur in the last stage and the associated fatigue are likely to be a local plastic deformation accompanying the development of cracks dominant. Tests performed on samples cut from the rolled sheet with a thickness of 1, 2 and 3 mm treated with a cyclic tensile stress. Conductivity was carried out several times, the key sequence cycles in seven locations on both sides of the sample, allowing the location of fatigue damage

Materiał i metodyka badania

Badania wykonano na próbkach płaskich, pobranych z blachy walcowanej o grubości 1, 2 i 3 mm, po obróbce cieplnej i naturalnemu starzeniu. Geometria

i wymiary próbek (rys. 1) zostały zaprojektowane tak, aby możliwy był pomiar konduktywności z zastosowaniem miernika i sondy Sigmatest firmy Ferster.

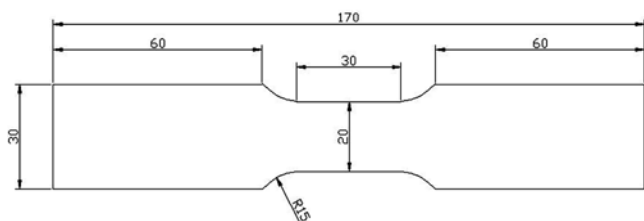
Parametry wyznaczone w statycznej próbie rozciągania (rys. 2) pozwoliły dobrać zakres amplitudy naprężenia w testach zmęczeniowych od 200 do 300 MPa, tak aby obciążenia nie przekroczyły granicy plastyczności i badania miały charakter wysokocyklowy. Badania wykonano na 6 próbkach (po 2 z każdej grubości) o geometrii przedstawionej na rysunku 1.

Dr inż. Dominik Kukła, dr inż. Paweł Grzywna – PAN,
dr inż. Justyna Szlagowska–Spychalska, mgr inż.
Andrzej Zagórski – Politechnika Warszawska,

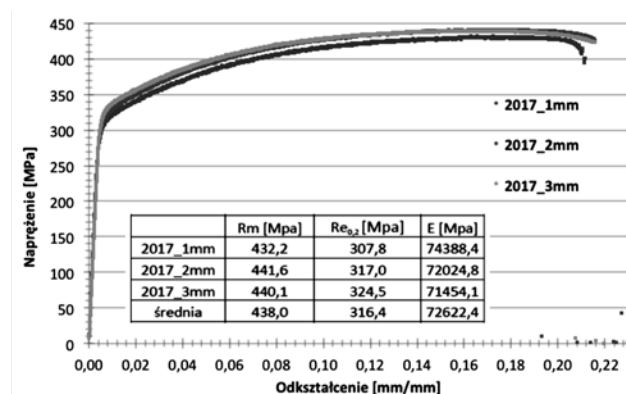
Badania wytrzymałościowe (statyczne i dynamiczne) wykonano na maszynie wytrzymałościowej MTS 858, z zakresem siły osiowej +/-25 kN. Do pomiaru przemieszczenia użyto ekstensometru wzdluznego firmy MTS zamontowanego na próbce specjalnymi uchwytami, jak pokazano na rysunku 3.

Próby zmęczeniowe przeprowadzono dla 11 próbek, każdej z trzech grubości, poddając je obciążeniom cyklicznym w zakresie od 200 do 300 MPa ze skokiem co 10 MPa. Przebadano więc po 33 próbki. Podczas badań zmęczeniowych zatrzymywano obciążenie w sekwencjach co 10 000 cykli i przy zerowej sile dokonywano pomiarów konduktywności według schematu przedstawionego na rysunku 4a.

Pomiary wykonywano miernikiem konduktywności Sigmatest firmy Ferster w 7 miejscach każdej próbki,



Rys. 1. Geometria i wymiary próbek do badań
Fig. 1. The geometry and dimension of the test samples

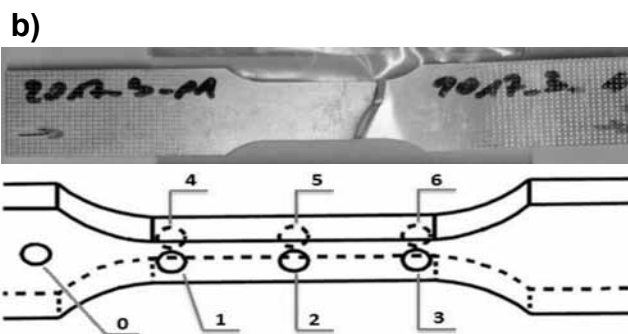
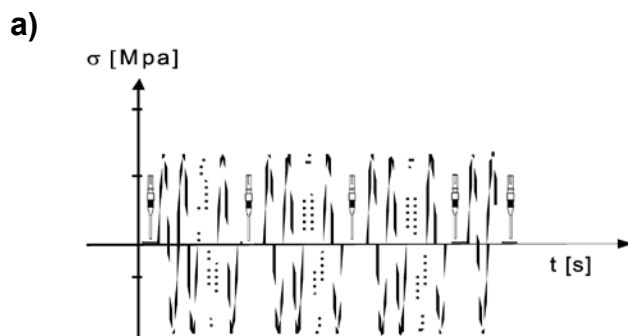


Rys. 2. Wyniki statycznej próby rozciągania próbek ze stopu 2017
Fig. 2. Static tensile test results of alloy samples 2017



Rys. 3. Próbkę w uchwycie maszyny z zamocowanym ekstensometrem
Fig. 3. Photo of sample in the machine holder with extensometer

według szkicu pokazanego na rysunku 4b. Pomiar w punkcie części chwytowej, oznaczonym „0”, pozwalał uzyskać wartość odniesienia, dla materiału nieuszkodzonego, przy założeniu, że w tym miejscu materiał nie ulega procesowi degradacji zmęczeniowej, co wynika z geometrii próbki. Wykonanie pozostałych 6 pomiarów wynikało z faktu inicjowania uszkodzenia w różnych miejscach próbki, tzn. w obszarze górnej redukcji przekroju (punkty 1, 4), w środku części pomiarowej (punkty 2, 5) oraz w obszarze dolnej redukcji przekroju (punkty 3, 6). Pomiary wykonano po obu stronach każdej próbki celem wykazania lokalnego spadku konduktywności w miejscu uszkodzenia, a nie wiadomo było, gdzie się ono rozwija.

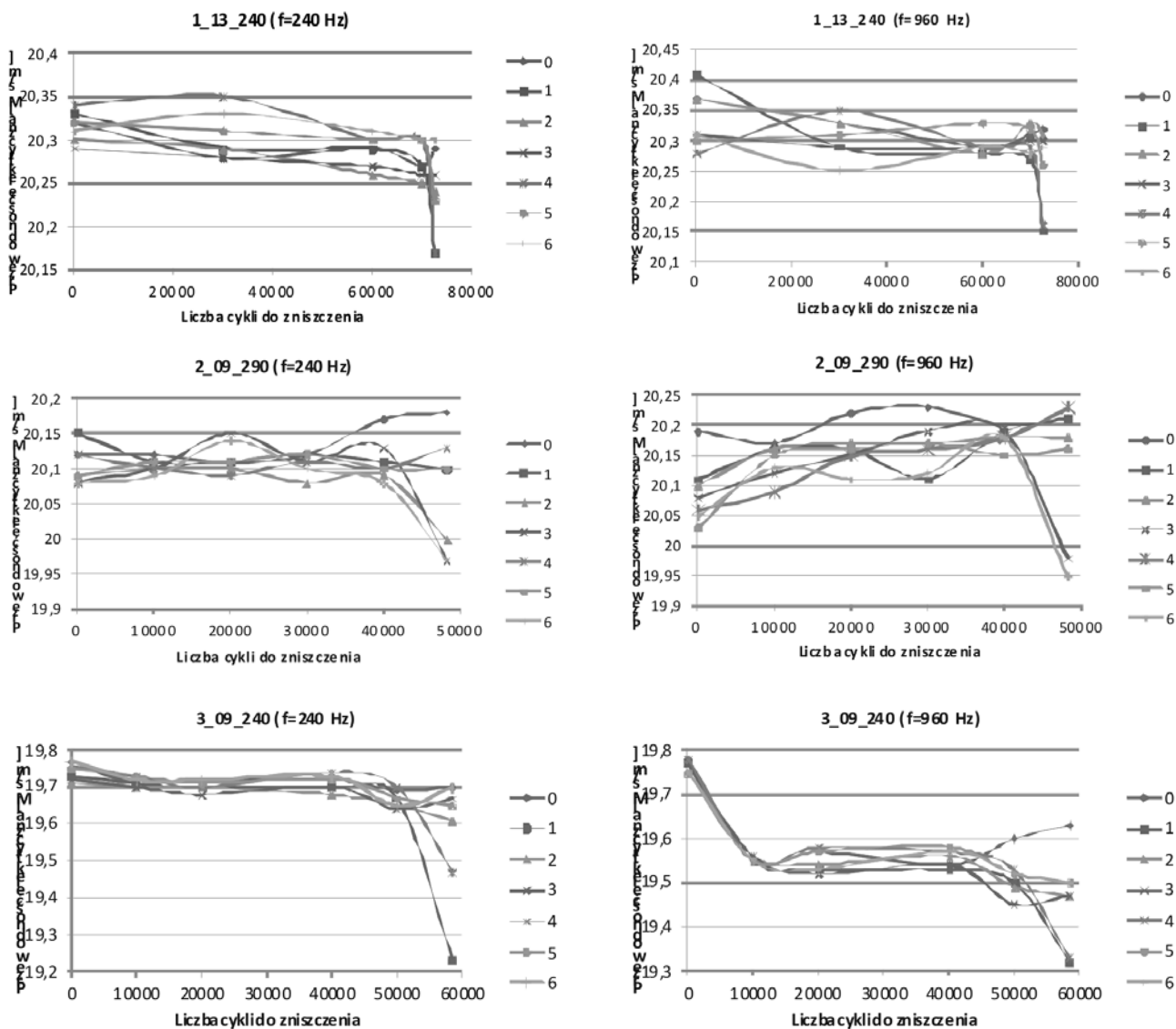


Rys. 4. Szkic procedury wykonania pomiaru konduktywności w terenie zmęczeniowym: a) sekwencje pomiaru b) miejsca pomiaru
Fig. 4. Outline procedures to measure the conductivity of the fatigue test: a) the measurement sequences b) place of the measurement

Wyniki badań

Na podstawie wykonanych pomiarów można stwierdzić lokalny spadek konduktywności materiału próbki w końcowym etapie procesu zniszczenia poprzedzającym pęknięcie próbki (rys. 5). Przedstawiono zmiany przewodności mierzonej w tych punktach w kolejnych cyklach obciążenia zmęczeniowego.

Zmiany konduktywności materiału próbki pojawiają się w ostatnim etapie obciążenia, kiedy rozwój pęknięcia dominującego prowadzi do dekohezji. Zmiany te mają charakter lokalny, ale nie powierzchniowy, widoczne są bowiem tylko w jednym punkcie pomiarowym, ale po obu stronach próbki. Efekt ten występuje niezależnie od grubości próbki i wskazuje na to, że proces degradacji zainicjowany lokalnie ma charakter objętościowy.



Rys. 5. Wykresy zmienności kondukcyjności wybranych próbek w kolejnych cyklach obciążenia zmiennego, mierzonej przy częstotliwości 240 oraz 960 MHz dla trzech grubości blach

Fig. 5. Graphs of conductivity variation of selected samples in subsequent cycles of loading, measured at a frequency of 240 and 960 MHz for the three plate thicknesses

Podsumowanie

Zastosowanie pomiarów kondukcyjności stopu aluminium 2017 do oceny stopnia degradacji zmęczeniowej doprowadziło do stwierdzenia występowania zależności tego parametru od zmian mikrostrukturalnych towarzyszących procesowi uszkodzenia wywołanego cyklicznym obciążeniem, ale dopiero na etapie rozwoju pęknięcia. Można przypuszczać,

że zmiany te mają związek ze zmianami stanu naprężenia próbek wokół karbów strukturalnych wywołanych zmęczeniem. Wskazuje na to fakt, że spadek wartości przewodności rejestrowany w obszarze lokalizacji uszkodzenia próbki jest podobny po obu jej stronach, czyli dotyczy całego przekroju próbki.

Literatura

- [1] Kukła D., Dietrich L., Ciesielski M.: Ocena stopnia uszkodzenia eksploatacyjnego materiału rurociągu parowego na podstawie analizy zmian właściwości zmęczeniowych i mikrostruktury, VI Międzynarodowe Sympozjum Mechaniki Materiałów i Konstrukcji, Augustów, 30 maja - 2 czerwca 2011.
- [2] G. Socha, Experimental investigation of fatigue cracks nucleation, growth and coalescence in structural steel, Int. J. Fatigue, 25, 2003, 139-147.
- [3] D. Kukła, L. Dietrich, Z. Kowalewski, P. Grzywna: Ocena Rozwoju Uszkodzeń Zmęczeniowych w Stalach Eksploatowanych w Energetyce – LI Kongres Mechaniki Polskiej Poznań – Sierpień 2011-10-17.
- [4] Kukła D., Dietrich L., Ciesielski M.: Ocena Stopnia Uszkodzenia Eksploatacyjnego Materiału Rurociągu Parowego na Podstawie Analizy Zmian Właściwości Zmęczeniowych I Mikrostruktury, Acta Mechanica et Automatica, Vol. 5 No. 3 (2011) s. 55-60.
- [5] Kukła D., Grzywna P., Dietrich L.; The Development Dynamics Of The Located Fatigue Failure In The Porous Silumin 28 Danubia Adria Symposium, Siofok-Hungary, September 2011 materiały konferencyjne, s. 61.

Podziękowanie

Badania zaprezentowane w artykule zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu badawczego własnego NN 507217940 „Opracowanie metod diagnozowania odpowiedzialnych elementów konstrukcyjnych statków powietrznych z wykorzystaniem metody prądów wirowych i metody modelowania sygnałów elektromagnetycznych” oraz przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu celowego nr 6 ZR7 2009 C/07352 pt. „Opracowanie technologii i uruchomienie produkcji kokilowych, w tym rdzeniowych, odlewów ze stopów AlSi7Mg i AlSi10Mg przeznaczonych do budowy nowej generacji osprzętu wyłączników wysokiego napięcia pracujących w środowisku SF₆”.

Wykaz recenzentów artykułów naukowych opublikowanych w miesięczniku naukowo-technicznym Przegląd Spawalnictwa w 2013 roku

Artykuły w miesięczniku Przegląd Spawalnictwa były recenzowane w 2013 r. przez członków Komitetu Recenzentów w składzie: **dipl. Ing. Paweł Baryliszyn, dr inż. Hubert Drzeniek, prof. Nikolaos Gouskos, prof. Jolanta Janczak-Rusch, prof. Andrzej Kolasa, prof. Jerzy Łabanowski, prof. Mirko Sokovic, prof. Edmund Tasak, prof. Johannes Wilden**, oraz przez zaproszonych recenzentów zewnętrznych:

Prof. Andrzej Ambroziak
Prof. Alexander I. Balitskii
Prof. Marek Blicharski
Prof. Janusz Ćwiek
Prof. Dariusz Golański
Prof. Leonard Runkiewicz
Prof. Jacek Senkara
Prof. Ryszard Sikora
Prof. Jacek Słania
Prof. Eugeniusz Turyk
Prof. Jasiński Walenty
Prof. Andrzej Winiowski
Prof. Anna Zielińska-Lipiec
Dr hab. inż. Piotr Bała
Dr hab. inż. Tomasz Chady
Dr hab. inż. Jerzy Kaszyński
Dr hab. inż. Jacek Szelażek
Dr inż. Piotr Białucki
Dr inż. Dariusz Fydrych

Dr inż. Jacek Haras
Dr inż. Grzegorz Jezierski
Dr inż. Paweł Kołodziejczak
Dr inż. Tomasz Kozak
Dr inż. Tomasz Kozieł
Dr inż. Beata Majkowska
Dr inż. Ryszard Pakos
Dr inż. Tomasz Pfeifer
Dr inż. Tomasz Piwowarczyk
Dr inż. Anna Pocica
Dr inż. Grzegorz Rogalski
Dr inż. Adam Sajek
Dr inż. Tomasz Urbański
Dr inż. Aneta Ziewiec
Dipl.-Inf. Hannelore Wessel-Segebade
Mgr inż. Bogdan Piekarczyk
Mgr inż. Jędrzej Hlebowicz
Mgr inż. Marek Lipnicki