

## ZASTOSOWANIE MINIPRÓBEK W OCENIE STANU USZKODZENIA ZMĘCZENIOWEGO ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH

Jacek SUSZEK, Dariusz BOROŃSKI

Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn  
Wydział Mechaniczny, Akademia Techniczno-Rolnicza  
al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz  
tel. 052 340 82 78, fax. 052 340 82 71

### Streszczenie

Eksploatacja obiektów technicznych w warunkach obciążeń zmiennych w czasie niesie ze sobą zagrożenia związane ze zmęczeniowym pękaniem elementów konstrukcyjnych. Cyklicznie zmienne obciążenie może prowadzić do stopniowej degradacji struktury, aż do inicjacji i rozwoju pęknięcia zmęczeniowego.

W referacie przedstawiono wyniki wstępnych badań mających na celu zastosowanie w ocenie stanu zmęczenia elementów konstrukcyjnych w fazie do inicjacji pęknięcia zmęczeniowego minipróbek materiałowych poddawanych obciążeniom odwzorowującym odkształcenia w węźle konstrukcyjnym.

Słowa kluczowe: trwałość zmęczeniowa, zmęczenie konstrukcji, diagnozowanie.

### APPLICATION OF MINISPECIMENS IN ASSESSMENT OF FATIGUE DAMAGE OF STRUCTURAL PARTS

#### Summary

The exploitation of technical objects in the variable loading conditions carries a menace connected with the fatigue cracking of the structural parts. The cyclically changing loading may lead to gradual degradation of structure, up to fatigue crack initiation.

In the paper, results of preliminary verification of a new method of the fatigue damage assessment of structural parts analysis in the crack initiation period are presented. In the method the local strains existing in a structural parts, are applied to simple material minispecimen according to the local approach assumptions used in the fatigue design methods.

Keywords: fatigue life, fatigue of structures, fatigue testing, diagnostics.

## 1. WPROWADZENIE

Zmęczeniem w zagadnieniach budowy i eksploatacji maszyn określa się zespół zjawisk zachodzących w materiale pod wpływem cyklicznie zmiennych obciążeń. Na przebieg procesu zmęczenia mają wpływ czynniki konstrukcyjne, technologiczne i eksploatacyjne, w tym warunki środowiskowe np.: temperatura, wilgotność, czynniki chemiczne itp. [1].

Zmęczenie w początkowej fazie ma charakter lokalny i dotyczy zmian w mikroobjętościach materiału w zakresie zmian strukturalnych. W końcowej fazie, po inicjacji pęknięcia i jego rozwoju, ma charakter „globalny” mogący skutkować zniszczeniem złożonych, wielkogabarytowych konstrukcji.

Przebieg procesu zmęczenia w elementach konstrukcyjnych do inicjacji pęknięcia zależy od poziomu zmiennych odkształceń w obszarach ich koncentracji. Z powyższego stwierdzenia wynikają podstawowe problemy diagnozowania złożonych

obiektów. Należą do nich: konieczność wyznaczania potencjalnych obszarów pęknięć zmęczeniowych, dobór odpowiednich metod pomiarów zmiennych odkształceń, dobór odpowiednich kryteriów zmęczeniowych i hipotez sumowania uszkodzeń zmęczeniowych w obliczeniach zmęczeniowych lub odpowiedniej metody badań doświadczalnych.

Istnieje cała gama różnych metod diagnostycznych, które mogą być wykorzystane w celu przeprowadzenia analizy i rozpoznania stopnia zmęczenia konstrukcji. Ich szeroki opis metod znaleźć można np. w pracach [2-6].

Większość metod diagnostycznych znajduje zastosowanie głównie w okresie rozwoju pęknięcia zmęczeniowego. Niektóre z nich charakteryzują się prostotą przygotowania badania, jak np. metody wzrokowe czy penetracyjne, ale wiąże się to ze znacznymi ograniczeniami co do możliwości wykrywania pęknięć szczególnie w trudno dostępnych miejscach obiektów. Z drugiej strony pojawiające się pęknięcia zmęczeniowe można wykrywać technikami znacznie bardziej

skomplikowanymi. Często wiąże się to jednak z koniecznością stosowania złożonych procedur przygotowawczych do badań, np. wzorcowania.

W wielu przypadkach niemożliwa jest prawidłowa ocena stopnia degradacji badanych struktur poprzez zastosowanie jednej techniki diagnozowania. Koniecznym w związku z tym jest projektowanie stanowisk diagnostycznych umożliwiających zastosowanie kilku metod jednocześnie.

Ponadto niektóre techniki diagnostyczne wymagają specjalnego przygotowania badanych obiektów i przez to często wstrzymania pracy badanego urządzenia, a niekiedy jego częściowego demontażu.

Doświadczenie ponad 35 lat badań zmęczeniowych prowadzonych w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn, Akademii Techniczno-Rolniczej wskazuje, że skuteczną metodą oceny stanu uszkodzenia zmęczeniowego elementu konstrukcyjnego może być metoda doświadczalna, której koncepcja oparta jest na założeniu, że trwałość zmęczeniowa elementu konstrukcyjnego do inicjacji pęknięcia równa jest trwałości zmęczeniowej modelu (próbki), jeśli zmienność w czasie odkształceń próbki odpowiada zmienności odkształceń lokalnych elementu w strefie zmęczeniowego pęknięcia.

Głównym celem badań prezentowanych w pracy jest weryfikacja możliwości diagnozowania stanu zmęczenia elementów z nieciągłościami geometrycznymi poprzez monitorowanie odkształceń lokalnych w strefie spiętrzeń naprężeń i ich równoległe odwzorowanie na próbkach materiałowych. Pozytywne wyniki badań doprowadzić mogą do budowy testerów zmęczeniowych, umożliwiających ocenę stanu degradacji maszyn i urządzeń.

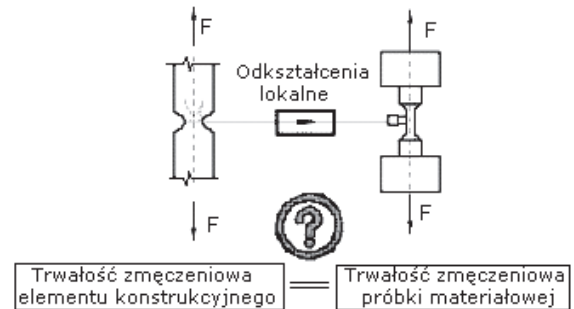
## 2. ISTOTA METODY OCENY STANU USZKODZENIA ZMĘCZENIOWEGO

Istota prezentowanego w pracy podejścia do diagnozowania stanu uszkodzenia zmęczeniowego obiektu w fazie inicjacji pęknięcia oparta jest na założeniu o możliwości odwzorowania przebiegu zmęczenia w strefie zmęczeniowego pęknięcia elementu konstrukcyjnego w reprezentującej ją jednorodnej próbce materiałowej, stanowiącej fizyczny model rozpatrywanego obszaru elementu konstrukcyjnego. Odwzorowanie to odbywa się poprzez przeniesienie lokalnego stanu obciążenia w rozpatrywanym obszarze elementu konstrukcyjnego na model (próbkę) o celowo dobranych cechach materiałowych i geometrycznych (rys.1).

Podobne założenie wykorzystywane jest w metodach obliczeń trwałości zmęczeniowej opartych na podejściu lokalnym [7]. Jednak ciągła niedoskonałość teoretycznego opisu procesu zmęczenia, związana m.in. z wykorzystywanymi w nich teoretycznymi modelami analizy odkształceń

lokalnych sprawia, że metody obliczeniowe nie mogą stanowić w pełni wiarygodnej podstawy metod diagnozowania złożonych obiektów technicznych.

Z tego względu, w omawianej metodzie do badania stanu uszkodzenia zmęczeniowego zastosowano modelowanie fizyczne, zarówno w zakresie samego obiektu jak i jego obciążania.



Rys.1. Schematyczne ujęcie problemu

Jednym z warunków poprawności założenia przyjętego w omawianej w pracy metodzie jest zapewnienie maksymalnej reprezentatywności modelu diagnozowanego obszaru elementu konstrukcyjnego. Dla zapewnienia podstawowej cechy prawidłowo opracowanego modelu, jaką jest zdolność do zastępowania badanego obiektu w procesie jego badań, konieczne jest spełnienie szeregu warunków. Istniejąca wiedza z zakresu zmęczenia materiałów i konstrukcji stanowi podstawę stwierdzenia, że w przypadku analizy stanu zmęczenia, warunki te dotyczą zarówno własności materiałowych i cech geometrycznych, jak i warunków obciążenia i oddziaływania otoczenia. Związane jest to m.in. z koniecznością uwzględnienia wpływu zmęczeniowych własności materiału, naprężeń własnych oraz efektu skali i wielkości próbki.

Najkorzystniejszym sposobem zapewnienia pełnego podobieństwa podstawowych własności materiału jest wykonanie testowanych próbek z tej samej dostawy materiału, z której wykonany jest badany obiekt. W tym celu koniecznym jednak jest wykonywanie próbek do badań już na etapie wytwarzania obiektu.

Ponadto, w celu zapewnienia maksymalnego podobieństwa zmęczeniowych własności materiału modelu i elementu konstrukcyjnego (w analizowanym obszarze), niezbędne jest odtworzenie wszystkich istotnych w punktu widzenia zmęczenia zabiegów technologicznych związanych z wytwarzaniem badanego elementu.

W wielu przypadkach, w rozpatrywanych strefach analizowanych elementów konstrukcyjnych mogą występować naprężenia własne, mogące w istotny sposób wpływać na ich trwałość zmęczeniową. Niezbędny zatem jest doskonalenie metod umożliwiających teoretyczną lub doświadczalną analizę stanu odkształceń i naprężeń wywołanych zastosowanymi zabiegami

technologicznymi, procesem montażu i innymi czynnikami. Wyznaczone odkształcenia/naprężenia własne można następnie uwzględnić w procesie obciążenia próbki materiałowej, np. wprowadzając „offset” obciążenia odpowiadający ich obliczonym lub zmierzonym wartościom.

Jednym z założeń metody jest dążenie do minimalizacji wymiarów próbek stanowiących model analizowanych obiektów. Istnieje jednak niebezpieczeństwo znacznego odstępstwa od stanu rzeczywistego w przypadku zbytniego miniaturyzowania próbek. Wynika to z kilku czynników. Po pierwsze, ze znanego w analizie zmęczeniowej wpływu wielkości przedmiotu, będącego m.in. efektem probabilistycznego charakteru procesu zmęczenia. Po drugie pobieranie próbek o wielkości nieznacznie przekraczającej wymiary charakterystyczne badanych materiałów (wymiary ziarna, kryształu, krystalitu) może spowodować, że prowadzone badania będą odnosić się do pojedynczych składników strukturalnych, nie zaś do ich „uśrednionego” zachowania w złożonej strukturze metalograficznej, jaka najczęściej występuje w materiale elementów konstrukcyjnych.

Powodzenie opracowanej metody oceny stanu uszkodzenia zmęczeniowego, niezwykle silnie zależny od skuteczności doświadczalnych metod pomiaru odkształceń w strefach zmęczeniowego pęknięcia.

Położenie stref zagrożonych powstawaniem pęknięć zmęczeniowych jest nierozdzielnie związane z lokalnymi spiętrzeniami odkształceń i naprężeń. Te zaś mogą być spowodowane zarówno czynnikami geometrycznymi (nieciągłości geometryczne – karby geometryczne), jak i strukturalnymi (niejednorodności materiałowe – karby strukturalne).

Zarówno w jednym jak i drugim przypadku, pomiar odkształceń w strefach spiętrzenia odkształceń jest niezwykle trudny technicznie. Wynika to m.in. z występowania często bardzo silnych gradientów odkształceń, które powodują że do pomiaru odkształceń trzeba stosować metody umożliwiające analizę nie tyle odkształcenia lokalnego co jego rozkładów.

Spośród wielu metod pomiarowych, tylko nieliczne techniki pozwalają na skuteczne wyznaczenie rozkładów odkształceń i ich wartości lokalnych w warunkach obciążeń cyklicznie zmiennych w czasie (np. metoda laserowej interferometrii siatkowej zastosowana w systemie LES) [8,9].

To ograniczenie sprawia, że w niektórych przypadkach analizy odkształceń konieczne może być wspomagające stosowanie metod teoretycznych, np. metody elementów skończonych lub metod hybrydowych (np. doświadczalno-numerycznych) [8,10].

Współczesne możliwości pomiaru odkształceń lokalnych wskazują jednak na możliwość zastosowania mikroczytników pomiarowych, umożliwiających pomiar odkształceń na bardzo

małych bazach pomiarowych. Wykorzystane w tym celu mogą być, między innymi rozwiązania stosowane w mikro i nanotechnologiach do wytwarzania układów MEMS (micro-elektromechanical-systems). Jednak podobnie jak w przypadku uwagi dotyczącej miniaturyzacji próbek, tak i w przypadku ograniczania bazy pomiarowej czujników przemieszczeń i odkształceń, trzeba mieć na względzie wymiary charakterystyczne materiału, takie jak wielkość ziarna, czy kryształu, aby pomiar był reprezentatywny dla całej struktury, a nie dla jej przypadkowych elementów.

Możliwość bieżącej oceny stanu zmęczenia elementów konstrukcyjnych na bazie oceny przebiegu procesów zmęczeniowych zachodzących w próbkach (minipróbkach) materiałowych wymaga ciągłej transmisji danych o stanie odkształceń w strefach zmęczeniowego pęknięcia do minitermów zmęczeniowych. Ich zadaniem jest bieżące odtwarzanie mierzonych (ewentualnie mierzonych i przeliczanych) wartości odkształceń lokalnych na minipróbkach materiałowych, stanowiących model fizyczny elementu konstrukcyjnego w strefie zmęczeniowego pęknięcia.

Zarówno stan aktualny, jak i spodziewane możliwości rozwojowe przewodowej i bezprzewodowej transmisji danych, zapewniają możliwość realizacji opracowanej metody oceny stanu zmęczenia w obiektach znacznie oddalonych od stacji testerów zmęczeniowych.

Założenie, o możliwości odtworzenia przebiegu procesu zmęczenia w jednorodnej próbce materiałowej, stwarza potencjalną możliwość wykorzystania w ocenie stanu uszkodzenia zmęczeniowego obok modeli fizycznych, modeli matematycznych, np. hipotez sumowania uszkodzeń zmęczeniowych, analitycznych i numerycznych metod obliczeń odkształceń lokalnych.

Takie podejście do procesu diagnozowania stanu zmęczenia może mieć istotne znaczenie szczególnie w przypadku konstrukcji wielkogabarytowych, w których ocena stanu uszkodzenia zmęczeniowego zarówno w okresie inicjacji jak i rozwoju pęknięcia stanowi niejednokrotnie znaczny problem techniczny [11].

### 3. OPIS BADAŃ WERYFIKACYJNYCH

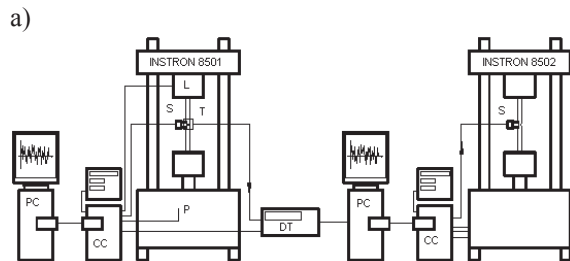
Celem prowadzonych badań była weryfikacja możliwości oceny stanu zmęczenia elementów z nieciągłościami geometrycznymi poprzez monitorowanie odkształceń lokalnych w strefie zmęczeniowego pęknięcia elementu konstrukcyjnego i ich równoległe odwzorowanie na próbkach materiałowych. Słuszność przyjętego założenia analizowano poprzez porównanie trwałości zmęczeniowej obiektu poddanego obciążeniu eksploatacyjnemu z trwałością próbki materiałowej poddanej obciążeniu „lokalnemu”.

Badania weryfikacyjne przeprowadzono na

zaprojektowanym w tym celu stanowisku badawczym pokazanym [12] na rysunku 2. Jego główne elementy to: maszyny wytrzymałościowe FM z cyfrowymi układami sterowania CC, urządzenie transmisji danych DT i komputery PC do archiwizacji i analizy danych.

Praktyczna realizacja opracowanej koncepcji badań stanu uszkodzenia zmęczeniowego w strefach zmęczeniowego pęknięcia elementów konstrukcyjnych w warunkach laboratorium badawczego wymagała zastosowania dwóch współpracujących ze sobą układów obciążających: dla elementu konstrukcyjnego i jednorodnej próbki materiałowej.

W tym celu zastosowano dwie standardowe maszyny do badań zmęczeniowych Instron 8501 i 8502 z cyfrowymi systemami sterowania 8500 i 8500 plus (rys.2b).



Rys. 2. Schemat stanowiska do badań weryfikacyjnych (a). Maszyny do badań zmęczeniowych Instron 8501 i 8502 (b)

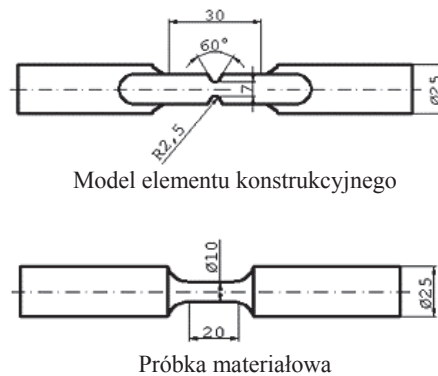
Pierwsza maszyna (8501) realizowała zadany przebieg obciążenia eksploatacyjnego na wybranym do badań elemencie konstrukcyjnym. Jednocześnie, w wybranych strefach elementu realizowany był pomiar odkształceń lokalnych. Wartość zmierzonego odkształcenia przekazywana była na drugą maszynę (8502), której zadaniem była realizacja obciążenia jednorodnej próbki materiałowej, stanowiącej model fizyczny elementu konstrukcyjnego w strefie zmęczeniowego pęknięcia. Do pomiaru odkształceń w próbce stosowany był standardowy ekstensometr pozwalający na pracę maszyny w warunkach kontrolowanej wartości odkształcenia.

Ciągły pomiar odkształceń lokalnych pozwalał na dwójaki charakter pracy drugiej maszyny.

Pierwszy polega na bezpośrednim „przenoszeniu” stanu odkształcenia lokalnego na próbkę materiałową, bez analizy zadawanego obciążenia. W drugim trybie obciążania, przebieg odkształceń lokalnych podlega wcześniejszej „obróbce” w celu wyznaczenia minimalnych i maksymalnych wartości odkształcenia w cyklu. Zarówno w pierwszym, jak i drugim trybie obciążania następuje zachowanie warunku pełnego odwzorowania przebiegu odkształcenia lokalnego, z tą różnicą, że w drugim przypadku nieznacznie upraszcza się sposób sterowania zadawaniem obciążenia na próbce materiałowej.

Jako obiekt badań przyjęto próbkę z karbem geometrycznym o promieniu R2.5mm, która w sposób uproszczony odzwierciedla miejsce spiętrzenia naprężeń i odkształceń w elemencie konstrukcyjnym. Na dnie karbu geometrycznego mierzono wartość odkształceń lokalnych z zastosowaniem technik tensometrycznych (m.in. tensometry o bazie 0.5 mm).

Próbka materiałowa zaprojektowana została zgodnie z normą do badań niskocyklowych [13]. Obiekt badań i próbka materiałowa wykonane zostały z węglowej stali 45, której własności podano w tabeli 1, a kształt i wymiary próbek przedstawiono na rysunku 3.



Rys.3. Obiekty badań

Tabela 1. Własności statyczne i cykliczne stali 45

Symbol	Jednostka	Wartość
$E$	MPa	210000
$R_e$	MPa	410
$R_m$	MPa	680
$K'$	MPa	1233
$n'$	-	0,1976

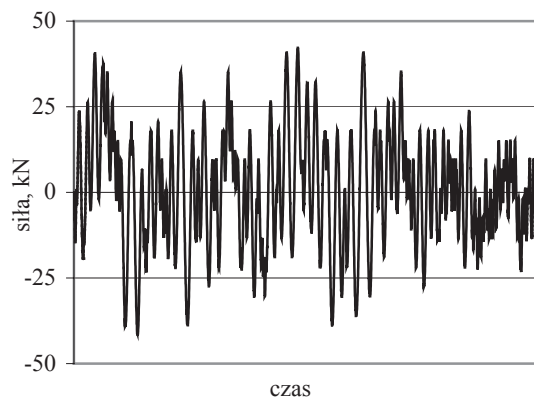
W badaniach weryfikacyjnych wykorzystano rzeczywisty przebieg eksploatacyjny. Przykładowy fragment zastosowanego w badaniach przebiegu eksploatacyjnego przedstawia rysunek 4. Jego efektem jest przebieg zmian odkształceń lokalnych w dnie karbu geometrycznego, którego fragment przedstawia rysunek 5.

Rejestrowany przebieg odkształceń lokalnych odtworzono w próbce materiałowej poddawanej osiowemu obciążeniu.

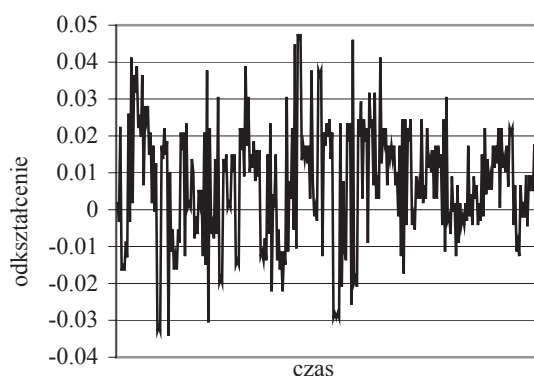
#### 4. WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań weryfikacyjnych przedstawiono na rysunku 6 w postaci wykresów trwałości zmęczeniowej badanych elementów.

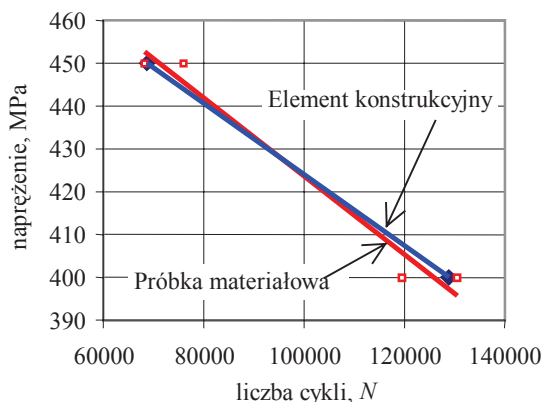
Czynnikiem określającym uszkodzenie badanych próbek było pojawienie się pęknięcia zmęczeniowego, a nie całkowite zerwanie badanych elementów.



Rys.4. Przykładowy fragment przebiegu eksploatacyjnego



Rys.5. Przykładowy fragment przebiegu odkształceń lokalnych



Rys.6. Wykresy trwałości zmęczeniowej badanych obiektów

W przypadku, gdy do czasu inicjacji pęknięcia w obiekcie nie wystąpiło pęknięcie w próbce, próbkę obciążano dalej wykorzystując wcześniej

zarejestrowany przebieg odkształcenia lokalnego. Było to możliwe dzięki zastosowaniu w badaniach jako przebiegu eksploatacyjnego (któremu poddawany był obiekt) powtarzających się bloków obciążenia zawierających od 10 000 do 20 000 cykli.

#### 5. PODSUMOWANIE

Wyniki przeprowadzonych badań weryfikacyjnych potwierdzają nieistotność różnic trwałości zmęczeniowej elementu konstrukcyjnego i modelowej, jednorodnej próbki materiałowej. Tym samym potwierdzono, że istnieje możliwość zastosowania metod oceny trwałości zmęczeniowej opartych na podejściu lokalnym (stosowanych w metodach obliczeń trwałości zmęczeniowej) w doświadczalnej ocenie stanu zmęczenia złożonych obiektów, poprzez zastosowanie minipróbek poddawanych odkształceniom lokalnym występującym w strefach zmęczeniowego pęknięcia diagnozowanych obiektów.

Analiza wartości odkształceń lokalnych wymaga jednak bardzo specyficznych technik pomiarowych. Podstawowym problemem w prowadzonych badaniach jest trudny technicznie pomiar odkształceń w niewielkim obszarze dna karbu.

Odwzorowanie cyklicznie zmiennego odkształcenia lokalnego w strefie zmęczeniowego pęknięcia elementu konstrukcyjnego na minipróbkę materiałowej może doprowadzić do zmniejszenia kosztów analizy diagnostycznej, a także może otworzyć nowe możliwości w zakresie ciągłego monitorowania stanu uszkodzenia zmęczeniowego obiektu poprzez zastosowanie wielu technik i metod pomiarowych, takich jak metody rentgenowskie, akustyczne, magnetyczne, czy inne.

#### LITERATURA

- [1] Kocańda S., Szala J.: Podstawy obliczeń zmęczeniowych, PWN, Warszawa, 1997.
- [2] Beevers C.J., Coffey J.M., Curry D.A., Duggan T.V., Knott J.F., Richards C.E.; The measurement of crack length and shape during fracture and fatigue, Engineering Materials Advisory Services LTD, London, United Kingdom 1980.
- [3] Marsh K.J., Smith R.A. Ritchie R.O.; Fatigue crack measurement: techniques and applications, Engineering Materials Advisory Services LTD, London, United Kingdom 1991.
- [4] Szala, J.: Przegląd możliwości diagnozowania obiektów technicznych ze względu na zmęczeniowe pęknięcie, Przegląd Mechaniczny, 4, 2003, s. 7-15.
- [5] Radkowski S.: Wykorzystanie SWA w diagnozowaniu zmęczeniowych uszkodzeń kół zębatach. Materiały II Seminarium - Wibroakustyczna Diagnostyka Procesów Zmęczeniowych, Wydawnictwo Instytutu Budowy Maszyn, Politechnika Warszawska, 2003, s. 35-52.

- [6] Tylikowski A. Pietrzakowski M.: Monitoring uszkodzeń cienkościennych konstrukcji kompozytowych. Materiały II Seminarium - Wibroakustyczna Diagnostyka Procesów Zmęczeniowych, Wydawnictwo Instytutu Budowy Maszyn, Politechnika Warszawska, 2003, s. 27-34.
- [7] Szala J., Boroński D.; Comparative analysis of experimental and calculated fatigue life of the 45 steel notched structural member, *Archiwum budowy maszyn, Zeszyt 1-2*, str. 111, 1995.
- [8] Boroński D.: Doświadczalna analiza rozkładów odkształceń w strefach zmęczeniowego pękania. Wydawnictwa Uczelniane ATR, Bydgoszcz, 2005.
- [9] Boroński D., Szala J.: Laser grating extensometer LES for fatigue full-field strain analysis. [In:] *ECF 14 Fracture Mechanics Beyond 2000*, A. Neimitz eds, EMAS, 2002, s.297-304.
- [10] Boroński D., Szala J.: The hybrid strain analysis in fatigue loading conditions. [In:] *Fatigue 2002*, A.F. Bloom eds, EMAS, 2002, s.2775-2782.
- [11] Szala J.; Ocena stanu obiektu poddanego eksploatacyjnym obciążeniom na podstawie hipotezy linii stałych uszkodzeń zmęczeniowych. *Diagnostyka vol. 34*, 2005r.
- [12] Suszek J.; The experimental verification of the possibility of using the local strain analysis In structure diagnostics considering fatigue, 4th Youth Symposium on Experimental Solid Mechanics, str. 7, Publishing company of University of Bologna, Bologna, Italy 2005.
- [13] PN-84/H-04334 - Badania niskocyklowego zmęczenia metali.



Jacek SUSZEK; mgr inż., urodzony w 1975r. w Szubinie. Ukończył studia wyższe na Wydziale Mechanicznym Akademii Techniczno-Rolniczej w roku 2000. Tytuł magistra inżyniera w zakresie specjalności Technologia Maszyn uzyskał w 2000 roku, po obronie pracy magisterskiej nt. „*Uwarunkowania dotyczące poprawnego opracowania technologii spajania w aspekcie inżynierii jakości*”. Od roku 2000 asystent w katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn Wydziału Mechanicznego Akademii Techniczno – Rolniczej w Bydgoszczy. Obecnie uczestnik studiów doktoranckich na Wydziale Mechanicznym Akademii Techniczno – Rolniczej w Bydgoszczy. W pracy naukowej zajmuje się zagadnieniami związanymi ze zmęczeniem materiałów i konstrukcji.



Dariusz BOROŃSKI, dr inż., adiunkt, Kierownik Zakładu Podstaw Projektowania Układów Mechatronicznych Katedry Podstaw Konstrukcji Maszyn Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy. Zainteresowania naukowe obejmują głównie zagadnienia związane ze zmęczeniem materiałów i konstrukcji, metodami eksperymentalnymi w budowie i eksploatacji maszyn oraz projektowaniem mechatronicznych układów badawczo-pomiarowych. Sekretarz naukowy Międzysekcyjnego Zespołu Zmęczenia i Mechaniki Pękania Komitetu Budowy Maszyn PAN, członek Sekcji Mechaniki Eksperymentalnej Ciąła Stałego Komitetu Mechaniki PAN.