

Wojciech MIZAK, Tomasz GIESKO

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom

STRUKTURA SYSTEMU STEREOWIZYJNEGO W BADANIACH ZMĘCZENIOWYCH

Słowa kluczowe

Badania zmęczeniowe, system optomechatroniczny, stereowizja.

Streszczenie

Integracja modułów optoelektronicznych, mechanicznych i elektronicznych umożliwia opracowanie zaawansowanych mechatronicznych systemów pomiarowych. W artykule zaprezentowano strukturę systemu stereowizyjnego do monitorowania procesów destrukcji zmęczeniowej, z zastosowaniem dwukamernego układu obserwacji. Omówiono podstawowe zagadnienia na etapie projektowania modułu wizyjnego, obejmujące wytypowanie parametrów wizyjnych kamer i obiektywów oraz wybór koncepcji konstrukcji. Przedstawiono model konstrukcji systemu przystosowanej do współpracy z maszyną zmęczeniową.

Wprowadzenie

W procesach eksploatacji obiektów technicznych jednym z podstawowych zagadnień jest zmęczenie materiałów i elementów konstrukcyjnych poddawanych obciążeniom mechanicznym i termicznym. W badaniach trwałości zmęczeniowej ważną rolę pełnią metody eksperymentalne, w których przeprowadzana jest analiza trajektorii pęknięcia oraz pomiary przyrostu długości pęknięcia w funkcji obciążenia i liczby cykli [1]. Wysoka dokładność oraz duża częstotliwość pomiarów, a także możliwość automatyzacji procesu pomiarowego są

podstawowymi wymaganiami dla aparatury, która ma umożliwić wykonywanie zaawansowanych badań zmęczeniowych.

Intensywny rozwój technologii optomechanicznych oraz cyfrowej analizy obrazów stwarza obecnie szerokie możliwości w zakresie rozwijania zaawansowanych metod i aparatury do obserwacji procesów pęknięcia zmęczeniowego oraz pomiarów pęknięcia. Z przeglądu publikacji naukowych wynika, że zasadniczą grupę stosowanej optoelektronicznej aparatury pomiarowej w badaniach zmęczeniowych stanowią w większości eksperymentalne zestawy, w których wykorzystywany jest jeden tor wizyjny. Przykładami zaawansowanych rozwiązań laboratoryjnej aparatury o wysokich parametrach technicznych i funkcjonalnych są systemy do monitorowania procesów pęknięcia zmęczeniowego w materiałach i elementach konstrukcyjnych obiektów technicznych, które zostały opracowane wspólnie przez Instytut Technologii Eksploatacji – PIB w Radomiu i Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy [2, 3, 7]. Urządzenia są wyposażone w jednokamerowe moduły wizyjne oraz mechatroniczne układy pozycjonowania kamer względem badanego obiektu. Opracowane systemy monitorowania są przystosowane do współpracy z maszynami do badań zmęczeniowych.

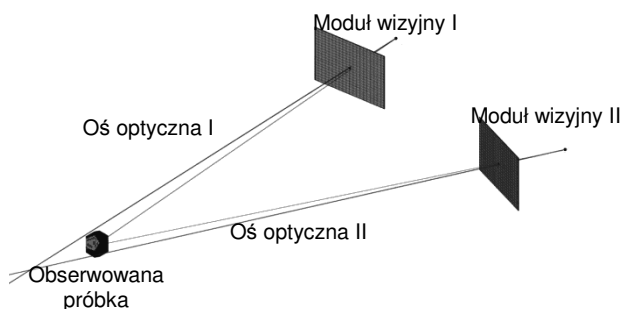
Rozwijane techniki obrazowania 3D z zastosowaniem kamer wysokiej rozdzielczości znajdują zastosowanie do pomiarów geometrii powierzchni w skali mikro i makro [4]. Wykorzystując możliwość jednoczesnej obserwacji powierzchni próbki z dwóch kamer, do oceny odkształceń stosuje się zaawansowane metody cyfrowej korelacji obrazów 3D-DIC, co przyczyniło się do szybkiego rozwoju mechaniki eksperymentalnej. W doświadczalnych metodach badawczych w mechanice zmęczeniowej odnotowano, obecnie jeszcze nieliczne, przykłady wykorzystania dwukamerowych systemów wizyjnych do obserwacji próbek poddawanych obciążeniom na maszynie zmęczeniowej. Eksperymentalny system stereowizyjny do badań naprężeń skrętnych i pomiarów pęknięcia został zaprezentowany w publikacjach [5, 6]. W dwóch torach wizyjnych zastosowano szybkie kamery CCD. Konstrukcja nośna kamer zamocowana do słupa maszyny zmęczeniowej umożliwia wybór kilku pozycji kamer w zakresie kątów $16^\circ \div 80^\circ$ pomiędzy osiami optycznymi. Wiodącym komercyjnym rozwiązaniem jest system ARAMIS [9], w którym zastosowano układ dwóch kamer mocowanych na wspólnej belce nośnej, z ręczną regulacją położenia względem obserwowanej próbki.

Na podstawie dostępnych publikacji naukowych można stwierdzić, że opracowane dotychczas nieliczne wielokamerowe systemy wizyjne do monitorowania procesów zmęczeniowych są rozwiązaniami typowo eksperymentalnymi. Nie odnotowano konstrukcji charakteryzujących się strukturą z wyróżnieniem modułów wizyjnych i mechatronicznych modułów umożliwiających precyzyjne pozycjonowanie torów optycznych z pomiarem ich położenia dla każdego stopnia swobody.

W Instytucie Technologii Eksploatacji – PIB w Radomiu opracowano system do monitorowania procesów destrukcji zmęczeniowej materiałów i elementów konstrukcji, w którym zastosowano dwa tory wizyjne. Etap opracowania struktury modułu wizyjnego obejmował m.in. identyfikację zbioru rozwiązań alternatywnych oraz ich analizę w celu wyznaczenia rozwiązania optymalnego.

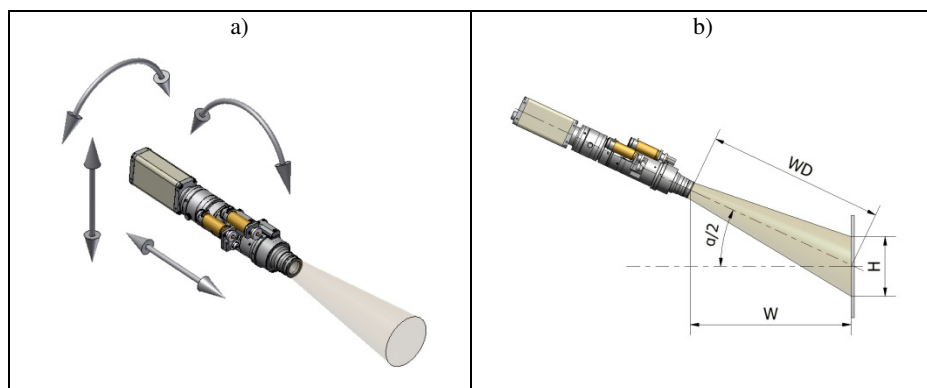
1. Identyfikacja problemu projektowego

Przystępując do opracowania koncepcji struktury systemu obserwacji próbek poddawanych testom na maszynie zmęczeniowej zidentyfikowano podstawowe wymagania techniczne i funkcjonalne. W opracowanym systemie zastosowano układ kamer bazujący na geometrii epipolarnej, który wymaga ogniskowania osi optycznych obu torów wizyjnych w jednym punkcie na obserwowanym obiekcie (rys. 1).



Rys. 1. Epipolarny układ kamer zastosowany w systemie stereowizyjnym

Jednym z głównych celów projektowych było zapewnienie możliwości zastosowań wieloskalowych do pomiarów w skali makro, mezo i mikro. Założenie to w stopniu zasadniczym zdeterminowało strukturę systemu wizyjnego oraz konstrukcję nośną dla obu modułów wizyjnych. Skala pola obserwacji wynika z parametrów zastosowanego obiektywu oraz wielkości sensora kamery. Rozdzielczość optyczną toru wizyjnego wyznacza stosunek wymiaru rzeczywistego pola obserwacji do wielkości sensora kamery w pikselach. Projektując system wizyjny, parametry układu optycznego wyznaczono, stosując znane podstawowe zależności w optyce klasycznej. Ponieważ system pomiarowy został przewidziany do zastosowań w badaniach na maszynie zmęczeniowej, należało w związku z tym uwzględnić wymagania funkcjonalne oraz ograniczenia konstrukcyjne wynikające z założonych warunków pracy systemu. Na rys. 2 przedstawiono model wirtualny modułu wizyjnego. W układzie pozycjonowania przestrzennego każdego modułu przewidziano 4 stopnie swobody, co ma zapewnić swobodę regulacji położenia toru optycznego względem obserwowanej próbki.



Rys. 2. Widok modelu modułu wizyjnego: a) stopnie swobody, b) podstawowe parametry geometryczne

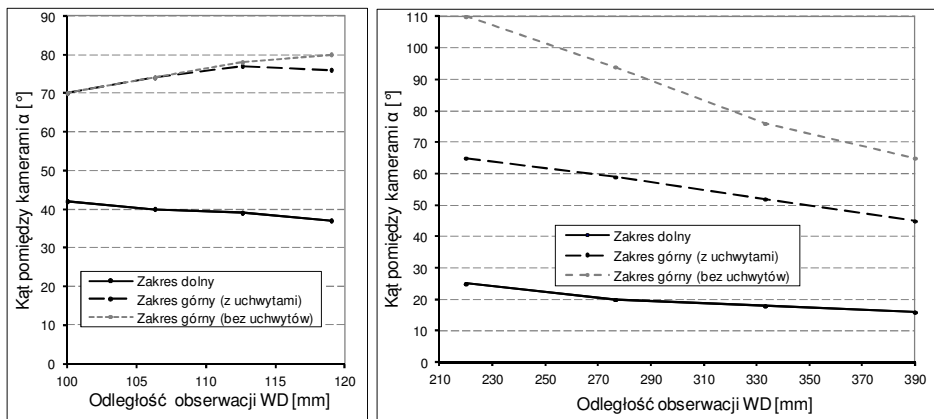
W ramach przeprowadzonej analizy problemu opracowano specyfikację podstawowych parametrów projektowanego systemu stereowizyjnego (tab.1).

Tabela 1. Wybrane parametry systemu stereowizyjnego

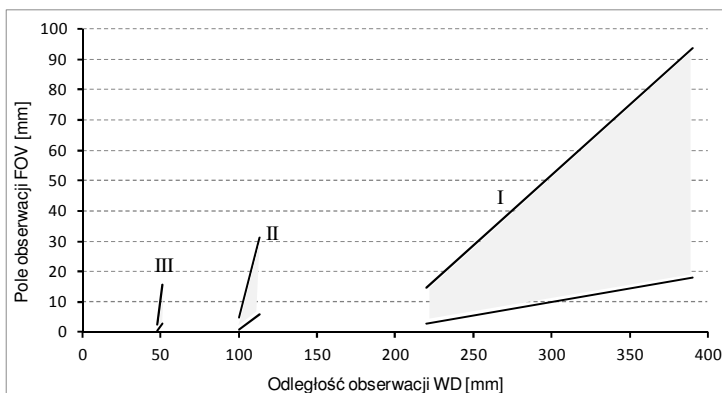
Parametr	Wartość
Odległość widzenia WD	100 mm ÷ 360 mm
Zakres pola obserwacji FOV (wymiar H)	1 mm ÷ 50 mm
Rozdzielczość optyczna maks.	3 μ m
Zakres regulacji kąta pomiędzy kamerami α	16° ÷ 110°
Rozstaw liniowy kamer d	600 mm
Zakres regulacji odległości W	360 mm
Zakres regulacji w osi O-X	100 mm
Zakres regulacji w osi O-Y	100 mm
Zakres regulacji w osi O-Z	50 mm

Opracowano macierz rozwiązań struktury modułu wizyjnego, co stanowiło punkt wyjścia do wytypowania poszczególnych jego komponentów. Jednakże należy podkreślić, że projektowanie struktury modułu wizyjnego jest procesem doboru komponentów: kamery, obiektywu, filtrów, oświetlaczy z ograniczonego zbioru dostępnych na rynku produktów. Wykorzystując zidentyfikowane parametry, wytypowano komponenty spełniające zdefiniowane wymagania. Dla zapewnienia wymaganych rozdzielczości pomiarowych zastosowano kamery CCD z sensorami o wielkości 2448x2050 pikseli. Ze względu na konieczność dostosowania parametrów optycznych obiektywów do skali obserwacji wyty-

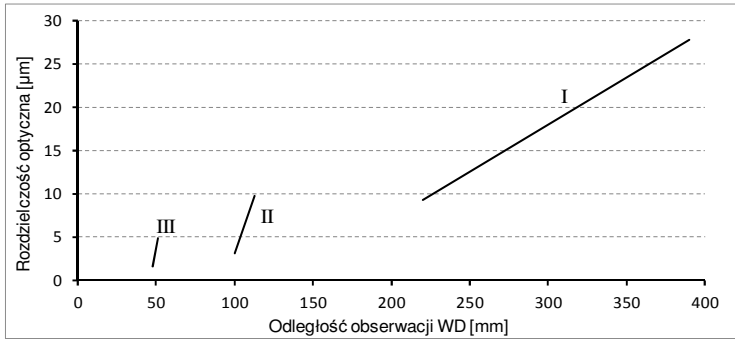
powano obiektywy Zoom6000 firmy Navitar [8] składające się z wymiennych modułów. Przeprowadzono symulację i analizę zależności zakresów roboczych odległości obserwacji WD próbki zamocowanej na maszynie zmęczeniowej od kąta α pomiędzy osiami optycznymi modułów wizyjnych (rys. 3). Uchwyty mocujące próbkę mają znaczący wpływ na górny zakres kątów obserwacji dla większych odległości WD. Uchwyty nie ograniczają natomiast zakresów dolnych regulacji kątów obserwacji. Zastosowane poszczególne konfiguracje obiektywów zapewniają osiągnięcie wymaganych zakresów pomiarowych i rozdzielczości optycznych (rys. 4, 5).



Rys. 3. Zakresy regulacji kąta pomiędzy osiami optycznymi z uwzględnieniem uchwytów mocujących próbki



Rys. 4. Pole obserwacji FOV dla kolejnych konfiguracji obiektywów (I, II, III) w zależności od odległości obserwacji WD

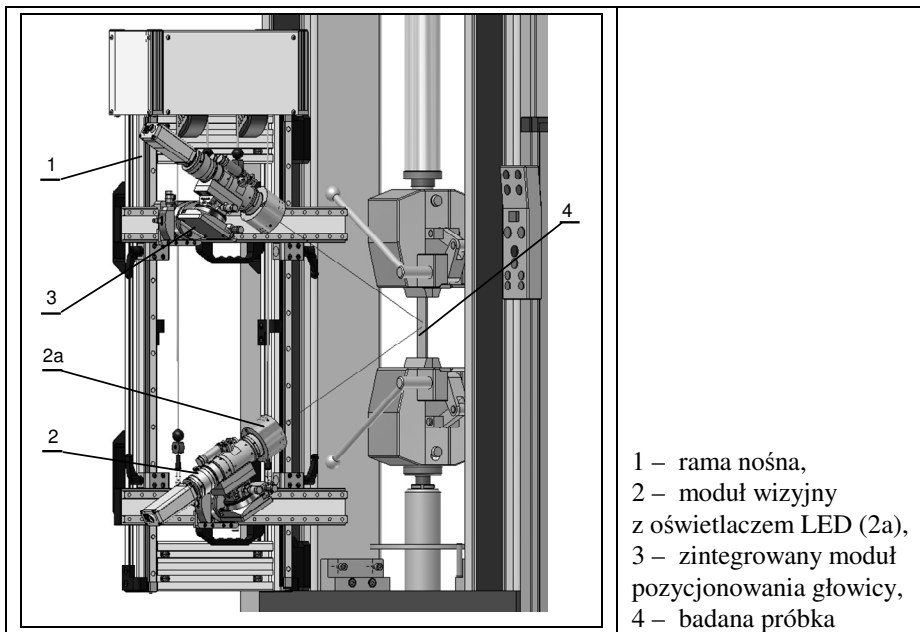


Rys. 5. Rozdzielczość optyczna w zależności od odległości obserwacji WD

Główny moduł obiektywu Zoom6000 jest wyposażony w miniaturowe silniki DC do regulacji powiększenia i ostrości, co umożliwia automatyzację procesu skalowania obrazu i kalibracji.

2. Model wirtualny systemu stereowizyjnego

Wykorzystując wyznaczone parametry struktury systemu stereowizyjnego, zaprojektowano konstrukcję mechaniczną (rys. 6).



Rys. 6. Wirtualny model konstrukcji systemu stereowizyjnego do monitorowania procesów destrukcji materiałów

Ogólna koncepcja konstrukcji przewiduje wykorzystanie profili aluminiowych zapewniających stosunkowo małą masę i dużą sztywność układu. Konstrukcja profilowa ma ważne zalety związane z warunkami pracy, jak tłumienie drgań generowanych w trakcie testów obciążeniowych próbki, które mogą zniekształcać obrazy rejestrowane przez kamery oraz wysoka stabilność wymiarów i kształtu w czasie. Głównym elementem nośnym jest rama mocowana do słupa maszyny do badań zmęczeniowych. Moduły wizyjne są zamocowane na zespołach pozycjonujących o 4 stopnach swobody, co umożliwia swobodne ustalanie położenia kamery względem próbki. Stopnie swobody modułu wizyjnego obejmują: przesuw liniowy wzdłuż osi optycznej, obrót w płaszczyźnie pionowej, obrót w płaszczyźnie poziomej oraz obrót względem osi optycznej.

Podsumowanie

Opracowana metoda pomiarowa polega na wykorzystaniu jednego lub dwóch układów wizyjnych do obserwacji mikro- i makroskopowej powierzchni próbki w celu wykrycia pęknięcia zmęczeniowego i śledzenia jego propagacji. Układ wykorzystujący dwa tory wizyjne pozwala na uzyskanie pełniejszej informacji o pęknięciu. Modułowa struktura systemu stereowizyjnego umożliwia rekonfigurację i adaptację do różnych skal obserwacji procesu zmęczeniowego na powierzchni próbki. Modyfikacja może obejmować zmianę elementów wchodzących w skład modułu wizyjnego: kamery, obiektywu lub oświetlacza. Projektowanie struktury modułu wizyjnego polega na wyborze rozwiązania optymalnego ze zbioru alternatywnych konfiguracji. System pomiarowy z wykorzystaniem opracowanej metody umożliwia monitorowanie procesów zmęczeniowych z maksymalną rozdzielczością optyczną około 3 μm . System mechaniczny umożliwia pozycjonowanie kamery w dużym zakresie przemieszczeń z dokładnością, zależną od konfiguracji systemu. Zaprezentowany system mechatroniczny jest systemem elastycznym o strukturze otwartej.

Dalszy rozwój systemu może obejmować automatyzację funkcji pozycjonowania modułów wizyjnych względem próbki na etapie kalibracji, jak również w trakcie monitorowania procesu zmęczeniowego.

Praca naukowa wykonana w ramach realizacji Programu Strategicznego pn. „Innowacyjne systemy wspomagania technicznego zrównoważonego rozwoju gospodarki” w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka.

Bibliografia

1. Boroński D.: Metody badań odkształceń i naprężeń w zmęczeniu materiałów i konstrukcji. Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, Radom 2007.

2. Boroński D., Giesko T.: Metody monitorowania i pomiarów pęknięcia zmęczeniowego obiektów technicznych. *Problemy Eksploatacji* 4/2005, s. 117–127.
3. Giesko T., Boroński D., Zbrowski A., Czajka P.: Detection and measurement of fatigue cracks in solid rocket propellants. *Problemy Eksploatacji* 3/2009, pp. 75–85.
4. Hügli H., Mure-Dubois J.: 3D vision methods and selected experiences in micro and macro applications. *Two and Three Dimensional Methods for Inspection and Metrology IV (proc. SPIE)*, vol. 6382, Issue 10, 2006, p. 209–216.
5. Sharpe W.N. (ed.): *Springer Handbook of Experimental Solid Mechanics*. Springer, 2008, pp. 589–597.
6. Yan J.H., Sutton M.A., Deng X., Wei Z.: Mixed-mode crack growth in ductile thin-sheet materials under combined in-plane and out-of-plane loading. *Int J Fract* DOI 10.1007/s10704-009-9420-x. Springer, 2009.
7. Zbrowski A., Samborski T., Giesko T., Boroński D., Michniewicz T.: System pomiarowy do monitorowania pęknięcia połączeń montażowych stosowanych w przemyśle lotniczym. *Technologia i Automatykacja Montażu* 3/2010.
8. www.navitar.com
9. www.trillion.com

Recenzent:

Waldemar MINKINA

Structure of the stereovision system for fracture tests

Key words

Fatigue tests, opto-mechatronic system, stereovision.

Summary

Integration of opto-electronic, mechanical and electronic modules allows to develop advanced mechatronic measurement systems. In the paper, the structure of stereovision system equipped with dual-camera vision module for fatigue process monitoring was presented. The basic design aspects were described, that concern the identification of optical parameters of cameras and lenses, and the selection of structure concept. The model structure dedicated to co-operate with fatigue machine was presented.