

XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2022

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

Wybrane problemy badania materiałów i konstrukcji z zastosowaniem metod optycznych i cyfrowej korelacji obrazu

Wiesław Krason¹, Paweł Bogusz¹, Kamil Pazur²

¹Institut Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej, Wojskowa Akademia Techniczna

²Institut Lotnictwa, Sieć Badawcza Łukasiewicz

email: wieslaw.krason@wat.edu.pl, pawel.bogusz@wat.edu.pl, kamil.pazur@wat.edu.pl

STRESZCZENIE: Do badań wytrzymałości materiałów i konstrukcji wykorzystuje się powszechnie zestawy szybkich kamer oraz system ARAMIS do badań optycznych metodą Cyfrowej Korelacji Obrazu. Zestawy takie mogą być używane zarówno do laboratoryjnych prób stanowiskowych, jak również do badań mobilnych w zakresie quasistatyki, jak również do badań wycięcia przy obciążeniach szybkościennych. W niniejszej pracy przedstawiono i omówiono wybrane problemy stanowiskowych badań wytrzymałości materiałów na przykładzie próbek kompozytowych i poligonowe badania wytrzymałości kompletnej konstrukcji na przykładzie mostów wojskowych oraz ekstremalnie wyciężonych podzespołów innowacyjnych konstrukcji kolejowych. Testy eksperymentalne posłużyły do weryfikacji modeli numerycznych. Zwrócono szczególną uwagę na zastosowaniu metod optycznych z elementami podejścia CKO

SŁOWA KLUCZOWE: wytrzymałość materiałów, badania stanowiskowe, metody optyczne, CKO, weryfikacje numeryczne MES

1. Wstęp

W IMiO WAT od szeregu lat realizowane są badania numeryczne, testy laboratoryjne i poligonowe wytrzymałości materiałów i konstrukcji inżynierskich, w tym także rozwiązań innowacyjnych [1] oraz mobilne badania wytrzymałości konstrukcji [2] z zastosowaniem np. tensometrii elektrozestancyjnej, czujników przemieszczeń, przyspieszeń oraz badania z zastosowaniem metod optycznych.

Oprócz laboratoryjnej bazy maszyn wytrzymałościowych do badań stanowiskowych wytrzymałości materiałów i konstrukcji, wykorzystuje się także zestawy szybkich kamer, kamery termiczne oraz system ARAMIS do badań optycznych wraz z oprogramowaniem CKO – cyfrowej korelacji obrazu. Zestawy takie mogą być wykorzystywane zarówno do zabezpieczenia prób stanowiskowych i poligonowych w zakresie quasistatyki i analizy zjawisk wolnozmiennych [3], jak również do badań szybkościennych w czasie [4].

Podstawowymi elementami systemu cyfrowej korelacji obrazu są co najmniej dwie kamery oraz komputer z oprogramowaniem. System umożliwia bezkontaktowy pomiar przemieszczeń i odkształceń poprzez korelację obrazów cyfrowych badanego obiektu zarejestrowanych podczas jego odkształcania się i/lub przemieszczania ze stanem obiektu nieobciążonego. Zestaw taki pozwala na rejestrację obrazów trójwymiarowych, ich analizę, wizualizację uzyskanych wyników oraz eksport danych [5].

W niniejszej pracy przedstawiono wybrane problemy stanowiskowych badań wytrzymałości materiałów na przykładzie próbek kompozytowych i poligonowe badania wytrzymałości kompletnej konstrukcji na przykładzie mostów wojskowych oraz ekstremalnie wyciężonych

podzespołów innowacyjnych konstrukcji kolejowych z elementami weryfikacji testów numerycznych i zwróceniem szczególnej uwagi na zastosowaniu metod optycznych z elementami podejścia CKO.

2. Metoda badań optycznych wytrzymałości

Cyfrowa Korelacja Obrazu (CKO) jest metodą bezkontaktową pozwalającą na nieinwazyjny pomiar odkształceń oraz przemieszczeń powierzchni badanych elementów. Pomiar metodą CKO polega na wykonaniu zdjęcia badanego obiektu przed jego obciążeniem oraz zarejestrowaniu serii zdjęć po obciążeniu obiektu. Jeden z obrazów wybierany jest jako referencyjny (najczęściej ten wykonany przed zadaniem obciążenia). Na obraz ten nakładana jest wirtualna, regularna siatka regionów. Dzięki losowemu wzorowi plam naniesionemu przed badaniem na powierzchnię badanego obiektu, możliwe jest rejestrowanie i analizowanie zmiany kształtu i położenia poszczególnych regionów w trakcie obciążania obiektu elementu badanego. Każdy z regionów charakteryzuje się unikalnym histogramem kolorów (szarości w przypadku kamer czarno-białych), który jest rozpoznawany na kolejnych sekwencjach zarejestrowanego materiału. Następnie obliczane są wektory przemieszczeń i deformacji tych regionów, a na ich podstawie wyznaczane są wartości odkształceń i deformacji całego obiektu [5].

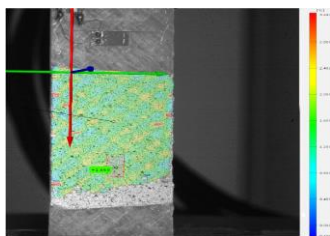
Metoda optyczna ma szereg zalet względem metody wykorzystującej tensometrię oporową, jednak na otrzymane wyniki wpływ ma wiele parametrów pomiaru oraz geometria układu pomiarowego. Ze względu na problem z określeniem niepewności pomiarowych dla wszystkich czynników mających wpływ na pomiar oraz ograniczoną precyzją pomiaru w zakresie sprężystym, metoda pozostaje

nadal jedynie narzędziem inżynierskim i zazwyczaj stosowana jest w parze z inną metodą, najczęściej tensometrią oporową.

Dostępnych jest wiele publikacji, w tym np. praca [6], skupiających się na badaniu właściwości rozciągania różnych materiałów wykorzystując metodę Cyfrowej Korelacji Obrazu (CKO). W pracy [7] przedstawiono metodę wyznaczania stałych materiałowych z wykorzystaniem metody CKO, metody elementów skończonych oraz algorytmu Gaussa-Newtona do optymalizacji wyników. Podejmowane są także próby wykorzystania metody CKO do badania wyężenia elementów obrotowych. Autorzy skupiają się w nich obecnie na badaniu ugięć łopat modeli śmigłowców [8] oraz modelu śruby okrętowej.

3. Badania materiału kompozytowego z zastosowaniem metody optycznej CKO

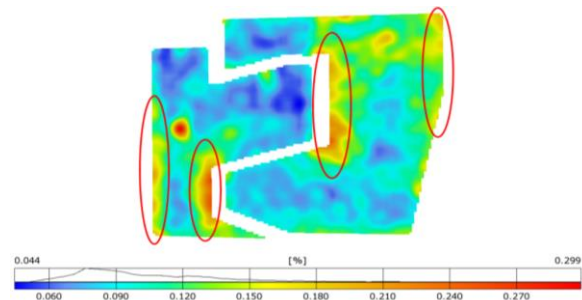
Badania stanowiskowe obejmowały testy ścinania realizowane poprzez rozciąganie czterech próbek z kompozytu Glass Fiber Reinforced Plastic (GFRP). Kompozyt wykonano z tkaniny szklanej oraz żywicy winyloestrowej. W środku części pomiarowej próbek naklejone zostały po dwa tensometry elektrozestancyjne firmy Vishay. Użyto tensometrów liniowych o oporności 120 Ω , które naklejono wzdłuż oraz w poprzek osi próbki, w układzie T (rys. 1). W części próbki (na rys. 1 poniżej tensometrów) naniesiony został wzór stochastyczny przeznaczony do pomiarów metodą CKO. Wykonano pomiary odkształceń w celu wyznaczenia danych materiałowych. Porównano wyniki odkształceń liniowych mierzonych metodą optyczną i CKO z wynikami pomiarów tensometrycznych próbek.



Rys. 1. Uśrednione pole odkształceń wzdłużnych (oś x) w próbce kompozytowej w programie GOM Correlate

4. Badania elementów innowacyjnych złączy wykonanych ze stali konstrukcyjnych

W pracach numeryczno-eksperymentalnych [1-4] opisano testy zginania trzpieniowego złącza głównego mostu pływającego, wykonanego ze stali konstrukcyjnej 18G2A, które przeprowadzono na specjalnie zbudowanych stanowiskach wykorzystujących standardowe maszyny wytrzymałościowe. Wykonano także próby quasistatycznego ściskania i rozciągania elementów złącza kolejowego prototypowego wagonu, które wykonano ze stali konstrukcyjnej 40H o podwyższonej wytrzymałości, dodatkowo ulepszonej cieplnie. W badaniach wykorzystany został optyczny system pomiaru deformacji odkształceń Aramis firmy GOM, dzięki któremu określone zostały odkształcenia i deformacje występujące w elementach złącza, a także pole minimalnych i maksymalnych odkształceń głównych – rys. 2.



Rys. 2. Mapy odkształceń wyznaczone eksperymentalnie w elementach stalowego złącza kolejowego rozciągane siłą 200kN, z zaznaczonymi miejscami występowania największych odkształceń

5. Podsumowanie

Początkowo metody optyczne z CKO były wykorzystywane tylko do statycznych badań wytrzymałościowych. Rozwój kamer szybkich pozwolił jednak na zastosowanie tej metody przy badaniach dynamicznych. Prędkości nagrywania (nawet rzędu miliona klatek na sekundę), czasy migawek sensorów CMOS oraz wysokie rozdzielczości (12 milionów pikseli) współczesnych cyfrowych kamer szybkich pozwalają na pomiary zjawisk szybko zmiennych takich jak testy zderzeniowe, z wysoką precyzją.

Zbieżność wyników opisujących wyężenie różnych materiałów w zakresie testów quasi statycznych zostanie wykazana w niniejszym opracowaniu. Podejmowane są także próby wykorzystania metody CKO do badania wirujących elementów maszyn obrotowych i opisu ich wyężenia w czasie rzeczywistym, jako stanowiskowe bezkontaktowe testy wytrzymałościowe.

Praca została wykonana w ramach projektu UGB 22-770/WAT/2022.

Literatura

- [1] Stankiewicz M., Krasoń W., *Strength testing of side connector of railway wagon for semitrailers transport*, Journal of KONES 2016, Vol.23, No.2, pp. 349-356, 2016.
- [2] Krasoń W., *Analiza wytrzymałości prototypowego wieloczołowego systemu pływającego z luzami konstrukcyjnymi*, monografia, Wojskowa Akademia Techniczna, str. 291, ISBN 978-83-7938-237-8, Warszawa, 2019.
- [3] Krasoń W., Bogusz P., *Strain research of side joints of floating bridge in lab bending test*, Experimental Mechanics of Solids Materials Research Proceedings 12, DOI: //doi.org/10.21741/9781644900215-14, pp. 96-103, 2019.
- [4] Krasoń W., Wysocki J., Hryciów Z., *Dynamics stand tests and numerical research of multi-leaf springs with regard to clearances and friction*, Advances in Mechanical Engineering: AME-18-1261.R1, 2019.
- [5] Brian P. Kelly, and other, *Use of digital imaging correlation techniques for full-field strain distribution analysis of implantable devices and tissue in spinal biomechanics research*, Journal of biomechanics, DOI: 10.1016/j.jbiomech.2022.111025, 2022.
- [6] Guillermo V., et al., *Determining the tensile response of materials at high temperature using DIC and the Virtual Fields Method*. Optics and Lasers in Engineering, Volume 91, pp. 53-61, April 2017.
- [7] Kowalczyk P., *Identification of mechanical parameters of composites in tensile tests using mixed numerical-experimental method*. Measurement, Volume 135, pp. 131-138, March 2019.
- [8] Pedro J. Sousa and other, *Digital image correlation displacement measurement of a rotating RC helicopter blade*. Engineering Failure Analysis 90, DOI:10.1016/j.engfailanal.2018.04.00512, April 2018.