

SYMPOZJON "MODELOWANIE W MECHANICE"

POLSKIE TOWARZYSTWO MECHANIKI TEORETYCZNEJ I STOSOWANEJ

Beskid Śląski, 1990

Maria Koteńko, Władysław Walczak

Politechnika Łódzka

PORÓWNAWCZE BADANIA MODELI ELEMENTU SPRĘŻYSTEGO
CZUJNIKÓW TENSOMETRYCZNYCH DO POMIARU SIŁY

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki porównawczych badań, dotyczących elementów sprężystych tensometrycznych czujników do pomiaru siły. Przeprowadzono obliczenia numeryczne tych elementów przy zastosowaniu metody elementów skończonych (MES), a także elastooptyczne badania modelowe. Otrzymane wyniki obliczeń numerycznych i badań doświadczalnych porównano z wynikami pomiarów przeprowadzonych na specjalnie wykonanej serii czujników.

1. Wprowadzenie

Elementy sprężyste czujników tensometrycznych do pomiaru siły w zakresie od 0,5 do 10 [kN] wykonywane są najczęściej w postaci, zbliżonej do pierścienia kołowego o stałym lub zmiennym przekroju [3]. Ponieważ muszą one tworzyć wraz z uchwytaami, służącymi do przejmowania mierzonych sił, jedną nierozdzielną całość - mają one skomplikowany kształt, co stwarza znaczne trudności technologiczne prawidłowego ich wykonania z żadaną dokładnością i tym samym zapewnienia czujnikom przewidywanych parametrów metrologicznych. Z drugiej zaś strony uniemożliwia przeprowadzenie analitycznych obliczeń składowych stanu naprężenia i odkształcenia projektowanego elementu sprężystego czujnika z zadowalającą dokładnością.

Stosowana szeroko w procesie projektowania takich czujników metoda elementów skończonych (MES) pozwala wprawdzie na osiągnięcie znacznie większej dokładności obliczeń, jednakże otrzymywane wyniki są również obarczone pewnym błędem. Z tego też względu pełna analiza stanu naprężenia i odkształcenia elementu sprężystego

czujnika - przy projektowaniu jego prototypu - wymaga przeprowadzenia wstępnych badań eksperymentalnych.

2. Obiekt i cel badań

Szkic tensometrycznego czujnika siły, będącego przedmiotem badań, podano na rys. 1.

W celu zminimalizowania błędów charakterystyki pomiarowej czujnika konieczne jest, aby element sprężysty (1) czujnika wykonany był jako jedna całość z płytami kołowymi (2) oraz cylindrycznymi końcówkami (4), zawierającymi gniazda uchwyty mocujących. Przy tych warunkach, wykonanie elementu sprężystego w postaci pierścienia kołowego o stałej, względnie monotonicznie zmiennej grubości jest bardzo trudne i kosztowne.

Z tego względu, element sprężysty czujnika zaprojektowano w postaci jedynie zbliżonej do postaci pierścienia kołowego. Przyjęto mianowicie, że obrys zewnętrzny elementu sprężystego (1) czujnika ma kształt wielokąta CD...IJ - w pierwszym oraz prostokąta KLMN - w drugim wariantcie.

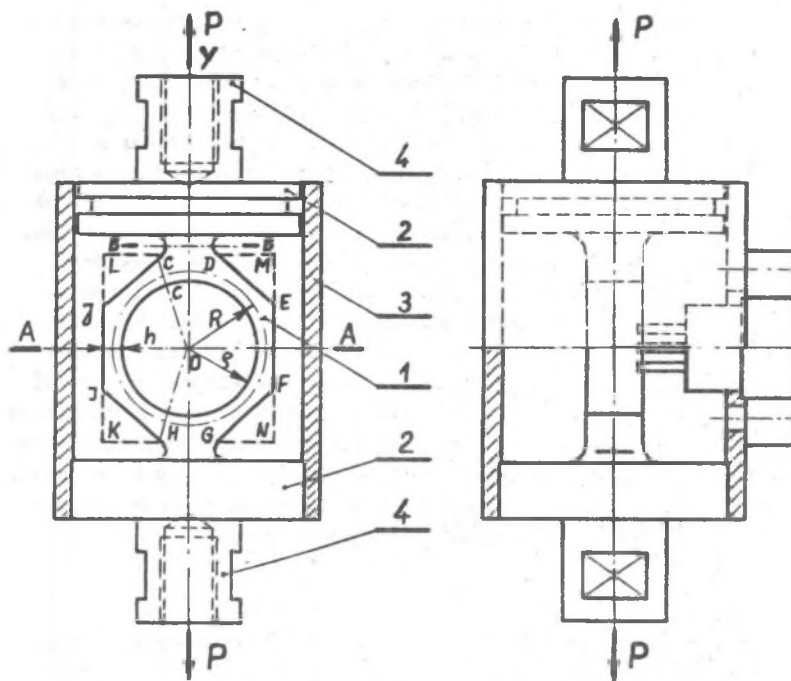
Obliczenia elementów typu pierścieniowego - stosowanych w czujnikach do pomiaru sił o średnich zakresach - prowadzone są na ogół w oparciu o znane wzory, wynikające z liniowej teorii zginania prętów zakrzywionych [1], [2]. Wyniki tych obliczeń obciążone są jednakże dużym błędem, którego wartość wzrasta szybko wraz ze zmniejszaniem się wartości stosunku R/h , gdzie R jest promieniem, zaś h - grubością pierścienia.

Model obliczeniowy elementu sprężystego, przyjmowany w postaci pierścienia kołowego, różni się w istotny sposób od przyjętego kształtu tego elementu, pokazanego na rys. 1. W tym więc przypadku przyjęcie modelu obliczeniowego w postaci pierścienia kołowego o stałym przekroju jest zbyt daleko idącym uproszczeniem w odniesieniu do pierwszego z przyjętych wariantów zewnętrznego obrysu elementu sprężystego czujnika, a zupełnie nie mające zastosowania w przypadku wariantu drugiego.

W Ośrodku Aparatury Naukowej Politechniki Łódzkiej prowadzone są m.in. prace badawcze związane z opracowaniem prototypowego typoszeregu czujników do pomiaru siły o górnej granicy zakresu pomiarowego od 1 do 10 [kN]. Celem tych prac była ocena wpływu postaci konstrukcyjnej elementu sprężystego czujnika - szczególnie zaś wartości stosunku R/h i kształtu obrysu zewnętrznego pierścienia - na stan odkształcenia i naprężenia elementu sprężystego oraz para-

metry metrologiczne czujnika. Badania obejmowały:

- teoretyczną analizę stanu naprężenia i odkształcenia elementu sprężystego przy zastosowaniu metody elementów skończonych (MES),
- przeprowadzenie weryfikacyjnych badań doświadczalnych na modelach tego elementu przy zastosowaniu metody elastoptycznej,
- przeprowadzenie porównawczych pomiarów na specjalnie wykonanej, prototypowej serii czujników.

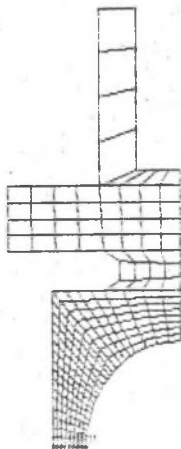


Rys.1. Tensometryczny czujnik siły: 1 - element sprężysty; 2 - płyty kołowe; 3 - obudowa czujnika; 4 - uchwyt.

3. Analiza MES

Analizę stanu naprężenia i odkształcenia elementu sprężystego czujnika przy zastosowaniu MES przeprowadzono dla dwóch wariantów postaci konstrukcyjnej tego elementu, tj. dla obrysu zewnętrznego pierścienia w postaci ośmiokąta CD...IJ w pierwszym, zaś czworokąta KLMN - w drugim wariantcie obliczeń. Zmieniano także szerokość h poziomego przekroju pierścienia, przyjmując - dla

każdego z powyższych wariantów - kilka różnych wartości promienia ξ , przy zachowaniu stałej wartości jego wymiaru b (rys.1). Uwzględniając podwójną symetrię kształtu rozpatrywanego elementu sprężystego - zarówno w pierwszym, jak i w drugim wariancie jego obrysu zewnętrznego - do rozważań przyjęto 1/4 tego elementu.



Rys.2. Siatka elementów skończonych dla drugiego wariantu obliczeniowego.

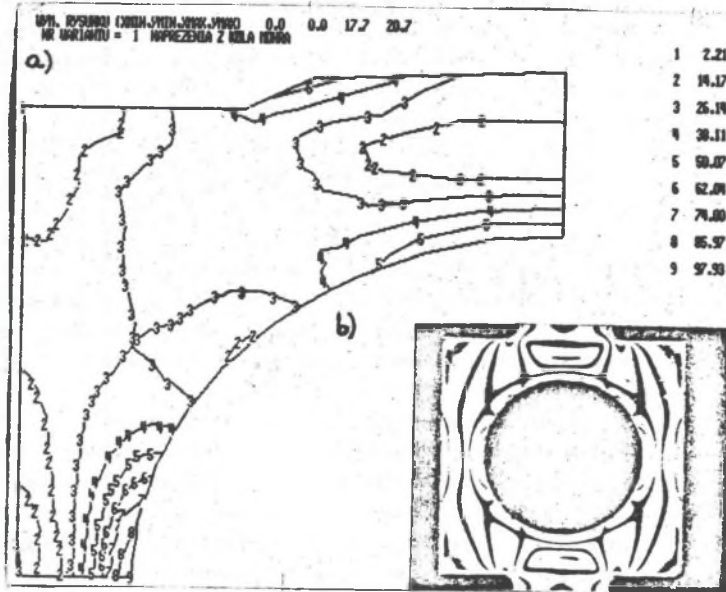
Zastosowano podział na elementy skończone prostokątne oraz przyjęto następujące warunki brzegowe: brak pionowych przemieszczeń punktów węzłowych siatki w przekroju poziomym A-O oraz brak poziomych przemieszczeń punktów węzłowych siatki w przekroju Y-O (rys.1). Do obliczeń wykorzystano pakiet programów systemu WAT/KM. Przykładowy podział na elementy skończone dla jednego z wariantów obliczeniowych pokazano na rys. 2. Na rys. 3a pokazano powiększony fragment mapy izolinii różnicy naprężeń głównych, otrzymany dla drugiego wariantu obliczeniowego, dla stosunku $R/h = 4,2$ - przy obciążeniu $P = 3$ [kN].

W wyniku obliczeń otrzymywano również podobne układy izolinii wszystkich składowych stanu naprężenia i odkształcenia, naprężeń zredukowanych oraz przemieszczeń węzłów siatki.

4. Elastoptyczne badania modelowe i pomiary na obiektach rzeczywistych

Elastoptyczne badania modelowe elementu sprężystego przeprowadzono na 4 modelach, różniących się między sobą obrysem zewnętrznym pierścienia oraz stosunkiem wymiarów ξ/h . Wszystkie modele wykonano z żywicy epoksydowej epidian 2. Badania modeli przeprowadzono w świetle przechodzącym. W punktowych pomiarach ułamkowych rzędów izochrom zastosowano kompensacyjną metodę Tardy'ego. Dla rozdzielenia składowych stanu naprężenia badanych modeli zastosowano metodę różnic naprężeń stycznych. Na rys. 3b pokazano

przykładowy obraz izochrom dla modelu z czworokątnym obrysem zewnętrzny pierścienia.



Rys. 3. Obraz izolinii różnicy naprężeń głównych: a) - wyniki obliczeń MES; b) - obraz izochrom w modelu elastostycznym.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń numerycznych i badań elastostycznych określono - dla każdego z rozpatrzonych wariantów kształtu elementu sprężystego - obszary największej koncentracji naprężeń, a także wartości maksymalnych naprężeń zredukowanych. Ustalono również obszary największej koncentracji odkształceń, szczególnie wartości odkształceń $\varepsilon_1 \div \varepsilon_4$ w przekroju pomiarowym A - A - w punktach 1 - 4. Wyniki tych badań porównano z wynikami pomiarów dokonanych na serii próbnej czujników. Pomiaru te obejmowały: wyznaczenie zużołości czujników [1], określonej zależnością:

$$\frac{\Delta U}{U_z} = \frac{K}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4), \quad (1)$$

a także badania wytrzymałościowe czujników, prowadzone aż do ich zniszczenia.

5. Wnioski

W wyniku przeprowadzonej analizy numerycznej MES oraz badań elastoptycznych stwierdzono, że maksymalne odkształcenie występuje w przekroju A-A pierścienia, tj. w miejscu dogodnym do instalowania tensometrów - niezależnie od stosunku R/h i kształtu zewnętrznego obrysu pierścienia.

Obszar największej koncentracji naprężeń przemieszcza się ze wzrostem stosunku R/h z przekroju B-B dla $R/h = 2,33$ do przekroju pomiarowego A-A dla $R/h = 4$ i wreszcie do przekroju C-C dla $R/h = 9$. Ten ostatni przypadek odpowiada modelowi obliczeniowemu, w którym pierścień traktuje się jako utwierdzony w tym przekroju [2].

Czułość pierścieniowego elementu sprężystego o obrysie zewnętrzny w kształcie ośmiokąta CD...IJ jest o około 19% większa od czułości takiego samego elementu o obrysie prostokąta KLMN - przy tym samym stosunku R/h .

Czułości czujników rzeczywistych były od 10% do 26% wyższe od czułości teoretycznych, wyznaczonych na podstawie obliczeń MES. Rozbieżność ta potwierdza konieczność weryfikacji doświadczalnej obliczeń MES, obarczonych w każdym przypadku pewnym błędem, trudnym do oszacowania - nawet przy odpowiednio zaprojektowanej i dostatecznie gęstej siatce elementów skończonych.

LITERATURA

- [1] Styburski W.: "Przetworniki tensometryczne, konstrukcja, projektowanie, użytkowanie". Wyd. Nauk.-Techn., Warszawa, 1976.
- [2] Malikov G.F., Szejderman A.L., Szulemowicz A.M.: "Rasčety uprugich tenzometričeskich elementov". Izdat. "Mašinstrojenie", Moskwa, 1964.
- [3] Biuletyn informacyjny f-my Hottinger Baldwin Messtechnik, G. 21.03.1: Einbau von Wägezellen.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ МОДЕЛЕЙ УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА
ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ СЛУЖАЩИХ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
СИЛЫ

Резюме

В работе представлены результаты сравнительных испытаний упругих элементов тензометрических датчиков служащих для измерения силы. Произведены числовые расчеты этих элементов с применением метода конечных элементов (МКЭ), а также эласто-оптические модельные исследования.

Полученные результаты числовых расчетов и экспериментальных исследований сравнивались с результатами измерений, произведенных со специально выполненной серией датчиков.

COMPARATIVE INVESTIGATIONS OF MODELS OF LOAD CELL ELASTIC ELEMENT

Summary

The results of comparative investigations of elastic elements of strain-gauge load cells have been presented. Theoretical calculations using the finite elements method as well as photoelastic model investigations on adequate models have been carried out. Results of numerical calculations and experimental investigations have been compared with results of measurements carried out on special made load cells.