

PEWNE ASPEKTY ELASTOOPTYCZNYCH BADAŃ ODKSZTAŁCEN PLASTYCZNYCH W KONSTRUKCJACH STAŁOWYCH

JERZY LIETZ

IPPT PAN

BOGDAN MICHAŁSKI

IPPT PAN

W niniejszej pracy autorzy pragną zwrócić uwagę na pewne zjawiska występujące w procesie powstawania odkształceń plastycznych w elementach konstrukcji stalowych, z którymi spotkali się prowadząc badania na spawanych belkach dwuteowych i węzłach kratownic z wykorzystaniem metody warstwy elastooptycznej. Obserwując pole izochrom na powierzchni blach stalowych z nałożoną warstwą optycznie czułą stwierdzono, że proces rozwoju stref odkształceń plastycznych nie przebiega w sposób ciągły, a przejawia się nagłym występowaniem wąskich wydłużonych stref znacznych odkształceń trwałych, widocznych bardzo dobrze na obrazie izochrom. Strefy te z reguły układają się w postaci linii równoległych krzyżujących się pod kątem prostym z drugą rodziną analogicznych stref. Powstaje w ten sposób w pewnych obszarach ortogonalna siatka linii rozwiniętych odkształceń trwałych.

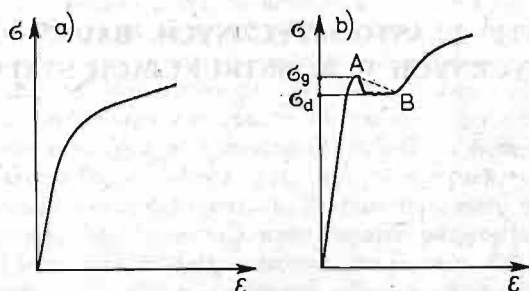
W dostępnych autorom publikacjach jedynie ZANDMAN [1] zamieszcza bez komentarza przykładowe zdjęcie obrazu izochrom na konstrukcji stalowej otrzymane metodą „Photostress”, na którym widać podobne zjawisko.

Warto tutaj podkreślić, że metoda elastooptyczna nadaje się szczególnie dobrze do śledzenia tego rodzaju procesów uplastycznienia, ponieważ dostarcza ona informacji o polu odkształceń na całej badanej powierzchni. Metody pomiarów punktowych (np. tensometryczne) mogą w tym wypadku dawać wyniki przypadkowe wykazujące duży rozrzut.

Elastooptyczne badania odkształceń plastycznych elementów metalowych były w ciągu ostatnich lat tematem wielu prac [2], [3]. Obszerną bibliografię tych badań podaje KAPKOWSKI [4]. Tematyka ta była również omawiana w wydanych ostatnio podstawowych monografiach metod elastooptycznych [5] i [6].

Z przeglądu tych publikacji wynika, że badania odkształceń plastycznych wykonywane były dotychczas przeważnie na takich metalach, jak aluminium, miedź, ołów lub ich stopy. Wszystkie one charakteryzują się monotonicznym wzrostem krzywej naprężenie-odkształcenie (rys. 1a), w wyniku czego narastanie odkształceń i propagacja sfer uplastycznienia

przebiegają w nich płynnie. Takie wyniki eksperymentalne można łatwo konfrontować z obliczeniami teorii plastyczności i plastycznego płynięcia, co jest znacznie trudniejsze przy badaniach na elementach stalowych, w których proces deformacji jest bardziej złożony, jak to przedstawiono na wstępie.



Rys. 1. Wykresy $\sigma - \epsilon$ odkształcania metali a) charakterystyka monotoniczna b) charakterystyka niestateczna

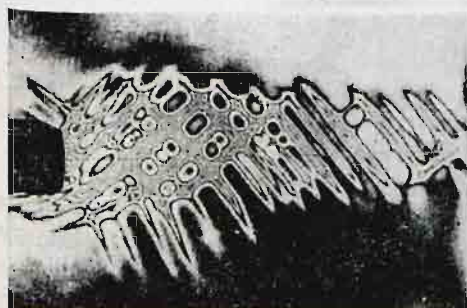
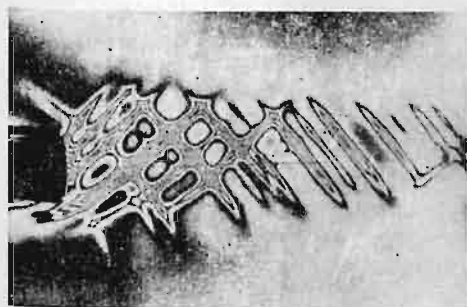
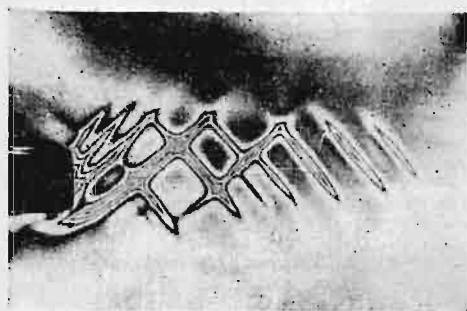
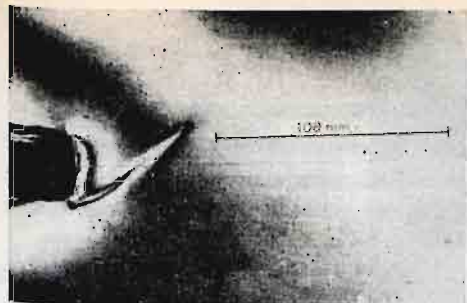
Wyjaśnienie przyczyn opisanego zjawiska upatrywać można w fakcie istnienia górnej σ_g i dolnej σ_d granicy plastyczności na wykresie krzywych odkształcania stali (rys. 2b). W chwili, gdy stan naprężenia w ośrodku osiągnie wyężenie odpowiadające σ_g , materiał przechodzi na opadający (niestateczny) odcinek charakterystyki, co spowodować musi lokalny znaczny wzrost odkształceń przy malejących naprężeniach. Jeśli w konstrukcji ponadto skumulowana jest znaczna ilość energii sprężystej, lokalny wzrost odkształceń może mieć charakter nagłego przeskoku od punktu A do B na wykresie (rys. 1), gdyż energia ta oddawana jest w miejscu powstania lokalnej niestateczności.

Zjawiska takie autorzy obserwowali np na środniku dwuteowej blachownicy ze stali 18G2A o wysokości 900 mm poddanej czystemu zginaniu.

Blachownica ta składa się z dwóch części połączonych doczołowo na śruby sprężające. Na rys. 2 widoczne są obrazy izochrom w kolejnych stadiach wzrastających odkształceń w rozciągającym pasie blachownicy w pobliżu miejsca połączenia doczołowego. Rys. 3 przedstawia wysoko zaawansowany stan odkształcania tej samej strefy blachownicy na granicy zniszczenia. Wystąpiły tu nawet widoczne na zdjęciu lokalne pęknięcia warstwy elastoptycznej. Na rys. 4 uwidoczniono stan odkształcania blachy węzła kratownicy ze stali St3S w fazie jego zniszczenia z zaznaczeniem kierunku działającej na nią siły.

Analiza zamieszczonych zdjęć wykazuje pewne wspólne charakterystyczne cechy pola odkształceń. Wzajemnie prostopadłe strefy dużych odkształceń zorientowane są pod kątem 45° do kierunku przyłożonych obciążeń. Kierunki odkształceń głównych w obrębie stref tworzą kąt 45° z liniami przebiegu stref odkształceń. Stwierdzono to, badając pole izoklin w obrębie strefy.

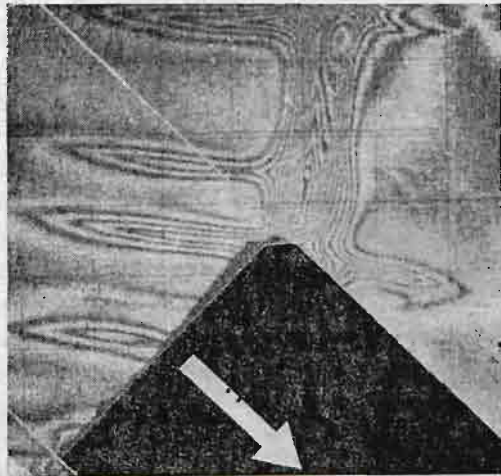
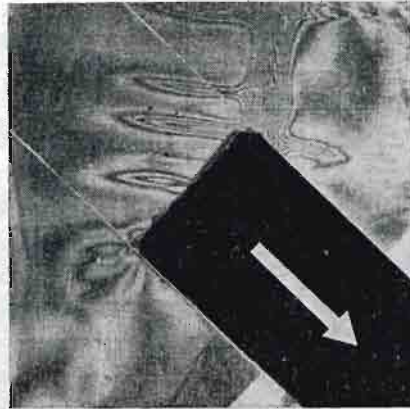
Pozwala to wnioskować, że wspomniane strefy odkształceń układają się w kierunkach maksymalnych naprężeń stycznych. Na podstawie znajomości granicy plastyczności użytych stali i własności warstwy optycznej określono w przybliżeniu rząd izochromy odpowiadający granicy strefy uplastycznienia równy 2,7. Na jednym ze zdjęć (rys. 2) zaznaczono izochromę rzędu 2, okalającą strefy uplastycznienia.



Rys. 2. Kolejne stadia rozwoju odkształceń plastycznych w rozciągającym pasie blachownicy



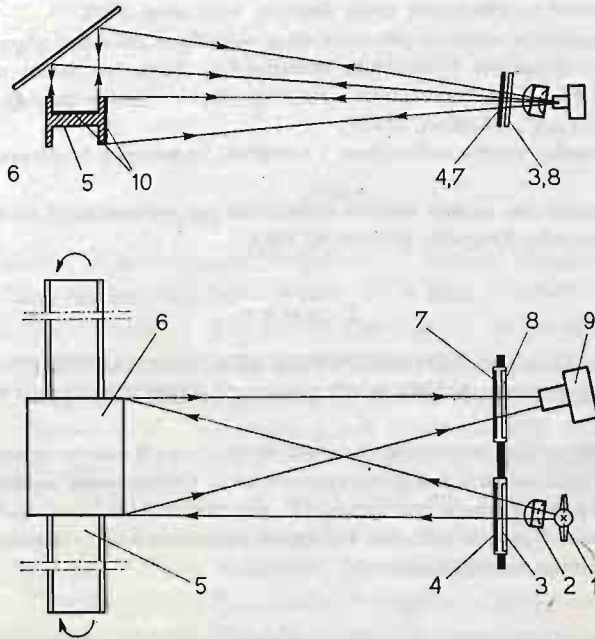
Rys. 3. Wysokozaawansowany stan odkształceń plastycznych w blachownicy z rys. 2.



Rys. 4. Stan odkształceń plastycznych w blasze węzłowej a) całość b) powiększony fragment (bok kwadratu siatki — 10 mm)

Z analizy przedstawionych obrazów izochrom uzyskać można pewne informacje ilościowe o polu odkształceń plastycznych. Metodę obliczania różnicy przemieszczeń (poślizgów) na granicy stref uplastycznienia na podstawie tych obrazów izochrom przedstawił W. ŁOZIŃSKI [7].

Na zakończenie warto zwrócić uwagę na pewne szczegóły związane z techniką eksperymentu. Przy badaniach blachownic stosowano zwykły polaryskop do badań w świetle odbitym. W układzie optycznym użyto zwierciadła (6- rys. 5) pozwalającego na wykony-



Rys. 5. Schemat optyczny polaryskopu ze zwierciadłem

1 — rtęciowe źródło światła, 2 — kondensator, 3 — polaryzator, 4 — płytki ćwierćfalowa, 5 — belka, 6 — zwierciadło, 7 — płytki ćwierćfalowa, 8 — analizator, 9 — kamera fotograficzna, 10 — powierzchnia elastooptyczna

wanie zdjęć obu prostopadłych powierzchni (średnika i pasa) z jednego stanowiska. Natomiast przy badaniach węzłów w miejsce tradycyjnego polaryskopu zastosowano polaroid z płytką ćwierćfalową przykładany bezpośrednio do warstwy elastooptycznej. Taki układ płytek pełni jednocześnie rolę polaryzatora i analizatora, umożliwiając bezpośrednią obserwację przy dowolnym źródle światła. Sposób ten ułatwia prowadzenie obserwacji i badań w trudniej dostępnych miejscach konstrukcji. Wynikające stąd ograniczenie badania tylko do izochrom całkowitych jest mało istotne ze względu na duże wartości badanych odkształceń. Przy tym sposobie badania wprowadzenie lepkiej cieczy imersyjnej między polaryzator a warstwę zmniejsza straty świetlne i wyraźnie poprawia jakość obrazu.

Autorzy uważają, że przedstawione tu spostrzeżenia i spektakularne wyniki badań mają niewątpliwie znaczenie poznawcze. Wyjaśniać one mogą różne anomalie, z jakimi spotykają się inżynierowie przy tensometrycznych badaniach konstrukcji stalowych.

Literatura cytowana w tekście

1. F. ZANDMAN, S. REDNER, J. W. DALLY, *Photoelastic Coatings*, SESA Monograph No. 3, published jointly by the Iowa State University Press, Ames, Iowa and Society for Experimental Stress Analysis, Westport, Connecticut, 1977.
2. J. KAPKOWSKI, J. STUPNICKI, *Badania sprężysto-plastycznych płaskich stanów naprężeń metodą pokryw optycznie czynnych*, Arch. Bud. Masz., 1, 18 (1971), 139 - 149.
3. J. KAPKOWSKI, J. STUPNICKI, M. ŚLIWOWSKI, *Rozwiązanie płaskich zagadnień sprężysto-plastycznych w oparciu o badania metodą optycznie czulej warstwy powierzchniowej*, Piąte Sympozjum z Zakresu Doświadczalnych Badań w Mechanice Ciała Stałego, Warszawa, 1972.
4. J. KAPKOWSKI, *Propagacja obszarów plastycznych w warunkach płaskiego stanu naprężenia*, rozprawa habilitacyjna, Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej, Seria Mechanica nr. 50 (1978).
5. A. J. ALEKSANROV, M. CH. ACHMETZJANOV, *Polarizacionno-optičeskie metody mechaniki deformirujemogo tela*, Izd. „Nauka”, Moskwa, (1973).
6. Z. ORŁOŚ, *Doświadczalna analiza odkształceń i naprężeń*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa (1977).
7. W. ŁOZIŃSKI, *Elastooptyczna metoda badania nieciągłości pól przemieszczeń*, praca doktorska, Instytut Podstawowych Problemów Techniki, Warszawa, 1982.

Резюме

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ФОТОУПРУГИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ В СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Представлены результаты экспериментальных исследований пластических деформаций в элементах стальных конструкций методом фотоупругого слоя. Обнаружены характеристические черты поля деформации проявляющего значительную неоднородность для скачко-образной пропагации пластических зон. Сделана попытка выяснить причины этого явления. Указаны возможности упрощения техники исследований.

Summary

CERTAIN ASPECTS OF PHOTOELASTIC INVESTIGATIONS OF PLASTIC STRAIN IN STEEL STRUCTURES

The authors have presented some results of the investigations of plastic deformations in component parts of steel structures obtained by means of photoelastic layer method. Attention was paid to characteristic features of the strain field exhibiting considerable non-uniformity with a stepwise yield zone propagation. Attempt was made to explain the sources of the phenomenon. Possible simplifications of experimental techniques have been indicated.

Praca została złożona w Redakcji dnia 21 marca 1983 roku