

**BADANIE METODĄ ELASTOOPTYCZNĄ
STANÓW NAPRĘŻENIA WYWOŁANYCH OBCIĄŻENIAMI TERMICZNYMI**

Z. ORŁOŚ I Z. DYLAĞ (WARSZAWA)

W pracy przedstawiono wyniki badań metodą elastooptyczną stanów naprężenia wywoływanych obciążeniami termicznymi. Przedmiotem pierwszego badania był model półpłaszczyzny sprężystej z otworem przykrawędziowym. Model poddawano działaniu liniowego źródła ciepła o stałej temperaturze ujemnej. Zastosowanie niskich temperatur umożliwiło przeprowadzenie badań w zakresie odkształceń sprężystych. Podczas badania rejestrowano równocześnie temperatury w kilku punktach modelu i rozkład izochrom w sąsiedztwie otworu. Na podstawie wyników poprzednich badań podstawowych charakterystyk materiału modelowego w różnych temperaturach [2], określono w kilku punktach modelu wartości naprężeń jako funkcje czasu. Badanie wykazało, że w sąsiedztwie otworu przykrawędziowego występuje wyraźne spiętrzenie naprężeń termosprężystych.

W drugim przypadku badania zastosowano obciążenie termiczne o temperaturze podwyższonej w celu umyślnego wywołania zjawisk reologicznych w modelu półpłaszczyzny z otworem przykrawędziowym. Układy izochrom wykazały istnienie trwałych odkształceń w materiale modelowym.

Wykonane badania potwierdziły, zdaniem autorów, dużą przydatność elastooptyki do analizy naprężeń termosprężystych w szczególności w przypadku ich spiętrzenia (działania karbu), jak również do analizy odkształceń i naprężeń poza zakresem sprężystym.

1. Wstęp

W szeregu technicznie ważnych zagadnień mamy do czynienia ze stanami naprężeń wywołanymi polem temperatur. W zależności od intensywności źródła ciepła, typu konstrukcji oraz szeregu innych czynników materiałowych naprężenia te mogą mieć charakter przemijający, jako tzw. naprężenia termosprężyste lub trwałe, jako naprężenia własne spowodowane np. przemianami fazowymi, odkształceniami plastycznymi, nierównomiernym krzepnięciem materiału itp. Problematyka wyznaczania naprężeń termicznych wiąże się z rozwojem szeregu ważnych dziedzin współczesnej techniki, w których występują obciążenia cieplne. Będą to zarówno zagadnienia silników (spalinowych, odrzutowych, turbin itp.) jak i siłowni parowych (kotły i rurociągi), atomowych (obudowy reaktorów, wymienniki ciepła) oraz wszelkich konstrukcji budowlanych poddanych zmianom temperatur.

Jeżeli chodzi o rozwój podstawowych badań w tej dziedzinie, to istotne znaczenie mogą mieć badania naprężeń termicznych w elementach zawierających czynniki wywołujące spiętrzenie naprężeń (wpływ karbu), badania naprężeń termicznych w powłokach i płytach (np. wpływ nagrzewu aerodynamicznego), badania zjawiska udaru cieplnego, jednokrotnego i cyklicznego (zmęczenie termiczne) oraz badania zjawisk reologiczno-termicznych.

Jak wiadomo badanie naprężeń termicznych można przeprowadzać zarówno na drodze teoretycznej, jak i doświadczalnej.

Z zakresu badań teoretycznych znane są w kraju prace prowadzone pod kierunkiem W. NOWACKIEGO w dziedzinie naprężeń termosprężystych, naprężeń cieplnych w ośrodkach lepko-sprężystych i zagadnień naprężeń w przypadku sprzężenia pola temperatury z polem przemieszczeń, [1]. Ze względu na poważne trudności rachunkowe wynikające przy rozwiązywaniu niektórych bardziej skomplikowanych zagadnień duże usługi mogą oddać metody doświadczalne, w szczególności badania elastooptyczne. Elastooptyczne metody badania naprężeń termosprężystych są obecnie jeszcze mało rozpowszechnione. Spośród pierwszych znanych nam prac zagranicznych można wymienić badania Gerarda, Gilberta, Trampuscha i Hospa (por. literaturę w pracy [2] i [3]). Należy tu również wspomnieć o sposobie pomiaru odkształceń termicznych przedstawionym na II Międzynarodowej Konferencji Analizy Naprężeń w Paryżu przez Zandmana, Rendra i Posta, [4]. Sposób ten polega na obserwowaniu w świetle spolaryzowanym układów izochrom pojawiających się pod wpływem obciążenia termicznego w optycznie czułej powłoce naniesionej na badany element.

Nieco inną metodę badania odkształceń termicznych przedstawił na wymienionej konferencji Dantu, [5]. Sposób ten polega na zastosowaniu metody mory do tego typu zagadnień. W niniejszej pracy zostaną przedstawione przykłady zastosowania metody elastooptycznej do badania stanów naprężenia wywoływanych obciążeniami termicznymi¹. Przytoczone przykłady badań będą dotyczyły stanów naprężeń termicznych o charakterze nieustalonym. Niezbędnym etapem dla zrealizowania tego rodzaju badań jest wykonanie prac wstępnych polegających na określeniu zależności od temperatury szeregu charakterystyk materiałowych: wytrzymałościowych, optycznych i termicznych. Badania te zostały przedstawione przez autorów w pracy [2].

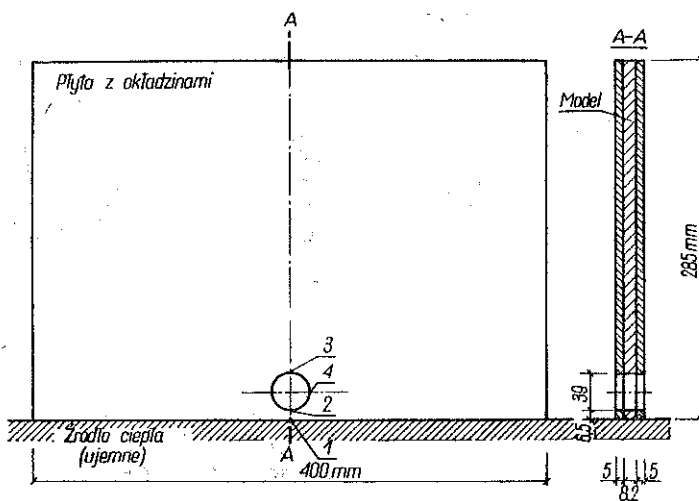
W odróżnieniu od znanych nam prac zagranicznych w tej pracy zwrócono uwagę na zagadnienie spiętrzenia naprężeń termosprężystych wywołwanego działaniem karbu. Ponadto zostaną pokazane możliwości stosowania tego rodzaju badań w przypadkach działania dodatnich źródeł ciepła powodujących przemiany reologiczne.

¹ Pewne wyniki własnych badań naprężeń termosprężystych na drodze elastooptycznej mieliśmy już możliwość przedstawić w roku 1961 na Sympozjum Elastooptycznym w Berlinie, [8], na II Kongresie Badania Materiałów w Budapeszcie i na Konferencji Zakładu Mechaniki Ośrodków Ciągłych IPPT-PAN w Olsztynie.

2. Przykład badania półpłaszczyzny z otworem obciążonej wzdłuż krawędzi ujemnym źródłem ciepła.

W celu analizy naprężeń termosprężystych w półpłaszczyźnie z otworem przykrawędziowym poddano krawędź działaniu liniowego ujemnego źródła ciepła rejestrując równocześnie przebieg zmian temperatury w wybranych punktach modelu i rozkład izochrom w sąsiedztwie otworu.

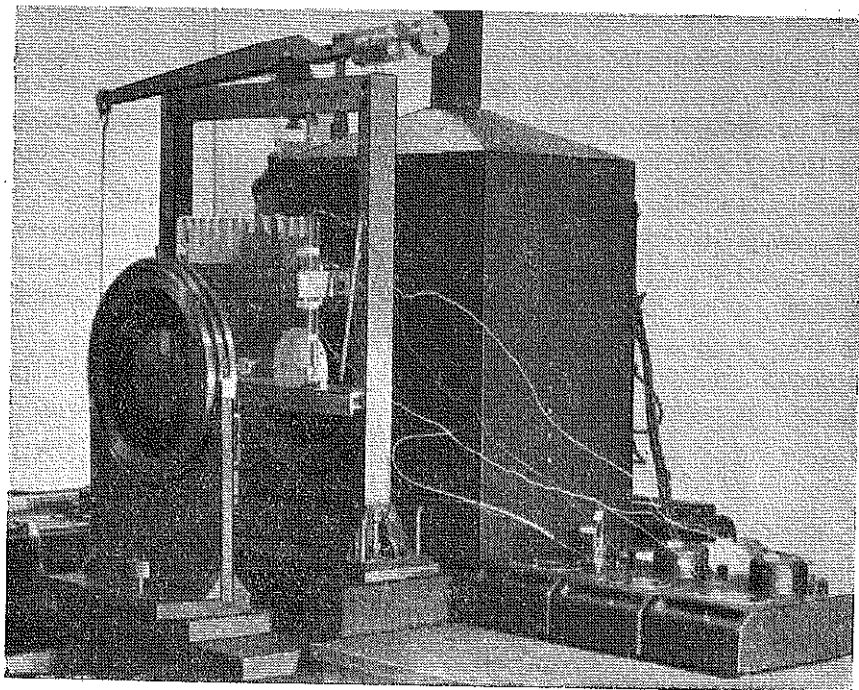
2.1. Badany model. Model półpłaszczyzny z otworem był wykonany z optycznie czulej żywicy poliestrowej VP1527. Kształt i wymiary modelu przedstawia rys. 1. Właściwy model został osłonięty dwiema o takim samym kształcie płytami ze szkła organicznego, wykazującymi w porównaniu do modelu niską czułość optyczną. Zastosowanie osłon miało na celu zrealizowanie przezroczystej izolacji cieplnej ograniczającej wymianę ciepła pomiędzy modelem a otoczeniem w kierunku prostopadłym do płaszczyzny środkowej modelu.



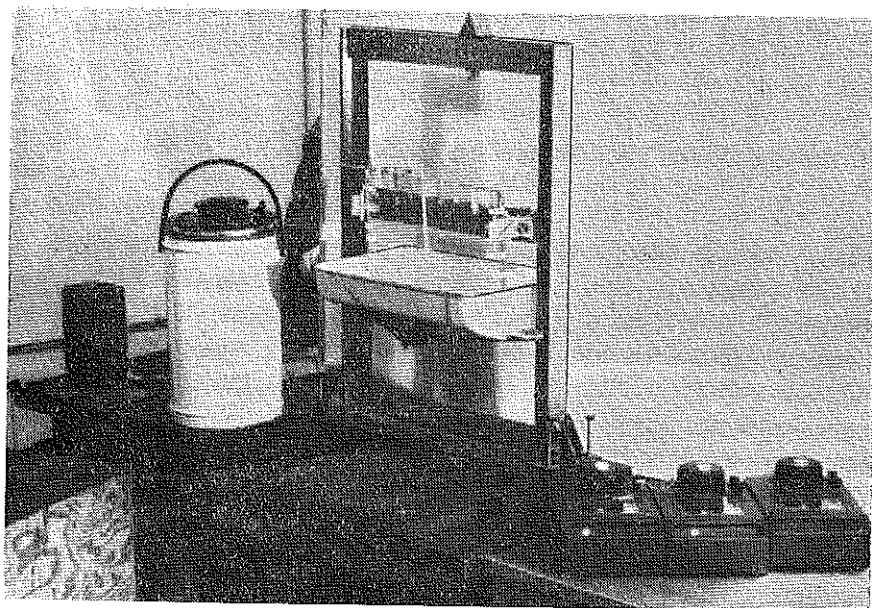
Rys. 1. Kształt i wymiary badanego modelu półpłaszczyzny z otworem. Numerami oznaczone są miejsca umieszczenia termoelementów

Przebieg zmian temperatur rejestrowano za pomocą specjalnych termoelementów o niskiej bezwładności cieplnej. Punkty pomiarowe, w których zostały naklejone termoelementy, oznaczono kolejnymi numerami 1-4 na rys. 1. Ustalając punkty rozmieszczenia termoelementów kierowano się potrzebą rejestrowania temperatur w punktach, w których oczekiwano bardziej charakterystycznych wartości naprężeń. Termoelementy podłączono w układzie zwykłym (por. [9]) do galwanometrów o jednakowej charakterystyce.

2.2. Stanowisko do badań. Stanowisko pomiarowe składało się z polaryskopu J-P1 (o powierzchniowym źródle światła monochromatycznego, sodowego), przewodnic umożliwiających swobodne odkształcenia cieplne modelu i ujemnego źródła ciepła w postaci podłużnego aluminiowego zasobnika z czynnikiem oziębiającym (zestawiony dwutlenek węgla). Zasobnik posiadał kompensację umożliwiającą jego zmiany objętości w miarę sublimowania czynnika chłodzącego. Zastosowanie



Rys. 2. Ogólny widok stanowiska do badania półpłaszczyzny z otworem

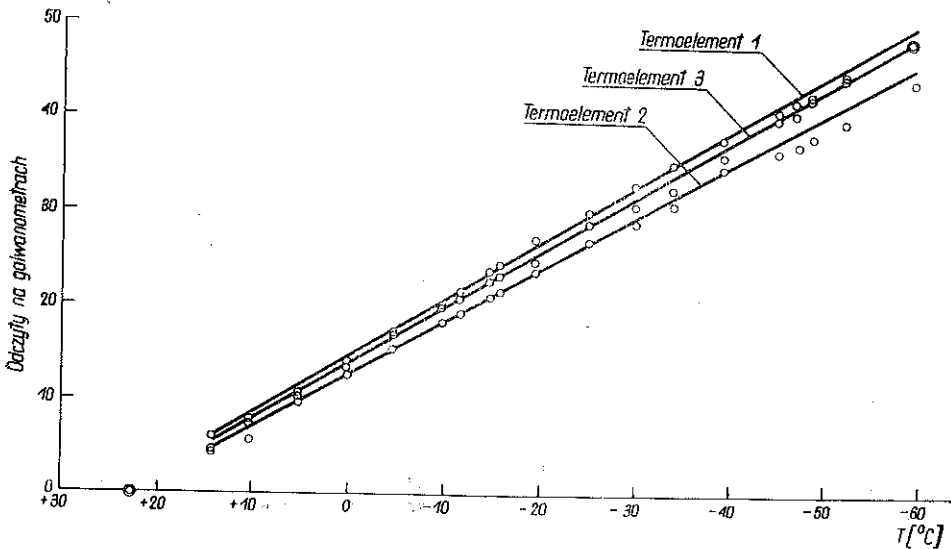


Rys. 3. Ogólny widok stanowiska do wzorcowania aparatury rejestrującej zmiany temperatur w wybranych punktach modelu

aluminium miało na celu wykorzystanie jego bardzo dobrego, czterokrotnie większego niż stali, przewodnictwa ciepła. Takie rozwiązanie zasobnika zapewniło dobrą wymianę ciepła między czynnikiem chłodzącym a krawędzią modelu. Obrazy izochrom rejestrowano za pomocą kamery fotograficznej. Widok stanowiska po usunięciu zasobnika przedstawia rys. 2.

2.3. Przebieg badania. Przed przystąpieniem do właściwego badania przeprowadzono wzorcowanie aparatury rejestrującej zmiany temperatury.

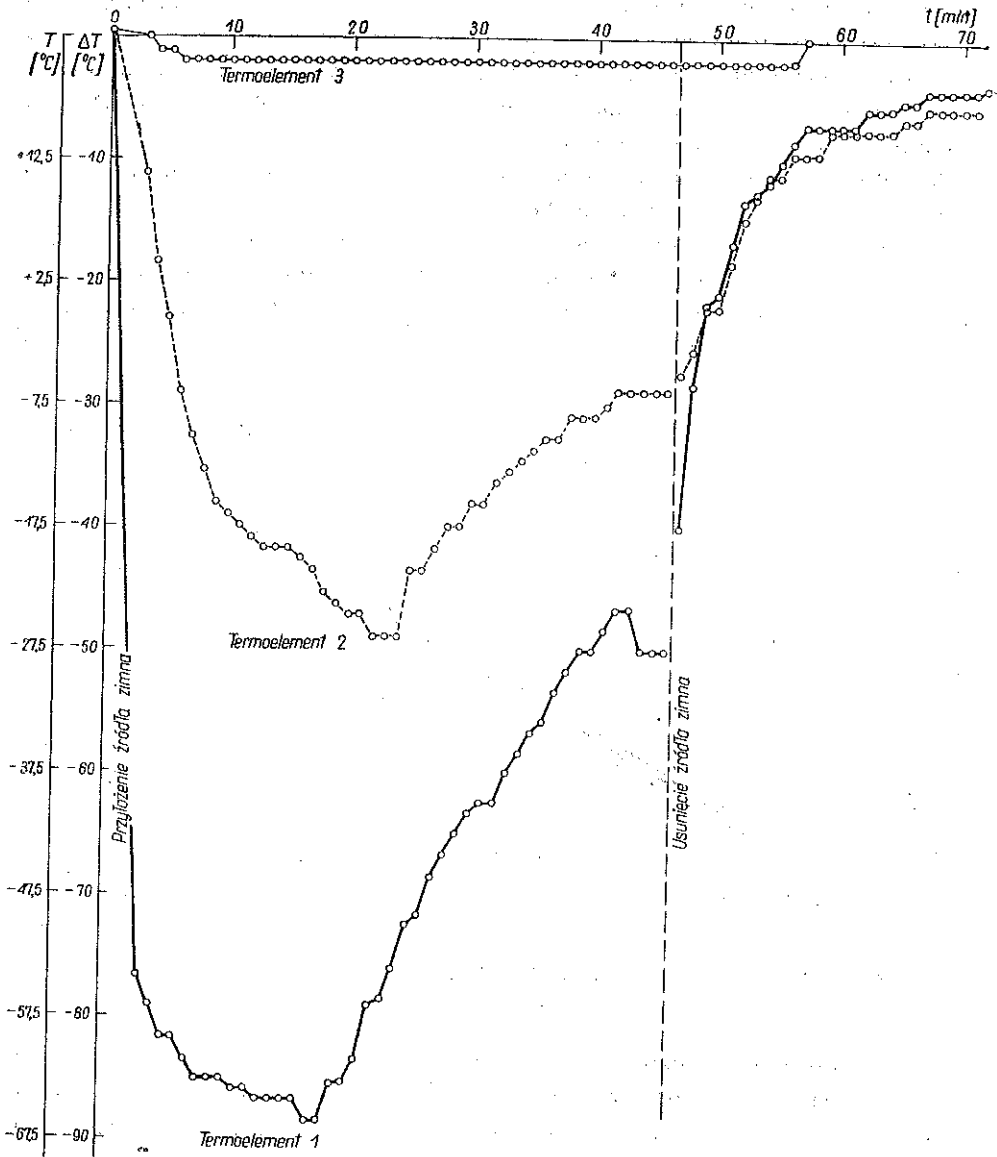
Stanowisko do wzorcowania przedstawia rys. 3. Model zanurzano w wannie z mieszaniną oziębiającą o różnych temperaturach. Rejestrowano odczyty na galwanometrach oraz wskazania rtęciowego termometru odniesienia, zanurzonego w wannie. Na rys. 4. przedstawiono wyniki wzorcowania termoelementów w punk-



Rys. 4. Wyniki wzorcowania (w mieszaninie oziębiającej) termoelementów modelu półpłaszczyzny z otworem

tach od 1 do 3. Z rysunku widać, że liniowość pracy termoelementów jest zadowalająca. Po przyłożeniu obciążenia cieplnego wzdłuż całej długości krawędzi modelu sąsiadującej z otworem rozpoczęto równoczesną rejestrację przebiegu w czasie zmian temperatury i układu izochrom przy jasnym i ciemnym polu widzenia. Dla uniknięcia niepożądanego ruchu oziębiającego się powietrza wzdłuż bocznych powierzchni okładzin oziębianą krawędź znajdowała się w położeniu dolnym.

2.4. Wyniki badania. Wyniki rejestracji w postaci wykresów przebiegu zmian ΔT temperatury T przedstawione są na rys. 5. Lokalne nieregularności przebiegu wykresów temperatur zostały spowodowane okresowym doładowywaniem zasobnika. Po osiągnięciu maksymalnej możliwej obniżki temperatury rozpoczęto zmniejszanie intensywności ujemnego źródła ciepła aż do momentu całkowitego usunięcia zasobnika oziębiającego. Na rysunkach 6a-h przedstawione są przykładowo uzyskane obrazy izochrom całkowitych. Rys. 6a, b i c przedstawiają izochromy podczas



Rys. 5. Przebiegi zmian temperatur w obserwowanych punktach oziębianego modelu półpłaszczyzny z otworem

działania ujemnego źródła ciepła odpowiednio w 3, 24 i 41 minucie od początku jego przyłożenia. Układy izochrom na rys. 6d-h odpowiadają 1, 3, 11 i 22 minutom od chwili usunięcia ujemnego źródła ciepła. Na podstawie znajomości wartości rzędów izochrom i temperatur w punktach 1, 2, 3 modelu można obliczyć wartości naprężeń termosprężystych. W punktach tych, położonych na wolnym od obciążeń

zewewnętrznych brzegu modelu, panuje jednoosiowy stan naprężenia i dlatego wartości naprężeń termosprężystych σ można określić tu wprost ze wzoru

$$\sigma = K_a m,$$

gdzie K_a oznacza stałą modelową w danej temperaturze, a m rząd izochromy, z uwzględnieniem znaku algebraicznego naprężenia. W tabelicy I przedstawiono

Tablica 1. Zestawienie wyników i tok obliczeń naprężeń termosprężystych w modelu półpłaszczyzny z otworem przykrawędziowym

Nr pkt.	Wielkość	Wymiar	Wartość								
	czas t	min	3	24	41	42	44	47	52	63	
1	T	°C	-54,2	-53,5	-25,8	-5,8	1,7	10,0	15,4	18,3	
	K_a	kG/cm ² j.rz. izochr.	40,0	39,9	35,0	33,6	33,4	33,3	33,1	33,1	
	m	j.rz. izochr.	3,5	4,5	3,0	1,5	1,2	1,1	0,5	0,5	
	σ	kG/cm ²	140,0	179,5	105,0	50,4	40,0	36,6	16,6	16,6	
2	T	°C	-11,3	-26,4	-7,5	-3,0	0,5	9,5	13,1	16,8	
	K_a	kG/cm ² j.rz. izochr.	33,8	35,1	33,7	33,6	33,5	33,3	33,2	33,1	
	m	j.rz. izochr.	-0,5	6,0	4,5	4,0	3,5	2,5	1,5	1,5	
	σ	kG/cm ²	-16,9	212,0	152,0	134,5	117,3	83,2	49,7	49,6	
3	T	°C	22,5	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	22,5	22,5	
	K_a	kG/cm ² j.rz. izochr.	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	
	m	j.rz. izochr.	-0,5	-1,0	-0,5	0	0	0,2	0,2	0,3	
	σ	kG/cm ²	-16,5	-33,5	-16,5	0	0	6,6	6,6	10,0	
Uwagi			Działanie źródła ujemnego			Po usunięciu źródła					

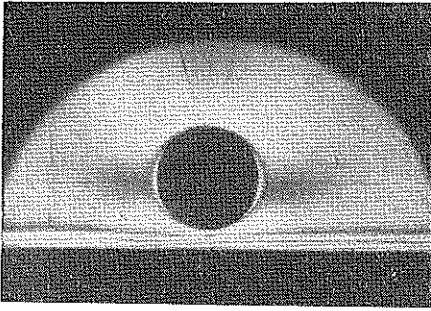
tok obliczeń wartości naprężeń termosprężystych. Wartości stałej K_a w różnych temperaturach wyznaczono na podstawie wykresu zależności $K = K(T)$, uzyskanego w poprzednich badaniach autorów, [2], przy czym dla punktów poza obszarem wzorcowania zastosowano ekstrapolację. Wyznaczone naprężenia przedstawiono wykreślić jako funkcje czasu na rys. 7.

Obserwując charakter rozkładu izochrom na otrzymanych obrazach elastooptycznych można stwierdzić, co następuje:

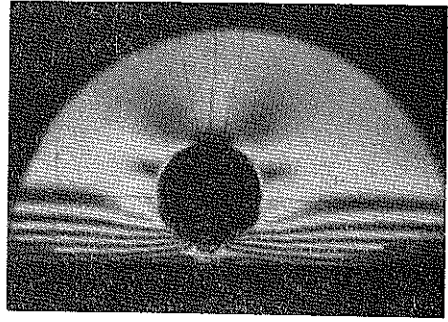
1. W okresie początkowym działania źródła ciepła przyłożonego do półpłaszczyzny obecność otworu przykrawędziowego nie wpływa w sposób istotny na stan naprężenia w pobliżu oziębianego brzegu modelu (rys. 6a). Występujące spiętrzenie naprężeń termosprężystych ma w tym okresie czasu ($t < 3$ min) charakter lokalny.

2. W późniejszym okresie czasu ($3 < t < 24$ min) wpływ otworu na stan naprężeń w jego sąsiedztwie staje się wyraźny. W punkcie 2 występuje lokalne spiętrzenie naprężeń termosprężystych (rys. 6b).

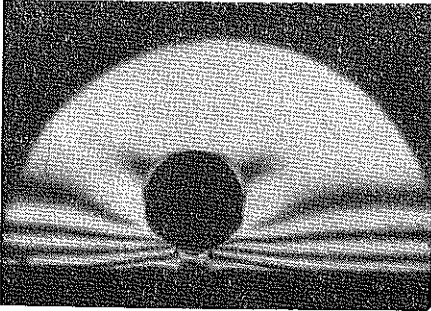
3. Dalszemu działaniu źródła oziębiającego ($24 < t < 41$ min) towarzyszy zmniejszanie się wartości gradientu temperatury w pobliżu oziębianego brzegu



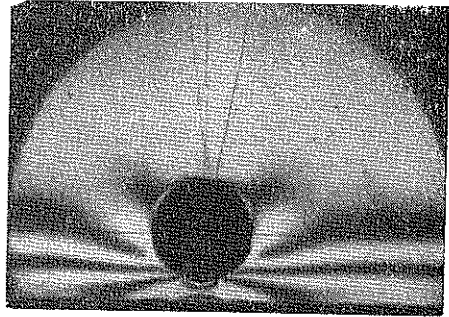
a



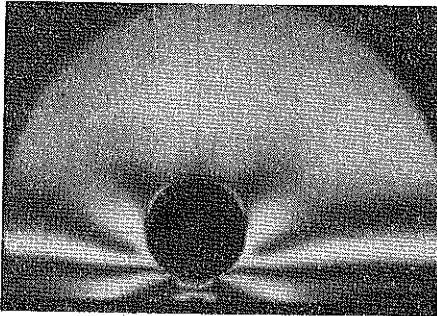
b



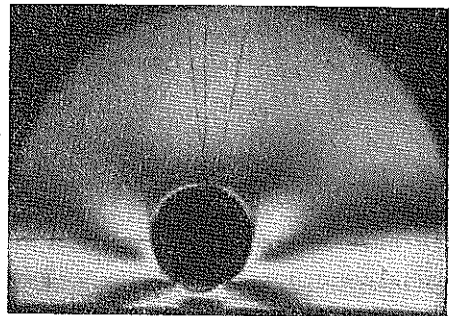
c



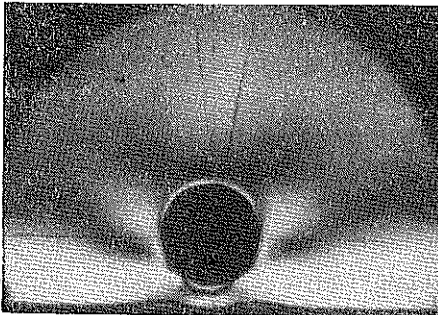
d



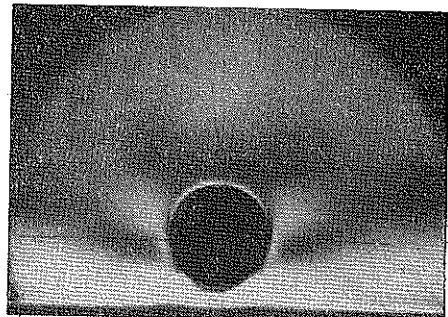
e



f



g



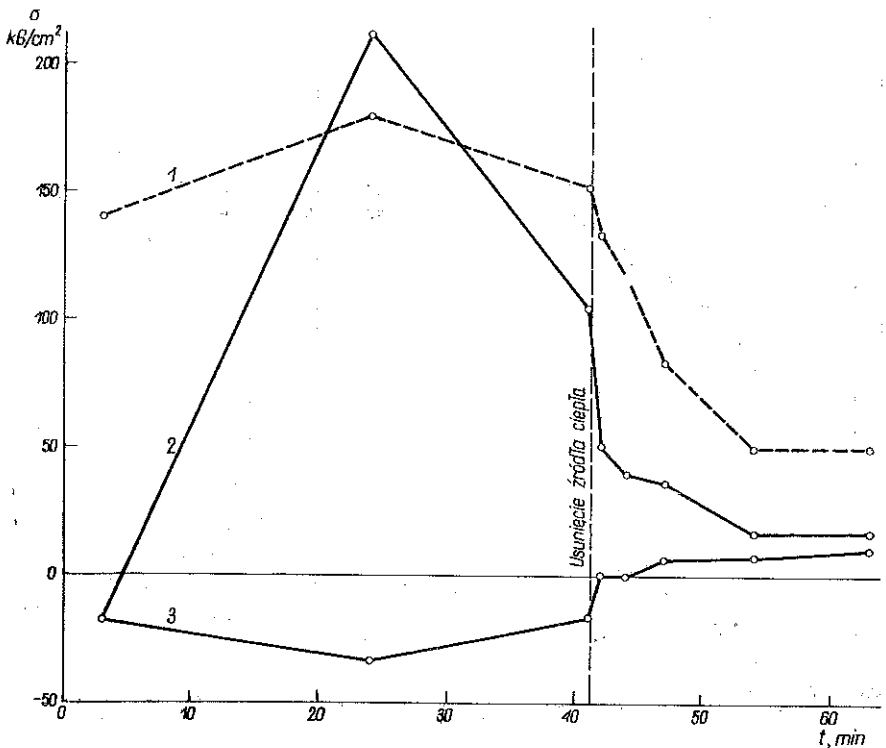
h

Rys. 6. Obrazy izochrom całkowitych w pobliżu otworu modelu półpłaszczyzny oziębianego wzdłuż brzegu sąsiadującego z otworem (szczegółowe objaśnienia w tablicy 2)

Tablica 2

Rys.	Minuty po przyłożeniu obciążenia cieplnego	Minuty po usunięciu obciążenia cieplnego	T_1 °C	ΔT_1 °C	T_2 °C	ΔT_2 °C	T_3 °C	ΔT_3 °C
a	3	—	-54,2	-76,7	-11,3	-11,2	22,5	0
b	24	—	-53,5	-76,0	-26,4	-46,9	20,6	-1,9
c	41	—	-25,8	-48,3	-7,5	-30,0	20,6	-1,9
d	—	1	-5,8	-28,3	-3,0	-25,5	20,6	-1,9
e	—	3	1,7	-20,8	0,5	-22,0	20,6	-1,9
f	—	6	10,0	-12,5	9,5	-13,0	20,6	-1,9
g	—	11	15,4	-7,1	13,1	-9,4	22,5	0
h	—	22	18,3	-4,2	16,8	-5,7	22,5	0

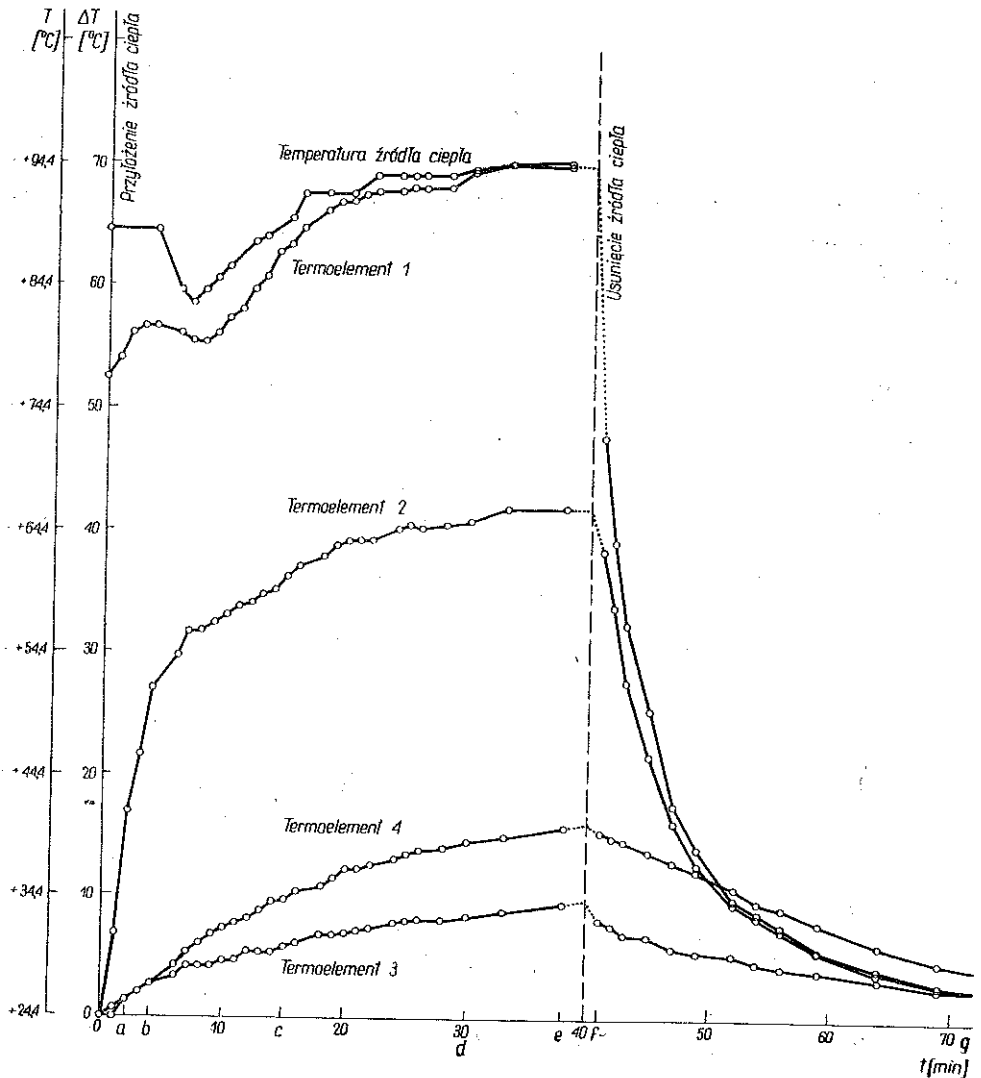
i sąsiadującego z nim otworu. Powoduje to zmniejszanie się wartości bezwzględnych naprężeń. Spiętrzenie naprężeń w pobliżu otworu jest nadal wyraźnie widoczne (rys. 6c).



Rys. 7. Wykresy termosprężystych naprężeń przykrawędziowych w punktach 1, 2 i 3 w zależności od czasu

4. Po usunięciu źródła obciążenia termicznego ($t > 41$ min) następuje stopniowe wyrównywanie się temperatur w modelu i zanik naprężeń termosprężystych z nadal widocznym wpływem otworu jako czynnika powodującego lokalne spiętrzenie naprężeń (rys. 6d-h).

5. Po całkowitym wyrównaniu się temperatur model powrócił do wyjściowego stanu beznaprężeniowego, co jest dowodem, że obserwowane zmiany naprężeń w rozpatrywanym procesie miały charakter termosprężysty, tj. nie doprowadziły do przemian reologicznych materiału modelu.



Rys. 8. Przebieg zmian temperatur w obserwowanych punktach ogrzewanego modelu półpłaszczyzny z otworem

3. Przykład badania modelu półpłaszczyzny z otworem obciążonej wzdłuż krawędzi dodatnim źródłem ciepła

Dla wyjaśnienia możliwości prowadzenia badań stanów naprężenia i odkształcenia, wywołanych działaniem dodatnich źródeł ciepła i charakteryzujących się procesami reologicznymi, zachodzącymi w materiale modelu, zastosowano ogrzewanie modelu półpłaszczyzny z otworem, identycznego jak w przypadku oziębiania (rys. 1). W badaniu tym ogrzewano brzeg modelu liniowym źródłem ciepła o stałej temperaturze. Ogrzewany brzeg znajdował się tym razem w położeniu górnym w celu uniknięcia niepożądanych wpływów prądów unoszenia powietrza nagrzanego źródłem ciepła. Źródłem tym był wąski zbiornik metalowy wypełniony płynem podgrzewanym grzejnikami elektrycznymi o małej mocy.

3.1. Przebieg badań. Podobnie jak w przypadku omawianym poprzednio prowadzono równoczesną rejestrację izochrom oraz temperatur. Spoiny termoelementów były umieszczone w punktach 1-4 (rys. 1). Wyniki rejestracji przebiegu zmian ΔT i temperatur T w postaci wykresów przedstawione są na rys. 8.

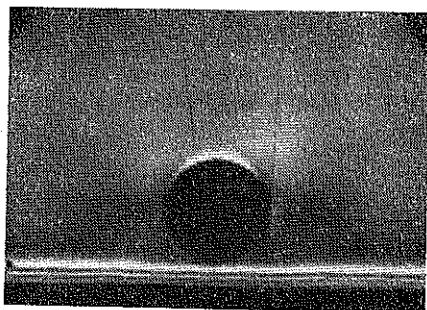
Po określonym czasie działania obciążenia cieplnego (38 min) źródło ciepła usunięto i obserwowano zmiany efektu elastooptycznego w miarę wyrównywania się temperatur w modelu.

3.2. Wyniki. Na rysunkach 9a-g przedstawiono otrzymane w badaniu obrazy z tym, że zdjęcia 9a-e uwidoczniają izochromy powstające w modelu podczas jego ogrzewania wzdłuż brzegu sąsiadującego z otworem. Natomiast zdjęcie 9f rejestruje stan po 1 minucie od chwili usunięcia obciążenia cieplnego, a zdjęcie 9g stan po upływie 74 min. od tej chwili, czyli po całkowitym wyrównaniu się temperatur w modelu. Z porównania rys. 6 i 9 widać, że w pierwszym okresie działania źródeł ciepła ujemnych i dodatnich układy izochrom są zasadniczo podobne. Po dłuższym okresie czasu działania dodatniego źródła ciepła dają się zauważyć różnice w stosunku do przypadku oziębiania spowodowane zachodzącymi w materiale procesami reologicznymi.

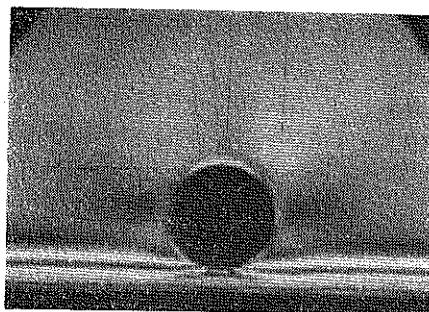
4. Wnioski

Istotną różnicą między opisanymi efektami obciążeń cieplnych jest to, że po powrocie do temperatury początkowej w modelu ogrzewanym powstaje trwały stan dwójłomności, który wynika zarówno z odkształceń reologicznych, jakie wystąpiły w modelu, jak i ze stanu naprężeń własnych. Zaobserwowany efekt trwały może, po wykonaniu szeregu badań wyjaśniających przebieg zjawisk reologicznych w powiązaniu z efektami dwójłomności, pozwolić na ilościową analizę odkształceń i naprężeń w elementach konstrukcyjnych poddanych działaniu dodatnich źródeł ciepła powodujących trwałe przemiany reologiczne². Wydaje się, że do rozszyfrowania obrazu izochrom uwarunkowanych opisanymi przemianami termo-reologicz-

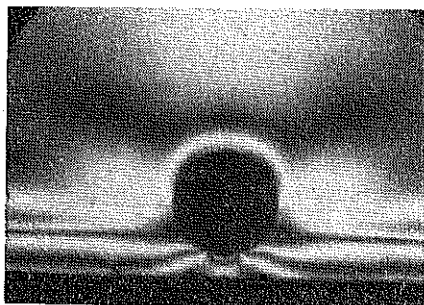
² Ostatnio J. NALESZKIEWICZ wspólnie z B. KWARCIĄK zastosowali odrębną metodę badań elastooptycznych stanów naprężeń wywołanych trwałymi odkształceniami plastycznymi. W metodzie tej realizuje się zastępcze obciążenie hydrostatyczne działające na brzeg otworu wywierconego w elemencie, prowadząc badanie w ustalonej temperaturze (por. materiały Konferencji Naukowej Zakładu Mechaniki Ośrodków Ciągłych IPPT-PAN w Olsztynie w sierpniu 1961 r.).



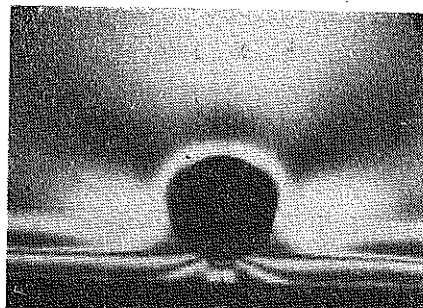
a



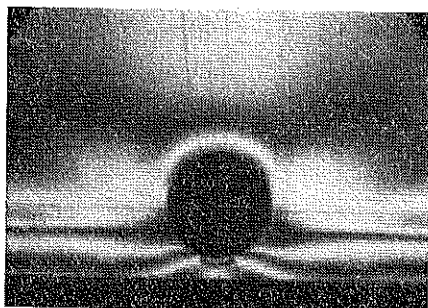
b



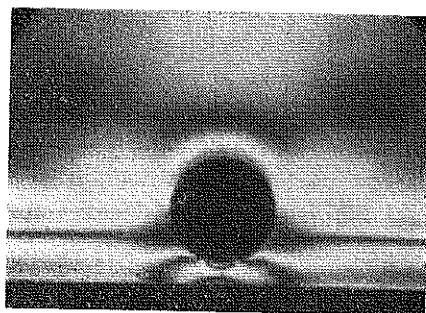
c



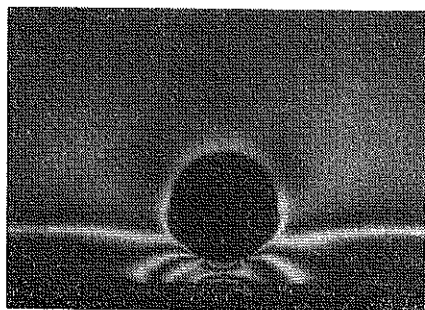
d



e



f



g

Rys. 9. Obrazy izochrom całkowitych w pobliżu otworu modelu półpłaszczyzny ogrzewanego wzdłuż brzegu sąsiadującego z otworem (szczegółowe objaśnienia w tablicy 3)

Tablica 3

Rys.	Minuty po przyłożeniu obciążenia cieplnego	Minuty po usunięciu obciążenia cieplnego	T_1 °C	ΔT_1 °C	T_2 °C	ΔT_2 °C	T_3 °C	ΔT_3 °C	T_4 °C	ΔT_4 °C
a	1	—	78	54	31	7	24,4	0	25,1	0,7
b	3	—	81	57	46	22	26,1	1,7	26,4	2,0
c	15	—	85	61	59	35	29,8	5,4	33,4	9,0
d	30	—	94	69,5	65	41	32,2	8,0	39,8	14,5
e	38	—	94,4	70	66	42	33,9	9,5	40,4	16,0
f	—	I	63	39	58	34	32,1	7,7	39,3	14,9
g	—	ponad 74	24,7	0,3	24,9	0,5	25,4	1,0	25,4	1,0

nymi materiału elementu niezbędne będzie zastosowanie oprócz metody elastooptycznej równolegle metody półtrepanacji lub trepanacji, [6], [7]. Metody te umożliwią jednoznaczne określenie naprężeń własnych w badanym elemencie konstrukcyjnym. Jeżeli chodzi o ważne zagadnienie dokładności wyznaczania naprężeń termosprężystych metodą elastooptyczną, to należy stwierdzić, że sprawa ta ma dość złożony charakter, ponieważ do obliczenia wartości naprężeń konieczna jest tu dodatkowo znajomość temperatury w poszczególnych punktach modelu oraz znajomość zależności od temperatury charakterystycznych wielkości mechanicznych, cieplnych i optycznych. Przyjmując orientacyjnie, że błąd w przypadku zwykłych badań elastooptycznych (w temperaturze pokojowej), wykonywanych w świetle rozproszonego, jest rzędu 5%, można się spodziewać, że w określaniu naprężeń termosprężystych (ujemne źródła ciepła, światło rozproszone) błąd wzrośnie do 10-15%. Bardziej ściśle oszacowanie błęd pomiarowego wymagać będzie przeprowadzenia odpowiednich badań specjalnych. Znacznie trudniejszą sprawą będzie oczywiście oszacowanie błęd pomiarowego w przypadku badań, w których nie da się praktycznie pominąć wpływu zjawisk reologicznych (dodatnie źródła ciepła).

Przedstawione badania o charakterze jakościowym wykazują, zdaniem autorów, przydatność i szerokie możliwości badania metodami elastooptycznymi stanów naprężeń termicznych w zakresie odkształceń sprężystych i plastycznych zarówno przy ujemnych jak i dodatnich źródłach ciepła. Istnieje również możliwość wykorzystania przedstawionych sposobów badań do analizy naprężeń wywołanych procesami technologicznymi takimi, jak np. odlewanie, wyżarzanie, spawanie.

Literatura cytowana w tekście

- [1] W. NOWACKI, *Zagadnienia termosprężystości*, PWN Warszawa 1960.
- [2] Z. DYLAĞ, Z. ORŁOŚ, *Badania materiałów na modele elastooptyczne przeznaczone do analizy naprężeń termosprężystych*, Biul. WAT, 2, 1962.
- [3] H. TRAMPOSCH, G. GERARD, *An exploratory study of three-dimensional photothermoelasticity*, J. Appl. Mech., March 1961.

[4] F. ZANDMAN, S. S. REDNER, D. POST, *Measurements of thermal strains with photoelastic coatings*, 2-me Conf. Intern. d'Analyse des Contraintes, Paris 1962.

[5] M. DANTU, *Extension de la methode du moiré à des problèmes thermiques, Etude des déformations rémanentes d'un metal au voisinage d'un cordon de soudure*, 2-me Conf. Intern. d'Analyse des Contraintes, Paris 1962.

[6] Z. ORŁOŚ, Z. DYLAĞ, *Pomiar naprężeń metodą miejscowego odciążania*, Biul. WAT, 4 (81), 1958.

[7] Z. ORŁOŚ, *Póltrepanacyjne metody pomiarów naprężeń*, Biul. WAT, 5 (88), 1959.

[8] Z. ORŁOŚ, Z. DYLAĞ, *Über spannungsoptische Untersuchungen von Wärmespannungen*, Abhandlungen der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 4, 1962.

[9] *Mechanik. Poradnik Techniczny*, tom I, cz. 3, PWN Warszawa 1960.

Резюме

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ФОТОУПРУГОСТИ НАПРЯЖЕННЫХ СОСТОЯНИЙ, ВЫЗВАННЫХ ТЕРМИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ

Приводятся результаты исследований, проведенных методом фотоупругости напряженных состояний, вызванных термическими нагрузками.

Предметом первого исследования была модель упругой полуплоскости с отверстием находящимся в соседстве края. Модель подвергалась действию линейного источника тепла с постоянной отрицательной температурой. Применение низких температур, дало возможность провести исследования в области упругих деформаций. Во время исследований регистрировались одновременно температуры в нескольких точках модели и распределение изохром в соседстве отверстия. На основании результатов предыдущих исследований, [2], основных характеристик материала модели при различных температурах, определяются в нескольких точках модели значения напряжений как функций времени. Исследование показало, что в соседстве отверстия, о котором была речь, наступает отчетливая концентрация термоупругих напряжений.

Во втором случае исследования применялась термическая нагрузка с повышенной температурой, чтобы умышленно вызвать реологические явления в модели полуплоскости с отверстием вблизи края. Картины изохром показали наличие конечных деформаций в модели материала.

Приведенные исследования подтвердили, по мнению авторов, большую пригодность фотоупругости для анализа термоупругих напряжений в особенности в случае их концентрации (действие выточки), а также для анализа деформаций и напряжений вне упругой зоны.

Summary

PHOTOELASTIC INVESTIGATION OF THE STATE OF STRESS PRODUCED BY A THERMAL LOAD

The first set of tests concerned a model of an elastic semi-plane with a hole near the edge. The model was subjected to the action of a linear heat source with constant negative temperature. The application of low temperatures enabled us to perform the tests in the elastic range. The temperature was recorded simultaneously at several points of the model. The same was done for the distribution of isochromatics in the neighbourhood of the hole. On the basis of a previous investigation of the fundamental characteristics of the material of the model at various temperatures the values of stresses were determined at several points of the model in function of time. It has been shown that there is a distinct concentration of thermal stresses in the neighbourhood of the hole.

In the second case the thermal load was applied at a higher temperature in order to produce rheologic effects in the model. The isochromatic line pattern has shown durable deformation in the material of the model.

To the author's opinion the tests have confirmed that photoelastic methods are applicable to a large extent to the analysis of thermoelastic stresses, in particular in the case of stress concentration (the action of a notch) and to the analysis of stress and strain beyond the elastic limit.

Praca została złożona w Redakcji dnia 31 maja 1962 r.
