

Niekonwencjonalne technologie łączenia elementów konstrukcji lotniczych

Politechnika Lubelska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Częstochowska, Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk

Wyniki badań

Testowanie złączy klinczowych z zastosowaniem różnych środków rozdzielających powierzchnie styku łączonych blach:

- powierzchnie odfuszczone acetone, pokryte smarem grafitowym,
- rozdzielone cienką folią PTFE o grubości 0,05 mm,
- rozdzielone grubą folią PTFE o grubości 0,15 mm.

Próby ścinania wykonanych zakładkowych złączy klinczowych na maszynie wytrzymałościowej - wyznaczenie charakterystyk mechanicznych (siła - odształcenie), wykonanie przekrojów wzdłużnych i pomiaru parametrów geometrycznych złączy (grubość dna przetłoczenia, grubość ścianki bocznej przetłoczenia, wielkość zafaldowania blach na ściance bocznej - zamek przetłoczenia)

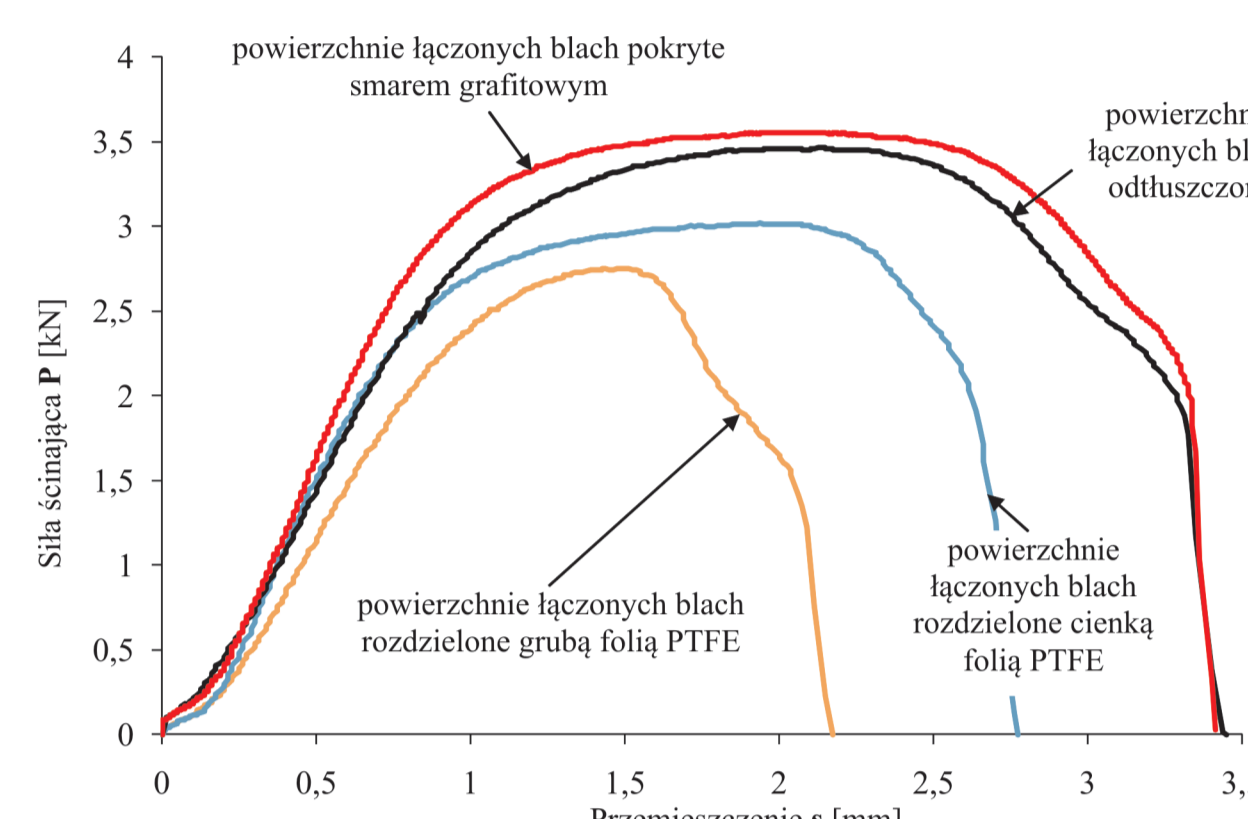


Tabela 1. Parametry geometryczne i wytrzymałościowe złączy klinczowych uzyskanych dla różnych środków rozdzielających powierzchnie styku łączonych blach

Typ próbki	Grubość ścianki bocznej [mm]	Zamek przetłoczenia [mm]	Grubość dna przetłoczenia [mm]	Maksymalna siła [kN]	Absorpcja energii [kJ]
powierzchnie łączonych blach odfuszczone	0.49	0.14	0.98	3.301	8.717
powierzchnie łączonych blach rozdzielone cienką folią PTFE	0.52	0.17	0.91	3.405	8.235
powierzchnie łączonych blach rozdzielone grubą folią PTFE	0.55	0.20	0.97	2.990	5.944
powierzchnie łączonych blach rozdzielone cienką folią PTFE	0.49	0.16	0.90	1.655	3.629

Rys. 1. Przykładowe charakterystyki ścinania zakładkowych złączy klinczowych uzyskanych dla różnych środków rozdzielających powierzchnie styku łączonych blach

Wnioski:

1. Zmniejszenie tarcia na powierzchni styku łączonych blach jest korzystne dla uformowania złącza klinczowego; powoduje zwiększenie grubości ścianki bocznej w 'szyjce' przetłoczenia i zwiększenie 'zamka' przetłoczenia.
2. Zastosowanie środków zmniejszających tarcie pomiędzy łączonymi blachami powoduje zmniejszenie adhezji blach w gnieździe przetłoczenia i obniża wytrzymałość złącza i absorpcję energii podczas jego zniszczenia.

Modyfikacja złączy klinczowych i ocena ich wytrzymałości:

- dwukrotne przetłoczenie (drugie przetłoczenie w odwrotnym kierunku),
- przetłoczenie i sprasowanie na płasko otrzymanego złącza klinczowego,
- przetłoczenie i dodatkowe sprasowanie dna stemplem $\phi 8$ mm,
- przetłoczenie i dodatkowe sprasowanie dna stemplem $\phi 6$ mm.

Próby ścinania wykonanych zakładkowych złączy klinczowych na maszynie wytrzymałościowej - wyznaczenie charakterystyk mechanicznych (siła - odształcenie), wykonanie przekrojów wzdłużnych i pomiaru parametrów geometrycznych złączy (grubość dna przetłoczenia, grubość ścianki bocznej przetłoczenia, wielkość zafaldowania blach na ściance bocznej - zamek przetłoczenia)

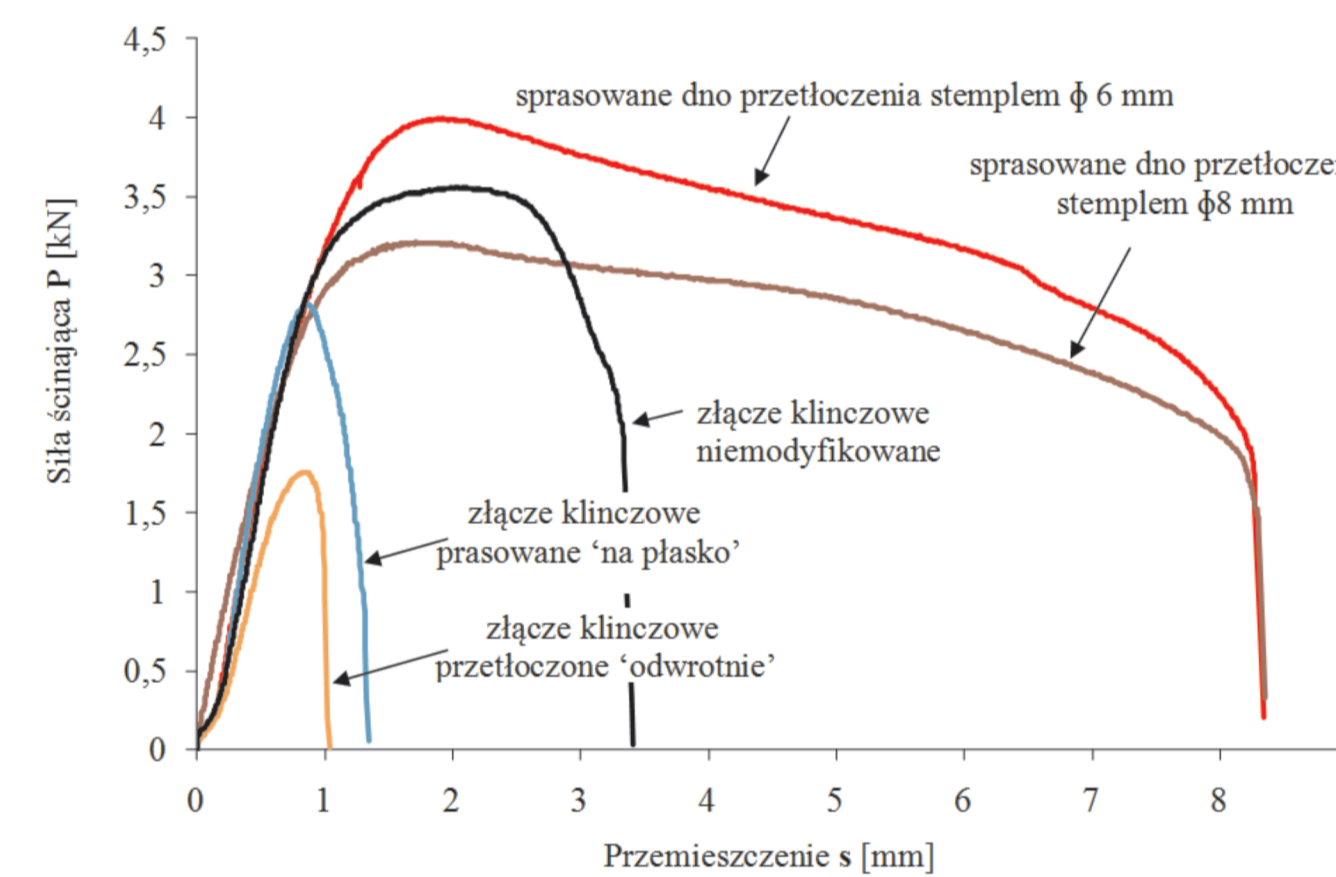


Tabela 2. Parametry geometryczne i wytrzymałościowe złączy klinczowych modyfikowanych przez dodatkowe sprasowanie stemplem

Typ próbki	Grubość ścianki bocznej [mm]	Zamek przetłoczenia [mm]	Grubość dna przetłoczenia [mm]	Maksymalna siła [kN]	Absorpcja energii [kJ]
złącza klinczowe niemodyfikowane	0.53	0.12	0.92	3.6	9.3
złącza klinczowe przetłoczone 'odwrócić'	-	-	-	1.8	1.1
złącza klinczowe sprasowane 'na płasko'	-	-	-	2.8	2.3
sprasowane dna przetłoczenia stemplem $\phi 8$ mm	0.48	0.28	0.95	3.3	22.0
sprasowane dna przetłoczenia stemplem $\phi 6$ mm	0.62	0.31	0.75	4.0	25.9

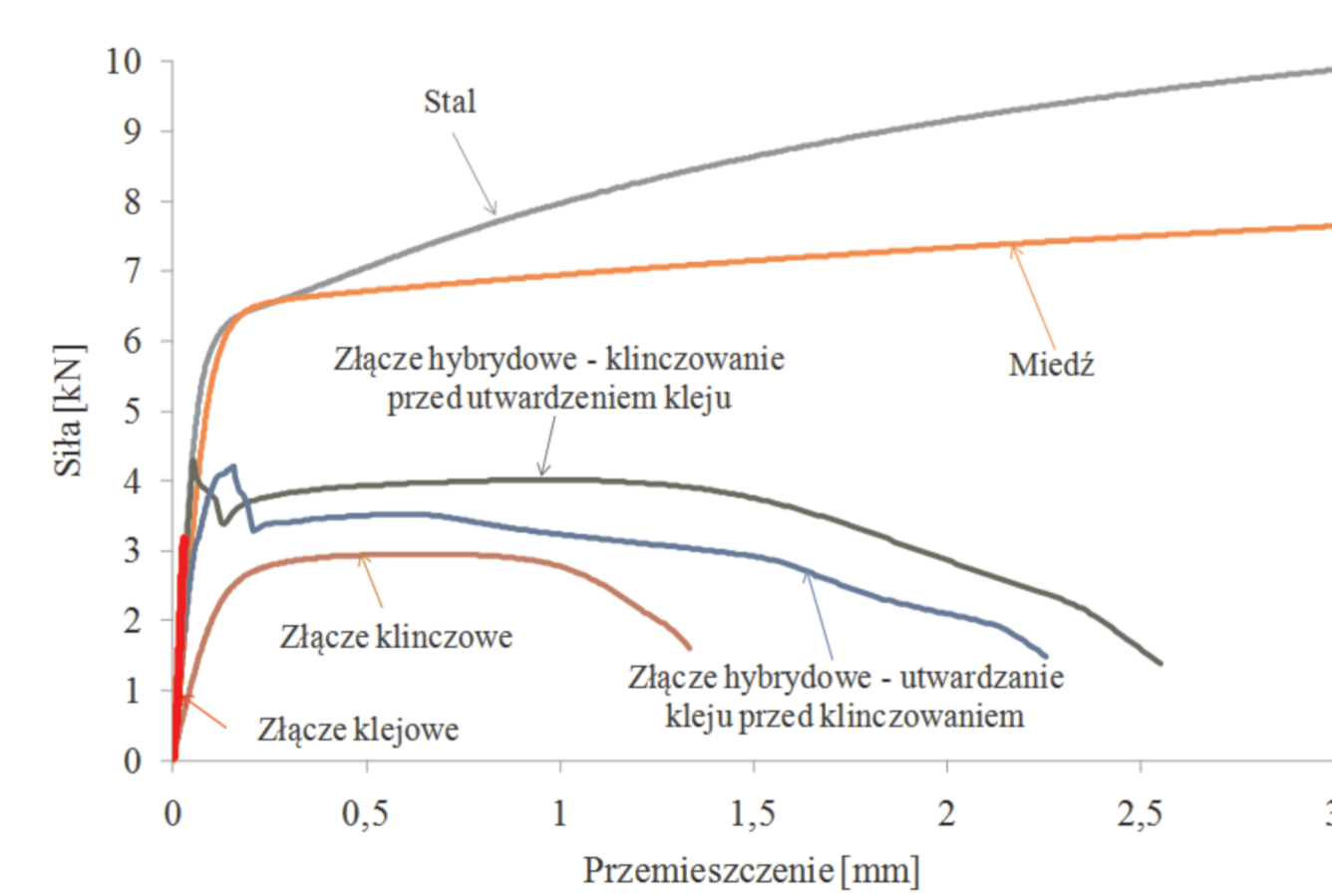
Rys. 2. Przykładowe charakterystyki ścinania zakładkowych złączy klinczowych modyfikowanych przez dodatkowe sprasowanie stemplem

Wnioski:

Wzrost wytrzymałości złącza oraz absorpcji energii podczas jego zniszczenia, można uzyskać przez dodatkowe sprasowanie dna przetłoczenia stemplem na płaskiej matrycy. Korzystne jest zmniejszenie średnicy stempla prasującego ($\phi 6$ mm) w stosunku do średnicy stempla formującego ($\phi 8$ mm). Przetłoczenie gniazda złącza klinczowego w drugą stronę lub jego sprasowanie na płasko, powoduje obniżenie właściwości mechanicznych.

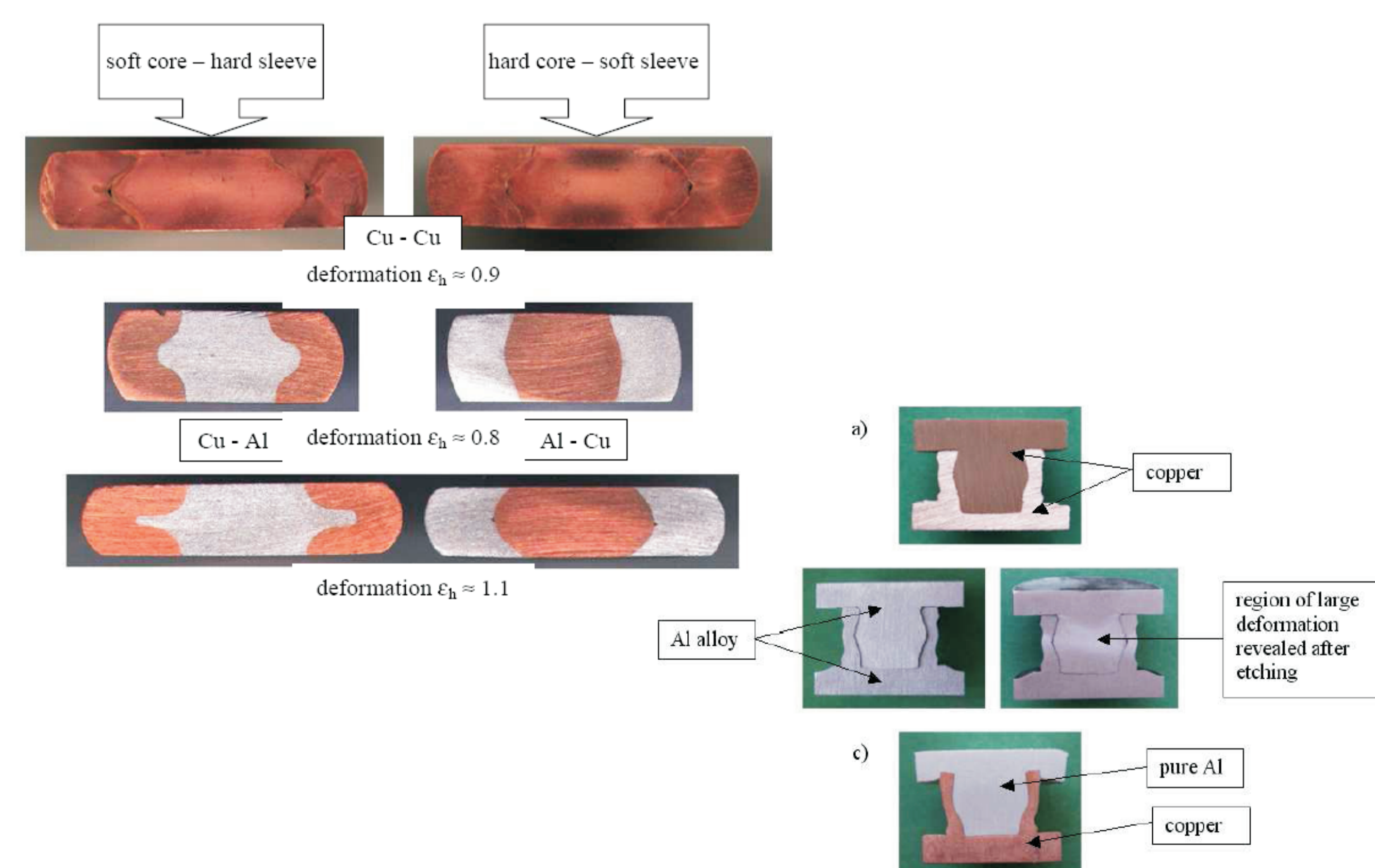
Opracowanie programu i wykonanie badań połączeń klinczowo-klejowych mających na celu wzrost ich wytrzymałości.

Badania eksperymentalne połączeń klinczowo-klejowych wykonanych wg dwóch procedur: 1 - klejenie i utwardzanie kleju przed klinczowaniem, 2 - klejenie i klinczowanie, a następnie utwardzanie kleju. W badaniach stosowano dwuskładnikowy klej epoksydowy Pattex® firmy Henkel.



Wstępne wnioski: Hybrydowe złącza klinczowo-klejowe mają większą wytrzymałość od wytrzymałości złączy klinczowych i klejowych (efekt synerгии). Procedura wykonania złącza hybrydowego: klejenie - klinczowanie - utwardzanie kleju powoduje wzrost wytrzymałości i absorpcji energii podczas jego zniszczenia, w porównaniu z procedurą: klejenie - utwardzanie - klinczowanie.

Rys. 3. Charakterystyki mechaniczne materiałów (stal - miedź) oraz ich złączy zakładkowych



Wyniki badań

Elastoptyka

Powszechnie stosowane są dwie metody badań elastoptycznych, tj. metoda światła przechodzącego i metoda powierzchniowej warstwy optycznie czynnej. Obie metody mają zastosowanie w przypadku płaskiego stanu naprężenia. Do przestrzennego stanu naprężenia w elementach maszynowych stosuje się metodę zamrażania naprężeń.

ZAMRAŻANIE NAPRĘŻEŃ.

Metoda zamrażania naprężeń umożliwia analizę trójwymiarowego stanu naprężenia. W stosunkowo prosty sposób otrzymywane wyniki można transponować na układ rzeczywisty wykorzystując teorię podobieństwa modelowego.

Idea zamrażania naprężeń opiera się na zjawisku wysokiej elastyczności osiągniętej przez element poddany obciążeniu w temperaturze około 100 - 120 C (temperatura zamrażania dla Epidianu). W tych warunkach materiał modelowy charakteryzuje się bardzo niskim modułem Younga (około 30 MPa). Stan ten nazywany stanem wysokiej elastyczności. Powolne oziębianie modelu obciążonego (około 1C/h) do temperatury pokojowej gwarantuje „zatrzymanie” odształceń.



ŚWIATŁO ODBITE

Metoda światła odbitego umożliwia analizę rozkładu naprężeń na powierzchni badanego modelu na podstawie rozkładu izochrom. Izochromy są to miejsca geometryczne punktów stałych różnic naprężeń głównych przez co pozwalają określić rozkład maksymalnych naprężeń stycznych. Do analizy został wykorzystany polaryskop firmy Vishay na światło odbite (Rys. 1.).

Rys. 1. Polaryskop Vishay

OBCIĄŻANIE ZEWNĘTRZNE MODELU. ANALIZA WYMIAROWA.

W celu określenia wartości obciążenia rozważanej konstrukcji, w warunkach badań laboratoryjnych, opieramy się na teorii podobieństwa modelowego. U podstaw owej teorii leży założenie, iż można przenosić, w szerokim rozumieniu, ilościowe związki z obserwacji zjawisk fizycznych w pewnym układzie mechanicznym na układ podobny lecz o innej skali. Pojęcie skali odnosi się tutaj nie tylko do stosunku wymiarów geometrycznych obu układów, lecz ma zastosowanie ogólne. Dotyczy również dowolnych porównywalnych wielkości fizycznych.

W zagadnieniach wytrzymałości materiałów najwygodniej jest korzystać z układu FLT gdzie F oznacza siłę, L - długość, T - czas. Typową macierz wymiarową w układzie FLT przedstawia Tab. 1.

Tab. 1. Macierz wymiarowa w układzie FLT.

	P	E	l	v	σ
F	1	1	0	0	1
L	0	-2	1	0	-2
T	0	0	0	0	0

gdzie: F - jednostka siły, L - jednostka długości, T - jednostka czasu, P - siły zewnętrzne, E - moduł Younga, l - wymiar długości.

$$\pi = \frac{El^2}{P} \quad \pi = \frac{E_M l_M^2}{P_M} = \frac{E_P l_P^2}{P_P}$$

gdzie: P_P - siła obciążająca w przedmiocie rzeczywistym
 E_P - moduł Younga materiału przedmiotu rzeczywistego
 E_M - moduł Younga materiału badanego modelu
 Przy czym $E_M = 4000$ [MPa], $E_P = 2.110^4$ [MPa]

OPRACOWANIE I ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ ELASTOPTYCZNYCH.

Otrzymane wyniki badań można ocenić w dwojaki sposób: a) jako badania ilościowe, stanowiące podstawę do określenia stanu naprężenia, b) jako badania jakościowe, obrazujące lokalizację stref neralgicznych oraz poziomy gradientów wyłączenia.

Istotnym zagadnieniem jest ocena rozkładu izochrom na powierzchni badanego elementu. Wprawdzie obserwowany efekt optyczny nie jest wprost naprężeniem, to jako izochroma określa miejsce geometryczne o stałej różnicy naprężeń głównych σ_1, σ_2 , a co za tym idzie wyznacza w prostej linii wartość $\sigma_{1r} - \sigma_{2r}$, a zatem ilustruje poziom wyłączenia według hipotezy τ_{max} .

$$\sigma_{1r} - \sigma_{2r} = \frac{Er_z}{1+v_r} \cdot f \cdot m$$

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_{1r} - \sigma_{2r}}{2}$$

gdzie: $\sigma_{1r} - \sigma_{2r}$ - różnica naprężeń głównych w obiekcie
 E_r - maksymalne naprężenia styczne
 E_P - moduł Younga materiału, z którego wykonany jest badany obiekt
 v_r - liczba Poissona materiału, z którego wykonany jest badany obiekt
 f - współczynnik zwany wartością rzędu izochromy wyznaczany doświadczalnie
 C - współczynnik proporcjonalności odształceń powierzchni badanego obiektu do nakładonej warstwy
 m - rząd izochromy

Z powyższego wzoru wynika, że jedyną zmienną jest rząd izochromy m i aby w danym punkcie wyznaczyć różnicę naprężeń głównych lub maksymalne naprężenia styczne wystarczy dokonać pomiaru rzędu izochromy.

Rząd izochromy jest więc najważniejszym parametrem w analizie rozkładu izochrom. Określa się go poprzez obserwację stopniowo pojawiających się sekwencji powtarzających się po sobie kolorów:

$m = 1$ - kolor czarny (naprężenia zerowe), żółty, czerwony, niebieski
 $m = 2$ - kolor żółty, czerwony, zielony
 dalsze rzędy izochrom są określone po powtarzającej się sekwencji kolorów rzędu $m=2$, przy czym im wyższy rząd izochromy tym kolory są bledsze.

ŚWIATŁO PRZECHODZĄCE

Do wytworzenia obrazu elastoptycznego izochrom w badanym połączeniu śrubowym zastosowano polaryskop transmisyjny (Rys. 1.).

Badany model znajduje się między polaryzatorem a analizatorem. Wbudowane dodatkowo ćwierćfalówki umożliwiają uzyskanie polaryzacji kołowej, a zatem usunięcie z obrazu elastoptycznego izochrom (miejsc geometrycznych punktów stałych kierunków naprężeń głównych), które utrudniają interpretację wyników.

Ponieważ izochromy z definicji są miejscami geometrycznymi punktów stałych różnic naprężeń głównych, tak więc otrzymane obrazy izochrom pozwalają określić rozkład maksymalnych naprężeń stycznych τ_{max} w badanym obszarze modelu na podstawie zależności wynikającej z prawa Wertheima:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = m K_{om}$$

$$m = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{K_{om}} = \frac{1}{K_{om}} (\sigma_1 - \sigma_2)$$

$$(\sigma_1 - \sigma_2) = 2 \tau_{max}$$

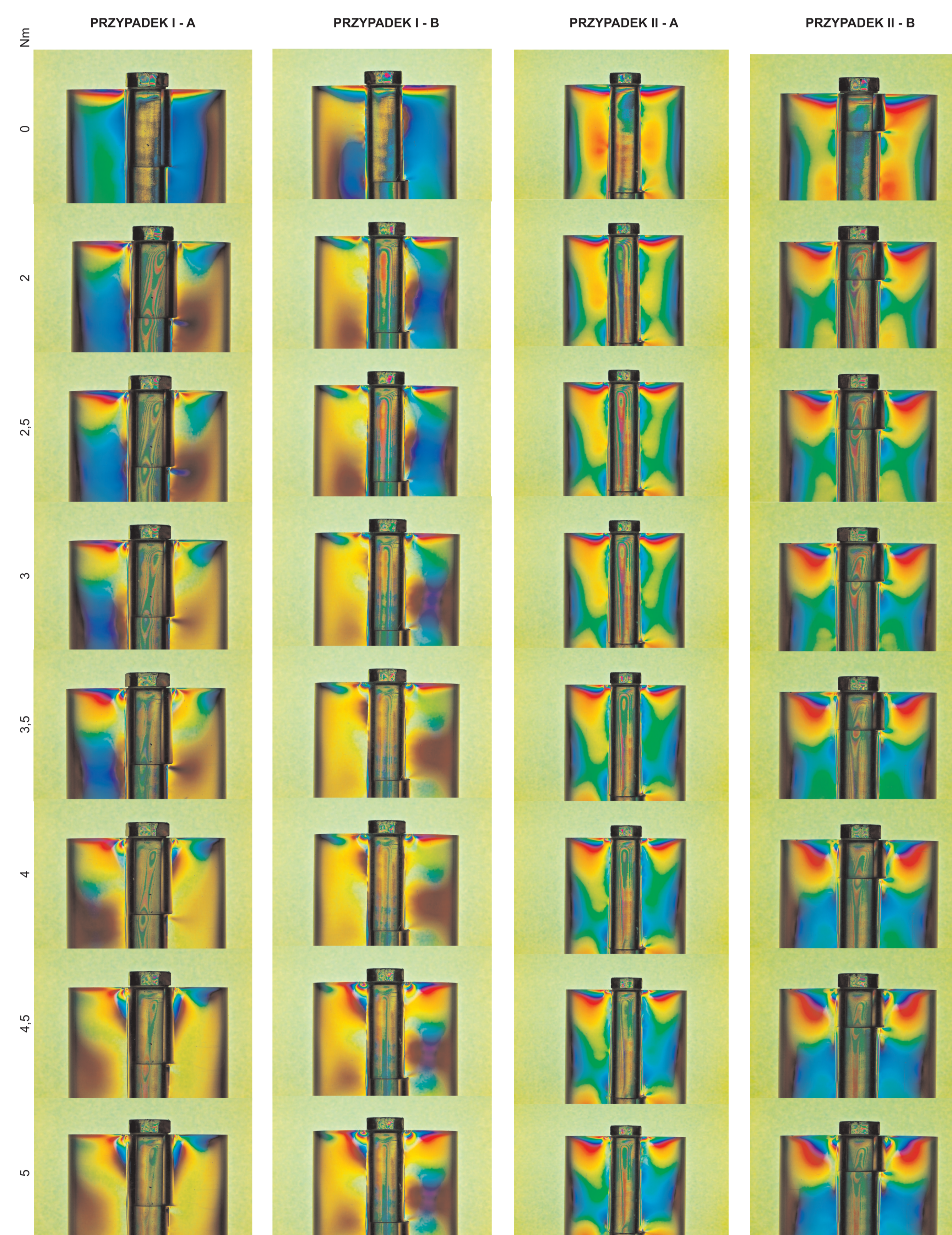
$$m = \frac{2}{K_{om}} \tau_{max} = c \tau_{max}$$

gdzie: m - rząd izochromy określa wartość względnego przesunięcia składowych przechodzącego promienia w proporcji do pełnego kąta fazy równego 2π

$$c = \frac{2}{K_{om}}$$

K_{om} - elastoptyczna stała modelowa, określająca wartość rzędu izochromy w [MPa]

Badanie światłem przechodzącym



Badanie światłem odbitym

