

LAMPY ELEKTRONOWE	NORMA BRANŻOWA	BN-69
	Złącza szkło-metal Elastoptyczna metoda badania naprężeń w złączach cylindrycznych wewnętrznych i płaskich	6856-01
		Zamiast BN-64/3270-01
		Grupa katalogowa VIII 10

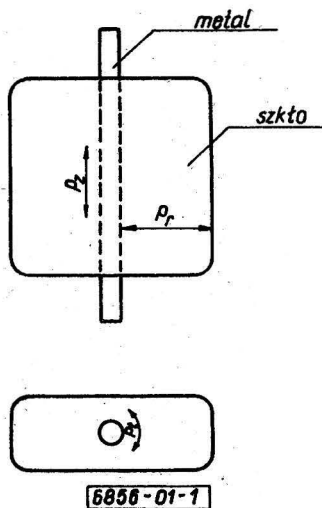
### 1. WSTĘP

**1.1. Przedmiot normy.** Przedmiotem normy jest metoda oznaczania maksymalnych naprężeń wywołanych różnicą współczynników rozszerzalności cieplnej szkła i metalu, występujących w złączach kontrolnych szkło-metal, w próbkach wykonanych zgodnie z niniejszą normą.

**1.2. Zakres stosowania.** Metodę elastoptyczną stosuje się do kontroli różnicy współczynników rozszerzalności szkła i metalu przeznaczonego do złącza szkło-metal.

### 1.3. Określenia

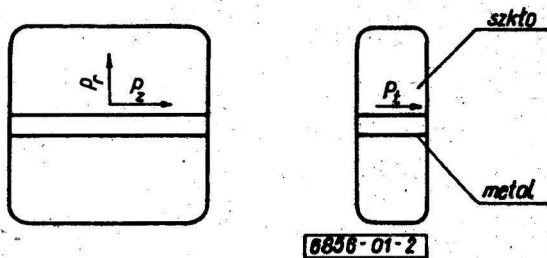
**1.3.1. Złącza cylindryczne wewnętrzne** - złącza, w których szkło otacza cylindryczny element metalowy jak na rys. 1.



Rys. 1

**1.3.2. Składowe główne naprężeń** w złączach cylindrycznych  $P_z, P_r, P_t$  - odpowiednio składowe naprężeń działających w kierunkach: osiowym, radialnym i stycznym (rys. 1).

**1.3.3. Złącza płaskie (czołowe)** - złącza, w których metal i szkło są spojone ze sobą płaszczyznami jak na rys. 2.



Rys. 2

**1.3.4. Składowe główne naprężeń** w złączach płaskich  $P_z, P_r, P_t$  - odpowiednio składowe naprężeń działających w kierunkach: osiowym, radialnym i stycznym (rys. 2).

**1.3.5. Złącze kontrolne** - próbka wykonana ze szkła i metalu zgodnie z niniejszą normą, w postaci złącza cylindrycznego wewnętrznego lub płaskiego do oznaczania wielkości naprężeń w badanym materiale.

**1.3.6. Dwojłomność ( $\Gamma$ )** - zjawisko rozszczepiania się spolaryzowanego promienia świetlnego w ciele anizotropowym optycznie na dwa promienie: zwyczajny i nadzwyczajny. Promienie te są spolaryzowane w płaszczyznach do siebie prostopadłych, mają różne prędkości i współczynniki załamania. Miarą dwojłomności jest różnica dróg optycznych ( $\Delta\lambda$ ) w nanometrach (nm) przypadająca na 1 cm drogi promienia świetlnego w materiale dwojłomnym.

**1.3.7. Różnica dróg optycznych ( $\Delta\lambda$ )** - różnica między drogami optycznymi promieni zwyczajnego i nadzwyczajnego w materiale dwojłomnym. Miarą różnicy dróg optycznych jest iloczyn drogi geometrycznej obu promieni (w nm) i różnicy wartości ich współczynników załamania.

**1.3.8. Dwojłomność wymuszona w szkłe** - dwojłomność wywołana naprężeniami w szkłe.

Przemysłowy Instytut Elektroniki  
Ustanowiona przez Dyrektora Zjednoczenia Przemysłu Elektronicznego i Teletechnicznego „Unitra” dnia 3 lutego 1969 r.  
jako norma obowiązująca w zakresie metod badań od dnia 1 października 1969 r.  
(Mon. Pol. nr 15/1969 poz. 122 )

### 1.3.9. Pozostałe określenia - wg PN-67/S-13065.

### 1.4. Normy związane

PN-67/S-13065 Szkło i wyroby szklane. Badanie naprężeń

## 2. METODA BADANIA

**2.1. Zasada badania.** Pomiar naprężeń w złączach kontrolnych jest oparty na zasadzie pomiaru dwójłomności wymuszonej w szkłe. Wielkość dwójłomności ( $\Gamma$ ) w szkłe jest proporcjonalna do wielkości działających naprężeń i stałej elastoptycznej ( $\beta$ )

$$\Gamma = P \cdot \beta \quad (1)$$

gdzie:

$\Gamma$  - dwójłomność, nm/cm,

$P$  - naprężenia, kg/cm<sup>2</sup>,

$\beta$  - stała elastoptyczna,  $\frac{\text{nm} \cdot \text{cm}^2}{\text{cm} \cdot \text{kg}}$

Miarą dwójłomności w złączu kontrolnym jest maksymalna różnica dróg optycznych występująca w złączu odniesiona do długości drogi promienia świetlnego w złączu

$$\Gamma = \frac{\Delta \lambda}{d} \quad (2)$$

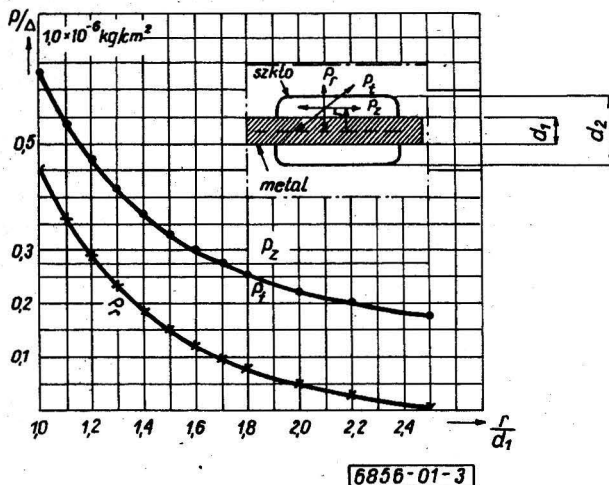
gdzie:

$\Delta \lambda$  - różnica dróg optycznych,

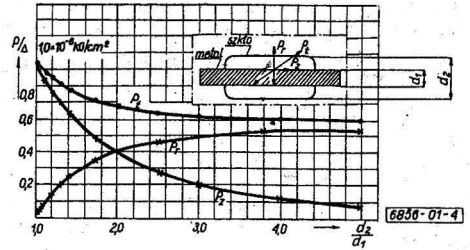
$d$  - droga promienia świetlnego w złączu kontrolnym, cm.

Różnicę dróg optycznych w złączu kontrolnym cylindrycznym mierzy się w 2 kierunkach: osiowym i radialnym. Składową główną naprężeń  $P_z$  oblicza się ze zmierzonej różnicy dróg optycznych w kierunku prostopadłym do osi, a składowe główne naprężeń  $P_r$  i  $P_t$  oblicza się ze zmierzonej sumy różnicy dróg optycznych wzdłuż osi.

Wielkość naprężeń w złączach cylindrycznych wewnętrznych zależy między innymi od wielkości stosunku średnicy grubości szkła i średnicy drutu, a także od średnicy drutu. Zależność ta jest pokazana na rys. 3, natomiast rozkład naprężeń w złączu cylindrycznym pokazano na rys. 4.



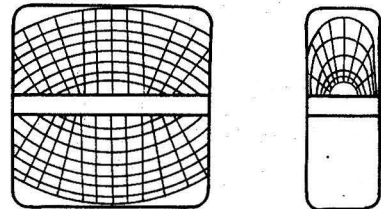
Rys. 3. Rozkład i wielkość naprężeń ( $P_z, P_r, P_t$ ) w złączu cylindrycznym wewnętrznym wzdłuż promienia złącza ( $P_r$  - ma znak przeciwny niż  $P_t$  i  $P_z$ ,  $\Delta = (\alpha \text{ szkła} - \alpha \text{ metalu}) (t - t_0)$ )



Rys. 4. Naprężenia w złączu cylindrycznym wewnętrznym na jednostkę różnicy rozszerzalności  $\Delta$  między metalem i szkłem  $\Delta = (\alpha \text{ szkła} - \alpha \text{ metalu}) (t - t_0)$  jako funkcja stosunku  $d_2/d_1$ , średnicy szkła do średnicy metalu ( $P_r$  ma znak przeciwny niż  $P_z$  i  $P_t$ )

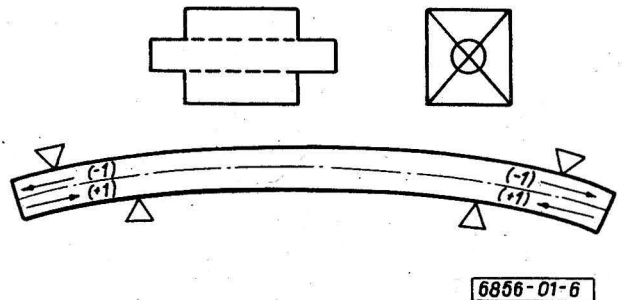
Różnicę dróg optycznych w złączu płaskim kontrolnym mierzy się w kierunku radialnym. Ze zmierzonej różnicy dróg optycznych oblicza się sumę składowych głównych naprężeń  $P = P_r + P_t$ .

Schematyczny rozkład naprężeń w złączu płaskim pokazano na rys. 5. Wielkość naprężeń w złączu płaskim zależy między innymi od grubości taśmy.



Rys. 5

Oznaczenie znaku naprężeń przeprowadza się za pomocą odprężonego pręta szklanego o średnicy  $3 \div 5$  mm. Naprężenia rozciągające oznacza się znakiem minus, natomiast ściskające - znakiem plus. Pręt szklany umieścić w polu widzenia polaryskopu, równoległe do linii badanego złącza, tak aby promień świetlny biegł prostopadle do jego osi (patrz rys. 6), i wygiąć.



Rys. 6

Po stronie zewnętrznej łuku pręta powstają naprężenia rozciągające, po stronie wewnętrznej (wewnętrznej) - ściskające. Porównać barwy zginanego pręta z barwą próbki złącza kontrolnego.

Jeżeli w badanym złączu barwa jest taka sama jak po stronie zewnętrznej łuku pręta, to naprężenia są rozciągające (-), jeśli takie jak po stronie wewnętrznej - to ściskające (+).

Zależność rozkładu naprężeń od współczynników rozszerzalności liniowej stapianych z sobą materiałów podano w tablicy.

Tablica 1

Zależność współczynników $\alpha$	Złącza cylindryczne wewnętrzne		Złącza płaskie	
	Kierunek obserwacji			
	równoległy do osi złącza ( $P_r + P_t$ )	prostopadły do osi złącza ( $P_z$ )	wzdłuż taśmy ( $P_r + P_t$ )	w poprzek taśmy ( $P_r + P_t$ )
$\alpha_{szkła} > \alpha_{metal}$	ściskające	rozciągające	rozciągające	rozciągające
$\alpha_{szkła} < \alpha_{metal}$	rozciągające	ściskające	ściskające	ściskające

Oznaczanie różnicy dróg optycznych metodą porównawczą polega na porównaniu barw interferencyjnych obserwowanych w badanej próbce i w płytce wzorcowej w przyrządzie polaryzacyjnym.

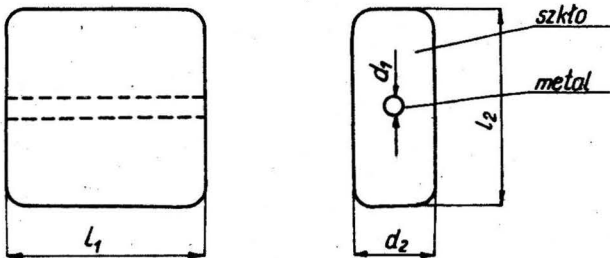
## 2.2. Przygotowanie próbek

### 2.2.1. Aparatura i sprzęt

- Piec laboratoryjny do odprężania złącz kontrolnych.
- Palnik szklarski gazowo-tlenowy.
- Szczypce szklarskie płaskie o regulowanym rozstawie zacisków.
- Przyrząd do mierzenia grubości złącza kontrolnego, np. mikrometr.

### 2.2.2. Kształt i wymiary próbek

**2.2.2.1. Złącza kontrolne cylindryczne wewnętrzne.** Kontrolne złącze cylindryczne powinno mieć kształt podany na rys. 7.



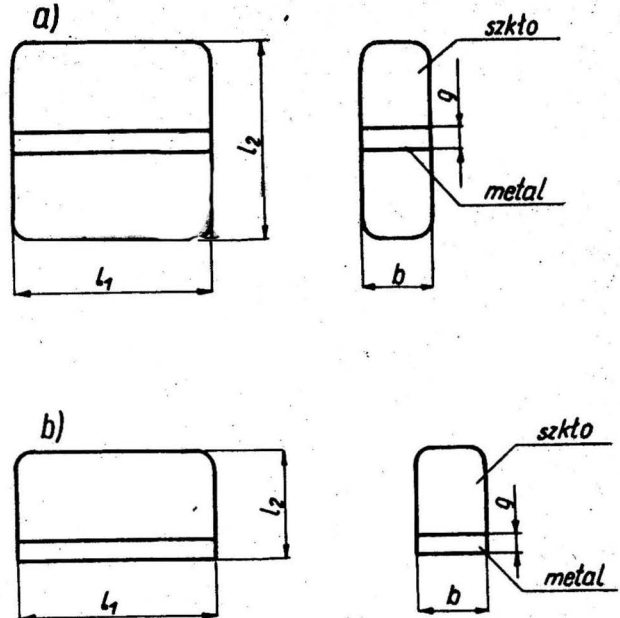
6856-01-7

Rys. 7. Kontrolne złącze cylindryczne:

$d_1$  - średnica drutu kontrolowanego,  $d_2$  - grubość naszklenia;  $d_2$  powinna wynosić  $4 \cdot d_1$ ,  $l_1$  - długość złącza, min 15 mm,  $l_2$  - szerokość złącza, min 15 mm

Równoległość płaszczyzn, przez które dokonuje się obserwacji w świetle spolaryzowanym, powinna być zachowana z dokładnością do  $5^\circ$ . Prostopadłość drutu do płaszczyzny, przez które dokonuje się pomiaru naprężeń radialnych, powinna być również zachowana z dokładnością do  $5^\circ$ .

**2.2.2.2. Złącza kontrolne płaskie.** Kontrolne złącza płaskie na blasze o grubości do 0,7 mm powinny być dwustronne i powinny mieć kształt podany na rys. 8 a). Kontrolne złącze na blasze o grubości 0,7 mm i większej powinno być jednostronne i mieć kształt podany na rys. 8 b).



6856-01-8

Rys. 8. Kontrolne złącza płaskie:

$g$  - grubość taśmy kontrolowanej,  $b$  - szerokość naszklenia; powinna być równa szerokości taśmy i powinna zawierać się w granicach  $5 \div 7$  mm,  $l_1$  - długość złącza, powinna wynosić min 15 mm,  $l_2$  - wysokość próbki, powinna wynosić min 15 mm

Równoległość płaszczyzn, przez które dokonuje się obserwacji w świetle spolaryzowanym, powinna być zachowana z dokładnością do  $5^\circ$ .

Prostopadłość blachy do powierzchni, przez którą dokonuje się obserwacji, powinna być również zachowana z dokładnością do  $5^\circ$ .

**2.2.3. Przygotowanie metalu.** Metale przeznaczone do wykonania złącz powinny być uprzednio myte, trawione, wyżarzone i odgazowane. Operacje te powinny być przeprowadzone zgodnie z warunkami technicznymi lub normami dotyczącymi obróbki termicznej i chemicznej dla danego metalu.

**2.2.4. Przygotowanie szkła do wykonania złącza.** Szkło do złącz powinno być czyste, nie powinno zawierać kapilar, kamieni, pęcherzy, smug i innych niejednorodności. Szkło przed wykonaniem złącz powinno być dokładnie odtłuszczone.

**2.2.5. Wykonanie próbek.** W płomieniu palnika szklarskiego należy wykonać złącza kontrolne cylindryczne wewnętrzne o kształcie i wymiarach podanych w 2.2.2.1, natomiast złącza kontrolne płaskie - wg 2.2.2.2. Szkło w złączu powinno być przezroczyste, bez barwnych smug, pęcherzy i zmeńnięć.

Powierzchnie złącz, przez które dokonuje się obserwacji w świetle spolaryzowanym (patrz rys. 910), powinny być gładkie, bez wgłębień i rys. W tym celu próbki należy szlifować i polerować. Zamiast polerowania próbek dopuszcza się zastosowanie cieczy immersyjnej. Zestaw cieczy immersyjnych podano w PN-67/S-13065. Należy wykonać co najmniej 3 sztuki złącz kontrolnych z tych samych materiałów. Następnie próbki należy odprężyć zgodnie z 2.2.6.

**2.2.6. Odprężenie próbek.** Próbkę umieścić w piecu elektrycznym i podgrzać je do górnej temperatury odprężania użytego szkła. W tej temperaturze przetrzymać próbki przez 15 min, następnie studzić w piecu z szybkością  $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$  do temperatury  $50 \div 100^{\circ}\text{C}$  niższej niż dolna temperatura odprężania szkła użytego do badań. Dalsze studzenie może być szybsze, lecz nie powinno przebiegać z szybkością większą niż  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ .

**2.2.7. Obraz naprężeń w złączu odprężonym prawidłowo.** W złączu odprężonym prawidłowo maksymalne naprężenie (wysokość barw interferencyjnych) jest największe w środku długości złącza tuż przy powierzchni granicznej szkła z metalem. Przy obserwacji wzdłuż osi (dla złącz cylindrycznych) barwy tworzą regularny "krzyżyk", nie zmieniający wyglądu w czasie obrotu złącza wokół osi drutu, jeżeli oś ta jest zgodna z osią optyczną przyrządu. Poza polem naprężeń wokół (wzdłuż) złącza - szkło w próbce nie powinno wykazywać dodatkowych naprężeń zarówno termicznych, jak i spowodowanych niejednorodnością szkła.

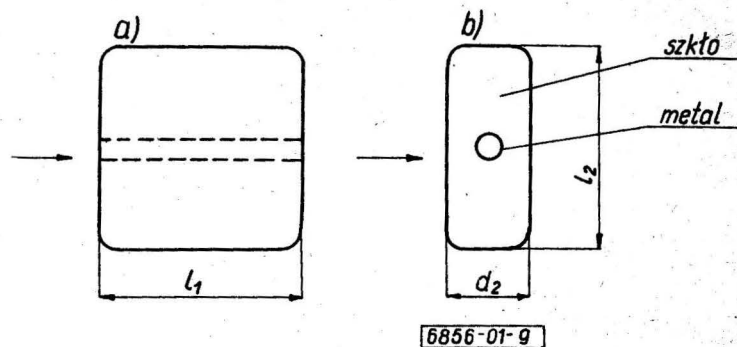
### 2.3. Wykonanie pomiaru

#### 2.3.1. Aparatura i sprzęt

a) Polaryskop, o wykrywalności różnicy dróg optycznych co najmniej od 10 nm, o jednorodnym polu widzenia. Kontrola wykrywalności różnicy dróg optycznych - wg PN-67/S-13065.

b) Komplet płytek wzorcowych naprężeń, których wartości różnicy dróg optycznych pomiędzy kolejnymi płytkami różnią się co najwyżej o 20 nm w zakresie  $20 \div 150$  nm, z dokładnością oznaczania min  $\pm 5$  nm. W przypadkach spornych oznaczać  $\Delta\lambda$  za pomocą kompensatora.

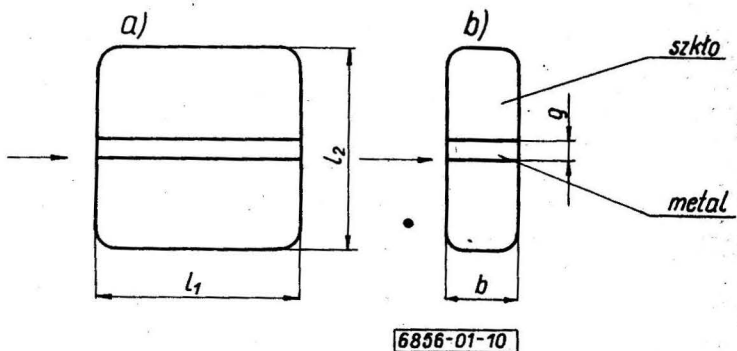
**2.3.2. Ustawienie do pomiaru złącza kontrolnego i płytek wzorcowych w polaryskopie.** Badane złącza kontrolne z płytkami wzorcowymi umieścić w polu widzenia polaryskopu tak, aby linie spojeń płytek wzorcowych były równoległe do linii badanego złącza kontrolnego. Płytki wzorcowe i złącza kontrolne powinny być tak ustawione w polu polaryskopu, aby obserwowane barwy były symetrycznie rozłożone po obu stronach linii ich złącz. Ustawienie to powinno odpowiadać maksymalnemu natężeniu barwy obserwowanej w danych płytkach w polaryskopie, tj. w środku długości złącza. Nastawienie złącz kontrolnych względem biegu promienia świetlnego w polaryskopie pokazano na rys. 9 ÷ 11.



Rys. 9.

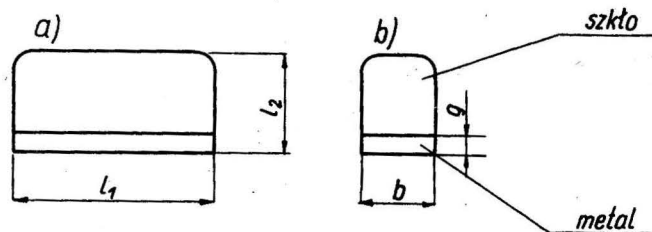
a) przedstawia ułożenie próbki w polu widzenia polaryskopu do pomiaru sumy składowych głównych naprężeń ( $P_r + P_t$ ) w kierunku radialnym w złączu cylindrycznym wewnętrznym

b) przedstawia ułożenie próbki w polu widzenia polaryskopu do pomiaru głównej składowej naprężeń  $P_z$  w kierunku osi w złączu cylindrycznym wewnętrznym



Rys. 10.

a) i b) przedstawiają ułożenie próbki w polu widzenia polaryskopu do pomiaru sumy składowych naprężeń ( $P_r + P_t$ ) w kierunku radialnym w złączu płaskim dwustronnym



Rys. 11.

a) i b) przedstawiają ułożenie próbki w polu widzenia polaryskopu do pomiaru sumy składowych głównych naprężeń ( $P_r + P_t$ ) w kierunku radialnym w złączu płaskim jednostronnym

**2.3.3. Pomiar różnicy dróg optycznych w złączu kontrolnym.** Pomiar różnicy dróg optycznych wykonuje się przez porównanie barwy złącza kontrolnego z wzorcami różnicy dróg optycznych w polu widzenia polaryskopu.

Jeżeli barwa szkła przy powierzchni metalu w środku długości złącza kontrolnego odpowiada bar-

wie jednej z płytek wzorcowych, to przyjmuje się, że wartość różnicy dróg optycznych w badanym złączu jest taka sama jak w danej płytce wzorcowej.

Jeżeli obserwowane w polaryskopie barwy badanego złącza są zawarte pomiędzy barwami dwóch kolejnych płytek wzorcowych, to za różnicę dróg badanego złącza przyjmuje się wartość pośrednią między tymi płytkami wzorcowymi.

2.3.4. Pomiar drogi promienia świetlnego w złączu. Pomiar drogi promienia świetlnego  $d$  w złączu kontrolnym należy mierzyć z dokładnością do 0,05 mm

W złączu kontrolnym cylindrycznym wewnętrznym przy pomiarze różnicy dróg optycznych w kierunku radialnym droga promienia świetlnego  $d$  jest równa długości naszklenia  $l_1$ , tak jak to pokazano na rys. 5, natomiast przy pomiarze dróg optycznych w kierunku osi złącza droga promienia świetlnego jest równa grubości naszklenia  $d_2$ .

W złączu kontrolnym płaskim przy pomiarze różnicy dróg optycznych w kierunku radialnym droga promienia świetlnego  $d$  jest równa grubości naszklenia  $l_1$  w przypadku ustawienia próbki jak na rys. 6 a), natomiast przy ustawieniu próbki jak na rys. 6 b), droga promienia świetlnego jest równa szerokości naszkłonej taśmy.

#### 2.4. Obliczanie wyników pomiarów

2.4.1. Obliczanie wyników pomiarów w złączach cylindrycznych wewnętrznym. Składową główną naprężeń  $P_z$  mierzona jako różnicę dróg optycznych w kierunku osi złącza cylindrycznego należy obliczać wg wzoru

$$P_z = \frac{\Delta\lambda}{\beta \cdot d_2} = \frac{\Gamma}{\beta} \quad (3)$$

w którym:

- $P_z$  - składowa główna naprężeń w kierunku osi złącza,  $\text{kg/cm}^2$ ,
- $\Gamma$  - dwójłomność,  $\text{nm/cm}$ ,
- $\Delta\lambda$  - różnica dróg optycznych mierzona w kierunku osi złącza,  $\text{nm}$ ,
- $\beta$  - stała elastoptyczna szkła użytego do wykonania złącza kontrolnego,  $\text{br}$ ,
- $d_2$  - droga promienia świetlnego,  $\text{cm}$ .

Sumę składowych głównych naprężeń ( $P_r + P_t$ ) mierzona jako różnicę dróg optycznych w kierunku ra-

dialnym złącza cylindrycznego należy obliczać wg wzoru

$$\Sigma P = P_r - P_t = \frac{\Gamma_r - \Gamma_t}{\beta} = \frac{\Delta\lambda_r - \Delta\lambda_t}{\beta l_1} \quad (4)$$

w którym:

- $\Sigma P |P_r| + |P_t|$  - suma składowych głównych naprężeń,  $\text{kg/cm}^2$ ,
- $|\Gamma_r| + |\Gamma_t|$  - suma dwójłomności,  $\text{nm/cm}$ ,
- $|\Delta\lambda_r| + |\Delta\lambda_t|$  - suma różnicy dróg optycznych,  $\text{nm}$ ,
- $l_1$  - długość drogi promienia świetlnego,  $\text{cm}$ ,
- $\beta$  - stała elastoptyczna szkła użytego do wykonania złącza kontrolnego,  $\text{br}$ .

Składową główną naprężeń  $P_r$  oraz składową  $P_t$  należy obliczać wg następujących wzorów:

$$P_r = \frac{P}{2} \left[ 1 + \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^2 \right] \quad (5)$$

$$-P_t = \frac{P}{2} \left[ 1 - \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^2 \right] \quad (6)$$

2.4.2. Obliczanie wyników pomiarów w złączach kontrolnych płaskich (jednostronnych i dwustronnych). W złączach kontrolnych płaskich sumę składowych naprężeń głównych ( $P_r + P_t$ ) należy obliczać ze zmierzonej różnicy dróg optycznych w kierunku radialnym oraz z długości drogi promienia świetlnego w kierunku radialnym w badanym złączu, wg wzoru:

$$\Sigma P = P_r + P_t = \frac{\Delta\lambda}{\beta \cdot l_1} \quad (7)$$

lub

$$\Sigma P = P_r + P_t = \frac{\Delta\lambda}{\beta \cdot b} \quad (8)$$

gdzie:

- $P$  - suma składowych naprężeń głównych ( $P_r + P_t$ ),  $\text{kg/cm}^2$ ,
- $\Delta\lambda$  - różnica dróg optycznych,  $\text{nm}$ ,
- $l_1$  - droga promienia świetlnego przy ustawieniu złącza do pomiaru jak na rys. 6 a),  $\text{cm}$ ,
- $b$  - droga promienia świetlnego przy ustawieniu złącza do pomiaru jak na rys. 6 b),  $\text{cm}$ ,
- $\beta$  - stała elastoptyczna szkła użytego do wykonania złącza kontrolnego,  $\text{br}$ .

K O N I E C

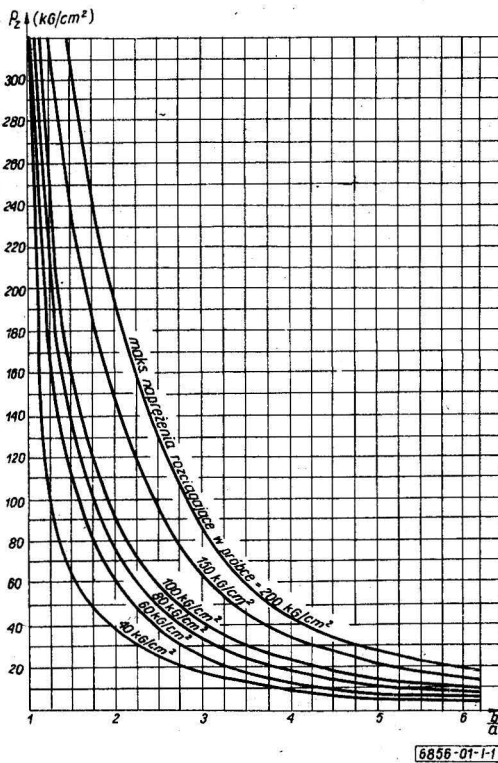
Informacje dodatkowe

1. Zestawienie wartości stałych elastoptycznych ( $\beta$ ) oraz górnych temperatur odpreężania szkła krajowych stosowanych w przemyśle lampowym

Lp.	Rodzaj szkła	Oznaczenie wg BN-67/6855-05	Oznaczenie stare oraz oznaczenie szkła nie objętych BN-67/6855-05	Zastosowanie	Stała elastoptyczna br	Górna temperatura odpreężania wg BN-67/6855-05 °C
1	Borokrzemowe	-	Termisil	aparaturowe laboratoryjne	3,2	-
2	Borokrzemowe	SL-411	SL-41.1	do złącz z wolframem	3,5	535
3	Boro-glinowo-krzemowe	-	Sylvit	aparaturowe laboratoryjne	3,3	-
4	Borokrzemowe	SL-52.1	S049K	do złącz z molibdenem	3,8	465
5	Borokrzemowe	SL-53.1	S049Na	do złącz z FeNiCo	3,6	485
6	Borokrzemowe	SL-56.1	K50 a	do złącz z FeNiCo	3,5	480
7	Sodowo-wapniowe	SL-95.1	SL-951	do złącz z FeNi42Cu	2,6	515
8	Sodowo-wapniowe	SL-98.1	SK-90	do złącz z FeCr26	2,6	490
9	Sodowo-wapniowe	SL-101.2	W	balonikowe	2,6	480
10	Ołowiowe	SL-94.1	O	do złącz z FeNi42Cu oraz FeCr25	3,0	430
11	Litowo-barowe	SL-94.2	SL-891	do złącz z FeNiCr25	2,6	425

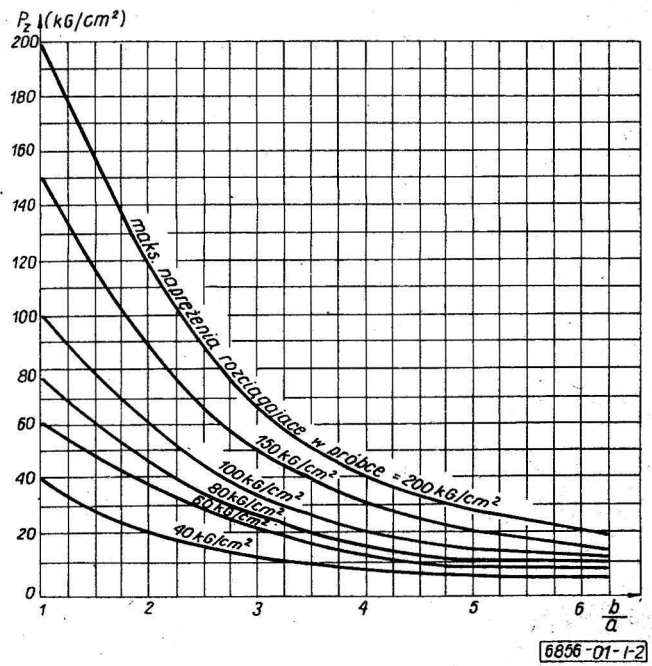
2. Wykresy do wyznaczania maksymalnych naprężeń w złączach cylindrycznych szkło-metal w zależności od stosunku średnic szkła i metalu, jeśli naprężenia mierzone jako składowa główna naprężeń  $P_z$  są ściskające (rys. I-1) i rozciągające (rys. I-2). Krzywe maksymalnych dopuszczalnych wartości naprężeń w złączu cylindrycznym opracowano na podstawie rozkładu naprężeń (patrz rys. 3 i 4).

Za pomocą tych krzywych można ustalić dopuszczalne wartości naprężeń istniejących w szkłe na powierzchni w złączu szkło-metal, dla głównej składowej naprężeń  $P_z$ .



6856-01-I-1

Rys. I-1. Krzywe do wyznaczania maksymalnych naprężeń w złączach cylindrycznych szkło-metal w zależności od stosunku średnic szkła i metalu  $d_2/d_1$ , jeśli naprężenia  $P_z$  są ściskające



6856-01-I-2

Rys. I-2. Krzywe do wyznaczania maksymalnych naprężeń w złączach cylindrycznych szkło-metal w zależności od stosunku średnic szkła i metalu  $d_2/d_1$ , jeśli naprężenia  $P_z$  są rozciągające