

Analizator elektrostatyczny - stanowi on radialne pole elektryczne. Wykonany jest z dwóch odpowiednio współosiowych wycinków cylindrów o promieniach 495 mm i 505 mm, kącie rozwarcia  $50^\circ$  i wysokości 100 mm. Umieszczone są one względem siebie w odległości 10 mm na płycie metalowej, izolowane podkładkami z teflonu, z możliwością regulacji ustawienia za pomocą urządzenia klinowego.

Elektromagnes - kąt rozwarcia nabiegowników  $\psi_{\dots} = 70^\circ$ , kąt wejścia wiązki jonowej w pole magnetyczne  $\epsilon' = 15^\circ$ , kąt wyjścia  $\epsilon'' = -15^\circ$ , a promień krzywizny toru  $r_m = 187$  mm. Maksymalne pole wynosi 7000 Gs. Zakres pomiarów do 200 jednostek masowych.

Elektromagnes zasilany jest z baterii akumulatorów lub z prądnicy prądu stałego o napięciu 110 V.

Układ mierzący - układ ten składa się ze szczeliny, siatki antydynatronowej oraz z kolektora /puszka Faradaya/, połączonego z elektrometrem wibracyjnym "Uniwell" i samopisem.

Układ pompujący - układ ten składa się z dwóch pomp olejowych PDO 250 oraz pompy PDO 120 z wymrażarkami chłodzonymi dwutlenkiem węgla.

#### Literatura

1. Hintenberger H., König L.A.: Zeitschr. Naturforsch. 12a, 773, 1957.
2. Angerer E., Ebert H.: Technika eksperymentu fizycznego, rozdz. 6. PWN Warszawa, 1964.
3. Ardenne M.: Tabellen zur Angewandten Physik. Band I, II. VEB DVW, Berlin 1962.
4. Lis J., Mielnik J.: Widmo energetyczne jonów uzyskanych z wyładowania jorzeniowego z cylindryczną katodą. Annales U.M.C.S. XVII 3. 1962.
5. Brunné - Voshage: Massenspektrometrie. Verlag Karl Thiernig, München 1963.
6. Hughes A.L. and Rojansky V.: On the analysis of electronic velocities by electrostatic means. Phys. Rev. 34, 284, 1929.
7. Davis W., Vanderslice T.: Ion energies at the Cathode of a glow discharge. Phys. Rev. 131, 219, 1963.
8. Żuk W.: Spektrometria masowa. PWN Warszawa, 1956.
9. Ogata K., Matsudo T.: Preliminary Report on a large mass spectrograph newly constructed at Osaka University. Zeitschr. Naturforsch. 10a, 8439, 1955.
10. Beske H.E.: Ein doppelfokussierender Massenspektrograph nach Matauch - Herzog zur Spurenanalyse von Fest-Körpern. Zeitschr. Angew. Phys. 14, 30, 1962.
11. Silverstein R.M., Bossler G.C.: Spektroskopowe metody identyfikacji związków organicznych. PWN Warszawa, 1970.
12. Rasiński A.: Widmo energetyczne promieni kanalikowych. Praca magisterska UMCS 1966.

Władysław WŁOSIŃSKI  
ONPMP

## Pomiary i badania rozkładu temperatur i naprężeń w złączach ceramika-metal

Pomiary rozkładu temperatur i obliczanie naprężeń w złączach ceramika-metal stanowią próbę znalezienia wielkości naprężeń cieplnych występujących w warunkach sprawdzania odporności złącz na tzw. szoki temperaturowe. Wielkość i ilość szoków temperaturowych, jakim są poddawane obudowy i złącza ceramika-metal, zależne są od przyszłych warunków eksploatacyjnych, dla których wyroby te są przez-

naczone. Szoki temperaturowe są jednak zawsze ostrzejsze od zmian temperatury występujących w czasie eksploatacji obudów i złącz. Wielkość naprężeń cieplnych występujących w czasie szoków temperaturowych winna być nieznacznie wyższa od naprężeń występujących w normalnych warunkach eksploatacyjnych.

W obecnie produkowanych obudowach i złączach najszerszym stosowanym zakresem temperatur dla sprawdzenia odporności na szoki temperaturowe jest zakres od  $-65^{\circ}\text{C}$  do  $+200^{\circ}\text{C}$ .

Wytrzymałość złącz ceramiki z metalem jest jedną z najważniejszych własności. Od wytrzymałości złącza zależy, w jakich warunkach temperaturowych i przy jakich obciążeniach mechanicznych dane złącze może pracować.

Na wytrzymałość złącza ma wpływ wiele czynników. Do zasadniczych należy zaliczyć: wymiary złącza, różnice we współczynnikach rozszerzalności dobrej pary materiałów, grubość i jakość spieczenia metalizowanych warstw pośrednich, własności wytrzymałościowe zastosowanej ceramiki i jakość obciążeń cieplnych itd. Zagadnieniu temu poświęca się sporo miejsca w literaturze technicznej.

Istnieje bardzo rozległa literatura [1,2,3] omawiająca teoretyczne podstawy naprężeń cieplnych występujących pod wpływem cyklicznych zmian temperatury oraz przy różnych obciążeniach. W literaturze technicznej zaczynają pojawiać się prace bardziej szczegółowe [4, 5 i 6], omawiające wpływ warunków podgrzewania i studzenia na wielkość naprężeń oraz znaczenie rozwiązań konstrukcyjnych złącz na naprężenia w nich występujące.

Celem tego opracowania jest zbadanie wpływu jedynie cyklicznego grzania i studzenia na wielkość naprężeń, przy założeniu pozostałych wielkości stałych. W pracy niniejszej do pomiarów rozkładu temperatur i obliczania naprężeń przyjęto obudowy do diod mocy poddawane standardowym zmianom temperatur od  $-60^{\circ}\text{C}$  do  $+200^{\circ}\text{C}$ .

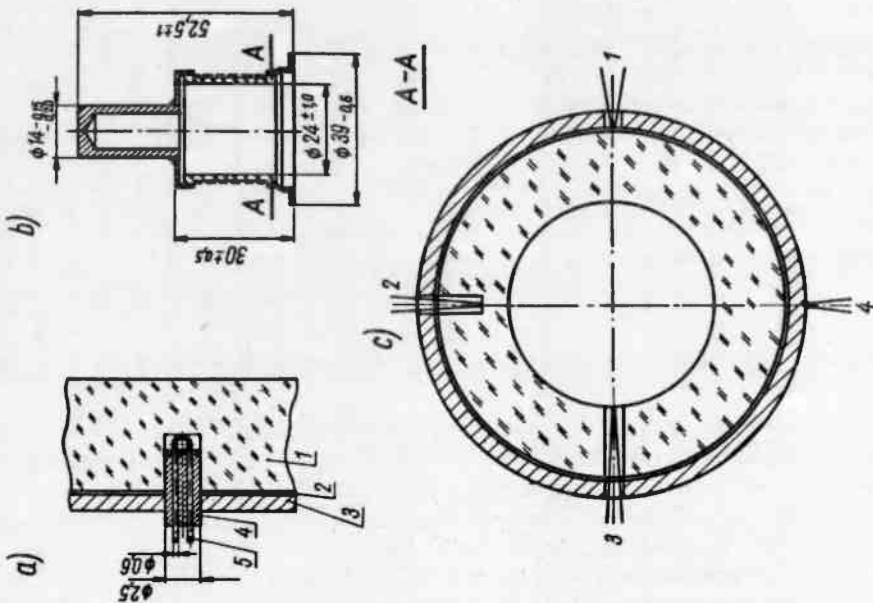
Do obliczeń naprężeń przyjęto:

- przebieg temperatury w obudowie jest osiowo symetryczny i nie zależy od współrzędnej Z w kierunku osiowym;
- naprężenia promieniowe równają się zeru;
- grzanie i studzenie odbywa się, gdy badana obudowa znajduje się w pozycji stojącej, co odpowiada rzeczywistym warunkom pracy;
- różnice współczynników rozszerzalności liniowej rozpatrywanej pary materiałów /ceramika alundowa i kowar/ w zakresie temperatur  $-60^{\circ}\text{C}$  do  $+200^{\circ}\text{C}$  są bardzo małe i mogą być pominięte;
- moduł sprężystości Younga i współczynnik Poissona przyjęto jako stałe w rozpatrywanym zakresie temperatur.

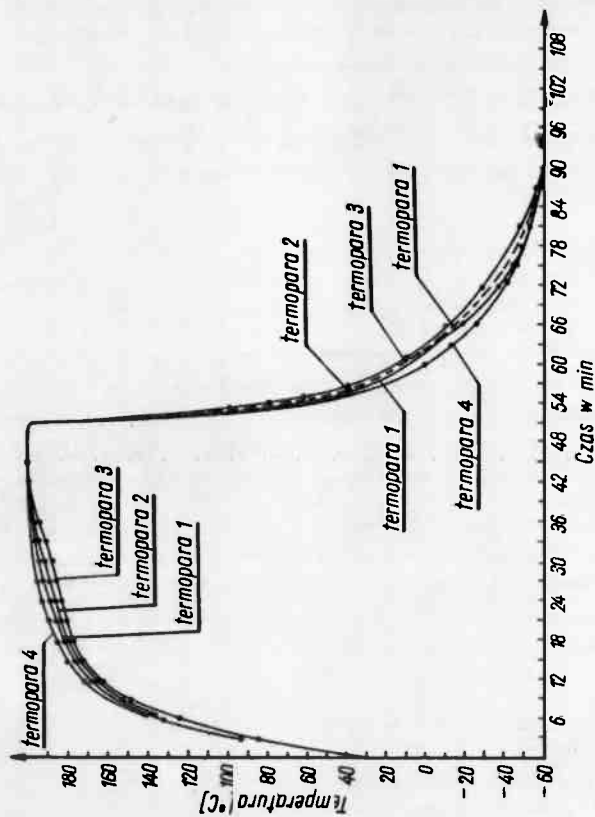
## POMIARY ROZKŁADU TEMPERATUR

Pomiary dokonane były przy pomocy mikrotermopar CuNi wmontowanych w ścianki obudowy, zgodnie z rys. 1. Mikrotermopary były umieszczone na czterech różnych głębokościach, tzn. na zewnętrznej powierzchni pierścienia kowarowego, w miejscu złącza, na 1/2 grubości ścianki kształtki ceramicznej i na wewnętrznej średnicy kształtki ceramicznej. Mikrotermopary były izolowane rurkami alundowymi wciskany w przygotowane otwory w obudowie. Zmiany temperatury dla poszczególnych mikrotermopar były rejestrowane na rejestratorze.

Rys. 1. Badana obudowa diody i rozstawienie termopar. a/ Zamocowanie termopar. 1 - kształtka alundowa, 2 - warstwa metalizacji twardej, 3 - pierścien kowarowy, 4 - rurka izolacyjna, 5 - termopara. b/ Obudowa do diody mocy. c/ Schemat rozstawienia termopar. 1, 2, 3, 4 - mikrotermopary



Rys. 2. Zmiany temperatury w obudowie ceramiczno-metalowej w czasie jednego cyklu grzania i ostyżania



Cykl temperaturowy realizowany był w ten sposób, że obudowę z mikrotermoparami wkładano do pieca o temperaturze 200°C i po upływie 51 min. przenoszono ją do zasobnika zimna o temperaturze -60°C, ustawiając każdorazowo obudowę w pozycji pionowej do urządzenia.

Wyniki z pomiarów temperatur w czasie jednego pełnego cyklu grzania i oziębiania zestawione są na rys. 2.

### OBLICZANIE NAPRĘŻEN

W czasie cyklicznego ogrzewania i oziębiania występują różne zmiany temperatur na powierzchniach obudowy i w złączu /rys. 2/. Wykorzystując te różnice temperatur oraz zakładając niezmiennosc stałych E i V obliczono wielkość naprężeń cieplnych w czasie trwania jednego cyklu w miejscu złącza ceramiki z metalem. Obliczenia wykonano posługując się następującym wzorem:

$$\sigma_{\theta} = \frac{\alpha E}{1-\nu} \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \frac{r^2 - a^2}{b^2 - a^2} \int_a^b Tr dr + \frac{\alpha E}{1-\nu} \cdot \frac{1}{r^2} \int_a^r Tr dr +$$

$$- \frac{\alpha E}{1-\nu} \cdot \frac{1}{r^2} \cdot Tr^2$$

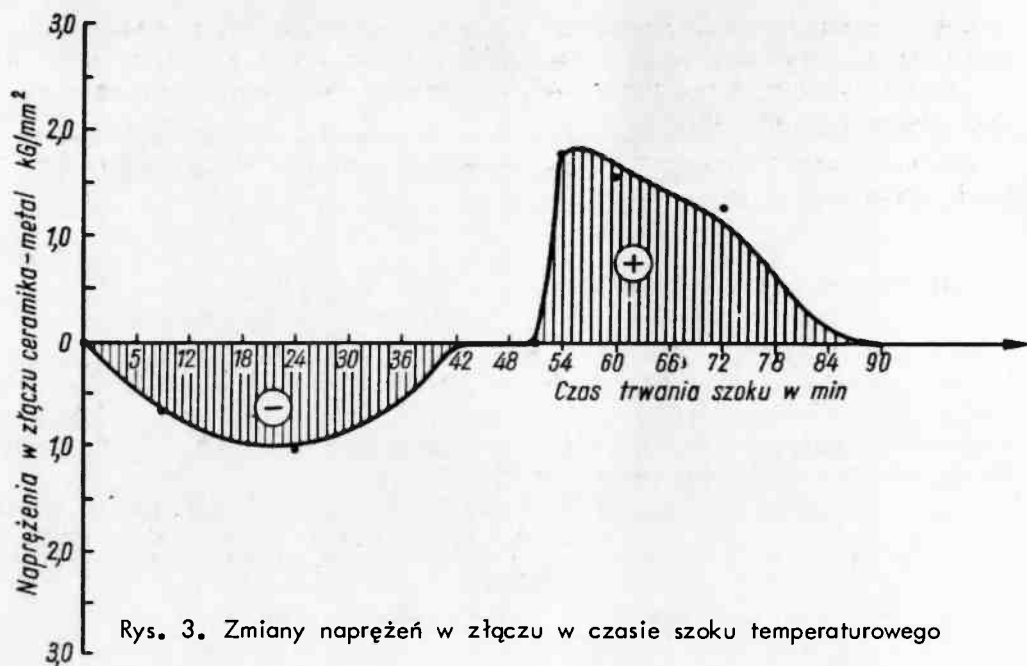
- gdzie:  $\alpha$  - współczynnik rozszerzalności liniowej ( $\alpha_{\text{ceramika}} = \alpha_{\text{kovgru}}$ )  $1/^\circ\text{C}$ ,  
 E - moduł sprężystości Younga równy 24000 kG/mm<sup>2</sup> / 235344 MN/m<sup>2</sup> /,  
 V - współczynnik Poissona równy 0,25,  
 a - promień wewnętrzny obudowy równy 11,5 mm,  
 b - promień zewnętrzny obudowy równy 15,5 mm,  
 r - promień warstwy pośredniej złączowej równy 15,2 mm,  
 T - temperatury w  $^\circ\text{C}$ .

Wyrażenia podcałkowe obliczono planimetrycznie. W tym celu wykreślono zależność temperatury dla różnych promieni i dla różnych czasów, a następnie z wykresu tego wyznaczono funkcję podcałkową Tr przy różnych czasach T. Wyrażenie Tr w funkcji grubości ścianki umożliwiło znalezienie funkcji podcałkowej Tr dr.

Podstawiając do wzoru znalezione dane liczbowe oraz przyjęte stałe obliczono wielkość naprężeń cieplnych występujących w czasie jednego pełnego cyklu grzania i oziębiania w złączu. Dane te zestawiono w tabeli i na rys. 3.

Czas T min	Wielkość naprężeń kG/mm <sup>2</sup>
0	0,00
9	- 0,736
24	- 1,035
54	+ 1,814
60	+ 1,520
72	+ 1,200
78	+ 0,700
90	0,00

Obliczona wielkość w funkcji czasu jednego cyklu grzania i oziębiania



Rys. 3. Zmiany naprężeń w złączu w czasie szoku temperaturowego

## WNIOSKI

- Z otrzymanego wykresu naprężeń w funkcji czasu wynika, że najbardziej niebezpieczny odcinek tej krzywej znajduje się w czasie pomiędzy  $T=54$  i  $T=66$  min, co odpowiada, jak widać na rys. 2, intensywnemu ochładzaniu obudowy. Naprężenia cieplne rozrywające są dla tego odcinka największe i należy przypuszczać, że odszczelnienie, a nawet zerwanie złącza będzie następowało właśnie w tej fazie cyklu.

- Na podstawie otrzymanego wykresu naprężeń w funkcji czasu można przypuszczać, że przy innych wielkościach szoku temperaturowego oraz przy studzeniu złącza po zlutowaniu charakter krzywej naprężeń będzie podobny, a zmianie ulegać będą jedynie wielkości naprężeń.

- Znajomość wielkości naprężeń cieplnych ułatwia projektowanie złącza oraz umożliwia określanie dla nich krytycznych warunków pracy.

## Literatura

1. Timoszenko S., Goodler J.N.: Theory of Elasticity, Mc Graw-Hill Book Company, Inc New York 1951.
2. Gatewood B.E.: Thermal stresses, Mc Graw-Hill Book Company, Inc. New York 1957.
3. Timoszenko S., Wojnowsky-Krieger S.: Teoria płyt i powłok. Wydawnictwo ARKADY, Warszawa 1962.
4. Konsztowicz K., Stabierski L.: Naprężenia cieplne w tworzywach ceramicznych, Szkło i Ceramika 9, 1971.
5. Haberko K., Konsztowicz K., Stabierski L.: Badania naprężeń cieplnych w tarczach ściemnych w różnych warunkach ich studzenia, Szkło i Ceramika 9, 1971.
6. Gutowski R., Maślankiewicz W., Miłoś J.: Zagadnienia konstrukcyjne złącza ceramiki z metalem, Szkło i Ceramika 1, 1972.