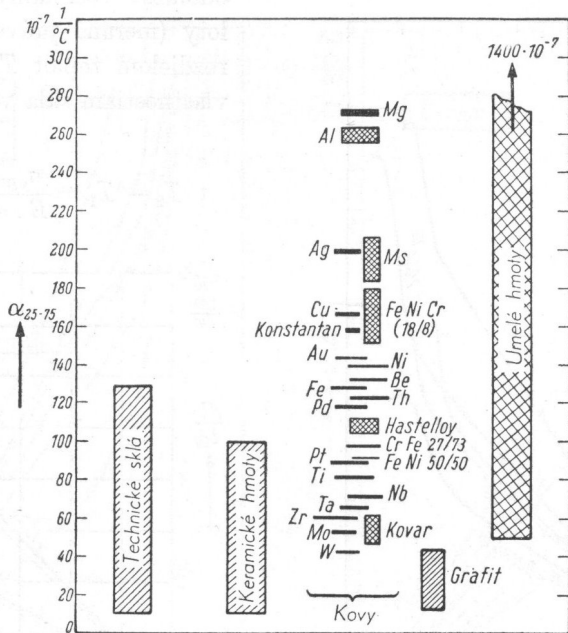
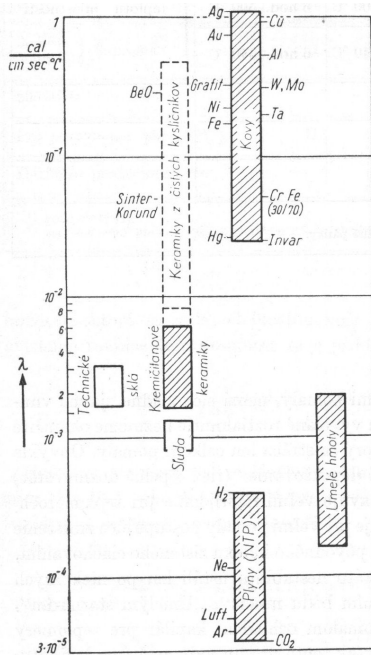


Materiály pro vakuové aparatury

- nízká tenze par
- malá desorpce plynu
- tepelná odolnost (odplyňování)
- mechanické vlastnosti
- způsoby opracování a spojování
- elektrické a chemické vlastnosti

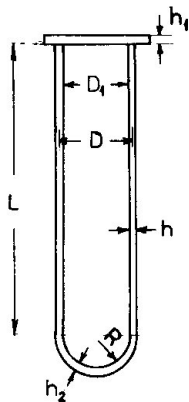
| Material | Pressure (Torr) | | | | |
|-------------------------------|-----------------|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| | 760-1 | 1-10 ⁻³ | 10 ⁻³ -10 ⁻⁵ | 10 ⁻⁵ -10 ⁻⁷ | 10 ⁻⁷ -10 ⁻¹⁶ |
| Iron, steels | good | good | good | only after degassing | only stainless steels |
| Cast iron, copper or aluminum | good | good | bad | bad | bad |
| Rolled copper or alloys | good | good | good | only after degassing | only OFHC copper |
| Nickel and alloys | good | good | good | good | good |
| Aluminum | good | good | only after degassing | | not recommended |
| Glass, quartz | good | good | good | good with degassing | only thick-walled |
| Ceramics | good | good | only with vitreous coating | | only special types |
| Mica | good | good | only after strong degassing | | not recommended |
| Rubbers | good | good | only degassed | bad | bad |
| Plastics | good | only special types | | only Teflon, Araldite | not recommended |





| Material | Surface-quality | Surface condition | Desorption rates ¹⁾ | | |
|-----------------|-----------------|------------------------------|--------------------------------|--|----------------------|
| | | | Q_{Des} 1h | $\left[\frac{\text{mbar} \cdot \text{l}}{\text{s} \cdot \text{cm}^2} \right]$ 4h | 10h |
| Stainless steel | blank | cleaned | $2.7 \cdot 10^{-7}$ | $5.4 \cdot 10^{-8}$ | $2.7 \cdot 10^{-8}$ |
| Stainless steel | polished | cleaned | $2 \cdot 10^{-8}$ | $4 \cdot 10^{-9}$ | $2 \cdot 10^{-10}$ |
| Stainless steel | pickled | heated for 1 hour, | $1.4 \cdot 10^{-9}$ | $2.8 \cdot 10^{-10}$ | $1.4 \cdot 10^{-10}$ |
| Stainless steel | bead blasted | vented with normal air | $3 \cdot 10^{-10}$ | $6.5 \cdot 10^{-11}$ | $4 \cdot 10^{-11}$ |
| Steel Ni plated | polished | cleaned | $2 \cdot 10^{-7}$ | $1.5 \cdot 10^{-8}$ | $5 \cdot 10^{-9}$ |
| Steel Cr plated | polished | cleaned | $1.3 \cdot 10^{-8}$ | $2.2 \cdot 10^{-9}$ | $1.2 \cdot 10^{-9}$ |
| Steel | | rusted | $6 \cdot 10^{-7}$ | $1.6 \cdot 10^{-7}$ | $1 \cdot 10^{-7}$ |
| Steel | blank | cleaned | $5 \cdot 10^{-7}$ | $1 \cdot 10^{-7}$ | $5 \cdot 10^{-8}$ |
| Steel | bead blasted | cleaned | $4 \cdot 10^{-7}$ | $8 \cdot 10^{-8}$ | $3.8 \cdot 10^{-8}$ |
| Aluminium | | cleaned | $6 \cdot 10^{-8}$ | $1.7 \cdot 10^{-8}$ | $1.1 \cdot 10^{-8}$ |
| Brass | | cleaned | $1.6 \cdot 10^{-6}$ | $5.6 \cdot 10^{-7}$ | $4 \cdot 10^{-7}$ |
| Copper | | cleaned | $3.5 \cdot 10^{-7}$ | $9.5 \cdot 10^{-8}$ | $5.5 \cdot 10^{-8}$ |
| Porcelain | glazed | | $8.7 \cdot 10^{-7}$ | $4 \cdot 10^{-7}$ | $2.8 \cdot 10^{-7}$ |
| Glass | | cleaned | $4.5 \cdot 10^{-9}$ | $1.1 \cdot 10^{-9}$ | $5.5 \cdot 10^{-10}$ |
| Acrylic glass | | | $1.6 \cdot 10^{-6}$ | $5.6 \cdot 10^{-7}$ | $4 \cdot 10^{-7}$ |
| Neoprene | | | $4 \cdot 10^{-5}$ | $2.2 \cdot 10^{-5}$ | $1.5 \cdot 10^{-5}$ |
| Perbunan | | | $4 \cdot 10^{-6}$ | $1.7 \cdot 10^{-6}$ | $1.3 \cdot 10^{-6}$ |
| Viton | | | $1.2 \cdot 10^{-6}$ | $3.6 \cdot 10^{-7}$ | $2.2 \cdot 10^{-7}$ |
| Viton | | heated for 4 hours at 100 °C | $1.2 \cdot 10^{-7}$ | $5 \cdot 10^{-8}$ | $2.8 \cdot 10^{-8}$ |
| Viton | | heated for 4 hours at 150 °C | $1.2 \cdot 10^{-9}$ | $3.3 \cdot 10^{-10}$ | $2.5 \cdot 10^{-10}$ |
| Teflon | | degassed | $8 \cdot 10^{-7}$ | $2.3 \cdot 10^{-7}$ | $1.5 \cdot 10^{-7}$ |

Pevnost



| Material | Cylinders | | End plates | | Hemispherical |
|-----------------------|-----------|---------|------------|---------|---------------|
| | D/h | L_c/D | D_1/h_1 | $h_1/8$ | R/h_2 |
| Copper at 20°C | 84 | 10 | 52 | 15 | 600 |
| Copper at 500°C | 58 | 8.5 | — | — | — |
| Nickel at 20°C | 100 | 11 | 73 | 8 | 780 |
| Nickel at 500°C | 90 | 10.5 | — | — | — |
| Aluminum 20°C | 70 | 9 | 37 | 57 | 470 |
| Aluminum 500°C | 62 | 8.7 | — | — | — |
| Stainless steel 20°C | 105 | 11.6 | 89 | 3 | 830 |
| Stainless steel 500°C | 89 | 10.5 | — | — | — |
| Glass (hard) 20°C | 70 | 9 | 16 | 117 | 470 |
| Neoprene 20°C | 2.5 | 1.7 | 10 | 0.2 | 30 |
| Teflon 20°C | 12 | 3.8 | 14 | 9 | — |
| PVC (Tygon) | 3.7 | 2.1 | — | — | — |
| Perspex | — | — | 30 | — | — |
| Mica | — | — | 58 | 15 | — |

Válec, $D_1 \sim D = 25 \text{ cm}$, $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

| | $h[\text{mm}]$ | $h_1[\text{mm}]$ | $\delta[\text{mm}]$ |
|---------------|----------------|------------------|---------------------|
| Cu | 3 | 5 | 0.33 |
| Al | 3.6 | 6.76 | 0.12 |
| nerezová ocel | 2.4 | 2.81 | 0.93 |
| tvrdé sklo | 3.6 | 15.6 | 0.13 |
| teflon | 20.8 | 17.9 | 1.88 |

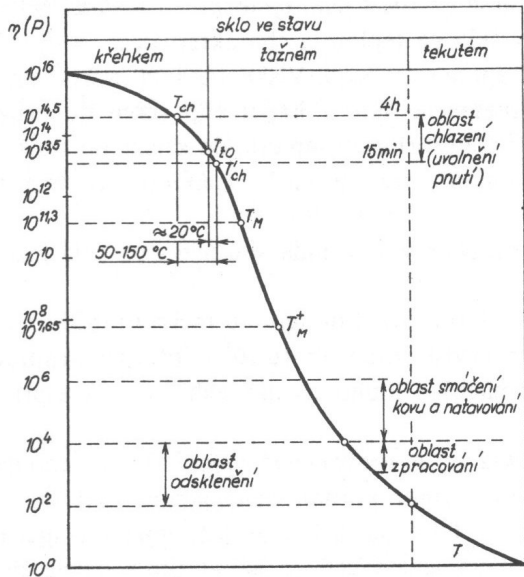
Sklo

- nízká tenze par
- malá desorpce plynu
- křehké
- elektrický izolant
- chemicky odolné
- svařování a tvarování za tepla
- vznik pnutí - temperování

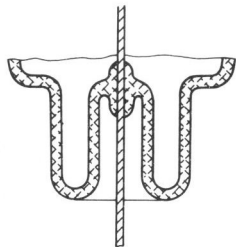
- sklotvorné složky SiO_2 , B_2O_3 , P_2O_5
- Na_2O , CaO - snižuje tavicí teplotu
- Al_2O_3 , ZnO_2 - zvyšuje chemickou netečnost
- K_2O
- BaO
- PbO
- MgO

Tab. 6.2. Přehled skel a jejich některých vlastností (podle W. Espeho a kol.)

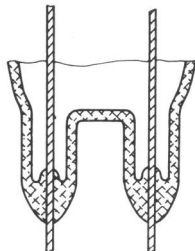
| Sklo | křemičité (tavený SiO ₂) | velmi tvrdé (borokřemičité bez alkálií) | tvrdé (borokřemičité) | olovnaté (olovnatokřemičité) | měkké (alkalicko-vápenatokřemičité) a) s Al ₂ O ₃ b) bez Al ₂ O ₃ |
|---|---|---|------------------------------------|---------------------------------|--|
| B ₂ O ₃ Al ₂ O ₃ | | 5–23 ‰ 3–25 ‰ | > 10 % < 5 % | < 8 % | a) 0 b) 1–5 ‰ |
| Na ₂ O+K ₂ O CaO PbO SiO ₂ | > 95 % | < 10 % zbytek | 5–8 % zbytek | 20–35 zbytek | 13–15 ‰ 5–15 ‰ zbytek |
| α (°C) ⁻¹ | (0,55–0,65) · 10 ⁻⁶ | (3–6) · 10 ⁻⁶ | (3,5–6) · 10 ⁻⁶ | (8–9) · 10 ⁻⁶ | a) (6,8–9,5) · 10 ⁻⁶ b) (8–11) · 10 ⁻⁶ |
| T _{ch} (°C) ¹ | 990–1 040 | 450–700 | 430–540 | 400–450 | a) 450–500 b) 40–480 |
| T' _{ch} (°C) ¹ | 1 140 | 490–730 | 470–590 | 430–480 | a) 480–540 b) 430–510 |
| T _i (°C) ¹ | 1 100 | 470–720 | 450–570 | 410–470 | a) 470–530 b) 410–500 |
| T _m (°C) ¹ | 1 600 | 700–950 | 690–780 | 580–650 | 490–750 |
| Měrný odpor ρ _{20°C} (Ω cm) | 10 ¹⁷ –10 ¹⁸ | 10 ¹⁸ | 10 ¹⁴ –10 ¹⁸ | 10 ¹⁷ | a) 10 ¹⁵ b) 10 ¹³ |
| Měrná tepelná vodivost κ (Jcm ⁻¹ s ⁻¹ K ⁻¹) | 0,013–0,026 | 0,01 | 0,013 | 0,08 | 0,01 |
| Měrné teplo (J g ⁻¹ K ⁻¹) | 0,8–1,26 | | | 0,4–1,7 | |



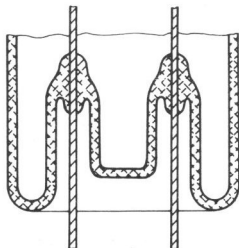
Obr. 6.3. Závislost koeficientu viskozity skla na teplotě T_{ch} – dolní chladicí teplota (při níž mizí napětí během 4 h); T'_{ch} – horní chladicí teplota (při níž vymizí napětí za 15 min); T_{10} – transformační teplota (začátek vzrůstu součinitele teplotní roztažnosti a změn dalších vlastností); T_M – bod měknutí (určuje se dilatometricky); T_M^+ – bod měknutí (podle Littletona);



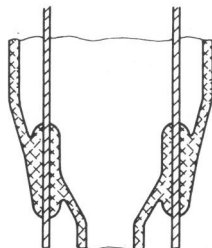
(a)



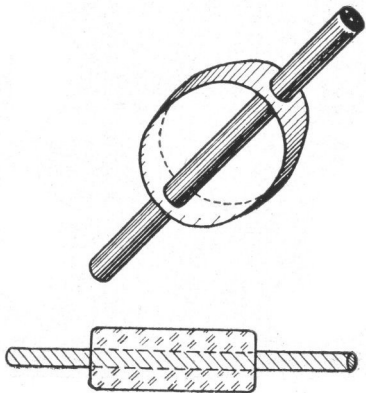
(b)



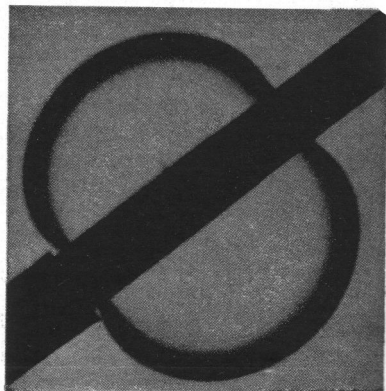
(c)



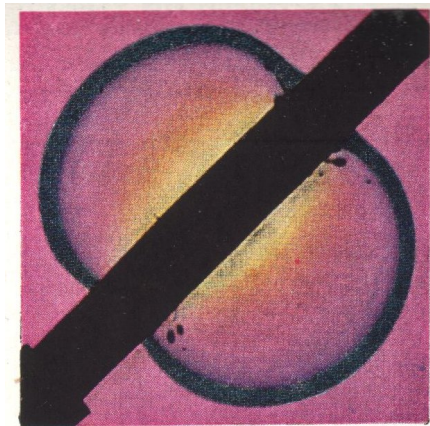
(d)



I



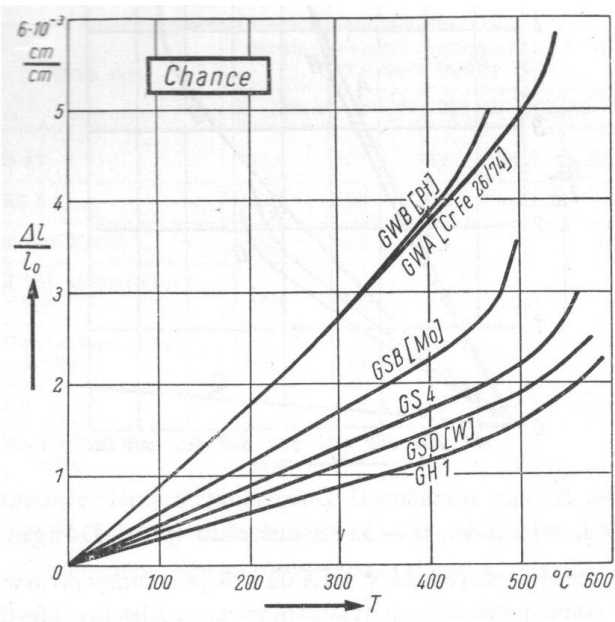
II

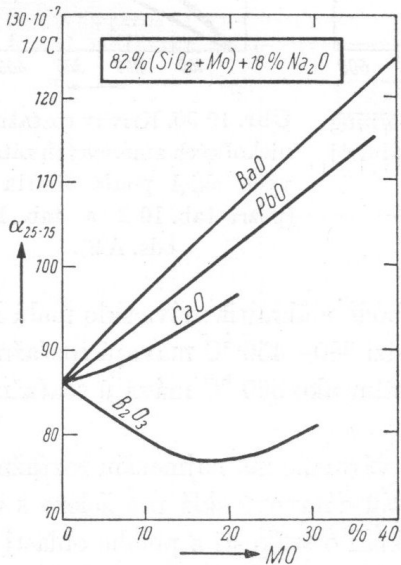


Z₂

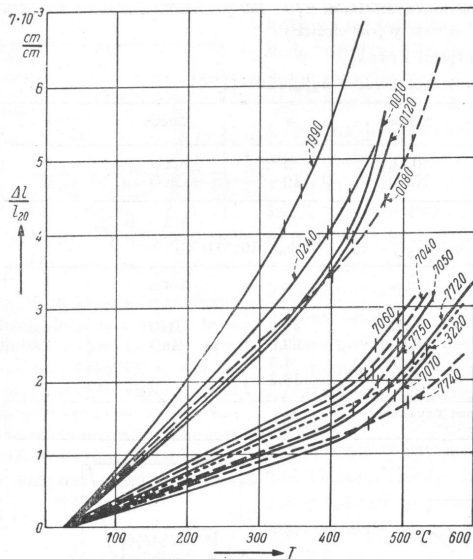


Z₃

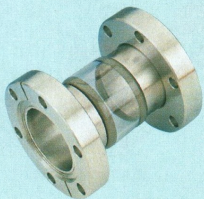




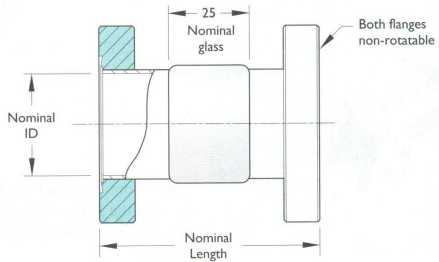
Skla Corning



CF



400°C maximum bakeout

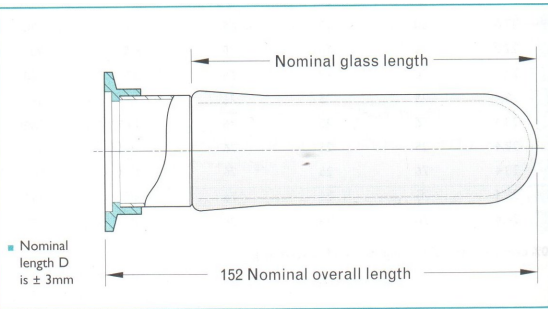


■ Nominal length D is ± 3 mm

ISI KF

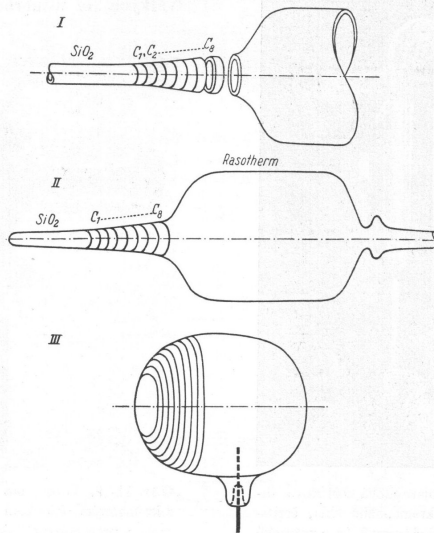


200°C maximum bakeout

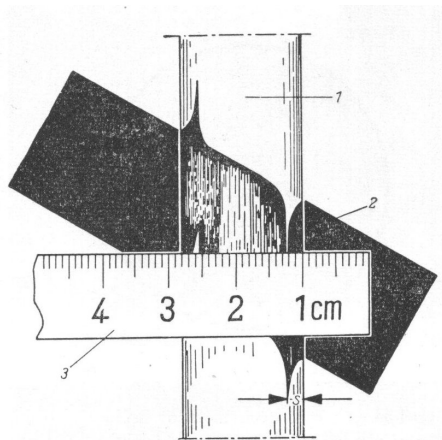


■ Nominal length D is $\pm 3\text{mm}$





Orb. 11-19 A. K zatavovaniu okienok z kremenného skla do baniek z tvrdého skla.



Obr. 10-120 B. Meranie hrúbky steny sklených trubíc (podľa Wittwera).

1 — sklenená rúrka ležiaca na bielom papieri; 2 — pásik čierneho papiera zasunutý pod rúrkou šikmo k jej osi; 3 — meradlo položené na rúrkou na zmeranie hrúbky steny S .

Použití:

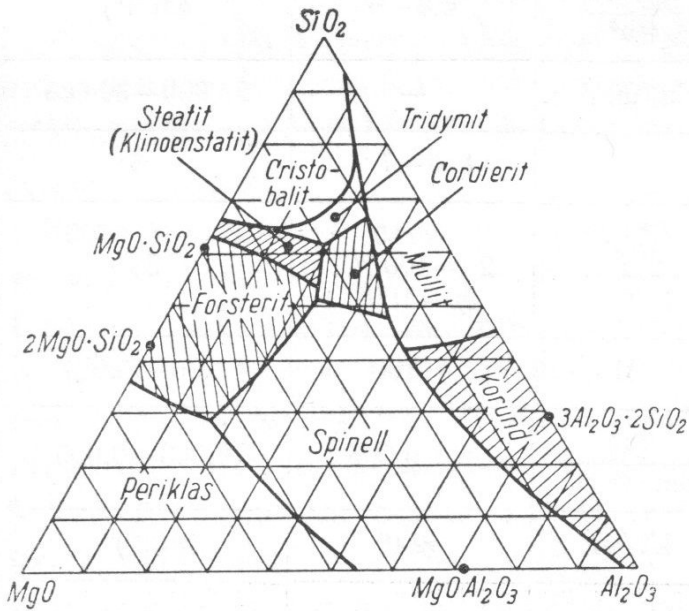
- osvětlovací technika
- manometry
- elektrické průchodky
- obrazovky
- okénka do reaktorů
- elektronky
- speciální kalibrační lampy
- ...

Keramika

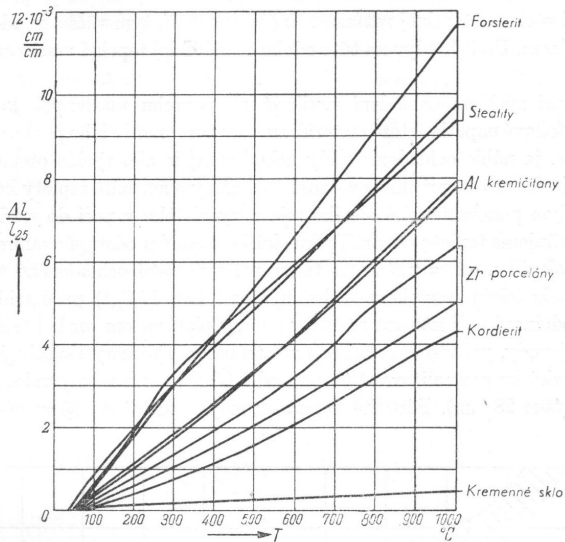
- nízká tenze par
- malá desorpce plynu
- velká pevnost
- elektrický izolant
- chemická odolnost
- velká tepelná odolnost (vyšší teplota pro odplynění)
- žádné pnutí
- změna rozměrů při výrobě

Složení:

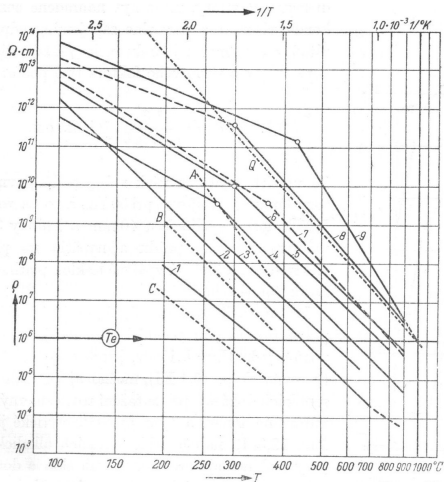
- Al_2O_3 - max teplota ve vakuu $1800\text{ }^\circ\text{C}$
- MgO - max teplota ve vakuu $1600\text{ }^\circ\text{C}$
- ZrO_2 - max teplota ve vakuu $1700\text{ }^\circ\text{C}$
- BeO - max teplota ve vakuu $2000\text{ }^\circ\text{C}$
- ThO_2 - max teplota ve vakuu $>2300\text{ }^\circ\text{C}$



| | | | | |
|----|---|-----------------------|--|----------------------------------|
| 1 | Zloženie východiskových surovín | váh. % | Al ₂ O ₃ : 95 | Rozbor pozri túto tab., pol.2 |
| | | váh. % | íl: 2 | pozri tab. 12-19, pol. 4 |
| | | váh. % | talk.: 3 | pozri tab. 12-19, pol. 2 |
| 2 | Rozbor Al ₂ O ₃ (druh Norton 38 900) | váh. % | SiO ₂ : 0,04 Fe ₂ O ₃ : 0,01 Na ₂ O: 0,05 CaO: 0,00 MgO: 0,00 Al ₂ O ₃ : (zvyšok): 99,90 | |
| 3 | Vypaľovacia teplota (vo vodíkovej peci) | °C | 1775 | |
| 4 | Merná váha | g/cm ³ | 3,5 | |
| 5 | Pevnosť v ohybe | kg/mm ² | 17,5—21 | |
| 6 | Súčiniteľ rozťažnosti 25—500 °C | 10 ⁻⁷ 1/°C | asi 78,5 (pozri aj obr. 12-40) | |
| 7 | Merný elektrický odpor | Ω . cm | pozri obr. 12-39 | |
| 8 | Hodnota <i>Te</i> | °C | asi 950° | |
| 9 | Dielektrická konštanta ε (10 ¹⁰ Hz) | — | 8,2—8,6 | |
| 10 | Dielektrický stratový uhol tg δ (10 ⁶ Hz) (10 ¹⁰ Hz) | — | asi 4 . 10 ⁻⁴ | |
| | | — | 5—8 . 10 ⁻⁴ | |



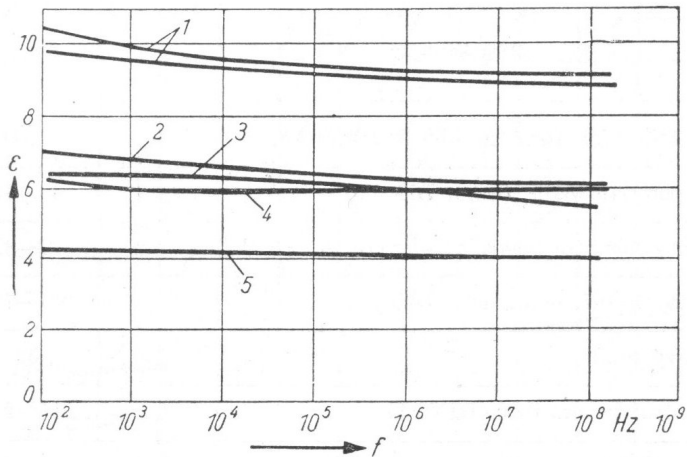
Obr. 12-14. Krivky tepelnej rozťažnosti niekoľkých typických keramik (ďalšie vlastnosti obchodných druhov keramiky pozri obr. 12-33, 34, 38, 40, 43 a 77).



Obr. 12-18 A. Závislosť merného elektrického odporu ρ niekoľkých obchodných druhov keramiky od teploty T .

1 — živcový porcelán (Almanox 11 838); 2 — normálny steatit Alsmag 35; 3 — zirkónový mullit Almanox 2570; 4 — prírodný alumosilikát Lava A; 5 — hutná keramika s vysokým obsahom Al_2O_3 Almanox 6096; 6 — pórovitá keramika s vysokým obsahom Al_2O_3 Alsmag 393; 7 — prírodný horečnatý silikát Alsmag Lava 1136; 8 — hutná keramika s vysokým obsahom Al_2O_3 Alsmag 614; 9 — forsterit Alsmag 243. Pre porovnanie: Q — kremenné sklo; A — olovnaté sklo Corning 0120; B — pyrexové sklo Corning 7740; C — sodnovápenaté sklo Corning 0080 T_e = Te-value.

| Druh keramiky (prípadne typ alebo obchodná značka) | T_e °C | Výrobca |
|---|------------------|----------|
| Jemne pórovitá keramika prevažne z Al_2O_3 (druh DIN 520) | < 800 | 3) |
| Mastenec (prírodná hornina z Bavarska) | 800 | 4) |
| Hlinitokremičitan | 800 | 2) |
| Prírodná hornina horečnatokremičitanová (Lava 1136) | 810 | 2) |
| Steatit (Alsimag 228) | 820 | 2) |
| Korundová keramika (Alsimag 393) | 835 | 2) |
| Steatit (Alsimag 197) | 840 | 2) |
| Kremičitan zirkónu (Alsimag 475) | 870 | 2) |
| Hlinitokremičitan (pyrofylit), prírodná hornina z Transvaalu | 600–900 | |
| Hlinitokremičitan (Alsimag 614) (hlinitokremičitá keramika) | 930 | 2) |
| Pórovitý opracovateľný steatit (druh DIN 240) napr. Ergon | < 1000 | 3) |
| Špeciálny steatit (druh DIN 221) | < 1000 | 3) |
| Horečnatý kremičitan (Alsimag 222) | > 1000 | 2) |
| Hlinitokremičitan (Alsimag 652) (hlinitokremičitá keramika) | > 1000 | 2) |
| Forsterity (Alsimag 243) (Frequenta M) | > 1000 > 1000 | 2) 4) |

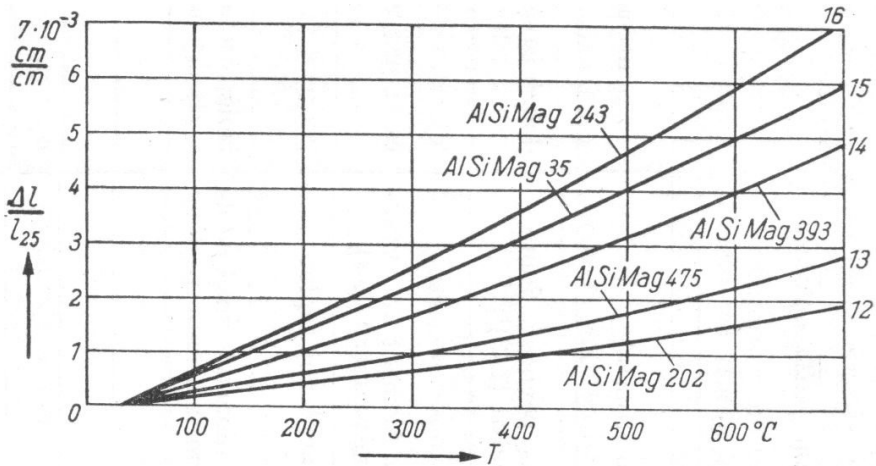


Obr. 12-25. Závislosť dielektrickej konštanty ϵ rôznych druhov keramiky pri normálnej teplote od frekvencie f (pozri Russell [1]); pozri aj tab. 12-12.

1 — zirkónové porcelány; 2 — normálny steatit; 3 — vysokonapäťový porcelán;
4 — špeciálne steatity. Pre porovnanie: 5 — kremenné sklo.

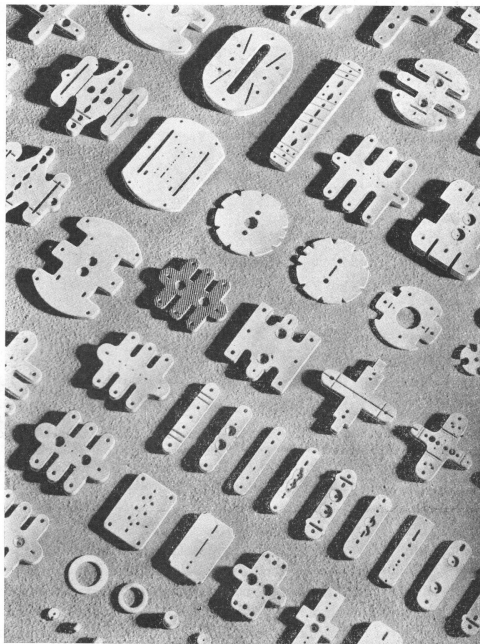
Zostavenie stratového uhla $\operatorname{tg} \delta$ (meraného za normálnej teploty pri 10^6 Hz) najdôležitejších druhov keramik podľa klesajúcich hodnôt

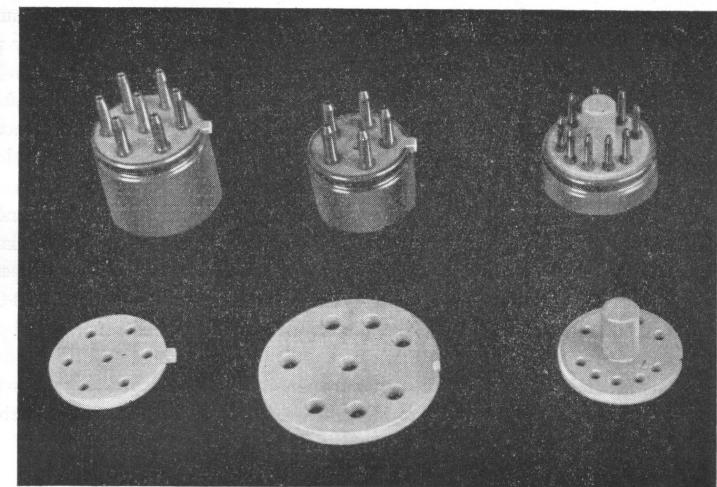
| Druh keramiky | $\operatorname{tg} \delta$ 10^{-4} |
|--|---|
| Prírodná hornina Lava A (hlinitokremičitan) | 100 |
| Tvrдый porcelán, napr. druhu DIN 110 | 60–120 |
| Cordierity pórovité (nasiakavosť vody A = 8,5%) | 40–82 |
| Cordierity hutné, napr. druh DIN 410 | 40–70 |
| Zirkónový mulit | 32 |
| Hutné steatity ako druh DIN 220 | 15–20 |
| Steatity Alsimag | 12–35 |
| Zirkónový kremičitan | 8–17 |
| Forsterit (Alsimag 243) | 4 |
| Keramiky s vysokým obsahom Al_2O_3 (Alsimag) | 3–7 |
| Špeciálny steatit druh DIN 221 | 3–5 |
| Mastenec, Lava 1136 (horečnaté kremičitany) | 3 |
| Horečnaté kremičitany, pórovité (Alsimag 222) | 2–4 |





Breaks





Použití

- elektrické průchodky
- elektrické izolátory
- topné systémy
- kalíšky pro depozici tenkých vrstev - Al_2O_3 - Al, Bi, Ge, In, Ni
- ...