

# LADIČKA S NULOVÝM TEPLOTNÍM KOEFIICIENTEM FREKVENCE

V. VESELÝ a V. PETRŽILKA, Praha

Úkolem této práce bylo ověřit správnost dále uvedených předpokladů, případně nalézt systematickými měřeními materiál, který by měl v určitém teplotním rozmezí nulový  $TK$  — teplotní koeficient frekvence. Řešením tohoto problému se zabývala již celá řada pracovníků, jako A. Karolus [1], H. H. Agland [2], B. Eisenhour [3], S. E. Michals [4], kteří však většinou přistupovali k problému s jiné stránky. Pouze v jedné z těchto prací [1] je problém řešen podobným způsobem. Autor uvádí přibližné složení slitiny, která má mít uvedené vlastnosti.

Z Petřílkovy práce [5] plyne pro teploturní koeficient ohybových kmitů  $(TK)_0$  [str. 13, rovnice (33)] vztah

$$(TK)_0 = \frac{1}{a} \frac{\partial a}{\partial T} - 2 \frac{1}{L} \frac{\partial L}{\partial T} - \frac{1}{2} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial T} + \frac{1}{2} \frac{1}{E} \frac{\partial E}{\partial T}, \quad (1)$$

kde  $a$  je tloušťka,  $L$  délka tyče,  $T$  teplota a  $\rho$  hustota tyče. Uvažujeme-li tyč z isotropního materiálu, je teploturní koeficient délkové roztažnosti ve všech směrech stejný a tudíž platí

$$\alpha = \frac{1}{a} \frac{\partial a}{\partial T} = \frac{1}{L} \frac{\partial L}{\partial T}. \quad (2)$$

Mimo to pro změnu hustoty  $\rho$  s teplotou  $T$  platí podle rovnice (40) na str. 15 uvedené práce vztah

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial T} = -3\alpha. \quad (3)$$

Označíme-li  $\beta$  teplotní koeficient modulu elasticity  $E$ , můžeme položit

$$\beta = \frac{1}{E} \frac{\partial E}{\partial T}. \quad (4)$$

Dosadíme-li do rovnice (1) podle rovnic (2), (3), (4), dostaneme:

$$(TK)_0 = \frac{1}{2} \alpha + \frac{1}{2} \beta. \quad (5)$$

Položme-li si otázku, zda je možno realizovat tyče s nulovým  $(TK)_0$  frekvence, plyne z rovnice (5), že je možno toho dosáhnout, jestliže

$$(TK)_0 = \frac{1}{2} \alpha + \frac{1}{2} \beta = 0. \quad (6)$$

Z této podmínky plyne, že pro požadavek nezávislosti frekvence ohybových kmitů na teplotě je třeba volit materiál, pro nějž

$$\alpha = -\beta. \quad (7)$$

Tuto rovnici je možno splnit, neboť u používaných kovů je  $\alpha$  kladný a  $\beta$  v absolutní hodnotě přibližně roven jeho teplotnímu koeficientu  $\alpha$  je dluh elastičnosti  $\beta$ . Rovnice (1) byla sice odvozena se zanedbáním členů vyšších řádů, stačí však k odvození podmínky (6).

Aplikujeme-li rovnici na invar, který má  $\alpha \approx 0$ , kdežto  $\beta < 0$ , dostáváme pro jeho  $(TK)_{0, \text{in}}$  vztah

$$(TK)_{0, \text{in}} = \frac{1}{2} \beta < 0. \quad (8)$$

Uvažujeme-li elinvar, který má  $\alpha > 0$ , avšak  $\beta \approx 0$ , dostáváme pro jeho  $(TK)_{0, \text{e}}$  vztah:

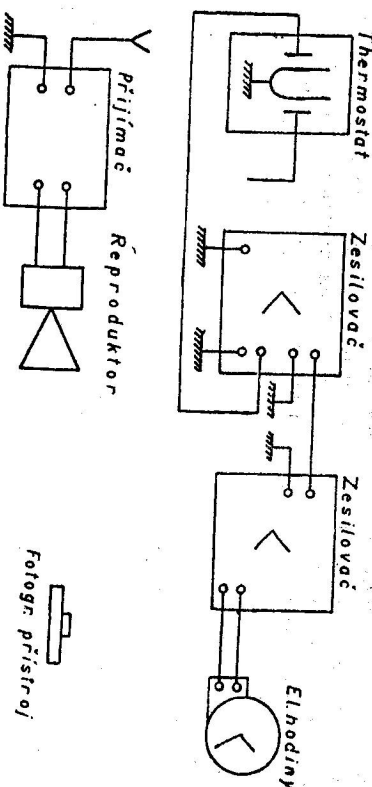
$$(TK)_{0, \text{e}} = \frac{1}{2} \alpha > 0. \quad (9)$$

Existují tedy dvě slitiny, elinvar a invar, z nichž jedna má kladný a druhá záporný teplotní koeficient frekvence. Musí proto existovat slitina, která bude mít složení mezi inwarem a elinwarem, a pro kterou bude v jistém teplotním rozmezí platit podle (7), že  $\alpha = -\beta$ , čili její  $(TK)_0 = 0$ . Vý-  
nění jisté třeba zdůrazňovat.

Úkolem práce bylo nyní potvrdit uvedená tvrzení experimentálně. Bylo k tomu účelu použito ladiček z invaru a elinvaru, které lze považovat za tyče kmitající v ohybových kmitcích. Aby konstanty materiálu nebyly ovlivňovány magnetizací, bylo upuštěno od obvyklého elektromagnetického buzení ladiček [6], které bylo nahrazeno buzením elektrostatickým, jak je popsáno ve své práci K. Mišek [7].

Měřicí aparatura byla principiálně sestavena takto: zesílené nízkofrekvenční napětí z ladičky o frekvenci asi 400 c/s bylo přiváděno do synchronního motoru s počítadlem obrátek. Stav počítadla byl odečten na počátku měření a na konci měření, při čemž byla přesně stanovena doba, po kterou se měření konalo. Z počtu obrátek synchronního motoru a z časového intervalu, po který měření probíhalo, byla stanovena frekvence, jak je dále na konkrétním příkladě popsáno.

Skutečně uspořádání je znázorněno v obrázku: Nízkofrekvenčním napětím byly napájeny elektrické hodiny se synchronním motorkem. Podle časového znamení čs. rozhlasu byl odfotografován údaj hodin hnaných zkoušenou ladičkou na příklad přesně v 9 hod. a přesně ve 12 hod. Tím byl zachy-  
přena doba trvání měření. Připustíme-li chybu odečtení  $\pm 0,2$  sek. (včetně nepřesnosti signálu), je celková chyba určení času při 3hodinovém měření menší než  $\pm 0,0005$  % při měření 24hodinovým menší než  $\pm 0,0001$  %.  
Z toho plyne, že při měření trvajícím 3 hodiny je možno změřit frekvenci 400 c/s s přesností  $\pm 0,002$  c/s. Ladička byla uložena v thermostatu s vodním pláštěm, ve kterém byla udržována teplota s přesností větší než  $0,05$  °C.



Teplota byla měněna v mezích od 20 °C do 50 °C. Byla proměřena celá řada různých vzorků a shora uvedené předpoklady o  $TK$  invaru a elinvaru byly potvrzeny. Pro elinvar byl naměřen  $TK$  pro frekvenci  $+3,4 \cdot 10^{-4}$  grad $^{-1}$ , pro invar  $-1,7 \cdot 10^{-4}$  grad $^{-1}$ . V práci bude pokračováno dále se slitinami, které mají složení mezi inwarem a elinwarem.  
Popsaná měření byla provedena na vzorcích materiálu, které daly k dispozici Spojené ocelárny, n. p. v Kladně a Výzkumný ústav kovů v Panenských Břežanech. Oběma závodům patří za umožnění této práce náš upřímný dík.

#### LITERATÚRA

- [1] Karolus A., *A mechanical oscillator of constant frequency*, U. S. Patent 1,763853.
- [2] Hagland H. H., *Tuning forks*, U. S. Patent 1,715324.
- [3] Eishenhour B., *Compensated Tuning Fork*, U. S. Patent 1,880923.
- [4] Michaels S. E., *Tuning Fork*, U. S. Patent 2,247960.
- [5] Petržílka V., Kottler A., Věstník Královské české společnosti nauk, roč. 1947, čís. IX (1948).

[6] Gorélik, *Kolebaniá i volny*, Gos. izd. tech. teoretich. lit., Moskva 1950.  
[7] Mišek K., *Čas. pro přet. mat. a fys.*, roč. 2 (1953), č. 2.

Došlo do redakcie 10. IV. 1953.

## КАМЕРТОН С НУЛЕВЫМ ТЕПЛОВЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ЧАСТОТЫ

ВЕСЕЛИ В. — ПЕТРЖИЛКА В.

Выводы

В работе рассмотрены условия, при которых температурный коэффициент частоты камертона равен нулю. Сделан вывод, что температурный коэффициент теплоты модуля упругости с обратным знаком. Зависимость температурного коэффициента частоты камертона от приведенных констант вещества, в работе опытным путем подтверждена.