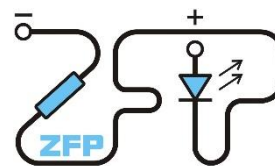


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum I



Úloha č.: XI

Název úlohy: Dynamická zkouška deformace látek v tlaku

Jméno:

Obor: FOF

Datum měření: 27. 3. 2019

Datum odevzdání: 2. 4. 2019

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 3	3
Teoretická část	0 - 2	2
Výsledky a zpracování měření	0 - 9	8
Diskuse výsledků	0 - 4	4
Závěr	0 - 1	1
Seznam použité literatury	0 - 1	1
Celkem	max. 20	19

Posuzoval:

dne:

A. Pracovní úkol

1. Změřte tuhost aparatury K .
2. Proveďte dynamickou zkoušku deformace v tlaku přiloženého vzorku.
3. Výsledek dynamické zkoušky v tlaku graficky znázorněte a určete mezní napětí $\sigma_{0,2}$ a σ_U .

B. Teoretická část

Při tahu nebo tlaku F na válcový vzorek ve směru osy dochází ke změně délky vzorku z l_0 na l , jejíž velikost závisí na velikosti síly, materiálu vzorku a jeho původním průřezu S_0 .

Rozlišujeme mezi *skutečným napětím* σ' , kde S je aktuální průřez vzorku [1]

$$\sigma' = \frac{F}{S} \quad (1)$$

a *smluvním napětím* σ

$$\sigma = \frac{F}{S_0}. \quad (2)$$

Zavádíme také *relativní deformaci* ε_0 a *skutečnou deformaci* ε vztahy

$$\varepsilon_0 = \frac{l-l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (3)$$

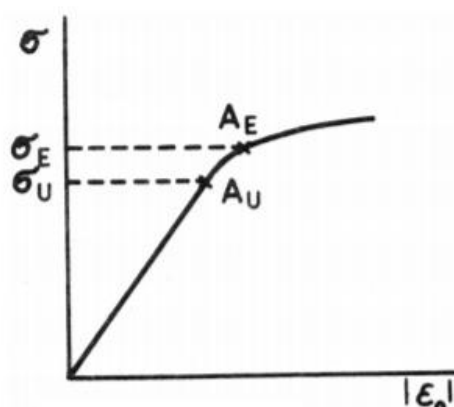
$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} \quad (4)$$

Při předpokladu konstantního objemu můžeme σ' vyjádřit jako

$$\sigma' = \sigma(1 + \varepsilon_0). \quad (5)$$

Pro kovové materiály můžeme závislost deformace na smluvním napětí popsat křivkou na obr. 1. Do bodu A_U je deformace přímo úměrná napětí, platí zde Hookův zákon. σ_U se nazývá mezí úměrnosti, dále nad ní již závislost není lineární. σ_E je mez pružnosti. Při jejím překročení se již vzorek nevrací do původního stavu.

Deformaci je možné rozložit na elastickou ε_{el} a plastickou ε_{pl} , přičemž pružná složka je i za mezí pružnosti určena Hookovým zákonem s konstantou úměrnosti stanovenou z přímkové počáteční části tlakové deformační křivky,



Obrázek 1: Křivka deformace, převzato z [1]

$$|\varepsilon_0| = |\varepsilon_{el}| + |\varepsilon_{pl}|. \quad (5)$$

Za běžnou míru plastické deformace se bere $\varepsilon_{pl} = 0,2 \%$ a jí zodpovídající napětí $\sigma_{0,2}$, tzv. mez 0,2. Jeho velikost se určuje metodou naznačenou na obr. 2.

Při dynamické zkoušce deformace použijeme zařízení, které díky elektrickému motorku a kotouče stálou rychlostí v_d stlačuje vzorek. Změna délky Δl je časově závislá

$$\Delta l = fD\Delta t. \quad (6)$$

D je zdvih odpovídající jedné otáčce a f stálý kmitočet otáčení kotouče. V našem případě $D = 0,75 \text{ mm}$ a $f = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$. Elastický ovšem není pouze vzorek, ale také použitá aparatura. Změna délky Δl tudíž zahrnuje změnu délky vzorku Δl_v i deformaci aparatury Δl_a

$$\Delta l = \Delta l_v + \Delta l_a. \quad (7)$$

Předpokládáme, že aparatura je elastická. Označíme-li její tuhost K , platí

$$F = K|\Delta l_a|. \quad (8)$$

Pro působící sílu F platí při napájení tenzometru stejnosměrným stabilizovaným napětím 5,5 V

$$F = \alpha U, \quad (9)$$

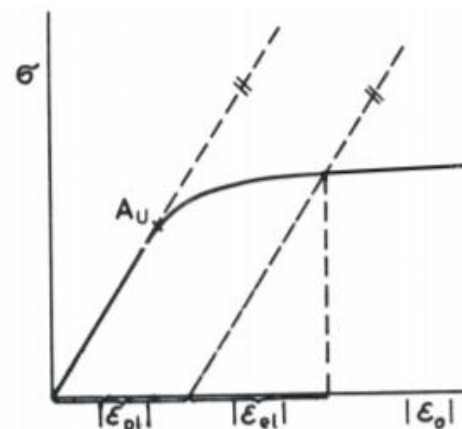
kde U je výstupní napětí a $\alpha = 50 \text{ N/mV}$.

Tuhost aparatury lze ze vztahů (8) a (9) vyjádřit jako

$$K = \frac{\alpha U}{\Delta l_a} \quad (10)$$

Ze vztahů (2) a (9) získáme vyjádření smluvního napětí

$$\sigma = \frac{\alpha U}{S_0}. \quad (11)$$



Obrázek 2: Určování ε_{el} a ε_{pl} , převzato z [1]

Použité pomůcky a přístroje

upínací zařízení vzorku s tenzometrem, elektromotor (3 x 380 V, 50 Hz), stabilizovaný zdroj stejnosměrného napětí Aritma, svorkovnice, vzorek (slitina převážně olova a cínu), mikrometr, multimetr NI 4065

C. Výsledky měření

Podmínky měření

Měření bylo prováděno při teplotě 23,7°C, tlaku 1002,0 hPa a relativní vlhkosti vzduchu 28,1 %

Použité hodnoty

Zdvih odpovídající jedné otáčky $D = 0,75 \text{ mm}$

Kmitočet otáčení kotouče $f = (0,60 \pm 0,01) \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

$\alpha = (50,5 \pm 0,5) \text{ N} \cdot \text{mV}^{-1}$

Měření

Rozměry vzorku

před deformací		po deformaci	
průměr [mm]	délka [mm]	průměr [mm]	délka [mm]
7,37	10,28	7,34	10,16
7,40	10,27	7,34	10,16
7,39	10,28	7,34	10,16
7,40	10,27		10,15
7,40	10,27		10,15

Tabulka 1: Rozměry vzorku před deformací a po ní

Údaje byly změřeny mikrometrem, jehož přesnost je $\pm 0,01 \text{ mm}$. Hodnoty byly zpracovány podle postupu v [2], uvádíme standardní odchylku.

Délka před deformací $l_0 = (10,27 \pm 0,01) \text{ mm}$

Délka po deformaci $(10,16 \pm 0,01) \text{ mm}$

Průměr před deformací $d = (7,39 \pm 0,01) \text{ mm}$

Průměr po deformaci $(7,34 \pm 0,01) \text{ mm}$

Tuhost aparatury

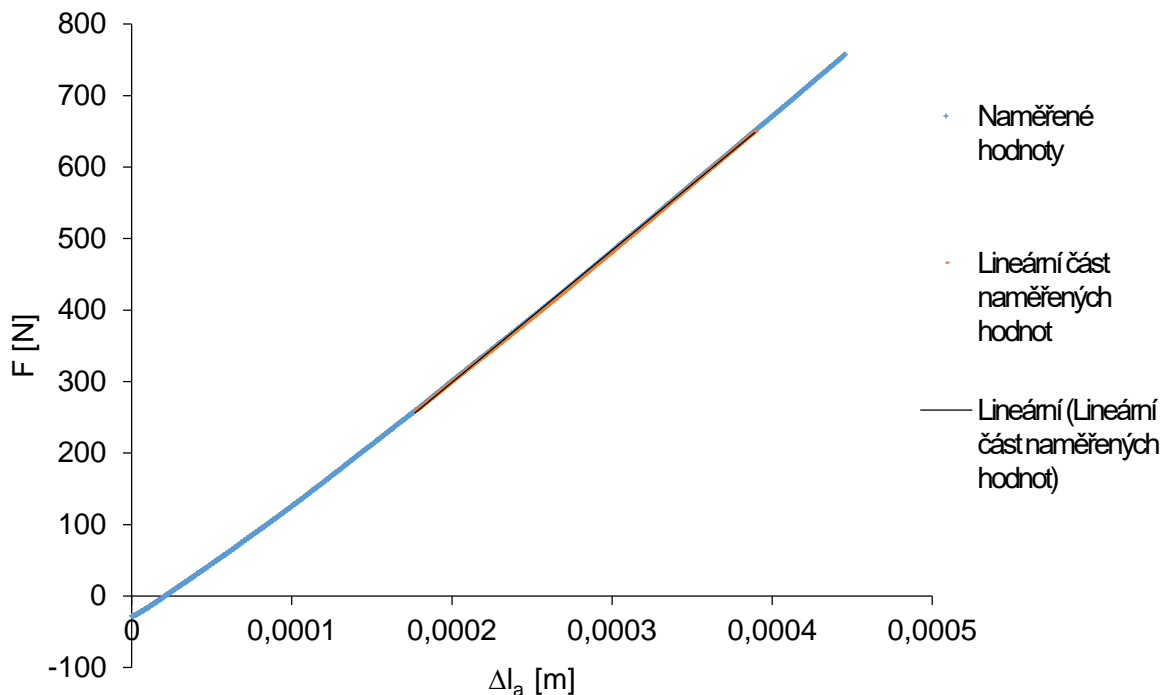
Nejdříve jsme určovali tuhost aparatury. Časová závislost napětí (je vykreslena v příloze 1), která byla naměřena multimetrem, byla převedena na závislost síly na prodloužení pomocí vztahů (6), (8) a (9). Tato závislost byla vynesena do grafu 1. V něm byla odhadnuta lineární část, která byla proložena přímkou $x = \lambda x + b$, kde λ představuje K a koeficient $b = (-70,2 \pm 0,1) \text{ N}$.

Chybu tuhosti určujeme ze vztahu

$$\sigma_K = K \sqrt{\left(\frac{\sigma_\alpha}{\alpha}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_f}{f}\right)^2} \quad (12)$$

Tuhost aparatury byla určena jako $K = (18,5 \pm 0,4) \cdot 10^5 \text{ N m}^{-1}$.

Závislost síly na prodloužení



Graf 1: Závislost síly na deformaci aparatury

Dynamická zkouška deformace v tlaku

Pro provedení dynamické zkoušky jsme do aparatury vložili vzorek ze slitiny olova (50,5 %) a cínu (48%) s příměsí mědi, manganu a železa, jehož rozměry shrnuje tabulka 1. Závislost napětí na čase, kterou jsme získali, zobrazuje příloha 2. Tato závislost byla pomocí vztahů (3), (6), (7), (8) a (9) převedena na závislost napětí na relativním prodloužení – graf 2. Průřez byl určen ze vztahu pro obsah kruhu.

V grafu 2 byla za pomoci dozoru odhadnuta lineární část, která byla proložena přímkou s předpisem $y = \lambda x + b$. Pomocí funkce *linregrese* v programu *Excel* byly koeficienty určeny takto:

$$\lambda = (238,2 \pm 2,5) \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$b = (-1047,8 \pm 1,6) \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

Mez úměrnosti byla určena přibližně graficky při přiblížení patřičného místa grafu.

Pro určení meze 0,2 byla do grafu 2 zkonstruována rovnoběžka se zmíněnou regresní přímkou posunutá o 0,2 % v kladném směru osy x. Místo, kde se tato rovnoběžka protнула s naměřenými hodnotami, označuje mez 0,2.

Chyba meze úměrnosti byla určena jako

$$\sigma_{\sigma_U} = \sigma_U \sqrt{\left(\frac{\sigma_\alpha}{\alpha}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(2 \frac{\sigma_d}{d}\right)^2}, \quad (13)$$

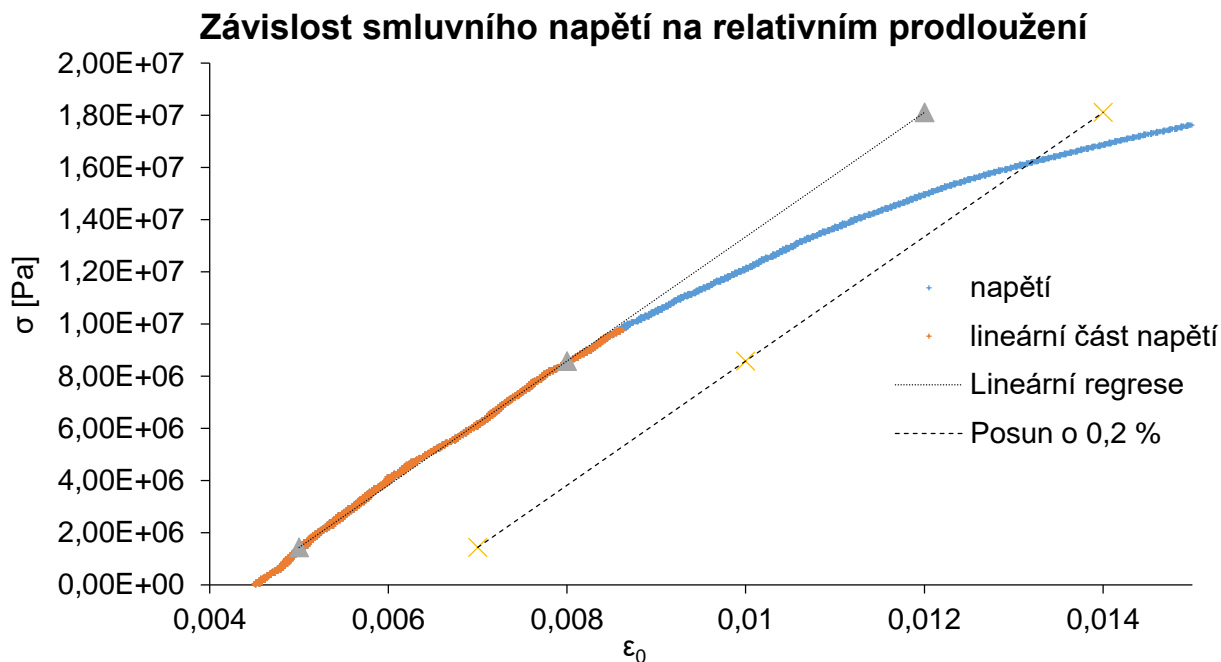
k níž bylo ještě vzhledem k možné nepřesnosti odečítání hodnoty z grafu přičteno 0,1 MPa.

Chyba meze 0,2 byla určena analogicky.

Mez napětí a mez 0,2 daného vzorku byly určeny takto

$$\sigma_U = (9,8 \pm 0,2) \text{ MPa}$$

$$\sigma_{0,2} = (16,2 \pm 0,3) \text{ MPa}.$$



Graf 2: Závislost smluvního napětí na relativním prodloužení vzorku

D. Diskuze

Tabelovaná hodnota pro mez pružnosti odpovídajícího materiálu nabyta nalezena, nelze tedy porovnat výsledky.

Do výpočtů nebyla započítána nejistota určování času a napětí. Vzhledem k hodnotám udávaným k multimetru je tato chyba zanedbatelná.

Provedli jsme ovšem pouze jedno měření, což k chybě mohlo podstatně přispět. Měření mohlo být značně ovlivněno chybou při měření rozměrů a neuvažováním chyby zdvihu D .

Uvažovali jsme smluvní napětí, průřez jsme tedy považovali za konstantní. Jak ale ukazuje tabulka 1, tento model neodpovídá realitě.

V obou případech jsme začínali měřit bez zatížení, hlavice teprve dosedaly na vzorek. Počátky grafů tedy nemají takový trend, jaký bychom čekali. Tyto části grafu byly z výpočtů vyřazeny.

Nakonec se také ukazuje, že je nutné uvažovat tuhost aparatury, neboť se deformuje více než vzorek.

E. Závěr

Na aparatuře, jejíž tuhost byla určena jako $K = (18,5 \pm 0,4) \cdot 10^5 \text{ N m}^{-1}$ (relativní chyba 2,2%), byla provedena dynamická zkouška deformace v tlaku vzorku ze slitiny převážně olova a cínu. Mez pružnosti a mez 0,2 tohoto materiálu vyšly jako

$\sigma_U = (9,8 \pm 0,2) \text{ MPa}$ (relativní chyba 2%) a

$\sigma_{0,2} = (16,2 \pm 0,3) \text{ MPa}$ (relativní chyba (1,9 %)).

F. Seznam použité literatury

[1] KVOF MFF UK. *Studijní text k fyzikálnímu praktiku I, úloha XI* [online]. [cit. 27.3.2019]. Dostupný na WWW: https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_111.pdf

[2] AUTOR NEUVEDEN. *Příklad vyhodnocení - přímé měření* [online]. [cit. 27.3.2019]. Dostupný na WWW: https://physics.mff.cuni.cz/kfnt/nmr/download/chlan/NOFY055/prime_mereni.pdf