

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 .

Teorie

K deformacím pevných látek dochází působením tahu či tlaku. Popis velkých deformací je obecně složitý, musíme rozlišovat skutečné napětí [1]

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

počítaným s průřezem deformovaného vzorku, a smluvním napětím [1]

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

s původním průřezem vzorku.

Zavádíme také relativní deformaci [1]

$$\epsilon_0 = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (3)$$

Při konstantním objemu vzorku lze psát [1]

$$\sigma' = \sigma(1 + \epsilon_0) \quad (4)$$

Použitá metoda měření deformace vzorku produkuje výsledky jako závislost napětí U na čase t . Pro zjištění tuhosti aparatury je nutné tyto veličiny přepočítat na závislost působící síly na změně délky [1]

$$F = K|\Delta l|, \quad (5)$$

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

$$F = \alpha U, \quad (7)$$

kde K je tuhost pružiny, $f = 0,6 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ stálý kmitočet otáčení kotouče, $D = 0,75 \text{mm}$ zdvih za jednu otáčku a $\alpha = 50 \text{N mV}^{-1}$.

Pro případ dynamické zkoušky deformace je pak nutné tyto veličiny dále přepočítat podle (2) a (3) s tím, že vzhledem k tuhosti aparatury upravíme hodnotu Δl podle [1]

$$|\Delta l_v(F)| = \Delta l(F) - \frac{F}{K}. \quad (8)$$

Překročí-li napětí mez pružnosti, začne se vzorek deformovat plasticky, nevrátí se tedy již do původního tvaru. Definujeme $\sigma_{0,2}$, tedy napětí, při kterém se vzorek zdeformuje o 0,2 %.

Statistické vyhodnocení

Průměrná hodnota naměřených veličin při n měřeních je počítána podle vzorce aritmetického průměru [2]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Statistická chyba σ_{stat} aritmetického průměru se získá ze vztahu [2]

$$\sigma_{stat} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{\sqrt{n}}.$$

Absolutní chyba je potom získána z σ_{stat} a chyby měřidla $\sigma_{měř}$ jako [3]

$$\sigma_{abs} = \sqrt{\sigma_{měř}^2 + \sigma_{stat}^2}$$

Chyba výpočtů se řídí zákonem přenosu chyb [4], lineární regrese podle metody nejmenších čtverců [5].

Výsledky měření

Podmínky měření jsou uvedeny v následující tabulce.

Teplota [°C]	Tlak [hPa]	Vlhkost [% RH]
25,3	984,5	29,8

Tabulka 1: Podmínky měření

Všechny délkové rozměry byly měřeny mikrometrem. Rozměry vzorku před deformací:

$$l_0 = (10,03 \pm 0,01) \text{ mm}$$

$$d_0 = (7,43 \pm 0,01) \text{ mm}$$

Rozměry po deformaci:

$$l = (9,88 \pm 0,01) \text{ mm}$$

$$d = (7,47 \pm 0,01) \text{ mm}$$

Data naměřená v rámci zjišťování tuhosti aparatury jsou vynesena v příloženém grafu 1. Použitý vzorek považujeme za absolutně tuhý.

Data naměřená při dynamické zkoušce deformace vzorku jsou vynesena v příloženém grafu 2.

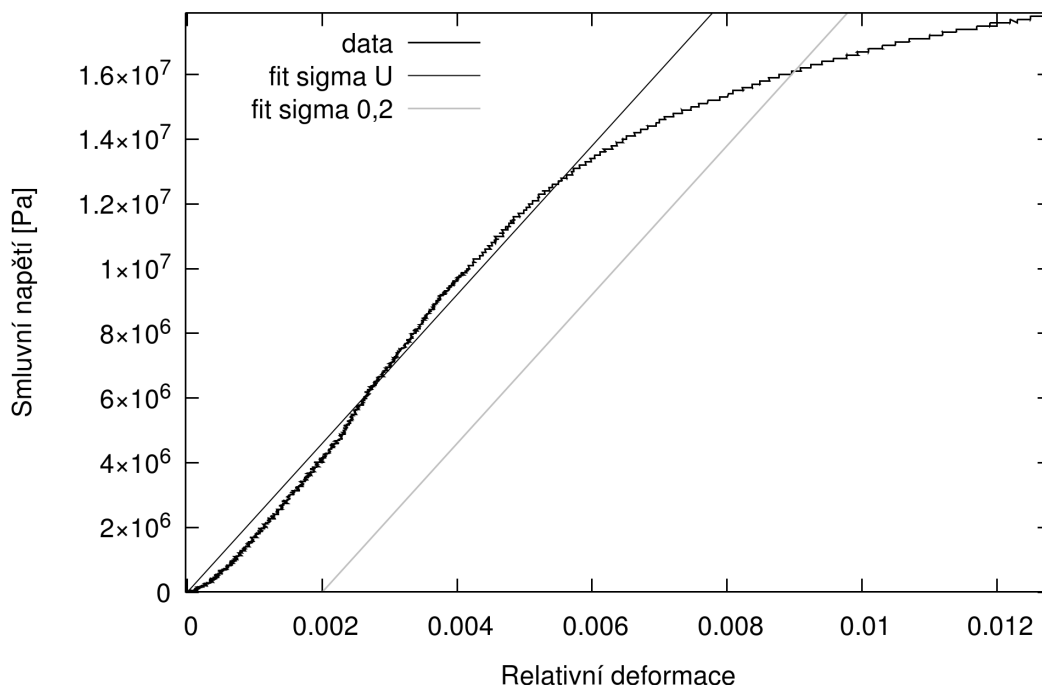
Úkol 1

Tuhost aparatury určíme fitem lineární části závislosti (5) v příloženém pracovním grafu 3 rovnicí $f(x) = Kx + b$.

$$K = (1839,7 \pm 0,5) \times 10^3 \text{ N m}^{-1}.$$

Úkol 3

Veličiny byly přepočítány podle postupu popsaném v teorii, pro lineární regresi byla vybrána oblast dat s lineárním průběhem.



Obrázek 1: Graf závislosti napětí na relativním prodloužení

Z lineární regrese v grafu určíme σ_U a $\sigma_{0,2}$. Chyby těchto hodnot jsou určené odhadem.

$$\sigma_U = (1,3 \pm 0,1) \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{0,2} = (1,6 \pm 0,1) \times 10^7 \text{ Pa}$$

Diskuse

Samotná surová data získaná experimentem jsou zatížena poměrně malou chybou díky uzpůsobení experimentu a prakticky vyloučením faktoru lidské chyby z procesu měření, ten byl totiž prakticky celý automatizován. Kvůli nedokonalému chování kovového vzorku při stlačování však dokonale neplatí Hookův zákon a průběh tak není ani do bodu úměrnosti zcela lineární.

Proto při tomto měření bylo nutné se na několika místech spoléhat na odhad, především při výběru lineárních částí průběhů funkcí. Z toho mohou být výsledné hodnoty zatíženy poměrně velkou systematickou chybou. Tyto chyby navíc nelze jednoduše přesně určit, jsou tedy samotné podrobeny stejné nepřesnosti způsobené subjektivním odhadem.

Závěr

Tuhost aparatury je

$$K = (1839,7 \pm 0,5) \times 10^3 \text{ N m}^{-1}.$$

Mezní napětí jsou

$$\sigma_U = (1,3 \pm 0,1) \times 10^7 \text{ Pa}$$

a

$$\sigma_{0,2} = (1,6 \pm 0,1) \times 10^7 \text{ Pa}.$$

Literatura

- [1] Studijní text "Dynamická zkouška deformace látek v tlaku", dostupné z http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_111.pdf
- [2] Doc. Mgr. Jakub Čížek, PhD.: prezentace Úvod do praktické fyziky, seminář 10, dostupné z <http://physics.mff.cuni.cz/kfnt/vyuka/upf/seminar10.pdf>
- [3] Doc. Mgr. Jakub Čížek, PhD.: prezentace Úvod do praktické fyziky, seminář 1, dostupné z <http://physics.mff.cuni.cz/kfnt/vyuka/upf/seminar1.pdf>
- [4] Doc. Mgr. Jakub Čížek, PhD.: prezentace Úvod do praktické fyziky, seminář 9, dostupné z <http://physics.mff.cuni.cz/kfnt/vyuka/upf/seminar9.pdf>
- [5] Doc. Mgr. Jakub Čížek, PhD.: prezentace Úvod do praktické fyziky, seminář 11, dostupné z <http://physics.mff.cuni.cz/kfnt/vyuka/upf/seminar11.pdf>