

1 Úkol

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

2 Teorie

Deformace v tlaku je případ, kdy působíme na zkoumané těleso silou F , která má nulové tečné složky. V našem případě se jedná o sílu působící kolmo na podstavy válečku. Tato síla způsobí, že se původní délka l_0 válečku zmenší na l a jeho průměr d_0 se naopak zvětší na d . Pro popis této změny se zavádí napětí definované vztahem

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

kde F je síla popsaná výše a S průřez válečku. Rozlišujeme dva základní druhy, a to smluvní napětí σ , kde bereme S konstantní během celé deformace, a skutečné napětí σ' , které počítá se změnou průřetu během deformace.

Dále zavádíme relativní deformace

$$\varepsilon_0 = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{l}{l_0} - 1 \quad (2)$$

a skutečná deformace

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} \quad (3)$$

Dále pokud předpokládáme, že má zkoumaný vzorek konstantní objem, tzn. nedochází k paltické deformaci, můžeme vyjádřit skutečné napětí

$$\sigma' = \sigma(1 + \varepsilon_0) \quad (4)$$

Povrchové napětí nobývá dvou význačných hodnot. První je σ_U , kterým se značí mezní napětí. Do tohoto bodu se totiž látka chová dle Hookova zákona

$$\sigma = \varepsilon E, \quad (5)$$

kde ε je relativní prodloužení a E Jounkův modul pružnosti v tahu resp. tlaku. Druhá hodnota je mez pružnosti σ_E . Po přesáhnutí toho bodu se stává deformace nevratnou a pokud se výrazně změní deformace, nastává takzvaný kluz, díky čemuž je snažší učit její hodnotu.

Zkoumaný objekt dále charakterizuje *mez 0.2*, která značí napětí, při kterém je platcká deformace rovna 0.2 %. Tato hodnota se dá vyčíst ze zatěžovacího diagramu. Za předpokladu, že platí vztah

$$|\varepsilon_0| = |\varepsilon_{el}| + |\varepsilon_{pl}|, \quad (6)$$

kde ε_{el} značí eastickou složku deformace a ε_{pl} složku plastickou, můžeme počítat s tím, že elastická složka splňuje Hookův zákon i za mezním napětím. Díky tomu stačí do zatěžovacího diagramu zanást přímku s předpisem

$$\sigma = E(\varepsilon - 0.2), \quad (7)$$

kde E určíme z hodnot do mezního napětí. Tato přímká se nám protne s křivkou diagramu a v tomto bodě odečteme $\sigma_{0.2}$.

Podrobnější popis chování tuhých látek při deformaci a přesnější modely naleznete v [2].

V našem případě rovnoměrně zvyšujeme relativní deformaci dle vztahu

$$\varepsilon = \frac{tvs}{l_0}, \quad (8)$$

kde t je čas, v rychlost otáčení šroubu aparatury, jejíž hodnota je $v = 0.6 \cdot 10^{-3} \text{s}^{-1}$, s vzdálenost, o kterou se posune píst za jednu otáčku, která je $s = 0.75 \text{ mm}$ a l_0 původní délka vzorku. Sílu určujeme díky tenzometrickému odporovému snímači, který převádí sílu na něj působící na napětí. Zpětně získáme sílu

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

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

Nakonec musíme započítat opravu na tuhost aparatury, protože se působením síly sama deformuje. Tuto deformaci považujeme za elastickou, proto musí splňovat rovnici

$$F = \kappa|\Delta l|, \quad (10)$$

kde κ je tuhost aparatury, kterou změříme samostatným měřením se vzorkem s výrazně vyšším poloměrem, který je zhotoven z tuhého materiálu (v našem případě oceli), a Δl je změna délky aparatury. Vztahu (10) využijeme při korekci relativního prodloužení vzorku.

3 Výsledky měření

Teplota v laboratoři byla $297.15K$ a vlhkost 26.8 %.

Nejprve jsem si změřil rozměry vzorku. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 1 spolu s určenou střední hodnotou a statistickou chybou dle [3].

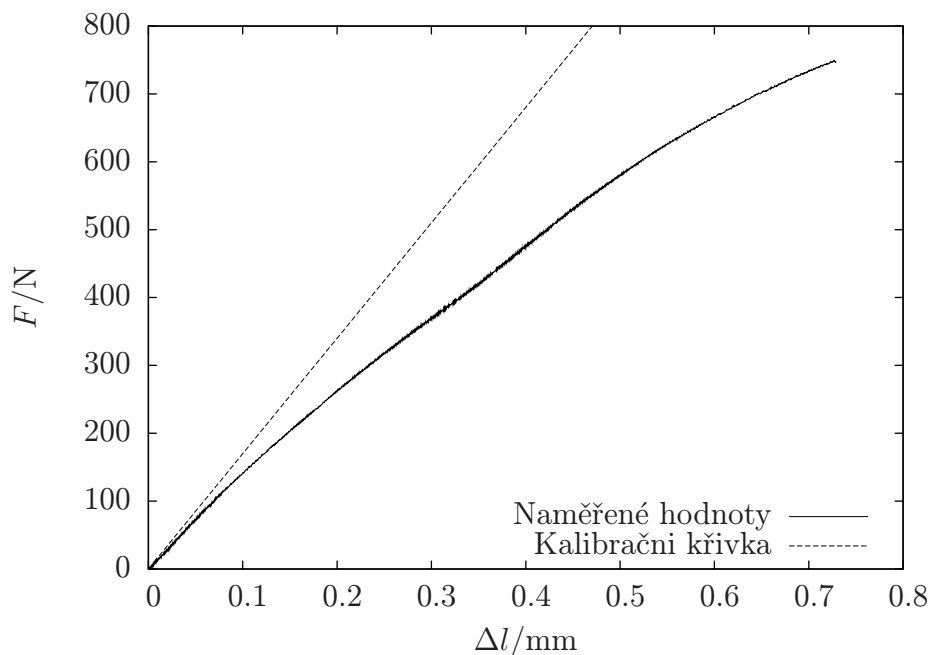
l_1/cm	1.005	1.010	1.010	1.005	1.005	1.007 ± 0.005
d_0/mm	7.46	7.47	7.47	7.46	7.47	7.47 ± 0.01

Tabulka 1: Rozměry vzorku před měřením.

Následně jsme určil konstantu charakterizující tuhost aparatury κ . Na začátku měření bylo vidět, že chvilku trvá, než si aparatura sesedne se vzorkem, proto jsem počáteční hodnoty zanedbal. Zbylým jsem v programu Gnuplot nařadil lineární křivku a její směrnice je mnou hledaná konstanta

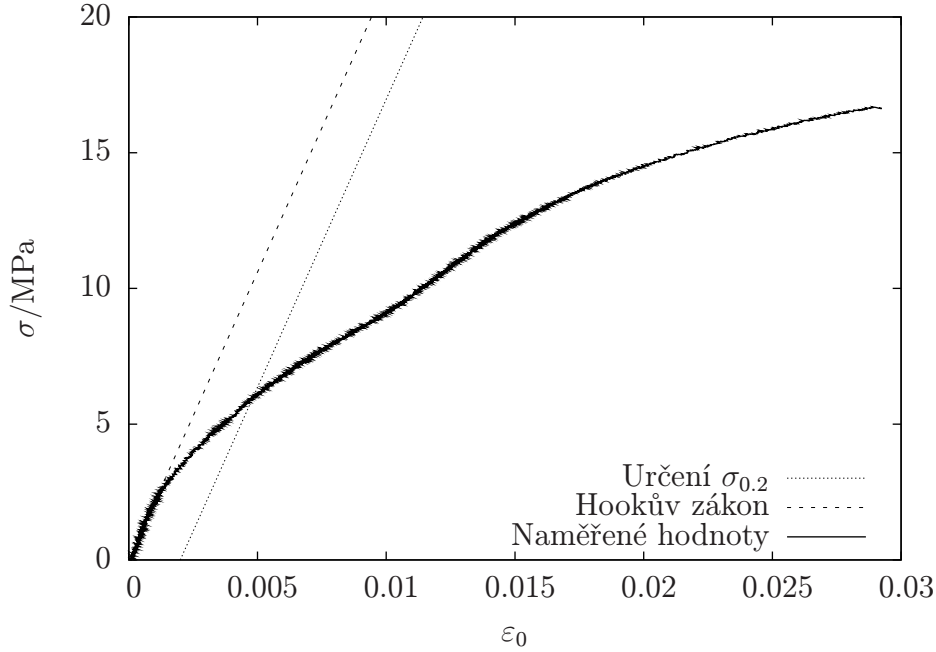
$$\kappa = (1.7 \pm 0.2) \cdot 10^6 \text{N/m}, \quad (11)$$

přičemž její chyba je složena z chyb rychlosti otáčení, konstanty α a chyby fitu.



Obrázek 1: Kalibrační křivka spolu s naměřenými hodnotami.

Poté jsem do aparatury vložil vzorek. Naměřené hodnoty spolu s kalibrační křivkou naleznete v obrázku 1.



Obrázek 2: Výsledný graf spolu s určením σ_U a $\sigma_{0.2}$

Následně jsem uplatnil korektury popsané výše na zanesl do grafu křivky potřebné k určení σ_U a $\sigma_{0.2}$. Výsledek je obrázek 2, ze kterého jsem odečetl hledané hodnoty a dle [3] dopčetl chybu.

$$\sigma_{0.2} = (6.0 \pm 0.4) \text{MN} \cdot \text{m}^{-2} \quad (12)$$

$$\sigma_U = (2.6 \pm 0.2) \text{MN} \cdot \text{m}^{-2} \quad (13)$$

Nakonec jsem přeměřil vzorek po vyjmutí z aparatury, abych se ujistil, zda došlo k elastické deformaci. Tyto hodnoty jsou v tabulce 2.

l/cm	9.970	9.970	9.975	9.975	9.975	9.973 ± 0.005
d/mm	7.55	7.57	7.55	7.56	7.57	7.56 ± 0.01

Tabulka 2: Rozměry vzorku po měření.

4 Diskuze

V mém měření se vyskytla obrovská chyba způsobená mnou chybnou manipulací s aparaturou. Markantní to je zejména na grafu 2, který neodpovídá fyzikální skutečnosti. Váleček jsem totiž před samotným měřením výrazně stlačil při umisťování do aparatury, z čehož vyplývá jistá elastická deformace na začátku měření, která není zahrnuta ve výpočtu ε_0 .

V grafu se to projevilo vlnou za hodnotou σ_U . Z tohoto důvodu mnou určené hodnoty σ_U a $\sigma_{0.2}$ nejsou příliš relevantní. Dále se při měření vyskytli drobné nepřesnosti. První byla nerovnoměrnost deformace vzorku. Po jeho vyjmutí z aparatury byl mírně prohnutý. Další chyba vznikla při kalibraci. Náš kalibrační vzorek zřejmě nebyl dokonale tuhý a také se u něj projevila plastická deformace.

5 Závěr

Určil jsem konstantu určující tuhost aparatury

$$\kappa = (1.7054 \pm 0.0007) \cdot 10^6 \text{ N/m}. \quad (14)$$

Provedl jsem dynamickou zkoušku deformace vzorku, která je zobrazena v grafu 1. Z obrázku 2 jsem určil hodnoty

$$\sigma_{0.2} = (6.0 \pm 0.1) \text{ MN} \cdot \text{m}^{-2}, \quad (15)$$

$$\sigma_U = (2.6 \pm 0.1) \text{ MN} \cdot \text{m}^{-2}. \quad (16)$$

Reference

- [1] **Studijní text na praktikum I**
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_107.pdf (21. 3. 2011)
- [2] *Prof. RNDr. Jozef Kvasnica, DrSc. a kolektiv: Mechanika*
 Academia, Praha 1988
- [3] *J. English: Zpracování výsledků fyzikálních měření*
 LS 1999/2000