

XI. Dynamická zkouška deformace látek v tlaku

Deformace vzorku

Působíme-li na vzorek pevné látky tlakem nebo tahem, dochází ke změnám jeho rozměrů, vzorek se deformuje. Bude-li na válcový vzorek ve směru osy válce působit síla F , změní se původní délka vzorku l_0 na l . Velikost změny délky vzorku závisí na materiálu vzorku, na velikosti působící síly a výchozím průřezu vzorku S_0 obecně složitým způsobem. Konkrétní tvar závislosti deformace na napětí bývá při deformační zkoušce různý pro různé materiály.

Při popisu velkých deformací již samo vyjádření deformace a napětí není jednoduché. Je třeba rozlišovat mezi *skutečným napětím* σ' , vztaženým ke skutečnému průřezu vzorku S

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

a *smluvním napětím* σ , které se vztahuje k průřezu nedeformovaného vzorku S_0 .

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

Mimo *relativní deformaci* ε_0 , zavedenou jako poměrné prodloužení vztažené k původní délce vzorku l_0 ,

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

se zavádí *skutečná deformace* ε vztahem

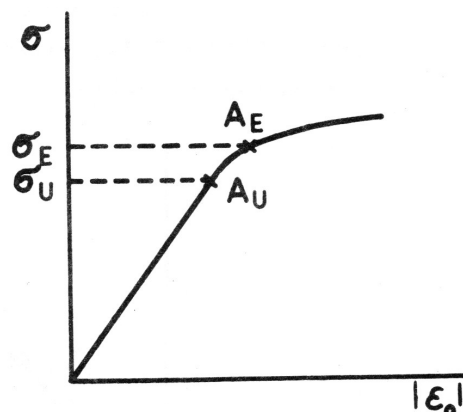
$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} . \quad (4)$$

Předpokládáme-li konstantní objem vzorku (tento předpoklad není přesně splněn v elastickém oboru, ale je dobrým přiblížením v plastickém oboru deformací), pak můžeme vyjádřit napětí σ' vztahem

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

V plastickém oboru však nemusí být deformace v každém místě vzorku stejná. Potom napětí σ' , určené ze vztahu (5) není skutečným napětím v každém místě vzorku, zejména ne skutečným napětím v nejvíce namáhané části vzorku.

Pro řadu kovových materiálů je možné závislost deformace na smluvním napětí σ vystihnout křivkou, která je znázorněna na obr. 1. Až po bod A_U je deformace úměrná napětí, chování látky vystihuje *Hookův zákon*. Bod A_U charakterizuje *mez úměrnosti* σ_U . Překročí-li napětí mez úměrnosti, přímá úměrnost mezi napětím a deformací je porušena. Až po bod A_E deformace vzorku po odstranění napětí klesá na nulovou hodnotu. Napětí σ_E je *mezí pružnosti*. Při dalším zvyšování napětí vzorek po odtížení vykazuje trvalou deformaci, jejíž velikost závisí jak na velikosti napětí, tak i na době jeho působení. Nastává-li v bodě A_E výrazná změna deformace,



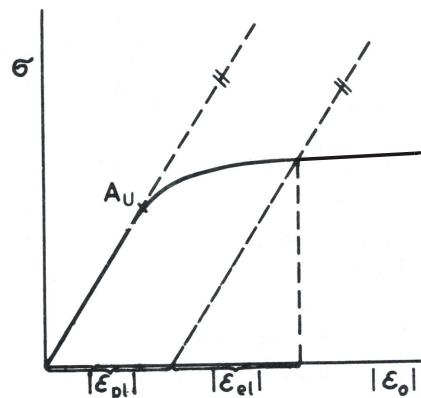
Obr. 1

kluz, je stanovení meze pružnosti snadné. Pro většinu materiálů je však přechod mezi plastickou a elastickou oblastí deformace nenápadný.

Podle definice se mez pružnosti hledá tak, že se postupně zvyšuje napětí na vzorku. Vzorek se nechá jistou dobu pod napětím, napětí se sejme a zjišťuje se velikost trvalé deformace. Když trvalá plastická deformace dosáhne měřitelné hodnoty, zjemní se kroky, po kterých se zvyšuje napětí, až se dosáhne napětí, kterému odpovídá normovaná míra plastické deformace. Za běžnou míru plastické deformace se volí $\varepsilon_{pl} = 0,2 \%$. Napětí příslušné této hodnotě plastické deformace $\sigma_{0,2}$ je označováno jako *mez 0,2*. Tuto mez lze také přibližně určit přímo ze zatěžovacího diagramu. Předpokládáme, že se deformace skládá z elastické ε_{el} a plastické ε_{pl}

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

přičemž elastická část i za mezí pružnosti je určena Hookovým zákonem s konstantou úměrnosti stanovenou z přímkové počáteční části tlakové deformační křivky, tj. od počátku do bodu A_U . Pro danou relativní deformaci $|\varepsilon_0|$ určíme složky $|\varepsilon_{el}|$ a $|\varepsilon_{pl}|$ způsobem naznačeným na obr. 2. Mez 0,2 dává dobrou informaci o velikosti napětí, při kterém materiály vstupují do oboru plastické deformace.



Obr. 2

Dynamická zkouška deformace v tlaku

Dynamická zkouška deformace v tlaku se provádí na měřicím zařízení, které umožňuje stlačování vzorku konstantní rychlostí a přesnou detekci působící síly v závislosti na deformaci.

Vzorek válcového tvaru je upnut mezi výsuvným podstavcem a upevněnou hlavicí detektoru síly. Posuv podstavce obstarává přes vhodné převody elektromotorek. Změnu délky deformovaného vzorku můžeme orientačně odečíst přímo pomocí kotouče se stupnicí umístěného na podstavci. Jedna otáčka kotouče odpovídá zdvihu $D = 0,75 \text{ mm}$, stálý kmitočet otáčení kotouče je $f = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$. Pro rychlost posunu výsuvného podstavce tedy platí

$$v_d = f \cdot D. \quad (7)$$

Pro změnu délky za dobu Δt platí

$$\Delta l_A = v_d \Delta t. \quad (8)$$

K určení působící síly se používá tenzometrický odporový snímač, který převádí změny působící síly na změny elektrického odporu měrných pásků. Tyto elementy jsou zapojeny do můstkového obvodu. Změny působící síly pak můstek vyhodnotí jako změnu výstupního napětí. Výstupní napětí snímače je připojeno na multimetr NI USB-4065. Při napájení tenzometru stejnosměrným stabilizovaným napětím 5,5 V platí pro působící sílu

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

kde U je výstupní napětí a $\alpha = 50 \text{ N/mV}$. Časovou závislost napětí je možné zobrazit pomocí programu *Zapisovač*.

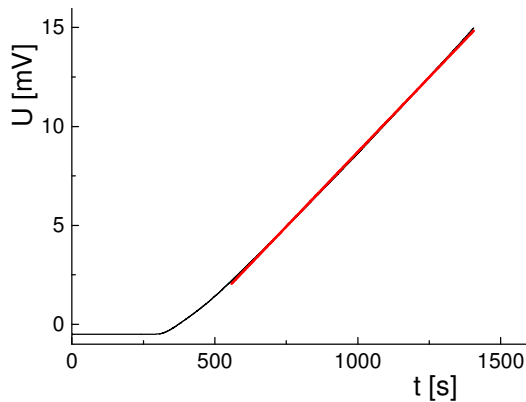
Tuhost aparatury

Při provádění tlakové zkoušky je třeba provádět opravu na tuhost aparatury, kterou nelze vzhledem k velikosti přenášených sil pokládat za nedeformovatelnou.

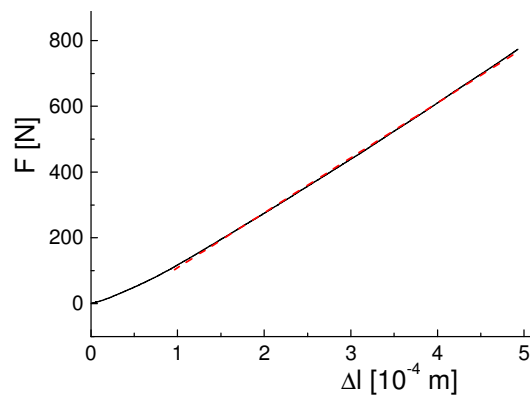
Předpokládáme, že poměr délkové změny aparatury $|\Delta l_A|$ k přenášené síle F je konstantní, tj. že aparatura je elastická. Potom platí

$$F = K \cdot |\Delta l_A|, \quad (10)$$

kde konstanta K charakterizuje *tuhost aparatury*. Hodnotu konstanty K pro danou aparaturu lze stanovit např. tak, že se provede dynamická zkouška v tlaku s kalibračním vzorkem, který je zhotoven z materiálu o známé vysoké hodnotě modulu pružnosti v tahu a jehož příčné rozměry jsou podstatně větší než rozměry měřených vzorků. Pak lze kalibrační vzorek pokládat za absolutně tuhý a zjištěné délkové změny připsat deformaci aparatury. Pro měření tuhosti aparatury je připraven kalibrační vzorek z oceli. Na začátku měření tuhosti není aparatura a vzorek v těsném kontaktu, na měřené závislosti lze pozorovat při malých deformacích nelineární část, která odpovídá dosedání aparatury. Tuhost aparatury určíme ze směrnice lineární části závislosti síly na změně délky (obr. 4).



Obr. 3: Záznam měření s kalibračním vzorkem.



Obr. 4: Vyhodnocení tuhosti aparatury.

Vyhodnocení dynamické zkoušky

Při výpočtu relativní deformace je nutné uvažovat skutečnou změnu délky vzorku. Měřenou změnu délky nelze připsat pouze deformaci vzorku, neboť se deformuje i aparatura. Celková deformace $|\Delta l|$ je dána součtem deformace vzorku Δl_v a aparatury

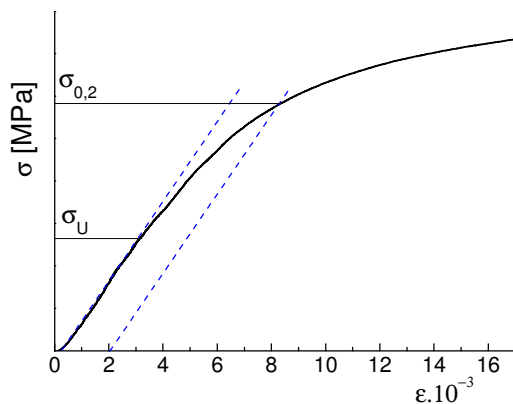
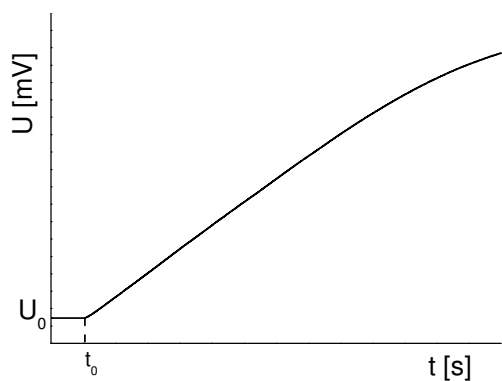
$$|\Delta l| = |\Delta l_v| + |\Delta l_A|. \quad (11)$$

Pro deformaci vzorku při působící síle F platí

$$|\Delta l_v(F)| = \Delta l(F) - \frac{F}{K}. \quad (12)$$

Křivka na obr. 5 odpovídá zápisu *dynamické tlakové zkoušky* vzorku. Multimetrem měříme obdobně jako v případě kalibrace aparatury závislost elektrického napětí na čase. Mechanické smluvní napětí určíme pomocí vztahů (2) a (9). Relativní deformaci počítáme v závislosti na působící síle podle (11) a (2). Zatímco při vyhodnocení tuhosti aparatury je důležitá pouze směrnice závislosti, pro

výpočet smluvního napětí a relativní deformace je nutné počátek $[U_0, t_0]$ uvažovat a ve vztahu (9) použít rozdíl $\Delta U = U - U_0$.



Obr. 5: Záznam měření s deformace vzorku. Obr. 6: Vyhodnocení dynamické tlakové zkoušky.

Literatura:

- [1] Brož, J. a kol.: Základy fyzikálních měření I. SPN, Praha 1983, čl. 2.3.2.1
- [2] Brož, J. a kol.: Základy fyzikálních měření II B. SPN, Praha 1973, st. 10.2.2, 10.5.3, 10.5.4.
- [3] Horák, Z., Krupka F.: Fyzika, SNTL, Praha 1981, kap. 2.6.1, 2.6.2