

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

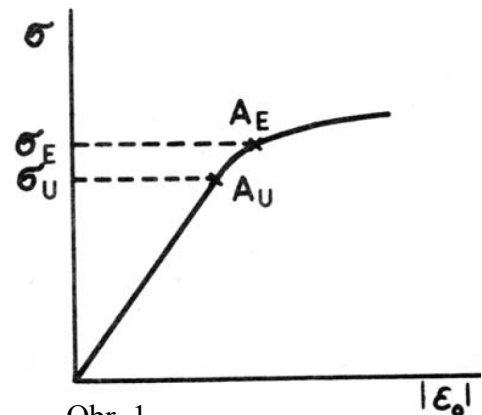
$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}. \quad (4)$$

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 odtižení vykazuje trvalou deformaci, jejíž velikost závisí jak na velikosti napětí, tak i na době jeho působení.



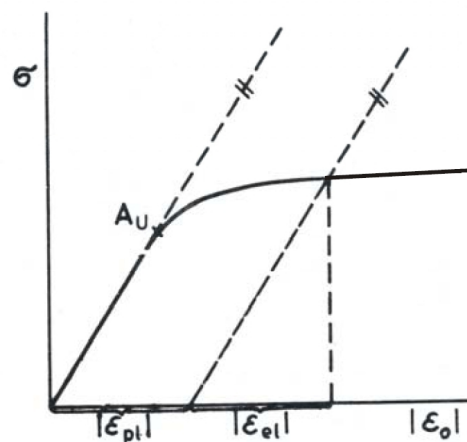
Obr. 1

Nastává-li v bodě A_E výrazná změna deformace, *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, zjenní 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 hlavici detektoru síly. Posuv podstavce obstarává přes vhodné převody elektromotorek (3x380 V, 50 Hz, 4,7 Nm, 5 otáček za minutu). Změnu délky deformovaného vzorku můžeme orientačně odečíst přímo pomocí kotouče se stupnicí umístěného na podstavci. Jedna otáčka kotouče odpovídá zdvihu 0,75 mm. Stálý kmitočet otáčení kotouče je $0,6 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$.

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 měřeno multimetrem NI USB-4065, časovou závislost napětí je možno zobrazit pomocí programu NI LabVIEW SignalExpress. Při napájení tenzometru stejnosměrným stabilizovaným napětím 5,5 V platí pro působící sílu

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

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

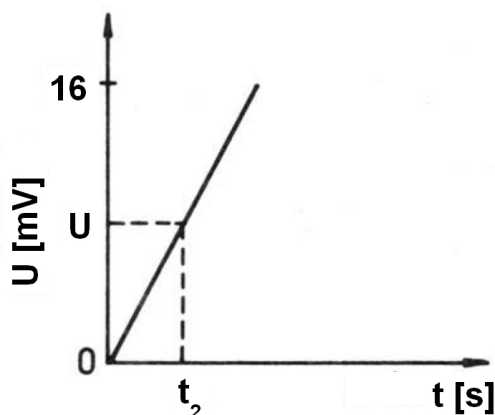
Při provádění tlakové zkoušky je třeba provádět opravu na tuhost aparatury, kterou nelze vzhledem k velikosti přenášených sil pokládat za nedeformovatelnou. Předpokládáme, že poměr

délkové změny aparatury Δl_A k přenášené síle F je konstantní, tj. že aparatura je elastická. Potom platí

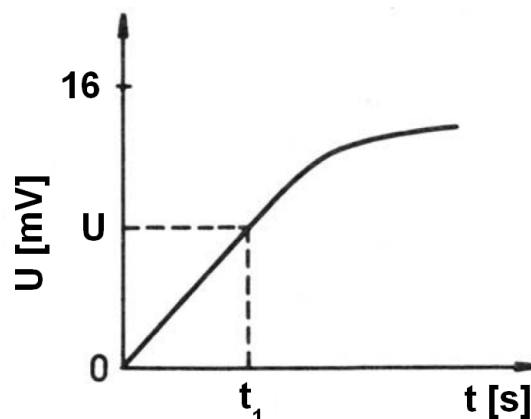
$$F = K \cdot |\Delta l_A|, \quad (8)$$

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. Délková změna aparatury při dané přenášené síle se pak musí odečítat od změřené změny délky vzorku.

Vyhodnocení dynamické zkoušky



Obr. 3



Obr. 4

Výsledkem měření tuhosti aparatury je kalibrační křivka znázorněná na obr. 3. Pro sílu F platí vztah (7). Hodnotu $|\Delta l_A|$ lze určit na základě znalosti rychlosti posunu výsuvného podstavce v_d , platí $|\Delta l_A| = v_d \cdot t$.

Křivka na obr. 4 odpovídá zápisu dynamické tlakové zkoušky vzorku. Při síle, které odpovídá napětí U , je změna délky vzorku $|\Delta l|$ úměrná rozdílu $(t_1 - t_2)$.

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