

E xperimentální A nalýza N apětí 2004

TORSION TEST, TENSILE TEST, STATIC STRENGTH CRITERION AND HAIGH'S DIAGRAM

TORZNÍ TEST, TRHACÍ ZKOUŠKA, KRITÉRIUM STATICKÉ PEVNOSTI A HAIGHOVO ZOBRAZENÍ

Jan Fuxa¹, Rostislav Kubala², Martin Fusek², František Fojtík², Karel Frydryšek², Zdeněk
Poruba²

Strength criterion and searching for its constants using torsion and tensile tests. Haigh's diagrams. Torsion test evaluation. Tensile test evaluation.

Keywords *Strength criterion, torsion test evaluation, tensile test, Haigh's diagram.*

Klíčová slova *Kritérium pevnosti, vyhodnocení torzního testu, trhací zkouška, Haighův diagram.*

Úvod

Príspevek se zabývá tvárným porušováním kovových materiálů při kvazistatickém zatěžování. Využívá *kritérium referenčních napětí* – popsané v [1]. Pro stanovení konstant pevnostního kritéria jsou využity výsledky *krouticí* a *trhací zkoušky* při zatěžování vzorků vyrobených z konstrukční oceli 11 600.

Kritérium pevnosti

Nejjednodušší tvar *kritéria referenčních napětí*, psaný pro konstantní teplotu a deformační rychlost má podobu:

$$\tau_R = A - B \cdot \sigma_R, \quad (1)$$

kde referenční normálové napětí σ_R je definováno vztahem:

$$\sigma_R = \lim_{R \rightarrow 0} \int_{(S)} \sigma_p(\mathbf{R}, \omega, \varphi) \cdot dS / (4\pi \cdot R^2), \quad (2)$$

referenční smykové napětí je určeno výrazem:

$$\tau_R = \lim_{R \rightarrow 0} \left[\int_{(S)} \tau_p^2(\mathbf{R}, \omega, \varphi) \cdot dS / (4\pi \cdot R^2) \right]^{1/2}, \quad (3)$$

σ_p, τ_p je normálové a smykové napětí na obecné rovině.

¹ Prof. Ing. Jan Fuxa, CSc.: VŠB-TU Ostrava, FS, Katedra pružnosti a pevnosti; třída 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava - Poruba, ČR, tel.: +42596994412, e-mail: jan.fuxa@vsb.cz

² Ing. Rostislav Kubala, CSc., Ing. Martin Fusek, Ing. František Fojtík, Ing. Karel Frydryšek, Ph.D., Ing. Zdeněk Poruba – všichni VŠB-TU Ostrava, FS, Katedra pružnosti a pevnosti

Rovnice (1) obsahuje konstanty A , B , které lze určit z výsledků laboratorních zkoušek, provedených při odlišných napěťových stavech. V našem případě jsou využity výsledky krutové a trhací zkoušky.

Připomínáme, že *intenzita napětí* S_σ , definovaná výrazem:

$$S_\sigma = 1/2^{1/2} \cdot ((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2)^{1/2}, \quad (4)$$

kde σ_1 , σ_2 , σ_3 jsou hlavní napětí, jednoduše souvisí s referenčním smykovým napětím:

$$\tau_R = 0,365 \cdot S_\sigma \quad (5)$$

a že referenční normálové napětí σ_R je numericky shodné s oktaedrickým normálovým napětím σ_O . Proto lze kritérium pevnosti (1) psát také ve tvaru:

$$S_\sigma = A_0 - B_0 \cdot \sigma_O. \quad (6)$$

Data

Při *kroucení* dutého zkušebního vzorku $\phi 8,8 / \phi 6 - 3,2$ [mm] (vnější průměr / vnitřní průměr – délka „aktivní“ části) bylo změřeno:

úhel zkrutu při porušení: $\varphi_L = 0,698$ [rad]

kroučicí moment při porušení: $M_{KL} = 75,68$ [Nm].

Při *trhání* vzorku $\phi 8,8 / \phi 6 - 3,2$ [mm] bylo změřeno:

Síla při lomu $F_{AL} = 30\,220,7$ [N],

vnější průměr vzorku po přetržení $\phi d_{2L} = 8,632$ [mm],

vnitřní průměr vzorku po přetržení $\phi d_{1L} = 6,057$ [mm].

Mezní hodnoty

Pro *kroucení* [2]:

Parametr Z_L nabývá hodnotu:

$$Z_L = R_2 \cdot \varphi_L / L = 4,4 \cdot 0,698 / 3,2 = 0,9598 \text{ [-]},$$

mezní intenzita deformace S_{ε_L} :

$$S_{\varepsilon_L} = 0,605793 \text{ [-]}.$$

Smykové napětí na obrysu příčného řezu, v závislosti na intenzitě napětí S_σ :

$$\tau_\rho = 0,5205 \cdot S_\sigma$$

a z bilanční rovnice kroučicího momentu pak:

$$S_{\sigma L \text{ krut}} = M_{KL} \cdot 1000 \cdot 3 / (2 \cdot \pi \cdot 0,5205 \cdot (R_2^3 - R_1^3)) = 1193,1 \text{ [MPa]}, \quad \sigma_O = \sigma_R = 0.$$

Pro *trhání* vychází:

mezní intenzita napětí a mezní oktaedrické napětí:

$$S_{\sigma L \text{ tah}} = F_{AL} / S_1 = 30\,220,7 / 29,698 = 1017,6 \text{ [MPa]}, \quad \sigma_{O \text{ tah}} = \sigma_{R \text{ tah}} = 339,2 \text{ [MPa]}.$$

Výsledkem pak jsou uspořádané dvojice mezních hodnot (oktaedrického napětí a intenzity napětí) pro kroucení a tah:

$$[\sigma_O ; S\sigma_L]_{krut} = [0 ; 1193,1]_{krut} , \quad [\sigma_O ; S\sigma_L]_{tah} = [339,2 ; 1017,6]_{tah} \quad [MPa].$$

Kriteriální rovnice

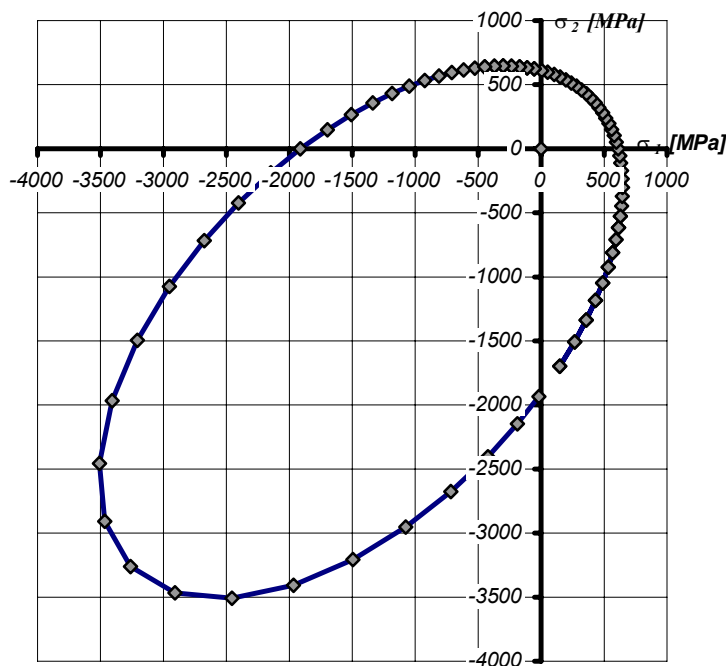
Dosažením hodnot $[\sigma_O ; S\sigma_L]_{krut}$ a $[\sigma_O ; S\sigma_L]_{tah}$ do (6) získáme pevnostní kritérium ve tvaru:

$$[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{1/2} = 1686,6 - 0,2447 \cdot (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3). \quad (7)$$

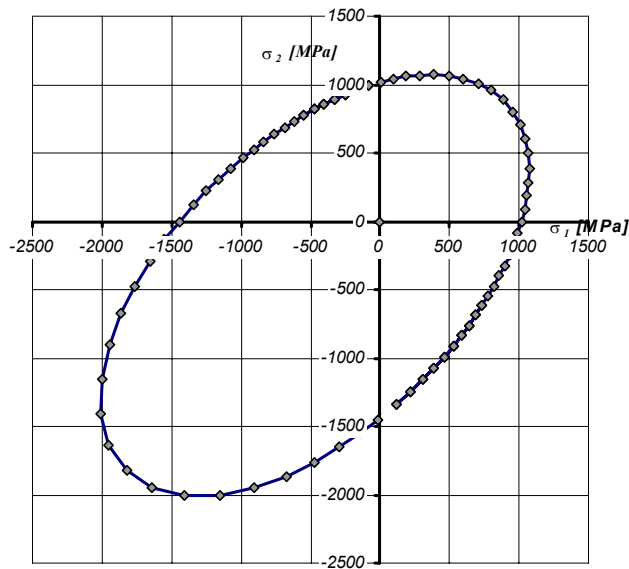
V Haighově zobrazení $[\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3]$ se jedná o mezní plochu ve tvaru pláště rotačního kužele, jehož osa je totožná s osou prvního oktantu.

Haighovy diagramy

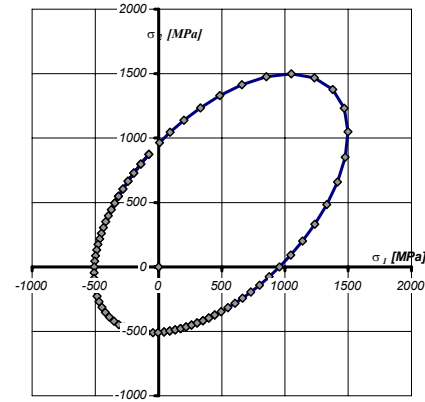
Na Obr. 1, 2, 3 jsou vykresleny Haighovy diagramy při úrovních třetího hlavního napětí – 800; 0; + 800 [MPa]. Jsou to řezy rotačního kužele rovinami $\sigma_3 = konst.$



Obr. 1 - Haighův diagram, $\sigma_3 = - 800$ MPa



Obr. 2 Haighův diagram, $\sigma_3 = 0$



Obr. 3 Haighův diagram, $\sigma_3 = + 800$ MPa

Závěr

- 1) Byla popsána metoda získání *kritéria statické pevnosti* tvárného materiálu zatěžovaného při pokojové teplotě nízkou deformační rychlostí. Bylo využito *kritérium referenčních napětí* [1].
- 2) Ke stanovení konstant pevnostního kritéria byly užity výsledky experimentu – *trhací zkoušky a zkoušky kroucením*. Krutová zkouška byla vyhodnocena podle metodiky popsané v práci [2].

Literatura

- [1] Fuxa, J.: *Fracture Strain Diagram and Strength Criterion* – In: Engineering Mechanics 2003, National Conference with International Participation, Svratka, Czech Republic, May 12 – 15, 2003, p. 94, 95
- [2] Fuxa, J.: *Analytické řešení napětově-deformačního stavu při zkoušce krutem* – In: Výpočtová mechanika 2000, 16. Konference s mezinárodní účastí, Nečtiny, 30. říjen – 1. listopad 2000, s. 111- 118

Poděkování

Děkujeme GAČR za podporu projektu 101/04/0475.