



Experimentální Analýza Napětí 2001

Experimental Stress Analysis 2001

39th International Conference

June 4 - 6 , 2001 Tábor, Czech Republic

STRENGTH CRITERION AND FRACTURE STRAIN DIAGRAM

KRITÉRIUM PEVNOSTI A DIAGRAM MEZNÍ PLASTICITY

Jan FUXA ¹

Abstract: Failure in view of basic knowledge of physics of metals. Introduction of concepts “reference normal stress” and “reference shear stress”. Proposal of more precise definition of the strength criterion. Fracture strain diagram. Constitutive equation. Strength criterion. Haigh’s diagrams.

Key words: strength criterion, multi-axial stress state, fracture strain diagram.

Úvod.

Kvaziizotropní materiál staticky proporcionálně namáhaný se porušuje *tvárným* nebo *křehkým lomem*. Uvažujme o tvorbě kritéria pevnosti vhodného k popisu mezního stavu oceli při pokojové teplotě.

Východiska fyziky kovů.

Oceli jsou *krystalické* látky s mřížkou kubickou prostorově centrovanou (KSC, alfa, ferit) nebo plošně centrovanou (KPC, gama, austenit). Obsahují četné poruchy *bodové* (vakance, interstice, substituční atomy), poruchy *čárové* (hranové, šroubové, smíšené či parciální dislokace), poruchy *objemové* (precipitáty, vměstky). Oceli jsou *polykrystalické* látky, hranice mezi zrny i vlastní velikost zrn ovlivňují odezvu materiálu na jeho zatížení. *Tvárné porušení* je spojeno s předchozí *plastickou deformací*, která se obvykle uskutečňuje skluzem *volných dislokací* (v krystalograficky určených skluzových rovinách a v nich ve směrech nejhustěji obsazených atomy). Vzhledem k odlišné orientaci skluzových systémů v jednotlivých zrnech je k uskutečnění plastické deformace polykrystalické látky nutno aktivovat nejméně pět odlišných skluzových systémů (Mises). Plastická deformace je tak závislá na smykových napětích (průmětech do směrů skluzu), která působí v několika skluzových rovinách. Jestliže překážky dislokačního pohybu zablokují mobilitu dislokací, pak zvyšování smykových napětí již nevede k další plastické deformaci ale k (tvárnému) lomu. Přítomnost *tahových napětí* na skluzových rovinách lom usnadňuje, opačně působí tlaková napětí. *Křehké porušení* souvisí normálovým napětím, „odtrháváním“ krystalografických rovin a je rovněž strukturně podmíněno. Může být charakterizováno *tahovým napětím mikrokolapsu* [2] a je považováno za charakteristickou konstantu dané struktury (nezávisí kupříkladu na teplotě).

Východiska pružnosti pevnosti.

Obecný trojosý napěťový stav v bodě materiálu je určen *hlavními napětími* σ_1 , σ_2 , σ_3 . Pak je napjatost σ_p a τ_p na obecné rovině (určena směrovými kosiny $\cos\alpha_1$, $\cos\alpha_2$, $\cos\alpha_3$ – viz obr.1)

¹ Doc. Ing. Jan FUXA, CSs. katedra pružnosti a pevnosti, Fakulta strojní, VŠB - TU Ostrava, třída 17. listopadu, 708 33 Ostrava – Poruba; E-mail: jan.fuxa@vsb.cz

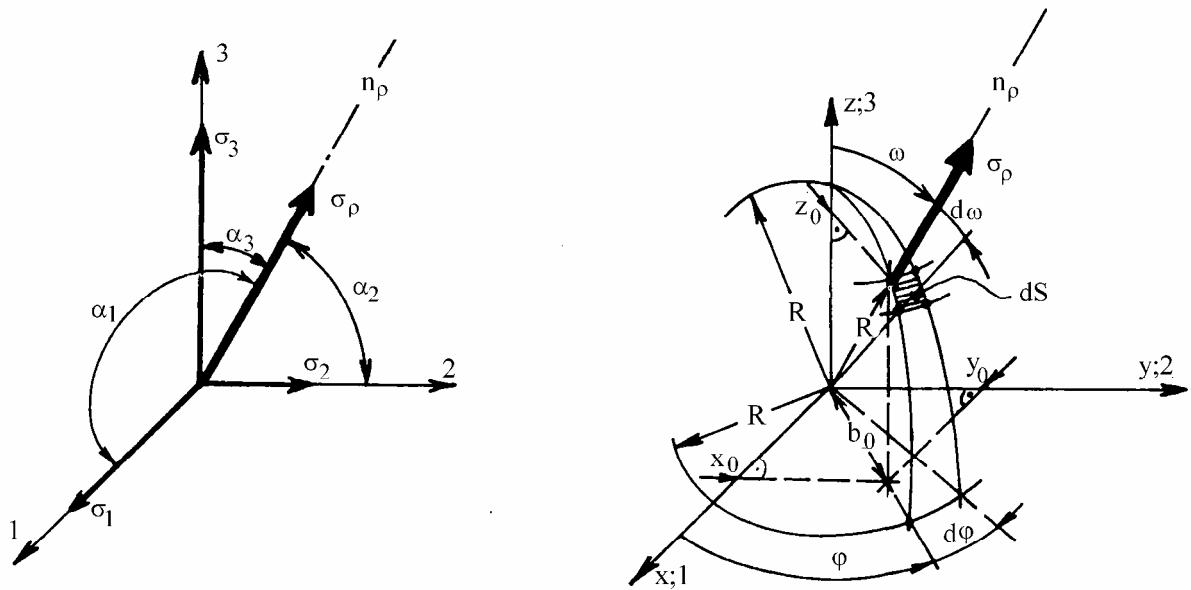
dána rovnicemi (1), (2) a referenční napětí σ_R , τ_R , reprezentující určitá „průměrovaná“ napětí daného napěťového stavu $(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$, mohou být počítána z definičních vztahů (3), (4). Transformační vztahy pro převod σ_ρ , τ_ρ z kartézských do sférických souřadnic vyplynou z obr.1 [1].

$$(1) \quad \sigma_\rho = \sigma_1 \cdot \cos^2 \alpha_1 + \sigma_2 \cdot \cos^2 \alpha_2 + \sigma_3 \cdot \cos^2 \alpha_3$$

$$(2) \quad \tau_\rho = [(\sigma_1^2 \cdot \cos^2 \alpha_1 + \sigma_2^2 \cdot \cos^2 \alpha_2 + \sigma_3^2 \cdot \cos^2 \alpha_3) - (\sigma_1 \cdot \cos^2 \alpha_1 + \sigma_2 \cdot \cos^2 \alpha_2 + \sigma_3 \cdot \cos^2 \alpha_3)^2]^{1/2}$$

$$(3) \quad \sigma_R = \lim_{R \rightarrow 0} \int_{(S)} \sigma_\rho(R, \omega, \varphi) \cdot dS / (4\pi R^2),$$

$$(4) \quad \tau_R = \lim_{R \rightarrow 0} [\int_{(S)} \tau_\rho^2(R, \omega, \varphi) \cdot dS / (4\pi R^2)]^{1/2}.$$



Obr.1

Existuje přitom jednoznačný přepoččet mezi veličinami τ_R (referenční napětí), T (intenzita smykových napětí), S_σ (intenzita napětí, efektivní napětí), τ_{OKT} (oktaedrické smykové napětí) a také mezi hodnotami σ_R (referenční normálové napětí), σ (střední, hydrostatické napětí) a σ_{OKT} (oktaedrické normálové napětí).

Pro tvárný lom pak lze předpokládat kritériální závislost

$$(5) \quad \tau_R = F(\sigma_R), \quad \text{například ve tvaru:} \quad \tau_R = A - B \cdot \sigma_R,$$

a pro křehký lom

$$(6) \quad \sigma_1 = \sigma_{MK}; \quad \sigma_2 = \sigma_{MK}; \quad \sigma_3 = \sigma_{MK},$$

kde σ_{MK} je napětí mikrokolapsu daného materiálu.

Experimentální data

Diagramy mezní plasticity [4,5,3] představují závislost mezní deformace (kvantifikované mezní intenzitou plastické deformace S_{eL} [4,5] nebo mezní intenzitou smykové deformace A_L [3]) na ukazateli napěťového stavu (vyjádřeného poměrem středního čili oktaedrického čili hydrostatického napětí k intenzitě napětí $k_\sigma = \sigma / S_\sigma$ [4,5] anebo poměrem středního napětí k intenzitě smykového napětí $= \sigma / T$ [3]). K výpočtu pevnostního kritéria je použit diagram mezní plasticity oceli 30 (ekvivalent 12031 dle ČSN) [3], přičemž hodnoty změřené při poko-

ové teplotě byly ze souřadného systému $A_L - \sigma / T$ přepočteny do souřadnicového systému $S_{\sigma L} - \sigma / S_{\sigma}$ (viz body v obr.2). Podobně byly transformovány změřené hodnoty S_{σ}, A_L na hodnoty $S_{\sigma L}, A_L$ (viz body v obr. 3).

Výpočty

Body mezního diagramu plasticity (obr.2) byla proložena aproximační funkce vycházející z lineární rovnice (5), přitom byla využita konstituční rovnice testovaného materiálu, získaná proložení mocninné funkce body (obr.3). V obou případech byl využit autorův program „VĚŠTEC“ [1]. Konstituční rovnice má tvar (7), diagram mezní plasticity je aproximován funkcí (8), kritérium tvárné pevnosti má po přepočtu tvar (9), napětí mikrokolapsu má hodnotu přibližně 1250 [MPa].

Obr.2

Obr.3

$$(7) \quad S_{\sigma} = 948 \cdot S_{\varepsilon}^{0.298}$$

$$(8) \quad S_{\sigma L} = [1.0854 / (1 + 0.1653 \cdot k_{\sigma})]^{3.3557}$$

$$(9) \quad S_{\sigma L} = 1029 - 0.496 \cdot \sigma.$$

Haighovy diagramy

Získané závislosti umožňují vykreslit Haighovy diagramy. Obr.4 znázorňuje Haighův diagram pro konstantní tlakové hlavní napětí ($\sigma_3 = -500$ [MPa]), obr.5 pro jedno hlavní napětí nulové ($\sigma_3 = 0$), zatímco obr.6 pro jedno hlavní napětí tahové ($\sigma_3 = +600$ [MPa]).

Obr. 4

Obr.5

Obr.6

Závěry

- 1) Diagram mezní plasticity může být transformován na Haighův diagram, pokud je známa konstituční rovnice materiálu, podmínka křehkého porušení [2] a hodnověrný přepočet parametrů tváření [6].
- 2) Ze zpracování experimentálních výsledků [3] je patrné, že také pro tvárný materiál jsou odlišné hodnoty napětí na mezi pevnosti v tahu a v tlaku (obr.5).
- 3) Je zřejmé, že materiál snáze odolává namáhání tlakovému než tahovému (viz obr.4 a obr.6).
- 4) V pevnostním kritériu lze spojit podmínky tvárného i křehkého porušení (obr.6).
- 5) Konstanty uváděné v kritériu mají jednoznačnou fyzikální interpretaci a souvisí jak se strukturou kovu, tak také s napěťovým stavem.

Literatura

[1] Fuxa, J.: Výzkum kritérií pevnosti kvaziizotropních materiálů namáhaných monotónně rostoucími složkami víceosého napěťového stavu – závěrečná zpráva projektu GAČR číslo 101/96/1477, VŠB-TU Ostrava, prosinec 1998

- [2] Měškov, Ju.Ja.: Fizičeskije osnovy pazrušenija stalnych konstrukcij. *KIEV*, Nauk.Dumka 1981
- [3] Kolmogorov, V.L., Bogatov, A.A., Migačev, B.A., Zudov, E.G., Frejdenzon, Ju.E., Frejdenzon, M.,E.: Plastičnost' i razrušenie, *METALLURGIJA*, 1977
- [4] Smirnov-Aljajev, G.A., Rozenberg, V.M.: Těorija plastičeskich děformacij mětallov. *MA-ŠGIZ*, 1956
- [5] Hosford, W.,F., Caddell, R.,M.: Metal Forming Mecanics and metllurgy, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J.07632
- [6] Fuxa, J: Analytické řešení napět'ově-deformačního stavu při zkoušce krutem. 16. konference s mezinárodní účastí Výpočtová mechanika 2000, 30. říjen – 1. listopad 2000, Nečtiny

Tento článek vznikl za podpory GAČR – číslo projektu: 101/99/1245