EAN 93
31. konference o experimentální analýze napětí
25.–27.5.1993 Měřín ČESKÁ REPUBLIKA

SOLUTION OF THE (LIMIT) STRAIN INTENSITY ON THE TORSION TEST
STANOVENÍ (MEZNÍ) INTENZITY DEFORMACE TORZNÍHO TESTU

Fuxa J.

The analytical expression of the (limit) strain intensity on the torsion cylindrical specimen, which is valid in the range of little (elastic) as well as large (plastic) deformation.

K posouzení schopnosti materiálu plasticky se deformovat nestačí jediný typ zkoušky (tahem, pěchováním, kroucením atp.), neboť deformovatelnost (kvantifikovaná mezní hodnotou intenzity deformace - $S_{\varepsilon L}$) je silně ovlivněna napěťovým stavem. Proto se o deformovatelnosti materiálu usuzuje až po jeho odzkoušení v testech s odlišnými napěťovými stavy [1].

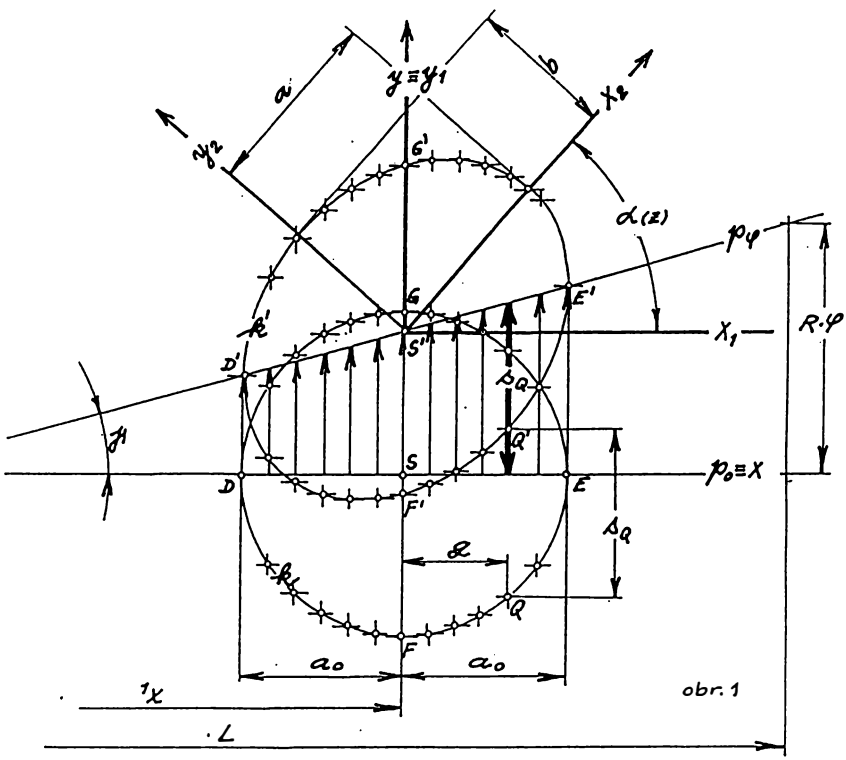
Obecně se předpokládá, že závislost intenzity napětí S_σ na intenzitě deformace S_ε (při dané teplotě a deformační rychlosti) není ovlivněna napěťovým stavem [2], zatímco mezní intenzita deformace $S_{\varepsilon L}$ napěťovým stavem ovlivněna je [3]. Z těchto důvodů je potřebné disponovat hodnověrnou metodou pro vyhodnocení tahové, pěchovací i krutové zkoušky. Přitom:

- tahová zkouška [4,5] je od vzniku krčku provázena deformační nestabilitou, takže skutečný "pracovní diagram" lze vyjádřit jen při respektování měnících se napěťových poměrů a pro oblast relativně malých deformací, neboť mezní deformace (při níž dochází k porušení) je ve srovnání s mezní deformací kupříkladu pěchovací zkoušky malá;
- pěchovací zkouška [6] je ovlivněna kontaktním třením mezi čely vzorku a čelistmi stroje, což vyvolá nehomogenní napěťový stav. Určitou nevýhodou je značný nárust zatěžující síly, způsobený podstatným zvětšením kontaktní plochy. To vše klade vysoké (a protichůdné) nároky na rozsah a přesnost snímacího systému síly a dráhy (pro vyhodnocení napětí a deformace);

- krutová zkouška [7,8,9] nevykazuje dříve uvedené komplikace, přesto nebývá často využívána, neboť z ní vyhodnocený "pracovní diagram" vykazuje zejména v oblasti větších plastických deformací značné odchylky oproti diagramům vyhodnoceným z tahových či pěchvacích zkoušek.

Lze ukázat [10], že hlavní obtíže při vyhodnocení krutové zkoušky pramení z nevhodné aplikace Cauchyho rovnic matematické teorie pružnosti na popis deformace při kroucení.

Zpřesněné analytické řešení [10,11] vychází z obrázku 1, na němž je znázorněn rozvinutý povrch válcového zkušebního vzorku.



obr. 1

Mysleme na poloměru R vzorku délky L kružnici k o poloměru a_0 se středem S (ležícím na myšlené přímce p_0, rovnoběžné s osou vzorku). Vlivem zkroucení o úhel φ se změní přímka p_0 na šroubovici p_φ s úhlem stoupání ψ a kružnice k se změní v elipsu k' se středem S' a hlavními polosami a,b. Delší poloosa elipsy svírá s přímkou p_0 (respektive osou x_1) úhel $\alpha(Z)$. Naznačené

transformace lze popsat prostředky analytické geometrie. Přitom bod Q kružnice k ve vzdálenosti q od středu S se ve směru osy y (posuvem $s_Q = R.\varphi/L.(x+q)$) přemístí do polohy Q'. V systému os x_1 y_1 lze dokázat, že body kružnice k se transformují na body elipsy k' a dále vypočíst úhel natočení $\alpha(Z)$ souřadného systému x_2, y_2, který souhlasí se směry hlavních poloos a, b elipsy k'

Jsou-li dále vypočteny výrazy pro určení poloos a, b, lze z geometrického názoru definovat hlavní deformace:

(1) $\varepsilon_1 = \lim_{a_0 \to a} \ln(a/a_0)$, $\varepsilon_2 = \lim_{a_0 \to a} \ln(b/a_0)$, $\varepsilon_3 = 0$.

Intenzita deformace, definovaná ze složek hlavních poměrných deformací $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ je vyjádřena výrazem:

(2) $S_\varepsilon = 3^{-1/2}.\ln([2+Z^2/2+Z.(Z^2/4+1)^{1/2}]/[2+Z^2/2-Z.(Z^2/4+1)^{1/2}])$,

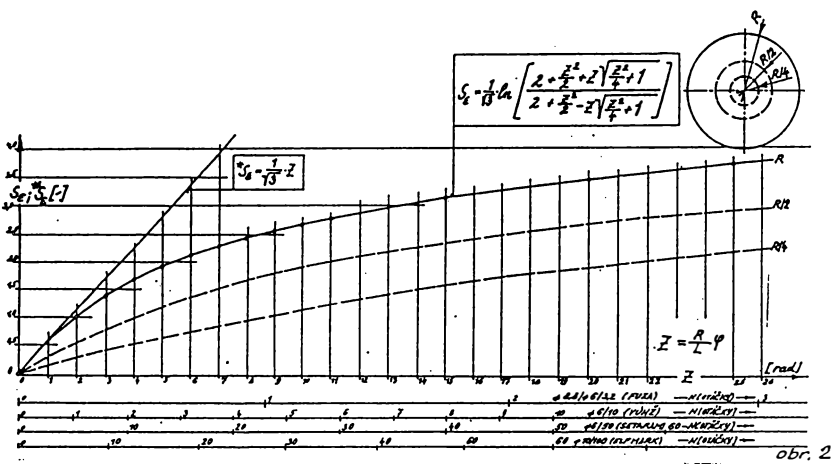
kde parametr $Z = R\cdot\varphi/L$. Úhel $\alpha(Z)$, který svírá hlavní deformace ε_1 se směrem osy krouceného vzorku:

(3) $\alpha(Z) = \mathrm{arctg}[Z/2+(Z^2/4+1)^{1/2}]$.

Naproti tomu výpočet intenzity deformace, založený na aplikaci Cauchyho deformačních rovnic vede k výrazu:

(4) ${}^*S_\varepsilon = 3^{-1/2}.Z$.

Představu o chybě (4) vůči (2) dává obrázek 2.



obr. 2

Je zřejmé, že pro malé deformace skýtají oba výrazy prakticky shodné výsledky, pro větší deformace se již značně liší.

Z rovnice (3) je patrno, že se mění směr hlavní deformace ε_1 vůči ose krouceného vzorku. Při malé (pružné, pružně-plastické) deformaci svírá hlavní deformace ε_1 s osou krouceného vzorku úhel 45° (jak je známo z nauky o pružnosti), s rozvojem plastické deformace se však tento úhel mění.

Intenzita mezní deformace se spočte ze vztahu (2), s hodnotou parametru Z pro porušení vzorku.

Uvedené poznatky se promítnou i do (nových) výrazů pro výpočet intenzity deformační rychlosti a intenzity napětí. O nich se však zde pro omezený rozsah referátu nezmiňujeme.

Závěrem připomeňme, že uvedené závislosti byly kupříkladu využity při určení diagramu mezní plasticity, při modifikaci hypotézy pevnosti [10,11,12].

LITERATURA:

[1] Smirnov-Aljajev,G.A.,Rozenberg,V.M.: Těorija plastičeskich děformacij mětallov, Mašgiz, 1956

[2] Pugh,H.D.,Chandler,E.F.: The effect of hydrostatic pressure on the plastic flow and fracture of metals, Proc.1964-1965 of the Instit. of Mechanical Engineers, 179, Part I, No 12

[3] Kolmogorov,V.L.: Naprjaženija, děformacii, razrušenie, Mětallurgija, Moskva, 1970

[4] Bridgman,P.W.: The stress distribution at the neck of a tension specimen, Trans. ASME 32, 1944, s. 533 - 574

[5] Daviděnkov,N.N.,Spiridonova,N.I.: Stress analysis at the neck of a specimen in tension (in Russian), Zavodskaja laboratorija 11, 6, 1945

[6] Fenner,A.J.: Mechanical testing of materials, George Newnes, London, 1965

[7] Rossard,C.,Blain,P.: Une méthode de simulation par torsion ..., Revue de Métallurgie, Mars, 1962, s. 223 - 236

[8] Pöhlandt,K.,Tekkaya,A.E.,Lach,E.: Torsion test on solid and tubular ..., Arch. Eisenhuttenves. 55, 1984, No 4, s.149

[9] Faessel,A.: La simulation du laminage par l'essai de torsion, C.I.T., 1976, No 4, s. 875 - 892

[10] Fuxa,J.: Příspěvek ke kvantitativnímu určení mezních stavů ... , (kandidátská disertace), únor 1986, VŠB Ostrava

[11] Fuxa,J.: Determination of selected material characteristics by a torsion test, in: V international symposium on the plasticity ..., Herceg Novi, April 1986, s. 478 - 491

[12] Fuxa,J.: Určení deformačních parametrů torzní zkouškou, in: sborník: Vědecká konference k 40. výročí založení fakulty strojní, sekce 1, VŠB, 1990, s. 44 - 49

Doc. Ing. Jan Fuxa, CSc. - katedra pružnosti a pevnosti fakulty strojní Vysoké školy báňské v Ostravě, tel.: 069/424/3495