

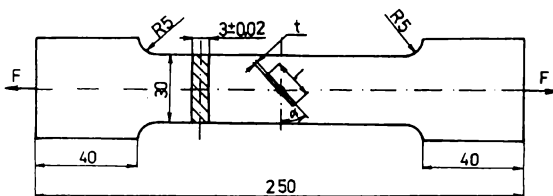
STRESS AND STRAIN FIELD ANALYSIS IN PLASTIC ZONE SURROUNDING CRACK

ANALÝZA POLE DEFORMACE A NAPJATOSTI V PLASTICKÉ OBLASTI OBKLOPUJÍCÍ TRHLINU

Plánička F., Vacek V., Krbeček M.

This paper deals with the problem of the strain and stress distribution in a case of thin flat bodies with a crack surrounded by a large plastic zone. Moire methods was used for strain analysis. Stress calculation is based on the theory of plasticity and the changes of Poisson's ratio in the range of small elastic-plastic strains are respected.

Experimentální analýza stavu deformace a napjatosti byla provedena na plochých zkušebních tyčích o tloušťce 3 mm. Centrální trhliny pod úhlem $\alpha = 0^\circ, 19^\circ$ a 34° byly modelovány ostrým vrubem zhotoveným lupinkovou pilou z kruhového otvoru průměru 1 mm, obr. 1.

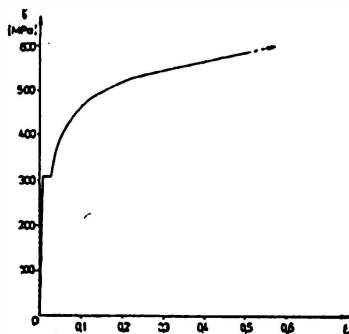


Obr. 1

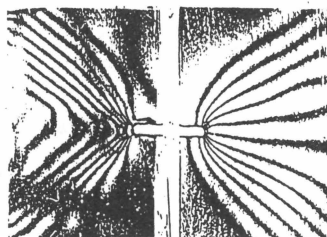
Zkušební tělesa byla vyrobena z nízkouhlíkové oceli o mezi kluzu $R_e = 309$ MPa a smluvní mezi pevnosti $R_m = 437$ MPa. Pracovní diagram skutečné napětí - skutečná deformace získaný tahovou zkouškou na plochých zkušebních tyčích o průřezu 30x3 mm je uveden na obr. 2.

Pro experimentální analýzu deformace byla zvolena metoda moire, která umožňuje určit složky vektoru posuvu $\mathbf{u} = [u_x, u_y]^T$ v celé uvažované oblasti na povrchu tělesa. Ta je vhodná pro pružně-plastické deformace. Pro určení odpovídajících složek deformace $\epsilon = [\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma_{xy}]^T$ je nutné použít ortogonální měřicí mřížky. Byly použity lepené mřížky FTG

dodávané společností Vishay. Měření ukázalo, že mřížka velmi dobře na povrchu drží až do okamžiku nestabilního šíření trhliny.

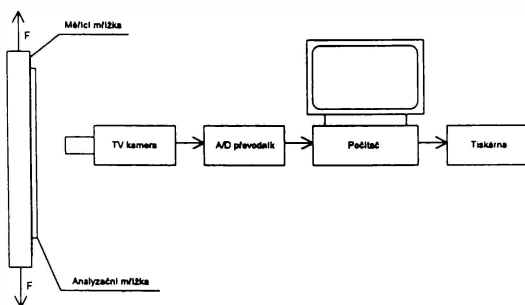


Obr. 2

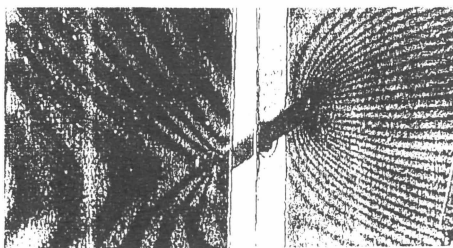


Obr. 3

Protože velikost deformace ve směru působící síly je podstatně větší než deformace v příčném směru, byly při měření použity mřížky s hustotou 1000 a 500 čar/palec. V případě trhliny kolmé na silový tok ($\alpha = 0^\circ$) byl obraz interferenčních pruhů fotografován [1]. Pro zatížení zkušebního tělesa silou 23 kN je uveden na obrázku 3. Zde je vlevo obraz interferenčních pruhů pro složku posunutí u_x s hustotou mřížky 1000 čar/palec a vpravo pro složku u_y s hustotou 500 čar/palec. Tento postup je pracný a může při něm snadno dojít k ztrátě výsledků. Proto je výhodnější použít experimentálního řetězce. Zde je obraz snímán televizní kamerou propojenou s počítačem. Pomocí analogo-digitálního převodníku je obraz ukládán do paměti počítače. Uvedený řetězec je zřejmý z obr. 4. Tento postup umožňuje zpracování výsledků měření a výpočet složek tenzoru napětí pomocí počítače. Tento způsob je rychlejší a poskytuje přesnější výsledky ve srovnání s grafickou cestou, která je obvykle používána pro určování složek deformace z křivek posuvů. Systém umožňující tento postup je proto vytvářen [2] ve spolupráci s katedrou informatiky a výpočetní techniky.



Obr. 4



Obr 5

Uvedené metody pro získání a uložení interferenčních pruhů moire bylo použito v případě zkušebních těles se šikmou trhlinou. Na obrázku 5 je uvedeno pole interferenčních pruhů u zkušebního tělesa s trhlinou natočenou o úhel $\alpha = 34^\circ$ při zatížení silou $F = 29 \text{ kN}$. Vlevo je pole interferenčních pruhů pro složku posunutí u_x při hustotě mřížky 1000 čar/palec. Vpravo pro složku u_y při hustotě mřížky 500 čar/palec.

Z obrazu interferenčních pruhů se určí složky vektoru deformace. Pro velké deformace bude

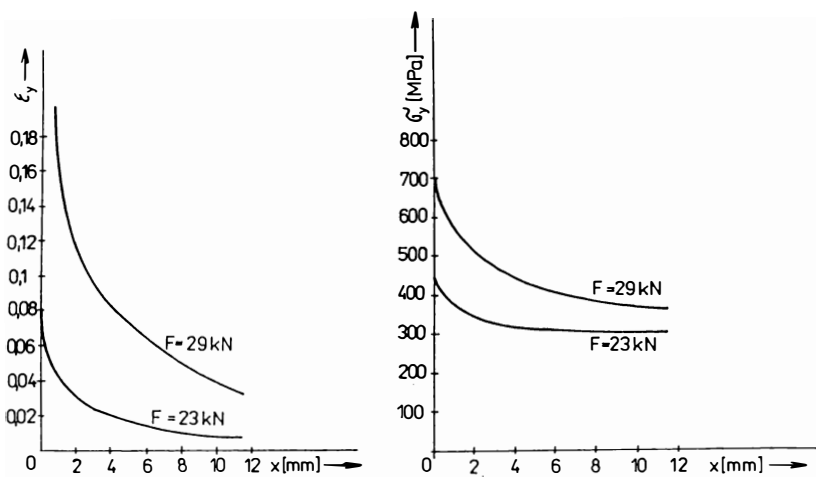
$$\epsilon_x = \left[\left(1 + \frac{\delta u_x}{\delta x} \right)^2 + \left(\frac{\delta u_y}{\delta x} \right)^2 \right]^{1/2} - 1$$

$$\epsilon_y = \left[\left(1 + \frac{\delta u_y}{\delta y} \right)^2 + \left(\frac{\delta u_x}{\delta y} \right)^2 \right]^{1/2} - 1 \quad (1)$$

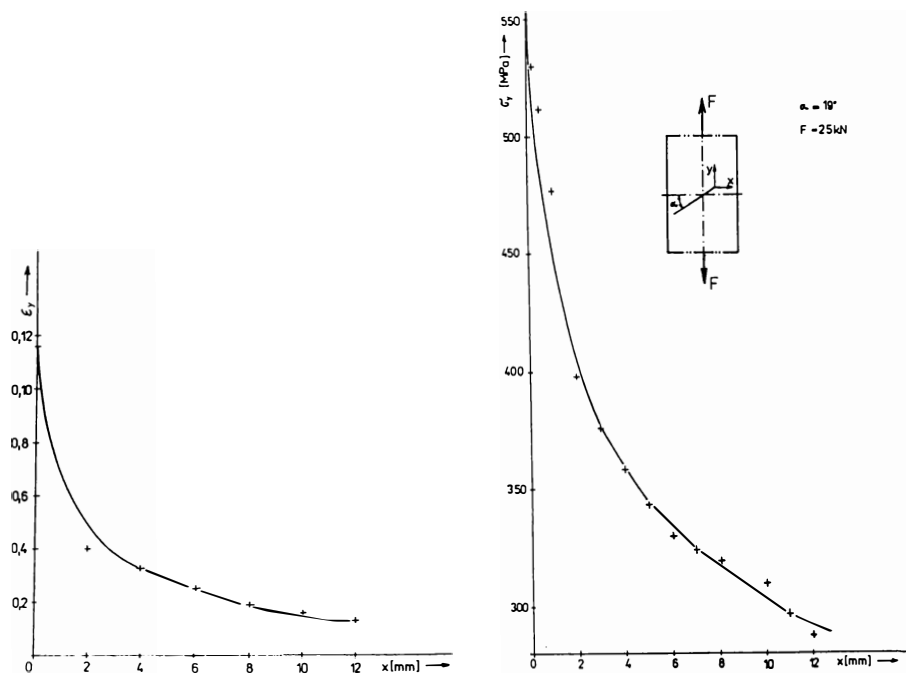
$$\gamma_{xy} = \arcsin \frac{\frac{\delta u_x}{\delta y} + \frac{\delta u_y}{\delta x} + \frac{\delta u_x}{\delta x} \frac{\delta u_x}{\delta y} + \frac{\delta u_y}{\delta x} \frac{\delta u_y}{\delta y}}{(1 + \epsilon_x)(1 + \epsilon_y)}$$

Při analýze deformace nebylo možné určit složky deformace ϵ_x a ϵ_y v hrotu trhliny přímo. Proto byla v prvním přiblížení provedena extrapolace pro poměrné prodloužení ϵ_y . Složka ϵ_x v příčném směru byla určena z podmínky dvou navzájem kolmých nazatížených povrchů, kterými jsou otupený hrot trhliny a povrch zkušebního tělesa s nanesenou mřížkou. V tomto bodě se jedná o jednoosou napjatost. Byla proto ve vrcholu trhliny v případě rozvítých plastických deformací složka deformace ϵ_x v příčném směru určena ze vztahu $\epsilon_x = \epsilon_y = -0,5 \epsilon_y$.

Volba výpočtového modelu pro složky vektoru napětí $\sigma = [\sigma_x, \sigma_y, \tau_x]^T$ je postavena na předpokladu znalosti složek vektoru ϵ a prostém zatěžování. Za uvedených předpokladů bylo za fyzikální závislost v oblasti pružně-plastického stavu s výhodou zvolena deformační teorie plasticity [3]. Bylo nutné se však ještě vypořádat se změnou hodnoty Poissonova čísla při přechodu z pružného do pružně-plastického stavu s rozvítými plastickými deformacemi. Pro přechodnou oblast byla zvolena parabolická závislost $\mu = f(\epsilon_i)$. Poissonova čísla μ na zobecněné deformaci ϵ_i .



Обр. 6



Обр. 7

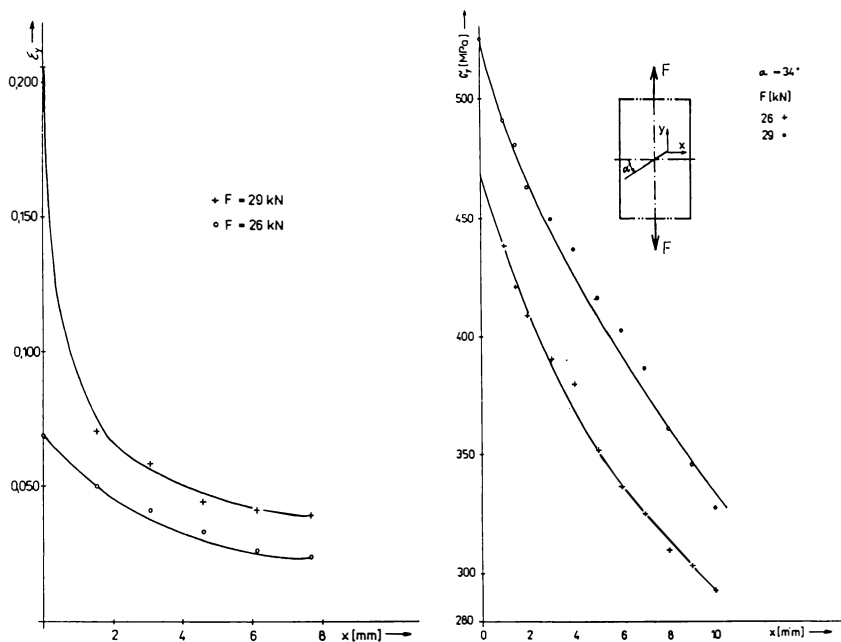
Složky vektoru napětí $\sigma = [\sigma_x, \sigma_y]^T$ byly ve zvolených diskrétních bodech vypočteny ze známých hodnot vektoru deformace $\epsilon = [\epsilon_x, \epsilon_y]^T$ pomocí deformační teorie plasticity a pracovního diagramu skutečné napětí σ_s - skutečná deformace ϵ_s

$$\sigma = D\epsilon, \quad (2)$$

kde matice tuhosti materiálu D závisí na modulu pružnosti v tahu E , Poissonově čísle μ a zpevnění materiálu, které lze charakterizovat poměrem zobecněné deformace ϵ_1 a zobecněného napětí σ_1 [3]

Na obrázku 6 je uveden průběh složky deformace ϵ_y a složky napětí σ_y pro případ trhliny kolmé na silový tok $\alpha = 0$ a zatížení silou $F = 23$ a 29 kN. Porušení nastalo při zatížení silou $F = 29$ kN

Obrázek 7 ukazuje průběh složky deformace ϵ_y a odpovídajícího napětí σ_y pro trhlínu natočenou o úhel $\alpha = 19^\circ$ a zatížení silou $F = 25$ kN. Porušení nastalo při zátěžní síle $F = 33,9$ kN



Obr. 8

Obrázek 8 ukazuje průběh složky deformace ϵ_y a napětí σ_y pro trhlínu natočenou pod úhlem $\alpha = 34^\circ$ pro zatížení silou $F = 26$ a 29 kN. K porušení došlo při zátěžní síle $F = 33,9$ kN. Průběhy deformace a napětí byly sledovány v rovině kolmé na silový tok procházející vrcholem trhliny

U tvárných materiálů při rovinné napjatosti dochází ke vzniku plastické oblasti, která obklopuje celou trhlinu. Na hrotu trhliny dochází k výrazné koncentraci plastické deformace. Hodnota deformace ϵ_y u trhliny kolmé na silový tok a použitého materiálu přesáhla 100%. Tato hodnota s úhlem natočení trhliny klesá. Této otázce bude věnována další pozornost v příštím období. V procesu deformace je z obrazu moire pruhů zřejmé, že největší koncentrace plastické deformace je soustředěna v oblastech ležících přibližně pod úhlem $45+50^\circ$ vůči silovému toku.

Měření bylo provedeno pro trhliny modelované ostrým vrubem vytvořeným řezem lupinkovou pilou o šířce cca 0,3 mm. Vzniká otázka, zda lze výsledky použít pro ostrou trhlinu. V případě tvárného materiálu lze předpokládat, že v důsledku velké plastické deformace dojde k otupení hrotu trhliny a tím k vytvoření nového povrchu podobného povrchu paty použitého ostrého vrubu. Potom lze uvedený předpoklad udělat a lze uvažovat, že stav napjatosti se bude blížit stavu u tělesa s původně ostrou trhlinou. Numerickým modelováním pomocí MKP byl tento předpoklad podpořen [4]. Bude ještě ověřen experimentálně na zkušebním tělese s ostrou trhlinou.

Práce byla uskutečněna za finanční podpory Grantové agentury ČR s číslem grantu 101/93/113.

Literatura

- [1] Plánička, F. - Zavadil, V. - Laš, V. - Vacek, V.: Numerické a experimentální určení deformace a napjatosti v tělese s trhlinou obklopenou velkou plastickou oblastí, Sborník mezinárodní vědecké konference, VŠT - Technická univerzita Ostrava, Ostrava, 1995.
- [2] Zuzák, F.: Automation of Moire Method Using Methods of Image Processing, Sborník 34. konference EAN 96, ZČU Plzeň, 1996.
- [3] Plánička, F.: Určení napjatosti v pružně-plastickém stavu, Sborník přednášek 11. semináře s mezinárodní účastí "Výpočtová mechanika 95", Pernink, 1995.
- [4] Zavadil, V. - Laš, V.: Stanovení kritického zatížení u rovinného modelu s šikmou trhlinou obklopenou velkými plastickými deformacemi, Sborník 34. konference EAN 96, ZČU Plzeň, 1996.

Prof. Ing. František Plánička, CSc.
tel.: 019/2171131, fax: 019/271744, e-mail: planicka@kme.zcu.cz

Ing. Vlastimil Vacek, CSc.
tel.: 019/2171275, fax: 019/271744, e-mail: vacek@kme.zcu.cz

Ing. Michal Krbeček
tel.: 019/2171275, fax: 019/271744

Západočeská univerzita, Katedra mechaniky, Univerzitní 22, 306 14 PLZEŇ