

**EXPERIMENTÁLNE URČOVANIE ZLOŽIEK PLASTICKÝCH DEFORMÁCIÍ VYUŽITÍM
METÓDY REFLEXNEJ FOTOELASTICIMETRIE.****EXPERIMENTAL DETERMINATION OF PLASTIC STRAINS WITH THE EXPLOIT OF
PHOTOSTRESS METHOD**Jozef Kočan, Juraj Hanušovský¹**Abstract:**

According to expanded steel application with advanced hardness properties and with reduced plastic properties is important to identify the behaviour of materials in the area of plastic strains with various stress load cases. Offered paper deals with the ability of theoretical and experimental determination of plastic strains with the exploit of Photostress method. The paper suggests exploitation of Photostress method by the experimental determination of plastic curves by the plane stress.

1. Úvod

Vzhľadom na rozšírené použitie ocelí s vyššími pevnostnými vlastnosťami a s redukovanými plastickými vlastnosťami je dôležité poznať správanie sa materiálov v oblasti plastických deformácií pri rôznych napäťových stavoch. Charakteristika plastických vlastností materiálu je dôležitá tiež pri tvorbe materiálových modelov pre simuláciu procesov lisovania. Rozhoduje o tom, aký materiál je možné použiť pre konkrétnu geometriu výlisku pri daných okrajových podmienkach. Výsledky experimentálnych skúšok slúžia ako vstupné parametre simulačných metód.

2. Teoretické určovanie kriviek plasticity plechov

Pri jednoosovej napätosti je počiatok plastického stavu materiálu definovaný dosiahnutím medze klzu R_{p02} . Podmienka plasticity anizotropných plechov pri rovinnej napätosti v rovine x, y môže byť podľa Hilla [1] vyjadrená v tvare

$$(G + H)\sigma_x^2 - 2H\sigma_x\sigma_y + (F + H)\sigma_y^2 + 2N\tau_{xy}^2 = 1. \quad (1)$$

Ak predpokladáme, že r_x, r_y sú koeficienty normálovej anizotropie za studena valcovaných plechov, vzťah (1) možno pre $\tau_{xy} = 0$ upraviť do tvaru

$$\sigma_x^2 - \frac{2r_x}{1+r_x}\sigma_x\sigma_y + \frac{1+r_y}{1+r_x}\frac{r_x}{r_y}\sigma_y^2 = \sigma_k^2, \quad (2)$$

pričom osi x, y sú v smere a kolmo na smer valcovania plechu.

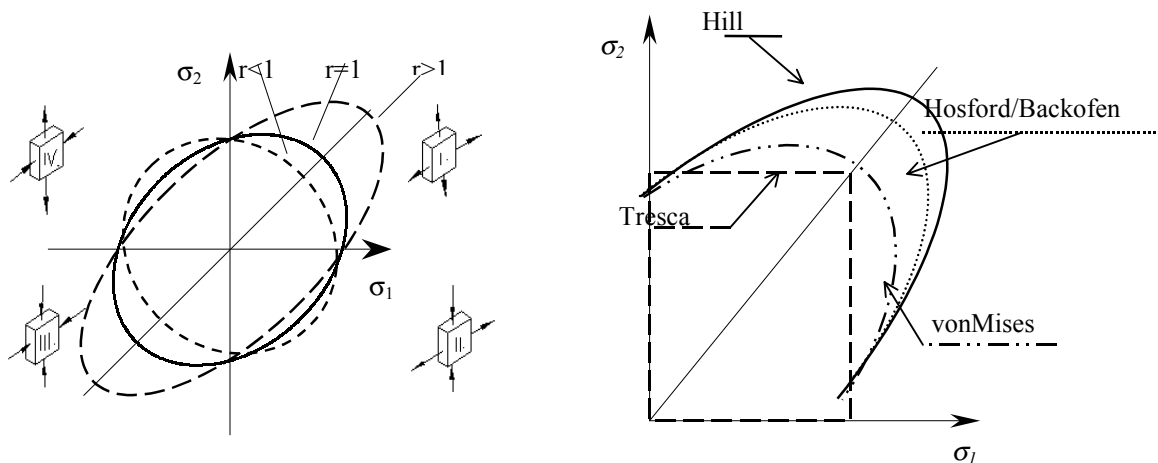
Rovnica (2) sa často aplikuje na prípad $r_x = r_y = r$ ako Hosford-Backoffenova podmienka

¹ Ing. Juraj Hanušovský hanuso@tuke.sk, Ing. Jozef KOČAN kocan@tuke.sk – Katedra aplikovanej mechaniky
SjF TU Košice,

plasticity

$$\sigma_x^2 - \frac{2r}{1+r} \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 = \sigma_k^2. \quad (3)$$

Na obr.1 je táto podmienka znázornená pre rôzne hodnoty r . Na obr. 2 sú znázornené teórie plasticity pre rovinnú napätosť (Tresca, vonMises, Hosford/Backofen, Hill).



Obr. 1. Krivky plasticity pre rôzne koeficienty r . Obr. 2. Teoretické krivky plasticity

3. Experimentálne určovanie plasticity plechov

Pre experimentálne určovanie kriviek plasticity boli vyvinuté metódy využívajúce krížové vzorky zaťažené ťahom v dvoch navzájom kolmých smeroch. Tieto vzorky svojím tvarom musia zabezpečovať homogénnu deformáciu v stredovej oblasti pri žiadanom pomere napätí σ_1/σ_2 . Optimalizáciou tvaru vzorky a spôsobu zavedenia sily je možné v určitej, vopred definovanej rovinnej oblasti, zabezpečiť približne homogénnu napätosť. Na túto homogénnu napätosť a šírenie sa plastickej deformácie má vplyv tvar a veľkosť vrubu.

Jedna z možností experimentálneho určovania zložiek plastickej deformácie a jej šírenia sa v okolí vrubu je metóda reflexnej fotoelasticimetrie. Aby sa overila vhodnosť tejto metódy na určovanie pomerných deformácií v krížovej vzorke, bol vykonaný experiment, ktorého úlohou bolo overiť vhodnosť tejto metódy. Táto metóda je založená na vlastnostiach niektorých priehľadných materiálov, ktoré sa pri deformácii menia z opticky izotrópných na opticky anizotrópne. Tento jav je dobre pozorovateľný v polarizovanom svetle. Vrstva vyrobená z fotoelasticimetricky citlivého materiálu je nalepená na základnom materiáli. Predpokladáme, že lepidlo ideálne prenáša deformácie, takže deformačné pomery vo vrstve a v základnom materiáli sú totožné.

V našom prípade bola vrstva aplikovaná z oboch strán skúšobných vzoriek. Tým sa zabránilo vzniku ohybového momentu od výstužného účinku vrstvy, ak by bola naaplikovaná iba na jednej strane vzorky. Pri hrúbke plechu 0,7 mm by táto skutočnosť spôsobila určité nezanedbateľné nepresnosti. Na povrch testovaných vzoriek bola pomocou lepidla fólia o hrúbke 0,5 mm. Ak uvažujeme s hrúbkou vrstvy lepidla 0,1 mm, tak sila potrebná na vyvodenie určitej hodnoty napätia musí vplyvom výstužného účinku lepidla a vrstiev vzrásť o 2,1 %. To platí v oblasti platnosti Hookovho zákona. Pomocou polariskopu Model 031 boli v kruhovo polarizovanom svetle pozorované izochromaty, pre ktoré platí základný vzťah fotoelasticimetrie

$$\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = N f_e \quad (4)$$

kde $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – hlavné pomerné deformácie,
 N – rád izochromaty,
 f_ε – pružková konštanta vrstvy (v našom prípade $f_\varepsilon = 3,85 \cdot 10^{-3}$ pružok $^{-1}$).

Na nezaťaženom okraji modelu je $\varepsilon_2 = -\mu\varepsilon_1$, takže

$$\varepsilon_1 = \frac{Nf_\varepsilon}{1+\mu}. \quad (5)$$

Ak uvažujeme s pružnoplastickým materiálom s lineárnym spevnením, potom na voľnom okraji vzorky nastane medza klzu R_{P02} , ak

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_{el} + \varepsilon_{pl} = \frac{R_{P02}}{E} + \varepsilon_{pl} = \frac{155 \text{ MPa}}{2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}} + 0,002 = 0,00274 \quad (6)$$

To odpovedá rádu izochromaty

$$N = N_{el} + N_{pl} = \frac{\frac{R_{P02}}{E} (1 + \mu_{el})}{f_\varepsilon} + \frac{\varepsilon_{pl} (1 + \mu_{pl})}{f_\varepsilon} = 0,25 \text{ rádu} + 0,78 \text{ rádu} = 1,03 \text{ rádu}, \quad (7)$$

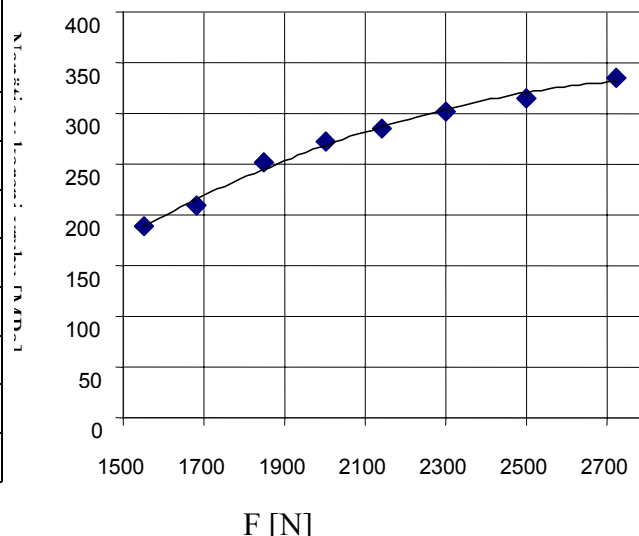
čo odpovedá farebnému odtieňu medzi fialovou a tmavomodrou. Po odľahčení by v tomto mieste mala zostať zvyšková plastická deformácia $\varepsilon_{pl} = 0,002$, čo odpovedá rádu 0,78 a oranžovej farbe. Skúšky boli vykonané na trhacom stroji (Zwick 1387, 200 kN), pričom skúšobné vzorky boli zaťažované na určitú hodnotu ťahovej sily a následne odľahčené. Zaťažovacia sila sa postupne zväčšovala až do dovolenej sily, ktorá bola podmienená maximálnou prípustnou deformáciou lepidla (3%). Skúšky boli vykonané na troch vzorkách: vzorka bez vrubu, vzorka s vrubom $R = 2$ mm a vzorka s vrubom $R = 4$ mm. Tieto vzorky boli vyrobené z hlbokotážnej IF ocele z produkcie VSŽ Košice kolmo na smer valcovania. Základný rozmer vzoriek bol 17 mm pri 0,7 mm hrúbke plechu.

4. Dosiahnuté výsledky

V tab. 1 sú uvedené poradie izochromát N v koreni vrubu vzorky R 2 po odľahčení zo sily F , ktorým odpovedajú príslušné pomerné plastické deformácie ε_{lpl} a napätia σ v koreni vrubu. Napätia σ odpovedajúce pomerným deformáciám ε_{pl} boli odčítavané z ťahového diagramu vzorky bez vrubu.

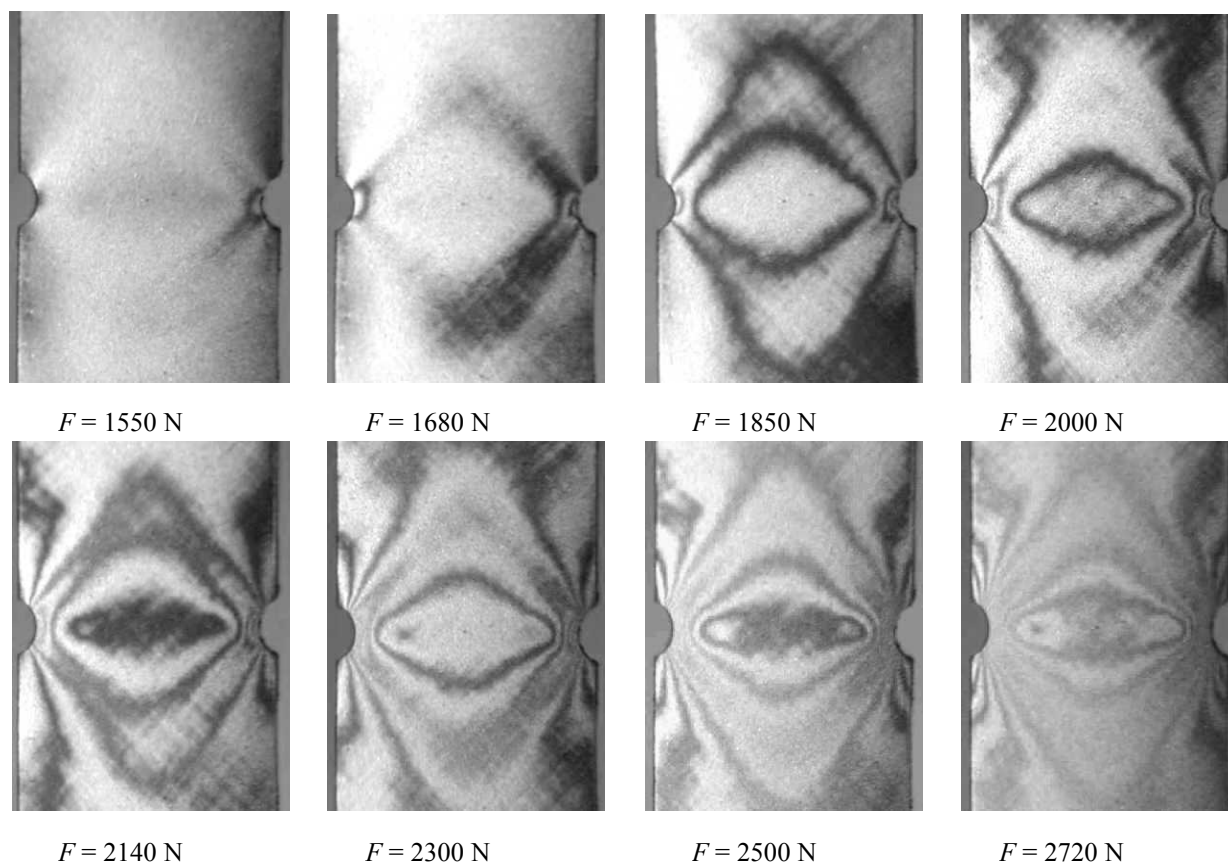
F [N]	N [pružok]	ε_{lpl} [-]	σ [MPa]
1550	0,9	0,0023	185
1680	[1] 1,5	0,0038	210
1850	2,6	0,0067	252
2000	3,5	0,0097	273
2140	4,1	0,0105	285
2300	5,1	0,0131	303
2500	6,1	0,0156	315
2720	8,0	0,0205	336

Tab. 1. Poradie izochromát N v koreni vrubu vzorky R 2



Obr. 4 Závislosť σ od ťahovej sily F

Na obr.(3) pozorujeme interferenčné pruhy, ktoré boli zaznamenávané digitálnym fotoaparátom.



Obr. 3. Tvary interferenčných pruhov po uvoľnení zo sily F na vzorke s vrubom R 2.

5. Záver

Vyššie uvedený postup určovania zložiek plastických deformácií pomocou metódy reflexnej fotoelasticimetrie sa ukázal ako vhodná metóda pre tento účel. Pretože vlastnosti použitej fotoelasticimetrickej vrstvy a lepidla dovoľovali maximálne 3 % pomerné predĺženie, nemohlo sa postupovať k vyšším zložkám deformácií. Ak sa máme zaoberať chovaním sa hlbokoťažných plechov v oblastiach vyšších zložiek pomerných deformácií, je potrebné použiť vhodnejšie fotoelasticimetrické materiály, schopné sledovať deformačné pomery aj v týchto oblastiach.

Pretože pri lisovaní plechov je materiál vystavovaný dvojosej napätosti bude ďalšia pozornosť venovaná určovaniu zložiek pomerných plastických deformácií v tomto stave.

LITERATÚRA

- [1] HILL, R.: The Mathematical Theory of Plasticity. Oxford 1950
- [2] TREBUŇA, F. – BIGOŠ, P.: Intenzifikácia technickej spôsobilosti ťažných nosných konštrukcií. Vienaľa, Košice, 1998,
- [3] ŠIMČÁK F., KUNDRACIK V., HANUŠOVSKÝ J.: Hodnotenie plastických vlastností plechov dvojsovou skúškou. Acta Metallurgica Slovaca, 5.1999, (140-144)
- [4] KOČAN, J.: Kombinovaná metodika určenia polí deformácií a napätí s využitím metódy photostress a metódy odvrtávania – písomná práca k dizertačnej skúške, 1999.