

Lenár Lubomír Ing., Strojnícka fakulta STU, 812 31 Bratislava

Pri experimentálnom vyšetrowaní napätových a deformačných polí sa okrem iných používali a používajú aj viaceré optické metódy, ktoré však mali určité nevýhody v tom, že ich je možné využiť len v spojitosti s materiálmi transparentnými alebo s netransparentnými, ale na povrchu pokrytými transparentným lakom. Pred niekoľkými málo rokmi sa však objavila metóda založená na princípoch geometrickej optiky, ktorá umožňuje rovnako kvalitný výskum na transparentných ako aj na reflexných materiáloch. Je to tieňová optická metóda kaustík. Jej základy vytvorili Schardin (1) a Manogg (2) a neskôr ju významne rozvinuli Kalthoff, Theocariss, Rosakis,...

Jedným z najdôležitejších parametrov šírenia sa trhliny je aj cyklický faktor intenzity napätia K . Rovnako určujúcim faktorom je však aj pomer $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} = K_{\min} / K_{\max}$, ktorý v oblastiach I a III (obr.1) má najväčší vplyv na rýchlosť šírenia trhliny. Vplyv faktora intenzity napätia a pomeru napätí R na rýchlosť šírenia trhliny je možné vyjadriť podľa vzťahov Formana, Pearsona (pre hliník), Erdogana a Ratwaniho, Klesnila a Lukáša (pre ocele), McEvilla, Richardsa a Lindleya, Hudaka a kol., ktoré všetky vychádzajú zo všeobecne známeho Parisovho vzťahu

$$da/dN = C(\Delta K)^n \quad (1)$$

Pritom však vplyv pomeru napätí R na šírenie trhliny ostáva ďalej nejasný. Možným vysvetlením je predstava, že mimo cyklickej plastickej zóny pôsobia iné mechanizmy riadené normálnymi napätiami vo vrchole trhliny a reprezentované hodnotou K_{\max} . Ďalší význam pomeru napätí R bol kvantitatívne experimentálne dokázaný v prácach Elbera (3). Ten navrhol predstavu, že pri zaťažení konštantnou amplitúdou sa trhlina pri znižovaní napätia (ťahového) uzatvára a neotvorí sa skôr, kým pri vzostupe nie je zaťaženie dostatočne vysoké (obr.2). Pretože je trhlina otvorená len v časti ťahového zaťaženia navrhol Elber korigovať rýchlosť šírenia trhliny efektívnym faktorom intenzity napätia K_{eff} (obr.3). Na základe Willenborgovej úvahy (4) možno písať

$$\begin{aligned} K_{\max, eff} &= K_{\max} - K_{red} \\ K_{\min, eff} &= K_{\min} - K_{red} \end{aligned} \quad (2)$$

a z toho bude potom konečná rovnica v tvare:

$$K_{eff} = K_{\max, eff} - K_{\min, eff} \quad (3)$$

Pre hliníkové zliatiny 2024-T3 našiel Elber závislosť

$$K_{eff} = (0,5 + 0,4R)\Delta K \quad 0,1 \leq R \leq 0,7 \quad (4)$$

a Schwalbe pre hliníkové zliatiny AlZnMgCu 0.5 získal rovnicu

$$K_{eff} = (0,6 + 0,5R)\Delta K \quad (5)$$

Experimenty, ktoré sa robili pomocou tenzometrických meraní, meraní rozdielu potenciálov, ultrazvukom, zvukovou emisiou potvrdili medzičasom existenciu efektu uzatvárania trhliny. Bohužiaľ, objasnenie tohoto efektu a jeho vplyv na rýchlosť

šírenia trhliny nie je tak jednoznačný ako sa skôr zdalo.

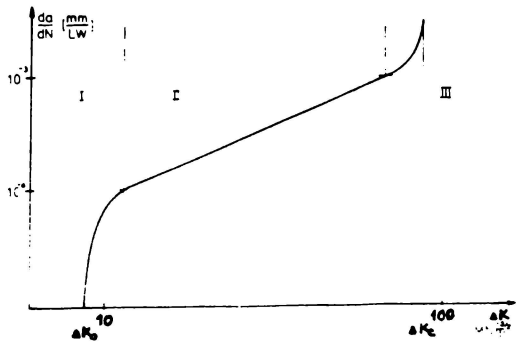
V našom prípade sme sa ako prví pokúsili sledovať efekt uzatvárania trhliny pomocou tieňovej optickej metódy kaustík a to v reflexnom usporiadaní s použitím vysokopevnej zliatiny hliníka AlZnMgCu 1.5 "FORTAL 7075", ktorej mechanické vlastnosti sú:

$$\begin{array}{ll} \sigma_{kt} = 450 \text{ Mpa} & \text{HB} = 140 \\ \sigma_{pt} = 530 \text{ MPa} & E = 7.10^4 \text{ MPa} \\ K_I = 35,42 \text{ MNm}^{-3/2} & \mu = 0,34 \end{array}$$

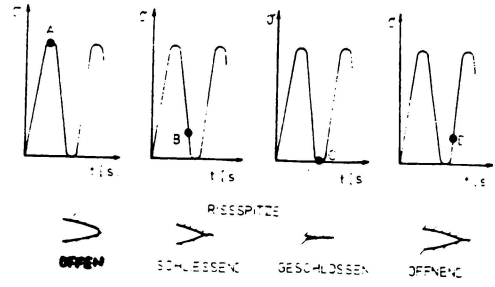
Experiment bol robený s modifikovanou CT-vzorkou s rozmermi 200x192x10 mm so základnou dĺžkou trhliny 50 mm, ktorá bola pri cyklickom zaťažení ($2,75 \pm 2,15$)kN predĺžená na hodnotu ($50 + a$) mm. Pretože pre metódu kaustík bolo použité reflexné usporiadanie, bol povrch vzorky lapovaný a potom ručne leštený do zrkadlového lesku. Počas experimentu bola vzorka zaťažovaná v zaťažovacom stroji fy INSTRON a ako zdroj svetla slúžil laser. Vzorka bola najskôr namáhaná silou ($2,75 \pm 2,15$)kN až kým sa nevytvorila únavová trhlina v dĺžke 17,5 mm (t.j. asi po 250000 cykloch), potom bola vzorka odľahčená a pri statickej sile ($2,5 + 12$)kN boli nasnímané kaustiky pre určenie základného pomeru $\Omega = K_{Iopt}/K_{Imech}$. Ďalej bola vzorka zaťažená počas 4000 cyklov silou ($7,2 \pm 4,8$)kN a po tejto dobe boli pri frekvencii 0,01Hz nasnímané kaustiky (obr.4). Po ich vyhodnotení bola získaná hodnota K_{eff} . Na základe získaných výsledkov, ktoré vcelku splnili očakávania, možno konštatovať vhodnosť použitia tieňovej optickej metódy kaustík aj pre vyšetrovanie efektu uzatvárania trhliny.

LITERATURA:

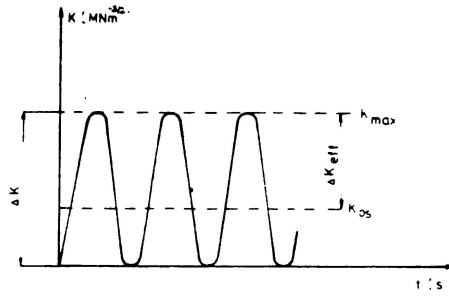
1. Schardin, H.: In: Averbach et al. (eds.), "Fracture", 1959
2. Manogg, P.: "Anwendung der Schattenoptik zur Untersuchung Zerreißvorgangs vom Platten, 1964
3. Elber, W.: Damage Tolerance in Aircraft Structures, ASTM STP 486, 1971
4. WILLENBORG, J., ENGLE, R.M., WOOD, H.A.: AFFDL-TM-71-1FEBR, Air Force Flight Dynamics Laboratory, 1971
5. Lenár, L.: Untersuchung des Effektes des Riss-schliessens mit dem schattenoptischen kaustiken Verfahren, W/89/01, Bochum 1989



obr. 1



obr. 2



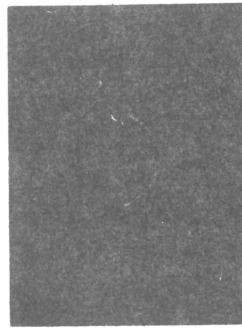
obr. 3



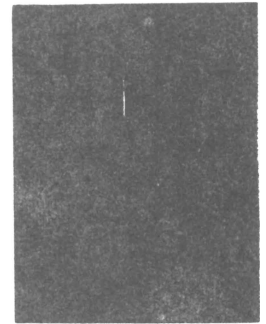
$F = 2500$ N



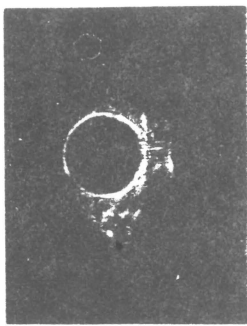
$F = 4000$ N



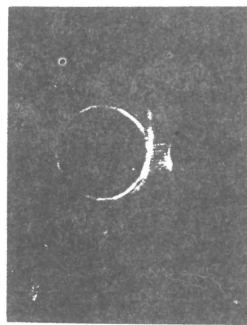
$F = 10000$ N



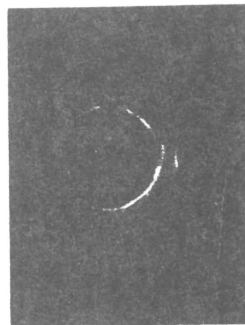
$F = 11000$ N



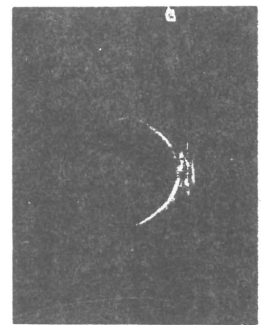
$F = 8000$ N



$F = 8000$ N



$F = 10000$ N



$F = 12000$ N

obr. 4