

Využití rezonance při zkoušení materiálů

A. Trojanová¹, D. Vagner², S. Vlk³

¹Gymnázium, Špitálská 2, Praha 9; anezka.trojanova@gmail.com

²SPŠ SE, Dukelská 13, České Budějovice; david.vagner@centrum.cz

³SPŠ Strojnická, 17. listopadu, Olomouc; svata.vlk@gmail.com

Abstrakt

V projektu jsme se seznámili s moderním způsobem měření únavy materiálů pomocí rezonance. Materiál byl namáhán v ohybu a byl v něm vytvořen vrub. Tento způsob by v dohledné době mohl velmi zkrátit, zlevnit a usnadnit zkoušení materiálů.

1. Úvod

V praxi jsou konstrukční materiály zatěžovány různými faktory. Kvůli namáhání musí být materiály před použitím zkoušeny. Zpočátku byly prováděny hlavně testy pevnosti v tahu, které vznikají na trhacím stroji, a jejich výsledkem je tahový diagram. V letectví a dalších oborech je však více vyžadována zkouška únavové odolnosti – opotřebování opakovaním zatěžovací síly.

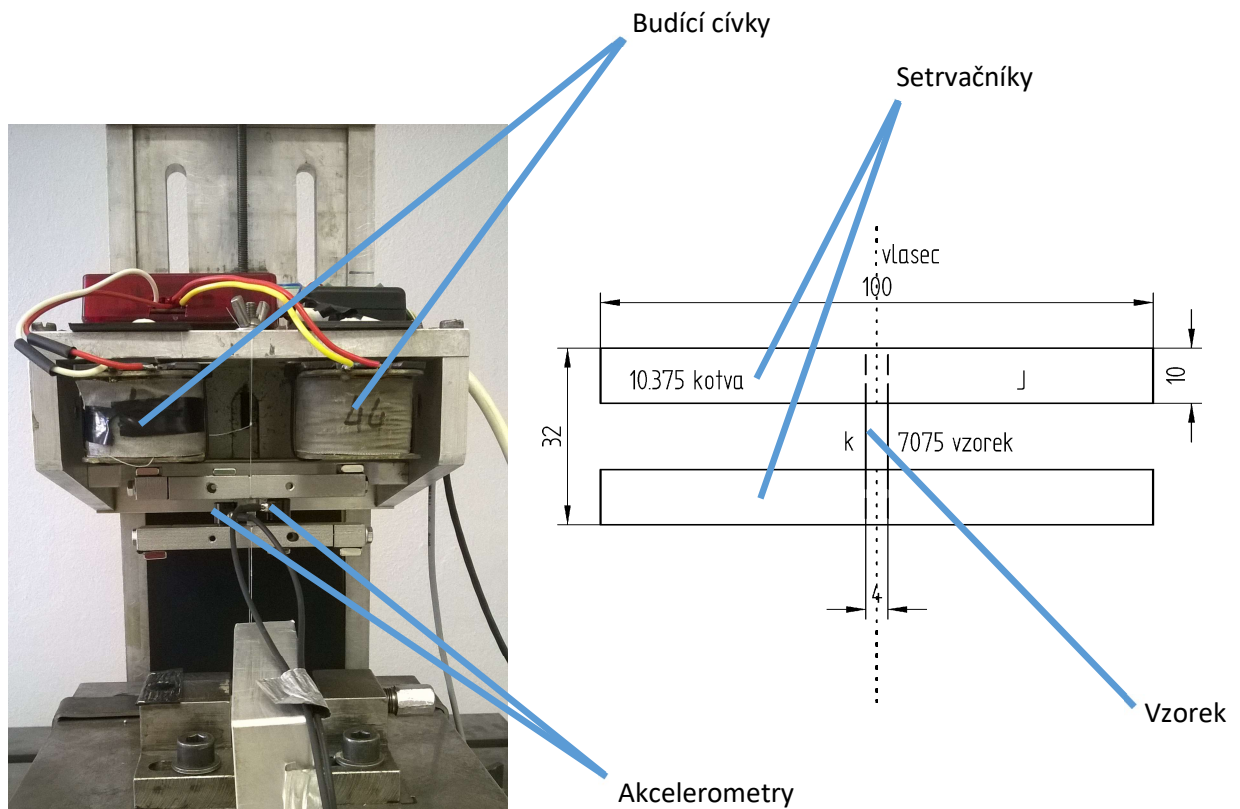
V minulosti měla únava materiálu na svědomí mnoho vážných nehod, naštěstí je dnes zkouškami částečně eliminována.

2. Únavové zkoušky

Únava je typ poškození materiálu vznikající při cyklickém zatěžování, které způsobuje lokální plastickou deformaci. Pokud takovýto předmět nepřestaneme namáhat, dojde k šíření trhlin a těleso může v krajním případě ztratit soudržnost. Např. v letectví způsobuje únava materiálu cca 90% nehod způsobených selháním materiálu.

Existuje více možností, jak zkoušku únavy provést. Nejstarší zkouškou je tzv. únava za rotace. Nejčastější řešení spočívá ve využití servo-hydraulického pulsátoru. Tím jsme schopni dosáhnout frekvence namáhání asi max. 10 Hz. To je však nejen velmi pomalý (při 10^6 cyklech), ale i nákladný (velké testovací těleso i stroj) způsob testu. Délku trhliny lze sledovat posuvným mikroskopem, potenciálovou metodou, či kompliance metodou (všechny jsou ale buď složité, nebo zdlouhavé). Nové a inovativní řešení, které poprvé publikoval Golub [1], se zakládá na rezonanci, a to přímo v testovaném tělese.

Výhoda rezonance je malé množství dodané energie (těleso stačí rozkmitat, dále jen udržovat), nízká cena (možnost testovat i malý předmět na malém stroji), možnost automatizace (délka trhliny je známa v průběhu testu) a malá velikost materiálu (tam, kde se musí s materiálem šetřit,...).



Obr. 1 Rezonanční únavový strojek SF-test vyvinutý na KMAT

3. Teorie měření

Cílem měření je stanovit závislost rychlosti šíření únavové trhliny na její hnací síle charakterizované faktorem intenzity napětí K , tedy $v(K)$.

$K = \sigma\sqrt{\pi a} f$ kde σ je napětí ve vzorku, a je délka trhliny a f je tzv. tvarová funkce zohledňující geometrii tělesa

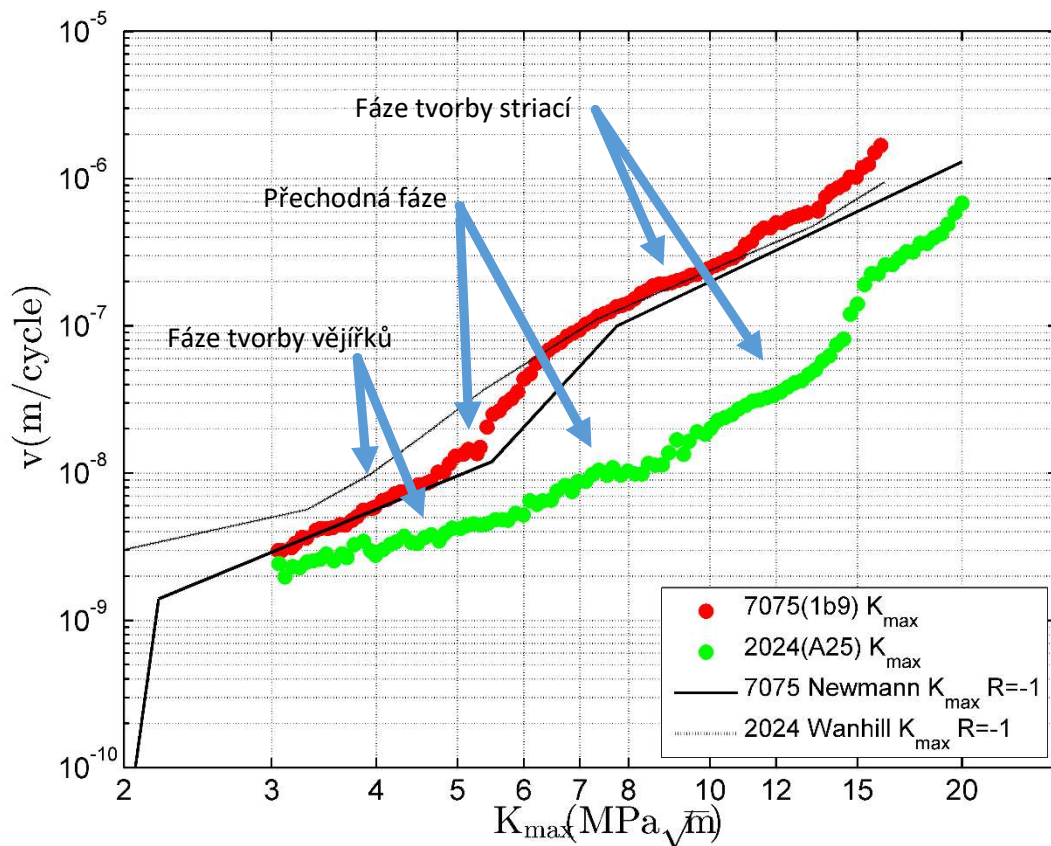
V průběhu měření je nutné zaznamenávat délku trhliny, počet cyklů a zatížení vzorku. Derivací délky trhliny podle počtu cyklů získáme rychlost jejího šíření a podle výše uvedeného vzorce spočítáme K .

4. Měření

Materiál, jenž hodláme podrobit bádání je nutno upravit do podoby miniaturních vzorků, tzv. sirek (tj. kvádrík 3x4x20mm), ve kterých jsou naříznuty vruby (sloužící jako základ pro tvorbu trhliny). Sírku upneme z obou stran do čelistí a pomocí vlasce je připevníme do polohy, ve které mohou volně kmitat (viz. Obr. 1).

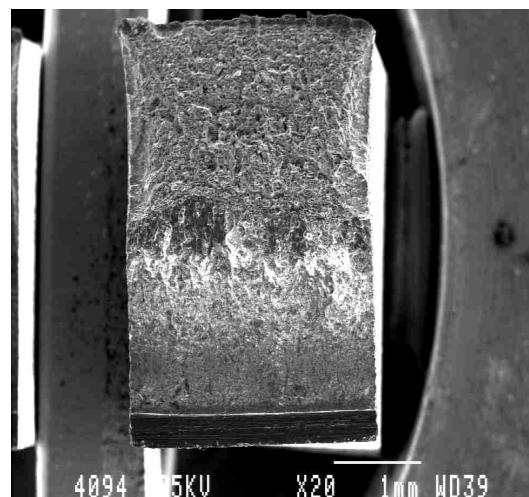
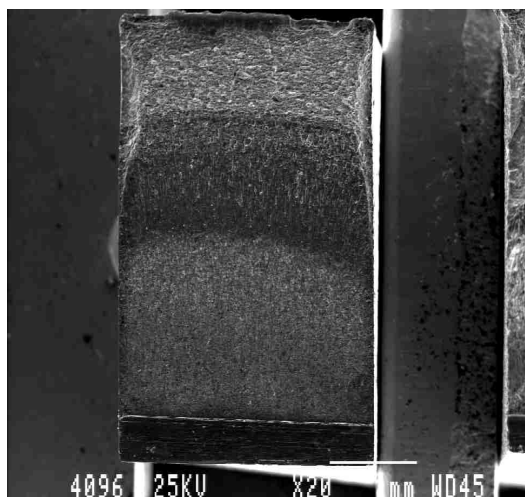
Samotné měření řídí počítač s programem, jež využívá zpětnou vazbu z akcelerometrů na čelistech. Program se chová jako složitější pid (proporcionálně-integračně-derivační) regulátor. Pro rozkmitání v chtěném směru je nutné znát tzv. mód kmitání, který udává, v jakém směru těleso kmitá při dané frekvenci (pro náš pokus 140 až 160 Hz). Ta je určena početně, avšak pouze přibližně. Rezonanci zajistí pouze fázový posun 90° mezi vlastním kmitáním a buzením, to také zajišťuje řídicí program.

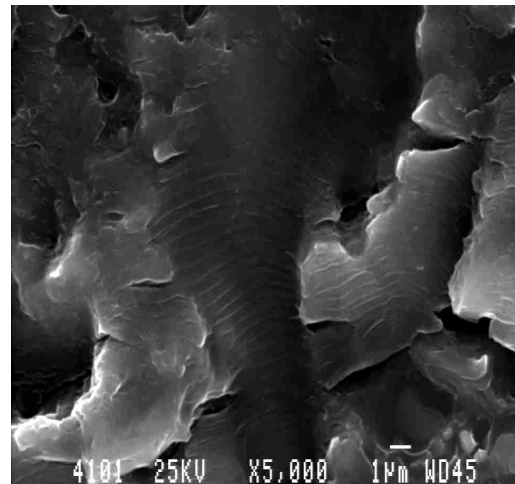
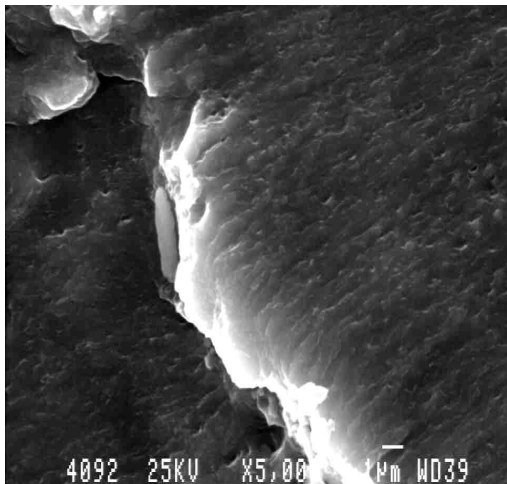
V průběhu měření cyklické střídání ohybu postupně zvětšuje trhlinu v materiálu. Počítač se stará o to, aby faktor intenzity napětí postupně rostl. Toto zvětšování K vede ke zvětšování rychlosti šíření trhliny. Z těchto dvou hodnot lze sestavit graf (obr. 2).



Obr. 2 Rychlost šíření únavové trhliny v závislosti na faktoru intenzity napětí. Body reprezentují naměřená data. Data dostupná v [3, 4] jsou zobrazena křivkami.

Při příliš rychlém šíření trhliny hrozí prasknutí vzorku, proto je test u konce. Vzorek poté dolomíme a zkoumáme na mikroskopu (obr. 3). Při velkém zvětšení je možné vidět vícero vzorů, zejména tzv. vějířky (vznikající při malé rychlosti) a striace (vzniklé při velké rychlosti). Tvorba vzorů je vidět i na výše přiloženém grafu (při přechodu se sklon křivky změnil).





*Obr. 3 snímky z elektronového mikroskopu: Nahoře souhrnný pohled; Dole striace
Vlevo mat. 7075, vpravo mat. 2024*

5. Shrnutí

Získané výsledky naznačují významně nižší rychlost šíření únavové trhliny v materiálu 2024. Zatímco rychlost šíření trhliny v mat. 7075 je srovnatelná s [3], materiál 2024 vykazuje podstatně nižší rychlost šíření, než je uvedena v [4]. Materiál 2024 má mnohem lepší vlastnosti, než bylo očekáváno pravděpodobně vlivem specifického tepelně-mechanického zpracování. Díky malé finanční i časové náročnosti provedeného typu únavových zkoušek lze v dohledné době očekávat rozvoj této metody, či její větší rozšíření do světa.

6. Poděkování

Chtěli bychom poděkovat FJFI ČVUT za TV@Jaderce, především pak ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. a celému organizačnímu týmu. Dále bychom chtěli poděkovat vedoucímu našeho projektu ing. Ondřeji Kováříkovi, Ph.D. a celé katedře materiálů FJFI.

7. Reference

- [1] V. P. Golub, V. P. Butseroga, A. D. Pogrebnjak, Study of the kinetics of fatigue cracks by the method of differential compliance. *Int Appl Mech* 1995;31:1018-25. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00847262>.
- [2] O. Kovarik, A. Janca, J. Siegl, Fatigue crack growth rate in miniature specimens using resonance, *International Journal of Fatigue*. (2017). [doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2017.02.015](http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2017.02.015).
- [3] Edwards PR, Newman Jr JC. Short-crack growth behaviour in various aircraft materials. NASA Langley Research Center; 1990. AGARD-R-767.
- [4] Wanhill RJH. Characteristic stress intensity factor correlations of fatigue crack growth in high strength alloys: reviews and completion of NLR investigations 1985-199. National Aerospace Laboratory NLR; 2009. NLR-TP-2009-256.