DYNAMIKA LOMU VYBRANÝCH TYPŮ KONSTRUKČNÍCH OCELÍ

František Dušek, ÚFM ČSAV Brno

Příspěvek se zabývá problémem dynamické lomové houževnatosti při zatěžování krátkými napěťovými pulsy. Dosud zjištěné experimentální výsledky /1-4/ ukazují na skutečnost, že pokles doby zatížení vede ke zvýšení stability defektu. O vysvětlení tohoto jevu z hlediska příčin kinematicko-geometrických jsme se pokusili v příspěvku /5/, předneseném na 20. konferenci EAN '82. Další příčina, způsobující zvýšení stability trhliny, která je obsahem tohoto příspěvku, souvisí s dynamickou odezvou materiálu při vysoké rychlosti zatěžování.

1. Použitý materiál a experimentální postup

Dynamika lomu v rozsahu rychlostí $\dot{K} = (10^0-10^7)$ MPa $m^{1/2}s^{-1}$ byla zkoumána na ocelích různé mikrostruktury, lišících se také úrovní statických pevnostních charakteristik i rychlostní citlivostí mechanických vlastností. S ohledem na praktickou aplikaci výsledků byly použity konkrétní oceli, používané pro chemický průmysl a jadernou energetiku provenience VŽKG. Data použitých ocelí jsou uvedena v tab. 1.

Materiál	Tepelné zpracování		Struktura
	Kalení	Popouštění	
10GN2MFA	910°C/olej	670°C/vzduch	popušť. bainit
20Mn	900°C/voda	700°C/vzduch	bainit + ferit
10Cr2,5Mo	960°C/vzduch	700°C/vzduch	bainit + ferit
15Cr3Mo	880°C/vzduch	720°C/vzduch	bainit

Tab. 1

Na takto připravených ocelích byly změřeny konvenční statické charakteristiky i dynamické charakteristiky jako $R_e(\dot{\varepsilon})$ a absorbovaná energie $H(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, T)$ /6/. Ke studiu stability trhlin bylo použito následujících metod:

a) statické lomové houževnatosti $\dot{K} = 1$ MPa $m^{1/2}s^{-1}$

b) instrumentovaného rázového kladiva /7/ $\dot{K} \approx 10^5$ MPa $m^{1/2}s^{-1}$

c) metody ÚFM ČSAV - modifikované Hopkinsonovy měrné tyče

$\dot{K} = (10^6 - 10^7)$ MPa $m^{1/2}s^{-1}$ /8/.

2. Experimentální výsledky a jejich diskuse

Na obr. 1 jsou prezentovány experimentálně zjištěné závislosti $K_{IC}(T)$ ze statických ohybových zkoušek, závislost $K_D(T)$ zjištěná pomocí instrumentovaného rázového kladiva a závislost $K_{Id}(T)$ stanovená metodou ÚFM ČSAV, pro ocel 10GN2MFA, určenou pro výrobu tlakových nádob a zařízení v jaderné energetice. Kromě těchto průběhů je zde uvedena ještě referenční závislost $K_{IR}(T)$, stanovená podle ASME /9/. Obdobné průběhy byly stanoveny i pro ostatní oceli.

Z obrázku je zřejmé, že hodnoty dynamické lomové houževnatosti K_D i K_{Id} leží značně níže než hodnoty K_{IC}. Znalost jejich průběhů je v praxi nutná pro dynamicky namáhané konstrukce, zejména v jaderné energetice, kde všechny hodnoty $K_{Id}(T)$, resp. $K_D(T)$, musí převyšovat referenční křivku $K_{IR}(T)$.

Rychlostní závislost veličiny lomové houževnatosti lze vysvětlit ze dvou základních příčin tohoto jevu: první příčina je ryze kinematicko-geometrického charakteru a souvisí s dynamickou stabilitou trhliny /5/. Skutečná délka trhliny se nahrazuje efektivní délkou defektu $c_1 t/a$ (c_1 je rychlost šíření podélné vlny, a je charakteristický rozměr trhliny). Pak

$$K_I(t) = R_o \sqrt{a\pi}\, f(c_1 t/a) \qquad (1)$$

(f je funkce, která závisí na geometrii tělesa a poloze trhliny). Druhá příčina souvisí s dynamickou odezvou materiálu v okolí kořene trhliny. V termínech LLM se tento efekt popisuje jistou minimální dobou, kterou musí $K_I^{dyn}(t)$ překročit, aby došlo k nestabilnímu růstu trhliny /2/. Jak již bylo diskutováno /5,8/, stabilita vlnově zatížené trhliny úzce souvisí s dynamickým vývojem procesní zóny na čele trhliny. Zvýšení rychlosti deformace může vyvolat vlivem rychlostních efektů snížení disipace energie v plastické zóně, jejíž velikost s rychlostí deformace klesá. V termínech LLM je tento jev zachycen poklesem lomové houževnatosti $K_I(\dot{K})$. Pro popis interakce napěťové vlny s trhlinou byl použit postup, který jsme uvedli v /5/, kde

$$K_I(t,l) f(v/v_R) = K_I d \qquad (2)$$

(kde v je rychlost trhliny a v_R je rychlost povrchové vlny).

Z výsledků tohoto rozboru vysvitlo, že stabilita defektu $\sigma_m(l_o,\lambda)$ je kontrolována vztahem

$$A = \frac{c_1\lambda}{l_o} \qquad (3)$$

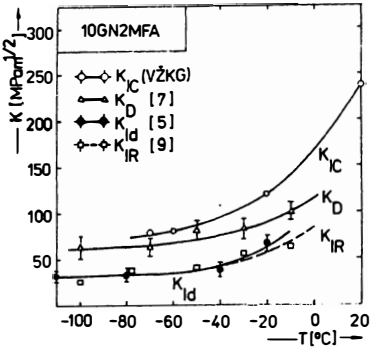
Na základě výsledků celého rozboru zkoušek se ukázalo, že parametr A (charakterizující rozsah platnosti LLM) souvisí s parametrem β, který jsme dříve označovali jako dynamická únosnost materiálu R_e^d/R_e. V pružně-plastickém stavu je charakterizován parametrem /10/

$$\sigma = \sigma_B + \alpha\dot{\varepsilon} \qquad (4)$$

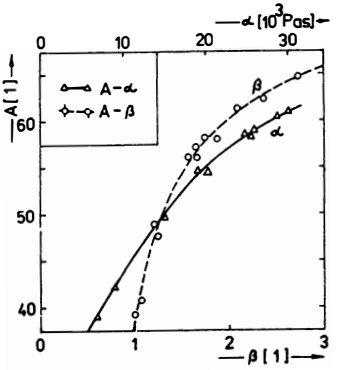
Nalezené závislosti $A(\alpha)$ a $A(\beta)$ jsou vyznačeny na obr. 2, z nichž vyplývá, že oblast platnosti LLM je klesající funkcí rychlostní citlivosti α v pružně-plastickém stavu a veličiny β.

3. Literatura

1. Dušek F., Buchar J.: Some Experiments in Dynamic Crack Propagation in Structural Steel. Proc. of Coll. on Solid States Properties at High Loading Rates, Brno 1978, p. 92-100.
2. Kalthof J.F., Shockey D.A.: J. Appl. Phys. 48 (1977), 984.
3. Shockey D.A., Homma K., Muryama Y.: J. Mech. Phys. Sol. 31 (1983) 261.
4. Shockey D.A., Kalthof J.F., Erlich D.C.: Int. J. Fract. Mech. 22 (1984) 217.
5. Dušek F., Buchar J.: Aplikace Hopkinsonovy měrné tyče pro stanovení dynamické lomové houževnatosti. Sb. 20. konf. EAN, Karlovy Vary 1982.
6. Dušek F., Mazanec K.: Kovové materiály 6 (1967), Kovové materiály 2 (1969).
7. Holzmann M., Man J.: Dynamická lomová houževnatost. Příloha čas. Zváranie 1977.
8. Buchar J., Bílek Z., Dušek F., Mazanec K.: Kovové materiály 6 (1981) 709.
9. ASME Boiler and Press. Vessel Code; Part III., App. B; Protection against nonductile failure. ASME 1974.
10. Dušek F.: Response of Materials to High Loading Rates. Dynamika osrodków niesprężystych. Ossolineum PAN, Wroclaw 1974, p. 125-174.



Obr. 1. Závislosti K_{IC}, K_D, K_{Id} a K_{IR} na teplotě pro ocel 10GN2MFA



Obr. 2. Závislost parametru A na veličinách α a β