

INSTRUMENTACE KYVADLOVĚHO KLADIVA PRO ZKOUŠKY RÁZEM V OHYBU

Ing. V. Šrajer, Ing. L. Čepek, Ing. V. Gabryš, Ing. M. Peč

Abstrakt

Příspěvek se zabývá problematikou houževnatosti materiálu. Důraz je kladen na hodnocení houževnatosti materiálu při rázovém zatěžování. Rozšíření experimentálních možností v této oblasti umožňuje instrumentace kyvadlového kladiva, tj. doplnění tohoto zařízení o snímací, záznamové a vyhodnocovací jednotky, umožňující získat signály síly a deformace během lomového procesu.

Houževnatost

Houževnatost je spolu s pružností, tvárností a pevností považována za základní mechanickou vlastnost materiálu. Houževnatost je definována jako mechanická energie spotřebovaná na plasticou deformaci materiálu, potřebnou k jeho porušení. Houževnatost je dána schopností materiálu nevratně pohlcovat mechanickou deformační energii. T.zn., že tato schopnost předpokládá materiál tvárný (tj. schopný plastické deformace) a pevný (tj. schopný klást odpor porušení).

V závislosti na způsobu zatěžování materiálu lze rozlišit:

- a) Houževnatost při monotonním jednosměrném zatěžování až do lomu: je dána plochou pod pracovním diagramem zmenšenou o část připadající na elastickou deformaci. V prvním přiblížení je houževnatost úměrná součinu pevnosti a tažnosti. Podle rychlosti zatěžování je:
 - houževnatost statická (např. při běžné zkoušce tahem)
 - houževnatost dynamická (např. při zkoušce rázem v ohybu).
- b) Cyklická houževnatost jako schopnost materiálu při únavovém namáhání nevratně pohlcovat energii, je dána plochou hysterezní smyčky, sumovanou přes počet cyklů do lomu (tlumení, vnitřní útlum).

Zkouška rázem v ohybu

Zkouška rázem v ohybu byla navržena a zaváděna před 80 lety jako zkouška k hodnocení houževnatosti materiálů při rázovém zatížení s iniciací porušení z vrubu (trojosý stav napjatosti,

koncentrace napětí a deformace). Zkouška v klasickém uspořádání nerozlišuje (neodděluje) odolnost materiálu proti vzniku a proti šíření porušení a umožňuje stanovení těchto charakteristik:

1. Energetická charakteristika: práce K spotřebovaná na porušení zkušební tyče (podle tvaru vrubu - KV, KU 2, KU 3 atd.) a z ní stanovená vrubová houževnatost (KCV, KCU 2, KCU 3 atd.).
2. Deformační charakteristiky: naměřené na tyči (rozdíl rozměrů /šířky tyče/ před a po zkoušce): příčné rozšíření Δb .
3. Fraktografické charakteristiky: podíl tvárného lomu na lomové ploše, atd.

Všechny tyto charakteristiky mají charakter integrální a vůbec nepostihují vlastní lomový proces. Přes tato omezení si zkouška vydobyla významnou a stále rostoucí úlohu v technické praxi, mj. pro význam k hodnocení odolnosti materiálů proti velmi nebezpečnému křehkému lomu. Jedině na základě poznání vlastního procesu porušení lze výrazně zkvalitnit vypovídající schopnost zkoušky rázem v ohybu. Jestliže by bylo možné zaznamenávat pracovní diagram materiálu (tj. závislost síla-průhyb) v průběhu rázu, bylo by možno již uvedené charakteristiky dále doplnit o:

4. Charakteristiky napěťové: především mez makroplastických deformací, tj. dynamická mez kluzu R_e^{dyn} ap.
5. Jemnější energetické charakteristiky: určovat práci na iniciaci (K_1) a práci na šíření (K_g) porušení. Platí, že

$$K = K_1 + K_g \quad (1)$$

Přitom práci K lze zjistit:

- odečtením přímo z kyvadlového kladiwa (jako rozdíl energií beranu před a po zkoušce)
- integrací pracovního diagramu $F = F(y)$

$$K = \int_0^{y_{max}} F(y) dy \quad \begin{matrix} F - \text{síla} \\ y - \text{průhyb vzorku} \end{matrix} \quad (2)$$

tj. jako plochu pod celým pracovním diagramem ze zkoušky rázem v ohybu.

6. Dynamické charakteristiky lomové mechaniky (dynamickou lomovou houževnatost K_{ICd} , J_{ICd} , K_{IED}).

Informace o průběhu vlastního lomového procesu jsou ale obtížně získatelné, neboť doba jeho trvání činí řádově (podle typu porušení) 10^{-4} - 10^{-3} sekundy.

Instrumentace kyvadlového kladiva

Pod tímto pojmem se rozumí doplnění kyvadlového kladiva o snímače, měřicí a záznamové jednotky a o mechanické části, které umožňují v průběhu rázu (lomového procesu) měřit a zaznamenávat pracovní diagram (signál síly a signál deformace). Na instrumentaci kyvadlového kladiva je kladena řada požadavků. Nejzávažnější z nich jsou:

1. Vhodná frekvenční charakteristika elektronického měřicího řetězce. Vyjadřuje se podmínkou, aby tzv. náběhový čas elektronické aparatury t_R byl kratší než trvání vlastního procesu lomu t_{FR} :

$$t_R \ll t_{FR} \quad (3)$$

2. Potlačení rušivých signálů, které ovlivňují signál síly.

Tyto signály mají původ v:

- a) setrvačných silách vznikajících při urychlení vzorku v okamžiku rázu,
- b) nízkofrekvenčním mechanickém kmitání zátěžné soustavy; tyto signály lze elektricky filtrovat při splnění podmínky

$$t_R \geq 2\tau \quad (4)$$

kde τ je perioda kmitání vzorku.

V SIGMA VÚ byla v roce 1985 úspěšně provedena instrumentace kyvadlového kladiva PS-30. Cílem bylo umožnit instrumentované zkoušky rázem v ohybu i dynamické lomové houževnatosti. Kladivo bylo proto rozšířeno o následující funkční celky:

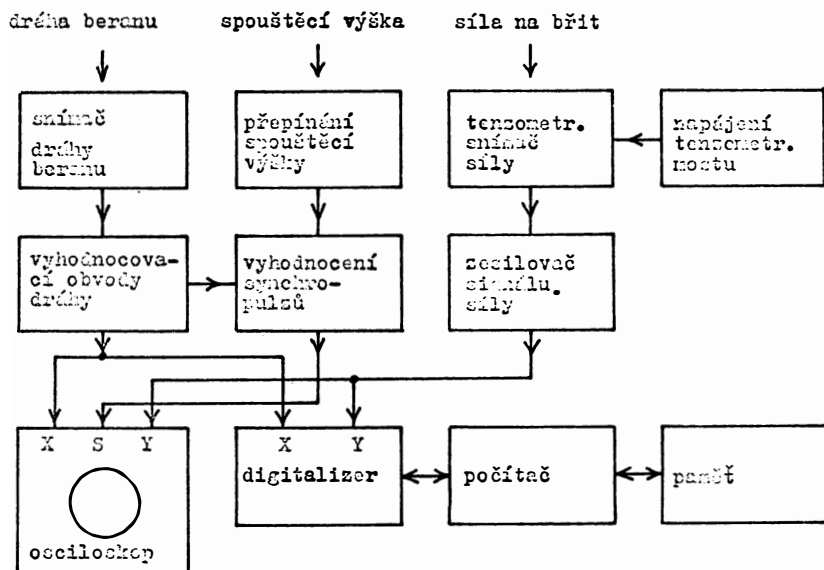
1. Břit kladiva polepen dvěma mikrotenzometry spojenými do můstku s dvěma kompenzačními tenzometry.
2. Zařízení umožňující spuštění beranu z různých výšek (úhel proměnný v rozmezí $10 - 105^\circ$).
3. Zařízení pro statické cejchování signálu síly.
4. Snímač průhybu vzorku, založený na clonění fotoaktivního prvku clonkou, pevně spojenou s beranem kladiva.
5. Měřicí elektronická aparatura, jejíž blokové schéma je na obr. 1. Signály síly a průhybu vzorku lze přivést na osciloskop a záznam pracovního diagramu je pak možno získat fotografováním obrazovky. S výhodou lze ale použít modernějšího přístupu - záznamu dvojice dat síla-průhyb na digitální záznamník přechodových dějů s ultravysokou vzorkovací frekvencí (t.zv. transient recorder).

Tento způsob jsme zvolili především proto, že poskytuje možnost využití výpočetní techniky pro vyhodnocení vlastní zkoušky (stanovení materiálových charakteristik).

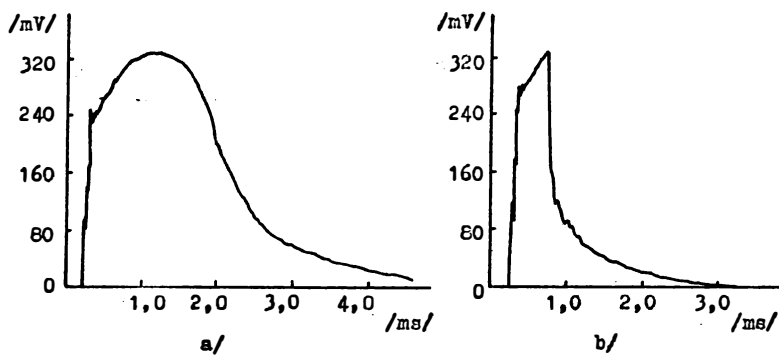
Příklady námi získaných závislostí jsou uvedeny na obr. 2a,b. Na obr. 2a je typický příklad houževnatého lomu s velkou spotřebou energie, kdy jak iniciace porušení, tak jeho šíření probíhají tvárným mechanismem. Na obr. 2b je uveden příklad záznamu křehkého lomu.

Závěr

Provedená instrumentace kyvadlového kladiva znamená velký přínos pro oblast mechanického zkoušení, lze jím získávat moderní charakteristiky materiálu, které umožňují hlubší poznání procesu porušování s velkým dopadem do praxe.



Obr. 1. Blokové schéma elektronické aparatury.



Obr. 2. Příklady záznamů časového průběhu síly během zkoušky rázem v ohybu