

ÚČINEK NAPĚŤOVÝCH VLN NA VYBRANÉ TYPY HORNIN

Ing. František Dušek, CSc.

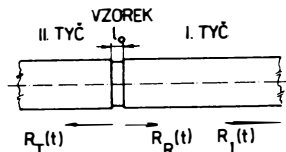
Ústav fyzikální metalurgie ČSAV, Brno

1. Úvod

Vzhledem k rostoucí potřebě kameniva v národním hospodářství, ukázalo se nezbytné sledovat účinnost technologických postupů při zdrobňování hornin. Významnou část těchto postupů reprezentuje rázové zdrobňování hornin [1]. Pro posouzení účinnosti tohoto postupu bylo nutno vyvinout zkušební metodu, která by umožnila klasifikovat náchylnost hornin vůči danému zdrobňování.

2. Experimentální technika a materiály

Reálný proces rázového zdrobňování na kladivových drtičích [2] byl modelován pomocí účinku napěťových vln na zařazení, které je známé pod názvem HMDT [3], viz obr. 1. Pro zatěžování bylo použito napěťových vln tří různých délek



Obr. 1

$\lambda_1 \approx 25 \mu s$, $\lambda_2 \approx 50 \mu s$ a $\lambda_3 = 75 \mu s$ a různých amplitud R_{Im} . Účinek napěťové vlny lze popsat její strmostí $S_I = R_{Im}/t_{Im}$ (1), kterážto veličina je jednoznačnou funkcí parametru v_0 .

$$\text{Průběh napětí ve vzorku} \quad R(t) = R_M(t) = R_I(t) - R_R(t) \quad (2)$$

$$\text{Průběh def. rychlosti} \quad \dot{\xi}(t) = 1/\varphi c_0 [R_I(t) + R_R(t) - R_M(t)] \quad (3)$$

Integrací vztahu (3) lze získat průběh deformace $\xi(t)$.

$$\text{Energie napěťových vln} \quad w_{I,R,T} = \frac{1}{\varphi c} \int_0^{\lambda} R_{I,R,T}^2(t) dt \quad (4)$$

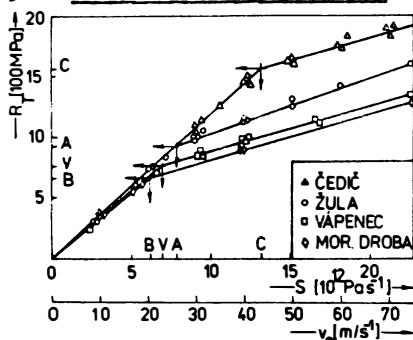
$$\text{Energie absorbovaná vzorkem} \quad w_s = w_I - w_R - w_T \quad (5)$$

Velikost vzniklé lomové plochy F v průběhu zatěžování byla zjišťována pomocí modifikované metody BET, založené na principu sorbce plynů na povrchu lomu za nízkých teplot.

Tímto způsobem byly zkoumány čtyři základní typy hornin: žula (ozn. A), čedič (C), vápenec a moravská droba (B).

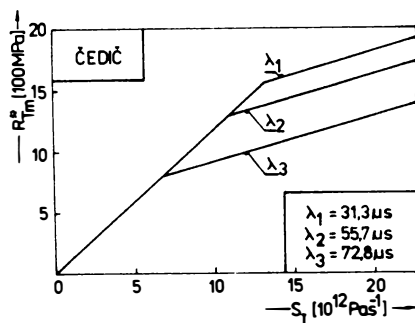
3. Experimentální výsledky

3.1. Pevnostní charakteristiky

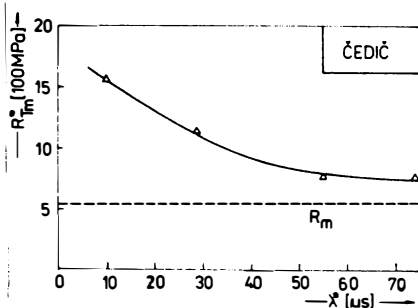


Obr. 2

Reakce hornin vůči napětovým vlnám je popsána funkcí $R_T(S_T)$, která byla vypočtena z experimentálně nalezených údajů, postupem naznačeným v kap. 2. Graficky je vyznačena na obr. 2. Délka napětových vln byla pro všechny případy stejná, a to: $\lambda \approx 30 \mu\text{s}$.



Obr. 3

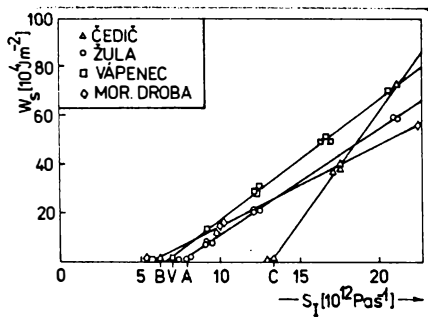


Obr. 4

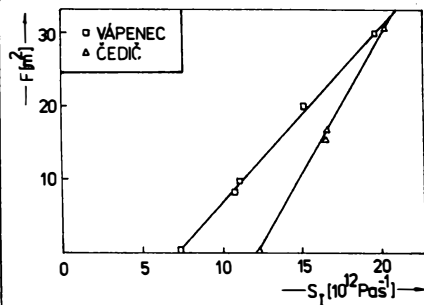
Na obr. 3 a 4 je graficky naznačen vliv zatěžování vlnami napětí různých délek. Při zkracování napětové vlny λ je nutná vyšší amplituda k počátku lomového poškození a s prodlužováním se tato amplituda snižuje až ke kvazistatické mezi pevnosti R_m .

3.2. Energetická bilance zatěžovacího procesu

Deformační proces, charakterizovaný absorbovanou energií $w_g(S_T)$ pro uvedené materiály je graficky znázorněn na obr. 5 pro $\lambda \sim 30 \mu\text{s}$. Rozsah lomového poškození byl stanoven pomocí nově vzniklé plochy F . Grafické znázornění průběhu funkce $F(S_T)$ pro vápěvec a čedič je uvedeno na obr. 6.



Obr. 5



Obr. 6

Z průběhu funkcí $w_s(S_I)$ a $F(S_I)$ je zřejmé, že jejich vzájemný poměr je konstantní s ohledem na velikost S_I . To znamená, že velikost energie, potřebná pro vznik jednotkové plochy je nezávislá na rychlosti zatěžování. Tato veličina

$$\gamma = w_s A_s / F \quad (6)$$

kde γ je měrná povrchová energie, A_s je průřez vzorku. Naměřené hodnoty:

Materiál	Čedič	Žula	Vápenec	Mor.droba
γ [Jm ⁻²]	5,88	4,8	4,32	4,34

4. Fyzikální model procesu

Horniny lze charakterizovat jako materiály s velkým množstvím defektů /5/. Jejich rozdělení uvažujeme jako normální, ve tvaru

$$dn = A e^{-k^2 a^2} da \quad (7)$$

kde A , k jsou konstanty daného rozložení, dn je počet trhlin v intervalu a ; $a+da$. Pevnost hornin je ovlivněna těmi trhlinami, u kterých může dojít k nestabilnímu růstu. Pak podle kritérií /6/

1. aktivní délky napěťové vlny t_m (nutné pro překonání mezimolekulárních vazeb v kořeni trhliny) platí vztahy

$$\frac{\partial R(t)}{\partial t} \geq 0 \quad t_m \geq t_0 = \frac{Ba}{c} \quad (8)$$

kde B je konstanta zahrnující elastické parametry, a je délka trhliny a c je rychlost šíření napěťové vlny.

2. energetické kritérium (zahrnuje energii nutnou pro vznik nové plochy). Tato podmínka má tvar /2/

$$\frac{1}{E} \int_0^{t_m} R^2(t) dt = K \frac{\gamma}{c} \quad (9)$$

kde K je numerický součinitel, γ je měrná energie potřebná pro vznik nové plochy.

Obě podmínky (8) a (9) musí být splněny současně. Pro rozsah pohybujících se trhlin, jako fce parametrů napěťové vlny, byl odvozen vztah

$$n = \frac{R_0}{\pi} \sqrt{\frac{2t_m c}{E \gamma}} \quad (10)$$

Pak pro velký počet trhlin N v jednotce objemu platí vztah

$$N = A \int_a^{a_{\max}} e^{-ka^2} da \quad (11)$$

Použitím představy o rovnoměrném rozložení trhlin v jednotce objemu /5/ lze získat vztah pro střední velikost úlomku Δ

$$\Delta = \frac{2}{3\sqrt{N}} \quad (12)$$

Pak velikost lomové plochy lze vyjádřit jako $F = V\alpha/\Delta$ (13) kde V je objem horniny, α je geometrický faktor.

To znamená, že $F \sim \sqrt{N}$. (14)

Proces rázového zdrobňování byl v konečné formě definován vztahem

$$D = \frac{R_I^2 \lambda c}{E \gamma}, \quad (15)$$

který pro jednotlivé zkoumané horniny má hodnotu

	Čedič	Žula	Vápenec	Mor.droba
$D=R_I^2 t_m c/E \gamma$	3 195,03	2 893,14	2 819,10	3 168,96

5. Literatura

1. Svoboda J.: VZ V0892, Přerovské strojírny, Přerov.
2. Dušek F. a kol.: Mezní vlastnosti hornin při rázovém zdrobňování, VZ ÚFM ČSAV, 1973.
3. Dušek F.: Response of materials to high loading rates. Ossolineum PAN, Wrocław 1974.
4. Gnedenko B.V.: Kurs teorii věrojatnostěj, Moskva 1972.
5. Rzevskij V.V. et al.: Accoustical methods of res. and contr. of rocks, Moscow 1973.
6. Steverding B.: JAP. 41 (1970) 2096.