

NUMERICAL SIMULATION OF IMPACT PROCESSES - COMPARISON WITH
EXPERIMENTS

NUMERICKÁ SIMULACE RÁZOVÝCH DĚJŮ - SROVNÁNÍ S EXPERIMENTY

Buchar J.

The paper deals with a problem of the numerical simulation of some experimental methods which are widely used in the study of the influence of the impact loading on the behaviour of materials.

The main attention is focused to the Hopkinson Split Bar Technique and Taylor Test.

Chování materiálů, kovových i nekovových, při rázovém zatěžování představuje předmět zájmu pracovníků řady oborů, a to s ohledem na rostoucí počet aplikací těchto dějů v nejrůznějších oblastech /1/.

Při hodnocení rázových účinků se setkáváme s řadou problémů, které vyplývají zejména z krátké doby trvání zatížení, často i jen několik miliontin sekundy. To klade zvýšené nároky na experimentální techniku a rovněž na numerickou simulaci těchto, zpravidla vysoce nelineárních dějů. Přitom význam numerické simulace neustále vzrůstá, neboť rázovým účinkům jsou vystaveny často velmi rozměrné konstrukce, kdy experiment na díle nepřipadá v úvahu. Výchozím krokem pro numerickou simulaci je stanovení spolehlivé konstitutivní rovnice, která popisuje strukturní změny v materiálu. V případě kovů a jejich

slitin se jedná zejména o popis plastické deformace. Při testování jednotlivých typů konstitutivních rovnic je třeba vycházet z porovnání výsledků experimentů s výsledky numerickými. V dané práci je použito metody Hopkinsonovy měrné dělené tyče (HMDT) a Taylorova testu, které jsou jedny z nejrozšířenějších postupů v oblasti dynamické plasticity /2/.

2. Metoda HMDT

Daná metoda, která byla popsána v řadě prací /3/, sestává ze dvou tyčí, mezi kterými je umístěn vzorek zkoumaného materiálu. Informace o chování materiálu vzorku jsou obsaženy v průbězích napěťových pulsů $\sigma_T(t)$ a $\sigma_R(t)$, které představují odezvu vzorku na působení napěťového pulsu $\sigma_I(t)$. Při hodnocení výsledků je třeba věnovat pozornost vlivu těchto efektů:

- 1) Vliv tření vzorku a tyče. Tento problém byl vyřešen v /4/.
- 2) Vlivu disperze na průběhy pulsů $\sigma_I(t)$, $\sigma_R(t)$ a $\sigma_T(t)$.

Účinný postup byl nalezen v /5/.

Na základě vyhodnocení zmíněných vlivů můžeme přistoupit ke studiu úlohy konstitutivní rovnice. V rámci našich experimentů jsme použili následujícího postupu:

- a) Byly provedeny experimenty pro ocel 16 341.
- b) Byly zvoleny různé typy konstitutivních rovnic a proveden výpočet průběhu prošlého a odraženého pulsu pomocí programů FINEDAN /6/ a DYNA 2D /2/.

Pro studium plastické deformace dané oceli byly použity tři typy závislostí napětí σ - deformace ϵ :

- mocninový model: $\sigma = K \epsilon^n$
- lineární model: $\sigma = \sigma_0 + K \epsilon^n$
- Steinbergův model /7/: $\sigma = \sigma_0 (1 + \beta \epsilon)^n$

Tyto závislosti byly násobeny funkcí $h(\dot{\epsilon})$, která popisuje vliv rychlosti deformace $\dot{\epsilon}$. Na základě srovnání vypočtených a naměřených průběhů $\sigma_T(t)$ a $\sigma_R(t)$ se ukázalo, že nejlépe vyhovuje funkce:

$$(1) \quad \sigma = (1150 + 4.3 \ln \dot{\epsilon}) [1 + (428 - 42 \ln \dot{\epsilon}) \epsilon]^{(0.04 + 10^{-5} \dot{\epsilon})}$$

Pro velmi malé hodnoty $\dot{\epsilon}$, $\dot{\epsilon} \ll 1$, se rovnice (1) redukuje na známý logaritmický model

$$(2) \quad \sigma = \sigma_0(\epsilon) + k(\epsilon) \ln \dot{\epsilon}$$

který odpovídá mikrofyzikální interpretaci plastické deformace na základě tepelně aktivovaných procesů plastické deformace.

Pro velmi vysoké hodnoty $\dot{\epsilon}$, v našem případě pro $\dot{\epsilon} \gtrsim 700 \text{ s}^{-1}$ můžeme rovnici (1) nahradit závislostí

$$(3) \sigma' = \sigma'_0(\epsilon) + \alpha(\epsilon) \dot{\epsilon}$$

Např. pro $\epsilon = 0.07$ je

$$\sigma' = 1\,346 + 2.9 \cdot 10^{-2} \dot{\epsilon} + 0(\dot{\epsilon}^2)$$

Rovnice (3) rovněž odpovídá mikrofyzikálním představám.

I když následky dané analýzy jsou poměrně přesvědčivé, stále je třeba uvážit vlivy 1 a 2, nemluvě o přesnosti snímání průběhů pulsů. Tyto nedostatky odstraňuje další metoda.

3. Taylorův test

Daný postup spočívá v nastřelování válečku zkoumaného materiálu délky l_0 rychlostí v_0 na pevnou překážku. Ze změny délky vzorku a změny jeho profilu, tedy z přímo měřených údajů, jsou na základě teorie šíření pružně plastických vln vyhodnocovány pevnostní charakteristiky /8/.

Nejčastější způsob spočívá v použití zjednodušených analytických výrazů/8/. V poslední době je používáno numerických postupů. V dané práci jsme užili rov. (1) a spočetli výsledný profil vzorku po deformaci. Stejně jak v /8/ jsme dosáhli velmi dobré shody teorie s experimentem. Současně jsme pro použití dopadové rychlosti $v_0 \in (50, 240) \text{ m/s}^{-1}$ ukázali, že změna rychlosti deformace je natolik nevýrazná, že stanovené napětí je zhruba konstantní. To vysvětluje experimentálně nalezený vztah mezi počáteční a konečnou délkou vzorku 1:

$$(4) \frac{l}{l_0} = e^{-\frac{\rho v_0^2}{2 \sigma}}$$

který platí pro celou řadu materiálů /9/.

Z výsledků dané práce, které reprezentují jen stručný výběr z rozsáhlého souboru numerických experimentů, tak vyplývá, že stávající metody numerické simulace umožňují stanovit vcelku spolehlivé konstitutivní vztahy popisující deformační chování materiálu při rázech. O tom pak svědčí mj. ne-

dávné výsledky /9/, které ukazují, že rov. (1) umožňuje popis chování dané oceli i při tak extrémním zatížení, jakým je balistická penetrace, kdy dopadová rychlost projektilu je $\sim 2\,500\text{ m s}^{-1}$.

Literatura:

- /1/ Shock waves for industrial applications. NOYES Publications, New Jersey 1990.
- /2/ Zukas J.A., Nicholas H.F.: Impact Dynamics. J. Wiley, N. York 1982.
- /3/ Buchar J., Bílek Z.: Chování kovových materiálů při vysokých rychlostech deformace. NČSAV Praha 1984.
- /4/ Malinowski J.Z.: Engng Transactions 39 (1991), 271.
- /5/ Gang J.C.: J. Engng Matls Techn 112 (1990), 309.
- /6/ Adamík V., Matějka Z.: In: Numerické metody ve fyzikální metalurgii. Blansko 1988.
- /7/ Harding J.: In Impact' 87, pp. 23-42.
- /8/ Buchar J., Adamík V., Březina J.: Kovové materiály 30 (1992), 223.
- /9/ Cline C.F.: Journal de Physique IV (1991), 139.

Jaroslav Buchar, Prof., Ing., DrSc.

Vysoká škola zemědělská, ústav fyziky a elektrotechniky,

Zemědělská 1, 613 00 Brno

5164 kl. 242, FAX 578348