

**EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDY OF FRACTURE OF
METALLIC MATERIALS UNDER IMPACT LOADING."
EXPERIMENTÁLNÍ VÝZKUM A NUMERICKÁ SIMULACE LOMU
KOVOVÝCH MATERIÁLŮ PŘI RÁZOVÉM ZATĚŽOVÁNÍ.**

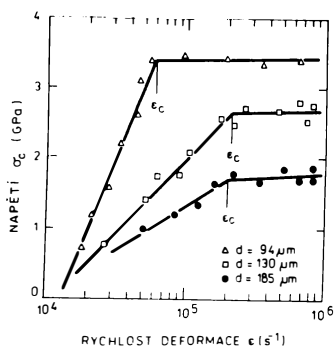
Buchar J.

The spall behaviour of several metals (copper, aluminium, iron and steels) was studied. The dependence of the spall strength, σ_c , on the strain rate, $\dot{\epsilon}$, was found. The possibility of numerical simulation of the given experiments is manifested.

Úvod.

Lom kovových materiálů při rázovém zatěžování představuje významný problém jak z hlediska základního výzkumu, tak s ohledem na potřeby praxe. Příkladem je zejména používání energie výbuchu pro svařování, tváření, přípravu kompozitních materiálů, dynamické lisování kovových i nekovových prášků ap.[1], nemluvě o potřebě dimenzování konstrukcí vystavených nebezpečí nárazu vrženého předmětu [2] a problematice posuzování bezpečnosti dopravních prostředků při srážkách [3].

V rámci dané práce je sledován lom, který je vyvolán napěťovým pulzem. Ve většině případů rázového zatěžování vzniká nejprve tlakový napěťový pulz, který se na nezatíženém povrchu tělesa mění v pulz tahový. Tím může, uvnitř tělesa, docházet k vývoji tahového napětí a k následnému lomu. Daný typ lomu, který nemá obdobu při statickém, či ustáleném dynamickém zatížení, je označován pojmem výtrž (spall fracture, scabbing). Analýza vzniku tohoto lomu je relativně snadná v případě těles jednoduché geometrie, která jsou zhotovena z materiálů, jejichž deformační chování lze považovat za elastické (křehké materiály, vysocepevné oceli ap.). V reálných případech se však zpravidla setkáváme s tělesy složité



Obr. 2. Závislost napětí pro vznik výtrže na rychlosti deformace.

V další etapě byla provedena numerická simulace a to pomocí programu AUTODYN 2D, který umožňuje stanovit jak napjatost a deformaci, tak rozsah poškození materiálu.

Numerická simulace.

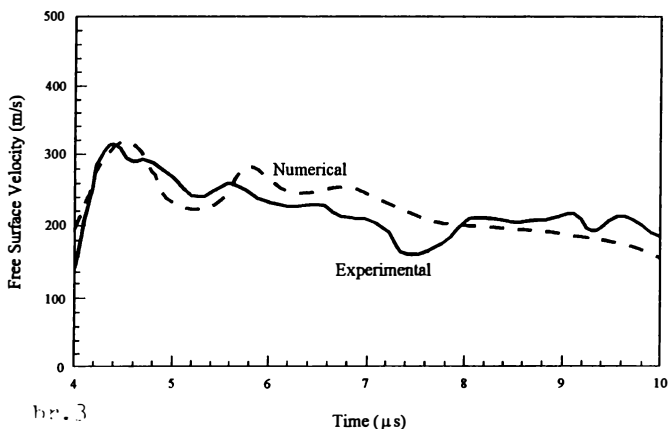
Při numerické simulaci experimentů znázorněných na obr. 1 byl použit experimentální záznam tlaku $p(t)$. Pro popis vlastností materiálu je v první řadě určit křivku dynamické ztláčitelnosti $p(V/V_0)$, kde V je měrný objem a V_0 jeho počáteční hodnota v nezatiženém stavu. Pro měď bylo v [5] nalezeno :

$$p = a(V_0 - V)^n,$$

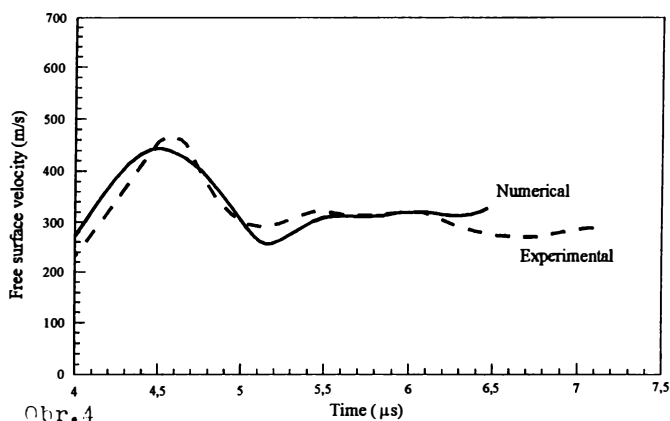
kde $a = 278.2$ GPa a $n = 1.2$.

Deformační chování je plně popsáno konstitutivní rovnicí Johnson Cookova typu, která udává závislost deformačního napětí na rychlosti deformace a na deformaci :

$$\sigma = (80 + 94.6 \epsilon^{0.879}) (1 + 0.25 \ln(\dot{\epsilon}))$$



Experimental free surface velocity record (dashed line) for the loading case with a peak pressure of 0.6 GPa. Numerical predictions assuming a non-linear viscous behaviour ($\sigma_0 = 80$ MPa, $m = 0.254$ and $\dot{\epsilon}_0 = 1.75 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$) are also shown



Experimental free surface velocity record (dashed line) for the loading case with a peak pressure of 8.4 GPa. Numerical predictions assuming a non-linear viscous behaviour ($\sigma_0 = 80$ MPa, $m = 0.254$ and $\dot{\epsilon}_0 = 1.75 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$) are also shown

Dále je třeba použít tyto materiálové vlastnosti hustotu $\rho=1/V_0=8930$ Kg/m³, $\nu=0.33$, $E=1.19 \cdot 10^5$ MPa, součinitel teplotní roztažnosti $(49.5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1})$, tepelnou vodivost (394 W/mK) a měrnou tepelnou kapacitu $c_p=0.092 \text{ cal/g}$.

Pro popis poškození byly použity experimentální závislosti $\sigma_c(\epsilon)$.

Z výsledků numerické simulace byly nejprve vyhodnoceny rychlosti vlnného povrchu, které mohou být porovnávány s experimentálními záznamy. Na obr.3 a 4 jsou uvedeny vypočtené a experimentálně stanovené rychlosti vlnného povrchu pro různé úrovně zatěžujícího tlaku. S ohledem na možné chyby při experimentálním stanovení rychlosti vlnného povrchu [4], lze mluvit o velmi dobrém souladu obou závislostí. Na obr. 5 jsou uvedeny numerické výsledky udávající rozsah poškození materiálu vzorku (tvárné kavity). Tyto výsledky jsou v dobrém souladu s poznatky přímého metalografického pozorování.

Závěr.

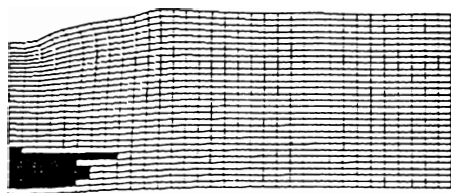
Z předložených výsledků je možné konstatovat, že materiálové údaje získané pomocí experimentů znázorněných na obr.1 zřejmě spolehlivě popisují chování materiálu zatěžovaného napěťovým pulzem. Je zřejmé, že existuje reálná možnost numerické simulace rázových účinků na reálné konstrukce. Výsledky současně přispívají k věrohodnosti závěrů numerické simulace výbuchového upevňování teplosměnných trubek parogenerátoru [9], kdy numerická simulace je jedinou možností jak hodnotit řadu vlivů, jako např. přesnosti rozteče a průměru otvorů, postupné či současné odpalování trubek, materiálové nehomogenity ap.

Poděkování—Daná práce vznikla jako část projektu I06/94/0567 GA ČR. Autor vyjadřuje dík GA ČR za podporu.

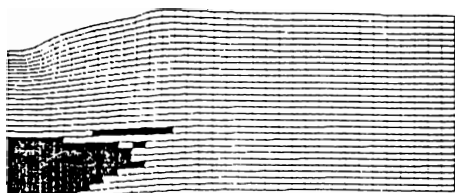
Literatura : [1] Blazynski, T.Z.: Explosive welding, forming and compaction, London 1983. [2] Jones N.: Structural Impact. Cambridge University Press. London 1989. [3] Gilchrist A.: Int.J.Impact Engng 15(1994),201. [4] Buchar J.: Sborník EAN-91, Stara Lesna 1991. [5] Buchar J.: Journal de Physique III(1991),623. [6] Buchar J., Hřebíček J.: Czech.J.Phys. 43(1993),73. [7] Buchar J.: Journal de Physique IV(1994),713. [8] Buchar J.,

Krejčí J.: DYMAT Journal 1(1994),381. [9] Buchar J.,Hřebíček J.: Journal de Physique IV(1994),311.

Prof.Ing.Jaroslav Buchar, DrSc. Mendelevova zemědělská a lesnická univerzita v Brně,
Zemědělská 1,613 00 Brno. Tel.:(425) 45132120, fax :(425) 45211128.



$t = 8 \mu s$
(2.6 GPa)



$t = 8 \mu s$
(15 GPa)

Obr.5. Vývoj poškození vzorku Cu.