

Úvod k databázím

Název:

MECHANICKÉ VLASTNOSTI VYBRANÝCH OCELÍ ZA VYŠŠÍCH RYCHLOSTÍ DEFORMACE (Databáze materiálových modelů k predikci chování materiálů v tvářecím procesu)

Autoři:

Forejt Milan, Krejčí Jan, Buchar Jaroslav, Jopek Miroslav, Krejčová Jitka

Abstrakt:

Tyto stránky předkládají výsledky experimentálních zkoušek a numerických simulací s použitím dynamických matematických modelů vybraných ocelí, které byly vytvořeny na základě kompresních rázových testů dle Taylora za definovaných teplotních a rychlostních podmínek a na základě jejich souběžných simulací programem ANSYS/LS DYNA3D.

Projekt:

Tyto stránky jsou výstupem výzkumných aktivit za podpory výzkumného záměru ROZVOJ PROGRESIVNÍCH VYSOCE PŘESNÝCH STROJÍRENSKÝCH TECHNOLOGIÍ, MSM 262100003 , podúkolů "Tvorba databáze materiálových modelů k predikci chování materiálů v tvářecím procesu" - části A v roce 2004. Současně navazuje na dílčí výsledky grantu GAČR 101/99/0373 "Modelování mechanického chování ocelí při reálných podmínkách tváření".

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, odbor tváření ,
Technická 2, 616 69 Brno

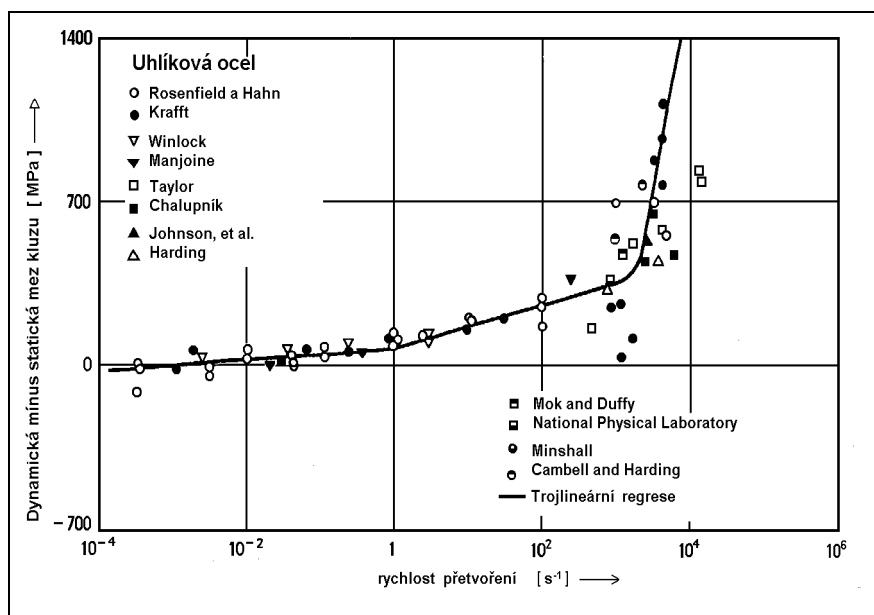
Prof.Ing.Milan Forejt Milan, CSc.,	forejt@ust.fme.vutbr.cz
prom.fyz.Jan Krejčí, CSc.	krejci@ext.fme.vutbr.cz
Ing.Miroslav Jopek, Ph.D	jopek@ust.fme.vutbr.cz
Jitka Krejčová	
Ing.Dalibor Krásny	
Ing.Petr Pejchal	

Shrnutí:

Zvýšení odporu technických materiálů proti vzniku a při rozvoji plastické deformace je vázáno na mez kluzu jako počátek oblasti zpevňování při přetváření. Kvantifikace těchto jevů je zvláště důležitá při matematickém popisu tvářecí technologie, především pak při aplikacích vysoce přesných technologií objemového tváření k zajištění kvalitních výlisků. Rovněž i moduly simulačních programů tvářecích pochodů vyžadují matematicky popsané charakteristiky materiálů za reálných fyzikálních podmínek, zvláště pak za konkrétních rychlostí přetvoření, (rychlostí deformací), včetně mezních podmínek tvařitelnosti a jejich použití, nebo alespoň jejich tabulkové uspořádání v databázích.

Proces tváření lze obecně považovat za tepelně aktivovaný jev při kterém **deformační odpor** je podmíněn interakcemi mezi pohyblivými dislokacemi a překážkami - bariérami, které jsou od sebe krátce vzdálené. Při zpevňování polykrystalických materiálů se velmi výrazně projevuje účinek hranic zrn, které blokují pohyb dislokací. Mezi vlivy na deformační zpevňování lze především zahrnout vliv: intersticiálních atomů na pohyb dislokací, jemných dispergovaných částic jiné fáze, substruktury, vrstevné chyby, změny teploty a zvláště rychlosti přetvoření (rychlosti deformace).

Chování tvařitelných materiálů, především pak ocelí do rychlosti přetvoření $\dot{\phi} \leq 1 \text{ s}^{-1}$) je dostatečně popsáno a existuje celá řada podkladů, např. []. Značná rozdílnost deformačního chování materiálů při objemovém tváření za tepla a za studena na automatických strojích vyžaduje ověřit křivky deformačních odporů tvářených materiálů za reálných podmínek rychlosti přetvoření $\dot{\phi} \in (1 \text{ až } 10^3) \text{ s}^{-1}$ a pohybu plastické vlny (tzv. medium rate, dynamic low), kdy se projevují setrvačné síly a mechanické resonance, viz např. obr.1. Pro ještě vyšší rychlosti deformace (tzv. high rate, dynamic high) $\dot{\phi} \in (10^3 \text{ až } 10^4 \text{ až } 10^5) \text{ s}^{-1}$ autoři vychází z teorie šíření elastické a plastické vlny [2].



Obr.1 Vliv rychlosti přetvoření na dynamickou mez kluzu dle ASM

Konstitutivní rovnice

K matematickému popisu závislosti deformačního odporu (deformační napětí, flow stress) na efektivním přetvoření (true plastic strain), rychlosti přetvoření (high strain rate) a na teplotě je použit osvědčený konstitutivní vztah dle Johnson-Cooka (7) pro BCC materiály, který zahrnuje základní fyzikální parametry. Tento konstitutivní vztah je mj. vhodný pro dynamické kompresní testy s vlivem setrvačných sil a mechanických resonancí (medium rate, dynamic low).

$$\sigma = \left(\sigma_0 + B \cdot \phi^n \right) \left(1 + C \cdot \ln \frac{\dot{\phi}}{\dot{\phi}_0} \right) \left[1 - \left(T^* \right)^m \right]$$

kde σ_0 , B, C, n, m, představuje 5 experimentálně a simulací stanovených vstupních parametrů a homologická teplota je definována podílem

$$T^* = \frac{T - T_0}{T_m - T_0}$$

T je teplota materiálu, [K]

T_0 je referenční teplota (teplota okolí) při statické mezi kluzu $\sigma = \sigma_0$, [K]

T_m je teplota tavení, [K]

σ_0 představuje mez kluzu stanovenou z kvazistatických kompresních testů, [MPa]

n je exponent zpevnění,

$\dot{\phi}_0$ je referenční rychlost přetvoření, 1 s^{-1}

$\dot{\phi}$ je efektivní rychlost přetvoření (rychlost deformace), $[\text{s}^{-1}]$,

m je exponent citlivosti na rychlost přetvoření (rychlost deformace.)

C parametr, který určuje citlivost na rychlost přetvoření

B pevnostní parametr

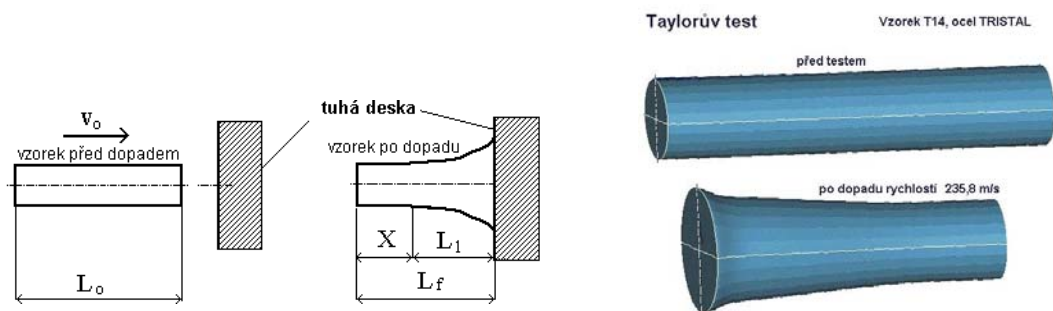
Experimentální zkoušky

K získání parametrů konstitutivní rovnice Johnson-Cooka byly provedeny následující experimentální práce:

Příprava vzorků

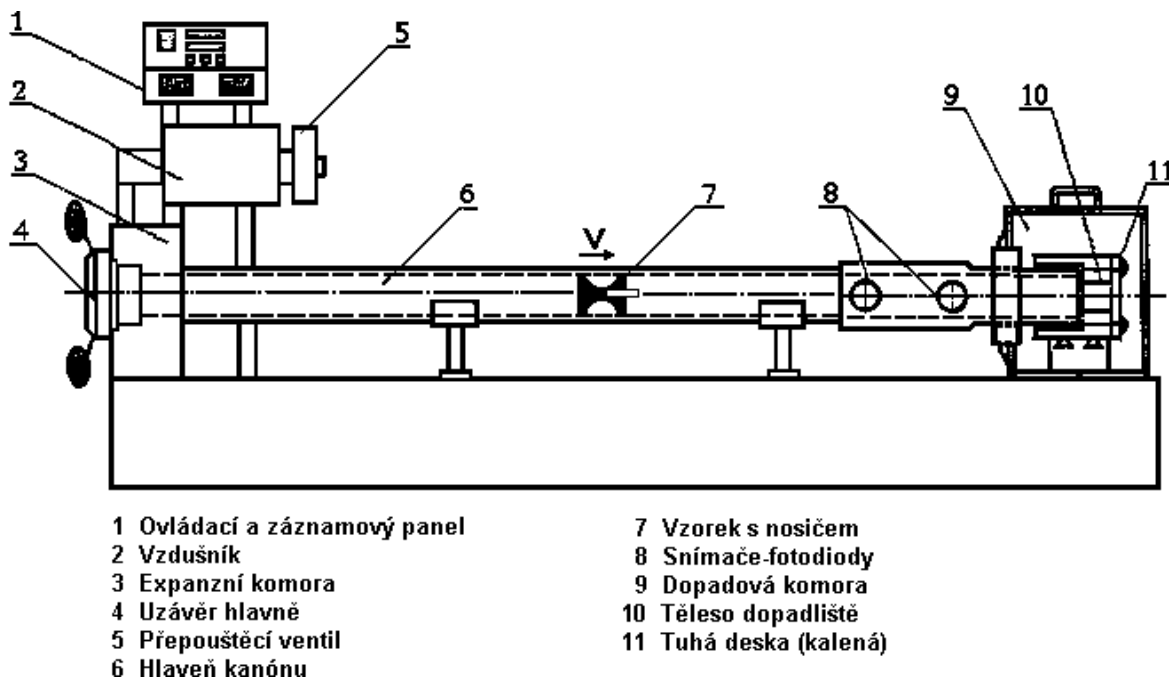
Válcové vzorky o rozměrech $\phi 5 \times 25 \text{ mm}$ s broušenými čely jsou vyrobeny z polotovaru (tyčí nebo svitků), které jsou používány v objemovém tváření dílců a jsou v různém výchozím stavu po tepelném zpracování. nejčastěji normalizací nebo žiháním na měkko. Pro účely kompresních testů TAT byly před broušením připraveny předepsaným postupem žihání na měkko. Označení vzorků bylo prováděno elektrojiskrovou popisovací jehlou. Výchozí tvrdost HV_{10} byla měřena na odvráceném broušeném čele (3 vpichy).

Kompresní rázový test



Obr.2 Taylorův test

Taylorův test-TAT, obr.2 byl prováděn na pneumtickém kanonu obr.3, v rozsahu úst'ových rychlostí vzorku 40 až 250 ms^{-1} . Válcový zkušební vzorek (z vybrané oceli o hustotě ρ) je vložen do speciálního nosiče z polystyrénu [] a urychlen v kanónu při expanzi vzduchu směrem k dopadlišti - tuhé kalené desce. Rychlost dopadu je stanovena výpočtem z měřené doby průletu ústím kanónu mezi dvěma fotodiodami. Vzorek se před dopadem na tuhou desku oddělí od nosiče a po dopadu plasticky přetváří (deformuje) do typického tvaru jak je zřejmé z obr.2.

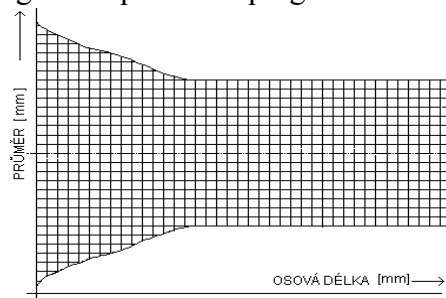


Obr 3 Experimentální pneumtický kanon pro Taylorův test-TAT

Zpracování vzorků po TAT

Po Taylorově testu byly na přetvořených vzorcích provedeny následující expertízy:

- 1) **Obrazová analýza tvaru vzorku po TAT** za účelem získání grafické závislosti změny vnějšího průměru vzorku na jeho výšce. Tvar vzorku v osovém řezu byl snímán kamerou a digitálně zpracován programem LUCIE, obr.4.

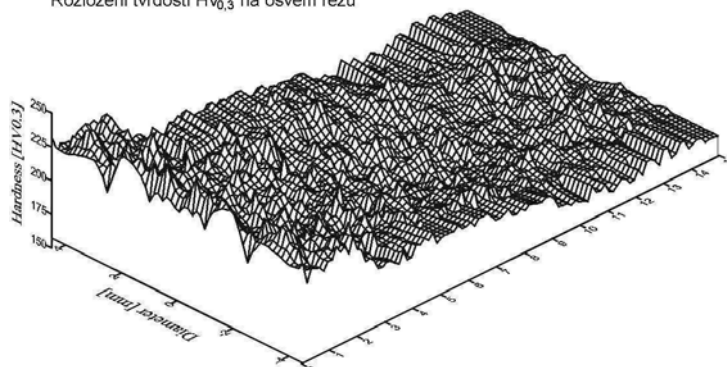


Obr.4 Tvar vzorku po kompresním testu TAT

- 2) **Osové řezy vzorků** drátovou řezačkou
- 3) **Metalografické výbrusy osových řezů, leptání**
- 4) **Snímání struktur na světelném mikroskopu** NEOPHOT 32 v místě největší deformace u čela a v místě bez deformací při zvětšení 100 x a 500 x
- 5) **Metalografické hodnocení** Na osových řezech válcových vzorků byly provedeny metalografické výbrusy, leptání a snímání struktur na světelném mikroskopu NEOPHOT 32. Podle potřeby byla provedena sledování i na elektronovém řádkovacím mikroskopu PHILIPS.
- 6) **Měření mikrotvrdostí HV₁ na osovém řezu** a jejich grafické zpracování programem SURFER, např. Obr.5

Ocel 11320 5R, vzorek 3-4, $v_0 = 231,3$ m/s

Rozložení tvrdostí HV_{0,3} na osovém řezu

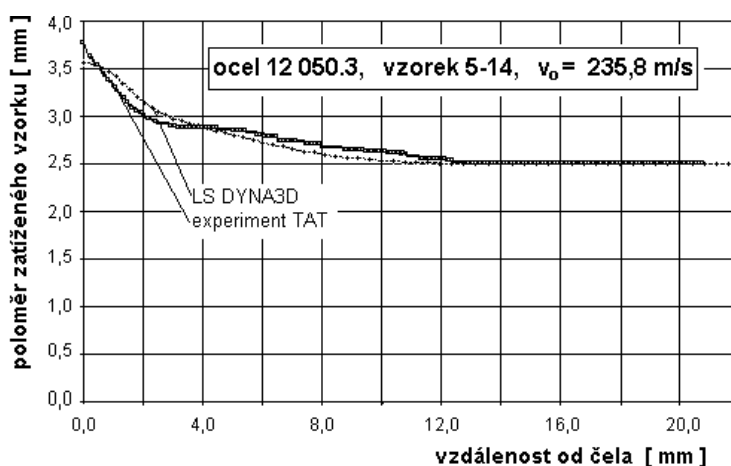


Obr.5 Rozložení tvrdostí HV₁ na osovém řezu

Simulace kompresního testu

Na základě vstupních hodnot geometrie vzorku po kompresním testu TAT za různých rychlostí dopadu vzorku, statické meze kluzu σ_0 z pěchovacích zkoušek a ostatních fyzikálních parametrů předmětného materiálu byla provedena počítačová simulace kompresního testu programem MKP LS DYNA 3D.

Posouzení shody tvaru vzorků po TAT s výsledky simulací



Obr.6 Příklad porovnání geometrie vzorku po TAT s výsledky simulace

Výsledkem simulace je stanovení parametrů **B**, **C**, **n**, **m**, konstitutivní rovnice Johnson-Cooka,

Obsah databáze materiálu

1. Název databáze
2. Klasifikace materiálu
3. Označení, zahraniční ekvivalenty, použitý polotovár
4. Chemické složení dle normy a aktuální tavby
5. Mechanické vlastnosti a pevnostní a fyzikální konstanty
 - dle ČSN
 - dle dodaného stavu
 - dle aktuálního stavu
6. Hollomonova aproximace tahové zkoušky
7. Výchozí struktura dodaného materiálu
8. Aktuální struktura po tepelném zpracování
9. Parametry konstitutivní rovnice Johnsona-Cooka
10. Křivky deformačních odporů pro rychlosti přetvoření 0,1 1 10 100 1000 s⁻¹
11. Vybrané struktury po kompresním testu TAT a jejich hodnocení.

Seznam použité a související literatury

- [1] HOLMQUIST,TJ.-JOHNSON,G.R.: Determination of constants and comparison of results for various constitutive models. In: J.Phys. Colloque. C3, Supplement au Journal de Physique III, Vol.1 october 1991, p 853-860.
- [2] MAYERS, Marc.A.: Dynamic Behaviour of Materials. A Wiley-Interscience Publication. ISBN 0-471- 58262-X. John Wiley & Sons, Inc. New York, Toronto, 1994, pp 668
- [3] MIMURA,K.,TANIMURA,S.: A practical and phenomenological rate-sensitive constitutive relation with a unified set of parameters for various metallic materials. In: Proceedings of the Asia -Pacific Symposium on Advances in Engineering Plasticity and its Applications -AEPA'96, Hiroshima, Japan. Edited by T.Abe and T.Tsuta, Elsevier Science Ltd., Pergamon, Oxford, Tokyo 1996, p. 235 -240
- [4] VALENTIN,T.,- MAGAIN,M. and all.: Validation of Constitutive Equations for Steel. J.Phys. IV France 7 (1997). Colloque. C3, Supplement au Journal de Physique III d'aout 1997, p 611-616.
- [5] BUCAR,J.-KREJČÍ,J.-FOREJT,M.: Material models used in the numerical simulation of the Penetration. In. Proceedings PAM'97, Engineering System International, Pam System International, ESI Group CD ROM, pp 11
- [6] MEYER,L.W.-SEIFERT,K.-MAEK,S.Ab.: Behaviour of Quenched and Tempered Steels under High Strain Rate Compression Loading. Journal Physique III, Colloquia C3, France 1997, pp 571- 576
- [7] FOREJT,M.-JOPEK,M.-BUCAR,J.: Constitutive Equations for the Behaviour of BCC Steels at High Strain Rates. In: 9th International Metallurgical Conference METAL 2000 Ostrava , Symposium B. CD ROM, ISBN 80-85988-48-8. TANGER s.r.o. Ostrava May 16. - 18. 2000, pp 214/1-214/6
- [8] HUML, P.: Flow stress under cold forming conditions. In 9th International Metallurgical Conference METAL2000, Hotel ATOM Ostrava, 16.-18.5.2000. Publisher TANGER spol. s r.o. Ostrava on CD ROM, ISBN 80-85988-48-8, p. B2-/1-B2- /10.
- [9] FOREJT,M., BUCAR,J. JOPEK,M., KREJČÍ,J.. Parametric numerical studies of the Taylor test. In METAL 2002 Hradec nad Moravicí. *Proceedings of the 11th International Metallurgical & Materials Conference, Symposium B.* 1st ed. Ostrava, TANGER, TU-VŠB and CSNMT, Ostrava, May 14 - 16 2002. Volume 1. p 80/1-80/7. CD ROM, ISBN 80-85988-73-9.
- [10] FOREJT,M., KREJČÍ,J., JOPEK,M., BUCAR,J, PERNICA,Z.: Dynamic models of formed materials. Acta Mechanica Slovaca. 2002, Ročník 6. Číslo 2, pp. 21-26. ISSN 1335-2393