

Optimiranje števila mehanskih preskusov za določevanje preoblikovalnih lastnosti kovinskih materialov

Optimizing of Testing Practice for High Temperature Materials

V. Nardin¹, R. Turk, I. Bizjak, OMM - NTF, Ljubljana

Prejem rokopisa - received: 1995-10-04; sprejem za objavo - accepted for publication: 1996-01-22

Mehansko preskušanje materialov je osnova za kompleksnejše laboratorijske fizikalne simulacije industrijskega preoblikovanja oziroma študij vedenja materialov med toplo in hladno deformacijo. Natančnost meritev in kontrola parametrov po celotnem volumnu vzorca zagotavlja uporabnost rezultatov preskušanja pri vseh nadaljnjih simulacijah in direktni uporabi pri spreminjanju tehnološkega postopka v industriji. Da bi zmanjšali število potrebnih mehanskih preskusov za Hajdukovo aproksimacijo krivulj tečenja, smo razvili postopek selektivnega preskušanja materialov in ustrezne programe za vrednotenje meritev.

Ključne besede: mehansko preskušanje materialov, krivulje tečenja, Hajdukova aproksimacija

Material testing and physical simulation of material forming processes enable basic data for computer simulation and industrial application. Only precise measurement of strain, strain rate and temperature of specimen during hot deformation provides successful evaluation of flow curves. In order to optimize the number of mechanical tests necessary for Hajduk approximation of flow curves, a self adapting testing procedure has been developed.

Key words: mechanical material testing, flow curves, Hajduk approximation

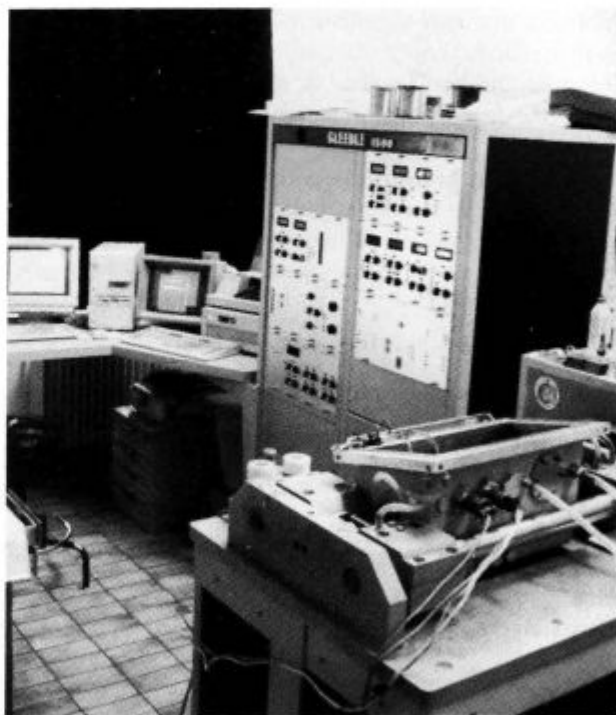
1 Uvod

Poleg izbire mehanskega preskusa in geometrije preizkušanca moramo s parametri preskušanja opisati celotno napetostno, deformacijsko in temperaturno stanje v materialu, kot ga določa tehnološki postopek.

V nadaljevanju bo predstavljen postopek določevanja krivulj tečenja kovinskih materialov s tlačnimi preskusi na fizikalnem simulatorju Gleeble 1500 (slika 1).

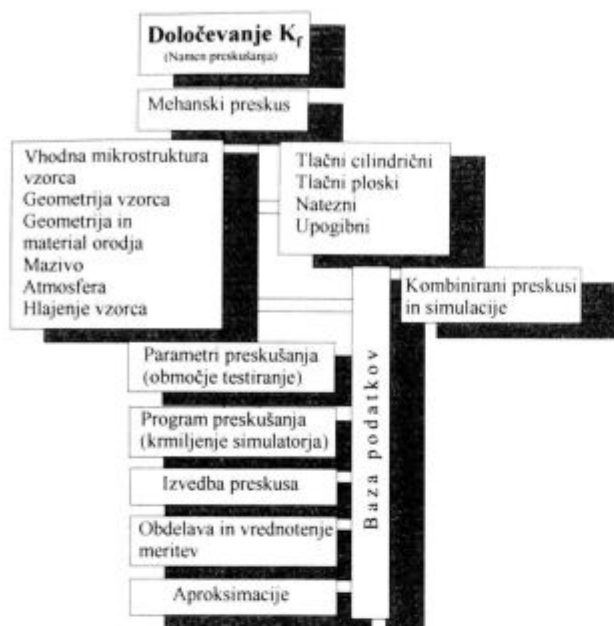
2 Eksperimentalno delo

Pred začetkom testiranja izberemo glede na namen preskušanja ustrezno geometrijo in dimenzije vzorca in orodja, mazivo za zmanjševanje trenja na stični ploskvi med vzorcem in orodjem, atmosfero ter hladilni medij, če želimo deformirano mikrostrukturo zamrzniti. V območju preskušanja izmerimo temperaturno raztezanje vzorca in orodja (slika 2). Glede na željeno natančnost meritev upoštevamo dimenzijske spremembe pri programiranju deformacije in vrednotenju rezultatov. Sledi merjenje temperaturnega profila vzorca med segrevanjem na temperaturo deformacije, med deformacijo in med ohlajanjem (slika 5). Temperaturni gradient močno vpliva na lokalno preoblikovalno trdnost preizkušanca in povečuje sodčenje vzorcev pri tlačnih preskusi, s tem pa se tudi povečuje lokalne razlike v hitrosti deformacije in stopnji deformacije oziroma namesto enosnega nastopi triosno napetostno stanje. Ker želimo pri analizah



Slika 1: Fizikalni simulator Gleeble 1500. Termalni sistem omogoča hitrost segrevanja od 0.1 do 10000 K/s, hitrost ohlajanja do 1000 K/s. Mehanski sistem zagotavlja hitrost pomika bata od 0.000017 do 2000 mm/s, hitrost naraščanja sile od 0.001 do 200 kN/s oziroma hitrost deformacije od 0.0001 do 50/sec pri tlačnih in 70/s pri nateznih testih. **Figure 1:** Physical simulator Gleeble 1500. Thermal system allows heating rates from 0.1 up to 10000 K/sec, cooling rates up to 1000 K/sec. Mechanical system enables piston rates from 0.000017 to 2000 mm/sec, force rates from 0.001 to 200 kN/sec that allow strain rates from 0.001 to 50/sec using compression test and from 0.001 to 70/sec using tension test

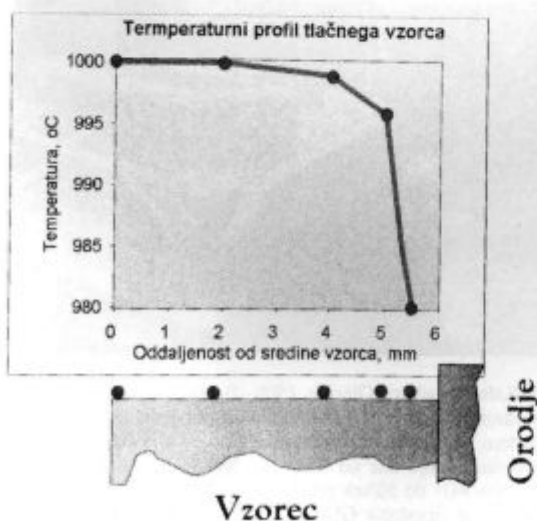
¹ Vladimir NARDIN, dipl.inž.met.
NTF, Odsek za metalurgijo in materiale
1000 Ljubljana, Aškerčeva 12



Slika 2: Osnovna shema preskušanja
Figure 2: Basic testing scheme

mikrostruktur enake razmere deformacije po celotnem volumnu, moramo zagotoviti tak temperaturni profil, da bodo vrednosti termomehanskih parametrov po celotnem volumnu čimbolj enake. Z dilatometrijo ugotovimo morebitne fazne transformacije in določimo premenske točke.

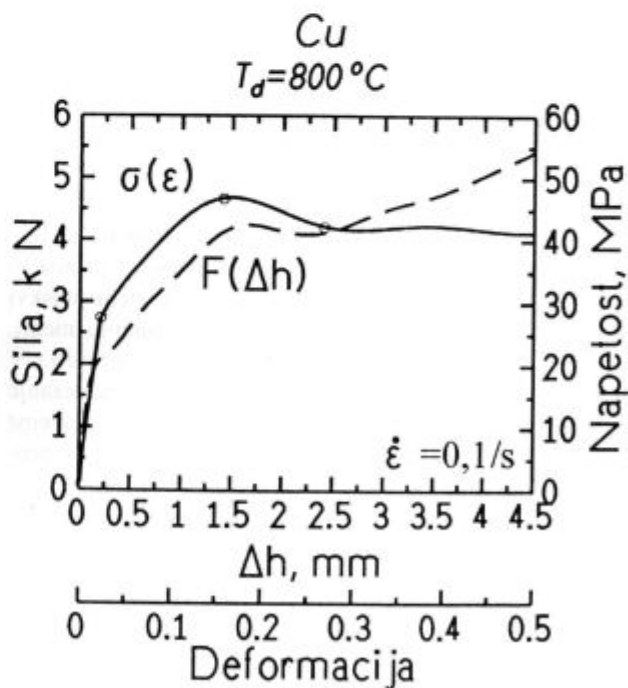
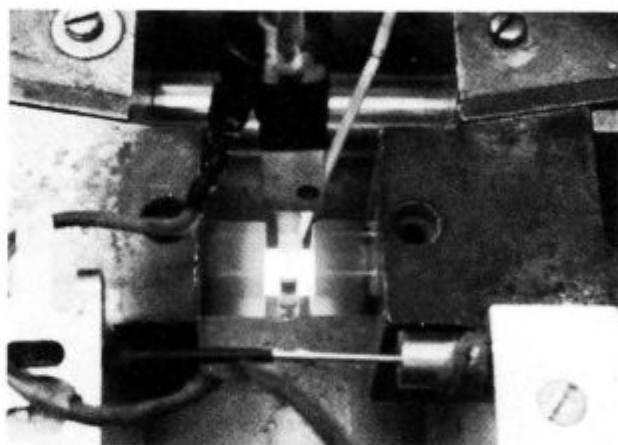
Pri velikih hitrostih deformacije upoštevamo učinek pospeševanja in zaviranja hidravličnega sistema. Z ustreznim večstopenjskim tlačnim preskusom dosežemo, da je hitrost deformacije med testom čim bolj konstantna, predvsem pa, da doseže programirano vrednost.



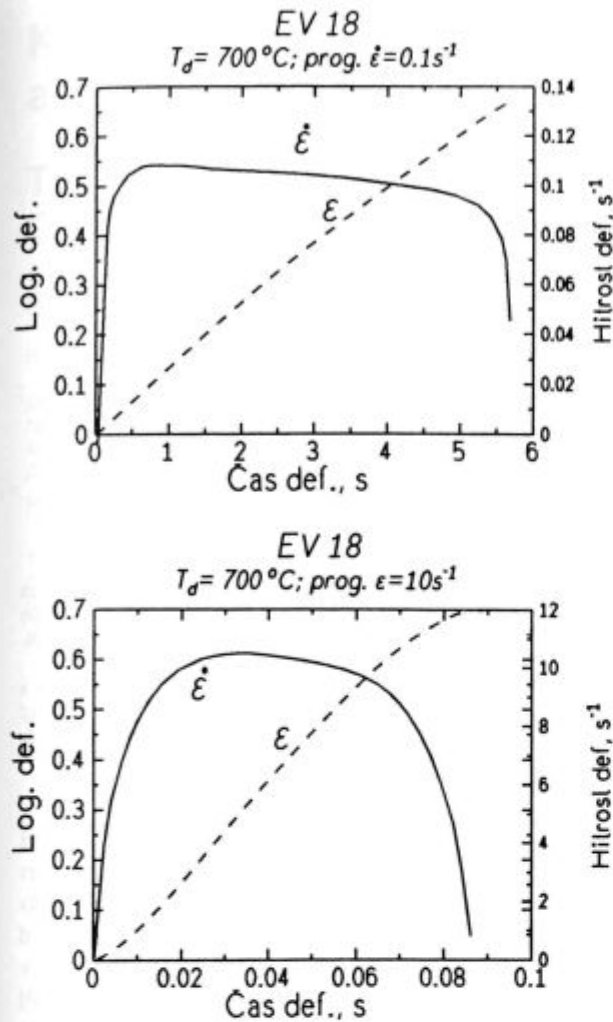
Slika 3: Temperaturni profil tlačnega vzorca segretega na temperaturo 1273 K, pred deformacijo (W.NR. 1.2345)
Figure 3: Thermal gradient of a compression specimen heated at 1273°C before the deformation (W.NR. 1.2345)

Z odvajanjem izmerjene deformacije po času preverimo odstopanja hitrosti od programiranih vrednosti (slika 4).

Z ustreznim računalniškim programom na krivulji σ -(ϵ) določimo mejo med elastičnim in plastičnim področjem ter ju ločimo. Od vrednosti za napetost, ki jo izmerimo s tlačnim preskusom odštejemo delež trenja. Trenjske pogoje določimo neposredno s posebnimi preizkušanci, tako imenovanimi prstani, ki jih deformiramo pri enakih pogojih, kot izvedemo tlačne preskuse za določevanje krivulj tečenja. Glede na vedenje materiala med deformacijo, povečujemo ali zmanjšujemo število testov. Materiali, ki v temperaturnem območju



Slika 4a-b: Merjenje temperature, pomika bata, sile, preseka in dolžine vzorca ter direkten izračun napetosti in deformacije med toplim tlačnim preskusom (Cu)
Figure 4a-b: Measuring of temperature, strain, force and diameter and length of specimen and direct calculation of stress and strain during hot compression test (Cu)

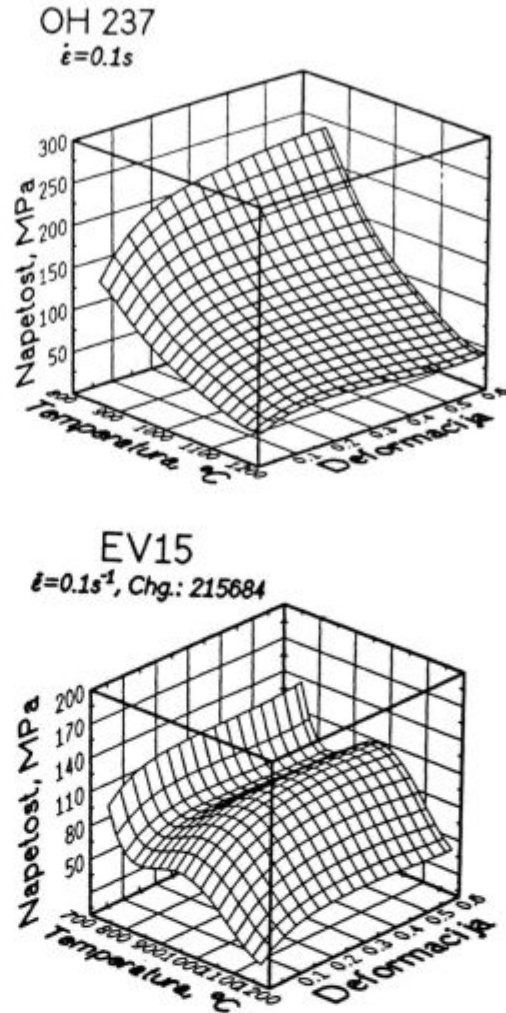


Slika 5a-b: Primerjava med programiranimi in izmerjenimi vrednostmi za dve različni hitrosti deformacije pri toplem tlačnem testu (W.NR. 1.0847)

Figure 5a-b: Programmed and measured values for two different strain rates of the compression test (W.NR. 1.0847)

preskušanja transformirajo, zahtevajo npr. večje število preskusov, kot jekla, pri katerih napetost tečenja s padanjem temperature skoraj linearno narašča.

Tako oblikovanje krivulje spravimo v podatkovnico in izračunamo koeficiente Hajdukove enačbe. Aproksimacija krivulj tečenja po Hajduku gotovo velja le za območje ($\dot{\epsilon}$, ϵ , ϑ), za katerega smo zagotovili podatke s termomehanskimi preskusi (slika 7). Ker večje število preskusov pomeni manjšo napako pri aproksimaciji, določimo najmanjše število preskusov, da bo aproksimacija glede na zahteve še uporabna. Pri materialih s fazno premeno oziroma prevojem v naraščanju napetosti tečenja s padanjem temperature moramo za vsako območje (α , α - γ , γ) ločeno določiti Hajdukove koeficiente (slika 8). Narava eksponentne aproksimacije omogoča, glede na temperaturo, le naraščanje ali padanje



Slika 6a-b: Primerjava aproksimiranih krivulj tečenja s 3D polinomom za hitrost 0.1 s^{-1} v enakem temperaturnem območju za jeklo brez premene AISI S5 in s premeno (W.NR.1.0848)

Figure 6a-b: Approximated flow curves with 3D polynom for strain rate of $0.1/\text{sec}$ for a material without phase transformation AISI S5 and for a material with phase transformation (W.NR.1.0848) in the same temperature range

napetosti tečenja. Krivulje tečenja smo aproksimirali s Hajdukovo enačbo oblike:

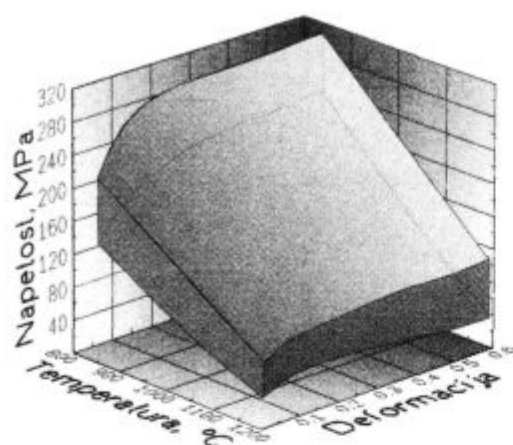
$$K_f(T, \epsilon, \dot{\epsilon}) = k_{10} A_1 \exp(-m_1 T) A_2 (\epsilon^{m_2}) \exp(-m_3 \epsilon) A_3 (\dot{\epsilon}^{m_4})$$

Če aproksimacijo razširimo na območja zunaj meritev, z dodatnimi preskusi preverimo, če se velikostni red odstopanja ni spremenil.

Krivulje B-ε, ki smo jih določili z mehanskimi preskusi (slika 4), opišemo z 2D polinomi, z ustreznim programom pa oblikujemo 3D polinome za vmesne temperature (slika 6). Če smo pravilno izbrali parametre preskušanja in dobili karakteristične krivulje, lahko na tak način število potrebnih testov zmanjšamo za polovico. Na celotno območje napnemo mrežo in zagotovimo podatke za celotno temperaturno področje.

OH 237

$\dot{\epsilon} = 0.1-10/s$

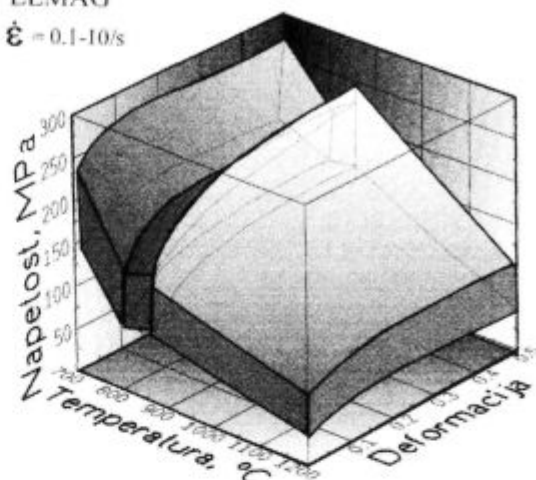


Slika 7: Hajdukova aproksimacija krivulj tečenja, določenih s toplimi tlačnimi preskusi v območju: $T = 1073-1473\text{ K}$, $\mu = 0 - 0.6$, $\epsilon = 0.1-10/s$ (AISI S5)

Figure 7: Hajduk approximation of flow curves obtained with hot compression tests and testing conditions of: $T = 1073-1473\text{ K}$, $\mu = 0 - 0.6$, $\epsilon = 0.1-10/\text{sec}$ (AISI S5)

ELMAG

$\dot{\epsilon} = 0.1-10/s$



Slika 8: Tri neodvisne Hajdukove aproksimacije krivulj tečenja za silicijevo jeklo s premeno. Zaradi narave Hajdukove enačbe termomehanski prostor razdelimo na specifična območja (W.NR. 1.0360)

Figure 8: Three independent Hajduk approximations for one type of a silicon steel with phase transformation. Because of the nature of Hajduk equation only dividing the thermal- mechanical space into specific sections brings the right approximation (W.NR. 1.0360)

3 Sklep

Podatki o preoblikovalnih lastnostih materialov (oznaka kvalitete, kemična sestava, krivulje tečenja, začetek tečenja, Hajdukovi koeficienti, pri hladnih testih faktor utrjevanja, itd) shranjujemo v bazo podatkov in jih uporabljamo pri izbiri parametrov ponovnih testiranj ali pri testiranju podobnih kvalitet. Bazo podatkov neprestano dopolnjujemo (podatki o mehčanju, velikost zrn vhodnih mikrostruktur itd) in posredno vplivamo na število potrebnih preskusov za nove kvalitete. Vsi podatki so dostopni v grafični ali tabelarni obliki.

Z opisanim selektivnim preskušanjem lahko z relativno majhnim številom mehanskih preskusov zagotovimo potrebno število podatkov o preoblikovalnih lastnostih kovinskih materialov v celotnem območju toplega preoblikovalnega procesa. Kljub uporabnosti je Hajdukova aproksimacija zaradi eksponentne narave funkcije

nepopolna in ne razkriva dinamičnih procesov, ki povzročijo padec napetosti tečenja, pri faznih transformacijah pa moramo vsako temperaturno območje aproksimirati ločeno. Prostorski zlepci bi lahko bili ena izmed rešitev za opisovanje tovrstnih prostorskih nihanj in v naslednjih letih jih bomo vključili v opisovanje krivulj tečenja.

Literatura

- ¹ Malcolm S. Loveday and Thomas B. Gibbons: *Harmonisation of Testing Practice for High Temperature Metals*, Elsevier Applied Science 1992
- ² T U Delft, DSI: *Proceedings of the International Symposium on Physical Simulation*, Delft 1992
- ³ M. L. Lovato and M. G. Stout: *Compression testing Techniques to Determine the Stress/Strain Behaviour of Metal Subject to Finite Deformation*, *Met. Trans.*, 23A, 1992, 935-951