

ULOGA LABORATORIJSKE NASTAVE U PROCESU OBRAZOVANJA MAŠINSKIH INŽENJERA

Marko Vilotić¹, Nemanja Dačević², Mladomir Milutinović³, Dragiša Vilotić⁴,
Dejan Movrin⁵, Ognjan Lužanin⁶

^{1,2,3,4,5,6}Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

¹markovil@uns.ac.rs, ²dacevic@uns.ac.rs, ³mladomil@uns.ac.rs, ⁴vilotic@uns.ac.rs,
⁵movrin@uns.ac.rs, ⁶luzanin@uns.ac.rs

Kratak sadržaj: Upotreba mobilnih telefona i računara u svrhu zabave, ali i u procesu sticanja znanja veoma je rasprostranjena kod današnje generacije studenata. Međutim, informacije koje su na taj način dostupne, uglavnom su pojednostavljene, kratkog obima i samim tim dopadljivije studentima. To ima za posledicu da većina studenata danas nerado koristi klasične izvore znanja i informacija u vidu papirnih udžbenika. Proučavanje dužih tekstova, kod studenata često izaziva pad pažnje i interesovanja, što direktno snižava količinu informacija koje bivaju usvojene tokom procesa učenja. Pad pažnje je jedan od najznačajnijih problema sa kojim se predavači u nastavnom procesu danas susreću. Jedan od načina da se održe pažnja i interesovanje prilikom prenošenja znanja, jesu laboratorijske vežbe. Danas se laboratorijske vežbe ne koriste samo za verifikaciju teorijskih postavki sa predavanja, već i u svrhu bržeg razumevanja materije i usvajanja znanja i sticanja praktičnih iskustava u određenoj oblasti. Po rečima studenata, znanje stečeno na laboratorijskim vežbama ostaje duže u sećanju i lakše se proširuje. U ovom radu prikazani su benefiti laboratorijskih vežbi na predmetu "Napredne metode tehnologije plastičnog deformisanja", u slučaju problematike određivanja deformabilnosti materijala.

Ključne reči: Laboratorijske vežbe, pažnja i interesovanje, deformabilnost materijala

THE ROLE OF THE LABORATORY EXERCISES IN THE PROCESS OF EDUCATION OF MECHANICAL ENGINEERS

Abstract: The usage of mobile phones and computers for entertainment and study process nowadays is very widespread among students. However, available information is mostly simplified, short scope and thus more appealing to the students. As a consequence, most of the students today unwillingly use the classical source of knowledge in the form of a paper textbook. The research of longer text frequently causes a decrease in attention and interest among the students, which directly reduces the amount of information that is being acquired during the study process. The decrease of attention is one of the most important issues the lecturers face today in the teaching process. One method that can preserve the attention and interest during knowledge dissemination are laboratory exercises. At the present time, the laboratory exercises are being used not just for the verification of the theoretical statements from the lectures, but for the faster understanding of the lecture material and to acquire the knowledge and to gain practical experience in a certain field. According to the students, the knowledge attained during the laboratory exercises remains longer in memory and is easier to be extended. In this paper, the benefits of laboratory exercises at the subject "Advanced methods of the technology of plastic forming", in the case of material workability determination are presented.

Key Words: Laboratory exercises, attention and interest, material formability

1. UVOD

S vremena na vreme, dolazi do promena u sistemu obrazovanja uzrokovanih pre svega novim znanjem koje je potrebno inkorporirati u obrazovni proces, zatim zbog učenih nedostataka u starim programima, kao i zbog novih tehnika u obrazovanju i novih alata, poput PC-ja i softvera, uvođenja eksperimentalnih metoda, metoda numeričke simulacije i dr [1]. U današnje vreme računari, mobilni telefoni i drugi elektronski uređaji su svuda oko nas. Mladi pogotovo, takve uređaje koriste rutinski i uzimaju ih kao deo svakodnevnice. Na univerzitetu često susrećemo studente sa laptopovima, tabletima i drugim sličnim uređajima, dok se broj studenata koji ne poseduju takve uređaje iz godine u godinu sve više smanjuje [2]. U sklopu takvog trenda, kod studenata se mogu uočiti neminovne promene u procesu učenja. Veliki broj učenika i studenata tokom učenja pretražuje informacije na internetu, dok njih manji broj preferira papirnu varijantu udžbenika umesto elektronskog oblika. Kao posledica se javljaju snižena koncentracija i pažnja na predavanjima i vežbama [3]. Jedno od rešenja ovog problema jeste uvođenje većeg stepena interaktivnosti studenata sa materijom sa kojom se upoznaju. U tu svrhu se mogu koristiti laboratorijske vežbe, koje objedinjuju konciznost informacija kao i direktno iskustvo koje studenti tom prilikom stiču. U nastavku je upravo prikazano iskustvo sa laboratorijskim vežbama na smeru Savremene tehnologije oblikovanja materijala u okviru proizvodnog mašinstva.

Usmerenje Savremene tehnologije oblikovanja materijala predstavlja modul proizvodnog mašinstva u okviru kojeg se izučavaju tehnologije plastičnog deformisanja, tehnologije livenja, tehnologije zavarivanja, tehnologije termičke obrade, tehnologije površinskog inženjerstva, aditivne i virtuelne tehnologije. Nastava za svaku od navedenih tehnologija sastoji se od predavanja i laboratorijskih vežbi koje se izvode u odgovarajućim laboratorijama na Departmanu za proizvodno mašinstvo.

Tehnologije plastičnog deformisanja predstavljaju grupu modernih tehnologija oblikovanja materijala u hladnom, odnosno toplom stanju, koje se primenjuju u automobilske industriji, avio industriji, elektro industriji, poljoprivrednoj tehnici, industriji kućnih aparata, poljoprivrednoj tehnici, namenskoj industriji i drugim oblastima tehnike. Tehnologije plastičnog deformisanja izvode se u hladnom stanju (bez zagrevanja materijala) odnosno u toplom stanju (toplo oblikovanje – kovanje) koje zahteva zagrevanje polaznog materijala na temperaturu znatno iznad temperature rekristalizacije.

Tehnologije oblikovanja materijala u hladnom stanju imaju niz prednosti u odnosu na alternativne tehnologije prerade metala, među kojima se posebno ističu sledeće:

- Kratko vreme izrade proizvoda;
- Ušteda materijala;
- Visoka energetska efikasnost procesa;
- Poboljšanje mehaničkih osobina zbog deformacionog ojačavanja materijala;
- Visok kvalitete proizvoda u pogledu tačnosti i hrapavosti površina.

Oblikovanje metala plastičnom deformacijom u hladnom stanju bazirano je na ponašanju materijala u različitim naponskim uslovima obrade, odnosno na poznavanju deformabilnosti materijala.

2. DEFORMABILNOST MATERIJALA

Deformabilnost materijala izražava sposobnost materijala da se trajno deformiše bez pojave oštećenja strukture materijala u različitim uslovima obrade. Deformabilnost materijala zavisi od vrste materijala definisanog hemijskim sastavom (H), zatim od strukture materijala (S), temperature obrade (T), brzine deformacije ($\dot{\phi}$), naponskog stanja (T_{σ}) i drugih faktora [4]:

$$D = f(H, S, T, \dot{\phi}, T_{\sigma}, \dots)$$

Ako se razmatranje deformabilnosti analizira na jednoj vrsti materijala, sa definisanom polaznom strukturom, u hladnom stanju ($T = \text{const.}$), onda deformabilnost jedino zavisi od naponskog stanja, tj. od pokazatelja naponskog stanja (β):

$$\phi_{eg} = F(T_{\sigma}) = F(\beta) \quad (10)$$

$$\beta = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{\sigma_e} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_e} \quad (11)$$

pri čemu su:

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – komponente normalnih napona u pravcu koordinatnih osa (x, y, z)

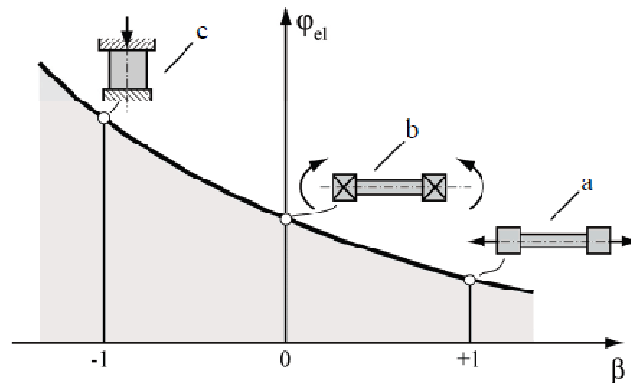
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – komponente glavnih napona

σ_e – efektivni napon

ϕ_{eg} – efektivna granična deformacija, koja predstavlja deformaciju u trenutku pojave oštećenja strukture materijala.

Grafička interpretacija funkcije (1) izražava zavisnost deformacije u trenutku oštećenja materijala (granična deformacija) od pokazatelja naponskog stanja i predstavlja dijagram granične deformabilnosti kod hladnog zapreminskog deformisanja (DGD). Iz dijagrama sledi da se u uslovima pritiskog naponskog stanja ($\beta < 0$) ostvaruju više vrednosti granične deformacije nego u uslovima zatezanja ($\beta > 0$). Ovaj dijagram se određuje primenom osnovnih modela deformacije:

- Jednoosno zatezanje,
- Torzija,
- Jednoosno sabijanje.



Slika 1. Dijagram granične deformabilnosti [4]

U slučaju nemonotonih procesa deformisanja u kojima se pokazatelj naponskog stanja menja sa deformacijom, merodavna vrednost pokazatelja naponskog stanja je srednja vrednost koja se dobija prema sledećoj formuli:

$$\beta_{av} = \frac{1}{\phi_e^l} \int_0^{\phi_e^l} \beta(\phi_e) d\phi_e \quad (12)$$

gde je $\beta(\phi_e)$ istorija pokazatelja naponskog stanja koja je određena izrazom:

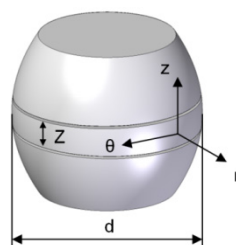
$$\phi_e^l = f(\beta_{av}) \quad (13)$$

Pokazatelj naponskog stanja (formula 5) određuje se na osnovu komponenti napona u posmatranoj tački obratka koja se smatra kritičnom tačkom u kojoj dolazi do opšćenja materijala (razaranje ili neki drugi vid oštećenja). Metodologija određivanja pokazatelja naponskog stanja zasnovana je na vezi između komponenti male deformacije i napona i primeni dodatnih relacija [4].

$$\beta = \pm \frac{1 + \frac{1+2\alpha}{2+\alpha}}{\sqrt{1 - \frac{1+2\alpha}{2+\alpha} + \left(\frac{1+2\alpha}{2+\alpha}\right)^2}} \quad (14)$$

pri čemu je α koeficijent deformacije koji se određuje eksperimentalno na osnovu puta deformacije u kritičnoj tački uzorka (slika 2), tj., na osnovu deformacija u pravcu koordinanih osa θ i z :

$$\alpha = \frac{d\phi_\theta}{d\phi_z} \quad (15)$$

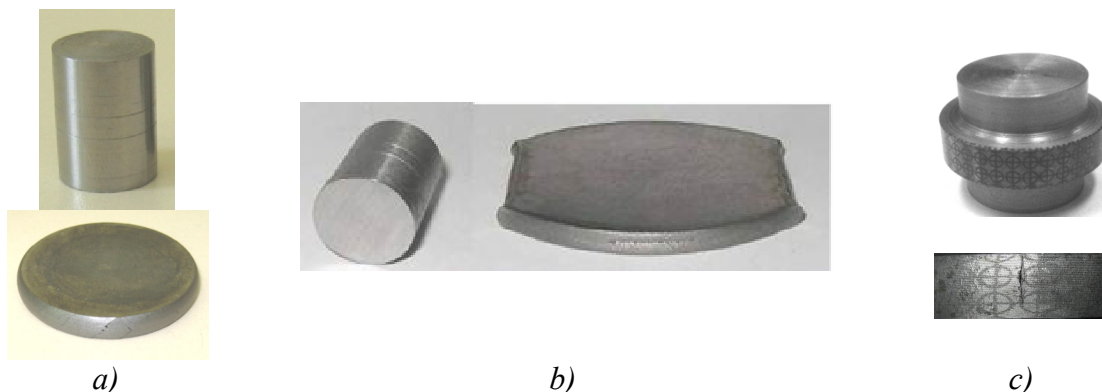


Slika 2. Sabijanje valjka ravnim pločama [7]

3. LABORATORIJSKA VEŽBA ODREĐIVANJA GRANIČNE DEFORMABILNOSTI MATERIJALA

Studenti usmerenja Savremene tehnologije oblikovanja materijala u okviru predmeta Napredne metode oblikovanja materijala, imali su zadatak da eksperimentalnim putem odrede dijagram granične deformabilnosti čelika C45E, primenom tri vrste uzoraka:

1. aksijalno sabijanje valjka (slika 3a),
2. radijalno (uzdužno) sabijanje valjka (slika 3b),
3. sabijanje valjka sa prstenastim izdankom (slika 3c)



Slika 3. Uzorci pre i posle sabijanja: a) aksijalno sabijanje cilindra; b) uzdužno sabijanje cilindra; c) sabijanje valjka sa prstenastim izdankom

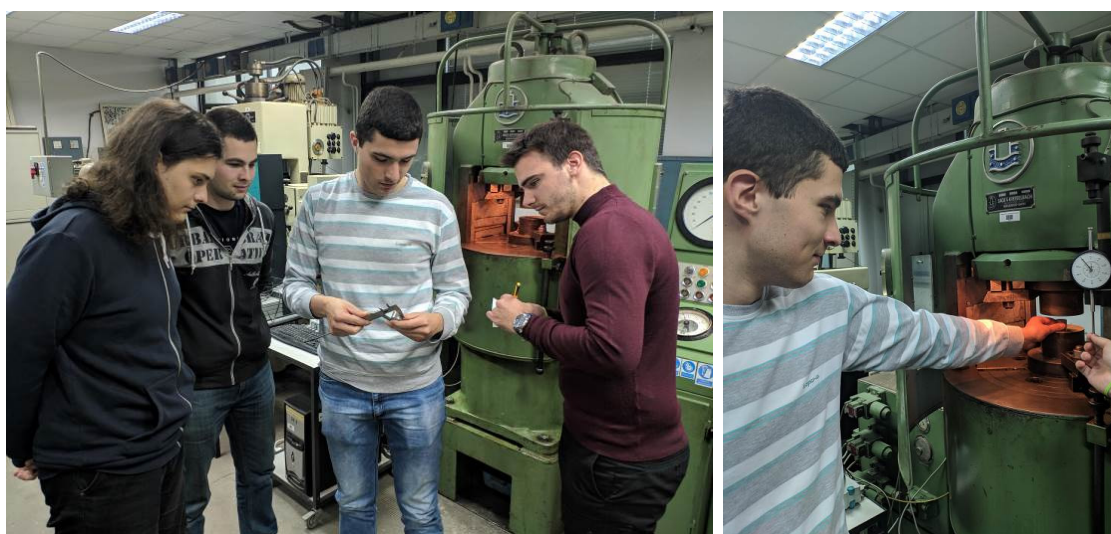
Eksperimentalno ispitivanje izvedeno je u Laboratoriji za tehnologije plastičnog deformisanja pomoću hidraulične prese Sack and Kieselbach od 6,3 MN i pomoću alata sa ravnim pločama. Proces deformisanja izvođen je inkrementalno sa stepenom deformacije 0,1 po inkrementu. Komponente deformacije u aksijalnom i tangencijalnom prvcu odeđivane su merenjem veličine označenog pojasa z i prečnika d (slika 2), tj. primenom sledećih relacija:

$$\varphi_{\theta} = \ln \frac{d_i}{d_{i-1}}; \quad \varphi_z = \ln \frac{z_i}{z_{i-1}} \quad (16)$$

na osnovu kojih se definiše put deformacije:

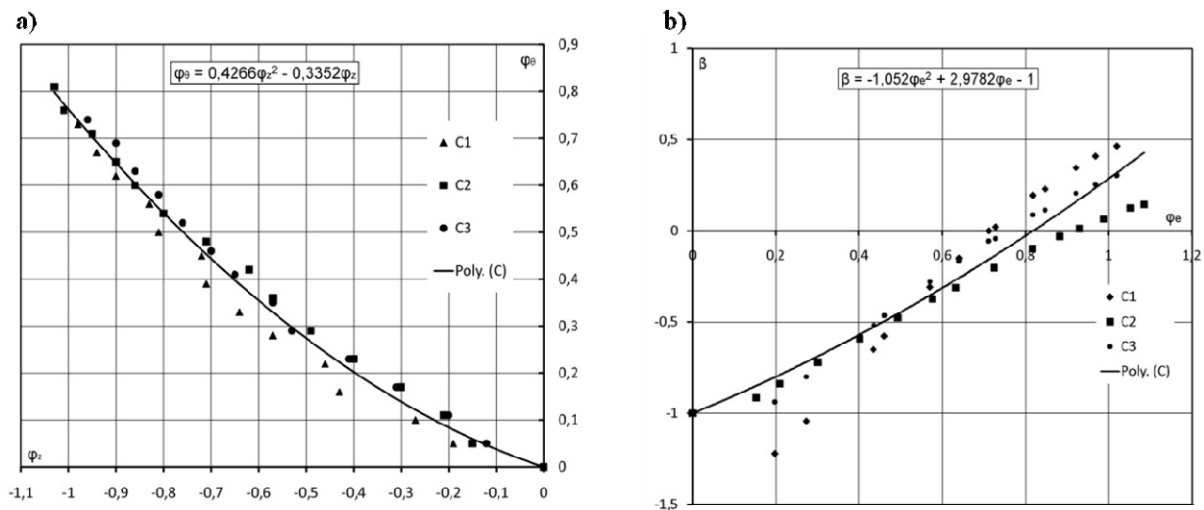
$$\varphi_x = f(\varphi_z) = A\varphi_z + B\varphi_z^2 = A\varphi_1 + B\varphi_1^2 \quad (17)$$

čijim se diferenciranjem određuje koeficijent deformacije (α) – jednačina (6). Nakon toga se, primenom jednačine (5) određuje pokazatelj naponskog stanja (β) i definiše istorija poazatelja naponskog stanja svakog procesa. Srednja vrednot pokazatelja naponskog stanja određivana je primenom jednačine (3).

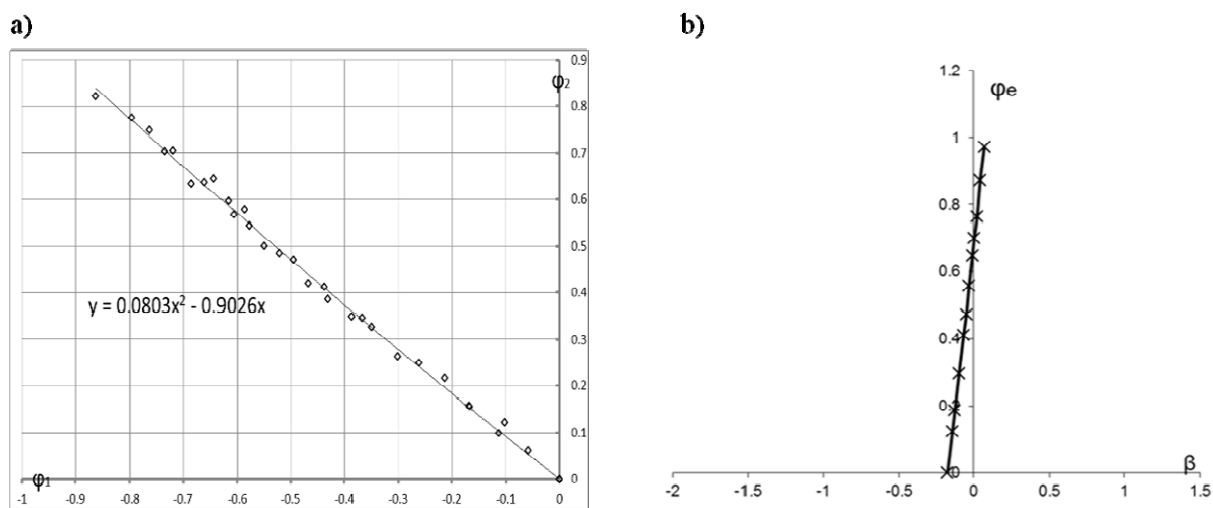


Slika 4. Izvođenje eksperimenta u Laboratoriji za tehnologije plastičnog deformisanja

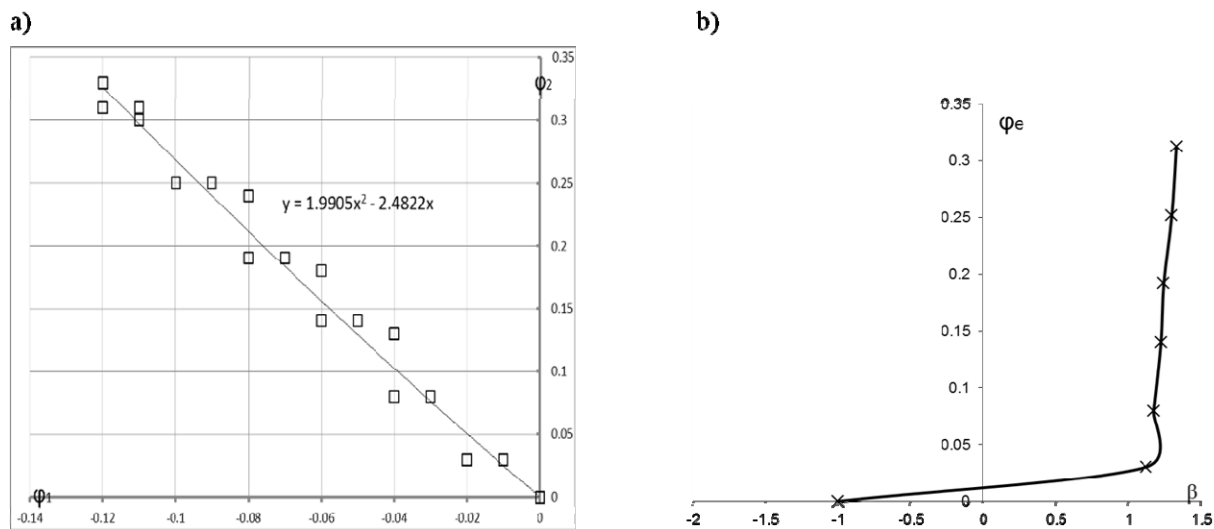
Rezultati ispitivanja deformabilnosti čelika C45E prikazani su na sledećim dijagramima na kojima su za svaki od postupaka sabijanja prikazani: a) put deformacije i b) istorija pokazatelja naponskog stanja analiziranog procesa.



Slika 5. a) put deformacije i b) istorija pokazatelja naponskog stanja pri slobodnom sabijanju valjka

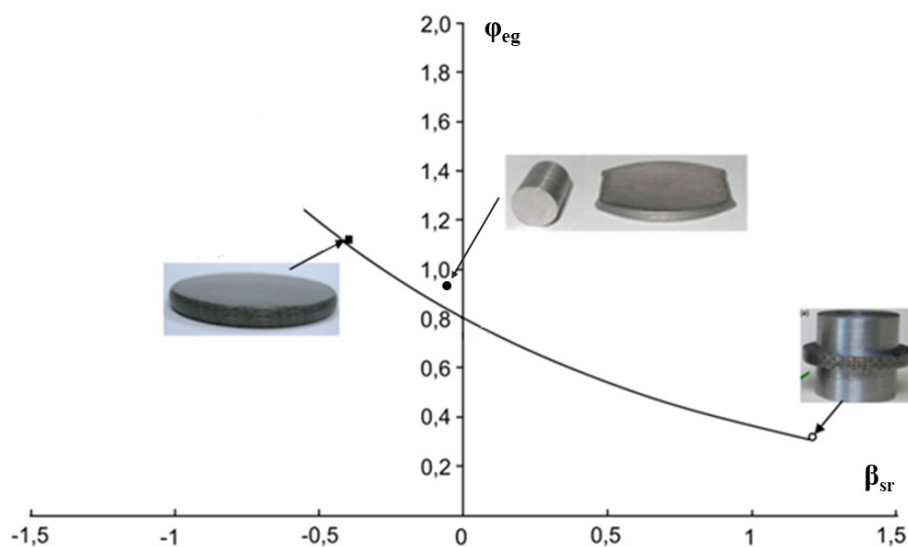


Slika 6. a) put deformacije i b) istorija pokazatelja naponskog stanja pri uzdužnom sabijanju valjka



Slika 7. a) put deformacije i b) istorija pokazatelja naponskog stanja pri sabijanju valjka sa prstenom

Na bazi prethodnih rezultata konstruisan je dijagram granične deformabilnosti čelika C45E (slika 7).



Slika 8. Dijagram granične deformabilnosti za čelik C45E

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata eksperimenta, koji su studenti uradili u okviru laboratorijskih vežbi iz predmeta Napredne metode tehnologije plastičnog deformisanja, zaključeno je:

1. Potvrđena je opšta zakonitost dijagrama granične deformabilnosti prema kojoj se u uslovima pritiskog naponskog stanja ostvaruju znatno više vrednosti granične deformacije u odnosu na uslove deformisanja u kojima preovlađuje zatezno naponsko stanje, što je bio osnovni cilj vežbe.
2. Prethodni zaključak veoma je bitan za optimizaciju tehnologije hladnog zapreminskog oblikovanja materijala jer omogućuje smanjenje ukupnog broja faza oblikovanja i smanjenje troškova proizvodnje.
3. Tokom izvođenja eksperimenta studenti su pokazali veliku zainteresovanost u svim fazama eksperimenta i izrazili zadovoljstvo postignim rezultatima.
4. Studenti su potvrdili da su problematikom deformabilnosti materijala u potpunosti ovladali nakon laboratorijske – eksperimentalne vežbe.
5. Studenti su takođe potvrdili da im ovakav vid nastave predstavlja uvod u naučno-istraživački i stručni rad.

5. LITERATURA

- [1] JDC Joseph, KS Julien, *Laboratory exercise and programme design*, Int. J. Electr. Eng. Educ., vol. 37, no. 4, pp. 316–332, 2000.
- [2] Jan Jirsa, Karel Dušek, *Assist education tool for student's preparation on practical laboratory exercises*, ISSE 2010 - 33rd Int. Spring Semin. Electron. Technol. Polym. Electron. Nanotechnologies Towar. Syst. Integr. - Conf. Proc., pp. 515–517, 2010.
- [3] Marko Vilotić, Dejan Movrin, Ljiljana Stefanović, *Unapređenje kvaliteta nastave primenom numeričkih simulacija u obradi deformisanjem*, DIGITALIZACIJA VISOKOG OBRAZOVANJA - TREND 2018, 21-23. 02. 2018.
- [4] Dragiša Vilotić, Sergei Alexandrov, Miroslav Plančak, Dejan Movrin, Aljoša Ivanišević, Marko Vilotić: *Material Workability at upsetting by V-Shape Dies*, Steel Research International, Special Edition, (2011), pp. 923-928.
- [5] Hans-Peter Ganser, *Free-surface ductility in bulk forming processes*, International Journal of Plasticity, 17 (2001), pp. 755-772.
- [6] Janes Landre, Antônio Eustáquio De Melo Pertence, Paulo Cetlin, Jorge Rodrigues, Paulo Martins: *On the utilization of ductile fracture criteria in cold forging*, Finite Elements in Analysis and Design, 39 (2003), pp. 175-186.
- [7] Marko Vilotić, *Intenzivna plastična deformacija u procesima višefaznog sabijanja materijala*, doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2015.