

UNIVERZITET U NOVOM SADU



FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
INSTITUT ZA PROIZVODNO
MAŠINSTVO

24. SAVETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

ZBORNİK RADOVA

KNJIGA I

Novi Sad, 16-18. septembar 1992

PROBLEM PROSTIRANJA PLASTIČNE ZONE I NJENE GRANICE	79
<i>Francuski P., Vujović V., Plančak M.</i>	
PRILOG RAZVOJU TEHNOLOGIJE OBLIKOVANJA PRAŠKASTIH MATERIJALA SA ASPEKTA PERSPEKTIVNOSTI U ODNOSU NA KLASIČAN OBLIK OBRADE DEFORMISANJEM MONOLITNIH MATERIJALA	87
<i>Dr Ljubomir Bogdanov, dipl.maš.ing.</i> <i>MIN INSTITUT DD, Niš, Višegradska 33</i>	
SINTER-KOVANJE OSNOVI TEHNOLOŠKOG POSTUPKA I PRIMENA	95
<i>Mr. STJEPAN M.PANIC, dipl.mas.ing "SINTER" M.d.d.UZICE</i>	
ANALIZA UTICAJA OJAČAVANJA MATERIJALA NA PROCES DUBOKOG IZVLAČENJA	105
<i>dr Velibor Marinković, vanr.prof. Mašinski fakultet u Nišu</i>	
PROBLEM NEUJEDNAČENOSTI REZULTATA EKSPERIMENTALNOG ODREĐIVANJA EKSPONENTA DEFORMACIONOG OJAČAVANJA KAROSERIJSKIH LIMOVA	113
<i>S.Aleksandrović MASINSKI FAKULTET KRAGUJEVAC</i>	
IZVLAČENJE KUTIJASTIH DELOVANESTIŠLJIVIM FLUIDOM	121
<i>Mr Rančić Bojan, asistent, Mašinski fakultet u Nišu</i> <i>Dr Vojislav Stoilković, red.prof., Mašinski fakultet u Nišu</i>	
POVEĆANJE EFIKASNOSTI PROJEKTOVANJA ALATA ZA IZRADU CILINDRIČNIH DELOVA DUBOKIM IZVLAČENJEM PRIMENOM PERSONALNIH RAČUNARA	131
<i>dr. Ljubomir Janković, v.prof. Mašinski fakultet u Nišu,</i> <i>Predrag Janković, dipl. maš. ing</i>	
ANALIZA PRITISAKA, SILA I MOMENATA UVIJANJA NA VALJCIMA PRI IZRADI LIMENIH KORITASTIH PROFILA	137
<i>Dr Dragolub B. Lazarević, docent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu</i> <i>Mr Miroslav R. Radovanović, asisent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu</i> <i>D.Lazarević, M.Radovanović</i>	
PRILOG RAZMATRANJU PROBLEMA HABANJA REZNIH ELEMENATA ALATA ZA PROSECANJE I PROBIJANJE	145
<i>Dr Tomislav Todić, docent Mašinskog fakulteta u Prištini</i>	
UTICAJ ZAZORA I POLUPREČNIKA PROFILA NA POSTOJANOST ALATA U PROCESU RAZDVAJANJA DINAMO LIMA	151
<i>Rozgonji Endre, "SEVER" Subotica</i> <i>Plančak Miroslav, FTN-Institut za proizvodno mašinstvo Novi Sad</i>	

PROBLEM NEUJEDNAČENOSTI REZULTATA EKSPERIMENTALNOG ODREĐJIVANJA EKSPONENTA DEFORMACIONOG OJAČAVANJA KAROSERIJSKIH LIMOVA

S. Aleksandrović
MAŠINSKI FAKULTET KRAGUJEVAC

1. UVOD

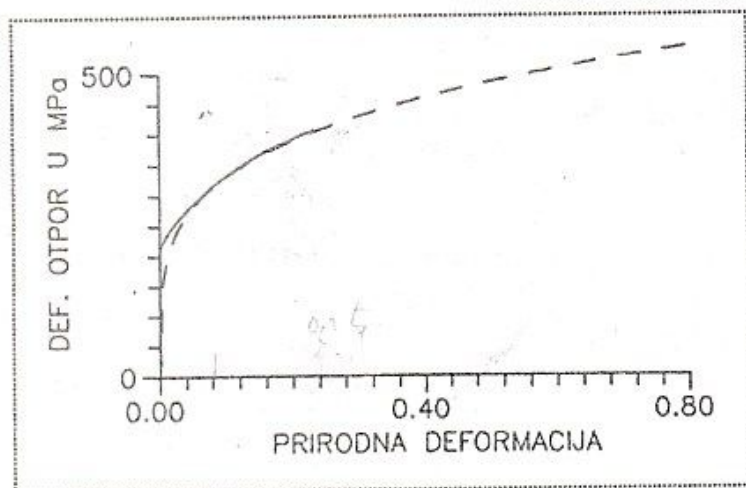
Deformaciono ojačavanje se najčešće izražava preko krivih ojačanja, odnosno zavisnosti deformacionog otpora (ekvivalentnog napona) od plastične deformacije. Usko vezano za takav prikaz je i kvantitativno izražavanje ojačanja preko eksponenta deformacionog ojačanja ("n"-faktora). Pored toga ova karakteristika je veoma značajna i kao direktni pokazatelj obradivosti karoserijskih limova, naročito za delove u kojima preovladjuje naponska šema razvlačenja (dvoosno zatezanje) u uslovima nehomogenog deformacionog polja. Takva je većina velikih karoserijskih delova.

Medjutim, metode za određivanje "n"-faktora su raznorodne i značajno utiču na tačnost rezultata. Ovde je tretiran uticaj metode na tačnost sa ciljem da se odabere jedna, dovoljne tačnosti, koja bi bila predlog za standard. Izabrano je osam metoda baziranih na ispitivanju jednoosnim zatezanjem. Ideja o "n"-faktoru potekla je iz analitičke aproksimacije

eksperimentalne (stvarne) krive ojačanja u obliku:

$$K = C \cdot \varphi^n$$

I pored očiglednog neslaganja ovakve krive sa stvarnom u oblasti malih deformacija (sl.1) aproksimacija je prihvaćena kao vrlo povoljna za limove od nelegiranih i niskolegiranih čelika, aluminijuma i njegovih legura i td.



Sl.1 Eksperimentalna kriva ojačanja (puna linija)
i analitička aproksimacija (isprekidana linija)

Iz ove aproksimacije veličina n je uzeta kao pogodan pokazatelj i shodno matematičkom značenju nazvana eksponent deformacionog ojačanja jer direktno utiče na nagib krive (odnosno ojačanje). Lako se može pokazati (1) da je:

$$n = \varphi_M = \ln \frac{l_M}{l_0} = \ln(1 + \epsilon_M) \quad \text{t.j. da je "n"-faktor brojno jednak maksimalnoj homogenoj (ravnomernoj) prirodnoj plastičnoj deformaciji (\varphi_M).$$

2. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

2.1 Uslovi ispitivanja

Korišćen je materijal nemačke proizvodnje-firma SALZGITTER sa originalnom oznakom ST 1405 ZE 2/S. To je karoserijski lim (u ovom slučaju debljine 0,8 mm) od niskougleničnog čelika, elektrolitički pocinkovan sa obe strane. Epruvete su sečene u pravcu valjanja. Ispitivanje je vršeno na hidrauličkoj presi ERICHSEN 142/12 (fot.1) sa opsezima za silu 0-20 kN i 0-130 kN i brzinom deformisanja 15 mm/min. Na ovoj mašini je realizovan i kompjuterski sistem za akviziciju.

2.2 Metode ispitivanja i rezultati

2.2.1 Metoda (a)

Zasniva se na registrovanju maksimalne zatežuće sile vizuelnim opažanjem trenutka početka opadanja sile, kada se opterećenje prekida i meri dužina epruvete l_M . Na osnovu toga je:

$$n = \varphi_M = \ln \frac{l_M}{l_0} \quad ; \quad l_M - \text{početna merna dužina epruvete.}$$

Primenjuje se standardna (JUS C.A4.002/85) epruveta sa nominalnim $l_0=80$ mm i širinom $b_0=20$ mm.

Realizovana su 3 merenja a rezultati su u tab.1. Metoda je vrlo jednostavna ali su rezultati orijentacioni zbog prisutne greške očitavanja maksimalne sile koju vizuelno nije moguće tačno odrediti.

Tab.1

F_{max}, N	b_0, mm	s_0, mm	l_0, mm	l_M, mm	φ_M	n_M
6300	20,35	0,8	80,2	105,5	0,274	0,258
			80,1	102,4	0,245	
			80,	103,6	0,255	

2.2.2 Metoda (b)

Po ovoj metodi određuje se φ_M ali primenom dovoljno duge epruvete koja se zateže do loma. Njena merna dužina se deli na više zona (na pr. na 40 mm). U cilju određivanja φ_M uzima se izduženje zone najudaljenije od mesta preloma.

Realizovana je epruveta sa $l_0=240$ mm (šest zona sa $l_{0i}=40$ mm) i $b_0=20$ mm. Rezultati su takodje orijentacioni Izvor greške je činjenica da deformacija u najudaljenijoj zoni ne mora da bude jednaka stvarnoj maksimalnoj prirodnoj deformaciji φ_M . Na primer,

ako se prelom dogodi u prvom, ili drugom (što je ovde bio slučaj) polju u šestom je deformacija manja od φ_M . Rezultati su u tab.2.

Tab.2

Zona	1	2	3	4	5	6	$n=\varphi_6$
l_0 , mm	40,0	40,0	39,9	40,1	40,0	39,9	0,212
l_k , mm	52,2	62,9	54,2	51,0	49,6	49,3	

2.2.3 Metoda (c)

Koristi se zatezanje dve epruvete do loma. Jedna je standardna ($l_0=80$ mm), a druga kraća ($l_{01}=40$ mm). Pri tome važi:

$$\epsilon_D = \epsilon_M + \epsilon_{DN}$$

$$\epsilon_{DN} = \frac{\Delta l_N}{l_0}; \epsilon_{KN} = \frac{2 \cdot \Delta l_N}{l_0}$$

$$\epsilon_K = \epsilon_M + \epsilon_{KN}$$

$\epsilon_D; \epsilon_K$ su ukupna relativna izduženja duge i kratke epruvete;

$\epsilon_{DN}; \epsilon_{KN}$ su odgovarajuća neravnomerna izduženja;

ϵ_M -maksimalno ravnomerno izduženje; l_0 - početna merna dužina duže epruvete;

Δl_N -apsolutno neravnomerno izduženje.

Iz prethodnog jednostavnim transformacijama (2) dobija se konačno:

$$\epsilon_M = 2 \cdot \epsilon_D - \epsilon_K \quad \text{odnosno:}$$

$$\varphi_M = \ln(1 + \epsilon_M)$$

Tab.3

l_{01} , mm	l_{02} , mm	l_{R1} , mm	l_{R2} , mm	n
80,0	40,5	110,1	61,2	0,2162

Prikazani način određivanja je jednostavan ali približan jer se pretpostavlja jednako apsolutno izduženje za obe epruvete.

2.2.4 Metoda (d)

Primenjuje se zatezanje jedne standardne epruvete i merenje sila pri izduženju od približno 10% i 20%. Ideja je korišćenje dve vrednosti napona i deformacija sa krive ojačanja (koju po ovoj metodi nije potrebno određivati - sem ove dve tačke). Znači:

$$K_1 = C \cdot \varphi_1^n; K_2 = C \cdot \varphi_2^n$$

$$n = \frac{\ln \frac{K_2}{K_1}}{\ln \frac{\varphi_2}{\varphi_1}} = \frac{\ln \frac{\sigma_2 \cdot (1 + \varepsilon_2)}{\sigma_1 \cdot (1 + \varepsilon_1)}}{\ln \frac{\ln(1 + \varepsilon_2)}{\ln(1 + \varepsilon_1)}} = \frac{\ln \frac{F_2 \cdot l_2}{F_1 \cdot l_1}}{\ln \frac{l_2}{l_1}} = \frac{\ln \frac{l_2}{l_1}}{\ln \frac{l_1}{l_0}}$$

gde su F_1, F_2 -zatežuće sile; K_1, K_2 -deformacioni otpori (stvarni naponi); σ_1, σ_2 -tehnički naponi; l_1, l_2 -merna dužina epruveta.

Tab.4

l_0, mm	l_1, mm	l_2, mm	F_1, N	F_2, N	n
80,0	89,7	96,7	5900	6150	0,2308

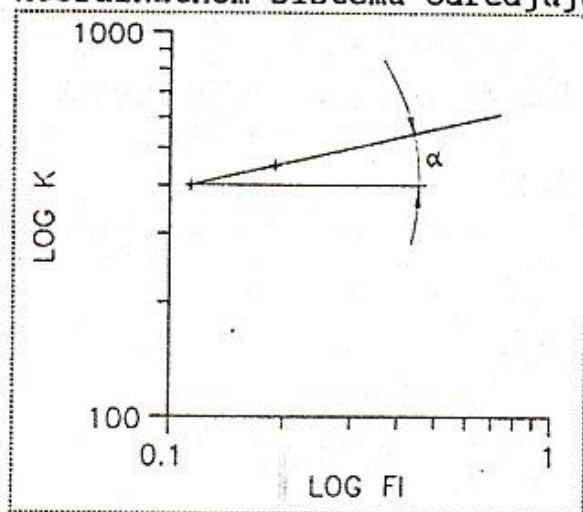
Metoda je pogodna i dovoljno tačna. Moguća greška proističe iz grešaka očitavanja sila i merenja deformacija (što nije vezano za samu metodu) i greške same eksponencijalne aproksimacije.

2.2.5 Metoda (e)

Logaritmovanjem jednačine $K=C\varphi^n$ dobija se:

$$\log K = \log C + n \log \varphi$$

Ako se koristi dvostruki logaritamski koordinatni sistem dobije se prava čiji je koeficijent pravca jednak n-faktoru. Znači, dovoljno je naći dve vrednosti deformacionog otpora i odgovarajuće deformacije ($\varphi = \ln l/l_0$; $K = \sigma e^n$) čime su određene dve tačke dijagrama, odnosno definisana prava. Prikazom prave u već pripremljenom koordinatnom sistemu određuje se:



$n = \text{tg} \alpha$; α -ugao nagiba prema apscisnoj osi.

Tab.5

φ_1	φ_2	K_1, MPa	K_2, MPa	n
,114	,1896	401,1	451	,2309

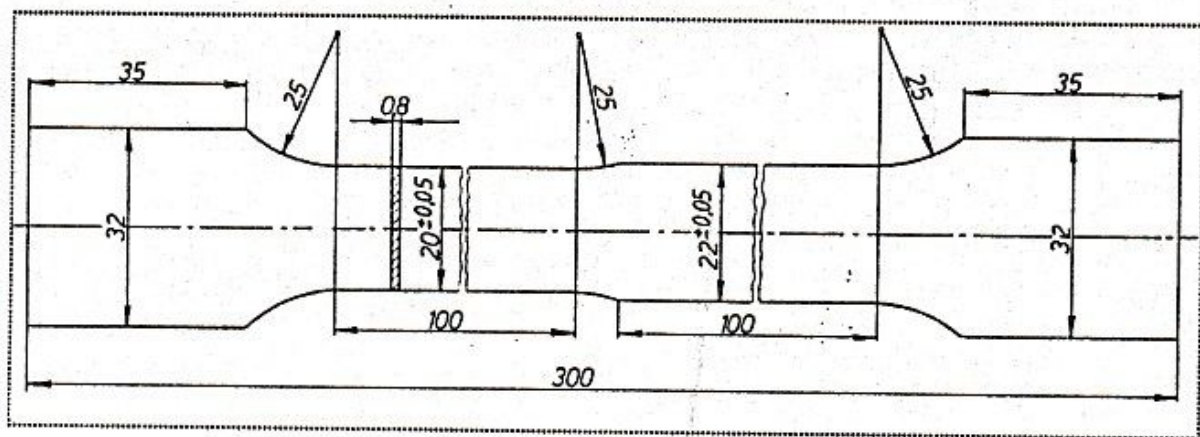
$$\alpha = 13^\circ$$

Sl.2 Odredjivanje "n"-faktora u dvostrukom log sistemu

Za izračunavanje vrednosti u Tab.5 iskorišćene su vrednosti iz Tab.4. Metoda je slična kao metoda (d) s tim što su dopunske greške nepreciznosti crtanja i merenja ugla.

2.2.6 Metoda (f)

Koristi se specijalna dvostepena epruveta (sl.3). Za jednu vrednost zatežuće sile dobiju se dve vrednosti deformacije, što omogućava eliminaciju potrebe merenja sile.



Sl.3 Specijalna epruveta sa dve merne zone

Naime, za obe merne zone važi: $K_1=C\varphi_1^n$; $K_2=C\varphi_2^n$ odnosno

$$F \cdot A_1 = C \cdot \varphi_1^n$$

A_1 i A_2 su stvarne površine poprečnog preseka epruvete.

$$F \cdot A_2 = C \cdot \varphi_2^n$$

Jednostavnim transformacijama se dobija :

$$n = \frac{\ln \frac{A_1}{A_2}}{\ln \frac{\varphi_1}{\varphi_2}} \quad \text{odnosno konačni izraz}$$

$$n = \frac{\ln \frac{b_{02} \cdot L_{02} \cdot L_1}{b_{01} \cdot L_{01} \cdot L_2}}{\ln \frac{L_1}{L_{01}} \cdot \ln \frac{L_2}{L_{02}}}$$

gde su: L_{01} , b_{01} - početna dužina i širina uže zone;

L_{02} , b_{02} - početna dužina i širina šire zone;

L_1 , L_2 - dužine posle zatezanja za užu t.j. širu zonu.

Realizovano je zatezanje u 3 stepena (izduženja su I- oko 10%, II- oko 15% i III- oko 20%). Rezultati su u Tab.6.

Tab.6

	$L_{01,mm}$	$L_{02,mm}$	$b_{01,mm}$	$b_{02,mm}$	L_1, mm	L_2, mm	n_i	n
1	80,0	79,8	20,13	21,89	88,0	84,4	,2318	0,242
2					92,1	86,2	,245	
3					95,8	87,3	,2502	

Metoda je dovoljno tačna ali je izrada epruvete relativno komplikovana.

2.2.7 Metoda (g) - Sistem za akviziciju

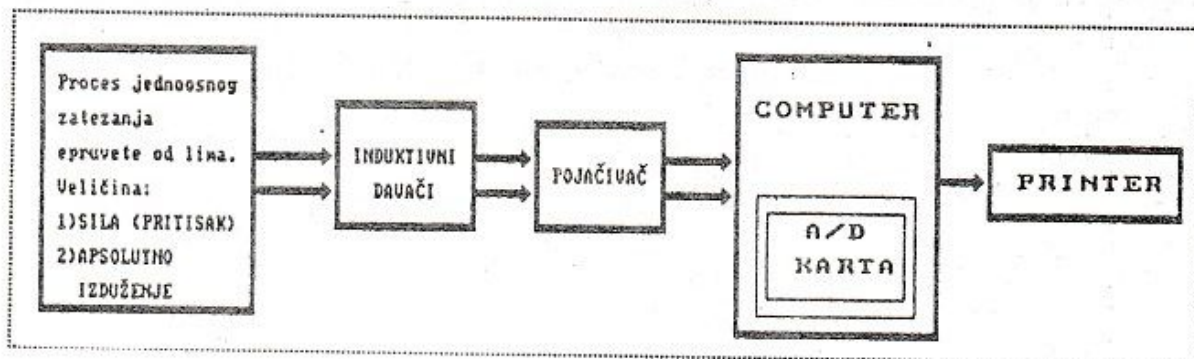
2.2.7.1 Hardver

Osnova sistema (sl.4 i fot.1) je proces jednoosnog zatezanja koji se ostvaruje na hidrauličnoj presi sa karakteristikama datim u tački 2.1. Induktivnim davačima sa pokretnim jezgrom se naznačene

veliĉine pretvaraju u elektriĉne (naponske) signale. Davaĉ sile je integrisan u mašini, a davaĉ izduženja je spoljašnji i to tipa HBM W100. Za signal sile razvijen je poseban operacioni pojaĉivaĉ sa niskopropusnim filterom radi hardverskog prigušenja šuma. Za signal izduženja koristi se pojaĉivaĉ tipa HBM KWS3073.

Središte sistema je PC-386 (33 MHz) sa 4 MB RAM-a. Direktno na matičnu ploĉu ugradjena je multifunkcijska (A/D;D/A) karta relativno niske cene firme FLYTECH TECHNOLOGY Co, Taiwan tipa PCADDA-12FPC-010. Za analogno-digitalnu konverziju (A/D) karta omogućuje 16 kanala sa 12-to bitnom rezolucijom, po principu sukcesivnih aproksimacija, opseg ulaznog signala 0-9 V, brzinu jedne konverzije 5msec.

Poslednji deo sistema je printer sa ciljem grafiĉke prezentacije rezultata.



Sl.4 Blok shema razvijenog DA sistema

2.2.7.2 Softver sistema

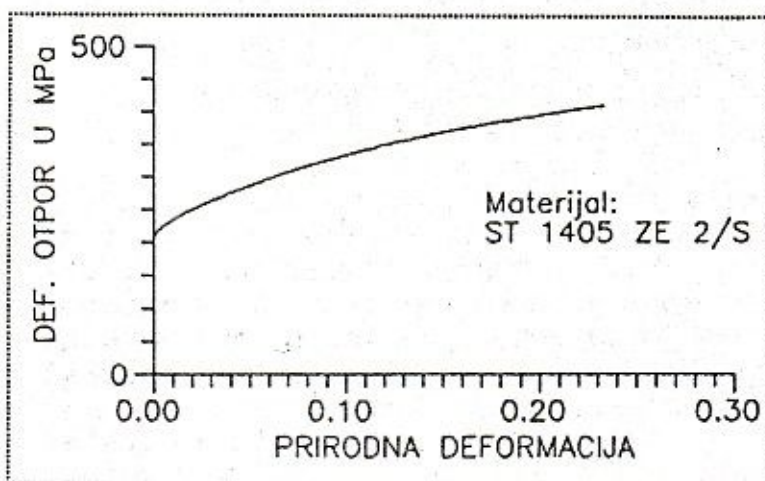
U osnovnim crtama izloženo, razvijeni program omogućava snimanje A/D konverzijom konvertovane krive zatezanja (zavisnost sila-apsolutno izduženje) i njenu dalju obradu (uz dopunske podatke) do finalnih rezultata. Proces se prati u realnom vremenu, sa kontrolisanim parametrima konverzije i prethodno uradjenom kalibracijom. Kriva zatezanja se pretvara u numerički niz od oko 1000 vrednosti. Program od ulaznih podataka (pored krive) zahteva polazne dimenzije standardne epruvete (l_0, b_0, s_0) i dužinu posle razaranja (l_R). Finalni rezultati su: eksperimentalna kriva ojaĉanja, nekoliko aproksimacija krivih ojaĉanja (sa linearnim produžetkom, dve eksponencijalne aproksimacije, aproksimacija polinomom) i mehaniĉke karakteristike: zatezna ĉvrstoĉa, granica teĉenja, procentualno izduženje pri razaranju, prirodna maksimalna plastiĉna deformacija i dve vrednosti "n"-faktora.

I vrednost se dobija po principu u taĉ.2.2.4 s tim što se (zbog visoke taĉnosti) za K_2 i φ_2 uzimaju vrednosti koje odgovaraju najveĉoj sili zatezanja, a za K_1 vrednost koja odgovara deformaciji $\varphi_2/3$.

II vredost se dobija aproksimiranjem logaritamske jednaĉine za krivu ojaĉanja (taĉ. 2.2.5) po metodi najmanjih kvadrata (3). Tako se dobija izraz:

$$n = \frac{k \cdot \sum x_i \cdot y_i - \sum x_i \cdot \sum y_i}{k \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad \begin{array}{l} y = \ln K \\ x = \ln \varphi \\ i = 1, \dots, k \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Vrednosti se uzimaju sa krive} \\ \text{ojaĉanja, a k se kreĉe oko 100.} \end{array}$$

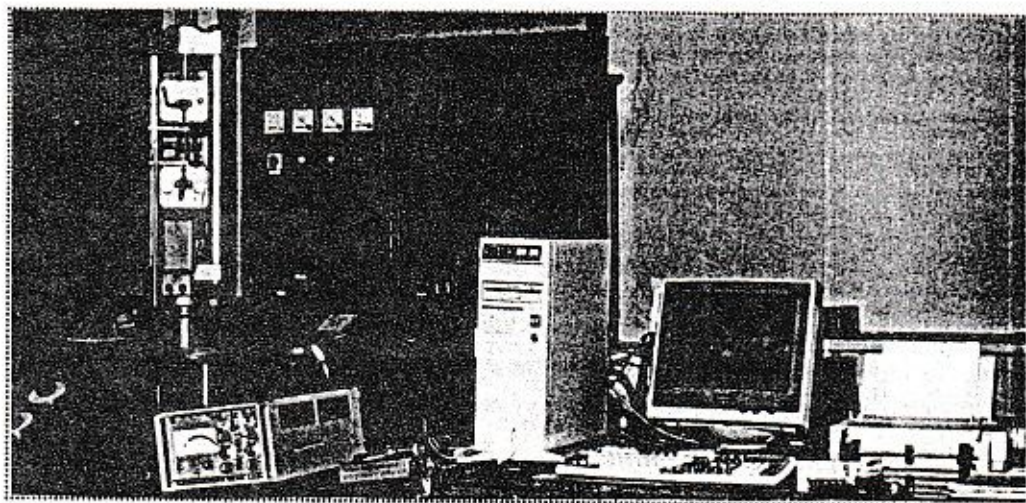
Softver je ostvaren primenom Turbo Basic-a (Borland).



Sl.5 Kriva ojačanja dobijena DA sistemom

Tab.7

Poč. dužina epr.mm	80
Širina epruvete,mm	20,3
Debljina lima, mm	0,8
Zat.čvrstoća,MPa	323
Gran.tečenja,MPa	209
Izduž. pri raz.%	37,2
Pr.def. pri Fmax	0,233
I n faktor	0,2366
II n faktor	0,2398



Fot.1 Izgled kompletnog DA sistema

2.3 Zaključak

Komparativnim sagledavanjem rezultata i karakteristika izloženih metoda nameće se zaključak da je, zbog visoke preciznosti, korišćenja standardne epruvete, efektivnosti postupka i td. najbolji izbor korišćenje kompjuterskog DA sistema koji pored "n" faktora definiše krivu ojačanja i mehaničke karakteristike. Sistem bi trebalo nadograditi potrebnim elementima za određivanje koeficijenta normalne anizotropije ("r"-faktora) čime se kompletira određivanje karakteristika obradivosti karoserijskih limova.

SUMMARY

UNEQUALITY RESULTS PROBLEM OF EXPERIMENTAL DETERMINATION OF STRAIN-HARDENING EXPONENT OF STEEL SHEETS

The paper contains a comparative presentation of eight different experimental methods for determination of strain-hardening exponent ("n" value) of steel sheets. There are 3 groups of methods. First- the measuring of maximal homogeneous strain; second- the methods based on determining of two values of true stress and corresponding plastic strain; third- the measuring of strains on a special specimen. All the methods use uniaxial tensile test.

Special attention was paid to computer data acquisition system intended for determination of strain-hardening curves, mechanical properties and "n"- value. Accuracy problem was treated with intention of suggesting appropriate method for determination of this important value.

LITERATURA

- 1) B. Devedžić: Obrada metala deformisanjem (knjiga I), Mašinski fakultet Kragujevac, 1980.g.
- 2) B. Devedžić: "r" i "n" faktor kod tankih limova, Mašinski fakultet Kragujevac, 1985.g.
- 3) ISO - Tensile strain hardening exponent ISO/TC 164/SC 2N (predlog standarda), 1985.g.
- 4) J. Villamanan, M.L. Aparicio: An easy approach for calculating the strain-hardening exponent, Sheet metal industries, X 1988.g., str. 546-550.
- 5) W.J. Riffe: Using material properties to determine forming limit diagram location, Sheet metal industries, III 1990.g. str. 17-20.