

## OBRADIVOST LIMOVA OD AL-LEGURA PRI DVOSTRANOM ZATEZANJU FORMABILITY OF AL-ALLOY SHEET METALS AT STRETCH-FORMING

M. Stefanović\*, M. Samardžić\*\*, S. Aleksandrović\*

**Rezime:** Korišćenje novih materijala u obradi plastičnim deformisanju zahteva pouzdano definisanje parametara obradivosti. Pri dubokom izvlačenju tankih limova značaj granične deformabilnosti je dominantan, i izučavan sa više aspekata. U ovom radu se navode rezultati eksperimentalnog istraživanja pri karakterističnoj naponsko-deformaciona shema dvostranog zatezanje-razvlačenja za limove od Al-legura: zavisnost deformacione sile od hoda, distribucije deformacija i odnosi u dijagramu granične deformabilnost.

**Ključne reči:** Al-legure, duboko izvlačenje, obradivost

**Summary:** The use of classic and new materials in technologies of plastic metal forming represents the reliable defining of formability parameters. At deep drawing of thin sheet metals the aspect of formability is most certainly one of the most important and most investigated aspects. Stretch forming with rigid tools is an important process for the fabrication of Al-alloys sheet metal. The paper presents the results of an experimental analysis of stretch forming: dependencies of forming force on travel, strain distribution and it also shows the relations in limit forming diagram.

**Key words:** Al-alloys, deep-drawing, formability

### 1. UVOD

Korišćenje Al-legura za izradu pojedinih delova oplata ili kompletne karoserije u cilju smanjenja težine vozila, odnosno smanjenja potrošnje goriva postao je jedan od razvojnih pravaca vodećih svetskih proizvođača automobila. Prvi pokušaji korišćenja aluminijuma u konstrukciji putničkih automobila napravljeni su dvadesetih godina prošlog veka (Rolls-Royce i Pomeroy). Od tada su prošli periodi različite zainteresovanosti automobilske industrije za korišćenje aluminijuma. Za delove karoserija najčešće se koriste tri grupe Al-legura: legure Al-Cu (serija 2000), legure Al-Mg-Si (serija 6000) i legure Al-Mg (serija 5000) /1/.

Osnovne karakteristike ovih legura su: znatno niža granica tečenja i zatezna čvrstoća u odnosu na čelik, modul elastičnosti ima tri puta manju vrednost u odnosu na čelik, izduženje, naročito lokalno, je malo, prisutno je nehomogeno deformisanje, koeficijent normalne anizotropije je mali (ispod 1), relativno su meki i površina se lako oštećuje, legure postoje u velikom broju stanja u zavisnosti od načina dobijanja i režima primenjene termičke obrade /2/.

### 2. KARAKTERISTIKE ISPITIVANJA RAZVLAČENJEM

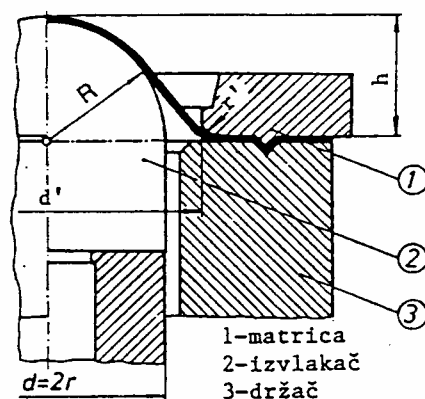
Oblikovanje delova nepravilne geometrije izvlačenjem, na primer elemenata karoserija automobila, usled složenosti uslova obrade i mnoštva parametara relevantnih za postupak obrade, predstavlja jedan od najkompleksnijih procesa u oblasti obrade metala deformisanjem. Pri tome postoje različite naponsko-deformacione sheme u pojedinim oblastima komada koji se oblikuje. Jedna od takvih standardnih shema je i dvostrano zatezanje-razvlačenje (oblast čela izvlačkača, odnosno mesto zaobljenja ivice izvlačkača).

Razvlačenje podrazumeva prostorno deformisanje materijala, pod dejstvom dva glavna normalna napona, koji deluju zatežuće u ravni lima. Pri deformisanju držač čvrsto priteže obod komada pa se deformisanje dešava samo unutar otvora matrice. Osnovna shema se realizuje prema slici 1./3/

\* M. Stefanović, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac

\*\* M. Samardžić, Institut za automobile ZASTAVA, Kragujevac

\* S. Aleksandrović, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac



Sl.1. Elementi alata za razvlačenje

### 3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

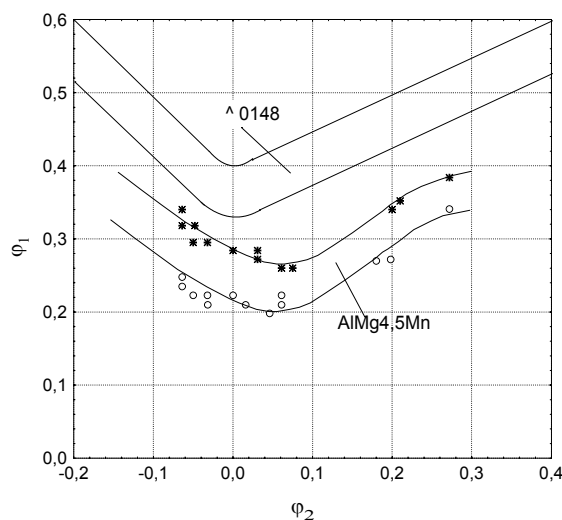
Materijal koji je korišćen u eksperimentima, a zatim i u realnim obradnim uslovima /4/, je legura AlMg4,5Mn, koja se svrstava u Al-Mg legure čija je osnovna karakteristika da ne zahteva bilo kakav termički tretman pre, tokom i posle oblikovanja, ali je i teže obradiva dubokim izvlačenjem (tabela1). Debljina lima je iznosila 0,8 mm.

Tabela 1

A. Mehaničke karakteristike								
	$R_p$ , MPa	$R_M$ , MPa	$A_{80}$ , %	$n$	$r$			
0	278	153	19	0,252	0,55			
745	267	145	21	0,258	0,859			
90	272	150	23	0,258	0,592			
$\bar{X}$	271	148	21	0,26	0,715			
Kriva ojačanja ( $0^\circ$ ): $K = 152,9 + 305,9 \varphi^{0,312}$ , MPa								
B. Hemijski sastav								
element	$M_g$	$M_n$	$S_i$	$F_e$	$T_i$	$C_u$	$Z_n$	$C_r$
%	4,20	0,57	0,0869	0,29	0,013	0,007	0,068	0,092

Stanje legure je određeno žarenjem na  $350^\circ \text{C}$  u trajanju od 3 sata.

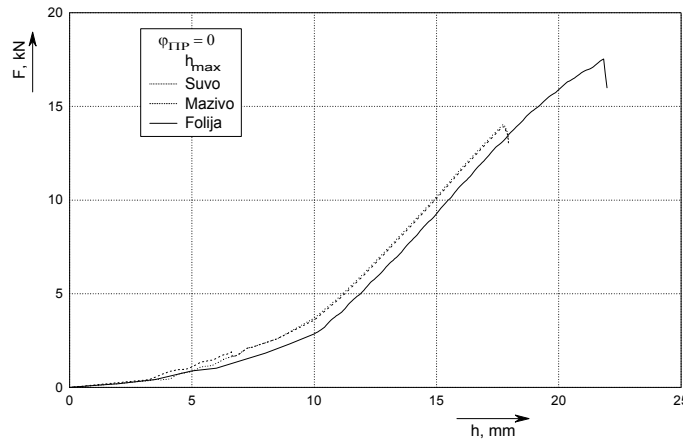
Na slici 2 prikazani su dijagrami granične deformabilnosti Al-leguru i čelik. Zapaža se da su kod čelika ostvarene veće vrednosti graničnih deformacija. Za Al-leguru ostvarene su deformacije  $\varphi_1$  u rasponu od 0,2-0,4 a za čelik deformacija  $\varphi_1$  se kretala u rasponu 0,3-0,6. Dijagrami su realizovani standardnim postupkom izvlačenja iz epruveta različitih širina.



Sl. 2. DGD za AlMg4,5Mn pri monotonom deformisanju

Za izvođenje eksperimenta korišćene su epruvete sa nanetom mernom mrežom. Razvijeno stanje ima prečnik 120 mm. Korišćena merna mreža ima kružne elemente prečnika  $d_0=3,3$  mm. Oblikovanje je vršeno izvlačačem sa polusfernim čelom,  $R=25$  mm. Posmatrana su tri stanja kontaktnih površina: suvo (S), mazivo (M) i kombinacija folije polietilena i maziva (F) koja sigurno razdvaja kontaktne površine. Epruvete su čišćene acetonom a mazivo se nanosi samo na stranu koja je izložena dejstvu izvlačača, na kojoj nije nanešena mreža. Pravac sečenja se poklapa sa pravcem valjanja, tj. prethodnog zatezanja.

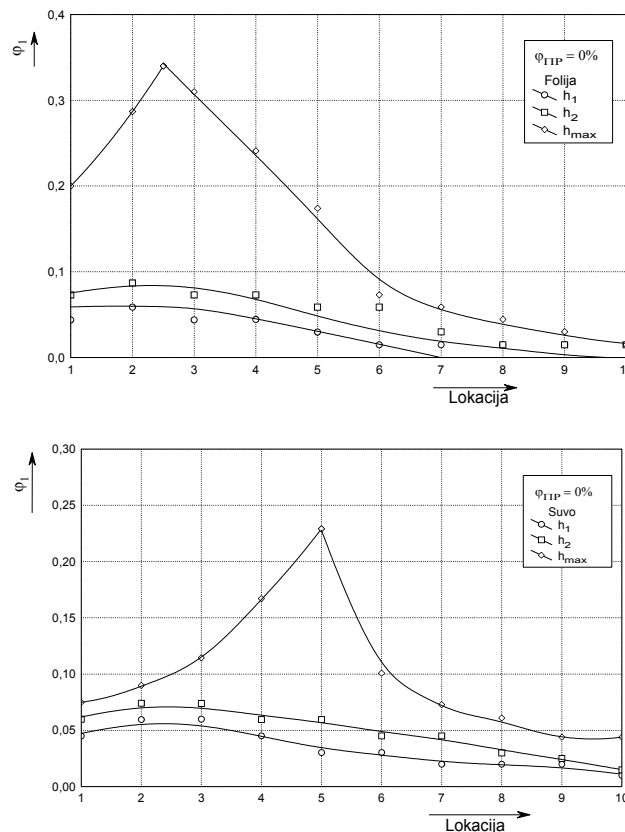
Razvlačenje je vršeno za tri dubine izvlačenja:  $h_1=8$  mm,  $h_2=13$  mm i  $h_{max}$  pri kojoj je dolazilo do razaranja epruvete (slika 3). Razaranje se dešavalo pri dubinama:  $h_{max(S)}=17,5$  mm,  $h_{max(M)}=17,7$  mm,  $h_{max(F)}=21,8$  mm.



Sl.3. Zavisnost sile razvlačenja od hoda izvlačača

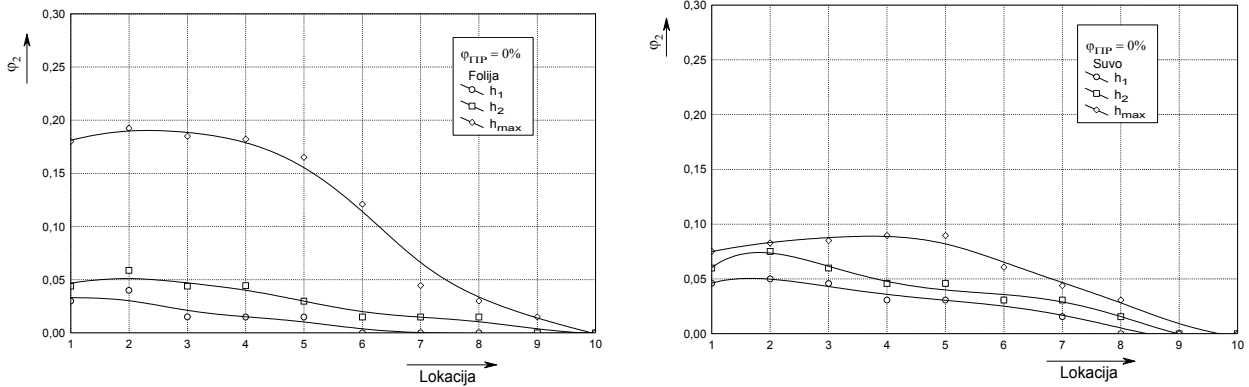
Sa slike 3 se vidi da pri istim dubinama razvlačenja je potrebna veća sila pri povećanom trenju tj. kada na površini kontakta nema maziva.

Na osnovu izmerenih dimenzija elemenata merne mreže određene su deformacije u karakterističnim tačkama. Distribucije glavnih deformacija su crtane u sistemu  $\varphi_1$ -lokacija i  $\varphi_2$ -lokacija, koji imaju najviše smisla pri razvlačenju. Mernom polju 1 odgovara krug merne mreže čiji se centar poklapa sa polom epruvete. Tački 10 odgovara periferiji epruvete, u neposrednoj blizini matrice. Na slici 4 su prikazane distribucije glavne deformacije  $\varphi_1$  za različite uslove podmazivanja.

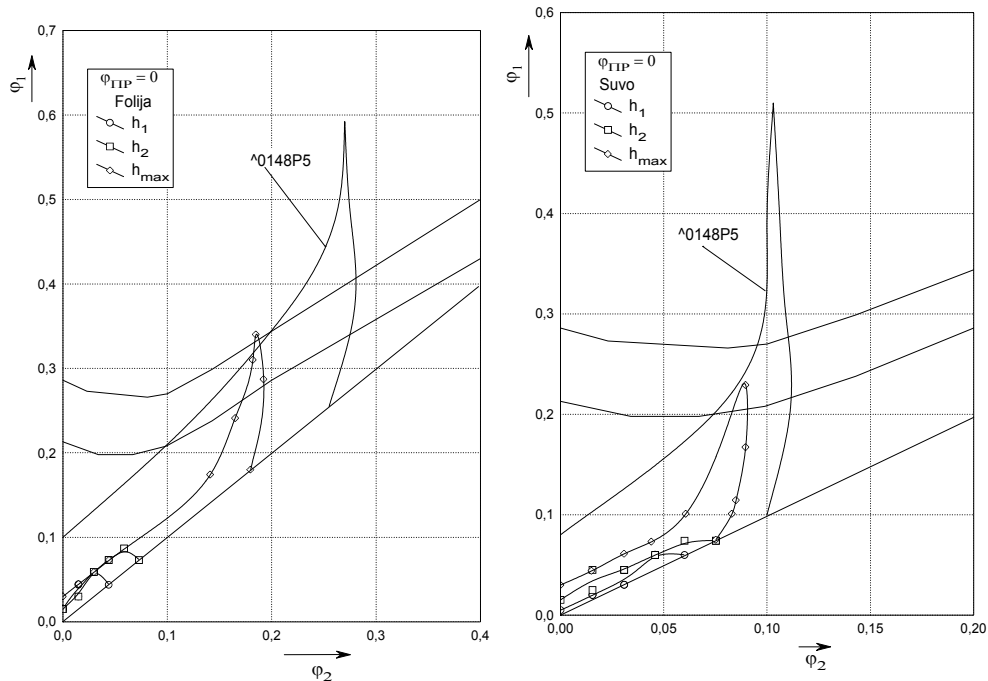


Sl. 4. Distribucija deformacije  $\varphi_1$

Najveća dubina pri razaranju se odigrava pri korišćenju folije polietilena. Pri korišćenju folije razaranje se odigrava bliže centru u odnosu kada na površinu nije naneto mazivo. Pomeranje mesta razaranja bliže centru je praćeno povećanjem deformacije  $\varphi_2$  (slika5).



Sl. 5. Distribucija deformacije  $\varphi_2$



Sl. 6. Raspodela deformacija u DGD za Al i čelik

Ostvareni iznosi deformacije  $\varphi_2$  (veličina klizanja u tangencijalnom pravcu) utiču na širenje petlje distribucije u dijagramu  $\varphi_1$ - $\varphi_2$ . Očigledne su i razlike u odnosu na oblikovanje čelika, sl.6.

Lošiji uslovi na kontaktnim površinama i povećano trenje, dovodi do smanjenja dubine pri razaranju i pomeranja petlje distribucije ka oblasti ravanske deformacije ( $\varphi_2=0$ ).

#### 4. ZAKLJUČAK

Mala težina, otpornost na koroziju i mogućnost reciklaže su najvažnije osobine koje čine Al-legure pogodnim za upotrebu u automobilskoj industriji.

Opšta obradivost Al-legura je umanjena u odnosu na čelične materijale. U DGD položaj krive za leguru AlMg4,5 je niži u odnosu na čelik.

Oblikovanje u procesu razvlačenja je uspešnije ako je smanjeno trenje između lima i izvlačača. Tada se povećava dubina razaranja, poboljšava ravnomernost deformisanja, uvećavaa vrednost kritične deformacije a mesto razaranja se pomera bliže centru komada.

U cilju povećanja korišćenja Al-legura pri dubokom izvlačenju delova za karoseriju automobila, istraživanja se usmeravaju u sledećim pravcima:

- razvoj novih legura sa poboljšanim karakteristikama obradivosti,

- razvoj novih tehnologije oblikovanja (hidroforming, tailor-limovi, upravljanje),
- razvoj maziva i tehnologije podmazivanja.

## 5. LITERATURA

- [1] H. Hayashi, Formability of aluminum alloy sheets for autobodies, Symp. Light Materials for Transportation Systems, Pohang, Korea, 1993., 351-361.
- [2] M. Stefanović, S. Aleksandrović, M. Milovanović, M. Samardžić, Savremeni materijali za izradu lakih karoserija putničkih automobila i njihova obradivost, 28. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Kraljevo, 2000, 2.102–2.108
- [3] M.Stefanović, Effects of the Tool Geometry and Tribological Conditions on Stretch Forming, Technology of Plasicity, Novi Sad, Vol. 17, 1-2/1992., 27-37.
- [4] M.Milovanovic, M.Stefanovic, B.Nedeljkovic, Needs for Introduction of New Materials to the Passenger Car Body in Order to Comply with the Regulations, Science and Motor Vehicles 2001., Belgrade, 2001., Proceed. 189-192.