



## UTICAJ ISTORIJE DEFORMISANJA NA OBRADIVOST PRI RAZVLAČENJU KAROSERIJSKOG LIMA OD AL-LEGURA

M. Samardžić<sup>1)</sup>, M. Stefanović<sup>2)</sup>, S. Aleksandrović<sup>3)</sup>

**Rezime.** Oblikovanje delova karoserije dubokim izvlačenjem predstavlja jedan od najkompleksnijih postupaka u izradi automobila. Pri izvlačenju delova karoserije automobila proces razvlačenja ima veliki značaj kao jedan od dominantnih vidova deformisanja. Granični iznosi deformacija na dobijenom delu u velikoj meri zavise ne samo od naponskog stanja već i od istorije deformisanja.

**Ključne reči:** Obradivost, razvlačenje, Al-legura

### THE INFLUENCE OF STRAIN HISTORY ON FORMABILITY IN STRETCH FORMING AL-ALLOY SHEET METAL

**Abstract.** Sheet metal forming of automotive body is one of most complex process in automobile industry. Stretch forming with rigid tools is an important process for manufacturing of particular carbody elements. Forming limits strongly depends from realized stress-strain field and strain path.

**Key words:** Formability, stretch-forming, Al-alloy

#### 1. UVOD

Novi koncepti projektovanja vozila kao i trend smanjenja težine vozila su doveli do intenzivnog korišćenja novih materijala u izradi karoserije pri čemu se velika pažnja poklanja Al-legurama. Mala težina, otpornost na koroziju i mogućnost reciklaže su glavne osobine koje čine Al-legure pogodnim za korišćenje u automobilskoj industriji gde se najčešće koriste legure AlMg(Mn, Cr), AlMgSi(Cu, Mn), AlCuMg(Si) i AlMgCu(Zn) [1], [2].

Izvlačenje delova karoserije se izvodi u veoma složenim uslovima pri čemu veliki broj parametara utiče na uspešnost oblikovanja. U zavisnosti od obradnih uslova stepen deformacije na izvučenom komadu je dosta različit.

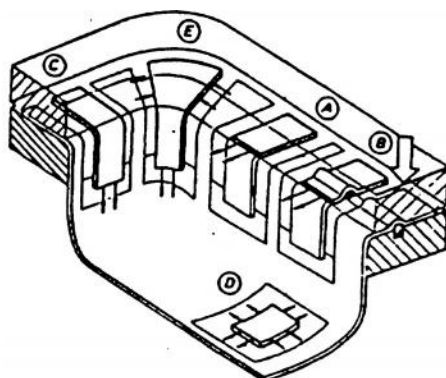
<sup>1)</sup> Milica Samardžić, Institut za automobile, Zastava automobili, Kragujevac, Srbija, milica@ia.kg.ac.yu

<sup>2)</sup> Milentije Stefanović, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, stefan@kg.ac.yu

<sup>3)</sup> Srbislav Aleksandrović, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, srba@kg.ac.yu

## 2. LOKALNE DEFORMACIONE ŠEME PRI MODELIRANJU PROCESA IZVLAČENJA DELOVA KAROSERIJE

Prilikom proučavanja procesa izvlačenja delova karoserije glavnu poteškoća predstavlja mnoštvo lokalnih šema deformisanja, koje se razlikuju u naponsko-deformacionim odnosima. Jedna od takvih standardnih šema je i razvlačenje-dvostrano zatezanje, koje se ostvaruje neposredno u oblasti ispod čela izvlačka, slika 1.

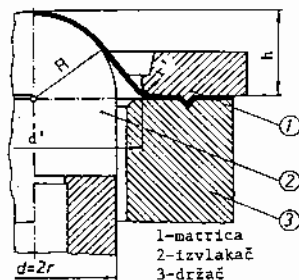


Slika 1. Modeliranje procesa izvlačenja delova karoserije [3]

Pored ostvarenog naponsko-deformacionog stanja bitan uticaj na granične iznose deformacija ima i istorija deformisanja.

## 3. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Osnovna eksperimentalna šema se ostvaruje prema slici 2 [3]. Radni elementi alata imali su slede e dimenzije: izvlačka sfernog oblika pre nika 50 mm, matrica za prosecanje pre nika 120 mm sa utiskuju im rebrom pre nika 88 mm. Sprečavanje uvlačenja lima u otvor matrice, odnosno ostvarivanje šeme dvostranog zatezanja-razvlačenja ostvareno je preko držača sa zateznim rebrom i podešavanjem sile držanja.



Slika 2. Elementi alata za razvlačenje[3]

U ovom radu je korišćena legura AlMg4,5Mn koja je proizvedena u Valjaonici aluminijuma u Sevojnu (IMPOL – SEVAL). Ona se svrstava u Al-Mg legure (serija 5000) čija je osnovna karakteristika da ne zahteva bilo kakav termički tretman pre,

tokom i posle oblikovanja, ali je i teže obradiva dubokim izvlačenjem. Za ispitivanja je korišćen lim debljine 0,9 mm. U tabeli 1 dati su detaljni podaci o pomenutoj leguri.

Tabela 1. Karakteristike legure

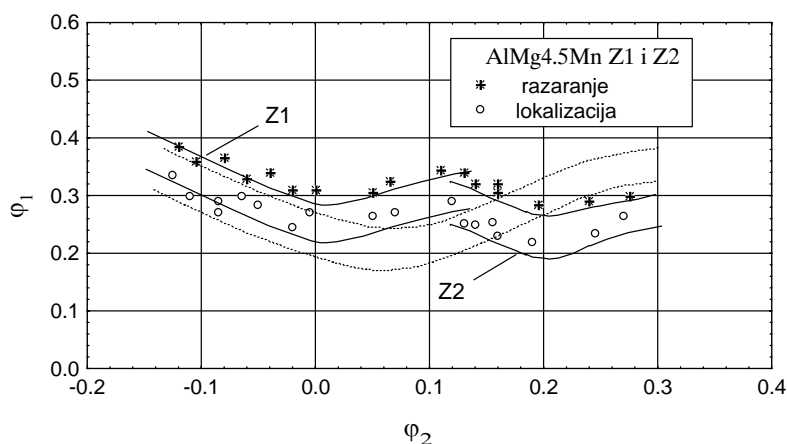
A. Mehaničke karakteristike								
	R <sub>p</sub> , MPa	R <sub>m</sub> , MPa	A <sub>80</sub> , %	n	r			
$\bar{X}$	148	271	21	0,26	0,715			
Kriva ojačanja (0°): $K = 152,9 + 305,9 \varphi^{0,312}$ , MPa								
B. Hemijski sastav								
el.	M <sub>g</sub>	M <sub>n</sub>	S <sub>i</sub>	F <sub>e</sub>	T <sub>i</sub>	C <sub>u</sub>	Z <sub>n</sub>	C <sub>r</sub>
%	4,20	0,57	0,0869	0,29	0,013	0,007	0,068	0,092

### 3.1 Uticaj istorije deformisanja na formiranje DGD

Dijagram granične deformabilnosti (DGD) je neophodan prilikom određivanja obradivosti karoserijskih limova. DGD omogućavaju određivanje graničnih deformacije za različite istorije deformisanja, odnosno pružaju mogućnosti za optimizaciju ključnih parametara procesa dubokog izvlačenja (geometrija alata, tribološki uslovi i sl.).

Za određivanje DGD korišćen je tzv. Nakazima postupak, koji se zasniva na razvlačenju lima u obliku traka promenljivih širina čvrstim izvlakačem. Za određivanje DGD korišćene su trake dužine 120 mm i širina: 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 i 120 mm.

Granični iznosi deformacija na zavise samo od naponskog stanja, već i od istorije deformisanja. Zato ima smisla koristiti onaj DGD, koji je dobijen tako da odgovara uslovima pri stvarnom izvlačenju, jer je tada obezbeđena identičnost deformisanja. Ako se u toku višeoperacionog izvlačenja menja karakter deformisanja, što se često dešava, nepravilno je koristiti DGD koji podrazumeva proporcionalno deformisanje u toku čitave obrade [4].

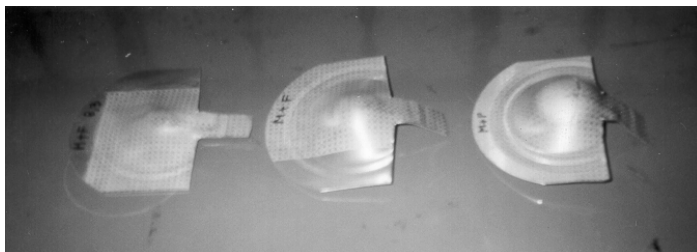


Slika 3. DGD za nemonotone postupke Z1 i Z2

Na slici 3 se vide promene u položaju kriva lokalizacije i razaranja u slučajevima nemonotonog deformisanja. Sa isprekidanim linijama označen je DGD za slučaj monotonog deformisanja. Postupak označen kao Z1 obuhvata dve faze deformisanja: u prvoj je jednoosno zatezanje sa ostvarenim izduženjem od 5%, a u drugoj proces razvlačenja. Postupak Z2 u prvoj fazi ima razvlačenje sa ostvarenim deformacijama  $\varphi_1=\varphi_2=16\%$  [5].

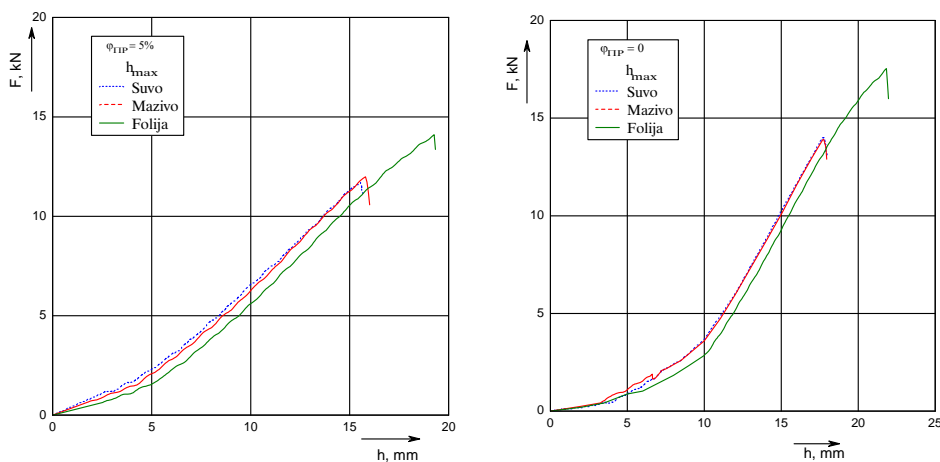
### 3.2 Uticaj istorije deformisanja na distribuciju deformacija

Za izvođenje eksperimenta korišćene su epruvete sa nanetom mernom mrežom kao na slici 4. Razvijeno stanje ima prečnik 120 mm. Korišćena merna mreža ima kružne elemente prečnika  $d_0=3,3$  mm. Korišćene su dve vrste epruveta: jedne su bile od nedeformisanog lima a druge od prethodno deformisanog lima. U slučaju dvofaznog deformisanja lim je najpre bio zategnut do vrednosti  $\varphi_1\approx 5\%$ . Pravac sečenja se poklapa sa pravcem valjanja, tj. prethodnog zatezanja.



Slika 4. Epruvete dobijene razvlačenjem

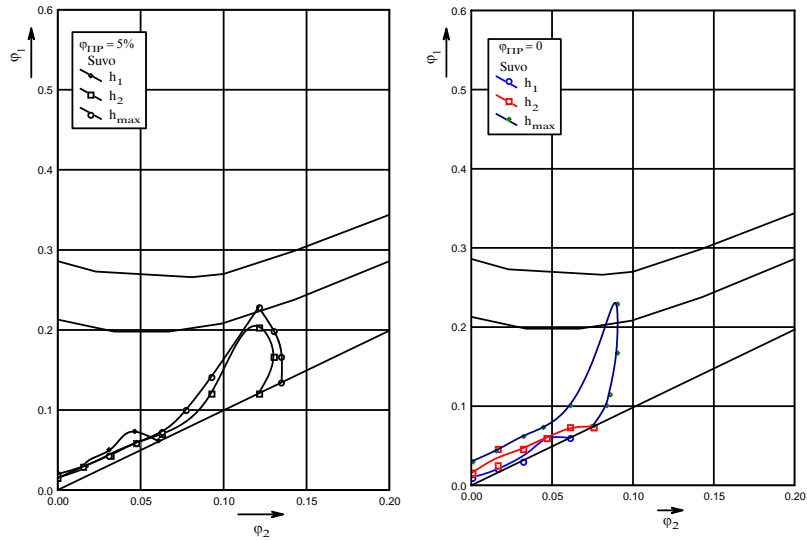
Posmatrana su tri stanja kontaktnih površina: suvo (S), mazivo (M) i kombinacija folije polietilena i maziva (F) koja sigurno razdvaja kontaktne površine. Razaranje se dešavalo pri dubinama:  $h_{\max(S)}=17,7$  mm,  $h_{\max(M)}=17,5$  mm,  $h_{\max(F)}=21,8$  mm kada su korišćene epruvete od lima koji nije bio prethodno deformisan. Kod epruveta od lima koji je prethodno deformisan do razaranja je dolazilo pri dubinama:  $h_{\max(S)}=15,5$  mm,  $h_{\max(M)}=15,8$  mm,  $h_{\max(F)}=19,3$  mm.



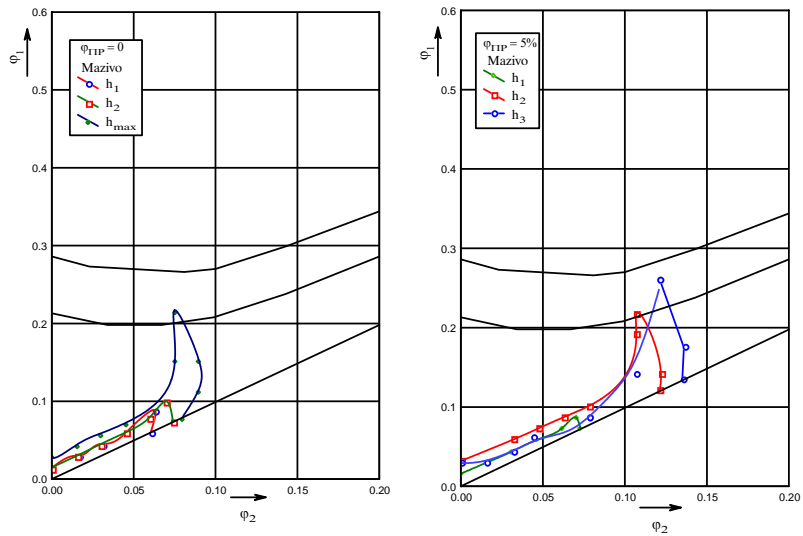
Slika 5. Zavisnost sile razvlačenja od hoda izvlačka za monoton i nemonoton tok deformisanja

Na slici 5 prikazana je promena sile razvlačenja u zavisnosti od hoda izvlačkača za monoton i nemonoton tok deformisanja, pri različitim kontaktnim uslovima

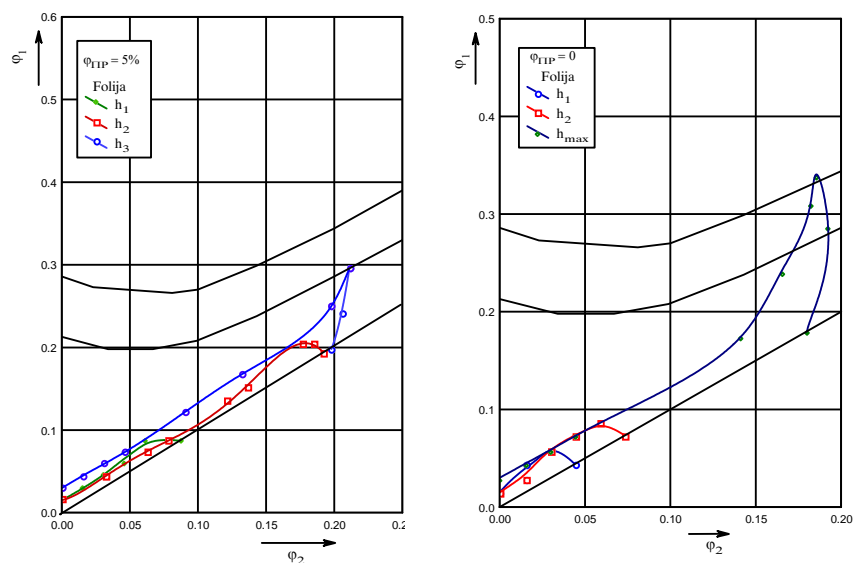
Na osnovu izmerenih dimenzija elemenata merne mreže, prema odgovarajućim izrazima, određene su deformacije u karakterističnim tačkama. Uporedni prikazi distribucija za ostvarene dubine razvlačenja, zajedno sa krivom granične deformabilnosti, dati su na slici 6.



a) suve kontaktne površine



b) korišćeno mazivo



c) korišćena folija

Slika 6. Raspodela deformacija u DGD za monoton i nemonoton tok deformisanja

Na osnovu prikazane raspodele deformacija u DGD može se videti uticaj istorije deformisanja na veličinu i distribuciju ostvarenih deformacija

#### 4. ZAKLJUČAK

Korišćenjem Al-legura ostvaruju se značajni rezultati u pogledu smanjenja težine automobila i efikasnijeg iskorišćenja goriva. Uvođenje Al-legura je u tesnoj vezi sa razvojem novih vrsta legura sa poboljšanim karakteristikama i korišćenjem novih tehnologija oblikovanja i podmazivanja.

Granični iznosi deformacije pored ostvarenog naponsko-deformacionog stanja zavise i od istorije deformisanja, koja bitno utiče na dešavanja u metalnoj strukturi materijala. Zbog toga je od velikog značaja poznavanje DGD, koji je određen na način koji odgovara stvarnim uslovima izvlačenja.

#### LITERATURA

- [1] M. Merklein, M. Geiger, New materials and production technologies for innovative lightweight constructions, Journal of materials processing technology 125-126 (2002) 532-536.
- [2] K. Siegert, S. Wagner, Formability characteristics of aluminium sheet, TALAT lecture 3701, EAA, 1994.
- [3] M. Stefanović, Tribologija dubokog izvlačenja, Monografija, Kragujevac, 1994.
- [4] S. Aleksandrović, M. Stefanović, Duboko izvlačenje lima od aluminijumske legure AlMg4,5Mn pri nemonotonom deformisanju sa promenljivom silom držanja, 4. Međunarodno savetovanje DEMI 2001, Banja Luka, Zbornik radova, 69-74.
- [5] M. Samardžić, Obradivost limova od aluminijumskih legura pri dubokom izvlačenju delova za karoserije automobila, Magistarska teza, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2003.