

RAZVOJ I PRIMENA AL-LEGURA U IZRADI ELEMENATA KAROSERIJA PUTNIČKIH AUTOMOBILA

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

*Mašinski fakultet u Kragujevcu, S.Janjić 6, 34000 Kragujevac

**Institut za automobile Zastava, Trg topolivaca 4, 34000 Kragujevac

Rezime

U cilju umanjjenja težine vozila, odnosno ekonomičnije eksploatacije, poslednjih godina raste potrošnja lakih materijala u fabrikaciji putničkih automobila. Primena limova od Al-legura, prvenstveno u izradi elemenata karoserija automobila, posebno je značajna. Zbog umanjene obradivosti limova od Al-legura u odnosu na čelične limove, postoje brojne poteškoće u korišćenju ovih materijala. Smanjenje čvrstoće, intenzivna lokalizacija deformacije, osetljivost prema tribo-uslovima, glavni su ograničavajući faktori primene Al-legura. U radu se navode karakteristike različitih Al-legura sa oblastima primene, izlažu standardni i specijalni parametri obradivosti i navode rezultati laboratorijskih i proizvodnih ispitivanja pri osvajanju jednog elementa karoserije automobila.

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF AL-ALLOYS IN MANUFACTURE OF CARBODY ELEMENTS OF PASSENGER CARS

Abstract

In order to reduce the vehicle weight, i.e. to exploit the vehicle more economically, the consumption of light materials in fabrication of passenger cars has grown during the last few years. The application of Al-alloys sheet metals, first of all in the manufacture of carbody elements, is extremely important. Because of reduced formability of Al-alloys sheet metals in comparison to steel sheet metals, many difficulties may occur while using these materials. Decrease of strength, intensive strain localization and sensitivity to tribo-conditions are main limiting factors in application of Al-alloys. This paper gives the characteristics of different Al-alloys with application areas, standard and special formability parameters, and results of laboratory and production investigations when using one carbody element.

1. UVOD

Smanjenje potrošnje goriva uz istovremeno poboljšanje udobnosti, pasivne i aktivne bezbednosti i sl. predstavlja važan cilj svih proizvođača automobila. U tom smislu, poslednjih godina sve više se koriste materijali za izradu karoserija umanjene težine, kao što su: limovi od čelika povećane čvrstoće, Al-limovi, titan i njegove legure, sendvič i kompozitni materijali i sl. Korišćenje Al-legura omogućava smanjenje težine uz zadovoljavanje zahteva za krutošću karoserije, čime se smanjuje potrošnja goriva i otvara prostor za dodatnu ugradnju elemenata aktivne bezbednosti. Međutim, zbog umanjene obradivosti u odnosu na niskougljenične čelične limove, zamena i uvođenje Al-legura zahteva i niz tehnoloških usklađivanja u postojećem proizvodnom procesu,

odnosno realizaciju potpuno novih elemenata obradnog sistema /1/.

U ukupnoj masi automobila u proseku 32% se odnosi na karoseriju. Jasno je da smanjenje mase karoserije značajno doprinosi umanjnju ukupne mase automobila. U principu, smanjenje mase karoserije može se ostvariti promenom koncepcije strukture karoserije i zamenom klasičnih materijala sa lakšim. Za izbor materijala karoserije značajni su:

- cena,
- kvalitet i njegova postojanost,
- pouzdanost snabdevanja,
- funkcionalne karakteristike (efekat smanjenja mase, čvrstoća, otpornost na koroziju),
- mogućnost masovne proizvodnje (obradivost, zavarivanje, mogućnost spajanja, bez izmene dotadašnjeg načina proizvodnje),
- iskorišćenje otpada i recikliranje.

2. KORIŠĆENJE AL-LEGURA U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI

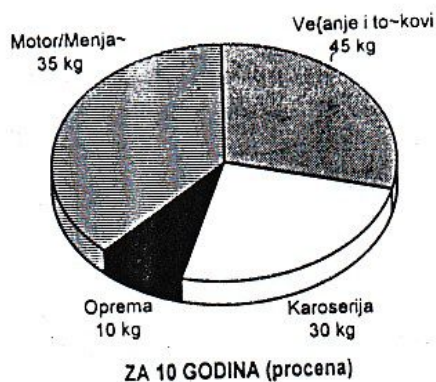
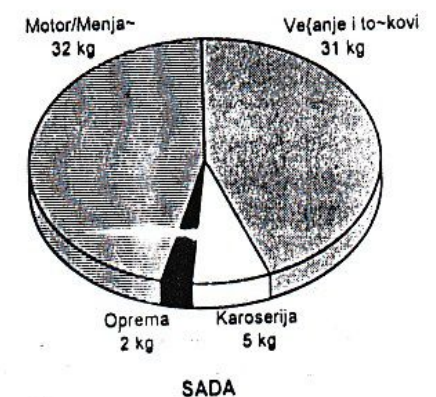
Prva primena aluminijuma u konstrukciji automobila datira još iz dvadesetih godina ovog veka (Rols-Rojs), ali je prava industrijska proizvodnja pojedinih delova karoserije automobila započela je korišćenjem legura AL-Mg-Zn osamdesetih godina (poklopac motora, vrata, blatobrani i sl. - delovi koji se "vešaju" za karoseriju). Na svetskom tržištu već postoje automobili čija je celokupna karoserija izrađena od Al-legura (Audi A8, Mazda AZ550, Porsche EXP, Honda NS-X i sl.). Opšta prognoza primene Al-legura kod automobila sa klasičnom karoserijom, pokazana je na sl. 1 /2/. Upoređenja su data za evropske automobile za 1998. godinu i stanje nakon 10 godina. Ukupan procenat učešća Al-legura raste sa 6 na 12%, odnosno sa 70 na 120 kg ukupno ili sa 5 na 30 kg po karoseriji. Japanske prognoze su drugačije i predviđaju učešće Al-legura do 15% kod automobila srednje i niže klase, i do 25% kod automobila visokih performansi.

Poslednje dve decenije konvencionalne konstrukcije automobila su sve teže i teže. Razlozi za ovo leže u porastu zahteva za više sigurnosti (vazdušni jastuci, anti-blok sistemi na kočnicama, ojačanja na bočnim stranama i sl.), za više udobnosti (klimatizacija, snažnije kočnice, tačnije upravljanje i

sl.), za bolje performanse i sl. Prilagodavanje snage motora ovim zahtevima uslovljava snažnije šasijske i povećanje mase. Savladavanje dugih rastojanja zahteva povećanje veličine rezervoara; prednje zahteve prati i porast krutosti karoserije.

U novijem, složenijem pristupu konstrukciji karoserije, njena osnova se radi isključivo od aluminijuma. Na ovaj način, značajno se smanjuje masa automobila. U sledećem koraku, mogu se rekonstruisati i ostali delovi i koristiti lakši materijali. Ova prva dva koraka dovode do dodatnih troškova. Zadržavajući performanse automobila konstantnim, omogućava se korišćenje manjeg motora i menjača. Za lakšu karoseriju i motor manje snage, koristi se i lakša šasija, manji rezervoar i sl. Poslednja tri koraka u ovakvoj proceduri smanjuju troškove eksploatacije automobila, sl.2. /3/

U početku korišćenja Al-legura u ove svrhe, vršena je prosta zamena čeličnih limova sa aluminijumskim, pri istim debljinama. Na ovaj način, ostvareno je smanjenje težine i do 66%, ali uz smanjenu krutost i određene funkcionalne slabosti /3/. Lokalna ojačanja mogu da reše neke od ovih problema, ali koncepcija u osnovi odgovara onoj pri korišćenju čeličnih limova. Kako je navedeno, rešenje predstavlja nova koncepcija, gde je čitava karoserija urađena od aluminijuma. Kod nje se koriste limovi od Al-legura i delovi od Al dobijeni istiskivanjem i livenjem. Ispitivanja su pokazala da se zamenom



Sl.1. Korišćenje Al na vozilima (samo Al-legure) /2/



Sl.2. Strategija koja dovodi do smanjenja mase automobila /3/

lokalnog ojačanja profilom kvadratnog preseka od čelika istim od Al, ostvaruje umanjene mase za 50%, uz nepromenjenu funkcionalnost.

3. KARAKTERISTIKE LIMOVA OD AL-LEGURA

Za delove karoserije uglavnom se koriste tri grupe Al-legura: Al-Cu (serija 2000), Al-Mg (serija 5000) i Al-Mg-Si (serija 6000). Mala težina, otpornost na koroziju i mogućnost reciklaže su najvažnije osobine koje Al-legure čine pogodnim za korišćenje u automobilske industriji. Jedna od specifičnosti Al-legura je u tome, da se mogu dobiti u velikom broju stanja, s obzirom na ostvareni stepen deformacije ili termičku obradu u toku valjanja. Pri zameni čeličnih limova, koriste se Al-limovi uvećane debljine za 20-40% /4/.

Osnovne karakteristike Al-legura su :

- granica tečenja i zatezna čvrstoća su niži u odnosu na čelik,
- modul elastičnosti ima tri puta manju vrednost u odnosu na čelik,
- izduženje, naročito lokalno, je malo,
- koeficijent normalne anizotropije je mali (ispod 1),
- relativno mala tvrdoća sa površinom koja se lako oštećuje.

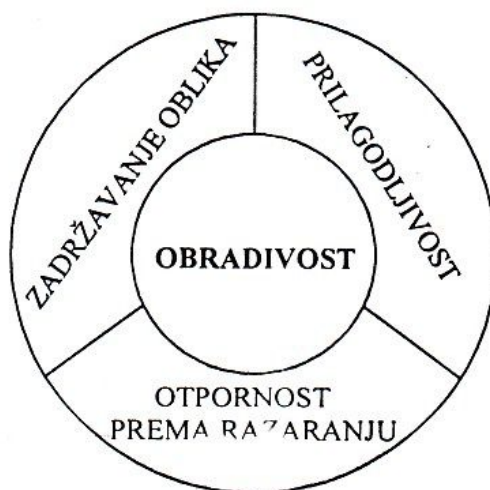
Skup svojstava koji čine kompleksnu obradivost limova za duboko izvlačenje, pokazan je na sl.3. Otpornost prema razaranju predstavlja obradivost u užem smislu, i posebno se izučava u okviru tzv. granične deformabilnosti materijala /5/.

Zbog umanjenog modula elastičnosti, pri oblikovanju je izražen problem zadržavanja oblika komada (tzv. "shape fixability"). Ovi materijali poseduju dobra svojstva ravnomernog izduženja, iskazana preko "n-faktora", ali su zbog male vrednosti "r-faktora" inferiorni u odnosu na čelik pri obradi dubokim izvlačenjem, sl.4. /1/.

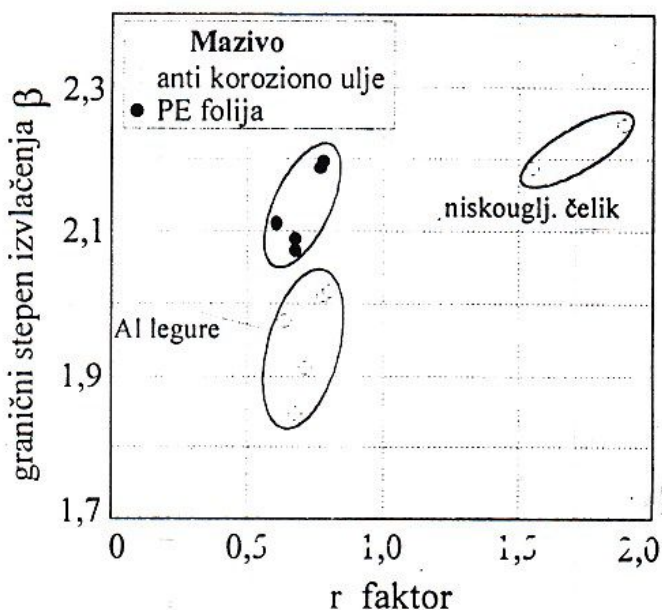
Kod nekih Al-legura dolazi pri deformisanju do pojave Lüders-ovih linija, tzv. tipa A i B, koje bitno utiču na kvalitet površine oblikovanih delova, odnosno estetski izgled spoljašnjih elemenata karoserije. Ovakvi materijali se mogu koristiti isključivo za izradu unutrašnjih delova karoserije.

Očigledno je da Al-legure imaju umanjenu obradivost u odnosu na čelik. Pri izučavanju obradivosti ovih materijala u potpunosti se može koristiti metodologija razvijena za slučaj korišćenja čeličnih limova (mehaničke karakteristike, testovi čistog dubokog izvlačenja, razvlačenja, dijagrami granične deformabilnosti, testovi defleksije i sl.). Tribološki uslovi imaju izuzetan značaj pri obradi Al-legura dubokim izvlačenjem, pre svega zbog male tvrdoće i intenzivnog vezivanja Al za čelik. Za definisanje optimalnih kontaktnih uslova, posebno vrste i zone nanošenja maziva, koriste se poznati tribo-testovi: klizanje trake od lima između ravnih

kontaktnih površina, preko zateznog rebra, kao i složeniji modeli (duboko izvlačenje, razvlačenje) /6/.



Sl.3. Elementi obradivosti karoserijskih limova



Sl.4. Pokazatelji obradivosti Al-legura /1/

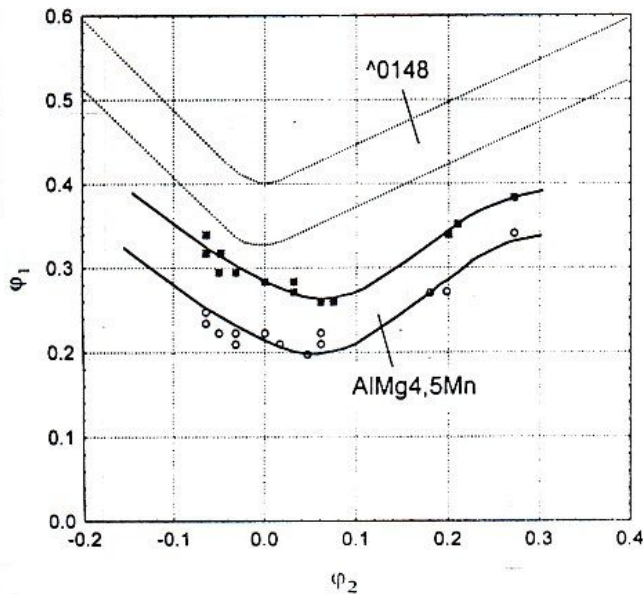
Preporučuje se da za stabilnu obradu dubokim izvlačenjem vrednost kinematskog koeficijenta trenja mora biti ispod 0,1. Ovo se može obezbediti korišćenjem čvrstih mazivih filmova ili korišćenjem limova sa prevlakama na bazi hroma /7/.

Probna ispitivanja su vršena sa limom od legure AlMg4,5Mn, debljine 0,8 mm i 0,9 mm. Karakteristike ovog materijala detaljno su razmatrane u radovima /4,8/. Dijagram granične deformabilnosti za čelični i lim od Al-legure pokazan je na sl.5. Očigledna je razlika u sposobnostima za oblikovanje, posebno u području ravanskog deformacionog stanja (zona savijanja oko malih radijusa).

Obrada dubokim izvlačenjem je realizovana u pogonskim uslovima, na liniji na kojoj se proizvodio navedeni deo (prednji desni blatobran za vozilu

YUGO) od čeličnog lima. U prvim probama, pri neizmenjenim radnim uslovima, dolazilo je do razaranja u zonama zateznih rebara. Posle uzastopnih podešavanja sile držanja i visine zateznih rebara, izmene mesta podmazivanja uz korišćenje visoko viskoznih maziva i folija polietilena, i novog balansiranja držača, uspešno je dobijen otpresak. U kasnijim fazama povijanja, odsecanja i sl., na mestima oštrog savijanja kod debljeg lima, dolazilo je do pojave lokalnih pukotina, koje ne ugrožavaju funkcionalnost komada (detaljnije o rezultatima probnih ispitivanja u radu /8/).

4. ZAKLJUČAK



Sl.5. Dijagram granične deformabilnosti za čelični i lim od Al-legure

Na osnovu izvršenih razmatranja, laboratorijskih i proizvodnih ispitivanja, može se zaključiti sledeće:

- u obradnim uslovima koji važe za duboko izvlačenje čeličnih limova, mogu se dobiti uspešno delovi od Al-legura posle neophodnih izmena proizvodnih uslova (sužavanje radnog područja sile držanja s obzirom na pojavu nabora, odnosno razaranja; izmena geometrija zateznih rebara; promena šeme podmazivanja uz korišćenje maziva visoke viskoznosti na pojedinim mestima),

- imajući u vidu osetljivost površine limova od Al-legura potrebno je posvetiti posebnu pažnju njihovom skladištenju i manipulaciji (zaštitne folije i sl.).

Uopšteno posmatrano, poteškoće pri dubokom izvlačenju Al-legura je moguće grupisati na sledeći način:

- ne može se jasno upravljati standardnim elementima obradivosti, čime je otežan pravilan izbor materijala za pojedine delove,

- menja se radno područje sile držanja, s obzirom da je potrebno ostvariti veće pritiske na mestu držača (zadržavanje oblika) i istovremeno redukovati trenja na obodu,

- s obzirom na nemagnetičnost Al-legura manipulacija sa delovima je otežana.

Rešavanje ovih problema može se ostvariti razvojem novih legura sa uvećanom obradivošću, redizajniranjem geometrije komada (eliminacija pritisnih uz uvećanje zatežućih napona), novim tehnologijama oblikovanja (upravljanje silom držanja po intenzitetu i po zonama držanja u realnom vremenu), razvojem i usklađivanjem metoda za određivanja posebnih parametara obradivosti (ulazni parametri za upravljanje), usavršavanjem tehnike podmazivanja i sl.

LITERATURA

- /1/ Hayashi H., Nakagawa T., Recent trends in sheet metals and their formability in manufacturing automotive panels, *Jornal of Mater. Process. Techn.*, 46, 1994, 455-487.
- /2/ Nonomura K., Tamada K., Ohno N., Stamping Engineering For Body Weight Reduction, *IBEC 97, Body Assembly & Manufacturing*, 17-25.
- /3/ Nagler M., Hummel S., Kaiser M., Zengen K.H., The Aluminium Trade A8, *Confer., Aluminium 97, Essen, 1997., Proceed. 5/1-5-4/*.
- /4/ Romhanji E., Milenković V., Jovanović D., Jovanović J., Izbor Al-legura za automobilsku industriju, VII Konferencija industrije aluminijuma Jugoslavije, Herceg Novi, 1999., *Zbornik radova*, 78-85.
- /5/ Stefanović M., Samardžić M., Petrović M., Obradivost limova od Al-legura pri dubokom izvlačenju delova za karoserije, *27.SPMJ, NIŠ, 1998., Zbornik radova (CD)*.
- /6/ Stefanovic M. Aleksandrovic S., Complex aproach to tribo-modelling in deep drawing of thin sheets, *BALKANTRIB '96, 2nd Int.Conf. on Tribology, Thessaloniki, 1997., Proceed. 214-221*.
- /7/ Sato A., Nakamura S., Tomioka Y., Automobile Aluminium Panel Stamping Mass Production Technology, *IDDRG'94, Lisbon, Proceedings, pp.479-490*.
- /8/ Stefanović M., Milovanović M., Jovanović J., Samardžić M., Perspektive primene Al-legura za auto industriju i dosadašnja iskustva u nekim programima "Zastava automobila", VII Konf. industr. aluminijuma Jugoslavije, Herceg Novi, 1999., *Zbornik radova*, 96-103.