

SAVREMENI MATERIJALI ZA IZRADU LAKIH KAROSERIJA PUTNIČKIH AUTOMOBILA I NJIHOVA OBRADIVOST

M.Stefanović¹, S.Aleksandrović², M.Milovanović³, M.Samardžić⁴

Rezime

Umanjenje potrošnje goriva i smanjenje emisije izduvnih gasova za sve svetske proizvođače automobila, predstavlja jedan od najvažnijih razvojnih zadataka. Integrišući najnovija dostignuća u oblasti nauke i tehnike, posebni rezultati u ovoj oblasti su ostvareni u konstrukciji motora i izradi lakih karoserija 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. U radu se daje pregled ovih materijala, navodi oblast primene, daju glavne prednosti i nedostaci, opisi parametara obradivosti i izlažu rezultati istraživanja, prvenstveno u oblasti granične deformabilnosti limova povećane čvrstoće, limova od Al-legura i laminatnih limova.

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. S obzirom na dugogodišnje korišćenje skoro isključivo limova od niskougleničnih čelika u ovu svrhu, prelazak na uslovno, nove materijale, donosi i niz poteškoća tehnološke prirode.

U tabeli 1 naveden je pregled materijala i postupaka koji omogućavaju izradu lakih karoserija automobila. Zbog ograničenog prostora, u radu će se govoriti o nekim karakteristikama obradivosti samo tri osnovne grupe materijala iz tabele 1.

Prosečni udeo karoserije u ukupnoj masi putničkih automobila iznosi 32%. U principu, smanjenje mase karoserije može se ostvariti promenom koncepcije strukture karoserije i/ili zamenom klasičnih materijala lakšim. Ovakvi materijali omogućavaju smanjenje težine uz zadovoljavanje zahteva za povećanom krutošću, čime se smanjuje potrošnja goriva i otvara prostor za ugradnju elemenata koji automobil čine pouzdanijim i udobnijim.

Osnovna koncepcija pri izboru materijala za karoserije mora uvažavati sledeće značajne elemente /1/: cenu, kvalitet i stabilnost kvaliteta, pouzdanost nabavke, funkcionalne karakteristike (efekat smanjenja težine, čvrstoća, otpornost na koroziju), mogućnost masovne

¹ Prof.dr Milentije Stefanović, Mašinski fakultet u Kragujevcu

² Doc. dr Srbislav Aleksandrović, Mašinski fakultet u Kragujevcu

³ Dr Milan Milovanović, Institut za automobile-Zastava, Kragujevac

⁴ M.Samardžić, dipl.ing., Institut za automobile-Zastava, Kragujevac

proizvodnje (obradivost pri oblikovanju, zavarivanje i mogućnost spajanja, izmena konvencionalnog načina proizvodnje), iskorišćenje otpada i reciklažu.

Tabela 1

Tehnologija za smanjenje težine	Današnja primena	Idealni oblik primene	Ocena uvođenja			
			cena	oprema	efekat	teškoće
Primena limova od Al-legura	Blatobrani, haube i sl.	Kompletna karoserija	+	+	o	x
Primena limova od ČPČ	Spoljašnji otpresci, povećanje krutosti	Za unutrašnje delove Rm=590MPa, za spoljašnje Rm=390MPa	+	o	+	+
Primena sendvič-limova	Karter motora, unutrašnji otpresci	Za spoljašnje i unutrašnje delove	x	+	o	x
Primena "iskrojenih" limova	Bočne stranice, vrata, blatobrani	Izvlačenje u jednom alatu sa što tanjim limovima	o	x	+	+
Korišćenje limova sa velikim r-faktorom	Spoljašnji otpresci	Tanji limovi, koji obezbeđuju pouzdanu eksploataciju	o	o	+	o
Lasersko ojačavanje	Razmatra se uvođenje kod novih modela	Kompletna eliminacija delova za ojačanje karoserije	o	x	+	+

Oznake - o: jednostavno, jeftino; +: srednje; x: ekstremno sa teškoćama

2.MATERIJALI ZA IZRADU LAKIH KAROSERIJA

S obzirom na dosadašnja iskustva u automobilskoj industriji u proizvodnji standardnih verzija putničkih automobila, najveću primenu su našli limovi od čelika povećane čvrstoće (LPC), odnosno materijali od legura aluminijuma. U radu će se detaljnije govoriti o obradivosti pri izradi spoljašnjih elemenata karoserija automobila upravo od ovih materijala i sendvič-limova, pri čemu se njihova obradivost tretira na kompleksan način, kao otpornost prema razaranju, prilagodljivost u procesu oblikovanja i sposobnost zadržavanja oblika.

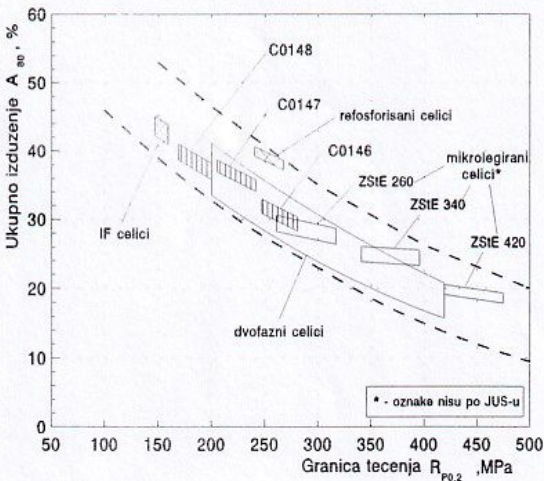
2.1. Limovi od čelika povećane čvrstoće

Čelici povećane čvrstoće imaju izuzetnu primenu u mašinogradnji, s obzirom da obezbeđuju visoku krutost uz smanjenje težine konstrukcije. LPC omogućavaju izradu karoserija automobila povišene krutosti, manje težine sa zadovoljavajućim performansama standardnih testova izdržljivosti (akumuliranje energije pri sudaru, oscilatorna udobnost i sl.). Prva primena LPC počela je sedamdesetih godina, kao odziv na energetska krizu i neprekidno je rasla, posebno u japanskoj auto-industriji. Procenjuje se da će sadašnje učešće delova od LPC od oko 20% porasti na blizu 43%, pri čemu se težina karoserije smanjuje za 10 do 20%. Koriste se za dobijanje delova, koji ne zahtevaju visok stepen deformacije (blatobrani, haube, unutrašnja ojačanja i sl.) Na sl. 1 označeni su osnovni materijali, od kojih se izrađuju delovi karoserija automobila /2/. Očigledno je da plastičniji materijali imaju nižu granicu tečenja i lakše se oblikuju (standardni materijal je niskougljenički čelik Č0148P5). U

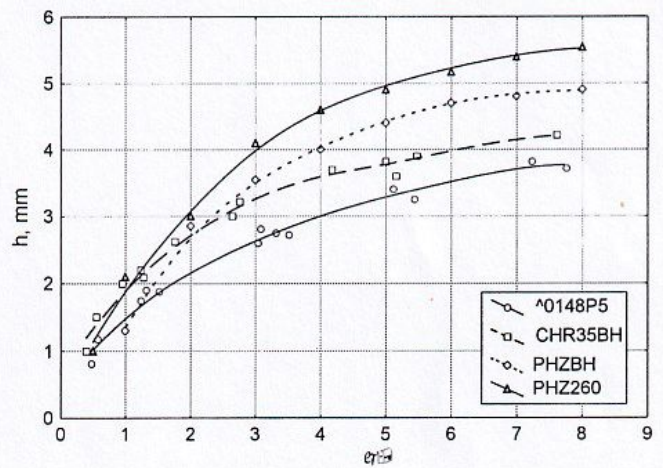
onosu na klasične materijale, ovi limovi imaju nepovoljne karakteristike obradivosti i višu cenu za istu težinu.

Generalno posmatrano, pri korišćenju LPC, mogu se razlikovati dva slučaja: mogućnost primene LPC u okviru postojeće tehnologije i projektovanje nove tehnologije, koja u osnovi podrazumeva karakteristike LPC.

Uobičajena podela ovih čelika je na konvencionalne mikrolegirane, refosforisane i dvofazne. S obzirom na izražena svojstva čvrstoće, u odnosu na standardne čelike, pri oblikovanju LPC dominantna postaju svojstva defleksije, odnosno, sposobnost zadržavanja oblika i prilagodljivost obliku alata. Stepem defleksije se može izraziti na različite načine: preko visine nabora, odnosa zadatih i ostvarenih mera i uglova na otpresku, promene karakterističnog geometrijskog parametra sa hodom izvlakača i sl. Na sl.2 pokazani su eksperimentalni rezultati pri ispitivanju defleksije, prema tzv. Yoshida-testu. Ispitivani su domaći i uvozni materijali, u okviru širih istraživanja mogućnosti primene LPC /2/ (PH-refosforisani lim, BH-lim sa Bake-hardening efektom).



Sl.1. Karakteristike limova koji se koriste za karoserije vozila



Sl.2. Zavisnost visine nabora od stepena deformacije

Osnovne tehnološke mere za smanjenje defleksije su uglavnom, sledeće: ostvarivanje dodatnog zatezanja u kritičnim zonama, izmena pravca tečenja metala, optimizacija oblika i veličine razvijenog stanja, primena zateznih rebara, izmena geometrije izvlakača i šeme podmazivanja i sl.

2.2. Limovi 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 automobilskoj 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% /3/.

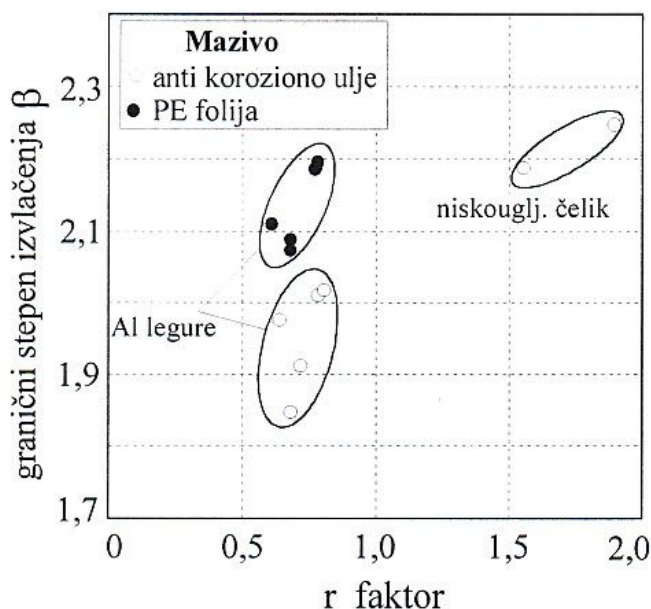
Osnovne karakteristike Al-legura su: granica tečenje i zatezna čvrstoća su niži u odnosu na čelik; modul elastičnosti ima tri puta manju vrednost u odnosu na čelik; izduženje, naročito lokalno, je malo; koeficijent normalne anizotropije je mali (ispod 1); relativno mala tvrdoća sa površinom koja se lako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

Prva primena aluminijuma u konstrukciji automobila datira još iz dvadesetih godina ovog veka (Rolls-Roys i Pomeroy /4/), ali je prava industrijska proizvodnja pojedinih delova karoserije automobila (poklopac motora, vrata, blatobrani i sl. - delovi koji se "vešaju" za karoseriju) započela korišćenjem legura aluminijuma na bazi bakra 2036-T4 i magnezijuma 5182-O osamdesetih godina. Na svetskom tržištu već postoje automobili čija je celokupna

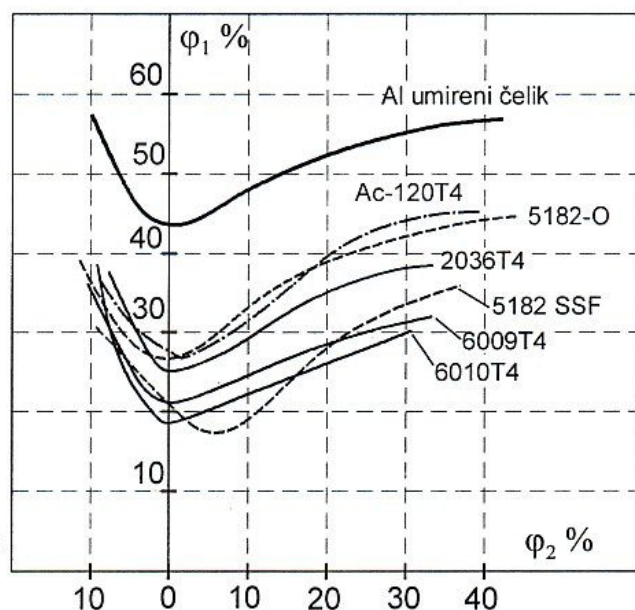
karoserija izrađena od Al-legura (Audi A8, Mazda AZ550, Porsche EXP, Honda NS-X i sl.), ili najnoviji A2. Prema evropskim izvodima, ukupan procenat učešća Al-legura za 10 narednih godina imaće porast sa 6 na 12%, odnosno sa 70 na 120 kg ukupno po vozilu, ili sa 5 na 30 kg po karoseriji. Japanske prognoze su drugačije i predviđaju učešće Al-legura do 15% kod automobila srednje i niže klase, i do 25% kod automobila visokih performansi /6/.

Najnoviji automobil u evropskoj produkciji firme Audi A2, sa kompletnom karoserijom od Al-legura, pripada tzv. drugoj generaciji i konceptijski se oslanja na stariji model A8. Planira se potrošnja ispod 3 litra, sa snagom motora od 45 kW. Predviđa se godišnja produkcija od 60000 jedinica u 2001. godini. Karoserija sadrži 18% presovanih profila (AA6009), 22% livenih (AA6016), a 60% otpada na limove od Al-legura (AA6022). Spajanje se izvodi laserskim i zavarivanjem u zaštitnoj atmosferi, a naknadna zaštita, montaža i dr. podrazumevaju najnovija saznanja i tehnološka rešenja u ovim oblastima /5,6/.

Zbog umanjenog modula elastičnosti, pri oblikovanju je izražen problem zadržavanje 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.3./1/. Razlika u sposobnostima oblikovanja je očigledna prema položaju krivih u dijagramu granične deformabilnosti, sl.4 /3/.



Sl.3. Pokazatelji obradivosti Al-legura



Sl.4. Dijagrami granične deformabilnosti

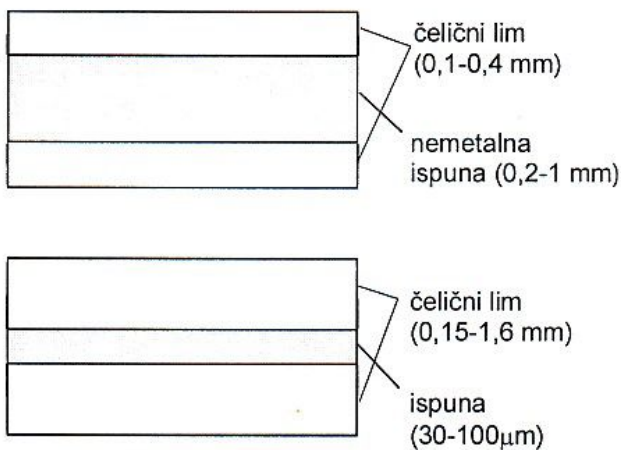
Kod nekih Al-legura dolazi pri deformisanju do pojave L•ders-ovih linija, tzv. tipa A i B, koje bitno utiču na kvalitet površine oblikovanih delova, odnosno estetski izgled spoljašnjih elemenata karoserije. Ovakvi materijali se mogu koristiti isključivo za izradu unutrašnjih delova karoserije. Očigledno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

2.3. Čelično-plastični laminatni limovi

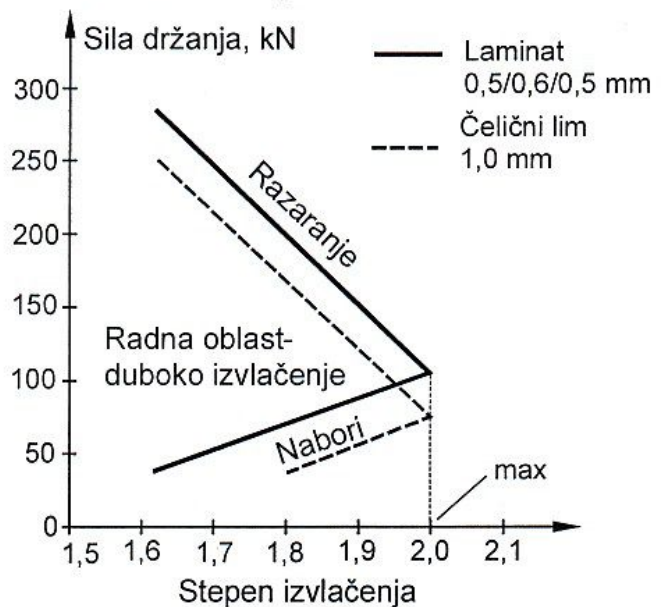
Čelično-plastični laminatni limovi (sendvič materijali, kompozitni materijali) su vrlo zanimljivi za izradu elemenata karoserija automobila, a neke vrste su već ušle u praktičnu upotrebu. U zavisnosti od debljine ispune, sendvič limovi se mogu podeliti na one za smanjenje težine (laki sendviči) i one za prigušenje vibracija, sl. 5.

Laki sendvič-limovi imaju deblji sloj ispune od limova za prigušenje vibracija, i mogu doprineti smanjenju težine konstrukcije do 30%. Između limova se nalazi termo-elastična ispuna, sa dobrim karakteristikama prigušenja, odnosno sa metalnim ili grafitnim uključcima koji poboljšavaju zavarljivost. U eksploataciji, pri relativnom mikropomeranju jednog u odnosu na drugi lim, dolazi do visko-elastičnog deformisanja unutar ispune i redukcije vibacione energije u sistemu koji se prigušuje. Za ispunu se najčešće koriste polipropilen, najlon ili polietilen.

Karakteristike čvrstoće i izduženja, kao i opšti parametri obradivosti, odgovaraju karakteristikama elemenata strukture sendvič-materijala. S obzirom na vrlo izraženu sklonost ka stvaranju nabora na obodu komada koji se izvlači, neophodno je uvećati silu držanja, što dovodi do smanjenja graničnog stepena izvlačenja /1,7/. Pri savijanju se mogu ostvariti značajno mali radijusi savijanja, uz prisutno iskrivljenje u zoni van pravih delova kalupa. Do ove greške dolazi zbog razlika u radijusima savijanja gornjeg i donjeg lima i adhezionih karakteristika u zoni spajanja ispune i lima, a veličina greške zavisi i od ugla savijanja. Uopšteno posmatrano, obradivost ovih materijala raste sa povećanjem smicajne adhezione čvrstoće. Merne metode za određivanje ove karakteristike još uvek nisu standardizovane, već se ispitivanja vrše u skladu sa pojedinim fabričkim normama /7,8/.



Sl.5 Struktura laminatnih limova



Sl.6. Radno područje pri dubokom izvlačenju

Mnogi delovi se mogu bez teškoća raditi od laminata, u uslovima koji važe za standardni čelični lim. Zbog porasta sile držanja, moguće su pojave razaranja. Takođe, uvećana je sklonost ka defleksiji, koja zavisi od čvrstoće adhezione veze, debljine i prirode ispune. Poseban problem predstavljaju svojstva ovih materija ka zadržavanju oblika, ostvarenog u alatu za duboko izvlačenje. U operacijama probijanja i prosecanja, zbog razdvajanja nehomogenih materijala vrlo različitih čvrstoća, alati se intenzivno habaju. Netačnosti pri savijanju mogu se eliminisati korišćenjem limova različitih debljina i/ili različitih čvrstoća, uvećanjem smicajne adhezije između limova i ispune, dodatnim kalibrisanjem i sl.

Pri istim odnosima izvlačenja, neophodno je uvećati silu na držaču, sl.6 /8/. Krive granične deformabilnosti za sendvič-materijale se nalaze u području koje važi za čelične limove. Bolja svojstva se odnose na oblast dvostranog zatezanja, a lošije u polju čistog dubokog izvlačenja.

Pojava defleksije na delovima za unutrašnju ugradnju, npr. kod kartera motora automobila, i sl. ne ograničava njihovu ugradnju. Kod spoljašnjih otpresaka, poseban problem u vezi defleksije, može nastati pri pečenju boje i pojavi temperaturnih deformacija.

3. ZAKLJUČAK

Generalno posmatrano, poteškoće pri dubokom izvlačenju LPC, Al-legura i laminatnih limova, moguće je 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 (izbegavati "galling"-pojave),
- veoma su pogodni materijali koji naknadno ojačavaju starenjem, uz dobre osobine pri oblikovanju,
- imajući u vidu osetljivost površine i nemagnetičnost limova od Al-legura potrebno je posvetiti posebnu pažnju njihovom skladištenju i manipulaciji (zaštitne folije i sl.).
- smanjenje težine konstrukcije ne može se ostvarivati na račun umanjenja krutosti, otpornosti na ulegnuće i sl.

Rešavanje ovih problema može se ostvariti razvojem novih materijala-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, hidro-oblikovanje i sl.), razvojem i usklađivanjem metoda za određivanja posebnih parametara obradivosti (ulazni parametri za upravljanje), usavršavanjem tehnike podmazivanja i sl.

4. 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 / Stefanovic M., Aleksandrovic S., Milovanovic M., Jevtic R. :High Strength Steel for Automotive Panels and their Formability, Metallurgy and New Materials Researches, 1998., Vol. VI, No.4, pp. 29-42.

/3/Romhanji E., Milenković V., Jovanović D., Jovanović J.: Izbor Al-legura za automobilsku industriju, VII Konf. ind. Al, H. Novi, 1999., Zbornik radova, 78-85.

/4 /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. ind. Al, H. Novi, 1999., Zbornik radova, 96-103.

/5/ Farmer I.: Audi gears up for higher volume spaceframe production, Aluminium Today, 1/2, 2000., 43-44.

/6 / Bursa M., Audi takes saceframe technology a step further, ISATA magazine, April 2000, 12-13.

/7/ Nonomura K., Tamada k., Ohno N., Stamping Engineering for Bory Weight Reduction, IBEC '97, Body Assembly & Manufacturing, 17-25.

/8 / Finckenstein E., Drewes J., Deep Drawing Simulation of Vibration Damping Steel Sheets, 19th IDDRG Biennial Congress, Eger, 2000., Proceed., 215-230.

NEW MATERIALS FOR LIGHT PASSENGER CARBODY MAKING AND THEIR FORMABILITY

Abstract

Reduction of fuel consumption and decrease of exhaust gases emission are among the most important working tasks for car producers from all over the world. Integration of the latest achievements in the area of science and technics has led to the realization of special results in

this area, regarding motor construction and light carbody making. With that purpose, in the last few years materials for manufacture of carbodies of reduced weight, such as steel sheet metals of increased strength, Al-sheet metals, titan and its alloys, sandwich and composite materials, were used more and more. The paper gives survey of these materials, the application area, main advantages and disadvantages, description of formability parameters and results of researches, primarily in the area of boundary formability high strength steel sheet metals, Al-alloys sheet metals and steel-plastic laminate sheets.