

NOVI MATERIJALI I TEHNOLOGIJE U IZRADI DELOVA KAROSERIJA PUTNIČKIH AUTOMOBILA

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

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

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

Rezi me

U radu se daje pregled karakteristika novih materijala za izradu pojedinih elemenata karoserije automobila smanjene težine: limova povećane čvrstoće i novih Al-legura. Takođe, navode se neki elementi razvoja u oblasti upravljanja procesom dubokog izvlačenja, pre svega upravljanjem silom držanja pri obradi. S obzirom na specifične zahteve u pogledu krutosti karoserije, daju se i elementi obradivosti tzv. "Tailor" limova, odnosno prethodno iskrojenih elemenata od limova različitih debljina, koji se posle laserskog zavarivanja spajaju u jedinstveno razvijeno stanje, pripremljeno za duboko izvlačenje. Za pojedina od naznačenih istraživačkih područja, navode se i rezultati sopstvenih istraživanja.

Ključne reči: Obradivost, duboko izvlačenje, lake karoserije

S u m m a r y

This paper gives survey of light materials characteristics for manufacture of particular carbody elements made of such materials: high strength steel and new Al-alloys. Also, some directions of the development in the area of deep drawing process control are given, first of all control of blank holding force in forming. Considering the specific demands regarding the carbody stiffness, formability elements of so called "Tailored" sheet metals are given. i.e. formability elements of previously cut out sheet metal elements of various thickness, which are, after laser welding, joined together into undivided blank, ready for deep drawing. For some of the designated researching areas, the results of proper researches are given

Key words: Formability, deep drawing, light autobody

1. Uvod

Poslednjih nekoliko decenija automobilska industrija doživljava intenzivan razvoj, koji integriše najnovija dostignuća u oblasti nauke i tehnike. Razvoj i korišćenje novih materijala za automobilske karoserije usklađen je sa opštim društvenim zahtevima, štednjom ekonomskih resursa, očuvanjem energije i ekologijom, bezbednošću putnika i sl. 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 materijali i sl. Smanjenjem težine uz zadovoljavanje zahteva za krutošću karoserije, umanjuje se potrošnje goriva i otvara prostor za dodatnu ugradnju elemenata aktivne bezbednosti. Međutim, jednostavna zamena i uvođenje novih materijala zahteva i niz tehnoloških usklađivanja u postojećem proizvodnom procesu, odnosno

kreaciju potpuno novih elemenata obradnog sistema.

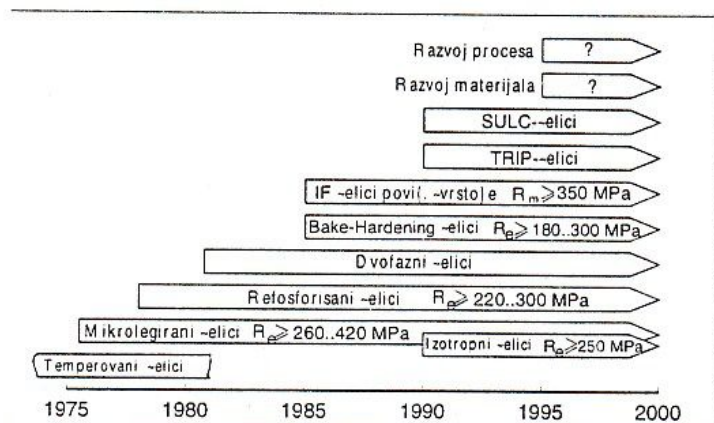
2. Materijali za lake karoserije automobila

2.1. Limovi od čelika povećane čvrstoće (LPC)

Prva primena LPC u automobilskoj industriji počela je sedamdesetih godina, u vreme energetske krize, kao odgovor na zahteve za smanjenom potrošnjom goriva. Sadašnje učešće LPC u karoseriji automobila, po opštim prognozama, u budućnosti će iznositi i do 40%. Pri tome se težina karoserije smanjuje za 10-20%.

Osnovne vrste čelika povećane čvrstoće su: konvencionalni mikrolegirani, refosforisani, odnosno legirani fosforom i dvofazni čelici. Čelici legirani fosforom spadaju u novije materijale, sa manje od 1% fosfora. Smanjenjem granice tečenja i povećanjem plastičnosti, dobijaju se tzv. modifikovani-refosforisani čelici, sa znatno povoljnijim karakteristikama obradivosti. Dvofazni

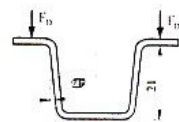
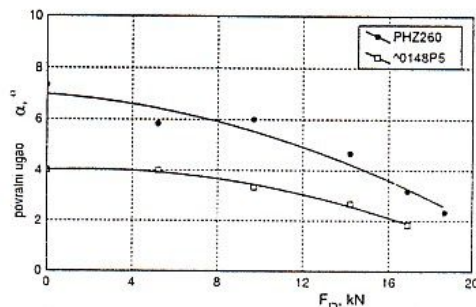
i refoforisani čelici imaju svojstvo da stare već na temperaturi od 200°C, čime se omogućava intenzivno ojačanje elemenata karoserije u fazi pečenja boje (tzv. "Bake-hardening" efekat). Razvoj ČPČ prikazan je na sl.1 /1/.



Sl.1. Razvoj čelika povećane čvrstoće

U odnosu na niskougljenične čelične limove za duboko izvlačenje, ovi limovi imaju nepovoljnije karakteristike obradivosti. Opšte ograničavajuće faktore pri korišćenju LPČ moguće je sistematski prikazati kao skup sledećih svojstava /2/: otpornost prema razaranju, sposobnost zadržavanja oblika (shape fixability) i prilagodljivost obliku alata (fittability). Poslednja dve grupe osobina su karakteristične za LPČ i predstavljaju tzv. defleksiona svojstva (površinski geometrijski defekti na izvučenim otprescima u vidu ulegnuća, ispupčenja, blagih talasa, kao posledica elastičnog ispravljanja i sl.). Osnovni problemi pri obradi LPČ su: otežano podešavanje alata i mašina zbog suženog radnog područja sile držanja, pojava "galling"-a, porast broja delova za doradu, nedovoljna snaga mašina i sl.

Sklonost ka defleksiji se u laboratorijskim uslovima najčešće ispituje na modelima, na kojima se realizuje nehomogeno naponsko-deformaciono stanje (dijagonalno zatezanje kvadratnih epruveta i sl.) pri čemu je pokazatelj veličina nabora, ostvarena deformacija i sl. Elastična povratnost se ocenjuje klasičnim testovima U-savijanja, sl.2. /3/. Oznaka PHZ260 odosi se na LPČ legiran fosforom, domaće proizvodnje.



Sl.2. Elastično ispravljanje pri dvougonom savijanju

Uopšteno posmatrano, pri korišćenju LPČ mogu se razlikovati dva slučaja: mogućnost primene u okviru postojeće tehnologije i projektovanje nove tehnologije, koja uzima u obzir sve navedene karakteristike ovih materijala. I jedan i drugi aspekt predstavljaju značajan istraživački zadatak u razvijenim automobilskim industrijama.

2.2. Limovi od Al-legura

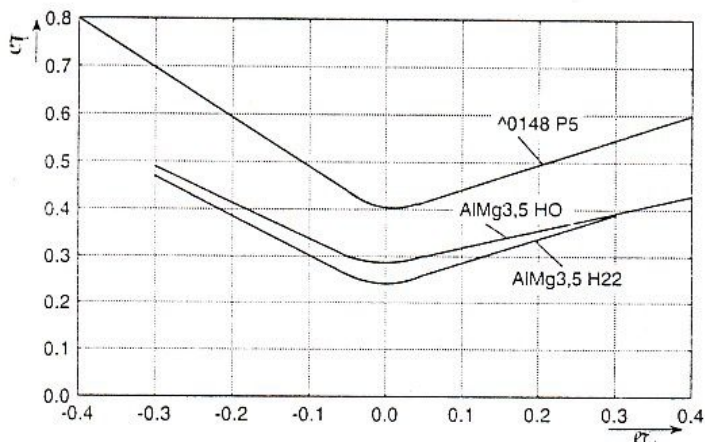
Primena alumijuma za izradu pojedinih delova karoserije automobila je započela korišćenjem legure Al-Mg-Zn osamdesetih godina (poklopac motora, vrata, blatobrani i sl.). Prema istraživanjima japanskog udruženja za lake metale iz 1990. godine, učešće aluminijumskih legura u ukupnoj masi automobila je bilo 8,3%. Na svetskom tržištu već postoje automobili čija je celokupna karoserija izrađena od ovih legura (Audi A8, Mazda AZ550, Porsche EXP). Prema predviđanjima, očekuje se da u bližoj budućnosti učešće specijalnih aluminijumskih legura u ukupnoj masi bude oko 15%, a kod automobila visokih performansi oko 25%. Mala težina, otpornost na koroziju i mogućnost reciklaže najvažnije su osobine Al-legura, pogodnih za korišćenje u automobilskoj industriji.

Za delove karoserija najčešće se koriste trigrupe Al-legura: legure Al-Cu (serija 2000), legure Al-Mg-Si (6000) i legure Al-Mg (5000). Osnovne karakteristike ovih legura su:

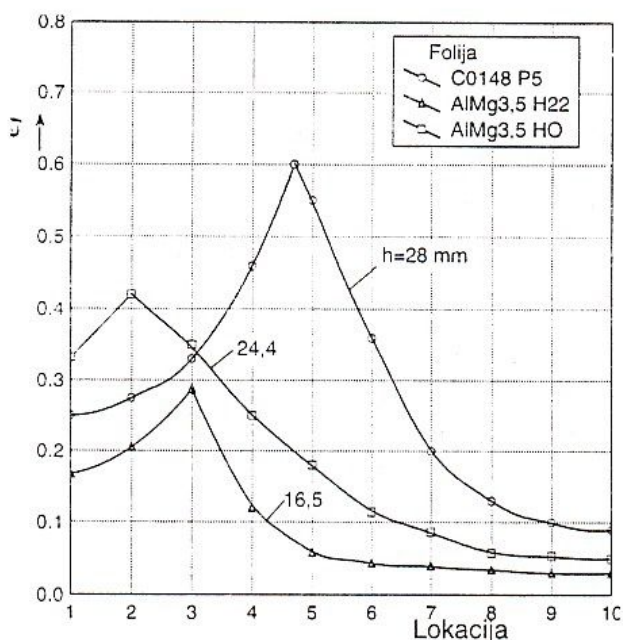
- granica tečenja i zatezna čvrstoća su niži nego kod čeličnih limova,
- modul elastičnosti ima tri puta manju vrednost u odnosu na čelik,
- izduženje, naročito lokalno, je malo,
- prisutno je nehomogeno deformisanje,
- koeficijent normalne anizotropije je mali (ispod 1),
- relativno su meke i površina se lako oštećuje.

Očigledno je da Al-legure imaju umanjenju obradivost u odnosu na čelične limove. Na sl.3 pokazne su krive granične deformabilnosti za

čelični lim i dva stanja legure AlMg3,5 (meko i polutvrdo) a na sl.4 distribucija deformacija pri ispitivanju razvlačenjem. Eksperimenti su vršeni sa izvlačačem prečnika 50 mm i sa limovima debljine 0,7 mm.



Sl.3 Krive granične deformabilnosti



Sl.4 Distribucije deformacija

Na osnovu laboratorijskih i proizvodnih ispitivanja /5/, mogu se registrovati osnovni preblemi pri dubokom izvlačenju limova od Al-legura:

- ne može se jasno upravljati elementima obradivosti, čime se znatno otežava pravilan izbor materijala za pojedine otpreske, pre svega zbog male vrednosti r-faktora i niske granice dozvoljenog savijanja usled lokalne deformacije;
- područje sile držanja (prostor između pojave nabora i razaranja) je suženo u odnosu na čelik,
- Al-legure se intenzivno adhezivno vezuju za alat, što dovodi do porasta trenja, oštećenja površina i razaranja komada;

-otežana je sposobnost zadržavanja oblika zbog male vrednosti modula elastičnosti;

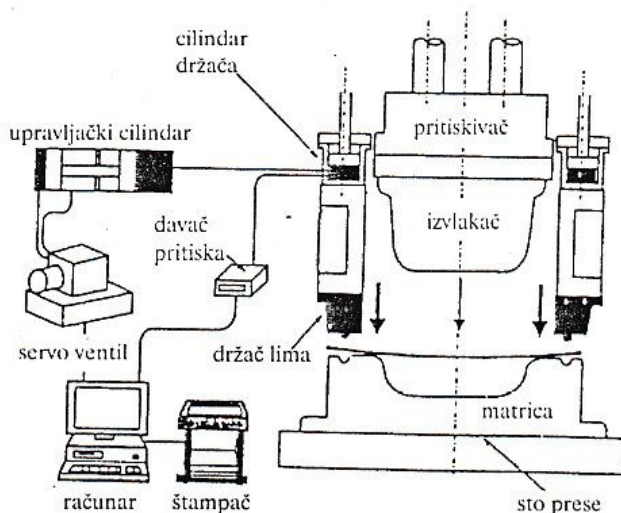
-Al-legure su nemagnetične, pa je otežan klasičan način manipulacije sa komadima.

3. Nove tehnologije i sistemi oblikovanja

Razvoj novih tehnika oblikovanja dubokim izvlačenjem je izuzetno važan, pre svega zbog uspešne obrade novih materijala, kao što su LPC, Al-legure, sendvič materijali i sl., smanjenja troškova proizvodnje u uslovima raznorodne i smanjene produkcije (fleksibilnost proizvodnje).. Navode se samo neki elementi novih tehnologija u ovoj oblasti.

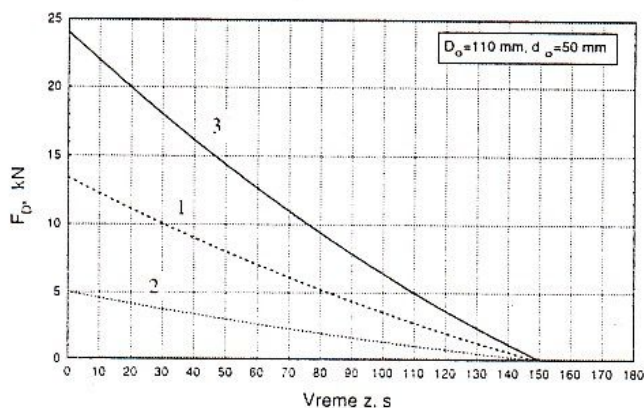
3.1.Upravljanje silom držanja pri izvlačenju

Pri klasičnom dubokom izvlačenju sila držanja lima je stalna, a njena vrednost se bira s obzirom na pojavu nabora na obodu, odnosno razaranja u kritičnom preseku komada koji se izvlači. Pri tome tribološki uslovi na obodu, posebno pritisak i brzina u kontaktu, bitno utiču na vrednost radijalne i tangencijalne komponente sile trenja. Poseban problem predstavlja optimalan izbor zakona promene sile držanja u funkciji hoda, odnosno vremena izvlačenja, koji se ne može unapred generalisati za različite geometrije komada, kontaktne uslove, materijale i sl. Pravilan izbor ove zakonitosti omogućava proširenje radne oblasti pri izvlačenju, korišćenje materijala nižeg kvaliteta, dopunsko ojačanje u pojedinim zonama komada i sl. Sistem upravljanja silom držanja kod standardnih presa dvostrukog dejstva pokazan je na sl.5 /2/. Na sličan način moguće je opremiti i prese jednostrukog dejstva.

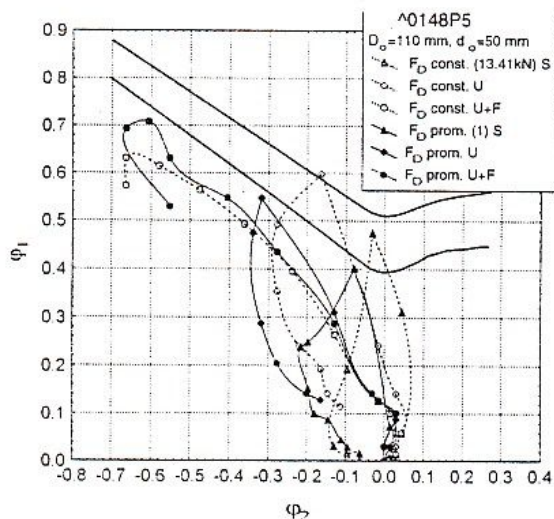


Sl.5 Šema konfiguracije za upravljanje silom držanja u realnom vremenu /2/

U okviru ovakvih istraživanja, na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu izvršena je dogradnja laboratorijske prese za ispitivanje lima Erichsen 142/12 kompjuterskim sistemom, koji pored akvizicije, omogućava dobijanje programski definisane sile držanja /6/. Na sl.6 pokazane su neke od eksperimentalno realizovanih zavisnosti F_D -h, a na sl.7. realizovane raspodele deformacije izvučenih komada. Pogodnijom promenom sile držanja postižu se veće dubine izvlačenja, manja stanjenja i obezbeđuje veća rezerva plastičnosti.



Sl.6. Različite zavisnosti F_D -h

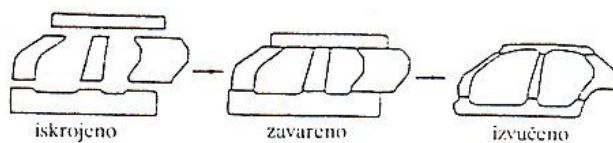


Sl.7. Distribucije deformacija u DGD

3.2. Korišćenje iskrojjenih ("Tailored") limova

Pri konvencionalnom dobijanju velikih delova oplate karoserije automobila uobičajeno je da se oni formiraju zavarivanjem većeg broja manjih otpresaka. U ovom slučaju se mogu koristiti materijali različitih debljina, sa uvećanom granicom tečenja zbog lakših uslova izvlačenja i diti delovi manje težine. Ukoliko se obrada vrši iz jednog razvijenog stanja, tačniji i čistiji komadi se dobijaju uz manje troškove alata za izvlačenje i naknadnu obradu.

Prednosti oba navedena postupka se mogu realizovati korišćenjem tzv. prethodno iskrojjenih ("Tailored") limova pri dubokom izvlačenju. U ovom slučaju se pojedinačne sekcije razvijenog stanja, često od limova različitih debljina ili materijala, laserskim zavarivanjem spajaju u jedinstveno razvijenog stanje, koje se zatim izvlači i dalje obrađuje, sl.8 /2,7/.



Sl.8. Izvlačenje "iskrojjenih" limova

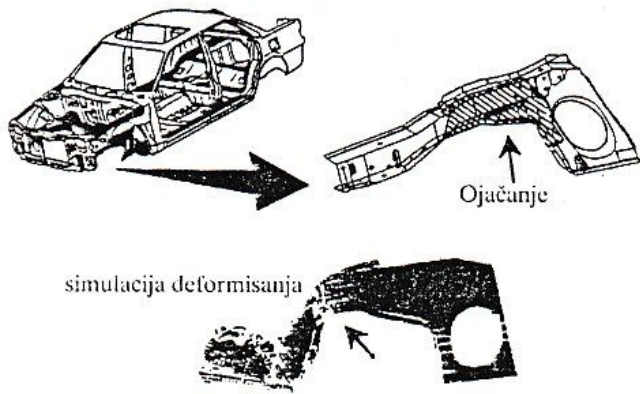
Problemi u obradivosti ovakvih materijala mogu se svrstati u dve grupe:

- izmena svojstava oblikovanja u zoni vara, čija je tvrdoća, prosečno, tri puta veća od tvrdoće osnovnog materijala;
- promena u obradivosti kompletnog komada, prouzrokovana zavarivanjem.

Pri tome je važnio pitanje i optimalna pozicija vara, koja ne mora biti isključivo definisana oblikom komada, već u velikoj meri i zahtevima u fazi oblikovanja. Zavarivanje Al-legura je kritičnije od čeličnih i mora se izvoditi sa puniocem. S obzirom na izvlačenje limova različitih debljina, mora se menjati konstrukcija alata u zoni klizanja vara (otežani tribološki uslovi), kako bi se izbegla brza lokalizacija deformacije u tanjem limu. Zahtevi prema kvalitetu vara su visoki, te se mora obezbediti automatska kontrola zavarivanja. Aktuelnu primenu u ovoj oblasti nalaze alati sa segmentnim držačima i programski upravljanim držanjem. S obzirom na kompleksnost ovakve tehnologije, u njenom razvoju treba rešavati brojne multidisciplinarnе probleme /8/.

3.3. Lasersko ojačavanje delova karoserije

Kod klasičnog ojačanja nosećih delova konstrukcije, ugrađuju se dodatni profili na kritičnim mestima konstrukcije karoserije, čime se povećava težina automobila. Prema metodologiji izloženoj u radovima /9/ i /10/, ojačanje pojedinih elemenata karoserije se može ostvariti bez dodatnih elemenata, laserskim tretmanom osnovne konstrukcije dela. Na ovaj način se može smanjiti težina karoserije. Na sl.9 pokazan je noseći element prednjeg dela konstrukcije, ojačan na klasičan način, sa pozicijom kritičnog mesta posle testa udara u barijeru.



Sl.9 Deo karoserije sa klasičnim ojačanjem

Dejstvom lasera u kritičnoj zoni, moguće je transformisati osnovnu strukturu metala na željeni način i ostvariti ojačanje u toj zoni. Pri tome je neophodno definisati optimalne parametre rada lasera: energiju, brzinu pomeranja glave lasera, a posebno trajektoriju, s obzirom na pravce glavnih napona. Pri ovim transformacijama se formira najčešće martenzitno-austenitna, odnosno austenitna struktura, sa čvrstoćom koja prosečno raste za 20% [10]. Kod ovakvog postupka, posebnu pažnju treba posvetiti antikorozijskoj zaštiti, ako se ojačavaju prethodno zaštićeni limovi.

4. Zaključak

Razvoj novih materijala i tehnologija u automobilskoj industriji, specijalno pri izradi karoserija, prati razvoj ostalih oblasti nauke i tehnike. Osnovni cilj ovakvog razvoja je dobijanje automobila povišene bezbednosti i udobnosti, sa smanjenom potrošnjom goriva. Čelični materijali i sve više Al-legure i dalje ostaju osnovni materijali pri izradi karoserija putničkih automobila, sa rastućim trendom primene kompozita, plastike i sl. Nova tehnološka rešenja u oblasti obrade deformisanjem prate razvoj novih materijala, oslanjajući se na razvoj računara i napredne CAD/CAM i ostale tehnologije.

Literatura

- /1/ Bleck W., Cold-Rolled High-Strength Sheet Steels for Auto Application, JOM, 7, 1996., pp.26-30.
- /2/ Hayashi H., Forming technology and Sheet Materials for Weight Reduction of Automobile, 19th IDDRG Congress, 1996., Eger, Proceed., pp. 13-33.
- /3/ Stefanovic M., Aleksandrovic S., Milovanovic M., Jevtic R., High Strength Steel for Automotive Panels and their Formability, Metallurgy and Materials Researches, Vol.Vi. No.4/1998., pp.29-42.
- /4/ Stefanović M., Samardžić M., Petrović M., Obradivost limova od aluminijumskih legura pri dubokom izvlačenju delova za karoserije, 27. SPMJ, Niš, 1998., Zornik radova (CD).
- /5/ Stefanović M., Jovanović J., i dr. Proizvodnja delova oplata karoserije putničkih automobila od Al-legura, IV Savetovanje metalurga Jugoslavije, Sevojno 1999., (u štampi).
- /6/ Aleksandrović S., Stefanović M., Taranović D., Influence of Variable Contact Conditions on thin Sheets Metals Formability by Deep Drawing. Journal for Technology of Plasticity, Vol. 23(1998), no.1-2, pp. 31-40.
- /7/ Van der Hoeven J., Rubben K., Lambert F., De Rycke I., Scheers J., Formability Issues for Tailored Blanks, 19th IDDRG Congress, Eger, 1996., Proceed., pp.347-356.
- /8/ Vermeulen M., Scheers J., De Boeck A., Tribologi in the Deep Drawing Process, Symposium on Computational and Experimental Methods in Mechanical and Thermal Engineering, Gent, 1998., Proceed., pp. 71-78.
- /9/ Nonomura K., Tamada K., Ohno N., Stamping Engineering For Body Weight Reduction, IBEC97, Body Assembly & Manufacturing, pp. 17-25.
- /10/ Tamada K., Sato A., Nakagawa N., Weight Reduction Technology by Laser Irradiation for Body Parts, 19th IDDRG Congress, Eger, 1996., Proceed., pp. 47-54.