

21. SAVJETOVANJE
PROIZVODNOG
STROJARSTVA
JUGOSLAVIJE

ZBORNİK RADOVA

II

Pokrovitelji

JAZU – JUGOSLAVENSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI - ZAGREB
CIRP – MEĐUNARODNA INSTITUCIJA ZA ISTRAŽIVANJA U PROIZVODNOM
STROJARSTVU - PARIS

Opatija, listopad 1987.

II

ZAJEDNICA JUGOSLOVENSКИH ZNANSTVENO- ISTRAŽIVAČKIH INSTITUCIJA PROIZVODNOG STROJARSTVA

Elektromašinski fakultet, Skoplje - Fakultet za strojni-
štvo, Ljubljana - Fakultet strojarstva i brodogradnje,
Zagreb - IOLA-IAMA, Beograd - Mašinski fakultet, Beograd
- Prvomajska-istraživanje i razvoj, Zagreb - Institut za
proizvodno mašinstvo-FTN, Novi Sad - Institut za indus-
trijske sisteme-FTN, Novi Sad - Mašinski fakultet, Kra-
gujevac - Mašinski fakultet, Niš - Mašinski fakultet,
Sarajevo - Mašinski fakultet, Zenica - Tehnički fakultet,
Titograd - Mašinski fakultet, Mostar - Mašinski fakultet,
Banja Luka - Tehnički fakultet, Priština - Pedagoško teh-
nički fakultet, Čačak - Tehnički fakultet, Rijeka - Visoka
tehnička škola, Maribor - Fakultet za strojarstvo, Split

ORGANIZATOR SAVJETOVANJA

TEHNIČKI FAKULTET RIJEKA
N.Ustanka 58
51000 RIJEKA

MJESTO ODRŽAVANJA SAVJETOVANJA

Kongresni centar Adriatik
OPATIJA, 6-7. listopada 1987.

TISAK: Vera Hofbauer, Rijeka

S A D R Ž A J

B - OBRADA DEFORMACIJOM

V. Vujović	: UTICAJ POZITIVNIH NAPONA NA DEFORMABILNOST MATERIJALA	1
B. Rančić, V. Stoiljković	: NAPONSKO-DEFORMACIONO STANJE NA DELOVIMA TIPA T-RAČVE DOBIJENIM PROŠIRIVANJEM NESTIŠLJIVIM FLUIDOM NA HLADNO	9
A. Ljevar, S. Eremić, G. Banjac-Mijanović, M. Kelčov	: OBRAZOVANJE "PREKLOPA" PRI KOVANJU U KALUPIMA	17
B. Rančić, V. Stoiljković	: NAPONSKO-DEFORMACIONO STANJE PRI PROŠIRIVANJU NESTIŠLJIVIM FLUIDOM DELOVA TIPA SPOJNICE ZA RAM BICIKLE	25
I. Duplančić, J. Prgin	: KARAKTERISTIKE TOKA MATERIJALA KOD ISTISKIVANJA ŠUPLJIH PROFILA	33
M. Stefanović, S. Aleksandrović	: NEKI ASPEKTI KORIŠĆENJA LIMOVA POVIŠENE ČVRSTOĆE ZA DUBOKO IZVLAČENJE	41
V. Stoiljković, B. Dimitrov	: SPAJANJE METALA IMPULSNIM OPTEREĆENJEM	49
B. Musafia	: GRANIČNE METODE ISTRAŽIVANJA PROCESA PLASTIČNE REDUKCIJE	57
M. Vukčević, V. Domazetović	: PRILOG ISPITIVANJU KOEFICIJENTA TRENJA PRI TOPLOM SABIJANJU CILINDRIČNIH UZORAKA OD Al-LEGURE	65
B. Devedžić	: ČINIOCI KOJI UTIČU NA KRIVE GRANIČNE DEFORMABILNOSTI LIMOVA	73
J. Pipan, J. Kadivnik	: EKSPERIMENTALNA METODA ZA UGOTAVLJANJE KRIVULJE MEJNIH DEFORMACIJA SREDNJE DEBELE PLOČEVINE	83
Lj. Bogdanov	: PRILOG ISTRAŽIVANJU DEFORMACIONOG OTPORA KOD KOVANJA U ZAVISNOSTI OD RAZNIH UTICAJNIH FAKTORA SA POSEBNIM OSVRTOM NA OBLIK PRIPREMKA	91
D. Lazarević	: ANALIZA PRITISKA, SILA I MOMENATA UVIJANJA NA VALJCIMA PRI IZRADI LIMENIH V-PROFILA	99
V. Stoiljković, Z. Stamenković	: ICRD2 - PROGRAMSKI SISTEM ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE I ALATA ZA IZVLAČENJE PRIMENOM RAČUNARA	107
D. Vilotić	: PONAŠANJE MATERIJALA PRI SLOBODNOM SABIJANJU PROFILISANIM ALATIMA	115

21. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, OPATIJA, 1987.

NEKI ASPEKTI KORIŠĆENJA LIMOVA POVIŠENE
ČVRSTOĆE ZA DUBOKO IZVLAČENJE

SOME ASPECTS OF HIGH STRENGTH STEEL USE FOR
DEEP DRAWING

M.Stefanović Mašinski fakultet u Kragujevcu, S.Janjić 6,
34000 Kragujevac, Jugoslavija

S.Aleksandrović Mašinski fakultet u Kragujevcu, S.Janjić 6,
34000 Kragujevac, Jugoslavija

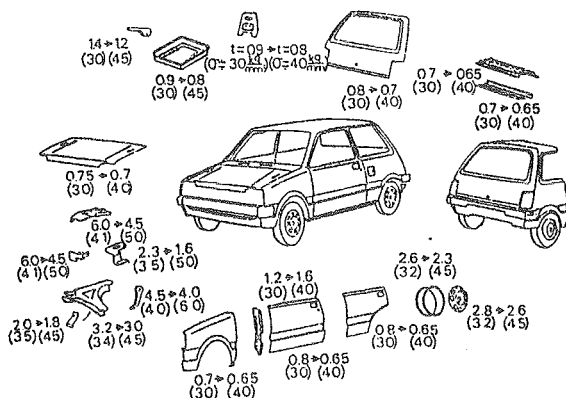
Ključne reči: REZIME: U radu se prezentiraju uporedni rezultati ispiti-
vanja limova od čelika povišene čvrstoće i limova uobiča-
jenih karakteristika, namenjenih dubokom izvlačenju.
Lim Osnovno ispitivanje je YOSHIDA-test, a dobijeni pokazate-
Izvlačenje lji se odnose na sklonost limova povišene čvrstoće ka
Obradivost defleksiji.
Defleksija

Key words: ABSTRACT: Presented in the paper are comparative results
of testing high strength, and low-carbon steels for deep
Sheet metal drawing. Main testing procedure employed was YOSHIDA-
Deep drawing test, and the indicators obtained relate to the HSS
Formability capabilities toward fixability and fittability.
Deflection

1. Uvod

Korišćenje čeličnih limova povišene čvrstoće (LPČ) za izradu elemenata automobilskih karoserija ima za cilj smanjenje mase automobila, odnosno redukciju potrošnje energije. Izuzetno brz razvoj ovih materijala odigrao se u vreme energetske krize, polovinom sedamdesetih godina u tehnički najrazvijenijim zemljama sveta-Japanu i SAD. Upotreba ovih materijala trebalo bi da omogući manju potrošnju goriva uz istovremeno očuvanje bitnih karakteristika krutosti karoserije automobila. Ključni problemi šire aplikacije LPČ su tehnološke prirode i odnose se na visoka svojstva otpornosti i elastičnosti ovih materijala.

Na sl.1. prikazana je karoserija jednog malolitražnog putničkog automobila sa delovima koje je moguće raditi od LPČ, sa podacima o smanjenju debljine lima i povećanju zatezne čvrstoće /1/. Očigledno je da se radi o delovima relativno manje dubine izvlačenja i jednostavnije geometrije.



Sl.1. Karoserija automobila sa otprescima od lima povišene čvrstoće

Ključni problem kod korišćenja LPČ je pojava defleksije, tj. nastajanje nepravilnosti i defekata na površini otpreska u vidu ispupčenja, ulegnuća, blagih talasa i sl. Ovi nedostaci se javljaju kao posledica zaostalih napona u zonama otpresaka koje se deformišu elastično; takodje, izražena je i pojava elastične povratnosti na savijenim delovima komada (zbog uvećane granice tečenja). Poteškoće vezane za korišćenje ovih materijala praktično onemogućavaju upotrebu alata na kojima se vrši obrada niskougledničnih čeličnih limova.

Pogodno je da se otpornost, odnosno sklonost materijala ka defleksiji, posmatra kroz sledeća svojstva /2/:

- sposobnost zadržavanja oblika (shape fixability),
- sposobnost prilagodjavanja oblika (fittability, fitting behaviour).

Detaljna klasifikacija uzroka nastajanja i vrsta nepravilnosti izložena je u radovima /3/, /4/, /5/. Grafičko predstavljanje najčešće podrazumeva zavisnost tipa "promena dimenzije-hod izvlakača" i prema postupku izvlačenja obuhvata zone (periode) držača, izvlakača, prostora između njih (npr. kod koničnih delova), u aktivnom i povratnom hodu.

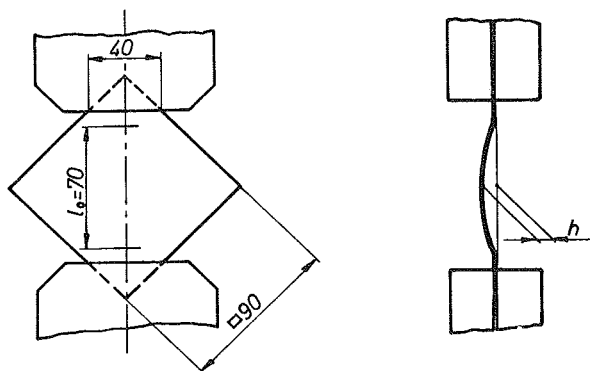
Osnovni parametri koji utiču na pojavu defleksije su: oblik i dimenzije otpreska, njegovo razvijeno stanje, sila na držaču, debljina lima i njegove karakteristike (R_p, E, r, n).

2. Eksperimentalna istraživanja

2.1. Uslovi ispitivanja

Sklonost ka defleksiji se u laboratorijskim uslovima najčešće ispituje različitim modeliranjem, čime se simuliraju naponski odnosi pri stvarnoj obradi. Osnovno ispitivanje ove vrste je tzv. YOSHIDA-test jednoosnog zatezanja kvadratne epruvete /6/, čime se ostvaruje nehomogeno naponsko-deformaciono

polje u limu, što ima za posledicu formiranje nabora po glavnoj dijagonali komada. Merna karakteristika je visina nabora h i ona je značajan pokazatelj sklonosti materijala ka defleksiji, sl.2.



Sl.2. Shema ispitivanja defleksije

Pored kvadratnih, moguće je koristiti i epruvete drugačijeg oblika - trouglaone, okrugle i sl. Nabore koji započinju u elastičnom području, i koje je moguće meriti fotoelastičnim postupcima i proračunavati metodama konačnih elemenata /6/, u velikoj meri izaziva napon u poprečnom pravcu u odnosu na pravac zatezanja (vrednost napona σ_2 može iznositi i do 30% od napona σ_1). Ovaj napon se povećava sa smanjenjem širine zatezanja epruvete. Kod korišćenja okruglih komada ostvaruju se visoke vrednosti nabora uz značajan uticaj planarne anizotropije /8/.

Za komparativna ispitivanja sklonosti ka defleksiji korišćena su dva materijala, inostranih proizvođača, namenjena dubokom izvlačenju složenih otpresaka:

1. Č.0148 P5 - niskougljenični lim, umiren aluminijumom, sa najviše 0,1%C (uobičajen kvalitetni lim kakav se već dugo koristi za izvlačenje),
2. CHR 35 BH - čelični lim povećane čvrstoće, koji spada u grupu refoforisanih čelika sa najviše 1%P, s obzirom da veće količine \underline{P} bitno utiču na zavarljivost. Fosfor omogućava da se u strukturi formiraju čvrsti rastvori (mešoviti kristali) zamene. Ima visok iznos r-faktora. Oznaka BH (po standardu japanskih proizvođača /9/) odnosi se na limove sa svojstvima tzv. naknadnog očvršćavanja starenjem (Bake-hardening). U toku i posle lakiranja na temperaturi od 170°C i u trajanju od 20' dolazi do povećanja granice tečenja do 15%. Ovim je omogućeno izvlačenje pri znatno povoljnijem odnosu granice tečenja i zatezne čvrstoće R_p/R_m , uz zadovoljavajuću finalnu krutost otpreska.

Sva merenja su vršena na specijalnoj mašini za ispitivanje limova ERICHSEN 142/12, pri brzini deformisanja od 10 mm/min.

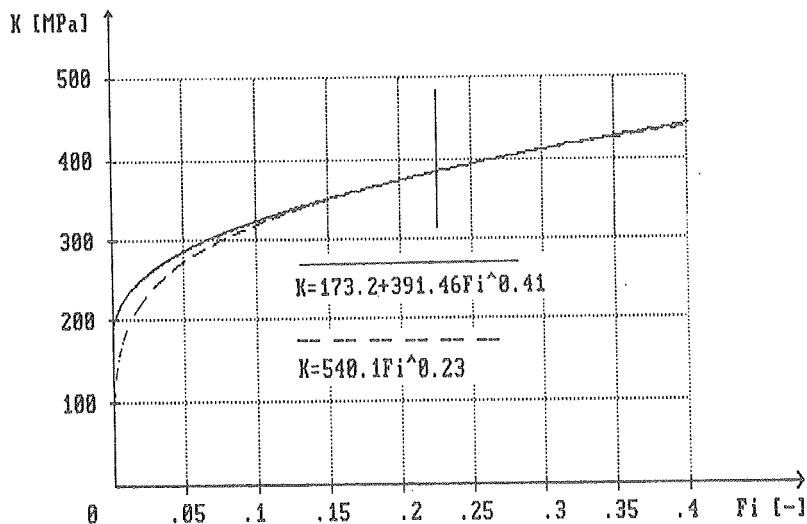
2.2. Rezultati ispitivanja

Osnovne mehaničke karakteristike i glavni parametri obradivosti dati su u tabeli 1, prema ispitivanju zatezanjem po JUS C.A4.002/85. Navedene su srednje vrednosti, s obzirom na planarnu anizotropiju.

Tabela 1

Materijal	s mm	Rp MPa	Rm MPa	Rp/Rm -	ϵ %	n -	r -
Č.0148 P5	0,7	178,9	313,2	0,57	36,3	0,23	1,42
CHR 35 BH	0,7	222,6	349,6	0,64	33,0	0,22	1,81

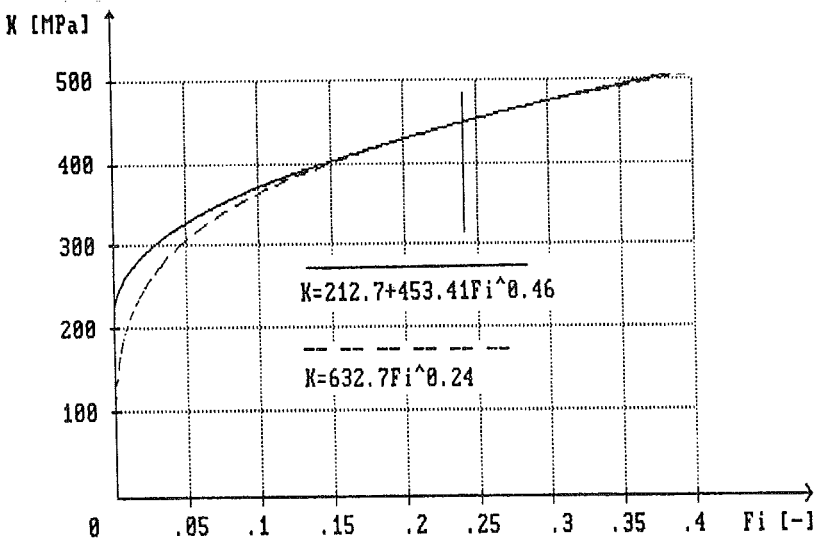
Na sl.3 i sl.4 pokazane su krive ojačanja trećeg reda, za pomenute materijale - merenja u pravcu valjanja, dva oblika eksponencijalnih aproksimacija.



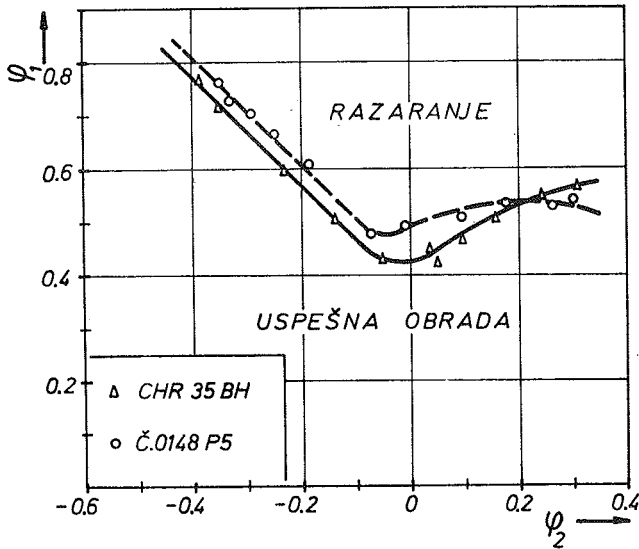
Sl.3. Krive ojačanja za Č.0148 P5

Očigledna je razlika u intenzitetu ojačanja, koja je direktna posledica nejednakih karakteristika otpornosti. Na osnovu ovih pokazatelja ne može se doneti zaključak o sklonosti ka defleksiji.

Sposobnost lima da se uspešno oblikuje pri izvlačenju na specifičan način opisuju dijagrami granične deformabilnosti /10/. Na sl.5. pokazani su ova-
kvi dijagrami, određeni na standardan način (po Nakazima-postupku, razvlačenjem iz traka različitih širina), sa mernom mrežom od 3mm i izvlakačem prečnika 50 mm. Prikazane su krive razaranja; u području bitnom za duboko izvlačenje kriva za LPČ leži ispod krive za standardan lim.



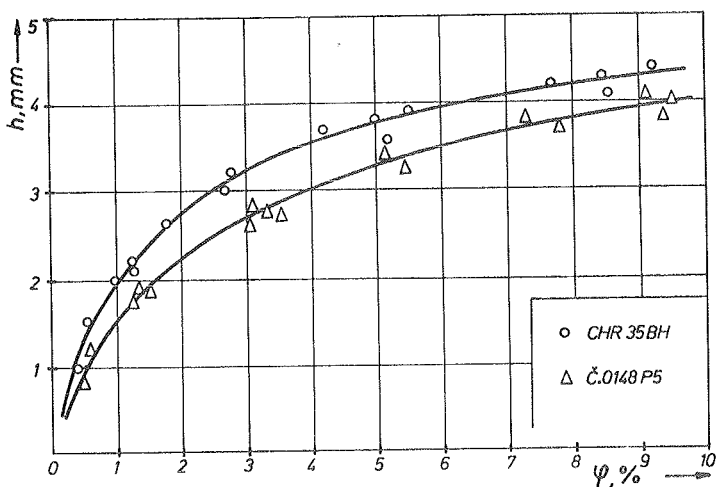
Sl.4. Krive ojačanja za CHR 35 BH



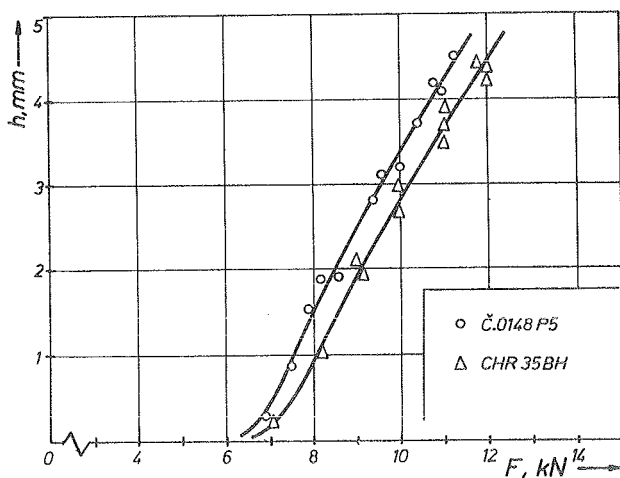
Sl.5. Dijagram granične deformabilnosti

Koristeći postupak ispitivanja čija je idejna shema prikazana na sl.2, izvršena su merenja i sredjeni dobijeni rezultati (za svaki materijal po tri serije). Tačnost dužinskih merenja iznosi 0,02 mm uz identične uslove stezanja svih epruveta. Veličina nabora h i stepen logaritamske deformacije φ odnose se na vrednosti u čisto plastičnom području.

Na sl.6 pokazana je zavisnost visine nabora od prirodne deformacije referentne dužine od 70 mm. Lim od čelika povišene čvrstoće pokazuje izraženiju sklonost ka stvaranju nabora, odnosno, prema sl.7, za nabor iste visine potrebno je utrošiti veću silu. Pogodnije je, svakako, analize vršiti prema ostvarenoj deformaciji, s obzirom na identičnost geometrija pri realnom izvlačenju, tj.prema rezultatima na sl.6.



Sl.6. Zavisnost visine nabora od stepena deformacije



Sl.7. Zavisnost visine nabora od sile zatezanja

U oblasti malih deformacija nije registrovana značajnija razlika u visini nabora; sa porastom izduženja ona u proseku iznosi 14%. Potpunija ispitivanja sa više različitih materijala pokazala bi i vezu između parametara obradivosti dobijenih na osnovu mehaničkih ispitivanja i sklonosti ka defleksiji.

3. Zaključak

Po eksperimentalnoj proceduri jednostavan, YOSHIDA-test zatezanja kvadratne epruvete omogućava realizaciju složenih naponsko-deformacionih odnosa, čime se simuliraju stanja koja dovode do pojave defleksije na delovima koji se izvlače. Lim povišene čvrstoće, vrlo sličan standardnom limu za duboko izvlačenje prema pokazateljima obradivosti i dijagramu granične deformabilnosti, ima pri ispitivanju izraženu sklonost ka stvaranju nabora. Pri tome je odnos između veličine nabora približan odnosu ojačanja ispitivanih materijala.

Za potpun uvid u mogućnosti primene ovih materijala neophodno je izvršiti i proizvodna ispitivanja, s obzirom na nehomogenost polja deformacija pri izvlačenju složenih delova. Ovome treba dodati i ispitivanja kojima se uzima u obzir veličina elastične povratnosti pri obradi.

Literatura

- /1/ Yoshida K. i dr. High strength steel in Japanese autos... status and future, Meeting of IDDRG, Tokyo, 1981.
- /2/ Devedžić B., Okolnosti koje otežavaju šire korišćenje karoserijskih limova velike čvrstoće i upućuju na nova tehnološka rešenja, XIX SPMJ, Kragujevac, 1985, 142-150.
- /3/ Yoshida K. i dr. Fittability of metal sheets in sheet metal forming, Proc. 11th Biennial IDDRG Congress, Metz, 1980, 423-429.
- /4/ Nakagawa K., Abe H., Press formability of high strength cold rolled steel sheets, Proc. 11th Biennial IDDRG Congress, Metz, 1980, 475-484.
- /5/ Newby J.R., Hook R.E., Young J.W., High strength cold rolled low carbon steel sheets, Proc. 11th Biennial IDDRG Congress, Metz, 1980, 437-453.
- /6/ Segala A., Pearce R., A study on compressive instability using the Yoshida-test, Proc. 14th Biennial IDDRG Congress, Köln, 1986, 476-477.
- /7/ Gerdeen J.C., Bhonsle S.R., Wong V.K., Stress analysis of Yoshida-buckling test specimen using photoelasticity and finite element method, Proc. 14th Biennial IDDRG Congress, Köln, 1986, 472-473.
- /8/ Gac H.L., Sevestre C., Buckling tendency of thin sheets studied by means of test of flat circular specimen, Proc. 14th Biennial IDDRG Congress, Köln, 1986, 462-463.
- /9/ Katalog-Kawasaki, Cold rolled high strength steel, KSCo.
- /10/ Hecker S.S., Simple technique for determining FLC, Sheet Met. Ind., 11/1975, 671-676.