

## MOGUĆNOST PRIMENE CEVNOG HIDROFORMINGA U USLOVIMA DANAŠNJEG TEHNOLOŠKOG RAZVOJA

### *TUBE HYDROFORMING - POSSIBILITIES OF USAGE WITHIN TODAY'S TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT*

**Prof. dr Branko Vasić,**  
Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu

**dipl. inž. Nada Stanojević,**  
Institut za istraživanja i projektovanja u privredi



#### **Rezime**

*Cevni hidroforming je relativno nova tehnologija kojom se mogu proizvoditi cevasti delovi širokog spektra geometrije i oblika poprečnih preseka, koji mogu varirati kroz celu dužinu dela. Obično se formiraju nesimetrični i nepravilni oblici sa odličnim kvalitetom završne obrade i poboljšanom ravnomernošću debljine. Delovi dobijeni ovom tehnologijom mogu uspešno zameniti delove dobijene standardnim postupcima (zavarene delove dobijene presovanjem). Broj delova u konstrukciji može biti smanjen zamenom dva ili više delova, dobijena presovanjem i zavarivanjem, sa jednim delom dobijenim hidroformingom bez zavarivanja. Sa smanjenjem broja delova u konstrukciji smanjuje se i njena masa kao i cena sklapanja.*

*Glavna primena cevnog hidroforminga se može naći u automobilskoj i avionskoj industriji kao i u proizvodnji delova koji se koriste u zdravstvu.*

#### **Abstract**

*Tube hydroforming is a relatively new technology that produces tubular parts with a huge geometrical and cross-section variety. Elements produced in this manner could successfully replace parts which are originally made by stamping and joining processes. Usually, the nonsymmetrical and no regular shapes are formed with improved equality of thickness and excellent final product quality. Number of construction parts could be reduced by replacement two or more elements, produced by stamping and welding, with one hidroformed part. Reduction of parts number decrease mass and cost of a construction as well as cost of an assembling.*

*The main application of a tube hydroforming still is within automobile and aviation industry as in production of elements which are used in health services*

### **1. CEVNI HIDROFORMING**

Tokom proteklih desetak godina neprestano raste pažnja usmerena ka hidroformingu, koji se ponekad naziva i fluid forming (oblikovanje fluidom) ili rubber diaphragm forming (oblikovanje gumene membrane). Ova tehnologija razvijena je krajem četrdesetih i početkom pedesetih, kao odgovor na potrebu za jeftinijom metodom proizvodnje delova dubokim izvlačenjem u relativno malim količinama. Danas, hidroforming ima nekoliko grana, a najznačajnije su: cevni hidroforming i hidroforming limova. Međutim, iako postoje razni vidovi hidroforminga, osnovni princip ostaje isti - upotreba pritiska fluida za oblikovanje delova. /8/

Hidroforming metalnih delova je široko korišćen proces u nekoliko grana industrije. U Evropi se koristi od ranih osamdesetih, a u Severnoj Americi je prihvaćen ranih devedesetih. Iako je interesovanje za cevni hidroforming veoma rasprostranjeno, velika većina njegove široke primene još uvek je u automobilskoj industriji, pogotovo što naglasak na projektovanju vozila lakih konstrukcija povećava zahteve za delovima koji su proizvedeni ovom tehnologijom. 1990. godine Chrysler Korporacija je predstavila prvi high-volume hidroformirani deo na severno-američkom automobilskom tržištu - gredu instrument table na svom minivenu, dok se danas hidroformirane komponente mogu naći na automobilima u velikom broju.

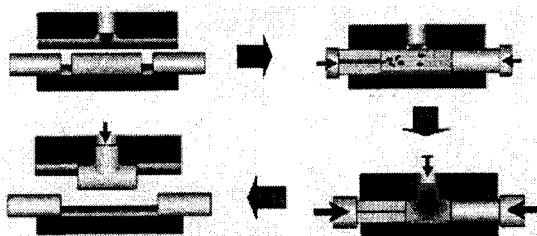
## 2. OPIS PROCESA

Cevni hidroforming je proces oblikovanja šupljih delova primenom unutrašnjeg hidrauličkog pritiska, koji izaziva plastičnu deformaciju cevnog čeličnog odlivka koji zauzima oblik šupljine kalupa. Cevni hidroforming se koristi za proizvodnju kompleksnih oblika, obično dužine od 1 do 3 m i prečnika od 25 do 150 mm.

Napredak kompjuterske kontrole i hidrauličkih sistema sa visokim pritiskom, omogućio je da proces cevnog hidroforminga postane metod za masovnu proizvodnju. /4/

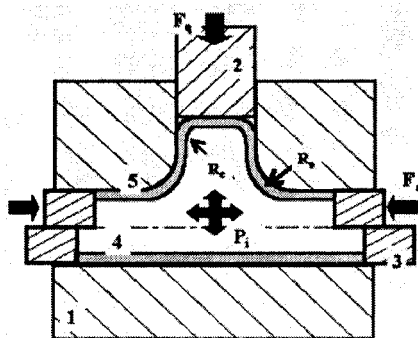
Redosled operacija pri tipičnom procesu hidroforminga prikazan je na slici 1, dok su aktivne sile koje se javljaju u ovom procesu prikazane na slici 2, koja ujedno predstavlja i ilustraciju tipičnog dela koji se dobija tehnikom hidroforminga.

Cev je ispunjena emulzijom voda-ulje.



- (1) Postavljanje prazne cevi u alat
- (2) Zatvaranje krajeva i punjenje fluidom
- (4) Otvaranje alata, vađenje dela
- (3) Povećanje pritiska, move punches

Slika 1. Redosled operacija pri tipičnom procesu hidroforminga.

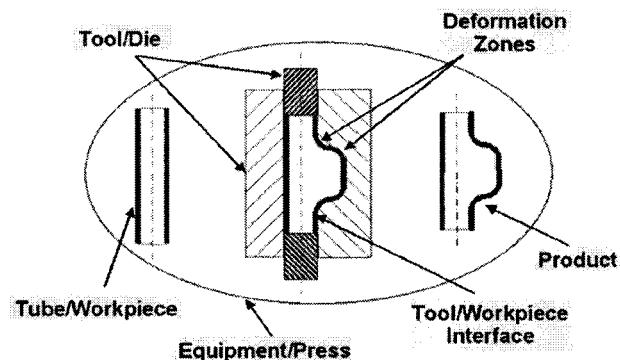


- |                             |                        |
|-----------------------------|------------------------|
| $P_i$ : Unutrašnji pritisak | (1) Kalup              |
| $F_a$ : Aksijalna sila      | (2) Poprečni cilindar  |
| $F_q$ : Poprečna sila       | (3) Aksijalni cilindri |
| $R_c$ : Radijus krivine     | (4) Pripremak          |
| $R_e$ : Ulazni radijus      | (5) Izradak            |

Slika 2. Aktivne sile koje se javljaju u procesu hidroforminga

## 3. THF SISTEM (TubeHydroForming System)

Sistem cevnog hidroforminga obuhvata sve promenljive procesa kao što su: radni materijal (obradak), alat/kalup, uslovi na mestu dodira materijala i alata, mehanika plastične deformacije, upotrebljena oprema, karakteristike kvaliteta finalnog proizvoda, ekonomičnost procesa i okolina.



Slika 3. Komponente sistema hidroforminga

Na slici 3 prikazane su komponente tipičnog hidroforming sistema. Ove komponente obuhvataju sve promenljive počevši od geometrije cevi i osobina materijala do kvaliteta finalnog dela (raspodela gustine i tačnost dimenzija). Svaka od ovih komponentata ima važnu ulogu u uspehu procesa i mora biti pripremljena za vreme faze razvoja procesa. Neke od stvari koje moraju biti pripremljene obuhvataju:

- a) pripremanje cevi (izbor materijala, kvalitet priprema)
- b) prethodno oblikovanje i metod proizvodnje
- c) projektovanje delova za hidroforming
- d) zavarivanje i spajanje hidroformiranih delova (montiranje i sklapanje)
- e) performanse udara i čvrstoća spoja
- f) izbor maziva koja se neće promeniti na visokim pritiscima
- g) ubrzan razvoj procesa /1/

U nastavku rada prikazani su svi parametri koji mogu uticati na proces cevnog hidroforminga:

### Proizvod

- geometrija, raspodela gustine
- tačnost dimenzija/tolerancije
- kvalitet obrade
- mikrostruktura, mehaničke i metalurške osobine, čvrstoća

### Obradak/Materijal

- tok napona u funkciji od deformacije, nivoa deformacije i mikrostrukture
- obradivost u funkciji od deformacije, nivoa deformacije i mikrostrukture
- stanje površina
- geometrija cevi (spoljni prečnik, debljina zidova cevi, zaobljenost, osobine linije zavarivanja itd.)

#### Alat/Kalup

- geometrija alata
- tvrdoća materijala
- stanje površina
- krutost i tačnost

#### Sredina

vrsta maziva

- napon smicanja u mazivu i zoni trenja
- karakteristike vezane za nanošenje i odstranjivanje maziva

#### Oprema

- kapacitet prese
- brzina/stopa proizvodnje
- sila/energetske sposobnosti
- krutost i tačnost

#### Zona deformacije

- mehanika deformacije, model korišćen za analize
- tečenje metala, brzine, nivoi deformacije, izduženja (kinematika)
- naponi (promene tokom deformacije)

#### Okolina

- dostupna radna snaga
- zagađenost vazduha, vode i buka
- fabrički i proizvodni objekti i kontrola
- krutost i tačnost

## 4. PROIZVODI

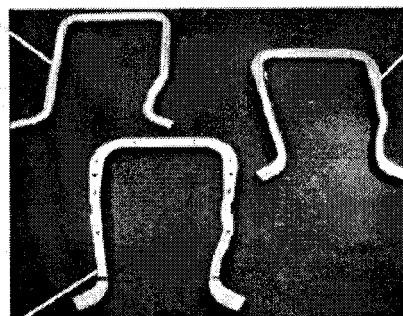
Makro i mikro geometrija proizvoda, tj. njegove dimenzije i kvalitet obrade su pod uticajem promenljivih samog procesa. Uslovi pod kojima se proces odvija (temperatura, naprezanje i nivoi naprezanja) određuju mikrostrukturne promene koje se odvijaju za vreme deformacije i koje često utiču na osobine finalnog proizvoda. Prema tome, realni pristup sistemu mora da obuhvata odnos između oso-

bina i mikrostrukture oblikovanog materijala, kvantitativne uticaje uslova procesa na naponsko očvršćivanje i istanjenje zidova duž dela dobijenog hidroformingom.

Iako je hidroforming nov metod oblikovanja, on je brzo doživeo prihvatanje kao moguća alternativa presovanim sklopovima. Samo posle decenije njegove široke primene, hidroforming se više ne smatra samo zamenom za presovanje. Mnoge nove konstrukcijske platforme vozila zahtevaju upotrebu hidroformiranih delova kao svoj prvi izbor. (vidi slike 3 i 4) Korišćenje svih prednosti koje hidroforming ima da ponudi zahteva ulaganje od svih strana koje imaju udela u projektovanju i sklapanju vozila. /7/

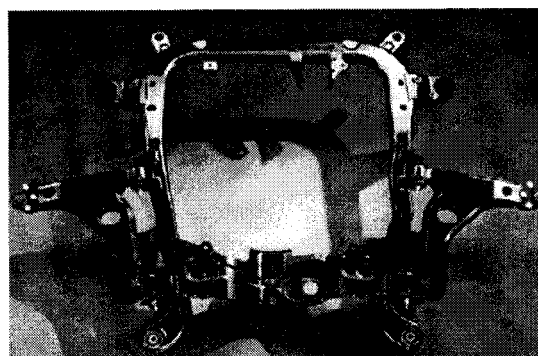
sečenje i prethodno savijanje

prethodno oblikovanje



Hidroformiranje i bušenje

*Slika 4. Karakteristične etape proizvodnje oslanjanja motora*



*Slika 5. Krajnji izgled oslonca motora*

Da bi hidroformirani deo smatrali proizvodom, odgovarajuća pažnja se mora posvetiti i procesima pre i posle hidroforminga kako bi iskoristili sve njegove prednosti.

Prethodni procesi mogu biti pravljenje cevi, savijanje cevi, itd. Prvi korak, koji se često naziva

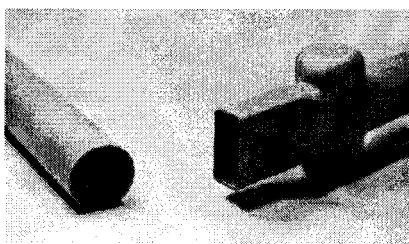
prethodno savijanje (prebending), je savijanje lomljenjem ili savijanje rotacionim izvlačenjem, čime se cevni čelični odlivak dovodi u oblik koji olakšava smeštanje u sledeći alat za oblikovanje (Slika 5). Simulacija nam pomaže da odredimo koji prebend metod da upotrebimo.

Drugi korak se naziva prethodno oblikovanje (preforming). Odlivak se lomi u oblik koji još više odgovara obliku koji olakšava smeštanje u finalni alat za oblikovanje, koji se naziva kalibracioni alat (calibration tool). U zavisnosti od oblika šupljine kalibracionog alata, možda neće biti potreban zaseban alat za prethodno oblikovanje jer se određeno prethodno oblikovanje može desiti kada se kalibracioni alat zatvori oko odlivka.

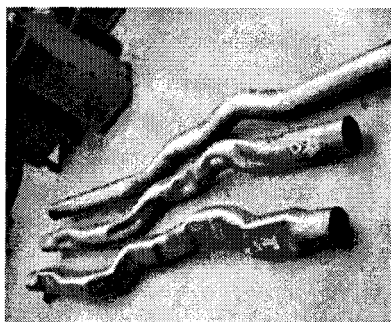
Procesi posle, mogu biti podešavanje krajeva, oblikovanje krajeva, rezanje rupa/žljebova, itd./2/

## 5. OBRADAK/MATERIJAL

Cevni pripremak za proces hidroforminga može biti zaobljen, ravan, savijen, prethodno oblikovan, jednozidni, dvostrani, sa profilima dobijenim istiskivanjem i zavareni ili nezavareni čelični odlivak.



Slika 6. Prethodno savijena cev i hidroformirani deo



Prethodno savijena cev i izlomljena cev i hidroformirani deo

Slika 6. Prethodno oblikovana cev

Nekoliko faktora igra značajnu ulogu u odabiru materijala za cevni hidroforming. Ovi faktori obuhvataju finalne osobine dela, proces oblikovanja i mogućnosti deformacije, pristupačnost i cenu. U mnogim slučajevima odabir materijala obuhvata i kompromis između različitih parametara.

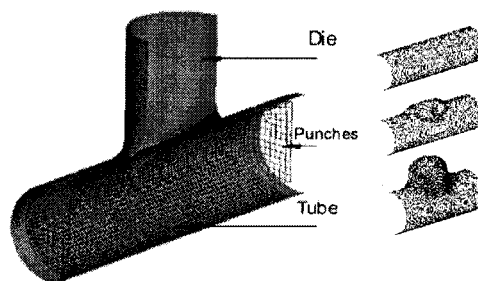
Na primer, HSLA čelik se može upotrebiti kada želimo da smanjimo masu, a da to ne utiče na krutost komponenta strukture. Sa druge strane, on je skup i relativno se teško oblikuje. Međutim, on može biti jedini izbor da bi zadovoljili konstrukcijske specifikacije određenog dela. Neki materijali, koji se koriste u hidroformingu, su čelici sa malim procentom ugljenika (SAE 1006/1008, 1010) i HSLA za karoseriju i šasiju, cementirani čelici (SAE 1015, SAE 1045) za bregasta vratila i kardanska vratila, nerđajući čelici (AISI 304, AISI 309) za delove izduvnog sistema, legure aluminijuma (AA 1050, AA 5019, AA 6260) za primenu kod karoserija i šasija, bakar za kućišta i T-spojeve.

Kvalitet cevnog priprema je presudan za uspeh procesa hidroforminga. Osobine materijala (sastav materijala, vrsta vara, čvrstoća razvlačenja, zatezna čvrstoća kidanja, procentualno izduženje i karakteristike tečenja) i dimenzije (prečnik, debljina) cevi moraju biti određeni na osnovu zahteva finalnog dela i pažljivo praćeni tokom procesa proizvodnje. /3/

Precizni podaci o materijalu su takođe potrebni za razvoj delova i procesa. Ograničenja u oblikovanju, utvrđena u laboratorijskim testovima, se mogu veoma efikasno iskoristiti u kompjuterskim simulacijama da bi ustanovili probleme u hidroformingu i ispravili ih pre nego što započnemo skup i veoma dugačak proces razvoja.

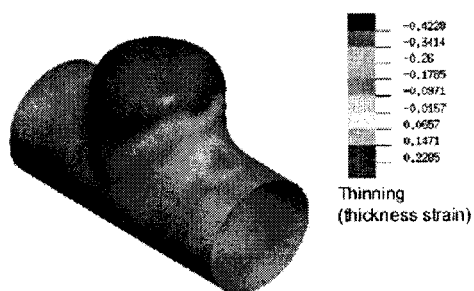
## PROCES FE SIMULACIJE

Industrija obrade metala koristi FEA proces simulacije da bi razvila uspešne operacije cevnog hidroforminga, koje bi davale delove bez mana. Različiti komercijalni FEA (Finite Element Analysis) softverski paketi, kao što su PAM-STAMP i LS-DYNA su sposobni za simulaciju procesa cevnog hidroforminga. FE analiza se može sprovesti da predvidi i eliminiše većinu nedostataka u zoni deformacije kao što su izvijanje, boranje i prskanje. Slika 7 pokazuje FEA model, T-oblika, simuliran u PAM-STAMP. Cevni materijal je LCS1008 sa početnom debljinom od 4mm.



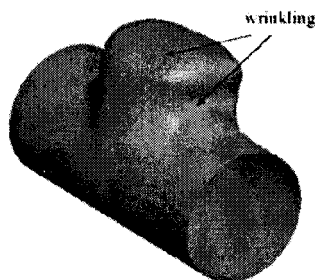
Slika 7. FE proces simulacije formiranja T-oblika pomoću PAMSTAMP-a

FEA simulacija može da predvidi promenu debljine cevi. Za vreme deformacije maksimalno istanjenje cevi je brz i okviran indikator loma prskanjem. Ako je tanjenje značajno onda je očigledno da je unutrašnji pritisak za vreme simulacije bio prevelik. Povećano aksijalno pomeranje i smanjen unutrašnji pritisak ce poboljšati proizvodnju dela. Slika 8 prikazuje predviđene konture tanjenja kod T-oblika. Maksimalna vrednost istanjenja se nalazi na izbočini.



Slika 8. Konture istanjenja na T-obliku

FEA simulacija takođe može da predvidi izvijanje i boranje. Ovi vidovi otkaza se javljaju zbog značajnog aksijalnog pomeranja i nedovoljnog unutrašnjeg pritiska. Slika 9 pokazuje izbranu cev.



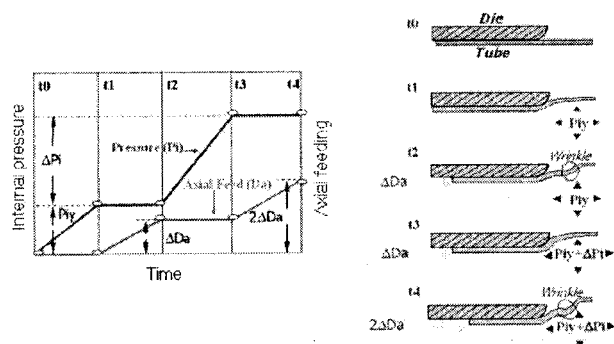
Slika 9. FEA simulacija predviđa ozbiljno boranje u zoni deformacije

### Prilagodljiva simulacija

Da bi izbegli nedostatke, koji se javljaju kod cevnog hidroforminga, primenjeni unutrašnji pritisak mora biti dovoljno visok da bi sprečio izvijanje ali ne previše visok da izazove prskanje. Za ispunjenje ovih ciljeva koristi se FEA simulacija. Međutim, u konvencionalnim procedurama procesa simulacije, korisnik mora izračunati pritisak po vremenu i aksijalno pomeranje po vremenu, kao ulazne podatke u FEA program.

Prema tome, postoji potreba za razvijanjem metodologije kojom bi se predvidele putanje opterećenja (pritisak i aksijalno pomeranje po

vremenu) potrebne da bi se formirao cevni deo datog oblika i materijala. Tehnika prilagodljive simulacije je primena FE simulacije sa programom kontrole u realnom vremenu, koji reguliše primenjene putanje opterećenja da bi optimizovao proces oblikovanja. Slika 10 prikazuje predloženu metodologiju za prilagodljivu simulaciju.



Slika 10. Predložena procedura adaptivne simulacije za THF proces

U osnovi, kontrolna rutina prati FE simulaciju oblikovanja u svakom periodu vremena ( $t_0$ -vreme početka,  $t_1$ -sledeći vremenski period, itd.), videti sliku 10, i podešava unutrašnji pritisak i rastojanje aksijalnog pomeranja da bi ispravio prateće nedostatke.

- ( $t=t_0$ ) Početak simulacije procesa oblikovanja.
- ( $t=t_1$ ) Cev je opterećena do pritiska razvlačenja ( $P_{iy}$ ) cevnog materijala. Odavde prilagodljiva kontrolna rutina započinje praćenje simulacije i podešavanje putanja opterećenja do završetka simulacije. Rutina naređuje simulaciji da potisne više cevnog materijala ( $D_a$ ) u zonu ekspanzije pomeranjem punch dok se unutrašnji pritisak održava konstantnim ( $P=P_{iy}$ ).
- ( $t=t_2$ ) Pretpostavimo da se, kao rezultat primenjenog pomeranja i pritiska (za vreme  $t_1-t_2$ ), pojavi bora na delu. Da bi otklonili boru potrebno je da povećamo unutrašnji pritisak bez dodatnog pomeranja materijala pošto bi to dovelo do još većeg boranja. Rutina naređuje simulaciji da poveća pritisak ( $P_i$ ) dok se aksijalno (punch) pomeranje zaustavlja.
- ( $t=t_3$ ) Kao rezultat povećanja unutrašnjeg pritiska (za vreme  $t_2-t_3$ ) možemo očekivati da bora nestane. Kako sada nemamo bora na delu, rutina bi naredila simulaciji da aksijalno pomera više materijala ( $D_a$ ) u zonu ekspanzije dok se pritisak održava konstantnim.

U cilju dobijanja kompletnih puteva opterećenja (unutrašnji pritisak i aksijalno pomeranje po

vremenu) opisani algoritam se ponavlja dok se deo potpuno ne oblikuje. Od ove procedure se očekuje da smanji broj simulacija neophodnih da se utvrde "najbolji" putevi opterećenja

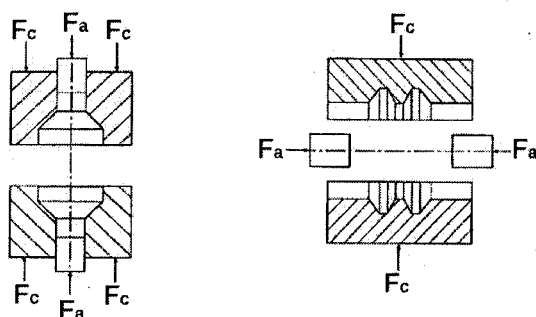
## 6. ALAT/KALUP

Alatne promenljive uključuju:

- dizajn i geometriju
- završnu obradu
- krutost
- mehaničke i termičke osobine pod radnim uslovima

Kalupi su, kod cevnog hidroforminga, rastavljeni ili poprečno ili uzdužno (Slika 11). Poprečno rastavljeni kalupi su jeftiniji za proizvodnju od uzdužnih. Njihova prednost je i to što se prethodno definisani prečnik može bolje kontrolisati. Osim toga, i sila sklapanja im je manja.

Međutim, uzdužno rastavljeni kalupi se moraju koristiti ako obradak ima zavoje ili pomoćne oblike vertikalne u odnosu na glavnu osu cevog pripremljaka. Ovo je, na primer, slučaj kod delova koji imaju višestruke spojeve pod različitim uglovima. /4/ Generalno se poprečno rastavljeni kalupi koriste kad god je to moguće.



Slika 11. Poprečno i uzdužno rastavljeni kalupi

## 7. ZONA DEFORMACIJE

Kod cevnog hidroforminga se, zbog plastične nestabilnosti, mogu javiti nepravilnosti kao što su izvijanje, boranje i prskanje.

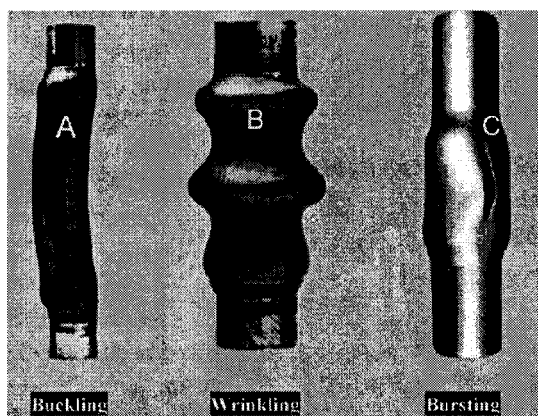
Opasnost od izvijanja preovlađuje na početku operacije kao rezultat veoma visokih aksijalnih sila koje deluju na početni deo. /6/

Izvijanje je funkcija parametara cevi, parametara procesa i geometrije kalupa. Ono je započeto nesimetričnom deformacijom na početku

tečenja. Nesimetrična deformacija može biti izazvana cevima koje nemaju jednaku debljinu zidova. Izvijanje se može pojaviti za vreme deformisanja pre nego što zid cevi dodirne unutrašnji zid šupljine kalupa (Slika 12-A).

Kod cevnog hidroforminga se boranje pojavljuje u početnoj fazi procesa, kada je aksijalna sila suviše velika u odnosu na unutrašnji pritisak. Bore se obično mogu eliminisati povećanjem unutrašnjeg pritiska za vreme procesa ekspanzije (Slika 12-B).

Prskanje ili lom se javljaju kada se zatezna čvrstoća kidanja premaši za vreme ekspanzije i kao rezultat veoma visokog unutrašnjeg pritiska. Prskanje počinje lokalnim sužavanjem (neckling) zida cevi a praćeno je karakterističnom ispupčenošću cevi. (Slika 12-C).



Slika 12. Primeri izvijanja, boranja i prskanja

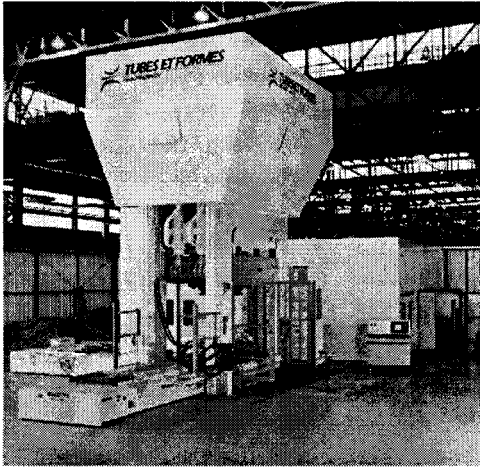
## 8. OPREMA

Glavne funkcije hidroforming prese su da otvara i zatvara kalupe, obezbedi udarno opterećenje za vreme procesa oblikovanja i eliminiše elastične ugibe i razdvajanje kalupa. Dodatni delovi, koji su potrebni da bi izneli proces, obuhvataju aksijalne cilindre i pojačivač pritiska. U većini slučajeva se hidraulične prese koriste za obezbeđivanje velikih udarnih sila za vreme procesa.

Ove prese su skupe, pa se zbog toga nekoliko istraživačkih instituta i kompanija trude da razviju jeftiniju opremu sa odvojenim funkcijama otvaranja/zatvaranja alata i obezbeđivanja udarne sile. Takođe se svaki proizvođač presa trudi da skрати njen period ciklusa

Razmeštanje velike zapremine fluida da bi se otvorio/zatvorio kalup, pomeranje delova u i izvan alata, popunjavanje/pritisakanje cevi su nekoliko faktora koji određuju period ciklusa. Još jedan važan faktor u ograničenju stope proizvodnje su operacije

savijanja i prethodnog oblikovanja. Zbog toga se može koristiti nekoliko mašina za savijanje kako bi se obezbedili delovi za proces hidroforminga. Oblikovanje nekoliko delova za vreme jednog zatvaranja prese i ciklusa hidroforminga takođe pomaže da se poveća stopa proizvodnje.



Slika 13. Primer THF prese, kapaciteta 5000 tona SPS i Usinor

## 9. OKOLINA

Hidraulični fluid se reciklira da bi se sprečili štetni uticaji na okolinu. Kao što se to radi pri svakom rukovanju sa hidrauličnim presama, potencijalne havarije okoline od rada presa za cevni hidroforming se uzimaju u obzir kada se instaliraju novi proizvodni kapaciteti. Sredstvo hidrauličkog pritiska, koje se koristi u toku procesa, se reciklira i ne oslobađa se nepažljivo u okolinu. Pri instaliranju presa za cevni hidroforming potrebno je uzeti u obzir infrastrukturu i ljudske resurse koji su dostupni u fabrici. Pošto je cevni hidroforming relativno nova tehnologija, efektivna upotreba skupih presa najbolje se postiže kada nam je na raspolaganju dobro obučeni personal.

## 10. PREDNOSTI I MANE

Cevni hidroforming nudi niz prednosti u karakteristikama delova i toku samog procesa u odnosu na standardne postupke proizvodnje presovanjem i zavarivanjem. Ove prednosti obuhvataju:

- spajanje delova (dva ili više delova sklopa, presovani i otporno zavareni mogu biti proizvedeni iz šupljeg dela u jednoj operaciji)
- smanjenje mase zbog veće efikasnosti projektovanja sklopova i kontrole debljine zidova
- poboljšanje čvrstoće sklopa i krutosti

- manju cenu alata zbog manjeg broja delova
- smanjenu količinu otpadaka
- usko odstupanje dimenzija i malo pomeranje
- manji broj dodatnih (pomoćnih) operacija (nije potrebno zavarivanje delova, a rupe se mogu probušiti tokom samog procesa hidroforminga)

Delovi dobijeni cevnom hidroformingom zadržavaju svoj strukturnu celovitost; debljina zidova je konstantna kroz ceo deo. Čvrstoća materijala gotovog dela je veća zbog plastičnih deformacija koje se dešavaju tokom procesa. Hidroforming stvara efekat očvršćivanja koristeći pritisak fluida za istezanje odlivka u svim pravcima. Ovo plastično izduženje očvršćuje odlivak podjednako.

Procesom hidroforminga se takođe gubi mnogo manje metala nego pri presovanju. Zbog toga je materijal mnogo efikasnije iskorišćen. Prednost hidroforminga nije samo u tome što može da formira delove cilindričnog i kutijastog oblika, već i u tome što može da stvori delove sa ostrim uglovima, ostrim složenim krivinama i druge vrste oblika. Hidroforming nam omogućuje da zadržimo originalnu završnu obradu materijala (kvalitet spoljašnjih površina hidroformiranog dela, u mnogim slučajevima, eliminiše potrebu za daljom obradom/poliranjem - uočena je ušteda i od 90 % u troškovima završne obrade) sa malim ili nikakvim deformacijama, boranjima i minimalnim istanjenjem (hidroforming omogućava blisku kontrolu parametara - pritisak fluida i podmazivanje - radi sprečavanja boranja i trošenja delova).

Cevni hidroforming takođe ima i neke mane uključujući spor ciklus, skupu opremu i manjak šireg poznavanja konstrukcije procesa i alata. Jedan od izazova oko koga se većina stručnjaka slaže je činjenica da je potrebno početi sa novim dizajnima pošto se tehnologija hidroforminga ne uklapa lako u postojeći dizajn delova. Hidroforming se ne isplati u malim serijama, već je potreban veći broj delova da bi se pokrili troškovi alata. Cena sirovog materijala potrebnog za pripremu čeličnih cevi je takođe značajna, naročito u poređenju sa limovima korišćenim kod presovanja. Postoji nekoliko specifičnih nedostataka vezanih direktno za sam proces hidroforminga. Probušeni otvori imaju male nedostatke oko mesta udara. Za cevno oblikovanje cev mora da zauzima oblik koji je podesan za tube bender. Delovi proizvedeni hidroformingom takođe zahtevaju posebne tehnike zavarivanja.

Zbog svega ovoga, izvodljivost (podesnost) hidroforminga prema standardnom presovanju i zavarivanju treba da se ispita (i ekonomski i tehnički) za svaki deo posebno. Da bi smanjili period

ciklusa potrebno je da pomoćne operacije (kao što su bušenje, savijanje itd.) budu integrisane u sam proces hidroforminga. Kompjuterska simulacija se može široko koristiti da bi se proces optimizovao. /2/

## 11. ZAKLJUČAK

Iz svega iznetog može se zaključiti da se efektivnost u pogledu redukcije mase, poboljšanja strukturnih osobina elemenata konstrukcije, smanjenja broja elemenata, smanjenja potrebnih operacija sklapanja i otpadnog materijala sigurno povećava dok nedostaci u pogledu viših troškova procesa hidroforminga ne mogu značajnije uticati na njeno smanjenje, pogotovo u poređenju sa svim prednostima, pošto se očekuje da će sa širom primenom ove tehnologije i njeni troškovi opasti.

Trenutna istraživanja i razvojne aktivnosti u industriji i institutima širom sveta ukazuju na dalji brz razvoj u spektru primena procesa hidroforminga. To je proces na koji treba obratiti pažnju da bi bili u toku u industriji koja se stalno menja, jer hidroforming ima velike šanse da celu industriju uvede u budućnost.

## 12. LITERATURA

1. Bobbert, S., Bischer, M., Ahmetoglu, M. A. and Altan, T. (1997) "Tool and Process Design for Tube Hydroforming – A State of the Art Review and Applications of Compute Simulations", Report No. ERC/NSM-R-97-2, pp.3-51, The Ohio State University, Columbus, Ohio, April, 1997.
2. Bruggemann, C. (1997), "Hydroforming Process Overview and Applications", 2nd International Conference on Innovations in Hydroforming Technology, Columbus, Ohio, September 1997.
3. Derek, B., (1998), "Tube Testing for the Hydroforming Industry", Tube & Pipe Journal, pp. 69-76, May/June 1998.
4. Dohmann, F. and Böhm, A., (1991), "The Significance of Process Simulation In Liquid Bulge Forming" (in German), Bänder Bleche Rohre, vol. 1, pp.26-34.
5. Dohmann, F., Meyer, W. (1997) "Tribologie des Innenhochdruckumformens" (in German), Blech Rohre Profile, pp. 36-39, October 1997.
6. Dohmann, F.; Hartl, C., (1996), "Hydroforming - A Method to Manufacture Lightweight Parts", Journals of Materials Processing Technology, vol. 60, pp. 669-676.
7. Longhouse, B. (1997), "Advancements using Sequenced Forming Pressures", 2nd International Conference on Innovations in Hydroforming Technology, Columbus, Ohio, September 1997.
8. Vasić, B., Stanojević, N. (2003), "Hidroforming tehnologija u službi projektovanja i proizvodnje vozila", Časopis Istraživanja i projektovanja za privredu, broj 1, str. 15-21

### *Institut za istraživanja i projektovanja u privredi*

okuplja eksperte iz raznih oblasti, koji u proseku imaju preko 15 godina iskustva u pružanju naprednih konsultantskih usluga tehničke prirode i primeni inženjerskih znanja na razvoju i osvajanju proizvoda i tehnologija. Široka kompetencija, bogato iskustvo i saradnja sa preko 30 vodećih kompanija u zemlji i inostranstvu, kvalifikuju nas kao pouzdane partnere u sledećim oblastima inženjeringa:



*Projektovanje informacionih sistema  
Implementacija standarda serije ISO 9000  
Projektovanje i izrada baza podataka i softvera  
CAD/CAM/CAE projektovanje (CATIA, AutoCAD)  
Projektovanje sistema održavanja*

Imperativ permanentnog obrazovanja i želja da se podigne opšti nivo funkcionalnih znanja i sposobnosti poslovanja pojedinaca i preduzeća, opredelila je Institut da u delokrug svog rada uključuje:

*Izdavaštvo, Obuka kroz seminare, Organizacija i tehnička podrška naučno-stručnim skupovima*

[www.iipp.co.yu](http://www.iipp.co.yu)