

STUDIJA SLUČAJA

SIMULACIJA PROCESA PROFILNOG SAVIJANJA POMOĆU VALJAKA

CTC Banja Luka

Akronim: WBC-VMnet

Naziv projekta: WBC Virtual Manufacturing Network – Fostering an Integration of the Knowledge Triangle

Broj projekta: 144684-TEMPUS-2008-RS-JPHES

Datum: Novembar 2011.

Mjesto: Banja Luka, BiH







Revision Sheet

Broj revizije	Datum	Opis revizije	
Rev. 1	15/11/2011	Prva verzija dokumenta CTC tima	
Rev. 2	25/11/2011	Finalna verzija odobrena od Koordinatora CTC	

This publication has been funded by the European Commission. The publication reflects only the views of the authors. The European Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.







SADRŽAJ

1. UVOD	4
2. SAVIJANJE LIMA	6
2.1 NAPONSKO DEFORMACIONO STANJE	7
2.2 PROFILNO SAVIJANJE NA ABKANT PRESAMA	8
2.3 PROFILNO SAVIJANJE POMOĆU VALJAKA	9
2.3.1 Analiza tehnologičnosti konstrukcije profila	12
2.3.2 Izbor polufabrikata za izradu profila i položaj profila u valjcima	13
2.3.3 Izbor režima profilisanja	14
2.3.4 Konstrukcija valjaka	16
3. PROIZVODNA OPREMA I MATERIJAL	17
4. MODELIRANJE I NUMERIČKA SIMULACIJA	19
4.1 MODELIRANJE PROCESA	20
4.2. NUMERIČKA SIMULACIJA	23
4.2.1 Kreiranje procesa za simulaciju u Simufact.forming 10.0	24
4.2.2 Prezentovanje rezultata simulacije	28
5. ZAKLJUČAK	35
LITERATURA	36







1. UVOD

Savijanje spada u grupu postupaka tehnologije plastičnog deformisanja koji se često primjenjuju. Savijanje omogućava izradu širokog asortimana proizvoda dimenzija od dijelova milimetra pa do nekoliko metara. Dijelovi složenih geometrija izrađuju se u više operacija.

Karakteristika procesa savijanja je, u većini slučajeva, lokalno plastično deformisanje. Zona deformisanja tada obuhvata manji dio zapremine komada, mada ima postupaka gdje se deformiše kompletna zapremina (kružno savijanje).

Savijanje se primjenjuje kako u maloserijskoj, tako i u veliko serijskoj proizvodnji, kombinujući ga sa ostalim procesima obrade (probijanje, prosijecanje, razdvajanje, zavarivanje...) i zauzima značajno mjesto u savremenoj proizvodnji raznih dijelova. Kao poluproizvodi za dalju obradu savijanjem se najčešće koriste limovi u vidu trake ili table, ali se ne isključuje mogućnost prerade drugih poluproizvoda: žica, punih profila, šipki ili cijevi. Debljine limova za savijanje kreću se od stotih dijelova milimetra pa do nekoliko desetina milimetara. Tehnologija izrade dijelova savijanjem nudi niz prednosti, konstrukcije su lakše, proizvodni proces je jednostavniji što se svakako ogleda kroz ekonomske aspekte.

Proces savijanja se može kombinovati i sa ostalim procesima obrade deformacijom: prosijecanjem, probijanjem, izvlačenjem i raznim drugim oblikovanjima. Ova tehnologija zauzima vidno mjesto u izradi dijelova za laka i teška vozila, traktore, šinska vozila, poljoprivredne mašne, aparaturu, razne građevinske proizvode, proizvode u avio industriji, bijeloj tehnici itd.

U zavisnosti od dimenzija i oblika komada, profila poluproizvoda i samog karaktera proizvodnje, proces savijanja se obavlja:

- Alatima na presama,
- Valjcima na rotacionim mašinama za savijanje,
- Posebnim uređajima na specijalnim mašinama za savijanje.

U ovoj studiji slučaja je analizirana mogućnost izrade UD-profila. UD-profil koristi se u građevinarstvu, suha gradnja, za uređenje enterijera. Osnovni materijal koji se koristi u suhoj gradnji je gips – prirodni materijal koji se već vijekovima rado i često koristi, a odlikuje se izvrsnim fizikalnim i biološkim svojstvima, hemijski je neutralan, nije zapaljiv i ne sadrži štetne materije, lako se oblikuje i prerađuje, a upotreba i primjena vrlo su jednostavne. Najrazličitiji tipovi gipsanih ploča pričvršćuju se na metalne konstrukcije sastavljene od različitih vrsta profila što omogućuje raznovrsna prostorna rješenja. UD-







profil je dio konstrukcije (tzv. "roštilj") na koju se postavljaju gips karton ploče pomoću samourezivih vijaka.

Posebna pažnja je posvećena postupku odrade profilnog savijanja pomoću valjaka. Prezentovana je proizvodna oprema, mašina za profilno savijanje pomoću valjaka proizvođača "DALLAN" Italija, u proizvodnom preduzeću "K&C", Laktaši, BiH. Meterijal od koga se pravi UD-profil je pocinčani lim debljine 0,6 mm. Modeliranje alata, valjaka, je vršeno u programskom paketu "CATIA V5R19" proizvođača "Dassault Systèmes", a numerička simulacija procesa profilnog savijanja pomoću valjaka izvršena je u programskom paketu "Simufact.forming 10.0" proizvođača "Simufact" Njemačka, koji je instaliran i licenciran na Mašinskom fakultetu Banja Luka u Kooperativnom Trening Centru.







2. SAVIJANJE LIMA

Savijanje je postupak obrade deformisanjem kojim se obrađuju limovi, trake, elementi od žice, cijevi, šipkasti materijali kao i pripremci iz ovih polufabrikata. Savijanje se ostvaruje pomoću momenta savijanja. U zavisnosti od deformacije izazvane momentom savijanja razlikuje se: elastično-plastično savijanje i čisto plastično savijanje.

Savijanjem je moguće izrađivati profile najrazličitih oblika od kojih su najčešći U i V oblici. Da bi se moglo pravilno i ekonomično odrediti tehnologija za savijanje lima potrebno je detaljno razmotriti:

- Crtež izratka, sa svim njegovim zahtjevima: oblik i vrsta geometrijskih mjera, tehnologičnost i vrsta materijala.
- Broj komada. U zavisnosti od veličine broja komada donosi se odluka kojom tehnologijom se izrađuje profil.
- Analiza uslova pod kojim se ostvaruje optimalan proces obrade tj. izrada izratka sa najmanjim brojem radnih operacija i naknadnih dorada uz obezbjeđenje potrebnog kvaliteta i mehaničkih karakteristika izratka.

Dimenzije UD-profila (Slika 1) definisane su *DIN* 18182 normom. Dužina profila je 3000 mm, širina (unutrašnja) 27 mm i visina krakova 28 mm, debljina pocinčanog lima je 0,6 mm, površinska zaštita je 170-200 g/m² cinkove obloge.





Slika 1. UD-profil

Analizom dimenzija UD-profil dolazi se do zaključka da je navedeni profil moguće izrađivati na sledeće načine:







- Savijanjem na abkant presama.
- Profilnim savijanjem pomoću valjaka.

Pošto se radi o velikoserijskoj proizvodnji posebna pažnja i prednost će se dati procesu savijanja pomoću valjaka.

2.1 NAPONSKO DEFORMACIONO STANJE

Uslijed djelovanja momenta savijanja (Slika 2) doći će do savijanja nosača. Da bi se uočile deformacije, posmatraju se promjene koje nastaju na elementu dužine dx. Dva paralelna presjeka AB i A'B' nosača, na rastojanju dx, nakon opterećenja će se zakrenuti jedan u odnosu na drugi za ugao $d\varphi$. Pod uticajem momenta M nosač se deformiše tako da se gornja vlakna A-A' skraćuju, a donja B-B' izdužuju. Između njih će ležati vlakna, koja se pri ovom opterećenju ne mijenjaju i obrazuju neutralnu površinu, a njen presjek sa ravni savijanja daje neutralnu liniju (n-n).



Slika 2. Savijanje i neutralna linija

Dužina neutralnog vlakna poslije deformisanja ostaje nepromijenjena i jednaka prvobitnoj dužini.

$$\widehat{nn} = dx = \rho_n \cdot d\varphi$$

Jedinična deformacija vlakna C-C' na rastojanju z ispod neutralne linije iznosi:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{\Delta dx}{dx} = \frac{z}{\rho_n} \text{ ili } \varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\rho d\varphi - \rho_n d\varphi}{\rho_n d\varphi} = \frac{\rho - \rho_n}{\rho_n}$$

Nakon savijanja najveću deformaciju će pretrpjeti vlakna koja su najudaljenija od neutralne linije. Ukoliko neutralna linija prolazi kroz središte presjeka, tada je:







$$\varepsilon_{\max} = \frac{s}{2\rho_n} = \frac{R - \rho_n}{\rho_n} = \frac{\rho_n - r}{\rho_n}$$

U zavisno od vrste i veličine napona koji se javljaju u obratku pri savijanju problem savijanja se tretira na dva načina i to kao:

- Savijanje u elastično-plastičnom području
- Čisto plastično savijanje.

Moment savijanja u elastično-plastičnom području će biti:

$$M = \sigma_{v} \left[\frac{2}{z_{0}} \int_{0}^{z} z^{2} \cdot dA + 2 \int_{z_{0}}^{s/2} z \cdot dA \right] = R_{0.2} \cdot (W + S)$$

Pod pretpostavkom pravougaonog poprečnog presjeka obratka te primjenom Hookeovog zakona pri izračunavanju visine elastičnog deformisanog dijela, prethodna relacija se može pojednostaviti, pa će moment savijanja pri elastično-plastičnom savijanju biti

$$M = R_{0.2} \cdot \frac{b \cdot s^2}{4}$$

Moment savijanja u čisto plastičnom području:

$$M = \beta \cdot k \frac{b \cdot s^2}{4}$$

Moment savijanja s obzirom na ojačavanje materijala iznosi:

$$M = n \cdot R_m \frac{b \cdot s^2}{4}$$

gdje je:

n – korekcioni koeficijent ojačavanja koji se kreće u granicama n=1,6–1,8 R_m – čvrstoća zatezanja.

2.2 PROFILNO SAVIJANJE NA ABKANT PRESAMA

Ovaj tip savijanja predstavlja ugaono savijanje komada veće širine savijene zone i dužine od nekoliko metara na abkant presi (Slika 3).

Pritiskivač je velike dužine, nožastog oblika I najčešće izvodi jednougaono savijanje uz pomoć univerzalne matrice. Međutim, oblikovanje je uglavnom višeoperaciono (više jednougaonih savijanja uz zamjenu alata) tako da se dobijaju i vrlo složeni profili. Ovaj proces savijanja može se automatizovati i pogodan je za numeričko upravljanje

tako da se sve savremenije prese grade sa kompujuterskim upravljanjem.









Slika 3. Abkant presa i alat

Faze savijanja jednog limenog pofila na standardnom alatu date su na Slici 4.



Slika 4. Faze ugaonog savijanja na abkant presi

2.3 PROFILNO SAVIJANJE POMOĆU VALJAKA

Oblikovanje profila pomoću valjaka je postupak kontinuiranog oblikovanja profila različitog oblika i dimenzija od različitih materijala (čelični lim, lim od obojenih metala i njihovih legura, pocinkovani lim, obojeni lim, lim presvučen plastičnim prevlakama, perforirani lim). Postupak profilisanja pomoću valjaka je veoma produktivan sa brzinama kretanja obratka i do 180 m/min. U obradne sisteme za profilisanje pomoću valjaka lako se uključuju i drugi agregati koji omogućuju izvođenje dodatnih operacija kao što je perforiranje lima, spajanje zavarivanjem, savijanje, odsijecanje itd.

Hladno oblikovani profili primjenjuju se u zamjenu sa toplovaljanim profilima i po kvalitetu imaju čitav niz prednosti. Hladnooblikovani profili omogućuju najracionalnije iskorišćenje materijala s obzirom na nosivost. Primjena hladno oblikovanih profila







uslovljena je razvojem novih konstrukcija u oblasti automobilske industrije, vazduhoplovne tehnike, željeznice, poljoprivrednih mašina, aparata za domaćinstvo, elektroindustrije, građevinarstva i drugih oblasti tehnike.

U principu razlikuju se dvije osnovne grupe ovih elemenata (Slika 5):

- a) pojedinačni profili čija je širina znatno manja u odnosu na dužinu profila i
- b) profilisani (talasasti) limovi veće širine.



Slika 5. Vrste hladno oblikovanih profila







Osnovna karakteristika profilisanja pomoću valjaka je postupak formiranja zadanog oblika (višefazno oblikovanje) koje se postiže prolaskom obratka kroz veći broj jedinica za savijanje (Slika 6).



1 – Radni komad 2 – Gornji valjak 3 – Donji valjak

Slika 6. Šema procesa profilnog savijanja i faze oblikovanja

Karakteristike ovako dobijenih profila i procesa profilisanja su:

- Širok asortiman poprečnih presjeka profila sa maksimalnom nosivošću i racionalnim iskorišćenjem materijala,
- Mogućnost stvaranja lakih konstrukcija,
- Debljina lima je prilično ujednačena po poprečnom presjeku obratka,
- Dodatna obrada hladnooblikovanih profila je minimalna,
- Hladno oblikovani profili su ojačani,







- Tačnost mjera poprečnog presjeka je viša u odnosu na profile dobijene drugim postupcima,
- Profili imaju visok kvalitet površine što omogućuje kvalitetno nanošenje dekorativnih prevlaka i boje i povećanje antikorozivnih osobina,
- Tehnološki postupak profilisanja lima pomoću valjaka može se komponovati sa drugim postupcima u istoj proizvodnoj liniji,
- Mašine za hladno oblikovanje profila sa valjcima su vrlo produktivne i obično potpuno automatizovane,
- Alati za profilisanje su veoma trajni, a njihova izrada nije komplikovana.

Profilno savijanje pomoću valjaka suštinski se razlikuje u odnosu na postupak izrade profila pomoću specijalnog alata na univerzalnoj presi i u odnosu postupak profilisanja na abkant presi. Kod profilisanja sa valjcima obradak se kreće aksijalno, zona deformacije je mala, deformaciona sila je takođe manja, a dužina obratka je neograničena.

Poznavanje distribucije opterećenja na kontaktnim površinama valjaka značajno je za određivanje ukupnog opterećenja i obrtnih momenta valjaka i vratila na osnovu kojih se određuje i ukupna snaga pogonskog agregata.

U projektovanju tehnologije izrade profila spade čitav niz aktivnosti, a osnovne su:

- 1. Analiza tehnologičnosti konstrukcije profila
- 2. Izbor kvaliteta polaznog materijala
- 3. Izvor tehnološke šeme profilisanja
- 4. Utvrđivanje položaja profila u valjcima
- 5. Određivaje dimenzija pripremka
- 6. Izbor režima profilisanja
- 7. Konstrukcija alata (valjaka)
- 8. Izbor mašine za profilisanje.

2.3.1 Analiza tehnologičnosti konstrukcije profila

Često su oblik i dimenzije hladno oblikovanih profila određeni standardima ili internim normama pojedinih proizvođača. Međutim, nekada se javlja potreba za oblicima profila koji odstupaju od standardnih. Pri konstruisanju novog profila potrebno je imati u vidu određena pravila koja doprinose boljoj tehnologičnosti, te omogućuju lakšu izradu profila: profil mora odgovarati konstrukcionim i eksploatacionim zahtjevima uz ispunjavanje tehnoloških mogućnosti za proizvodnju, potrebno je uskladiti odnos







dimenzija profila prema debljini materijala u skladu sa preporukama, uskladiti radijus savijanja sa preporučenim vrijednostima imajući u vidu minimalne vrijednosti istih, izvršiti pravilan izbor vrste materijala s obzirom na deformacije koje nastaju u pojedinim zonama profila i predvidjeti eventualne dodatke za naknadnu mehaničku obradu profila. Poslije projektovanja profila određuje se širina pripremka za njegovu izradu. Za pravilno oblikovanje profila preporučuje se širina obratka u zavisnosti od debljine materijala.

Maksimalne dimenzije profila određene su prije svega mogućnostima raspložive opreme. Tu se prije svega mora voditi računa o maksimalnoj širini kao i o maksimalnoj visini profila koja je limitirana maksimalnim prečnikom valjka.

Minimalni radijusi savijanja limitirani su plastičnim svojstvima polaznog materijala. Po pravilu minimalni radijus ne treba da je manji od debljine materijala.

2.3.2 Izbor polufabrikata za izradu profila i položaj profila u valjcima

Kada je u pitanju kontinualni proces profilisanja pripremak za izradu profila je lim odgovarajuće širine i debljine namotan u bunt. Kvalitet pripremka u pogledu njegovih dimenzija, prije svega debljine i širine, a takođe i u pogledu mehaničkih i elastičnih svojstava, bitno utiče na stabilnost procesa profilisanja i kvalitet profila. Debljina materijala određuje zazor valjaka i mora se nalaziti u granicama definisanim standardom. Širina pripremka utiče na konačne dimenzije profila te se ona mora držati u određenim granicama. Eventualne greške u proizvodnji lima, kao što su neravnine u obliku talasa, oštećenja bočnih ivica lima nepovoljno se odražavaju na kvalitet profila.

Za izradu profila rotacionim alatima koriste se uglavnom hladno valjani dekapirani limovi, a u određenim slučajevima i toplo valjani limovi. Često se koriste i nerđajući čelici na bazi hroma i nikla. Limovi od aluminijuma i njegovih legura takođe se koriste za izradu profila, pri čemu se režimi obrade podešavaju u skladu sa mehaničkim osobinama materijala. Izrada profila postupkom rotacionog profilisanja moguća je i od plakiranih, zatim plastificiranih, obojenih i limova sa perforacijom.

Položaj profila u odnosu na horizontalnu osu valjka mora da obezbijedi sledeće zahtjeve:

- a) Izradu profila sa najprostijim oblikom valjaka;
- b) Pravilan brzinski režim profilisanja (minimalno prisustvo klizanja);
- c) Visok kvalitet površine profila;
- d) Visoku trajnost valjaka i niske troškove izrade i održavanja.







Ispunjavanje gornjih zahtjeva u tijesnoj je vezi sa pravilnim izborom osnovne ose i osnovnog elementa profila.

Osnovnu osu profila predstavlja linija koja prolazi kroz tačku profila koja ne mijenja svoj položaj tokom profilisanja. Kod simetričnih profila osnovna osa prolazi po sredini profila. Položaj profila u valjcima treba da je takav da se elementi profila pri savijanju podižu na gore. Da bi se pri profilisanju smanjio uticaj proklizavanja potrebno je da zone deformacije sa najvećim opterećenjem leže u neposrednoj blizini osnovnih prečnika valjaka. Osnovni prečnici valjaka (donjeg i gornjeg) su oni kod kojih su obimne brzine jednake.

Prisustvo zateznih napona u tangencijalnom pravcu u zoni savijanja dovodi do stanjenja polaznog materijala pa se na taj način uvećava dužina neutralne linije. Da bi se obezbijedio kvalitet profila s obzirom na dimenzije potrebno je navedena izduženja uzeti u obzir, što se postiže pravilnim izračunavanjem širine pripremka.

Širina pripremka određuje se kao dužina neutralne linije profila.

2.3.3 Izbor režima profilisanja

U režime obrade koji značajno utiču na proces profilisanja i kvalitet profila, spadaju veličina ugla savijanja i radijusi zaobljenja po fazama obrade.

Zbirni ugao savijanja predstavlja ugao između početnog i posmatranog položaja savijenog elementa, dok ugao savijanja u jednoj fazi predstavlja razliku sumarnih uglova posmatrane i prethodne faze savijanja (Slika 7). Prekomjerno povećanje ugla savijanja u okviru jedne faze obrade dovodi do pogoršanja naponskih uslova i stanjenja debljine materijala što se nepovoljno odražava na kvalitet profila.



Slika 7. Ugao savijanja







Režimi profilisanja nisu identični u svim fazama obrade.

Kod kontinualnog režima profilisanja kritična je prva faza obrade i defekti se najčešće u njoj javljaju.

U donjoj tabeli dati su podaci o uglu savijanja za pojedine tipove profila i pojedine faze obrade (prva, sledeća, posljednja):

Vrsta profila	Faza	Ugao savijanja za režime profilisanja	
	obrade	Pojedinačni Δα°	Kontinualni $\Delta \alpha^{o}$
U – profil	Prva	8 – 10	20
	Sledeća	12 – 14	15 – 20
	Posljednja	8 – 2	15
Ugaonik	Prva	6 – 8	18
	Sledeća	8	15
	Posljednja	1	12

Takođe važan parametar koji definiše režim profilisanja je veličina radijusa po fazama obrade u kombinaciji sa rastojanjem centra zaobljenja. Moguće su tri varijante:

- 1. Promjenljivi radijus zaobljenja sa konstantnim rastojanjem centra
- 2. Konstantan radijus zaobljenja, sa promjenjljivim rastojanjem
- 3. Konstantna veličina radijusa i konstantna veličina rastojanja između centra zaobljenja.

U prvom slučaju veličina radijusa savijanja određuje se na osnovu dužine dijela profila koji se definiše i na osnovu ugla savijanja po fazama. Radijus savijanja najveći je u prvoj fazi obrade i smanjuje se na zadatu vrijednost u poslednjoj fazi. Ovakav postupak profilisanja je povoljan i obezbjeđuje minimalno stanjenje materijala zbog toga što je opterećenje raspoređeno po cijeloj dužini zone deformacije.

U drugom slučaju deformacija počinje na periferiji zone i kreće se ka centru obratka. Opterećenje valjaka raste iz faze u fazu i najveće je na kraju procesa profilisanja. Međutim, ovakav postupak obezbeđuje izradu profila sa tačnim radijusom savijanja sa manjim brojem faza obrade. Rastojanje centra zaobljenja po fazama određuje se na osnovu ugla savijanja i veličine nedeformisanog dijela zone.

U trećem slučaju profilisanje se izvodi sa konstantnim radijusom i konstantnim rastojanjem centra zaobljenja. U ovom slučaju profilisanje se izvodi sa deformacijom koja se kreće od centra ka periferiji. Problem koji je prisutan kod ovog načina







profilisanja je teškoća održavanja položaja centra radijusa po fazama, što može dovesti do stanjenja debljine lima.

2.3.4 Konstrukcija valjaka

Konstrukcija valjaka slijedi nakon potpune razrade tehnološkog postupka izrade datog profila. Konstrukciono oblikovanje valjaka vrši se na osnovu oblika obratka po fazama profilisanja. Geometrija obratka u posmatranoj fazi obrade u najvećoj mjeri definiše geometriju valjaka za tu fazu.

Valjci za prvu fazu obrade moraju biti konstrukviono oblikovani tako da obezbijeđuju sigurno uvođenje trake što se postiže predviđanjem bočnih elemenata na valjku. Širina kalibra kod prvog para valjaka iznosi:

$$B_{k1} = B_0 + 1 \ [mm]$$

a kod sljedećih valjaka:

$$B_{kn}=0,5(B_n+B_{n-1})$$

gdje je:

B₀ – širina pripremka

 B_n , B_{n-1} – širina obratka po fazama (Slika 8).



Slika 8 Šema za određivanje širine valjka

Osnovni prečnici donjeg i gornjeg valjka određuju se na osnovu proračuna čvrstoće i prenosnog odnosa pogonskog agregata. Položaj profila u valjku treba podesiti tako da zone najveće deformacije leže na osnovnim prečnicima. Radijus zaobljenja valjaka određuje se na osnovu šeme profilisanja i režima obrade.







Radi smanjenja trenja na konusnim površinama valjaka donji i gornji valjak se izrađuju sa različitim uglom konusa.

Zbog povećanja dužine obratka iz faze u fazu osnovni prečnik donjeg valjka se povećava po fazama:

$$D_{od(n)} = K \cdot D_{od(n-1)}$$

gdje je:

K=1-1,004 – korekcioni factor.

3. PROIZVODNA OPREMA I MATERIJAL

Mašina za profilno savijanje pomoću valjaka (Slika 9) nalazi su u proizvodnom preduzeću *"K&C"*, Laktaši, BiH. Mašina je od proizvođača *DALLAN* model broj *LS-T4R-12-300 COMBI*. Kapacitet mašine je 60 m/min. Mašina zadovoljava sve potrebne evropske norme, što se potvrđuje posjedovanjem *CE* znaka.



Slika 9. Mašina za profilno savijanje pomoću valjaka

Mašina je sastavljena od više agregata od kojih se navode najbitniji: nosač trake, modul za podmazivanje, dvanaest parova valjaka, leteće makaze za sječenje i upravljački modul.

Nosač trake služi za nošenje kolutova trake određenje širine i težine. Maksimalna masa koluta trake ograničena je na 2 tone. Nosač trake je opremljen sa pneumatskom







kočnicom, kada se zaustavi proces proizvodnje nosač se takođe zaustavlja i ne dolazi do nepotrebnog odmotavanja trake.

Modul za podmazivanje sastavljen je od dva valjka presvučena sa tkaninastom košuljicom kroz koje se dozira emulzija vode i ulja za podmazivanje i hlađenje.

Parovi valjaka predstavljaju alate za profilisanje. Valjci su modularno projektovani, tako da komponovanjem valjaka dobijaju se alati za različite profile. Valjci se postavljaju na vratila koja imaju svoj pogon. Razmak između parova valjaka je 245 mm.

Leteće makaze odsijecaju profil na zadanu dužinu. Leteće makaze putuju zajedno sa profilom i u "letu" odsijecaju profil. Modul za odsijecanje pogonjen je hidrauličnim agregatom, a samo postolje se kreće pomoću recirkulacionog vretena.

Upravljački modul čuva osnovni mašinski program i podatke potrebne za proizvodni proces. Sastavljen je od displeja i funkcionalnih tipki. Na displeju se mogu isčitavati parametri procesa, a pomoću funkcionalnih tipki unositi osnovni podaci o procesu: broj komada, dužina profila i ostali parametri.



Slika 10 Valjci postavljeni na mašinu

Materijal za izradu UD-profila je hladno valjana pocinkovana traka debljine 0,6 mm *DIN* oznake St 02Z, *JUS* oznake Č.0146. Pocinkovana traka se nabavlja u kolutovima širine 800, 1000, 1200 mm, a da bi se prilagodila za izradu UD-profila reže se kružnim noževima.









Slika 11. Traka u kolutu i razrezana na kružnim makazama

4. MODELIRANJE I NUMERIČKA SIMULACIJA

Projektovanje podržano računarom obuhvata aktivnosti u kompjuterskom okruženju, kome je pridružena interaktivna kompjuterska grafika za kreiranje modela proizvoda i njegovih komponenti, njihovih modifikacija, analizu i optimizaciju. Dizajner i projektant može manipulisati dobijenim modelom, u fazi njegovog konceptualnog dizajna, razmotriti sve njegove alternative, i izvršiti brze promjene na modelu, ka dostizanju specifičnih zahtjeva u projektovanju. Da bi koncept modela proizvoda bio kvalitetan i održiv mora podržati ne samo fizički dizajn proizvoda, već i analizu, testiranje, optimizaciju dizajna, simulaciju, proizvodnju, montažu, održavanje i mnoge druge procese u razvoju proizvoda. Današnji *CAD* alati nisu namijenjeni samo geometrijskom modeliranju i manipulisanju oblicima, već i optimizaciji dizajna. Oni uključuju analizu tolerancija, precizni proračun zapremine i mase modela, simulacije metodom konačnih elemenata i analizu rezultata simulacije.

Inženjering podržan računarom (*CAE – Computer Aided Engineering*) je tehnologija u kojoj se kompjuterski sistemi koriste za analizu *CAD* modela, dozvoljavajući projektantu da simulira i analizira ponašanje proizvoda, kako bi se njegov dizajn poboljšao i optimizovao. Najšire korišćena metoda za kompjuterske analize u inženjerstvu je metoda konačnih elemenata. Koristi se za određivanje napona, deformacija, transfera toplote, protoka fluida i rješavanje ostalih problema.

CAD programski paket, i ako on spada u *CAE* programski paket, korišćen u radu je *CATIA V5R19*, *CAE* programski paket takođe korišćen u radu je *Simufact.forming 10.0*. koji će u daljem biti opisani.







4.1 MODELIRANJE PROCESA

Modeliranje procesa izvršeno je po dokumentaciji proizvođača mašine i alata "*DALLAN*" u programskom paketu *CATIA V5R19*. Modeli valjka su predstavljeni iz jedna, a ne komponovani iz modula, radi lakše i brže pripreme numeričke simulacije. Na Slici 12 prikazan je osnovni 3D model procesa izrade UD-profila.



Slika 12.3D model procesa izrade

Na Slici 13 ilustracije radi date su faze oblikovanja UD-profila sa osnovnim konstrukcionim detaljima valjaka.











Slika 13. Modeli valjaka po fazama izrade UD-profila

Modeliran je i 3D proces postupnog savijanja UD-profila po fazama prikazan na Slici 14.









Slika 14. 3D model procesa postupnog savijanja UD-profila

Na Slici 15 prikazane se faze oblikovanja sa uglovima savijanja i "cvjetni" dijagram, pogodan za sagledavanje svih faza procesa na jednom mjestu.



Slika 15 Faze oblikovanja UD-profila i "cvjetni" dijagram







4.2. NUMERIČKA SIMULACIJA

Kompjuterske simulacije su postale koristan dio matematičkog modeliranja mnogih prirodnih sistema u fizici, hemiji i biologiji, društvenim naukama i inženjerstvu. Simulacije se mogu koristiti za istraživanje i sticanje uvida u nove tehnologije i optimizaciju postojećih tehnologija.

Kompjuterski program koji je korišten u ovoj studiju slučaja je *Simufact.forming 10.0*, razvijen posebno za obrade deformisanjem. Kao konzistentno unapređenje dugo razvijanih softverskih rješenja za simulacije procesa *MSC.SuperForm* i *MSC.SuperForge* od *MSC.Software*, obe komplementarne tehnologije i softverski pristupi (*MSC.Dytran* i *MSC.Marc* solver) su objedinjeni u proizvod za simulaciju proizvodnje – *Simufact.forming 10.0*. Kompanija *Simufact Engineering GmbH* iz Njemačke održava, distribuira i unapređuje navedeni kompjuterski program.

Simufact.forming 10.0 softver je razvijen za analizu i simulaciju gotovo svih obrada deformisanjem, nezavisno od:

- temperature procesa (hladna, topla ili polu-topla obrada)
- korišćene mašine (mehaničke prese, čekići ili ekscentar prese, mašine za valjanje ili mašine za orbitalno kovanje)
- materijala obratka (niskougljenični i legirani čelici, aluminijum i drugi obojeni metali, titanijum i legure na bazi nikla)
- vrste procesa (kovanje u zatvorenim alatima ili istiskivanje, duboko izvlačenje, slobodno kovanje, savijanje ili slobodno oblikovanje, valjanje i profilno valjanje, čak i u objedinjenim procesima i primjeni alata sa elastičnim oslanjanjem)
- tip analize (zapremnisko ili oblikovanje lima, procjena tečenja materijala i analiza opterećenja alata).

Računarski program *Simufact.forming 10.0* je instaliran i licenciran u *Kooperativnom Trening Centru* na *Mašinskom fakultetu Banja Luka, Univerzitet u Banjoj Luci* u sklopu *Tempus Projekta WBCVMnet.*







4.2.1 Kreiranje procesa za simulaciju u Simufact.forming 10.0

Simufat.forming 10.0 ima široku lepezu alatki koje omugućavaju i olakšavaju definisanje procesa koji se simulira ili optimizuje. U daljem izlaganju pokazana je njegova primjena na konkretnom primjeru profilnog savijanja pomoću valjaka, čime je ukazano na sve mogućnosti ovog računarskog programa.

1) Start Programskog paketa simufact.forming 10.0

Simufact.forming 10.0 je potpuno prilagođen okruženju *Windows* operativnog sistema tako da se startovanje vrši kao i ostalih programa.

2) Kreiranje novog procesa

U glavnom prozoru potrebo je kreirati novi pojekat klikom na padajući meni *File*→*New Project*.

U ovom dijalog prozoru se podešavaju osnovne postavke procesa deformisanja: vrsta obrade u meniju pod *Type*, stanje odrade (toplo, hladno) u *Forging (Hot, Cold)*, način simuliranja pod *Simulation (2D,3D)* i željeni solver (konačni elementi ili konačne zapremine) pod *Suggested solver (FE,FV)*. Program postavlja sam, automatski, ostale paramete po predefinisanim vrijednostima zavisno od izabranog procesa.

U datom slučaju bira se vrsta procesa, profilisanje *(Rolling)* u hladnom stanju (*Cold*), broj alata, odnosno valjaka, može se podesiti unaprijed pod *Dies* ili se dodaju poslije u procesnom prozoru (*Processes Tree Window*). Klikom na dugme *OK* pojavljuje se glavni prozor *Simufact.forming 10.0* (Slika 16). Program automatski postavlja osnovne elemente procesa za svaku simulaciju u procesnom prozoru (*Process Tree Window*) na lijevoj strani. Popisni prozor (*Inventory Window*) je u sredini i na desnoj strani je prozor modela (*Model Window*).

Osnovne komponete svake simulacije u procesnom prozoru (*Process Tree Window*) su:

- Gornji alat (UpperDie),
- Donji alat (*LowerDie*),
- Radni komad (Workpiece),
- Temperatura okoline (Ambient Temperatre),
- Kontrola procesa (*Forming Control*).

Kada se kreira novi projekat simulacije poželjno mu je dati jedinstveno ime.







😻 simufact.forming 10.0 - View Project1.sfp *	
File Edit View Insert Tools Window Help	
▋▆▋▋▆▋▌▙▆▏▙▋▙▙▙▙▙₿₡₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽	
Processes RolingFe3D UpperDie Cowrchie Workpiece Ambient Temperat Forming	
Filter RollingFe3D	
● ● ● ● ● ► X Y Z Pitch · ŽŽČČ ■ • • • • • • • • • • • • • • • • • •	
RollingFe3D': Ready.	

Slika 16. Glavni prozor simufact.forming 10.0

3) Definisanje geometirije alata i radnog predmeta

Definisanje geometrije alata i radnog predmeta vrši se klikom miša na padajući meni *Insert→Model*. Može se uvoziti geometrija iz prijašnjih rezultata tasterom *From Result...*, kreiranje jednostavnih geometrija *Auto shape...* modulom, uvoziti modele iz već kreiranih dokumenata tasterom *From file...* ili preuzimati *CAD* modele tasterom *CAD import...*.

Pošto su modeli valjaka i radnog predmeta kreirani u CAD paketu *CATIA V5R19* i sačuvani u standardizovanim dokumentma ekstenzije *.*stl* koristi se opcija *From file....* Kada su učitani modeli u *Inventory Window*, potrebno je modele dodijeliti odgovarajućim elementima u procesnom stablu (*Process Tree Window*), što se postiže "*drag and drop*" funkcijom, odnosno uzimajući i dodjeljujući odgovarajuće geometrije elementima u procesnom stablu (Slika 17).









Slika 17. Definisana geometrija procesa profilisanja

4) Definisanje materijala

Klikom na padajući meni *Insert→Material* dobijaju se četiri tastera:

- Manual...; manuelno unošenja podataka o materijalu,
- Library...; interna biblioteka materijala,
- From MatILDa...; baza materijala,
- From JMatPro...; baza materijala.

Dodjeljivanje materijala radnom predmetu vrši se "*drag and drop*" funkcijom.

5) Definisanje prese

Pošto se u programskom paketu ne nalazi mašina za profilno savijanje valjcima, bira se hidraulična presa, tako da translatorno kretanje izvode valjci, a ne traka kako je to u realnom slučaju. Učitavanje prese vrši se klikom na padajući meni *Insert*→*Press*→*Manual...*. Podešavanje brzine prese vrši se pod *Velocity(V)* unošenjem 1 (m/sec). Potrebno je da se presa "*drag and drop*" funkcijom dodijeli porecesu, zatim se alati istom funkcijom dodjeljuju presi.







6) Definisanje trenja

Klikom na padajući meni *Insert→Friction→Manual...* dobija se dijalog prozor, u kome se podešava vrsta trenja (*Type of Friction*), koeficijent trenja (*Coulomb Friction*) i habanje alata (*Die wear*).

7) Podešavanje temperature

Potrebo je podesiti temperaturu okoline što se postiže dvoklikom na *Ambient Temperature* u *Process Tree Window* unošenjem 20° (C). Temperature alata i radnog predmeta dodaju se klikom na padajući meni *Insert* \rightarrow *Heat* \rightarrow *Die* \rightarrow *Manual* i *Insert* \rightarrow *Heat* \rightarrow *Workpiece* \rightarrow *Manual* postavljajući takođe 20° (C).

8) Kontrola procesa (*Forming Control*)

Dvoklikom na *Forming* u *Proces Tree Window* dobija se dijalog prozor za finalna podešavanja simulacije. U pomenutom prozoru imamo meni sa sljedećim stavkama:

- Stroke; služi za podešavanje hoda prese za pokretne alate,
- Sub-stages; nudi pomoć pri pozicioniranju i podešavanju procesa,
- Output divisions; služi za odabir prezentovanja rezultata po procentu izvršenja procesa,
- **Outpur results**; daje mogućnost izbora izlaznih rezultata,
- Step control; služi za podešavanje broja koraka u kojima solver rješava proces,
- Advanced
- **Solver**; odabir matričnog solvera i podešavanje,
- Contact; podešavanje kontaktnih tolerancija,
- Friction; podešavanje trenja cijelog procesa,
- Symmetry; dodavanje ravni simetrije radi bržeg rješavanja simulacije,
- Parallel; mogućnost iskorištenja više jezgrenih procesorskih jedinica,
- Miscellaneous; podešavanje dodatnih opcija u procesu (gravitacija).

9) Dodavanje kontaktne tabele i ravni simetrije

Proces profilnog savijanja pomoću valjaka zahtijeva definisanje dodatnih modula za korektno simuliranje. Modul *Contact table* dodaje se klikom miša na padajući meni *Insert*→*FE Contact table* u kome se definiše kontakt između pojedinih elemenata procesa. Modul *Symmetry Palne* dodaje se klikom miša na padajući meni *Insert*→ *Symmetry Palne* u kome se definiše pozicija ravni simetrije.







10) Kreiranje mreže konačnih elemenata

Kreiranje mreže konačnih elemenata vrši se u dijalog prozoru **Mesh** do kojeg se dolazi dvoklikom na **Mesh** u **Proces Tree Window** pod elementom **Workpiece**. U navedenom prozoru vrši se odabir generatora mreže pod **Mesher**. Postoji više ponuđenih generatora: **sIMesh Terta**, **Patran Tetra**, **Overlay Hex**, **Sheetmesh**, **Ringmesh**. U datom primjeru koristi se **Sheetmesh**.

Ovim je završeno definisanje procesa simulacije, sledeći korak bio bi pokretanje simulacije, čekanje da računar obradi podatke i na kraju prezentovanje rezultata simulacije.

4.2.2 Prezentovanje rezultata simulacije

U programskom paketu *Simufact.forming 10.0* moguće je prikazivati različite vrste rezultata, od proste animacije hoda prese, do naponskog stanja svakog konačnog elementa. Klikom na ikonu i v **Result toolbar** dobija se prozor (Slika 18) sa ponuđenim raznim vrstama rezultata. Dvoklikom na željenu vrstu rezultata (**None,** *Effective Plastic Strain, Effective Stress, Temperature, Material Flow...*) otvara se novi prozor sa odabranim rezultatima.



Slika 18. Prozor za odabir rezultata







Radi poređenja sa modelovanim fazama procesa izrade UD-profila prvo se daje animacija procesa na Slici 19. (animaciju je moguće sačuvati u video format te je prezentovati kao video klip).



Slika 19. Animacija procesa izrade UD-profila

Na Slici 20 su prikazane efektivne plastične deformacije, legende u gornjim lijevim uglovima daju uvid u veličinu efektivne plastične deformacije po bojama s tima da, plava boja označava najmanju deformaciju odnosno jednaku nuli, a crvena najveću odnosno jednaku 0.539. Takođe kao i na prethodnoj slici daje se više slika u jednoj, radi lakšeg predstavljanja, bolja vizualizacija rezultata je ostvariva pomoću video klipova.









Slika 20. Efektivna plastična deformacija

Dvoklikom na *Effective Stress* u prozoru *Result Selectioon* dobijaju se prikazi efektivnih napona koji vladaju duž procesa obrade (Sliika 21). Legende u gornjim lijevim uglovima pokazuju rezultate po bojama, plava boja pokazuje efektivni napon od 0 MPa, dok crvena maksimalnu vrijednost od 590 MPa.









Slika 21. Efektivni napon

Dijagrami toka materijala (Slika 22) se dobijaju dvoklikom na *Material Flow* u prozoru za odabir rezultata. Tok materijala daje se u jedinicama mm/sec, pokazuje tendenciju kretanje trake u vertikalnoj ravni. Više je koristan za zapreminska oblikovanja, pošto se dobija uvid u tok materijala (naročito kod istiskivanja).









Slika 22. Tok materijala

Selektovanje i očitavanje rezultata pojedinih čvorova konačnih elemenata postiže se korišćenjem komade **Query Result** do koje se dolazi klikom na ikonu . Na Slici 23 pokazan je čvor sa maksimalnim efektivnim naponom od 593.43 MPa. Ovaj napon se dostiže u poslednjem kontaktu trake sa valjcima, faza 9.









Slika 23 Maksimalni efektivni napon

Geometrijsko mjerenje radnog komada u bilo kojoj fazi oblikovanja vrši se komandom *Measuring* do koje se dolazi klikom na ikonu $\stackrel{\text{\tiny MEM}}{\stackrel{\text{\tiny MEM}}{\stackrel{\text{\tiny MEM}}}$. Na Slikama 24 i 25 prikazane su osnovne geometrijske mjere izrađenog UD-profila.



Slika 24. Izmjerena širina UD-profila



Slika 25. Izmjerena visina krakova UDprofila







Kao što se vidi izmjerena širina UD-profila je 27±0.2 mm što u potpunosti odgovara *DIN 18182* normi. Izmjerena visina krakova UD-profila je 28±1 mm što takođe odgovara navedenoj normi.

Mjerenje debljine trake vrši se dvoklikom na *Thickness* u prozoru za odabir rezultata. Na Slikama 26 i 27 izmjerena je debljina materijala na početku procesa, koja iznosi 0.6 mm i na kraju procesa izrade, čije mjere se kreću u rasponu od 0.6 do 0.599 mm. Takođe debljina trake je propisanja *DIN 18182* normom i izmjerena debljina trake odgovara nevednoj normi.



Slika 26. Debljina trake na početku procesa









Slika 27. Debljina trake poslije procesa izrade

5. ZAKLJUČAK

Primjena numeričkih simulacija je dobro provjeren i ekstremno koristan alat za predviđanje problema u industrijkoj proizvodnji i smanjenje vremena i troškova u razvoju novih proizvoda, te optimizaciji postojećih proizvoda.

Korist od prikazane numeričke simulacije procesa izrade UD-profila je da se analizira postojeći način procesa izrade te uoče mogući koraci za optimizaciju procesa. Smanjenje faza oblikovanja uticalo bi na smanjenje troškova alata i utrošene energije. Promjenom geometrije valjaka uticalo bi se na veličine efektivnih deformacija i efektivnih napona, što bi takođe dovelo do ukupnog smanje troškova izrade. Revidiranjem same geometrije UD-profila, dodavanjem uzdužnih orebrenja uticalo bi se na čvrstoću profila.

Bitna je sama priprema numeričke simulacije jer značajan faktor je vrijeme koje je potrebno za izračunavanje numeričke simulacije. Korištenjem novijih i savremenih kompjuterskih sistema, kompjuterskih sistema sa više procesorskih jedinica ili klastera kompjutera znatno bi dovelo do uštede vremena potrebnog za izračunavanje. Pravilnim







i podesnim izborom veličine i oblika konačnih elemenata utiče se ne samo na smanjenje vremena, već i na rezultate numeričke simulacije. Korišćenjem regenerisanja mreže (*remeshing*) konačnih elemenata znatnije se utiče na kvalitet rezultata numeričke simulacije.

LITERATURA

- [1] Musafia B.: OBRADA METALA PLASTIČNOM DEFORMACIJOM, Mašinski fakultet Sarajevo, 1972.
- [2] Plančak M., Vilotić D., Vujović V.: TEHNOLOGIJA PLASTIČNOSTI II, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, 1992.
- [3] M. A. Sheikh, R. R. Palavilayil, An assessment of finite element software for application to the roll-forming process, Journal of Materials Processing Technology 180 (2006), 221–232
- [4] Dallan, GENERAL MANUAL, Treviso, 2002.
- [5] Mandić V.: VIRTUELNI INŽENJERING, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2007.
- [6] <u>http://www.dallan.com</u>
- [7] Simufact, simufact.forming 10.0 User Guide, 2011.
- [8] <u>http://www.simufact.de/en/index.html</u>

