

UNAPREĐENJE TEHNOLOGIJE SAVIJANJA NA PRIMERU NOSAČA BOJLERA

IMPROVEMENT BENDING TECHNOLOGY ON BOILER CARRIER EXAMPLE

Andelka Stanković¹⁾

Rezime: Oblikovanje metala na hladno je kompleksan koncept obrade metala u današnjoj industriji. Prvi deo ovog rada sadrži osnovne karakteristike procesa oblikovanja metala deformisanjem, sa posebnim akcentom na obradu metala savijanjem. Opisano je dvougono savijanje praćeno pojavom elastične povratnosti koja je i glavna tema ovog rada. Nakon toga rad se bavi savijanjem nosača za boiler, na kome je moguće videti ponašanje metala tokom savijanja, kroz realizovanu nimeričku simulaciju. Moguće je videti postupak numeričkog modeliranja u softveru, od definisanja ulaznih podataka do pregleda i analize rezultata. Poslednje poglavlje rada sadrži pregled rezultata simulacije i upoređivanje istih sa realnim delom.

Ključne reči: plastična deformacija, hladno oblikovanje, savijanje, simulacija

Abstract: Cold metal forming is complex concept of making metal parts in daily industry. In the first part of this paper are main characteristics of deforming material process, with special accent in metal forming by bending. It is described of double angle bending followed by process of spring-back that is main topic of this paper. After that, paper describes bending of boiler carrier on which is possible to see motion of metal during bending, through realized numerical simulation. It is possible to see procedure of numerical modeling in software, from defining input data to review and analyzing results. Last chapter of the paper contents review of simulation results and comparing results with real part.

Key words: plastic deformation, cold forming, bending, simulation

1. UVOD

Kako je tehnologija unapredovala, tako želimo i da dobijemo što kvalitetniji proizvod na što brži i jeftiniji način. Princip hladnog deformisanja je široko poznata i prihvaćena metoda u industrijskoj praksi [1]. Postoje mnogi internacionalni radovi o deformaciji metala, kako o toploj tako i hladnoj [2] [3] [4], a naročito uz pomoć računarskih tehnologija. [5]

Cilj ovog rada je da se izvrši analiza procesa savijanja lima kroz numeričku FE simulaciju procesa, uz prethodno projektovanje dela i alata, koje je realizovano u saradnji sa kompanijom „Metalac“, u okviru stručne prakse.

Rezultate dobijene simulacijom treba uporediti sa pravim stanjem savijenog dela na primeru nosača za boiler. Tako je nastala ideja da se prati razvoj novog proizvoda i učestvuje u njegovom osvajanju. Obostranim interesovanjem i saradnjom dat je doprinos realizaciji ideje i ukazano je na sličnosti i razlike savijenog komada dobijenog u realnim uslovima i simulacijom u softveru, a time je ostvaren cilj ovog rada.

2. OBRADA METALA PLASTIČNIM DEFORMISANJEM

Od svih tehnologija obrade metala, tehnologija plastičnog deformisanja metala zauzima istaknuto mesto. To je obrada metala bez skidanja strugotine, obavlja se pod dejstvom spoljašnjih sila.

Tokom obrade deformisanjem metal menja svoje karakteristike: povećava mu se čvrstoća i žilavost, a što je najvažnije ne menja se vlaknasta struktura materijala koja se tokom obrade rezanjem ne može sačuvati.

Prednosti obrade deformisanjem su:

- visoka tačnost izrađenih delova,
- dobijanje boljih mehaničkih svojstava materijala,
- mogućnost izrade komplikovanih proizvoda koji se rezanjem uopšte ne bi mogli dobiti i
- visoka produktivnost.

1) Andelka Stanković, student III godine, Mašinski fakultet Kragujevac, mail: andja.sanja@yahoo.com

Nedostaci su:

- smanjenje plastičnosti u toku deformisanja i
- visoka cena mašina i alata.

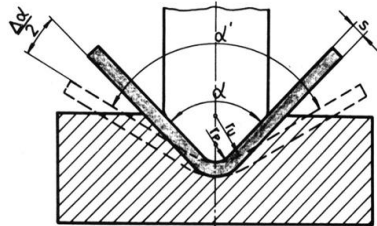
Materijal se tokom deformisanja opterećuje iznad granice elastičnosti, dovodi se u stanje plastičnog tečenja čime mu je obezbeđeno da trajno zadrži zahtevani oblik. Obrada se može vršiti u hladnom i toplom stanju što zavisi od oblika, dimenzija, osobina početnog materijala, složenosti gotovog dela, konstrukcije alata i mašine [6].

3. PROCES SAVIJANJA LIMA

Karakteristika procesa savijanja je, u većini slučajeva, lokalno plastično deformisanje. Deformisana zona tada obuhvata manji deo zapremine komada, mada ima postupaka gde se deformiše kompletna zapremina (npr. kružno savijanje).

3.1. Elastična povratnost

Ukupnu deformaciju pri savijanju uvek čini, pored plastičnog, i elastični deo. Po oslobađanju savijenog dela iz alata elastične deformacije nestaju, što rezultira povećanjem ugla savijanja.



Slika 1 - Elastična povratnost pri savijanju

Ako se deo optereti tako da na njega deluju i plastične deformacije, posle rasterećenja i nestanka elastičnih deformacija, deo menja svoje dimenzije (slika 1). Ova pojava se zove elastična povratnost [6].

4. MODELIRANJE I SIMULACIJE U OBRADI METALA DEFORMISANJEM

Smanjenje vremena projektovanja i izrade proizvoda može se postići primenom numeričkih simulacija, u ranoj fazi projektovanja, pre same izrade alata za proizvodnju i probne proizvodnje, jer se svi eventualni problemi mogu uočiti i izbeći. Numeričke simulacije koriste se za predviđanje tečenja materijala, određivanje distribucija deformacija, napona, temperatura, naprezanja na alatima, potencijalnih izvora defekata i lomova, osobina i mikrostrukture proizvoda, kao i procenu

elastičnog ispravljanja i zaostalih napona. Ovakvim načinom projektovanja može se uštedeti vreme i mogu se izbeći nepotrebni troškovi.

4.1. Modeliranje i simulacije u Simufact.forming-u

Jedan od programskih paketa koji omogućava lakšu proizvodnju kroz modeliranje i simulacije je Simufact.forming. On omogućava virtuelni prikaz sofisticirane fizike složenih proizvodnih procesa na kompjuteru, tako da korisnik može videti i prepoznati realne situacije iz proizvodnje. Simufact je moćan alat u rukama stručnjaka koji se bave projektovanjem proizvoda i procesa, tehnologijom, konstrukcijom, koji vodi boljem razumevanju procesa, prevenciji defekata i otkaza u proizvodnji, poboljšanom kvalitetu proizvoda.

Simufact.forming softver je razvijen za analizu i simulaciju gotovo svih aplikacija oblikovanja materijala, nezavisno od: temperature procesa, korišćene mašine, materijala obradka, vrste procesa, tipa procesa.

U Simufact.forming-u se koristi metoda konačnih elemenata, jer se njome dolazi do najpreciznijih rezultata, a moguće je prikazivanje simulacije u bilo kom trenutku procesa. U softver importujemo radni komad definisan kao 3D objekat, a program mu automatski na zahtev korisnika kreira 3D mrežu modela radnog komada, koja je optimizovana za obradu tankih limova. Korišćenje ovakvih 3D konačnih elemenata se posebno efikasno pokazalo kod predviđanja varijacija debljina, elastične povratnosti i zaostalih napona [7].

5. OPIS PROBLEMA

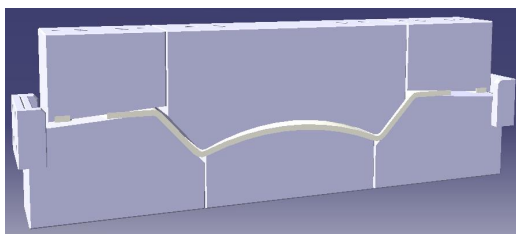
Prethodna poglavlja ovog rada daju teoretski prikaz. U daljem delu rada analiziran je konkretan primer procesa savijanja nosača za bojler, kao proizvoda čije osvajanje je bilo planirano u kompaniji "Metalac" Gornji Milanovac.

Polufabrikat je pre savijanja prosečen na mestima gde se povezuje sa bojlerom i kači na zid. Operacijom savijanja polufabrikat dobija zahtevani oblik prikazan na slici 2.



Slika 2 - Nosač za bojler

Za simulaciju procesa savijanja u Simufact.forming-u potrebno je imati 3D modele razvijenog stanja radnog komada i alata za operaciju savijanja. 3D modeliranje je izvršeno u programskom paketu Proengineer, a već gotovi modeli delova su dobijeni od inženjera iz "Metalca" i importovani u Simufact u fazi predprocesiranja. Sklop alata zajedno sa polufabrikatom u poziciji kada je savijanje završeno prikazan je na slici 3.

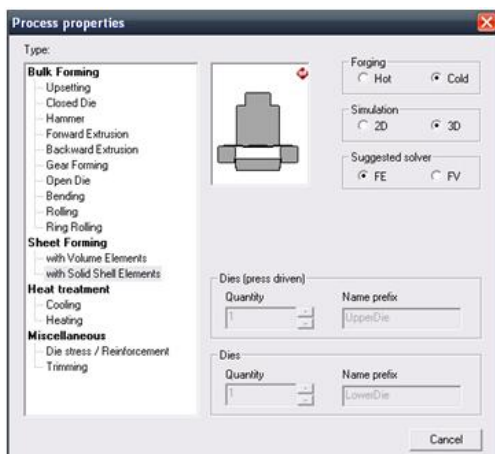


Slika 3 - Sklop alata i radnog komada

6. DEFINISANJE ULAZNIH PODATAKA ZA SIMULACIJU

Jedan od najbitnijih koraka je definisanje ulaznih podataka za simulaciju. Oni moraju biti ispravni i jasno definisani da bi proces simulacije bio pouzdan i relevantan. Podaci se u Simufact-u definišu na sledeći način i prikazani od slike 4 do slike 13.

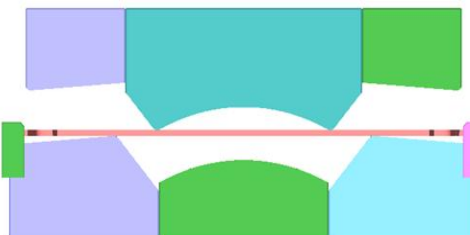
Definisanje vrste procesa podrazumeva određivanje tipa procesa i njegovih osobina. U ovom slučaju definiše sa proces savijanja na hladno (znači na sobnoj temperaturi - u normalnim uslovima), simulacija će biti prikazana u prostornom obliku (3D) i rađena metodom konačnih elemenata – FE (slika 4).



Slika 4 - Vrsta i osobine procesa

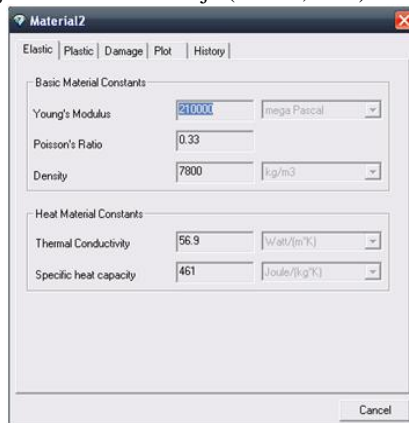
Drugi korak je importovanje alata i razvijenog stanja radnog komada i njihovo pozicioniranje u programu. Alat i pripremak se mogu projektovati u

nekom drugom programu namenjenom modeliranju, a zatim se uvoze u Simufact kao IGS ili STL fajlovi. Za ovu analizu potreban model alata je dobijen od inženjerskog tima iz "Metalca" a.d. i unet je u softver sa unapred definisanim pozicijama, spreman za početak simulacije (slika 5).

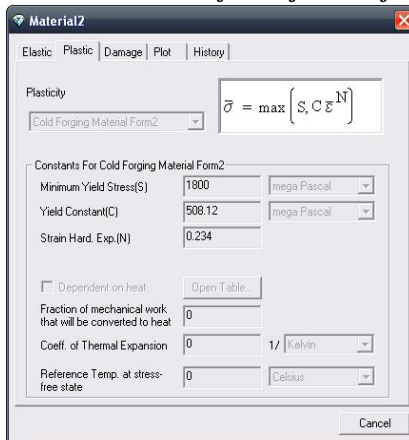


Slika 5 - Alat i radni komad u pravilnom položaju za početak simulacije

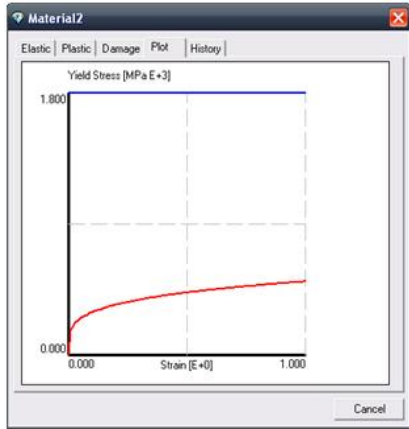
U podprozoru za definisanje materijala radnog komada unose se karakteristike materijala, u ovom slučaju lima, unose se osobine elastičnosti i plastičnosti, način na koji material teče, odnosno kako se ponaša tokom procesa. U postojećoj bazi podataka nije postojao traženi materijal, pa se pristupilo ručnom definisanju karakteristika dobijenih testom zatezanja (slika 6, 7 i 8)



Slika 6 - Tabela za definisanje materijala

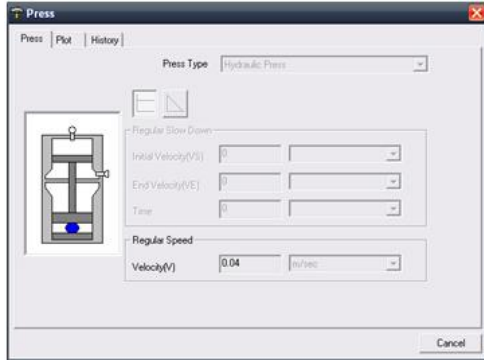


Slika 7 - Tabela za definisanje materijala



Slika 8 - Način tečenja materijala tokom procesa savijanja

Izbor prese zavasio je od mnogo parametara i konačan izbor je hidraulička presa brzine 0.04m/sec. Vrsta i osobine prese dati su na slici 9.



Slika 9 - Vrsta i osobine prese

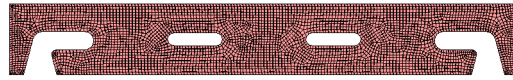
Za određivanje kontaktnih uslova između alata i radnog komada odabran je Kulonov zakon karakterističan po linearnoj zavisnosti trenja i pritiska. Uneta je vrednost koeficijenta trenja $\mu=0.1$, što važi za slučaj podmazivanja mašinskim uljem (slika 10).



Slika 10 - Opis trenja

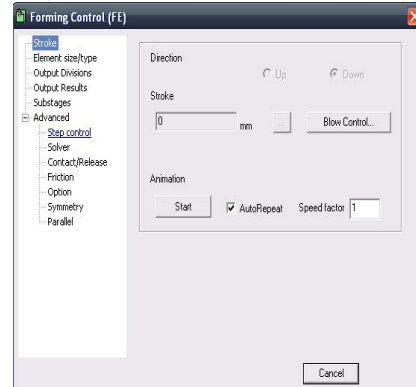
Kreiranje mreže vrši se opcijom "mesh". Tu se definiše tip mreže i veličina elemenata u zavisnosti od složenosti geometrije komada. Ovde

je tip mreže Sheetmesh, a veličina elementa je 1mm. Mreža se definiše da bi analiza bila što preciznija (slika 11).



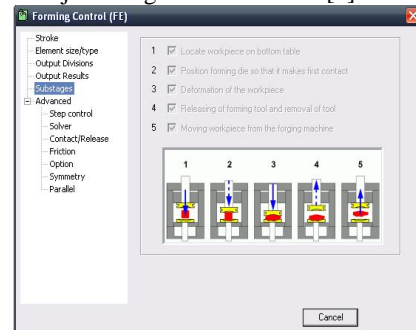
Slika 11 - Definisana mreža radnog komada

Pre puštanja programa da uradi simulaciju moraju se definisati i osobine same simulacije. Smer kretanja oblikača-dole, korak alata-nula, a to znači da je alat pozicioniran tako da će simulacija prestati kada alat zauzme krajnji, nulti, položaj (slika 12).



Slika 12 - Korak pomeranja alata

Određuju se i faze procesa (slika 13) za koje želimo da se izvrši analiza, a to su: pozicioniranje radnog komada na donji deo alata, pozicioniranje gornjeg dela alata (oblikača) do kontakta sa radnim komadom, obrada radnog komada, prestanak deformisanja i vraćanje oblikača na gore, oslobađanje radnog komada iz alata [8].



Slika 13 - Faze FE simulacije

7. REZULTATI NUMERICKE SIMULACIJE

Na osnovu prethodno definisanih podataka izvedena je FE numerička simulacija operacije savijanja. Softver Simufact.forming omogućava pregled velikog broja izlaznih rezultata, na osnovu kojih se može oceniti kvalitet obrade, kao i mogućnost predviđanja nekih problema koji se mogu pojaviti u toku procesa. Rezultati koji se najčešće analiziraju su raspodela efektivne

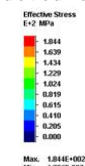
deformacije i efektivnog napona i procena elastične povratnosti.

7.1. Prikaz raspodele efektivnog napona

Raspodela efektivnog napona duž radnog komada tokom savijanja prikazana je na slikama 14, 15 i 16. Raspon napona je u granicama od 20 do 1840 MPa. Karakteristike raspodele efektivnog napona su:

- najveći naponi su duž radijusa radnog komada, kreću se oko 1800 MPa,
- po sredini radnog komada gde je najveći radijus naponi imaju vrednosti od 800 do 1200 MPa i
- Naponi su najniži u kracima radnog komada gde dostižu vrednosti do oko 60 MPa.

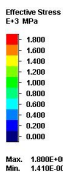
Na osnovu analize rezultata može se zaključiti da je raspodela napona prilično simetrična i da su naponi u okviru dozvoljenih. Navedenom analizom može se potvrditi kvalitet rezultata, što dovodi do zaključka da obrada nije kritična [8].



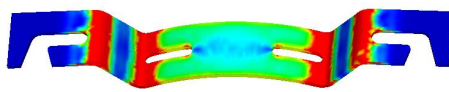
Max: 1.844E+002
Min: 1.706E-007



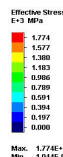
Slika 13 - Raspodela efektivnog napona 2.75% forming



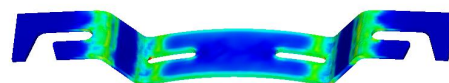
Max: 1.800E+003
Min: 1.410E-002



Slika 14 - Raspodela efektivnog napona 97.55% forming



Max: 1.774E+003
Min: 1.044E-001

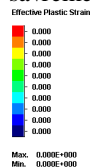


Slika 15 - Raspodela efektivnog napona 100% forming

7.2. Prikaz raspodele efektivne deformacije

Na slikama 16, 17 i 18 prikazana je raspodela efektivne deformacije. Analizom rezultata je utvrđeno da je raspodela efektivne deformacije vrlo simetrična. Dijapazon deformacije se kreće od 0 do 0.3, što predstavlja veoma malu efektivnu deformaciju mnogo ispod granica dozvoljenog. Najveća je deformacija u predelu manjih radijusa, ali je i tu dovoljno mala da obrada nije kritična.

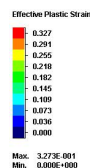
Pouzdanost i tačnost dobijenih rezultata nameće zaključak da je primenjeni metod neophodan u razvoju novih proizvoda, primenom savremenih tehnika virtuelnog inženjeringa [8].



Max: 0.000E+000
Min: 0.000E+000



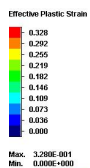
Slika 16 - Raspodela efektivne deformacije 2.75% forming



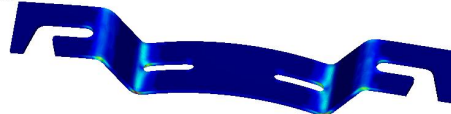
Max: 3.273E-001
Min: 0.000E+000



Slika 17 - Raspodela efektivne deformacije 97.55% forming



Max: 3.280E-001
Min: 0.000E+000



Slika 18 - Raspodela efektivne deformacije 100% forming

7.3 Procena elastične povratnosti

Kao što je već objašnjeno, elastična povratnost je pojava koja skoro uvek prati proces savijanja. Nakon savijanja, kada se radni komad oslobodi iz alata dolazi do njegovog ispravljanja za veličinu elastične deformacije. Utvrđivanje elastične povratnosti se vrši merenjem položaja jednog kraka u alatu i položaja istog kraka posle

oslobađanja radnog komada iz alata. Procenom u okviru softvera je utvrđeno da je elastična povratnost u pravcu ose X 0.828mm, u pravcu ose Y 0.104mm, a u pravcu ose Z 6.668mm

7.4. Upoređivanje rezultata simulacije sa realnim savijanjem

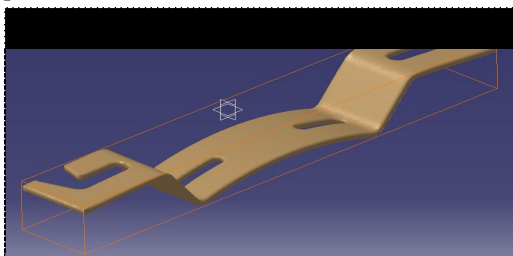
Numeričkom simulacijom može se dobiti model obrađenog dela skoro istih dimenzija kao i deo obrađen u realnim uslovima.

Merenje fizičkog objekta je vršeno u CEVIP-u na koordinatnoj mernoj mašini (slika 19). Multisenzorska CMM mašina Weth VC IP250 služi za merenje i kontrolu 2D i 3D geometrije delova sa veoma malim detaljima pomoću optike, lasera i patentiranog kontakt senzora - fiber, omogućavajući različite strategije i nalaženje rešenja za veliki broj merenja bez pomeranja radnog komada. Omogućava veoma precizno merenje zahvaljujući stress-free sistemu za vođenje radnog stola i veliko uvećanje Werth zoom optike - 320x gde automatski vrši optičko prepoznavanje i merenje osnovnih geometrijskih elemenata [9].



Slika 19 - Koordinatna merna mašina Weth Video Check IP250

Model dobijen simulacijom je kao oblak tačaka u STL formatu importovan u programski paket CATIA (slika 20).



Slika 20 - Model radnog komada importovanog u CATIA-u

U Digitized shape editor-u pristupa se povezivanju oblaka tačaka 3D linijama i dobija se oblik savijenog radnog komada. Dobijena skica

radnog komada se kotira, a zatim se dimenzije upoređuju sa dimenzijama dela izmerenog na koordinatnoj mašini.

Razlike su minimalne što opravdava primenu softvera u industriji. Uporedni rezultati dati su u tabeli 1.

	Dimenzije dela dobijenog realnim savijanjem	Dimenzije dela dobijenog simulacijom
Debljina	4.118 mm	3.998 mm
Radijus_1	5.31 mm	5.92 mm
Ugao_1	3.75°	3.24°
Ugao_2	129.506°	126.924°

Tabela 1 – Tabela uporednih rezultata

Pregledom rezultata dolazi se do zaključka da deo dobijen simulacijom verodostojno pokazuje izgled i osobine pravog dela. Razlike u dimenzijama ne prelaze jedan milimetar, uglovi se ili skoro uopšte ne razlikuju ili je to odudaranje zanemari vo, nekoliko stepeni.

8. ZAKLJUČAK

Način na koji se u savremenoj industriji dolazi do rešavanja problema je znatno lakši i brži od tradicionalnog načina. Potražnja na tržištu je takva da je neophodno svakodnevno usavršavanje tehnike i tehnologije. Savremena proizvodnja mora biti dovoljno prilagođena i sposobna da odgovori na sve zahteve današnje industrije. Veliki doprinos napretku doneo je virtuelni inženjering. On predstavlja naprednu tehnologiju koja omogućava inženjerima donošenje kvalitetnijih odluka i uspostavljanje kontrole u procesu razvoja proizvoda i njegove izrade.

Koristeći softver sagledane su mnoge prednosti ovog načina izrade proizvoda. Eliminirani su skupi fizički prototipovi alata što znači veliku novčanu uštedu. Izbegnuti su eksperimenti koji oduzimaju mnogo vremena. Poboljšan je kvalitet gotovog proizvoda. Tokom simulacije prati se ponašanje dela koji se obrađuje, tako da se u bilo kom trenutku procesa može videti ako dođe do zastoja ili pojave defekta. Bez opipljivog alata i radnog komada može se vršiti analiza procesa, pratiti uticaj parametara na tok procesa i dr. Pored uštede vremena i novca moguće je prilagođavanje novim tehnologijama, remodeliranje kao i eksportovanje u neki od sistema za brzu izradu prototipova i alata ili brzu proizvodnju.

Velike su prednosti korišćenja softvera u proizvodnji. Izvršenom simulacijom pokazano je koliko softver može da olakša proizvodnju nekog

dela, tako je njegova upotreba u industriji opravdana. Sve više se javljaju zahtevi za bržom, tačnijom i jeftinijom proizvodnjom, pa softver sve više nalazi realnu primenu i postaje neophodan.

LITERATURA

- [1] Walters J., Kurtz S., Wu W. T., Tang J.: The 'state of the art' in cold forming simulation, Journal of Materials Processing Technology, 1997, Vol. 71, pp. 64-70
- [2] Kurukuria S., van den Boogaardb A.H., Miroux A., Holmedald B., Warm forming simulationnext term of Al-Mg sheet, Journal of Materials Processing Technology, 2009., Vol. 209, pp. 5636-5645
- [3] Makinouchi A., Sheet metal forming simulationnext term in industry, Journal of Materials Processing Technology, 1996., Vol. 60, pp. 19-26
- [4] Zhou D., Wagoner R. H., Development and application of sheet-forming simulation, Journal of Materials Processing Technology, 1995., Vol. 50, pp. 1-16
- [5] Cheon J.S., Kim S.Y., Im Y.T., InformationThree-dimensional bulk metal forming simulationsnext term under a PC cluster environment, Journal of Materials Processing Technology, 2003., Vol. 140, pp. 36-42
- [6] Aleksandrović, Srbislav, Proizvodne tehnologije (TPD)-predavanja, Kragujevac, 2007.
- [7] Mandić, Vesna, Modeliranje i simulacija u obradi deformisanjem, Kragujevac, 2005.
- [8] Simufact.forming User manual
- [9] <http://www.cevip.kg.ac.yu>