

NUMERIČKO MODELIRANJE PROCESA KOVANJA TELA ZGLOBA*

NUMERICAL MODELING OF THE FORMING JOINTS BODIES

Marija Jeremić¹⁾

Rezime: *Savremena industrija ima praktičnu potrebu da se razvojne i istraživačke aktivnosti odvijaju van tekuće proizvodnje. Rezultat ovih aktivnosti su numeričke simulacije na osnovu kojih se vrše projektne izmene (ukoliko je potrebno) uz minimalne troškove. Jedan od softvera koji se danas primenjuje u ove svrhe je Simufact.forming. On omogućava pregled velikog broja izlaznih rezultata, na osnovu kojih se može oceniti kvalitet obrade, kao i mogućnost predviđanja pojedinih problema koji se mogu pojaviti u toku procesa.*

Ključne reči: *numerička simulacija, Simufact.forming, kovanje*

Abstract: *Modern industry has a practical need for research and development activities which take place outside the current production. The result of these activities are numerical simulations which are making project changes (if necessary) at minimum cost. One software for this purpose is Simufact.forming. The software allows large number of outputs, from which can be evaluated quality of workmanship and the ability of predicting some problems that may occur during the process.*

Key words: *Numerical simulation, Simufact.forming, Forming*

1. UVOD

U današnje vreme srećemo se sa velikom ponudom različitih industrijskih proizvoda kao što su alati, mašine, mašinski sistemi. Svi oni predstavljaju materijalizovani proizvod ljudskog uma i služe izvršavanju neke funkcije. Proces njihove proizvodnje počinje od ideje i izrade projektne dokumentacije do izrade u pogonima.

Savremena industrija ima praktičnu potrebu da se razvojne i istraživačke aktivnosti odvijaju van tekuće proizvodnje, u razvojnim laboratorijama pri fabrikama ili u laboratorijama pri univerzitetima i institutima. Aktivnosti na istraživanju i razvoju procesa van proizvodnog okruženja, mogu se klasifikovati kao modeliranje i simulacija. U odnosu na tradicionalno projektovanje procesa, koje je bazirano na iskustvenom radu inženjera, donosi značajno smanjenje vremena i troškova u razvoju novih proizvoda.

Prednost ovakvog načina projektovanja je mogućnost projektnih izmena, kako geometrije proizvoda, tako i parametara procesa, a sve to uz minimalne troškove. U ovakvim uslovima moguća je optimizacija projektovanja proizvoda i procesa, predviđanje otkaza i pojave defekata u proizvodnji, optimalno korišćenje proizvodne opreme i alata, povećavajući njihov vek trajanja smanjenjem habanja i prevencijom loma.

Smanjenje vremena projektovanja i izrade proizvoda postiže se 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. Numeričkom metodom mogu se odrediti deformacione sile, tečenje materijala, naponi, temperatura, naprezanja na alatima, osobine i mikrostruktura proizvoda, procena elastičnog ispravljanja i zaostalih napona, praćenje popunjavanja gravure u alatu, otkrivanje nastanka defekta u materijalu i otkaz alata itd. Ovakvim načinom projektovanja može se uštedeti vreme i mogu se izbeći nepotrebni troškovi. [1]

Jedan od programskih paketa koji omogućava analizu i optimizaciju proizvodnih procesa obrade metala deformisanjem je Simufact.forming. Ovaj softver omogućava virtuelni prikaz sofisticirane fizike složenih proizvodnih procesa na kompjuteru, tako da korisnik može videti i prepoznati realne situacije iz proizvodnje.

Simufact.forming je razvijen za analizu i simulaciju gotovo svih aplikacija oblikovanja materijala, nezavisno od temperature procesa, korišćene mašine, materijala obradka, vrste procesa, tipa procesa, i sl. Takođe, nudi objedinjena rešenja za simultanu analizu tečenja materijala i ponašanja alata, naprezanja, habanja i procene loma.

1) Marija Jeremić, Mašinski fakultet Kragujevac, mail: mjeremic88@yahoo.com

U Simufact.forming-u se koriste metode konačnih elemenata i konačnih zapremina, a moguće je prikazivanje rezultata u bilo kom trenutku procesa.

Rad je podeljen po poglavljima na sledeći način:

GLAVA 1. – Uvod u numeričku simulaciju kovanja,

GLAVA 2. – Definisane procesa kovanja, podela, komponente alata,

GLAVA 3. – Ilustrativni prikaz numeričke simulacije prethodnog i završnog kovanja tela zgloba, i

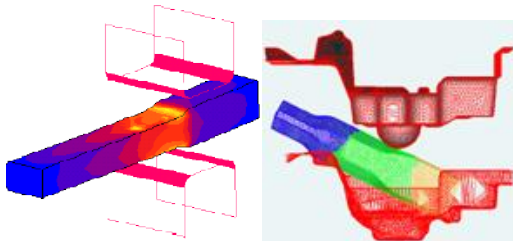
ZAKLJUČAK – Prednosti primene numeričke simulacije kovanja i doprinos rada.

2. PROCES KOVANJA I KOMPONENTE ALATA ZA KOVANJE

Kovanje je proces kod koga metal, pod dejstvom udara malja kovačkog čekića, pritiskivača prese ili neke druge mašine za kovanje ispunjava profilisani prostor u kovačkom alatu.[2]

U tehnološkom smislu razlikujemo dva tipa kovanja (ilustrativno prikazana slikom 1.):

- slobodno kovanje, i
- kovanje u kalupima.



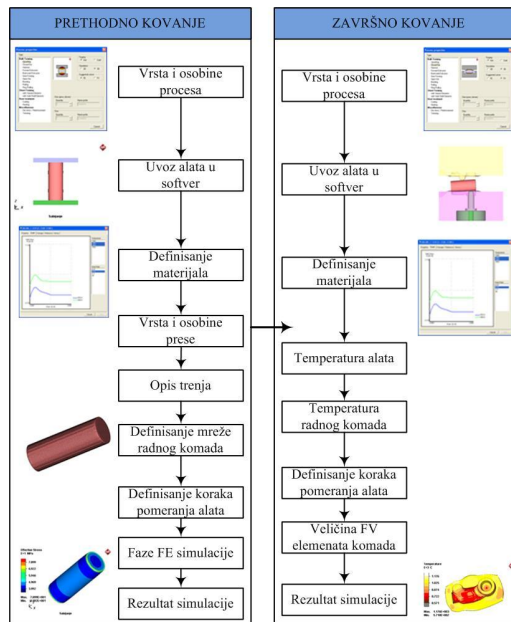
Slika 1 – Slobodno kovanje i kovanje u kalupima

Toplo kovanje kompleksnih delova u zatvorenom alatu obično obuhvata višeslojnu tečenje materijala i male deformacije, odnosno radnim pritiskom se postiže željeni oblik. [2]

Na osnovu dokumentacije, sprovedena je analiza popunjavanja gravura alata materijalom radnog komada. Drugim rečima, utvrđeni su parametri procesa koji utiču na njegovu nestabilnost i koji mogu dovesti do dimenzione netačnosti otkovka.

Modeliranje 3D modela alata izvršeno je u programskom paketu Catia V5. U fazi predprocesiranja, gotovi modeli alata uvezeni su u Simufact.

Tehnološki proces tela zgloba sastoji se od prethodnog (sabijanja) i završnog kovanja. Numeričko modeliranje procesa kovanja može se predstaviti šemom na slici 2.

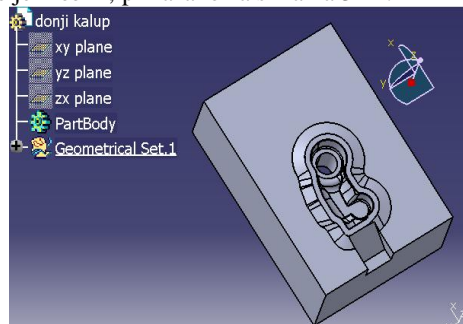


Slika 2 – Šema modeliranja procesa kovanja tela zgloba

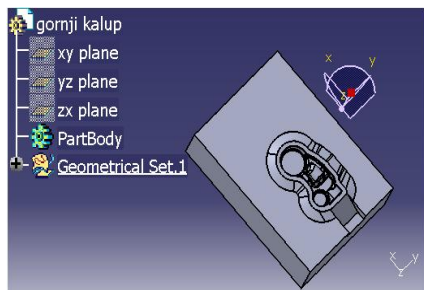
Na današnjem tržištu CAM alata, vrhunski proizvodi iz ove oblasti raspoložu sledećim karakteristikama:

- podrškom za četvrtu osu, ili podrškom za punu petoosnu obradu,
- optimizacijom visoko-brzinske obrade (konstantno opterećenje alata),
- posebnim ciklusima za realizaciju prilaznih i odmičućih kretanja alata,
- širokim izborom strategija obrade (npr. paralelno, spiralno i radijalno praćenje obradne površine),
- prepoznavanjem ravnih površi,
- obradom sa izmeštanjem,
- automatskim poravnavanjem “skoro” vertikalnih površi, i
- automatskom detekcijom i uklanjanjem (čišćenjem) zaostalog materijala. [3]

Alat za operaciju završnog kovanja sastoji se iz gornjeg i donjeg kalupa, čije su gravure profilisane tako da otkovak nakon kovanja dobije željeni oblik, prikazano na slikama 3 i 4.



Slika 3 – Gornji kalup



Slika 4 – Donji kalup

Donji i gornji izbacivač omogućavaju vađenje otkovka iz kalupa. Trn sprečava prodor materijala u donji kalup, a njegovim profilom u otkovku dobija se ušteda materijala i mala naknadna obrada rezanjem u cilju dobijanja otvora u telu zgloba. Pločom se sprečava prednaprezanje donjeg dela alata.

Toplo kovanje se promenuje kod izrade osnosimetričnih delova, jednostavnih procesa i alata.[4]

Kako se proces kovanja izvodi na presi, spoljasnji nagibi gravure iznose $\alpha = 3-6^\circ$, a unutrašnji $\alpha = 6^\circ$.

Kovačka zaobljenja poboljšavaju uslove tečenja metala, popunjavanje udubljenja gravure, smanjuju habanje ivica gravure, i sprečavaju koncentraciju napona i pojavu naprsina na kritičnim mestima. Veličina spoljašnjih radijusa bira se tablično i zavisi od mase otkovka, klase tačnosti i dimenzija. Unutrašnji radijusi se proračunavaju kao: $r = (2,5-3,5) R + 0,5 \text{ mm}$.

Bazne površine u otkovku biraju se tako da svoju poziciju ne menjaju usled habanja alata. Te površine treba da budu sa što manjim nagibima i u zonama malih naprezanja, gde nema habanja alata. Ako otkovak nema pogodnu površinu za oslanjanje, tada se mogu konstruisati specijalni dodaci za centriranje, koji se naknadno mogu ukloniti. Ove površine se moraju označiti na crtežu otkovka i obično se nakon kovanja kalibrišu, pa predstavljaju baze za naknadnu obradu rezanjem.

Kod kovanja u zatvorenim alatima nema viška materijala, već je zapremina priprema jednaka zapremini gotovog otkovka. Pod dejstvom udara malja kovačkog čekića, pritiskivača prese (krivajne, frikcione, hidraulične) ili neke druge mašine za kovanje ispunjava se profilisani prostor u kovačkom alatu.

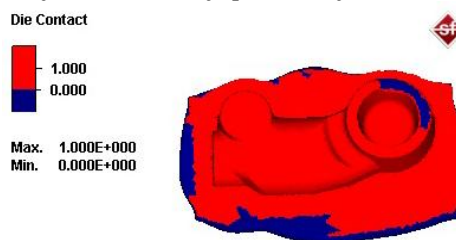
3. REZULTATI NUMERIČKE SIMULACIJE PRETHODNOG I ZAVRŠNOG KOVANJA – ILLUSTRATIVNI PRIMER

Modeliranje sa FEM analizom i procesom simulacije obrade obezbeđuje se velika fleksibilnost u radu.[5]

Na osnovu definisanih podataka izvedena je FE numerička simulacija procesa sabijanja. Rezultati koji se najčešće analiziraju su raspodela efektivne deformacije i efektivnog napona, kao i temperatura.

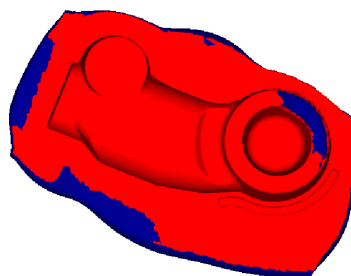
Softver Simufact.forming omogućava pregled velikog broja izlaznih rezultata, na osnovu kojih se može oceniti kvalitet obrade, kao i mogućnost predviđanja nekih problema koji se mogu pojaviti u toku procesa.

Nakon završene simulacije, prikazom rezultata, uočena je nepravilnost prilikom popunjavanja alata materijalom. Greška je prouzrokovana neravnomernim tečenjem materijala u kalupu, što je prikazano na slici 5. Mesto na kome ne dolazi do kontakta alata sa materijalom označeno je plavom bojom.



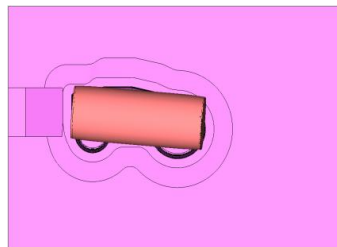
Slika 5 - Kontakt alata sa materijalom

Za moguće rešenje, predloženo je uvođenje kanala u vidu kočnice u donji deo kalupa, sa ciljem da materijal prilikom tečenja stvara zid kako bi ono bilo ravnomerno. Međutim, ponovnom numeričkom simulacijom, ni ovo rešenje se nije pokazalo kao adekvatno - rezultati su gotovo identični sa prethodnim rezultatima analize, što je prikazano slikom 6.



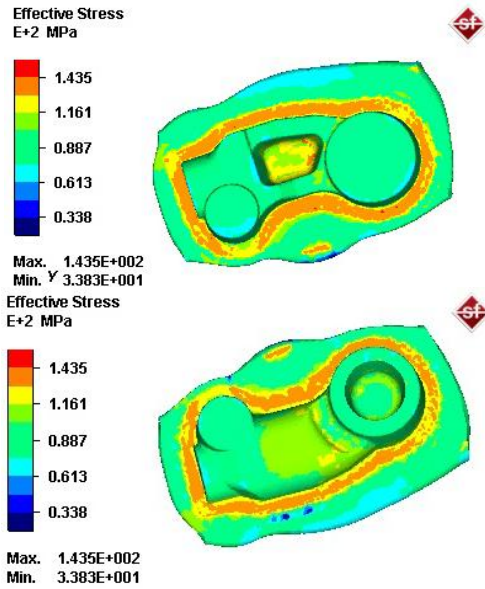
Slika 6 – Popunjavanje alata sa kočnicom

Dobijanje zadovoljavajućih rezultata, obezbeđeno je zaokretanjem radnog komada, prikazano slikom 7.



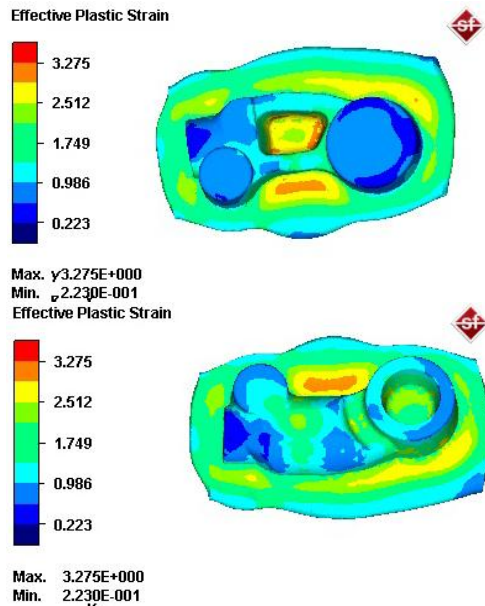
Slika 7 – Zaokrenut radni komad

Raspodela efektivnog napona, prikazanog slikom 8, na gornjoj i donjoj ploči kreće se od 0 do 143.5, MPa.



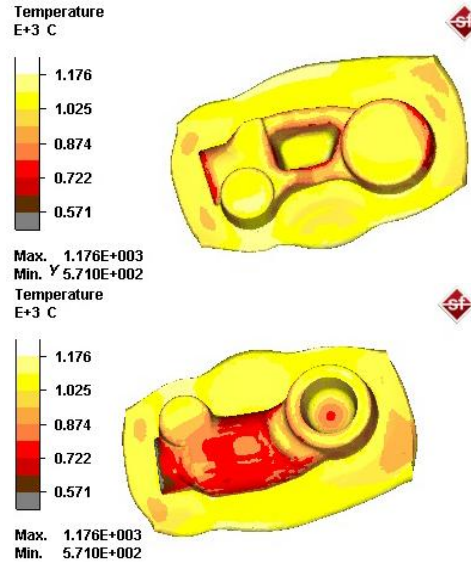
Slika 8 – Raspodela efektivnog napona 100% forming (kalup gornjeg donjeg alata)

Analizom novih rezultata, utvrđeno je da je efektivna deformacija simetrična, prikazana je na slici 9. Dijapazon deformacije se kreće od 0 do 3.27.



Slika 9 - Raspodela efektivne deformacije 100% forming

Na slici 10. prikazana je raspodela temperature pri određenim fazama procesa koja se kreće u granicama od 0 do 1202°C. Najvišu temperaturu radni komad trpi na početku procesa, a za 100°C manju temperaturu ima na kraju procesa.



Slika 10 - Raspodela temperature 100% forming

Izvršenom numeričkom simulacijom stručno osoblje iz fabrike ima uvid u ceo tok procesa, kao i u problem koji se javljao. Proizvodnja otkovka tela zgloba, trenutno, zavisi isključivo od ljudskog faktora (postavljanje radnog komada). Rešavanje problema pozicioniranja radnog komada na donjem delu alata, moguće je izvršiti korekcijom donjeg dela alata, uvođenjem gravure koja će obezbediti optimalno pozicioniranje radnog komada.

4. 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.

Numeričkim simulacijama postiže se smanjenje vremena potrebnog za razvoj proizvoda, jer se mogu sagledati moguće greške i nedostaci, koji se mogu uz male troškove otkloniti. Sve ovo dovodi do optimizacije izrade proizvoda i alata, do poboljšanja kvaliteta i povećanja konkurentnosti na tržištu.

Osnovni doprinos rada je u definisanju procesa kovanja, komponenti alata i ilustrativnim prikazima primene numeričke simulacije procesa kovanja tela zgloba.

LITERATURA

- [1] Osakada K., Wang X., Hanami S.: „Precision forging process with axially driven container“, Journal of Materials Processing Technology, 1997.
- [2] NX 6 Help Library, Siemens Product Lifecycle Management Software Ins., (2008).
- [3] Douglas R., Kuhlmann B.: “Guidelines for precision hot forging with applications”, Journal of Mat. Proces Technology, 2000.
- [4] Sheljakov S.: „Warmforming- a technology for manufacturing of precision components“, 5th International Conference on Technology of Plasticity, Japan, 1996.
- [5] Qui M., Zhong-qin L., Zhong-gin L.Y.Q.M.: “Prediction of deformation behavior and microstructure evolution in heavy by FEM”, Int. J. Adv. Manufact. Technol., 2009.
- [6] Mandić V.: „Modeliranje i simulacija u obradi metala deformisanjem“, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2005.
- [7] Musafija B.: „Obrada metala plastičnim deformisanjem“, Svjetlost, Sarajevo, 1972.