

4.13 Model završnog izveštaja

Univerzitet: Kragujevac
Fakultet: Mašinski fakultet u Kragujevcu

Školska godina: 2010



ZAVRŠNI IZVEŠTAJ o realizovanoj studentskoj praksi

Student: Pavle Đolović

ID broj studenta: 130/2003

Godina studija: V godina

Modul: proizvodno mašinstvo

Ime akademskog mentora: dr Vesna Mandić

Ime industrijskog mentora: dipl.maš.ing. Vladan Stojković

Godina, Mesto

1. Opšte informacije

Student		
Ime studenta: Pavle Đolović		Nivo studija: <input type="checkbox"/> BSc <input type="checkbox"/> MSc
ID broj: 130/2003	E-mail: pajcilogm@gmail.com	Telefon: 0642483062
Vremenski period prakse	Od:	Do: Broj sati:
Akademska institucija		
Univerzitet: Kragujevac		
Fakultet: Mašinski fakultet		
Adresa: Sestre Janjić		Grad: Kragujevac
Ime akademskog mentora: Vesna Mandić		Pozicija: Profesor
E-mail:		Broj telefona:
Institucija u kojoj se realizuje praksa (preduzeće/institucija)		
Ime: Metalac INKO		
URL:		
Adresa:		Grad: Gornji Milanovac
Ime industrijskog mentora: Vladan Stojković		Pozicija:
E-mail:		Broj telefona:

2. Zahvalnice

3. Uvod (minimum ½ strane)

Praktični rad je urađjen sa ciljem da se izvrši analiza procesa dubokog izvlačenja feritnog lima i proceni kvalitet dobijenog dela kroz numeričku analizu procesa u programskom paketu *Stampack*. Analiziran je proces dubokog izvlačenja korita sudopere (kutijastog oblika) od feritnog lima, a od uspešnosti analiza zavisilo je i industrijsko usvajanje proizvodnje korita od feritnog lima.

Koncept rada je takav da u prvom delu daje osvrt na teoretske osnove obrade metala deformisanjem, numeričke simulacije procesa, dok drugi deo sadrži prikaz FE numeričke analize u navedenom programskom paketu uz sve neophodne aktivnosti za njeno izvršenje, kao i analizu dobijenih rezultata i zaključak.

Duboko izvlačenje tankih limova predstavlja, prema brojnim kriterijumima, jednu od dominantnih tehnologija u savremenoj industriji prerade metala. Tome naročito doprinosi pojačano interesovanje za metalne materijale (nove vrste čelika, legure aluminijuma itd.).

Pod dubokim izvlačenjem lima podrazumeva se takav vid oblikovanja pri kojem se od početnog ravnog oblika dobija telo neprekidne prostorne konfiguracije. Ovom obradom dobijaju se delovi različitog oblika i namene npr.: kuhinjsko posuđe, delovi karoserije automobila itd. S obzirom da se dubokim izvlačenjem u hladnom stanju poboljšavaju mehaničke osobine materijala, danas se ovom tehnologijom proizvode i najodgovorniji elementi aviona i raketa.

U okviru prakse urađena je, u saradnji sa fabrikom „Metalac INKO“ iz Gornjeg Milanovca, simulacija oblikovanja korita sudopere od feritnog lima. Izvršeno je nekoliko numeričkih eksperimenata i izvršena je analiza dobijenih rezultata i njihovo upoređivanje sa rezultatima merenja izvršenih u firmi „Metalac INKO“. Ulazni podaci (parametri procesa, materijal, CAD modeli konstrukcije alata) dobijeni su od projekatata iz fabrike Metalac INKO, a za simulaciju procesa dubokog izvlačenja korišćen je softver *STAMPACK*.

4. Ciljevi PSP i metodologija (minimum 1 strana)

Projektovanje novih ili modifikovanje postojećih proizvoda i procesa, tradicionalno se izvode na bazi iskustva tehnologa i eksperimentisanjem tipa "trial and error". Ovakav način omogućava inženjerima da dođu do kakvog takvog rešenja, koje je najčešće daleko od optimalnog. Samo u idealnim slučajevima bi prvo rešenje u projektovanju alata i procesa bilo ono najbolje. U praksi, međutim, probe izvedene na takvim alatima daju nekada proizvode sa unutrašnjim ili spoljašnjim defektima i usled nepravilnog tečenja materijala, u pojedinim zonama dolazi do velikih radnih pritisaka koji dovode do loma alata. Troškovi nastali ponovnim projektovanjem i izradom alata su veoma veliki, pogotovu u slučaju alata za zapreminsku obradu. Očigledno je da je ovaj "brži i lakši način za inženjere" daleko skuplji i zahteva više vremena.

Prema tome, postoji praktična potreba 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, u laboratorijama, mogu se klasifikovati kao modeliranje i simulacija.

Pojam modeliranja je veoma širok i doseže u gotovo sve oblasti ljudske delatnosti. Neophodno je definisati šta se pod pojmom modeliranja podrazumeva u oblasti inženjerstva. Modeliranje procesa obrade obuhvata aktivnosti na:

- uspostavljanju veze između željenih osobina proizvoda i uslova obrade;
- uspostavljanje veze između nastalih defekata (otkaza) i uslova obrade;
- utvrđivanju optimalnih uslova obrade na osnovu izabranog kriterijuma.

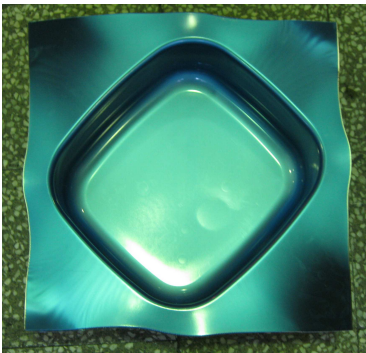
Gledano kroz perspektivu proizvodnog inženjerstva modeliranjem se mogu ostvariti brojni ciljevi, a svi na neki način sa finansijskom pozadinom:

- optimizacija postojećeg procesa i povećanje produktivnosti;
- poboljšanje kvaliteta proizvoda;
- smanjenje broja pokušaja u fazi projektovanja novog ili modifikovanja postojećeg procesa ili proizvoda (brza izrada prototipova, kraći ciklus projektovanja);
- poboljšanje sistema kontrole procesa (inteligent processing);
- poboljšanje proizvodnih sposobnosti dobavljača za kompanije koje se bave montažom;
- projektovanje nove opreme i alata;
- sticanje znanja i edukacija (vizuelizacija procesa, proučavanje parametara procesa, naučno objašnjenje uočenih fenomena).

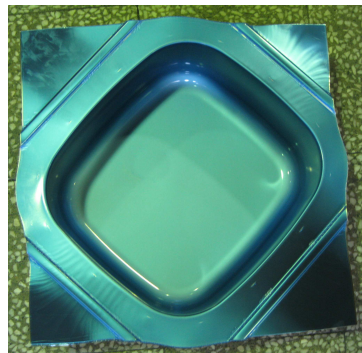
Iako su pobrojani ciljevi i prednosti od velikog značaja za proizvodne firme, još uvek ovakav pristup modeliranja kod nas nije mnogo zastupljen. Mali je broj fabrika koje imaju sopstvene razvojne laboratorije, koje bi podržale navedene aktivnosti, pa se uglavnom istraživanja obavljaju na univerzitetima i institutima. Ključni problem je saradnja i transfer znanja između univerziteta i industrije.

5. Opis posla (minimum 5 strana)

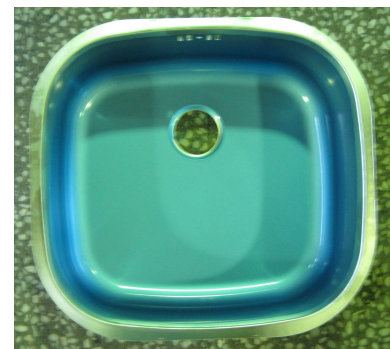
Urađene numeričke simulacije operacije dubokog izvlačenja korita sudopere, imale su za cilj da prikažu studiju izvodljivosti izrade korita sudopere od feritnog čelika, koje se već proizvodi od austenitnog čelika. Ujedno uvidom u izlazne rezultate numeričkih simulacija može se prikazati ocena kritičnih mesta i prikaz karakteristika procesa oblikovanja. Simulacija nam omogućava praćenje ponašanja materijala (tečenje materijala, promena debljine lima, kontakt materijala i alata, distribucija napona i deformacije, zone oblikovanja...) kroz proces obrade dubokim izvlačenjem, a samim tim i dobijanje rezultata na osnovu kojih možemo vršiti korekciju nekih ulaznih parametara (sila držanja, geometrije alata, trenje između alata i lima...). Na osnovu ovoga možemo uticati na proces obrade i steći uvid u obradivost feritnog lima. Na slikama koje slede prikazan je deo od austenitnog čelika, po operacijama oblikovanja, koji se proizvodi u Metalac INKO preduzeću.



Slika 1.1 Izgled dela od austenitnog čelika posle I operacije



Slika 1.2 Izgled dela od austenitnog čelika posle II operacije



Slika 1.3 Finalni izgled dela od austenitnog čelika

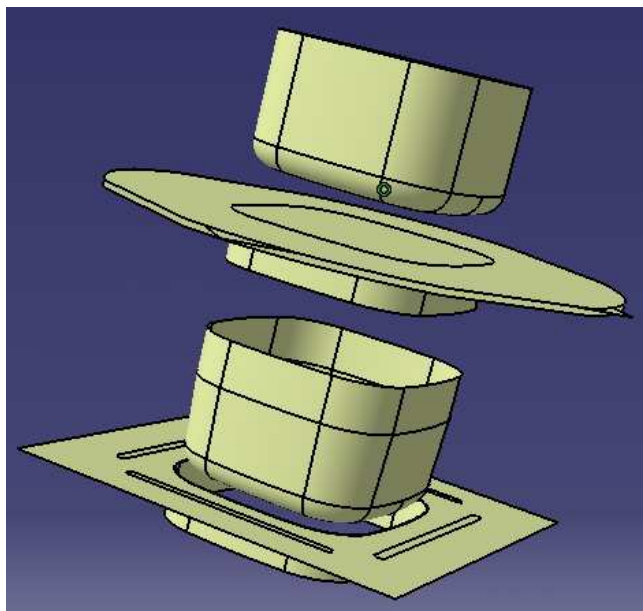
Ovim radom trebalo bi uporediti industrijske podatke, koji su dobijeni u stvarnim uslovima na probama koje su urađene u fabrici Metalac INKO, sa dobijenim numeričkim rezultatima simulacije izvlačenja dela kutijastog oblika u dve operacije. Izvršeno je nekoliko numeričkih eksperimenata sa variranjem vrednosti parametara procesa (sile držanja i koeficijenta trenja u kontaktnim parovima) i sa promenom izvlačača u prvoj operaciji.

Ulazni podaci za simulaciju u Stampack – u

Podaci o procesu i konstrukciji alata dobijeni od projektanata

Ulazni podaci o parametrima procesa, materijalu alata i obratka, kao i CAD modeli konstrukcije alata (u IGES formatu) dobijeni su od projektanata iz firme Metalac INKO.

- Materijal razvijenog stanja **feritni čelik (Wr.N.1.4509)**
- Debljina lima 0.6 mm
- Dimenzije razvijenog stanja kvadratni oblik 600x600 mm (585x585) mm
- Uslovi trenja između lima i izvlakača stavlja se folija
- Mašina hidraulična presa
- Brzina deformisanja 40 mm/s

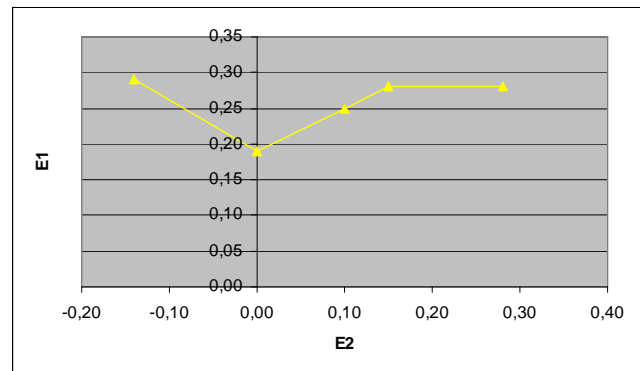


Slika 1.4 Površinski prikaz alata za I i II operaciju i razvijeno stanje u CATIA V5 editoru

Tabela 1.1 Karakteristike feritnog čelika (Wr.N.1.4509)

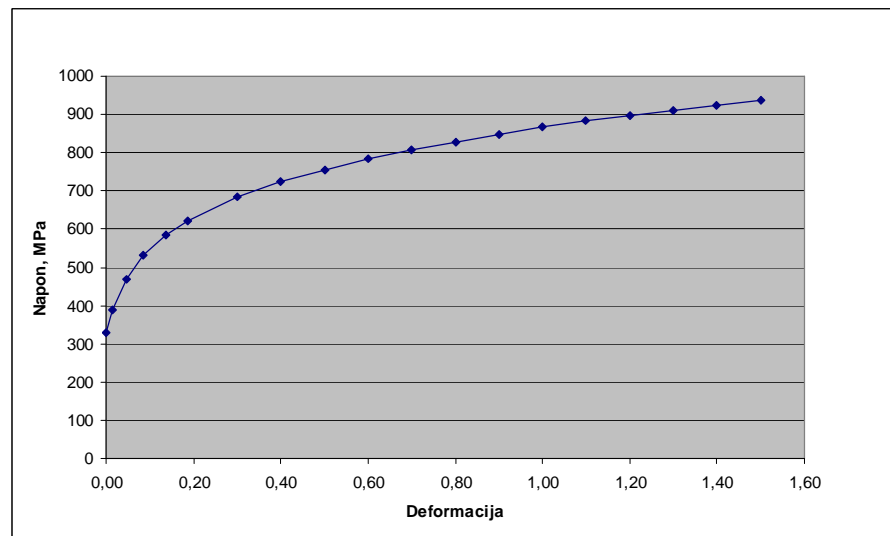
sens	n°	R0.2%	R1%	Rm	A%	Ag	E	n	r	Ep
		MPa	MPa	MPa	%	%	GPa	5-13%	10%	mm
DL	1	319	364	513	32,2	20,3	235	0,214	1,688	0,39
DT	1	335	363	498	28,3	19,3	220	0,202	2,059	0,40
45°	1	350	381	528	30,3	19,1	247	0,206	1,381	0,39

E1	E2
0,29	-0,14
0,19	0,00
0,25	0,10
0,28	0,15
0,28	0,28



Slika 1.5 Dijagram granične deformabilnosti (DGD) za feritni čelik (Wr.N.1.4509)

Deformacija	Napon (MPa)
0,00	329,865513
0,02	389,51
0,05	467,69
0,09	532,43
0,14	585,47
0,19	621,10
0,30	683,35
0,40	723,12
0,50	755,56
0,60	783,14
0,70	807,24
0,80	828,72
0,90	848,14
1,00	865,90
1,10	882,28
1,20	897,50
1,30	911,74
1,40	925,13
1,50	937,77



Slika 1.6 Kriva tečenja za feritni čelik (Wr.N.1.4509)

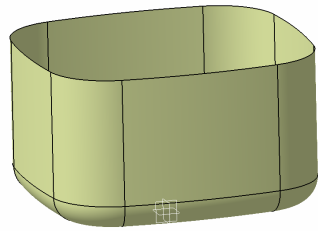
4.2.2 Ulazni podaci za simulaciju procesa

a) Priprema geometrije alata i razvijenog stanja

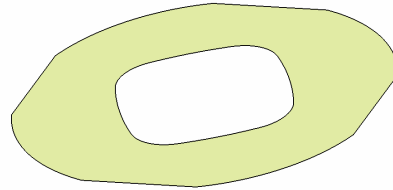
Rezultati numeričkih simulacija procesa zavise od podataka koji se definišu u predprocesoru. Zbog toga je u cilju dobijanja relevantnih i pouzdanih rezultata neophodno što preciznije definisati ulazne podatke.

Za simulaciju u ovom programskom paketu potrebno je uraditi 3D – modele razvijenog stanja kao i svih elemenata koji se nalaze u kontaktu sa pripremkom. Modeli su urađeni u programu CATIA V5 i to modeli razvijenog stanja i alata. Svi ovi modeli su urađeni kao 3D – površinski modeli. Da bi smo bili u mogućnosti da ovu geometriju uvezemo u Stampack potrebno je da istu

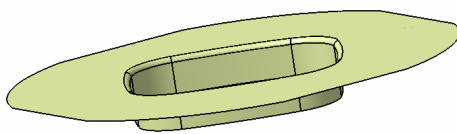
snimimo u IGES formatu. Apsolutni koordinatni sistemi ova dva programa se poklapaju. Na slikama koje slede prikazana je geometrija delova alata koji su u kontaktu sa pripremkom.



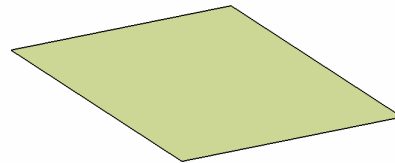
Slika 1.7 Geometrija izvlačka



Slika 1.8 Geometrija držača



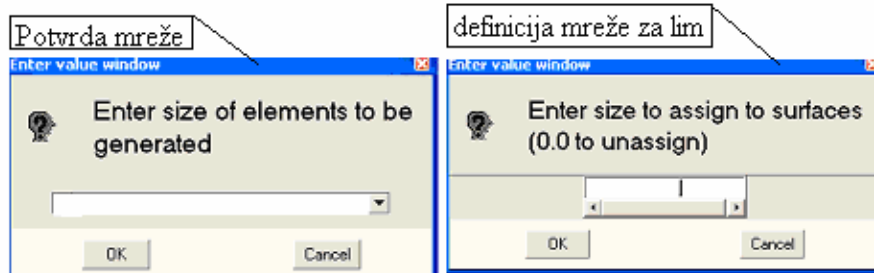
Slika 1.9 Geometrija matrice



Slika 1.10 Geometrija lima

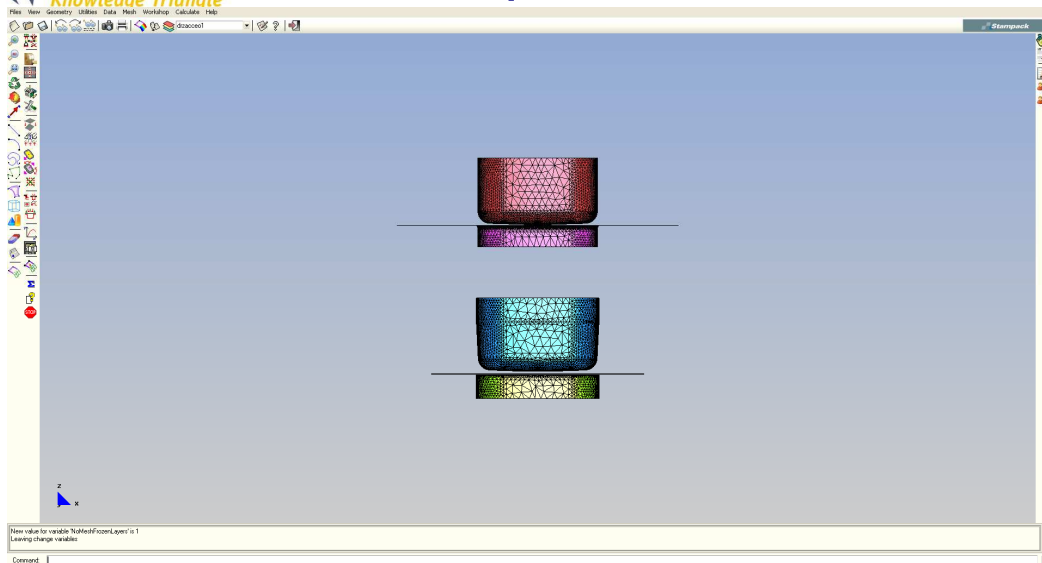
Unos geometrije u Stampack se vrši u IGES – formatu, pri čemu se svaki alat i lim posebno unosi u poseban *layer*, kome se dodeljuje naziv i boja zbog bolje preglednosti. Zatim, se pristupa generalisanju mreže. Mreža se posebno pravi za delove alata, a posebno za lim.

- definišemo mrežu za alat (meshing size:30),
- potvrda mreže za alat
- definišemo mrežu za lim (meshing size: 3)
- potvrda mreže za lim



Slika 1.11 Prikaz kartica za definiciju i potvrdu mreže u Stampack editoru

Na slici 4.12 dat je mrežni prikaz geometrije alata i razvijenog stanja kao i njihove pozicije u Stampack editoru.



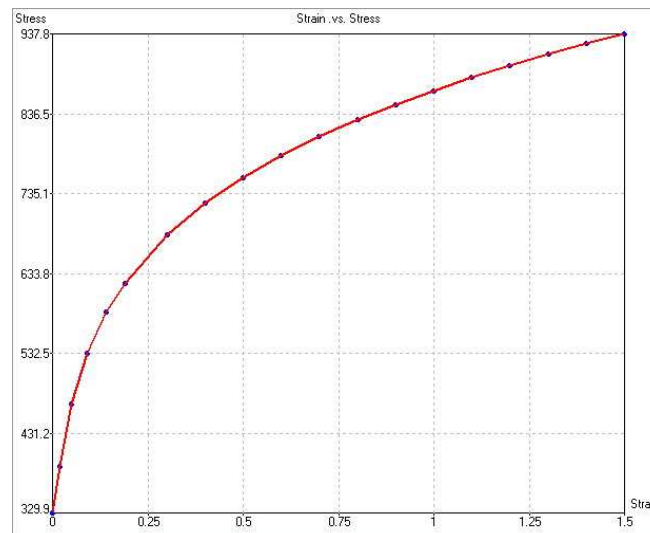
Slika 1.12 Mrežni prikaz geometrija alata i razvijenog stanja u STAMPACK editoru

b) Definisanje karakteristika materijala razvijenog stanja

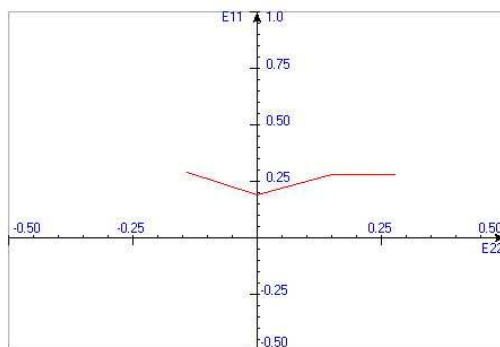
Razvijeno stanje predstavlja kvadratnu ploču lima debljina 0.6 mm, dimenzija 600x600 (585x585) mm. Materijal priprema je feritni čelični lim (*Wr.N.1.4509*).

- Napon na granici tečenja $R_p=320$ MPa,
- Faktori anizotropije $r_0=1.688$, $r_{45}=1.381$, $r_{90}=2.059$,

Na slikama 4.13 i 4.14 prikazani su kriva tečenja i dijagram granične deformabilnosti koji su opisani tabelarno, preuzetih sa krive tečenja i DGD dobijenih od proizvođača (v.sl. 4.5 i 4.6).



Slika 1.13 Kriva tečenja za feritni čelik (*Wr.N.1.4509*) u Stampack editoru



Slika 1.14 Dijagram granične deformabilnosti (DGD) za feritni čelik (Wr.N.1.4509) u Stampack editoru

c) Definisane parametara procesa

Raspoloživim matematičkim modelom u softveru se, preko Coulomb-ovog zakona, opisuju uslovi kontaktnog trenja. S obzirom da se u industrijskom procesu koristi folija, koja se premazuje emulzijom za smanjenje trenja u kontaktu izvlakača i radnog komada, a kontaktne površine matrice i radnog komada se, takođe, podmazuju emulzijom koja se meša sa vodom u odnosu 13:1, za simulaciju procesa su korišćeni podaci koji se nalaze u tabeli 1..

Tabela 1.2 Pregled uticajnih parametara u numeričkim eksperimentima

Num. eks.	Operacije		r _{iz} v1	A	H	Izvlakač 1 sa nagnuti m dnom	Fdrž	Koef. trenja m		
			m m	mm ²	mm			P/L	D/L	M/L
NUM_1	I	izvlačenje	34	585x585	142	/	60 t	0.06	0.06	0.1
	II	/	/		/					
NUM_2	I	izvlačenje	37	600x600	142	/	30 t	0.06	0.06	0.1
	II	izvlačenje	37		150					
NUM_3	I	izvlačenje	37	600x600	142	da	30 t	0.06	0.06	0.1
	II	/	/		/					
NUM_4	I	izvlačenje	37	600x600	146	da	60 t	0.05	0.05	0.06
	II	izvlačenje	37		150					
NUM_5	I	izvlačenje	37	600x600	147	da	60 t	0.05	0.05	0.06
	II	/	/		/					

Fdrž - sila držanja;

r_{iz}v1 – radijus izvlakača u I operaciji;

A – dimenzije priprema;

H – dubina komada posle izvlačenja;

P/L – kontakt pritiskivač-lim; **D/L** – kontakt držač-lim; **M/L** – kontakt matrica-lim

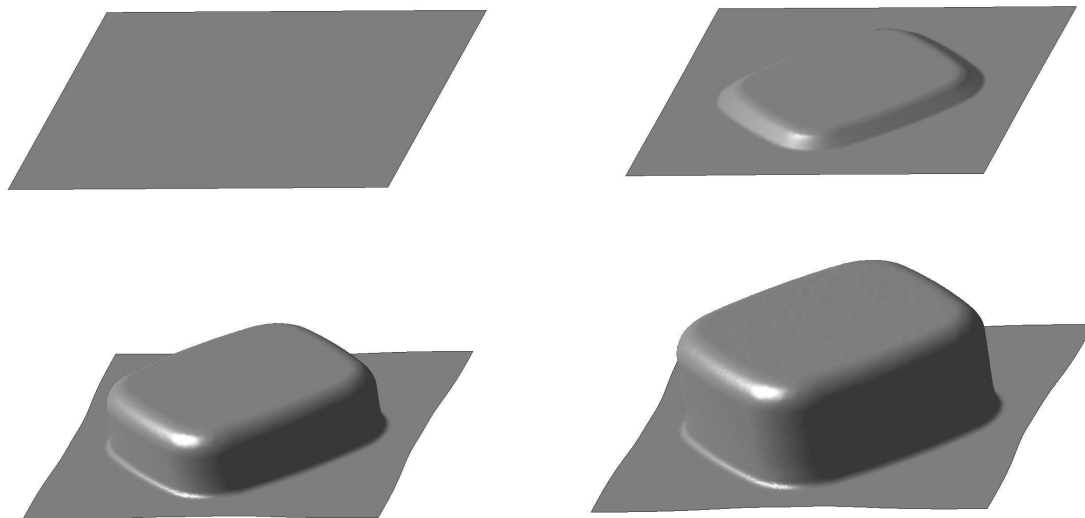
Numerički proces dubokog izvlačenja korita sudopere od feritnog lima urađen je u dve operacije. Nakon II operacije, dubina korita trebalo bi da ima vrednost od 150 mm, što se pokušalo dobiti izmenom geometrije izvlakača u I operaciji, promenom dubine dela posle I operacije i promenom uticajnih parametara procesa (sile držanja, koeficijentata trenja u kontaktnim parovima).

U industrijskoj proizvodnji ovog korita od austenitnog čelika u II operaciji koriste se zatezna rebra. Međutim, u numeričkim simulacijama procesa dubokog izvlačenja korita od feritnog čelika zatezna rebra nisu korišćena iz razloga niske obradivosti feritnog lima u odnosu na austenitni, a to je i potvrđeno i industrijskim probama.

6. Rezultati (minimum 8 strana)

Softver nudi pregled velikog broja izlaznih rezultata, koji omogućavaju tehnolozima i konstruktorima alata da ocene kritična mesta na komadu i steknu uvid u proces oblikovanja (tečenje materijala, promenu relativne debljine lima u toku procesa, kontakt materijala i alata, distribuciju napona i deformacija, distribuciju glavnih deformacija u DGD dijagramu, zone oblikovanja sa procenom tzv. „sigurnih zona“, i još mnogo toga).

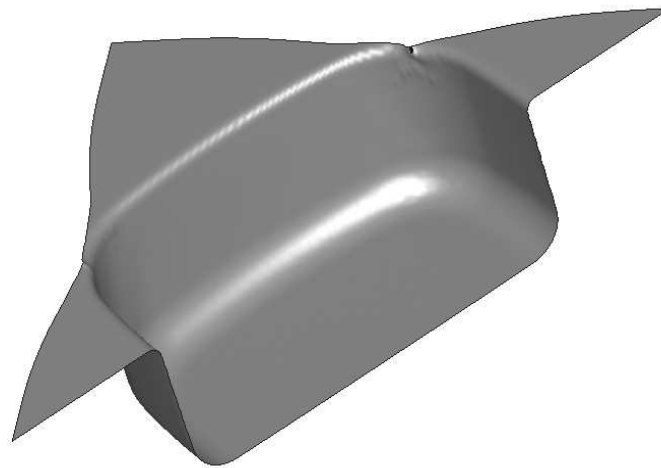
Na osnovu prethodno definisanih podataka izvedene su FE numeričke simulacije operacija dubokog izvlačenja, kako bi se dobijeni rezultati upoređili sa modelom radnog komada iz proizvodnje. Softver omogućava da se prikaže završni oblik komada i da se prati oblikovanje lima po fazama, definisanih prema vremenu ili hodu izvlakača.



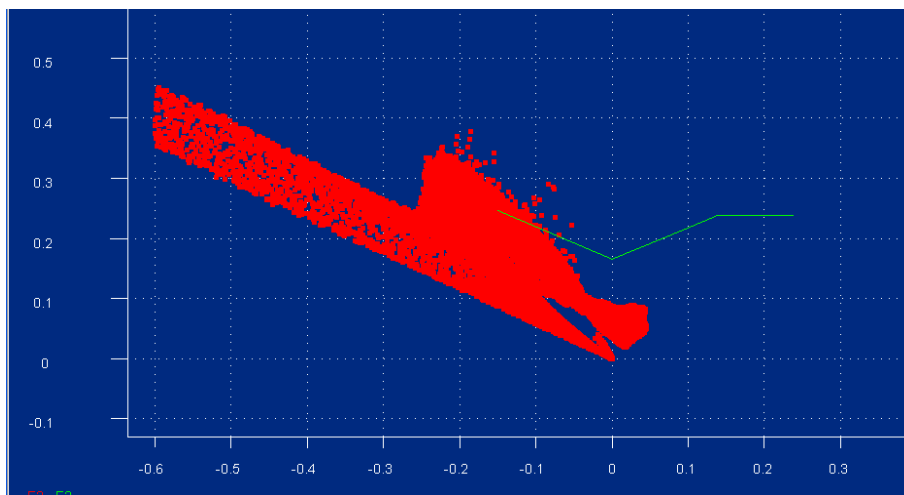
Slika 2.1 Oblikovanje lima po fazama u I operaciji izvlačenja, STAMPAK simulacija

Rezultati numeričkog eksperimenta NUM_1

Ovaj numerički eksperiment ima dimenzije razvijenog stanja koje se koriste za izradu korita od austenitnog čelika i radijus na izvlakaču (34 mm) kao što je u praksi u izradi dela od austenitnog čelika. Ovaj eksperiment predstavlja osnovu za dalje simulacije procesa i variranje uticajnih parametara. Urađena je samo prva operacija jer je došlo do velikog povlačenja lima na uglovima, što ukazuje na nedostatak materijala i da se moraju povećati dimenzije priprema sa sadašnjih 585x585 mm na 600x600 mm. Sila držanja u ovom eksperimentu je 60 t, a koeficijent trenja sa gornje strane lima je 0.06, a sa donje strane 0.1. Na slikama koje slede prikazani su rezultati ovog numeričkog eksperimenta.



Slika 2.2 Izgled komada nakon I operacije



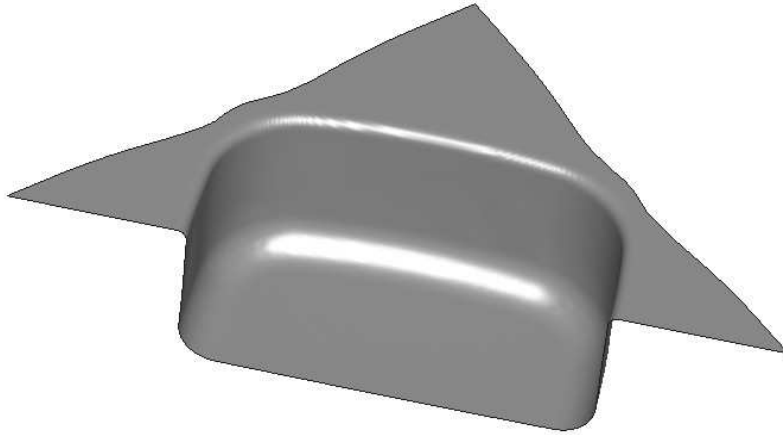
Slika 2.3 Dijagram granične deformabilnosti

Rezultati numeričkog eksperimenta NUM_2

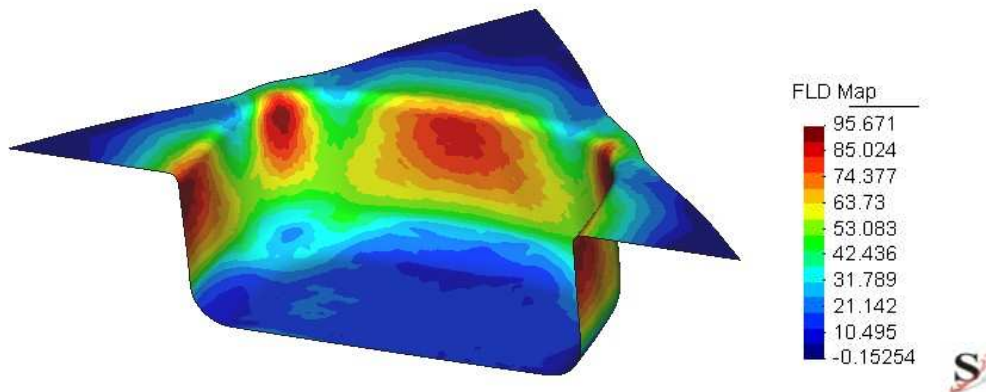
U ovom eksperimentu su povećane dimenzije priprema na 600x600 mm, povećan je radijus na izvlakaču u I operaciji sa 34 mm na 37 mm i smanjena je sila držanja na 30 t, a koeficijenti trenja su ostali isti kao u prethodnom eksperimentu (sa gornje strane lima je 0.06, a sa donje strane 0.1). Potom je urađena II operacija u kojoj je došlo do pucanja dela pri kraju izvlačenja u uglu na obodu.

U ovom eksperimentu, kao i u praksi u probama koje su vršene u fabrici Metalac INKO, korišćen je izvlačač u I operaciji sa ravnim dnom. Na slikama koje slede prikazani su numerički rezultati dobijeni simulacijom procesa za I operaciju, a potom i za II operaciju dubokog izvlačenja.

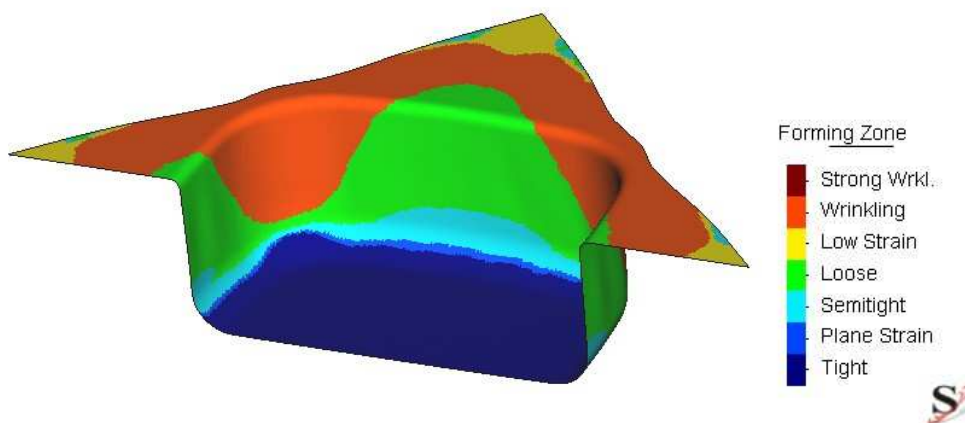
I operacija



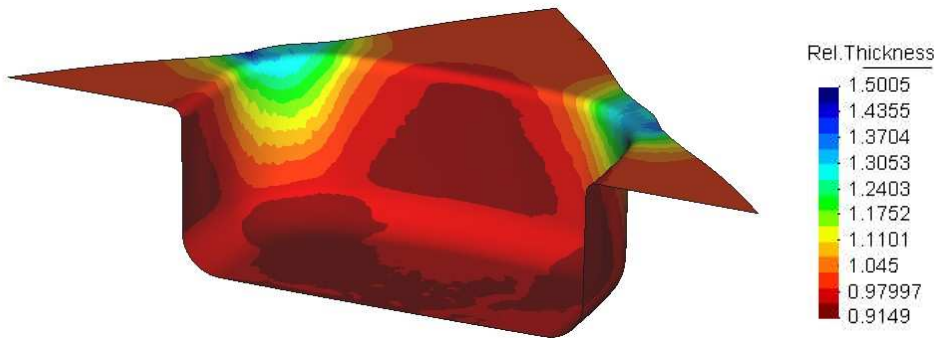
Slika 2.4 Izgled komada nakon I operacije



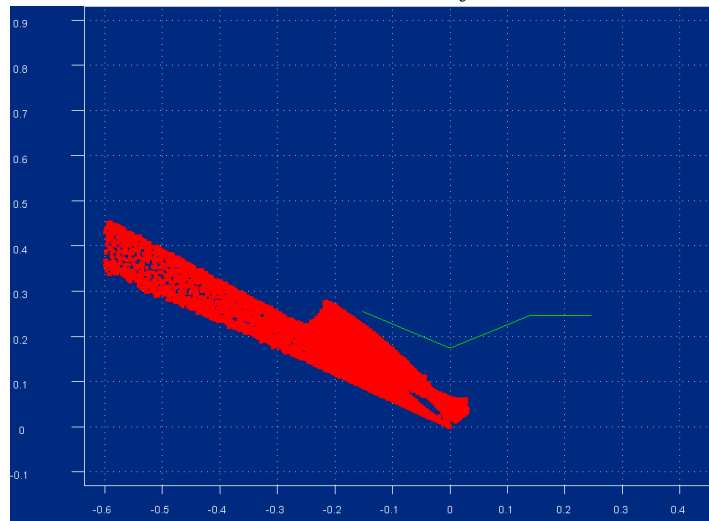
Slika 2.5 Distribucija granične deformabilnosti



Slika 2.6 Zone obradivosti



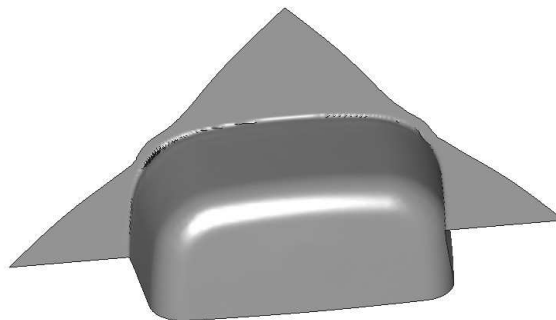
Slika 2.7 Relativna debljina lima



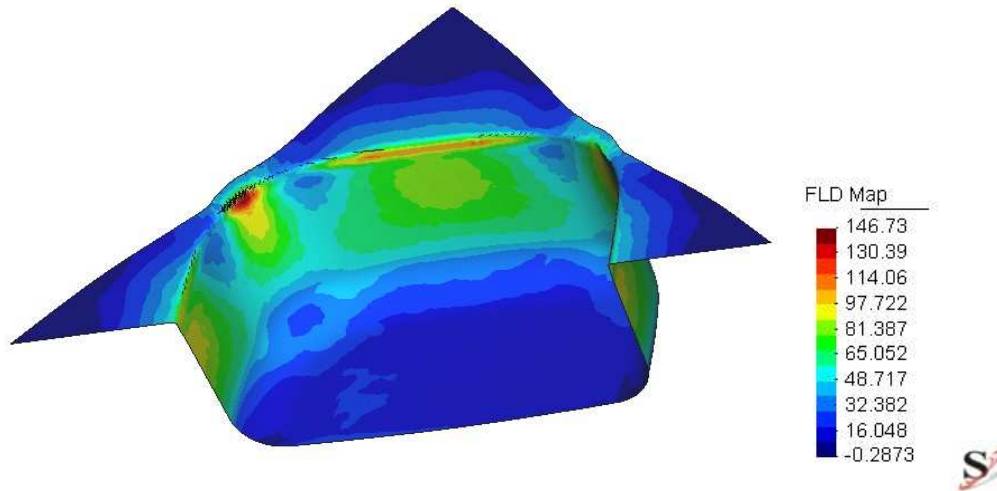
Slika 2.8 Dijagram granične deformabilnosti

Posle uspešne I operacije, što se može videti i na dijagramu granične deformabilnosti da su vrednosti tačaka u sigurnoj zoni. Urađena je II operacija u kojoj je koeficijent trenja sa gornje strane lima 0.06 a sa donje strane 0.1, a sila držanja 11 t. Rezultati ove operacije su prikazani na slikama koje slede.

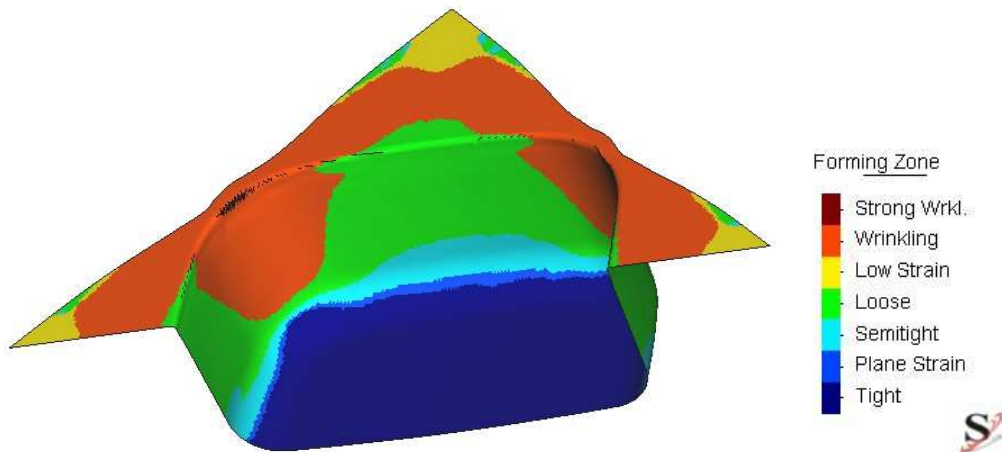
II operacija



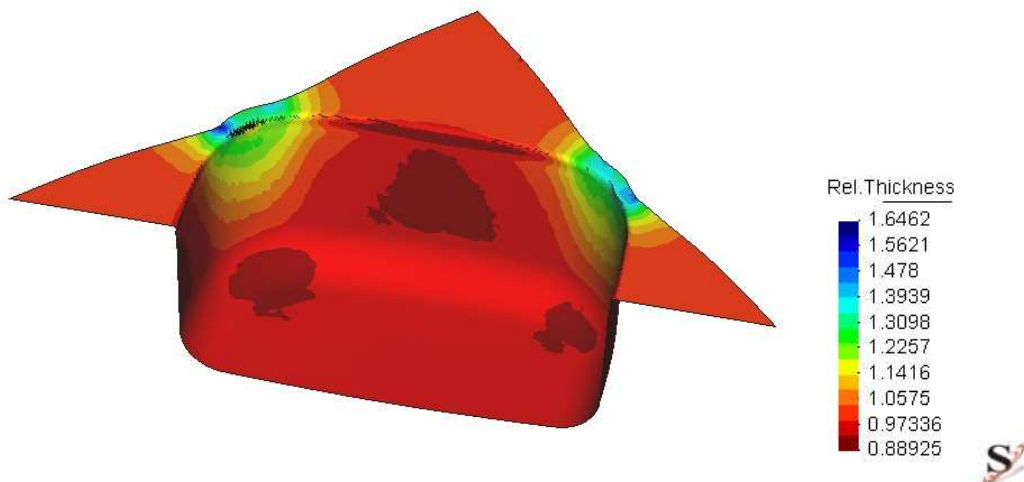
Slika 2.9 Izgled komada nakon II operacije



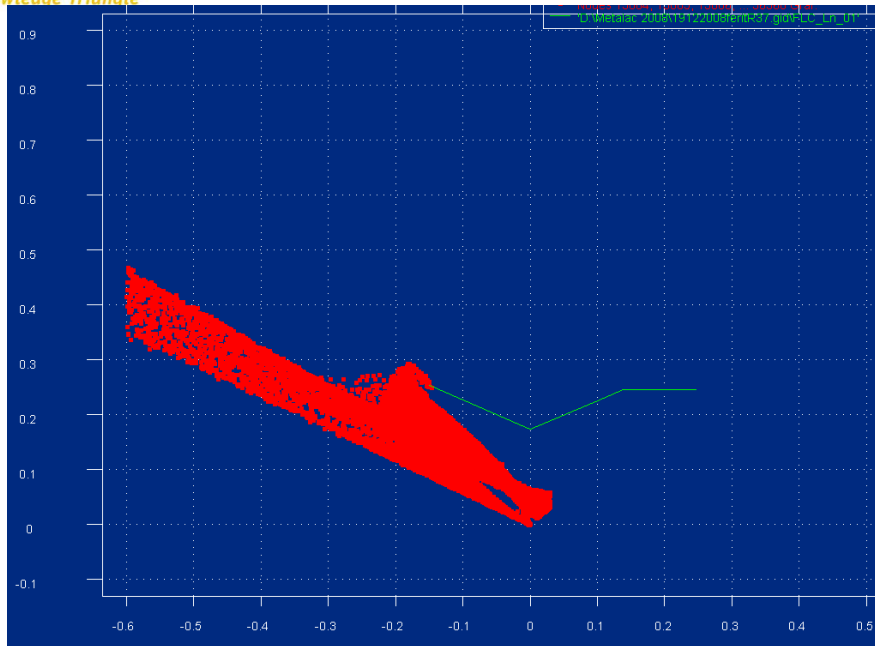
Slika 2.10 Distribucija granične deformabilnosti



Slika 2.11 Zone obradivosti



Slika 2.12 Relativna debljina lima



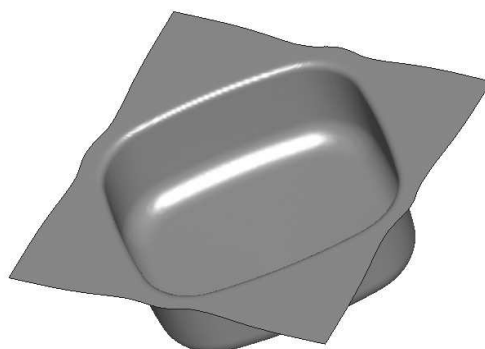
Slika 2.13 Dijagram granične deformabilnosti

U toku II operacije došlo je do pucanja dela u uglu na obodu, što se vidi i na DGD dijagramu, da je mali broj tačaka prešao graničnu vrednost.

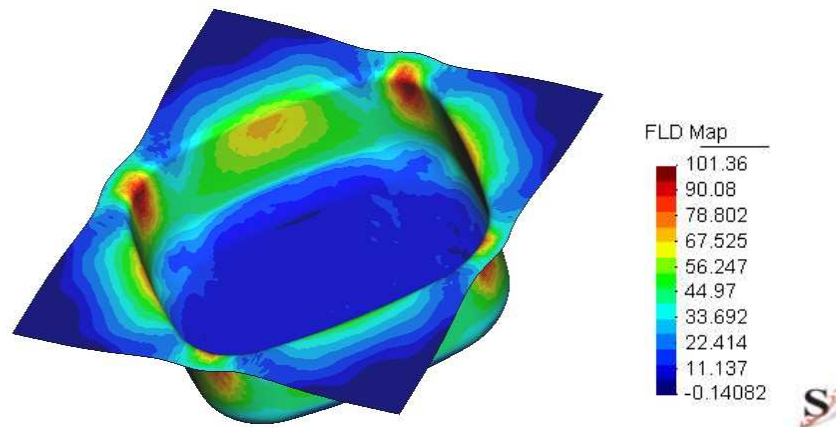
Nakon ovog eksperimenta i posle niza proba koje su izvršene u fabrici Metalac INKO, u industrijskim uslovima, u kojima su varirani uticajni parametri, a koje su prikazane u poglavlju 6, došlo se do predloga da se dno izvlakača u I operaciji nagne isto koliko i dno izvlakača u II operaciji. Time bi se rasteretila II operacija u kojoj bi se išlo samo na dobijanje potrebne dubine i malo proširivanje, a ne i na nagib dna korita sudopere.

Rezultati numeričkog eksperimenta NUM_3

U ovom eksperimentu korišćen je u I operaciji izvlakač sa nagnutim dnom. Svi ostali parametri procesa ostali su isti kao u prethodnom numeričkom eksperimentu za I operaciju (sila držanja 30 t, koeficijent trenja sa gornje strane lima je 0.06 a sa donje strane 0.1). Urađena je samo I operacija izvlačenja jer je došlo do pucanja u uglu na obodu. Na slikama koje slede vide se numerički rezultati ove simulacije.



Slika 2.14 Izgled komada nakon I operacije



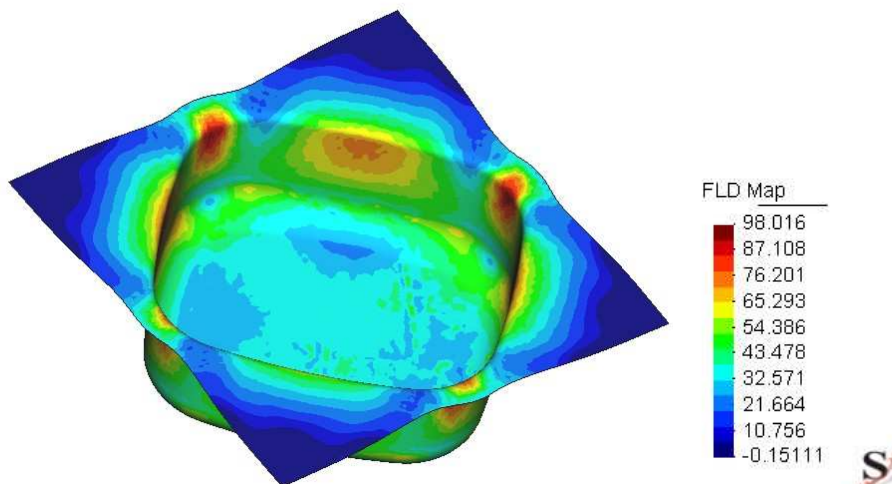
Slika 2.15 Distribucija granične deformabilnosti

Na slici 5.15 vidi se da su tačke u uglovima prešle vrednost granične deformabilnosti. Došlo se do zaključka da se promenom uslova kontaktnog trenja može uticati na promenu odnosa E1-E2.

Rezultati numeričkog eksperimenta NUM_4

Nakon prethodnog eksperimenta, urađenog sa nagnutim dnom izvlačkača u I operaciji, urađen je ovaj numerički eksperiment u kome je povećana dubina izvlačenja u I operaciji sa 142 mm na 146 mm, izvlačač je sa nagnutim dnom, povećana je sila držanja na 60 t, i promenjeni koeficijenti trenja sa gornje strane lima na 0.05, a sa donje strane na 0.06. Na proces se uticalo tako što su promenjeni uslovi kontaktnog trenja čime je dobijena I operacija bez pucanja. Na slikama je dat pregled rezultata.

I operacija

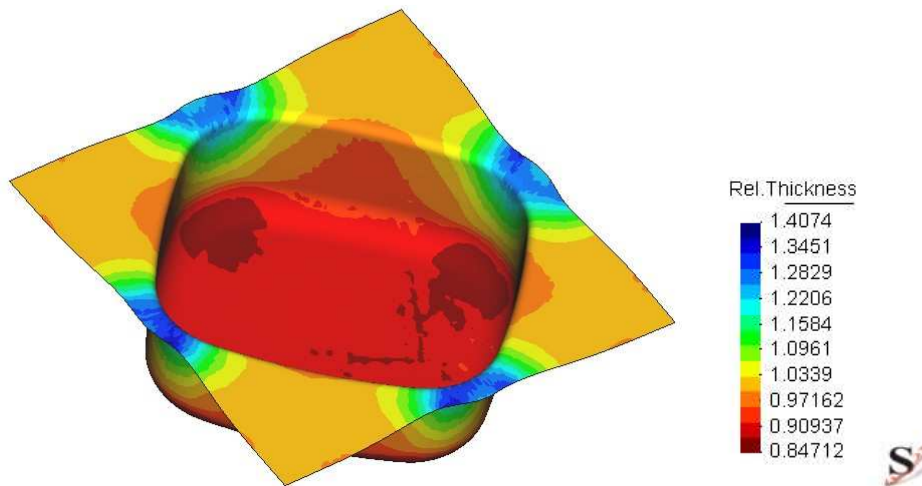


Slika 2.16 Distribucija granične deformabilnosti

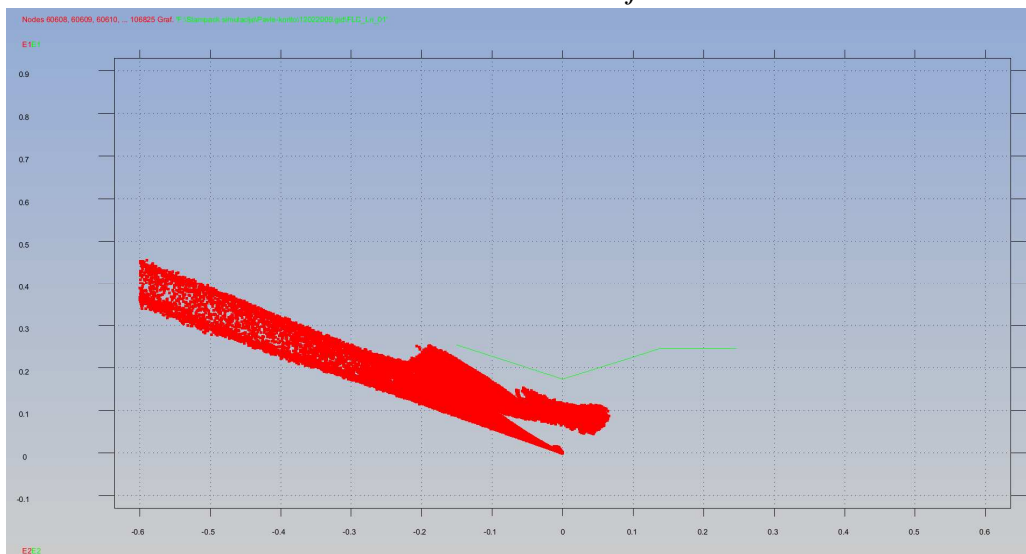
Na slici 5.17 vide se zone na kojima je moguća pojava nabora



Slika 2.17 Zone obradivosti



Slika 2.18 Relativna debljina lima

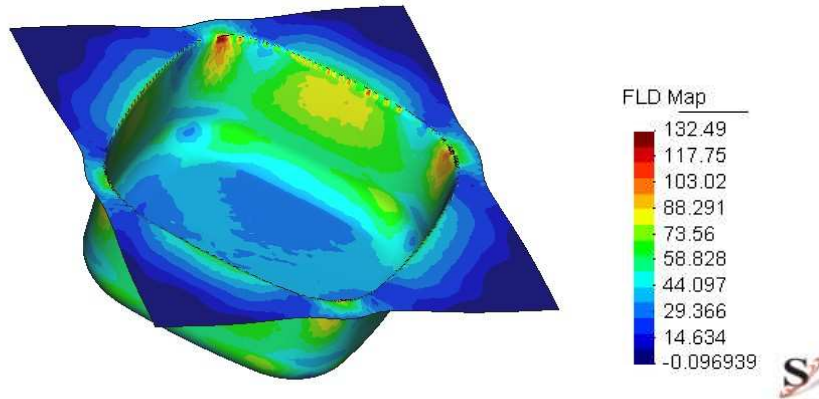


Slika 2.19 Dijagram granične deformabilnosti

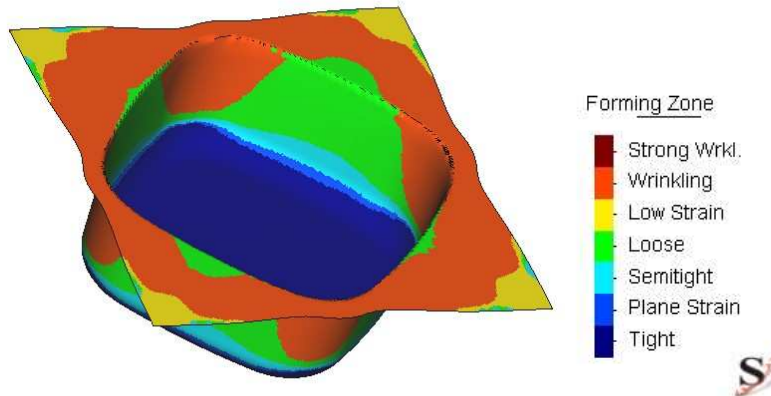
Iz rezultata koji su prethodili zaključuje se da se promenom uslova kontaktnog trenja povoljno uticalo na proces izvlačenja I operacije. Deo je izvučen sa izvlačaćem sa zakošenim dnom, a potom je urađena II operacija, sa silom držanja od 22 t, a koeficijenti trenja sa gornje strane lima

na 0.05, a sa donje strane na 0.06. Rezultati su prikazani na slikama koje slede. Deo puca u II operaciji po obodu.

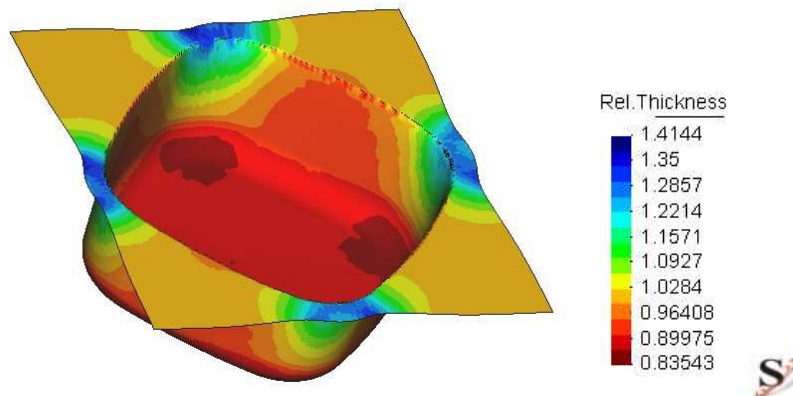
II operacija



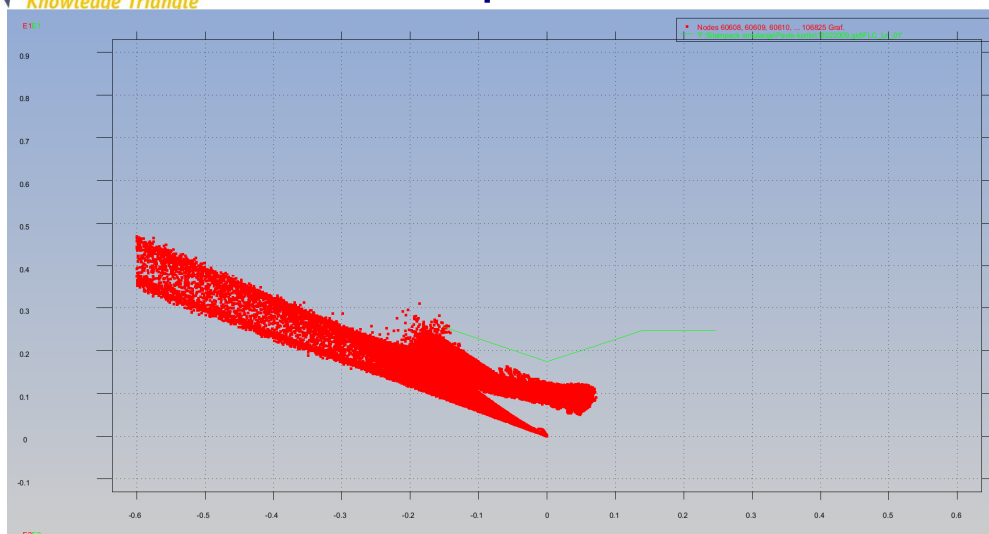
Slika 2.20 Distribucija granične deformabilnosti



Slika 2.21 Zone obradivosti



Slika 2.22 Relativna debljina lima

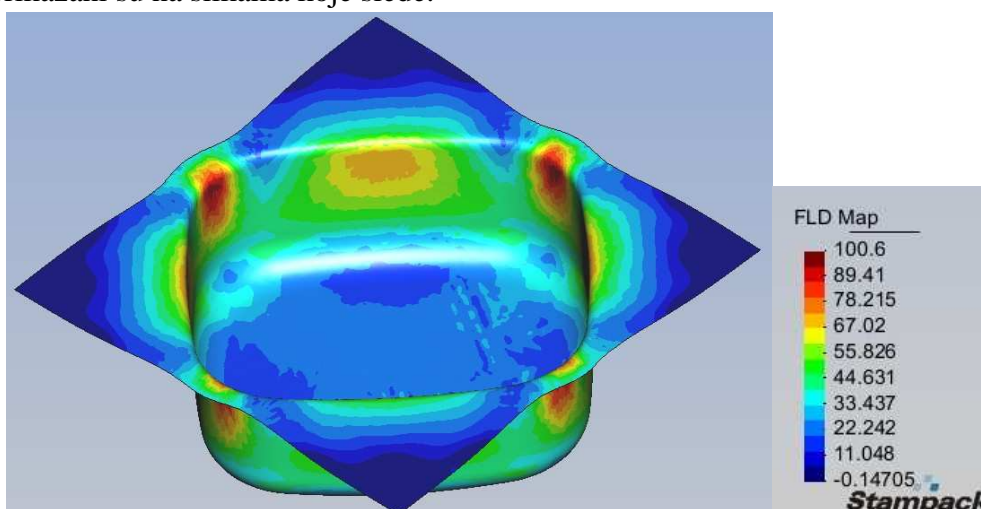


Slika 2.23 Dijagram granične deformabilnosti

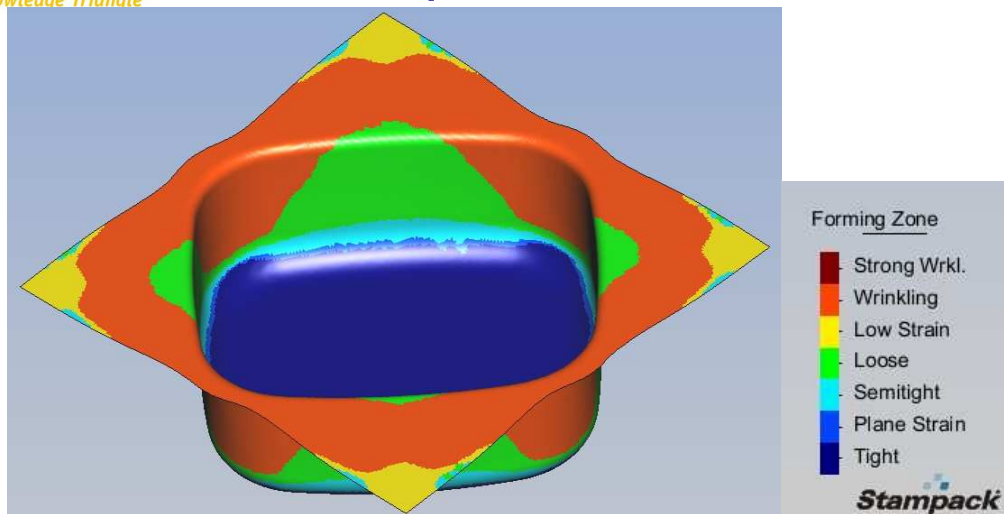
U toku II operacije izvlačenja deo je pukao po obodu, pa se na predlog projekatanta iz Metalac INKO preduzeća došlo na ideju, da se na proces pokuša delovati promenom dubine izvlačenja u I operaciji, tako što bi se povećala za 1mm u odnosu na prethodnu dubinu od 146 mm, ne bi li se dobila željena dubina u II operaciji od 150 mm bez prevelikog povlačenja materijala iz oboda.

Rezultati numeričkog eksperimenta NUM_5

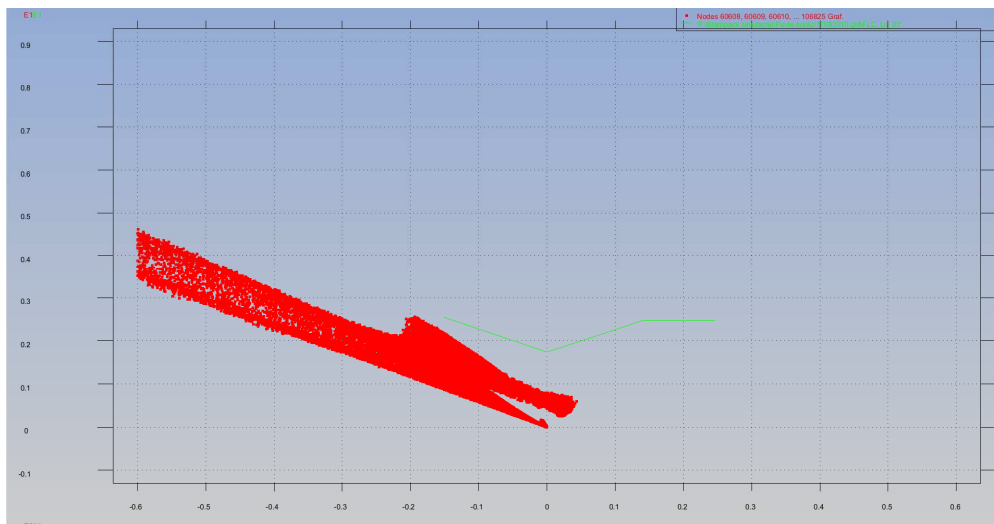
Ovaj numerički eksperiment je urađen sa povećanom dubinom izvlačenja u I operaciji za 1 mm u odnosu na prethodni eksperiment, pa je dubina korita posle I operacije 147 mm a ostali parametri izvlačenja ostali su isti kao u prethodnom numeričkom eksperimentu (sila držanja je 60 t, koeficijenti trenja sa gornje strane lima na 0.05, a sa donje strane na 0.06). Rezultati ovog eksperimenta prikazani su na slikama koje slede.



Slika 2.24 Distribucija granične deformabilnosti



Slika 2.25 Zone obradivosti



Slika 2.26 Dijagram granične deformabilnosti

U prikazanim rezultatima vidi se da I operacija nije uspela sa ovom dubinom izvlačenja pa samim tim II operacija izvlačenja nije ni rađena.

Nakon ovih numeričkih eksperimenata došlo se do zaključka da je neophodna promena geometrije izvlačkača za I operaciju, sa istom dimenzijom otvora korita, da bi se izvlačenje u II operaciji što više rasteretilo, i dobio konusni oblik zidova samo na račun promene dubine, koja je u II operaciji 150mm.

Rezultati industrijskih proba

Numeričke simulacije operacije procesa dubokog izvlačenja su pokazale veliku osetljivost izlaznih rezultata FE simulacije procesa od vrednosti uticajnih parametara. Identifikovani su sledeći uticajni parametri procesa: sila držanja i uslovi kontaktnog trenja. Upravo balans ova dva uticajna faktora omogućava dobijanje dobrih delova u I operaciji.

Navedeni uticajni parametri procesa su varirani u cilju analize samog procesa. Posle proba koje su izvršene sa ravnim dnom izvlakača u prvoj operaciji, u industrijskim uslovima u fabrici Metalac INKO, u kojima su varirani parametri kao u numeričkim eksperimentima, došlo se do istih rezultata.

Urađen je niz proba kojima je konstatovano sledeće:

- u prvoj operaciji problem stvaraju nabori koji se javljaju na obodu, što se može kontrolisati podmazivanjem;
- u drugoj operaciji deo puca na vertikalnom radijusu korita, blizu oboda, na samom kraju izvlačenja

U tabeli 2. prikazani su relevantni podaci variranih parametara procesa i napomene u vezi uočenih problema u industrijskim eksperimentima. U tabeli su prikazani samo neki karakteristični eksperimenti.

Probe su rađene sa izvlakačem u I operaciji sa ravnim dnom, radijusa 37 mm. Predmet nekih budućih industrijskih proba je da se u I operaciji koristi izvlakač sa nagnutim dnom, kao i da se izvrši korekcija matrice u I operaciji.

U industriji sila držanja se zadaje preko prednjeg levog, prednjeg desnog, zadnjeg levog i zadnjeg desnog cilindra hidro jastuka, preko kojih se može preciznije upravljati procesom. U numeričkim eksperimentima koji su urađeni sila držanja je konstantna po celoj površini držanja, međutim, softver Stampack ima opciju upravljanja procesom različitim silama držanja preko hidrocilindara što će biti predmet nekih daljih istraživanja.

Tabela 2.1 Probe urađene u industriji

Br. eks.	I operacija						II operacija					
	Sila držanja (t)				P	Nap.	Sila držanja (t)				P	Napomena
	Zl	Zd	Pl	Pd			Zl	Zd	Pl	Pd		
1	15	15	15	15	~	Nabori	7,5	7,5	7,5	7,5	*	Deo puca po vencu.
2	16	16	16	16	~	Nabori	7,5	7,5	7,5	7,5	*	Deo puca po vencu.
4	18	18	17,5	17,5	~	Nabori	7,5	7,5	7,5	7,5	*	Skinuto je zatezno rebro sa gornje strane. Deo puca po vencu.
5	19	19	18	19	~	Nabori	7,5	7,5	7,5	7,5	*	Skinuto je zatezno rebro sa zadnje strane i skraćen je lim sa te strane. Deo puca po vencu.
6	19,5	19,3	18,5	19,5	~	Dobro	7,5	7,5	7,5	7,5	*	Dubina je skraćena za 1,8mm (to važi za sve naredne eksperimente), vraćena su sva 4 zatezna rebra.
8	19,2	19,2	18,5	19,5	~	Dobro	7,5	7,5	7,5	7,5	*	Pripremak je skraćen sa sve 4 strane tako da zatezna rebra nemaju uticaja, pukao je sa tri strane.
10	20	19,1	19	18,5	~	Nabori	7,5	7,5	7,5	7,5	*	Skinuta su 3 zatezna rebra, deo puca po dijagonali.
15	19,8	19,2	18,5	20,4	~	Dobro	12,3	11	11	11	*	Deo puca po dijagonali.
16	19,8	19,2	18,5	20,2	~	Dobro	4,5	4,5	4,5	4,5	*	Dodajemo distancere debljine 0,8mm. Puca prednja leva ivica dela.
19	19,8	19,2	18,6	20	#	Dobro	4,9	4,7	4,8	4,7	*	Dodajemo distancere debljine 1mm. Primećuje se početak pucanja na prednjoj levoj ivici.
20	19,2	17,5	18,5	20	#	Dobro	12	12	12	12	*	Dodajemo distancere debljine 1mm. Pukle su zadnja desna i prednja leva ivica dela.

Nazivi oznaka koje su korišćene u tabeli 2.1:

P - podmazivanje

~ - podmazivanje se vrši emulzijom koja se meša sa vodom u odnosu 13:1. Podmazuje se kontura kruga širine 10cm.

* - podmazivanje se vrši mašinskim uljem. Podmazuju se unutrašnji radijus na dnu komada i spoljašnji radijus na vrhu komada.

- podmazivanje se vrši samo na strani lima koja je u kontaktu sa matriciom

Zd - zadnji desni cilindar hidro jastuka

Zl - zadnji levi cilindar hidro jastuka

Pl - prednji levi cilindar hidro jastuka

Pd - prednji desni cilindar hidro jastuka

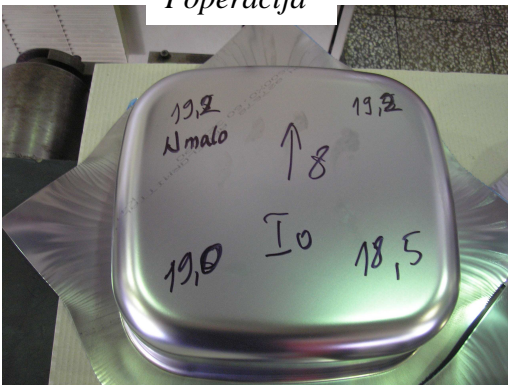
U nekoliko slika koje slede ilustrovani su rezultati proba u industriji. Zbog obima rada nije bilo moguće prikazati sve probe koje su rađene pa je izdvojeno nekoliko karakterističnih. Na komadima su ispisani redni brojevi po redosledu po kome su probe rađene, ispisane su vrednosti sile držanja koje se poklapaju sa navedenim za dati redni broj probe u tabeli 2.1.



I operacija

Slika 3.1 Proba pod rednim brojem 10

II operacija



I operacija

Slika 3.2 Proba pod rednim brojem 8

II operacija



Slika 3.3 Slika nabora u I operaciji

Ovim probama u fabrici Metalac INKO verifikovani su prethodno dobijeni numerički rezultati u numeričkim eksperimentima procesa. Došlo se do zaključka da bi promena tehnologije procesa dubokog izvlačenja dala rezultate, što će biti predmet nekih budućih razmatranja.

7. Reference (maksimum 10)

- [1] Vesna Mandić, *Modeliranje i simulacija u obradi deformisanjem*, Kragujevac, 2005
- [2] Binko Musafija, *Obrada metala plastičnom deformacijom*, Sarajevo, 1988
- [3] Milentije Stefanović, *Proizvodne tehnologije I – obrada metala deformisanjem*, Kragujevac, 2004
- [4] Milentije Stefanović, *Tribologija dubokog izvlačenja*, Kragujevac, 1994
- [5] Srbislav Aleksandrović, *Sila držanja i upravljanje procesom dubokog izvlačenja*, Kragujevac, 2005
- [6] Branislav Devedžić, *Obrada metala deformisanjem*, Beograd, 1981
- [7] Srbislav Aleksandrović,
http://www.mfkg.kg.ac.rs/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=112&Itemid=260
- [8] Dragan Adamović,
http://www.mfkg.kg.ac.rs/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=30&Itemid=269
- [9] <http://www.cevip.kg.ac.yu/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=62>
- [10] Stampack User manual

8. Zaključci (minimum 1/2 strane)

Ako se ima u vidu da se tehnika i tehnologija menjaju i usavršavaju iz dana u dan, a samim tim postavljaju se novi standardi kvaliteta na tržištu, što uslovljava razne izmene na postojećem proizvodu ili puštanjem novog proizvoda u proizvodnju, to savremena proizvodnja mora biti dovoljno fleksibilna i sposobna da odgovori na sve te nove zahteve. Tako se danas jedna savremena proizvodnja ne može zamisliti bez upotrebe računarske tehnike, opremljene neophodnim softverom, u svim oblastima proizvodnje od razvoja, konstrukcije, tehnologije pa do marketinga i plasmana proizvoda na tržište.

Primena softvera za numeričku simulaciju procesa ima višestruke prednosti u odnosu na stari način projektovanja. Numeričkim simulacijama procesa može se vršiti analiza nekog procesa bez fizičke izrade alata, ispitati i pratiti uticaj parametara na njegov tok. Sve navedeno nudi mogućnost projektantu da variranjem uticajnih parametara u potpunosti optimizira proces pre same proizvodnje i izrade alata.

Numeričke simulacije operacije dubokog izvlačenja korita sudopere, urađene u ovom radu, imale su za cilj studiju izvodljivosti izrade korita sudopere od feritnog čelika, koje se već proizvodi od austenitnog čelika.

Konkretno, u ovom radu, izvršeno je nekoliko numeričkih eksperimenata sa variranjem vrednosti sile držanja i geometrije izvlakača u I operaciji. Smanjenjem sile držanja poboljšan je proces oblikovanja u I operaciji, bolja je distribucija relativnih debljina, bolje su zone oblikovanja. Radijus na izvlakaču u I operaciji je povećan u drugom eksperimentu i to je dovelo do bitnijeg poboljšanja procesa. Vrednosti koeficijenta trenja (između lima i matrice, lima i izvlakača, lima i držača) su, kroz eksperimente, takođe smanjivane i zaključili smo da se menjenjem ovog ulaznog parametra može znatno uticati na poboljšanje procesa. U industrijskom procesu to podrazumeva intenzivno podmazivanje debelim slojem maziva.

Tokom numeričkih eksperimenata, u ovom radu, evidentirani su sledeći problemi:

- stvaranje nabora u toku I operacije, što je prevaziđeno pravilnim odabirom koeficijenata trenja u kontaktnim parovima,
- nestabilnost procesa u II operaciji sa prekoračenjem granične obradivosti feritnog lima, što dovodi do pucanja dela u uglovima i po obodu, a taj problem evidentiran je i u industriji.

Možemo zaključiti da presudan uticaj na tok procesa oblikovanja ima sila držanja i trenje, a i geometrija alata, koja se zbog karakteristika feritnog lima mora izmeniti u odnosu na geometriju alata koja se koristi u izradi ovog korita od austenitnog lima.

Osnovni zaključak ovog rada je da je izrada korita sudopere od feritnog čelika u mnogome ograničena karakteristikama niske obradivosti ovoga čelika i da bez promene tehnologije i alata se ne može doći do optimalnog procesa. Dobijeni rezultati u ovom radu predstavljaju osnovu za naredna istraživanja.

Jedna od preporuka je da se promeni geometrija izvlakača za I operaciju, sa istom dimenzijom otvora korita, da bi se izvlačenje u II operaciji što više rasteretilo, i dobio konusni oblik zidova samo na račun promene dubine, koja je u II operaciji 150 mm. Pored toga, u numeričkim eksperimentima, može se izvršiti upravljanje procesom držanja preko hidrocilindara, pa da se taj princip u budućnosti primeni i u industriji, u slučaju da numerički eksperimenati daju dobre rezultate.

Urađene simulacije procesa obrade pokazale su svrsishodnost primene programskog paketa Stampack za numeričku simulaciju procesa zahvaljujući verifikaciji rezultata u industrijskim eksperimentima. Imajući u vidu prethodna razmatranja i zaključke, primena programskih paketa za numeričku simulaciju raznih procesa obrade postaje neophodnost uz višestruke prednosti.

Datum: _____

Mesto: _____

Potpis studenta:

Potpis industrijskog mentora:



www.wbc-vmnet.rs
info@wbc-vmnet.rs
tel.: +381 34 501 201
fax: +381 34 501 901

