

EUREKA

FAKULTET
TEHNIČKIH
NAUKA
NOVI SAD



FAKULTET
INŽENJERSKIH
NAUKA
KRAGUJEVAC



FAKULTETA ZA
STROJNITVO
LJUBLJANA



ZASTAVA
KOVAČNICA
KRAGUJEVAC



TEHNIČKO RAZVOJNO REŠENJE

RAZVOJ TEHNOLOGIJE ORBITALNOG KOVANJA KARDANSKOG KRSTA

M 84 – NOVI TEHNOLOŠKI POSTUPAK IZRADE KARDANSKOG KRSTA
(Bitno poboljšan postojeći proizvod ili tehnologija)

Autori:

Prof. dr Miroslav Plančak
Prof. dr Dragiša Vilotić
Prof. dr Milentije Stefanović
Prof. dr Karl Kuzman
mr Plavka Skakun
mr Mladomir Milutinović
Dejan Movrin mast. inž.

Novi Sad, Jun 2012

SADRŽAJ

PREDMET.....	3
1. OSNOVE I CILJ PREDLOŽENOG REŠENJA	3
2. POSTOJEĆE TEHNOLOGIJE KOVANJA KARDANSKOG KRSTA.....	8
3. PRIKAZ PREDLOŽENOG REŠENJA.....	9
3.1 Priprema obratka	9
3.2 Modelovanje i simulacija tehnološkog postupka orbitalnog kovanja kardanskog krsta	9
3.3 Konstrukcija alata za orbitalno kovanje kardanskog krsta.....	17
4. KOMPARACIJA KARAKTERISTIKA OTKOVAKA KARDANSKOG KRSTA DOBIJENIH STARIM (TOPLO KOVANJE) I NOVIM (HLADNO ORBITALNO KOVANJE) POSTUPKOM.....	20
5. PRIMENLJIVOST PREDLOŽENOG REŠENJA	24
LITERATURA	24

PREDMET

Zajedničkim aktivnostima Fakulteta tehničkih nauka Novi Sad, Fakulteta inženjerskih nauka Kragujevac, Fakultete za strojništvo Ljubljana i Kovačnice Zastava Kragujevac u okviru EUREKA projekta „Inovativne ekološke tehnologije obrade metala E!5005“ razvijen je **nov tehnološki postupak kovanja kardanskog krsta**, do koncepcije tehničko-tehnološkog rešenja:

RAZVOJ TEHNOLOGIJE ORBITALNOG KOVANJA KARDANSKOG KRSTA

Osnov za izradu ovog Tehničkog rešenja je **Pravilnik o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata** kojim je u Kriterijumima za određivanje kategorije naučnih publikacija (Prilog 2), definisan postupak dokumentovanja i verifikacije Tehničkih rešenja (M80), Sl. Glasnik, RS 38/2008.

1. OSNOVE I CILJ PREDLOŽENOG REŠENJA

Globalno tržište postavlja sve strožije uslove u svim oblastima privređivanja. To se odnosi i na proizvodnju metalnih delova, gde se zahtevaju visoke tehničke performanse proizvoda uz što manje troškove i što kraće vreme izrade. Pri tome moraju biti zadovoljeni sve strožiji uslovi zaštite i očuvanja čovekove sredine. U takvim uslovima neophodan je razvoj novih, sa tehnološkog aspekta efikasnijih tehnologija, kao i permanentno poboljšavanje već postojećih tehnoloških rešenja.

U oblasti tehnologije plastičnog deformisanja metala u poslednjih dvadesetak godina razvijen je, do nivoa industrijske primene veći broj tehnoloških metoda kojima se postižu značajni tehnološki efekti, uz istovremeno povećanje tačnosti i kvaliteta proizvoda, čime je stepen konkurentnosti tehnologije plastičnog deformisanja podignut na još viši nivo. Jedan od značajnijih pravaca savremenog razvoja u okviru tehnologije plastičnosti jeste grupa tehnologija pod zajedničkim imenom *inkrementalno deformisanje*. Inkrementalno deformisanje predstavlja vid obrade pri kojem se finalni deo dobija parcijalnim delovanjem alata na obradak. Posledica toga jesu niže sile u procesu kao i manje opterećenje alata u poređenju sa konvencionalnim postupcima obrade deformisanjem, što između ostalog omogućava primenu mašina manjih gabarita i nominalnih sila. Takođe u procesima inkrementalnog deformisanja koriste se alati jednostavnijeg oblika koji su često univerzalnog karaktera. Sa druge strane, inkrementalni proces zahteva vise stepeni slobode kretanja alata što uslovljava primenu sofisticiranog upravljanja procesom. Vreme izrade dela ovim tehnologijama je duže nego kod konvencionalnih obrada, ali se to delimično može kompenzovati činjenicom da je izrada alata brza, jednostavnija i jeftinija. Glavne prednosti i nedostatci inkrementalnog deformisanja, sa ekonomskog i tehnološkog stanovišta, sumirani su u Tabeli T1.

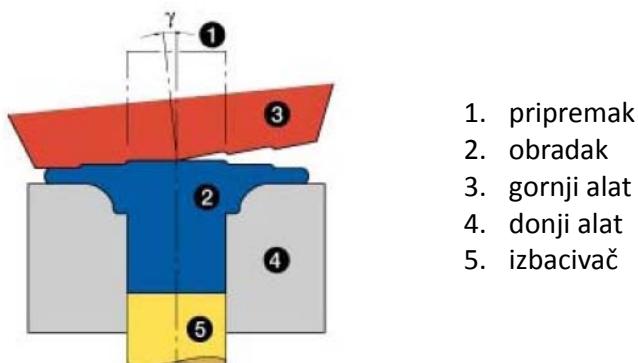
Orbitalno kovanje je jedan od postupaka zapreminskog inkrementalnog deformisanja kojim se mogu se obrađivati čelični materijali, aluminijum, nemetalni, metalni prah i to na hladno i/ili polutoplo, pri čemu se dobijaju delovi različite geometrije i stepena složenosti. Kao takva, ova tehnologija omogućava uspešnu supstituciju tradicionalnih postupaka kovanja u otvorenom i zatvorenom kalupu, istiskivanja, sabijanja itd. Prema novijim ekspertskim procenama čak jedna četvrtina delova dobijenih klasičnim putem na presama i čekićima može se izraditi orbitalnim kovanjem [2]. Orbitalnim kovanjem se najčešće izrađuju delovi

aksijalno simetričnog oblika kao što su: prirubnice, glavčine, zupčanici, prstenasti delovi, diskovi i dr. Međutim, ova tehnologija nije ograničena samo na izradu simetričnih delova već se mogu dobiti i kompleksniji nesimetrični oblici korišćenjem složenih kretanja alata tokom procesa. Ova tehnologija je naročito pogodna za izradu delova koji imaju veliki odnos prečnika i debljina kao što su diskovi i velike prirubnice zbog povoljnog odnosa dobijene deformacije i deformacione sile. Svoju prednost ispoljava prilikom kovanja delova zupčastog oblika, heksagonalnih delova ili glavčina, kod kojih je prilikom klasičnog kovanja zbog visokog trenja vrlo teško ostvariti potpuno popunjavanje kalupa. Tačnost mera zavisi od tačnosti alata (tačnost izrade i elastičnih deformacija alata u toku obrade). Najčešće se mogu postići tolerancije između 0.1-0.03 mm (hladna obrada) i 0.25-0.1 mm (polu-topla obrada).

Tabela 1 – Prednosti i nedostatci tehnologije inkrementalnog deformisanja

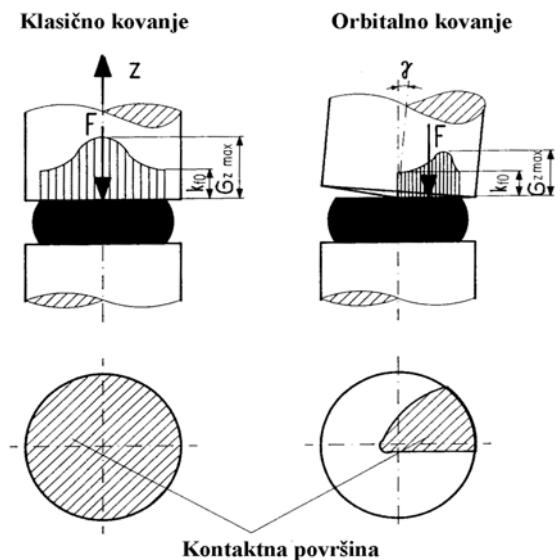
	Ekonomske prednosti i nedostatci	Tehnološke prednosti i nedostatci
+	Visoka fleksibilnost	Net-shape proizvodi
	Mala ulaganja	Manje trenje i habanje
	Niska cena alata	Ojačavanje materijala i dobra mikrostruktura
–	Mala proizvodnost	Visoka lokalna opterećenja alata
		Komplikovana kontrola procesa
		Tehnologija zasnovana na iskustvu

Šema procesa orbitalnog kovanja data je na slici 1. Pripremak se postavlja između donjeg i gornjeg alata, pri čemu je osa gornjeg alata nagnuta u odnosu na vertikalu za određeni ugao (γ). Svojom donjom površinom pripremak leži na donjem alatu dok je kontaktna površina između gornjeg alata i pripremaka, usled nagnute ose gornjeg alata u odnosu na vertikalnu, manja nego sto je to kod konvencionalnog kovanja (sabijanja). Posledica smanjenja kontaktne površine je mnogo manja sila u procesu u odnosu na klasično kovanje.



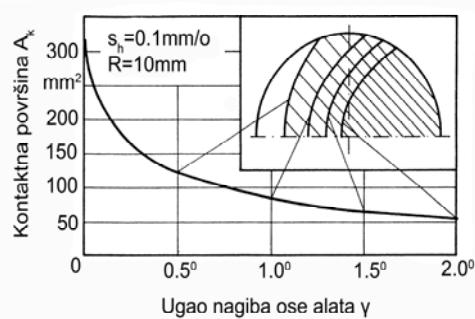
Slika 1 - Principijelna šema procesa orbitalnog kovanja []

Uporedni prikaz klasičnog i orbitalnog kovanja dat je na slici 2. Kod konvencionalnog kovanja celokupna čeona površina gornjeg alata je u kontaktu sa pripremkom, pri čemu se maksimalni napon javlja u osi obradka. Kod orbitalnog kovanja kontakt između gornjeg alata i pripremka je samo po ograničenom delu ukupne površine pri čemu položaj veličine maksimalnog napona varira tokom procesa. S obzirom da je gornji alat nagnut u odnosu na vertikalu i da njegova osa vrši najčešće obrtno kretanje oko vertikalne ose opisujući na taj način kupastu površinu, parcijalna kontaktna površina se takođe kreće po obimu površine radnog komada.



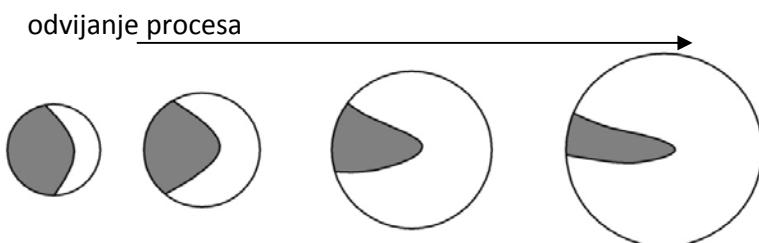
Slika 2 - Uporedni prikaz konvencionalnog i orbitalnog kovanja [7]

Veličina dodirne površine gornjeg alata i materijala zavisi od ugla nagiba ose gornjeg alata: što je veći ugao, utoliko je manja dodirna (kontaktna) površina i utoliko je veći intenzitet deformisanja. Nagibni ugao $\gamma=0$ predstavlja konvencionalno deformisanje (sabijanje), sa punim kontaktom alata i materijala. Kao primer na slici 3 prikazana je veličina i oblik kontaktne površine gornjeg alata i obratka prečnika $d=20\text{mm}$ i to za različite veličine nagibnog ugla γ ($\gamma=2^{\circ}, 1.5^{\circ}, 1^{\circ}$ i 0.5°). Uočava se da je za vrednost ugla $\gamma=2^{\circ}$ kontaktna površina za 2.4 puta manja nego u slučaju kada je nagibni ugao $\gamma=0.5^{\circ}$.



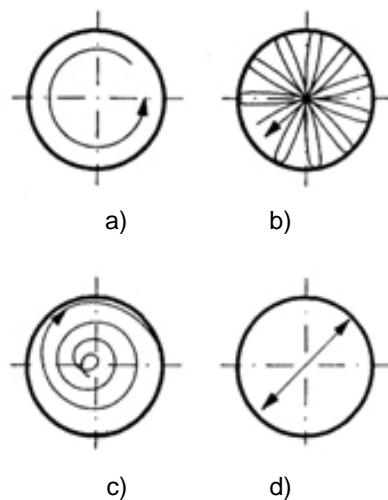
Slika 3 - Veličina i oblik kontaktne površine gornjeg alata i obratka za različite veličine nagibnog ugla γ [5]

Veličina kontaktne površine se u toku procesa menja. U početnima fazama, kada je prečnik radnog komada mali, kontaktna površina može iznositi i do 50% ukupne površine kontakta. U daljem toku procesa povećava se prečnik radnog komada, a kontaktna površina između gornjeg alata i radnog komada se redukuje na 10% ukupne površine (slika 4).



Slika 4 - Promena veličine kontaktne površine u toku procesa orbitalnog kovanja [5]

U procesu orbitalnog kovanja vladaju povoljniji uslovi trenja, što takođe doprinosi smanjenju deformacione sile i ravnomernijoj deformaciji. Osa nagnutog gornjeg alata može izvoditi za vreme izvođenja procesa u odnosu na vertikalnu osu različita kretanja (slika 5). Koje kretanje će se primeniti zavisi pre svega od geometrije radnog komada. Najčešće je to kružno kretanje (a), koje se primenjuje kod relativno tankih obradaka tipa rukavaca, pri čemu je potrebno postići visok stepen deformacije po celoj kontaktnoj površini obradka. Spiralno kretanje (b) se primenjuje ako je potrebno veću deformaciju realizovati u sredini obradka nego po ivicama. Simetrično kretanje (c) se primenjuje kod obradaka sa izbočinama, rebrima i sl. (npr. konični zupčanik). Pravolinijsko kretanje (d) se primenjuje za izradu dugačkih, uzanih radnih komada, pri čemu je moguće da takvi komadi imaju gravure na svojoj površini. Prikazane trajektorije gornjeg alata realizuju se pomoću posebne kinematike mašine.



Slika 5 - Trajektorije gornjeg alata: kružno kretanje (a), spiralno kretanje (b), simetrično kretanje (c) i pravolinijsko kretanje (d) [5]

Prema vrsti pogona rotacionog i aksijalnog kretanja gornjeg i donjeg alata moguće je procese orbitalnog kovanja podeliti u tri grupe (sl.6).

Tip 1	Tip 2	Tip 3
<p>Gornji alat - obrtanje ψ - vertikalno kretanje</p> <p>Donji alat - obrtanje (pogon)</p> <p>Radni komad - obrtno kretanje ψ sa donjim alatom</p>	<p>Gornji alat - slobodno obrtanje ψ - obrtanje ϕ (pogon)</p> <p>Donji alat - vertikalno kretanje</p> <p>Radni komad - stacionaran</p>	<p>Gornji alat - obrtanje ϕ (pogon)</p> <p>Donji alat - vertikalno kretanje</p> <p>Radni komad - stacionaran</p>

Slika 6 - Klasifikacija postupaka orbitalnog kovanja

Tip 1 – Donji alat vrši obrtno kretanje. Gornji alat se okreće sinhrono u odnosu na obrtno kretanje donjeg alata oko svoje nagnute ose, ali se ne okreće oko vertikalne ose. Translatorno kretanje se ostvaruje preko gornjeg alata (donji alat se ne kreće vertikalno). Ako gornji alat nije pogonjen nego se slobodno kreće oko svoje ose zajedno sa radnim predmetom to je tip 1A. Ako je gornji alat pogonjen radi se o tipu –1B.

Tip 2 – Donji alat je fiksan, ne obrće se niti se kreće u vertikalnom pravcu. Gornji alat izvodi ukupno 3 nezavisna kretanja: obrtanje oko ose alata, obrtanje oko vertikalne ose kao i vertikalno (aksijalno) kretanje.

Tip 3 – To je najčešći tip (vrsta) realizacije orbitalnog kovanja. Donji alat vrši aksijalno kretanje uz pomoć hidrauličnog pogona. Gornji alat se okreće oko vertikalne ose.

Sumarni prikaz prednosti i nedostataka tehnologije orbitalnog kovanja daje se u nastavku. Glavne prednosti su:

- U procesu orbitalnog kovanja sile su višestruko manje u odnosu na klasično kovanje što omogućava korišćenje alata i mašina manjih dimenzija.
- Zbog prisustva trenja kotrljanja habanje je svedeno na minimum što omogućava dobijanje komada visoke tačnosti i dobrog kvaliteta površina.
- Mogućnost brze izmena alata i podešavanje mašine svrstava je u grupu visoko fleksibilnih tehnologija.
- Zbog odsustva udarnih sila orbitalno kovanje je ekološki prihvatljivije od klasičnog kovanja. Buka, vibracije, isparenja u velikoj meri su eliminisani što je vrlo bitno sa stanovišta ekologije.

a ograničenja:

- Nedostatak iskustvenih podataka vezanih za tehnologiju, jer ona spada u grupu "mladih" tehnologija.
- Vrlo je teško odrediti koji radni komadi mogu biti izrađeni orbitalnim kovanjem i pristupa se obično trial and error metodi.
- Zbog prisustva velikih bočnih sila i složenih kretanja alata mašine su složene konstrukcije.
- Relativno mala produktivnost.

Imajući u vidu sve gore rečeno, cilj predloženog tehničkog rešenja je supstitucija klasične tehnologije toplog kovanja kardanskog krsta tehnologijom hladnog orbitalnog kovanja radi povećanja kvaliteta i tačnosti, smanjenja škarta u proizvodnji i smanjenja ukupnih troškova izrade predmetnog proizvoda, odnosno unapređenja ekoloških aspekata proizvodnje.

2. PRIKAZ POSTOJEĆE TEHNOLOGIJE KOVANJA KARDANSKOG KRSTA

Kardanski krst ili krstasti prenosni element (slika 7) predstavlja važan segment u transmisionom sistemu vozila koji je u svom radu izložen visokim mehaničkim opterećenjima. Stoga pri izradi ovoga dela moraju biti ispunjeni visoki standardi u pogledu njegovih mehaničkih karakteristika, pre svega čvrstoće, tvrdoće, žilavosti, i otpornost na zamorni lom.



Slika 7 - Kardanski krst izrađen tehnologijom toplog kovanja

Zbog kompleksne geometrijske konfiguracije kardanskog krsta (kombinacija ravnih i cilindričnih površina) koja je nepovoljna sa stanovišta tehnologije kovanja, u postojecem postupku kovanja često dolazi do pojave škarta što značajno utiče na krajnju cenu proizvoda. Takođe kvalitet površina i tačnost dimenzija predmetnog otkovka dobijenog toplim kovanjem u otvorenom kalupu je niska (u skladu sa karakteristikama i mogućnostima ove tehnologije) što zahteva visok nivo postprocesiranja (dopunske mašinske obrade) čime se vreme izrade i troškovi proizvodnje dodatno povećavaju.

3 PRIKAZ PREDLOŽENOG REŠENJA

Definisanje tehnologije orbitalnog kovanja obuhvata nekoliko faza od kojih svaka ima određeni uticaj na odvijanje procesa kao i kvalitet gotovog komada.

3.1 Priprema obratka

a) Određivanje oblika i dimenzija pripremka

Pri određivanju geometrije pripremka treba se pridržavati osnovnog pravila koje glasi: oblik i dimenzijske vrijednosti pripremka treba da budu što je moguće bliži obliku i dimenzijama gotovog obratka. Pri izradi rotaciono simetričnih delova, poprečni presek je cilindričan a njegov prečnik treba da bude jednak maksimalnom prečniku obratka dok se visina pripremka izračunava iz jednakosti zapremine pripremka (V_p) i obratka (V_o).

b) Izrada pripremka

Kao polufabrikat za izradu pripremka koriste se okrugle šipke ali mogu se koristiti i šipke kvadratnog, šestougaonog i pravougaonog preseka. Pripremci iz šipki izrađuju se na a) strugovima (automati), b) testerama, c) makazama. Pločasti pripremci se dobijaju iz lima razdvajanjem na specijalnim alatima. Koji će se način izrade pripremka primeniti zavisi od oblika obratka, veličine serije kao i od raspoložive opreme.

c) Termička obrada pripremka

Nakon izrade pripremci koji se koriste za postupak orbitalnog kovanja po pravilu se termički obrađuju mekim žarenjem.

d) Priprema površina obratka i podmazivanje

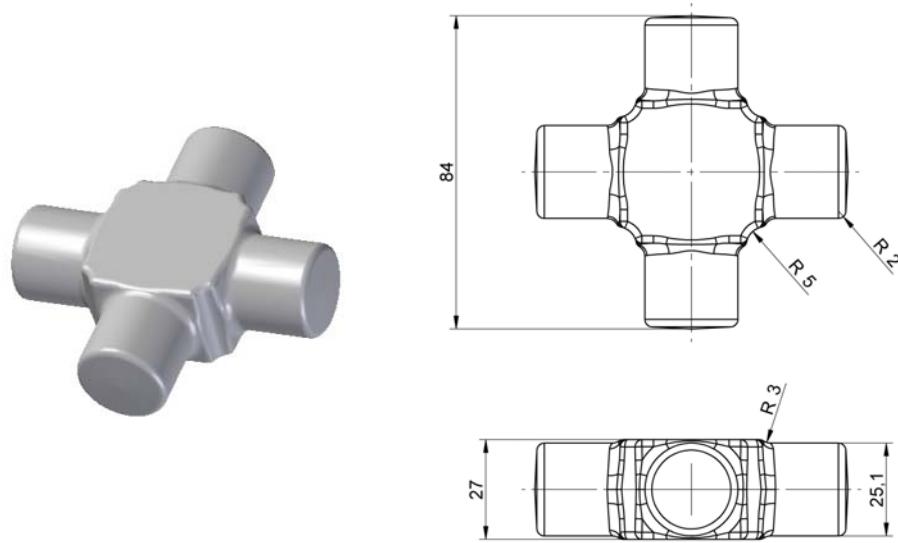
U procesu orbitalnog kovanja javljaju se visoki kontaktni pritisci tako da primena mineralnih ulja i masti kao mazivnih sredstva u takvim uslovima ne zadovoljava. U tim slučajevima podmazivanje se vrši na način da se na površinu metala koji se deformiše, pre obrade nanosi specijalni sloj, tzv. nosač mazivnog sredstva (najčešće su to cink-fosfati i feroooksalati). Takav sloj je porozan i veoma otporan na pritisak kao i na povećanje površine na koju je nanet. Debljina sloja je $1\text{--}15 \mu\text{m}$ (fosfatni sloj) tj. $5\text{--}8 \mu\text{m}$ (oksalat). Zadatak takvog sloja je da za sebe veže (upije) mazivno sredstvo koje se naknadno nanosi, i da to sredstvo zadrži za vreme procesa deformisanja i u uslovima visokih pritisaka. Na taj način se obezbeđuje da i u najtežim uslovima obrade nema direktnog metalnog kontakta između alata i materijala.

3.2 Modelovanje i simulacija tehnološkog postupka orbitalnog kovanja kardanskog krsta

Orbitalno kovanje je specifična tehnologija kod koje na krajnji rezultat, tj. kvalitet obratka utiče čitav niz faktora: materijal, geometrija procesa, trenje/podmazivanje, kinematika procesa, ugao nagiba pokretnog alata i dr. U cilju dobijanja relevantnih podataka neophodnih za optimalnu realizaciju procesa orbitalnog kovanja krstastog kardana, konstrukciju alata i izbor mašine, izvršeno je modeliranje i simulacija procesa korišćenjem softverskog paketa *Simufact Forming 10.0 (SF 10.0)*. U simulacijama je korišćen 3D model baziran na metodi konačnih elemenata, a sama procedura realizovana je u tri koraka:

1. Izrada CAD (Computer Aided Design) modela alata i obratka
2. Transformacija CAD modela u CAE (Computer Aided Engineering) model
3. Preprocesiranje, simulacija i postprocesiranje rezultata simulacije

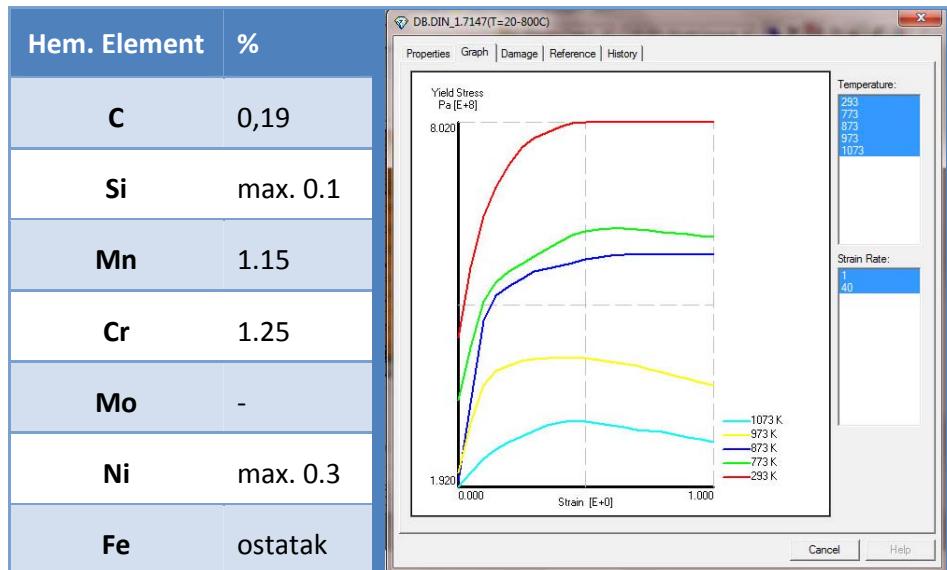
Modeli alata i obratka. CAD modeli alata i obratka formirani su okviru Solid Edge v18 programskog paketa, a zatim uvezeni u SF 10.0 u formatu *.stl. Model kardanskog krsta (sl.8) kreirani su na osnovu dostavljenog tehničkog crteža kardanskog krsta i dopunskih merenja gotovog proizvoda. Iste mere korišćene su i pri modelovanju alata. U simulaciji obradak je modelovan kao elasto-plastično telo dok su alati tretirani kao apsolutno kruta tela (*rigid bodies*). Usvojeni model alata gotovo u potpunosti preslikava dešavanja u praksi, jer je čvrstoća alata mnogostruko veća nego čvrstoća radnog komada.



Slika 8 - Radni komad pozicioniran između gornjeg i donjeg alata

Materijal. Materijal radnog komada je DB.DIN_1.7147 (DIN 20MnCr5 - Č4321) koji predstavlja zahtev poručioca. Hemski sastav i krive tečenja navedenog materijala prikazane su u tabeli 2.

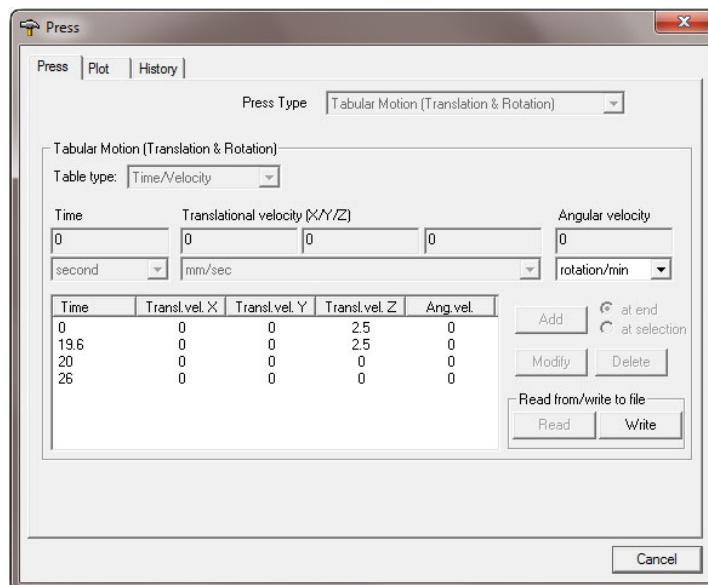
Tabela 2 - Hemski sastav čelika i krive tečenja u zavisnosti od temperature za 20MnCr5



Temperatura. Budući da se radi o obradi u hladnom stanju (hladno orbitalno kovanje) za početnu temperaturu procesa usvojena je sobna temperatura (25°C).

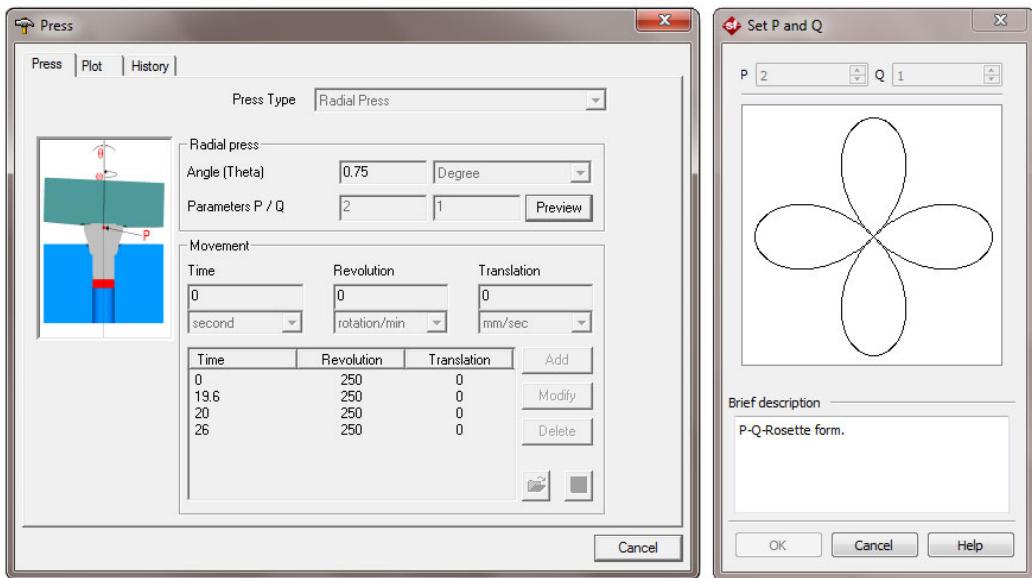
Trenje. Za opisivanje trenja u procesu usvojen je Coloumb-ov model sa vrednošću koeficijent trenja od $\mu = 0,1$.

Izbor prese. Na osnovu literaturnih preporuka korišćen je model prese kod koji se donji alat kreće na gore, a gornji vrši rotaciono kretanje. Kao tip prese vezane za donji alat u programskom paketu SF 10.0 izabran je *Tabular press*, zbog mogućnosti finog podešavanja brzine kretanja alata u svakom trenutku procesa. Na slici 9 prikazan je dijalog u programskom paketu SF 10.0 koji je vezan za podešavanje parametara *Tabular press*-e. Brzina kretanja donjeg alata vertikalno naviše je $2,5 \text{ mm/s}$, što je usvojeno na osnovu literature i preporuka proizvođača mašina. Donji alat vrši kretanje sve do $19,6$ sekundi, kada se zaustavlja i zatim se vrši kalibracija radnog komada (odnosno, donji alat miruje, a gornji alat nastavlja orbitalno kretanje).



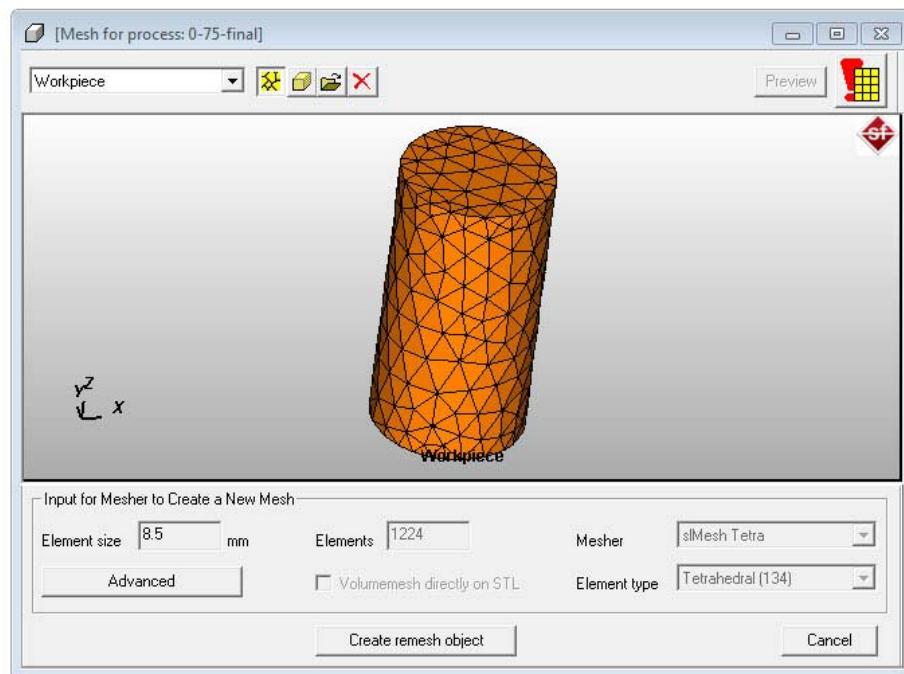
Slika 9 - Izbor parametara za podešavanje Tabular press-e u SF 10.0

Za gornji alat vezana je *Radial press*-a koja omogućava orbitalno kretanje. Brzina radijalne prese takođe je usvojena na osnovu preporuka iz literatura i iznosi 250 obrtaja/min. Dijalog prozor za podešavanje parametara Radial press-e može se videti na slici 10. U dijalogu je moguće podešiti parametre za ugao ose alata, brzine rotacije i translacije, kao i način kretanja alata. U ovom slučaju izabran je ugao ose alata od $0,75^{\circ}$ i planetarni tip kretanja (slika 10).



Slika 10 - Izbor parametara za podešavanje radijalne prese u SF 10.0

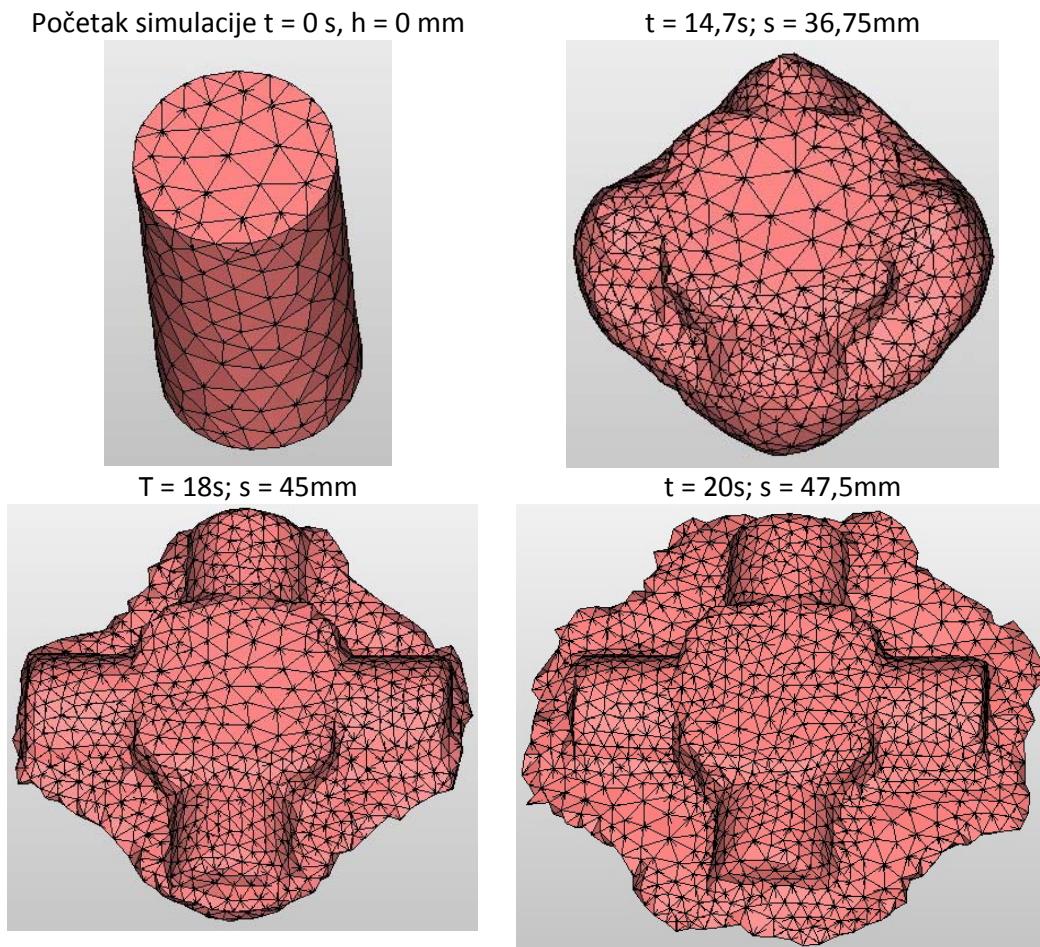
Kreiranje mreže konačnih elemenata. Početna veličina elemenata iznosila je 8,5 mm, što znači da je radni komad premrežen sa ukupno 1224 elemenata tipa *Tetrahedral 134*. (slika 11). Tokom simulacije, program automatski vrši usitnjavanje elemenata na kritičnim mestima gde dolazi do kontakata između alata i obratka, kao i na mestima veliki deformacija. Takođe je bio definisan i kriterijum remeshing-a, tj. obnavljanja mreža budući da tokom simulacija dolazi do dolazi do urušavanja početne mreže konačnih elemenata usled velikih deformacija obratka.



Slika 11- Kreiranje mreže konačnih elemenata u SF 10.0

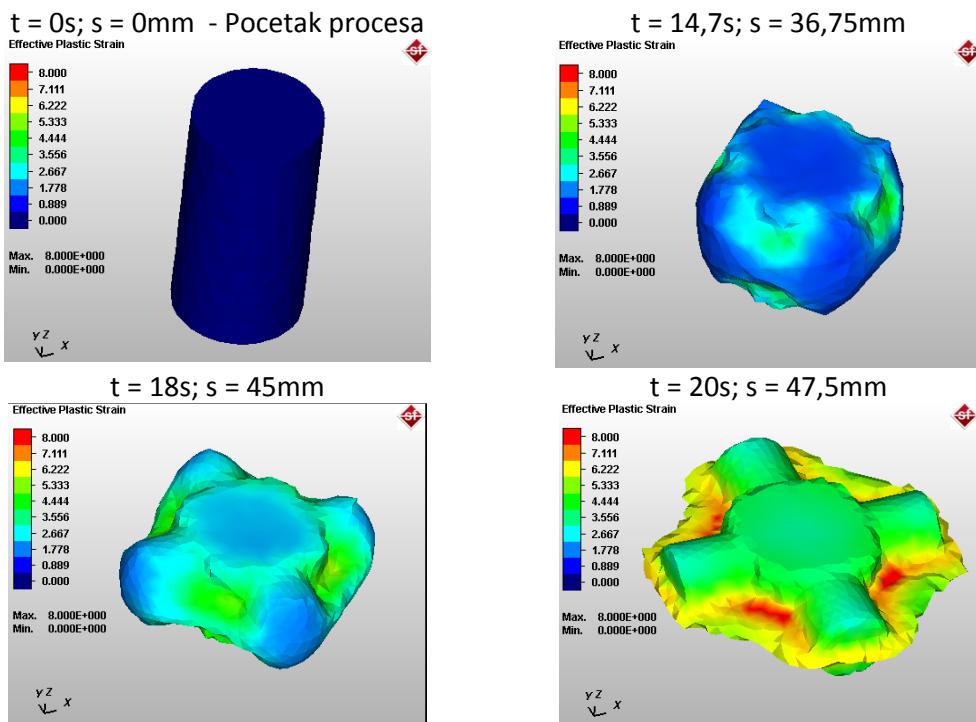
Postprocesiranje. U okviru postupka postprocesiranja sprovedena je analiza rezultata simulacije i to: toka materijala tokom procesa obrade, veličine efektivnih deformacija i efektivnih napona kao i veličine sila koje se pojavljuju u procesu. U drugom delu, izvršeno je finalno konstruisanje alata za orbitalno kovanje.

Prilikom simulacije procesa orbitalnog kovanja kardanskog krsta varirana su dva parametra: ugao nagiba gornjeg alata i dimenzije pripremka pripremka. Prikaz toka materijala tokom procesa, pri različitim veličinama hoda i stepenima deformacije, može se videti na sl.12



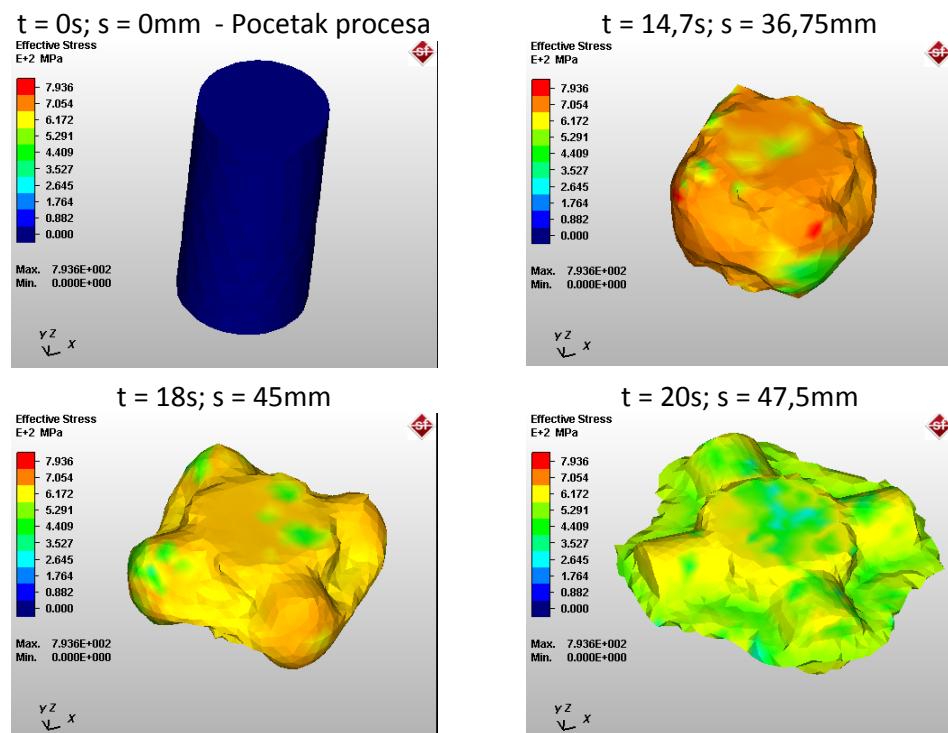
Slika 12 -Tok materijala tokom procesa orbitalnog kovanja

Na slikama 13, 14 i 15 prikazan je raspored efektivnih deformacija, efektivnih napona i kontaktnih pritisaka po zapremini uzorka. Rezultati ovog segmenta korišćeni su pri proračunu i konstruisanju alata. Sa slike 13 može se videti da su najveće efektivne deformacije na kraju procesa kovanja i to u vencu radnog komada (slika 13 dole desno).

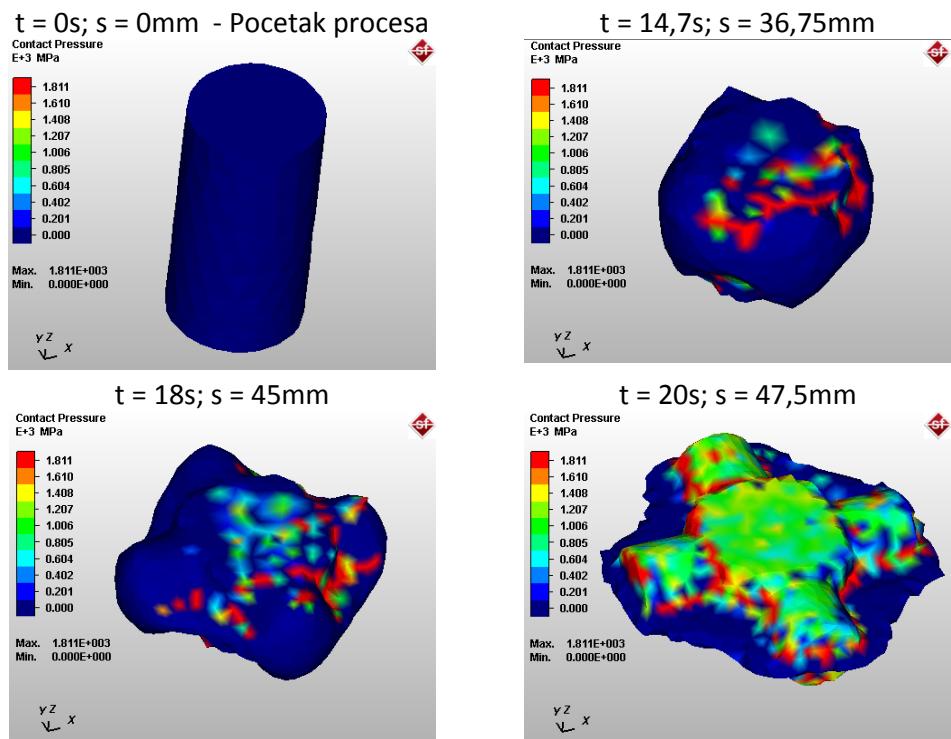


Slika 13 - Efektivne deformacije u radnom komadu pri različitim hodovima e

Za razliku od efektivnih deformacija, efektivni naponi nisu najveći na kraju procesa već pri hodu od h=36,75mm (vreme t=14,7s), pri čemu maksimalne vrednosti iznose oko 800MPa.

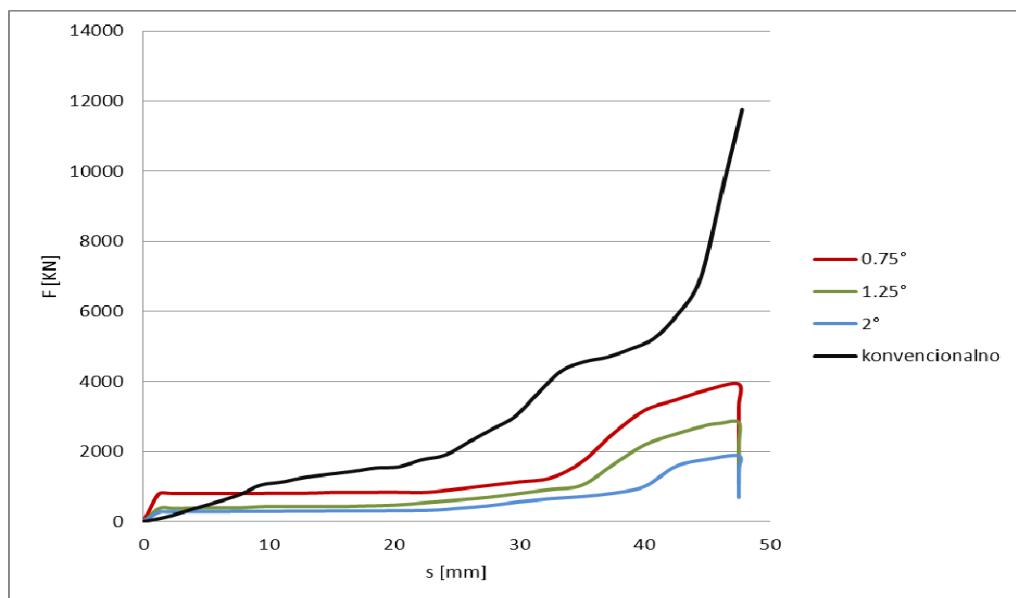


Slika 14 - Efektivni naponi u radnom komadu pri različitim hodovima



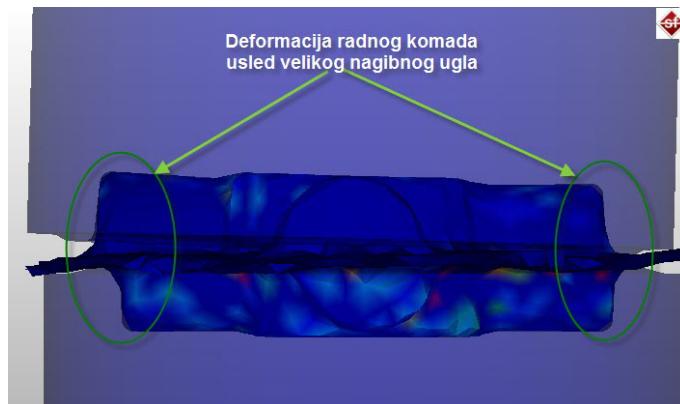
Slika 15 - Distribucija kontaktnih pritisaka pritisaka tokom procesa orbitalnog kovanja

Uticaj ugla nagiba gornjeg alata (u odnosu na vertikalnu osu mašine) na veličinu i tok deformacione sile može se videti na sl. 16. Pored toga, radi upoređenja, na istoj slici data je i sila za slučaj klasičnog kovanja kardanskog krsta. Analizirane vrednosti nagibnog ugla iznosile su: $0,75^\circ$, $1,25^\circ$, 2°



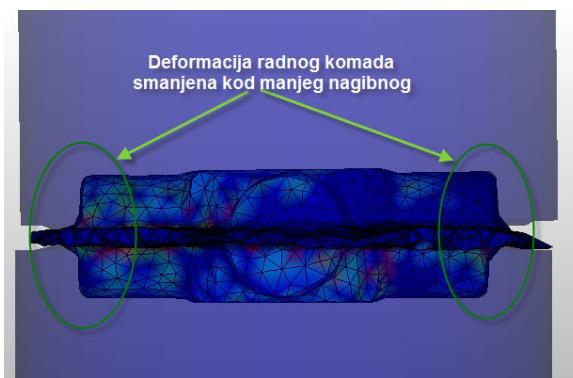
Slika 16 - Poređenje kriva sila – vreme kod konvencionalnog i orbitalnog kovanja za različite uglove nagibnog gornjeg alata

Sa slike 16 se uočava da deformaciona sila u slučaju orbitalnog kovanja kardanskog krsta svoj maksimum dostiže na 19,6 sekundi od početka procesa za sva tri ugla, odnosno u trenutku kada se završi kretanje gornjeg alata po vertikalnoj osi. U nastavku obrade (do 26-te sekunde) se vrši kalibriranje i sila opada. Dijagram sila pokazuje da je sa aspekta veličine sile optimalna varijanta tj. minimalna sila, za ugao nagiba od 2° . Međutim, u tom slučaju javlja se problem naknadne deformacije radnog komada u završnoj fazi kovanja zbog geometrijske kolizije između alata i radnog komada (slika 17.).



Slika 17 - Deformacije radnog komada usled velikog nagibnog ugla

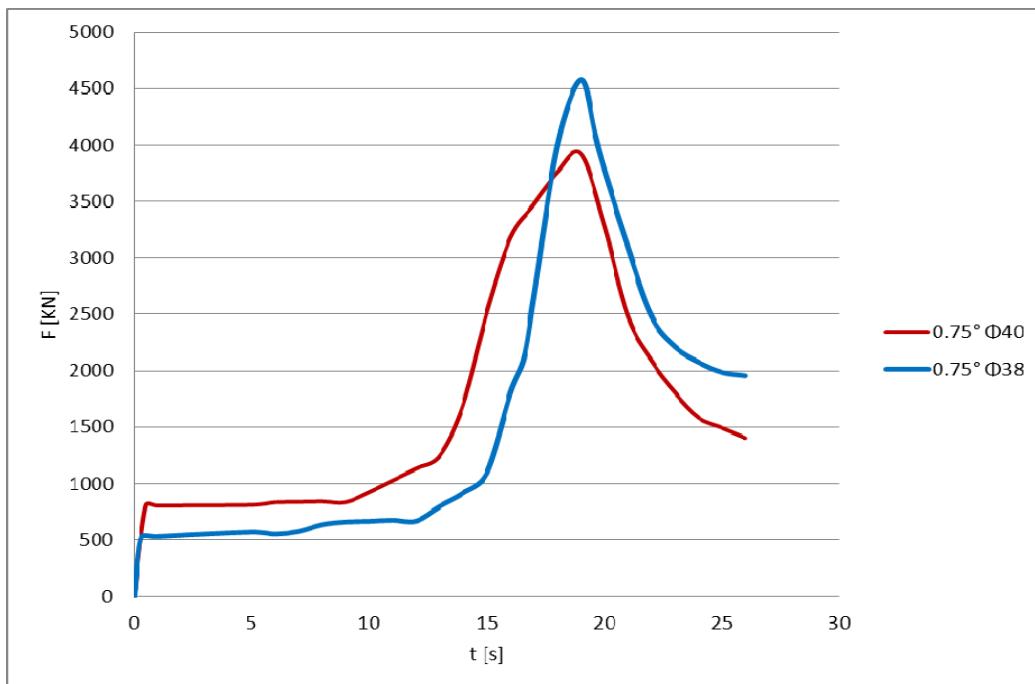
Kod manjih uglova ova deformacija/kolizija je manje izražena (slika 18.). Problem se može rešiti povećanjem kovačkih uglova i radijusa na obradku, međutim u tom slučaju je potrebna veća naknadna obrada, tj. dodaci za obradu su veliki. Takođe, pri većim uglovima opterećenje uležištenja mašine su veća, tj. horizontalne sile koje se javljaju u procesu su velike i utiču na tačnost gotovog dela. Iz tih razloga usvaja se ugao od $0,75^{\circ}$.



Slika 18 - Deformacija radnog komada smanjena kod manjeg nagibnog ugla

Sledeći parametar čiji uticaj je ispitivan je geometrija i dimenzije pripremka. U tom smislu variran je prečnik cilindričnog pripremka u dva nivoa. U prvom slučaju usvojen je maksimalni prečnik pripremka koji može nesmetano da se smesti u donji alat, odnosno dimenzije pripremka su iznosile $\varnothing 40 \times 75,5$ (standardna šipka). U drugoj varijanti pripremka je dobijan iz šipke prečnika $\varnothing 38$ (prvi manji standardni prečnik šipke) čija je visina 83,6mm.

Pri korišćenju pripremka manjeg polaznog prečnika ($\varnothing 38$) može se javiti problem izvijanja, jer prema preporukama maksimalni odnos visine i prečnika koji obezbeđuje proces obrade bez opasnosti od izvijanja iznosi 2 (u ovom slučaju 2,2). Takođe vreme obrade se produžava jer gornji alat prelazi veći put. Da bi se vremena izrade izjednačila potrebno je povećati brzinu kretanja donjeg stola s tim što tada dolazi do povećanja sile, jer je kontakt gornjeg alata i obratka veći nego kod sporijeg kretanja stola. (slika 19.). Vreme obrade je 26 sec, pri čemu se donji alat kreće 19,6 sekundi, dok zadnjih 6 sekundi donji alat miruje a gornji alat rotira i u tom vremenskom periodu se vrši kalibracija obratka.



Slika 19 - Sila orbitalnog kovanja u zavisnosti od geometrije pripremka

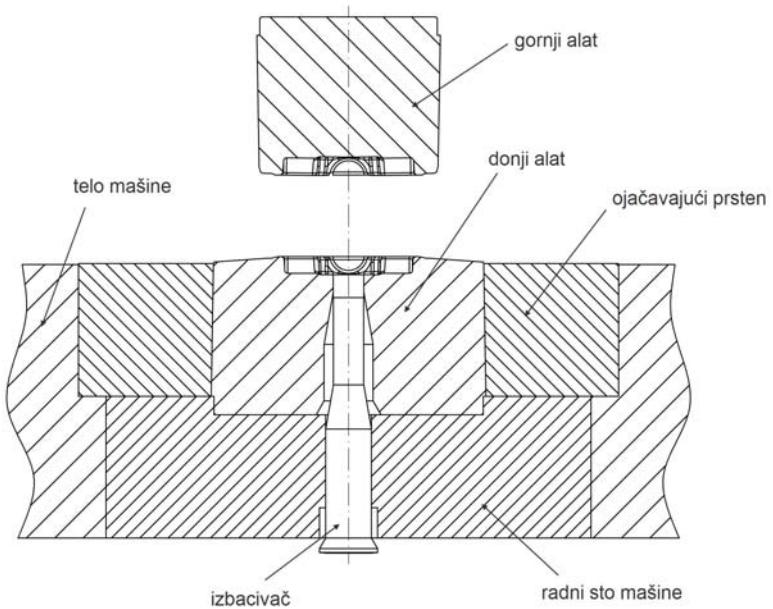
Na bazi izvršenih simulacija i sprovedene analize zaključeno je da je optimalna vrednost ugla nagiba gornjeg alata $0,75^\circ$, a veličina pripremka $\varnothing 40 \times 75,5$. Dalja analiza procesa, uključujući i konstrukciju alata, izvedena je za prema navedenim vrednostima ovih parametara.

3.3 Konstrukcija alata za orbitalno kovanje kardanskog krsta

Koncept alata usvojen je na bazi analize oblika i dimenzija radnog komada kao i na bazi simulacijom dobijenih relevantnih podataka o parametrima procesa. Alat se sastoji iz donjeg dela koji je nepokretan i gornjeg dela čija je osa postavljena pod uglom od $0,75$ u odnosu na vertikalnu osu. Tokom obrade donji alat miruje, a gornji alat vrši složeno kretanje po putanji prikazanoj na slici 10. Pomak se realizuje preko donjeg stola, dok gornji alat ne vrši vertikalno kretanje. Nakon završene obrade, donji sto sa donjim delom alata se vraća u početni (donji) položaj, a izbacivač izbacuje otkovak iz gravure.

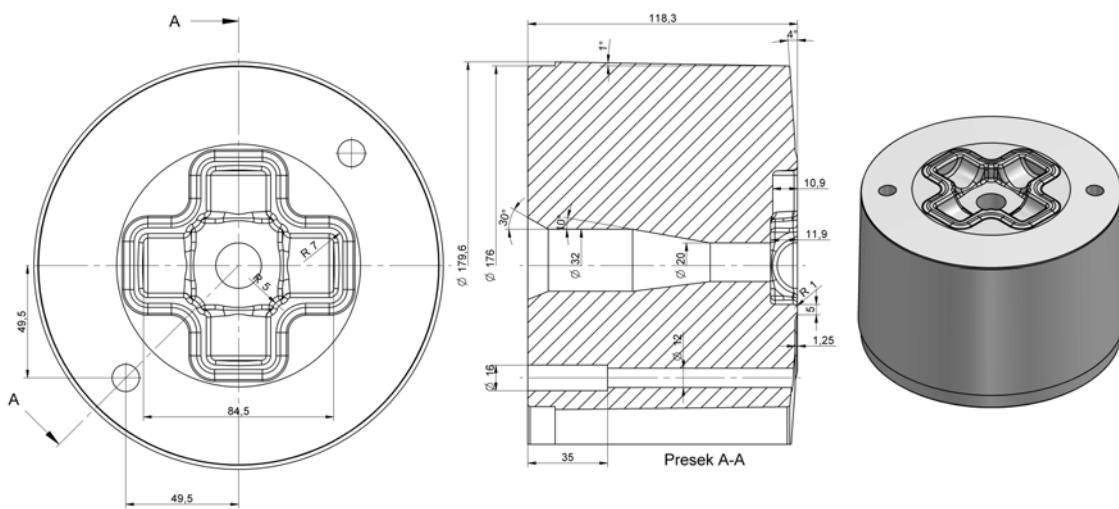
Izabrani materijal za alate je molibdenski i kobaltni brzorezni čelik Č7680 koje se odlikuje visokom otpornošću prema habanju i dobrom žilavošću. Nakon izrade alata vrši se poboljšanje alata na $58\div60$ HRc.

Usled pritisaka koji nastaju u procesu hladnog kovanja, u donjem alatu se javljaju visoke vrednosti tangencijalnih i radijalnih napona. Pojava ovih napona zahteva ojačanje (armiranje) donjeg alata, što se ostvaruje pomoću posebnih prstenova koji se navlače na spoljni omotač matrice. Broj prstenova zavisi od od kontaktnog pritiska na koji deluje u radijalnom pravcu. U konkretnom slučaju kovanja krtastog prenosnog elementa, maksimalni pritisci na kontaktnim površinama su oko 1700 MPa, pa je na osnovu toga usvojen jedan ojačavajući prsten. Dispozicija sklopa montiranog u mašinu prikazan je na slici 20.

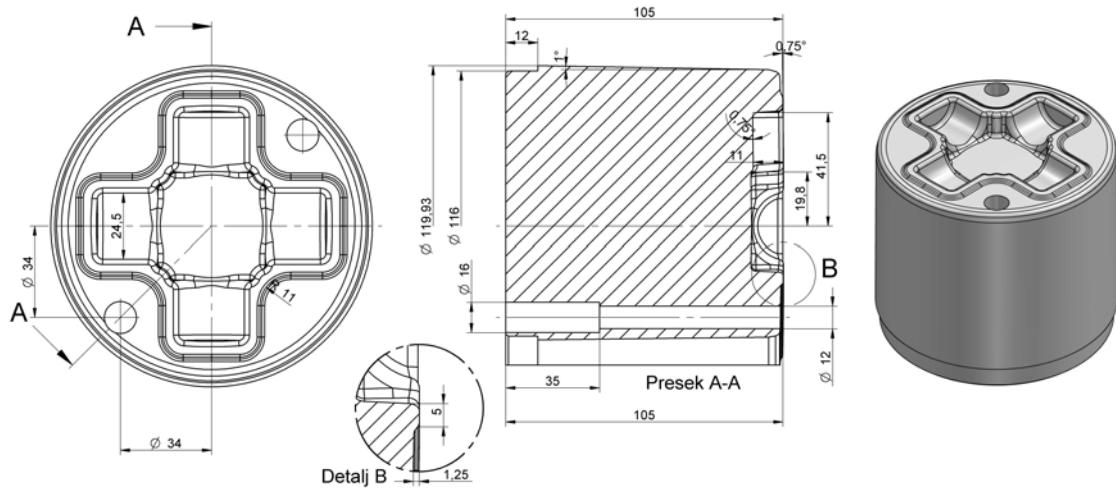


Slika 20 - Sklop alata za orbitalno kovanje

Na slikama 21 i 22 prikazana je geometrija i 3D modeli donjeg odnosno donjem alata sa osnovnim merama. Sa crteža 21 se vidi da je svaki presek gravure u gornjem alatu nagnut pod uglom od $0,75^{\circ}$, odnosno za veličinu nagiba gornjeg alata u odnosu na osu maštine.

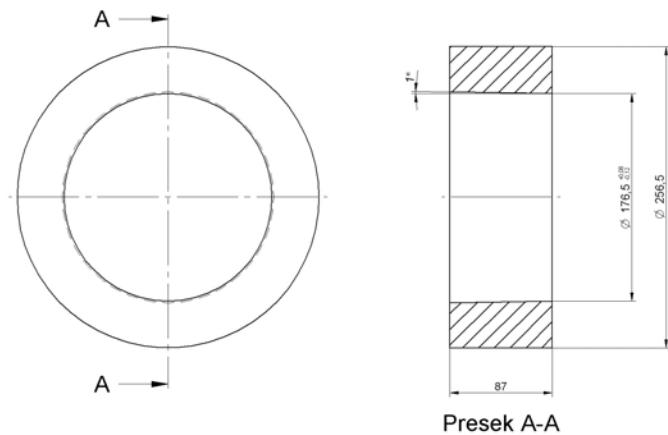


Slika 21 - Geometrija donjem alata



Slika 22 - Geometrija gornjeg alata

Prema relevantnim praktičnim preporukama ojačavajući prstenovi projektovani su sa preklopom u odnosu na matricu od oko 0,1mm. Sam proces montaže ojačavajućih prstenova na alata vrši se zagrevanjem prstena na $400\text{--}500^{\circ}\text{C}$. Radi lakše montaže prstenova, spoljne površine matrice, odnosno unutrašnje prstena, izvodene su pod uglom od 1° . Određivanje spoljašnje dimenzije ojačavajućeg prstena vršeno je na osnovu preporuke iz literature, a prema formuli $D_2 = (2 \div 2,5)D_1$, gde je D_1 – prečnik donjeg alata, a D_2 – spoljašnji prečnik ojačavajućeg prstena. Crtež ojačavajućeg prstena sa osnovnim dimenzijama dat je na slici 23.



Slika 23 - Ojačavajući prsten

4. KOMPARACIJA KARAKTERISTIKA OTKOVAKA KARDANSKOG KRSTA DOBIJENIH STARIM (TOPLO KOVANJE) I NOVIM (HLADNO ORBITALNO KOVANJE) POSTUPKOM

Na slici 24 može se videti pripremak, odnosno otkovak kardanskog krsta pre i nakon operacije opsecanja venga, dobijen postupkom hladnog orbitalnog kovanja prema gore opisanoj proceduri. Postupak kovanja uspešno je realizovan u fabriči Zastava Kovačnica u Kragujevcu na presi za orbitalno kovanje dvostrukog dejstva Schmid T-200 švajcarskog proizvođača Heinrich Schmid Machines, Tools and Dies Ltd. Pored toga na slici 25 dat je paralelni prikaz otovka kardanskog krsta izrađenog hladnim orbitalnim (sl.25 - levo) i toplim kovanjem u otvorenom kalupu (sl.25 - desno)



Slika 24 – Otkovak kardanskog krsta po fazama izrade dobijen hladnim orbitalnim kovanjem

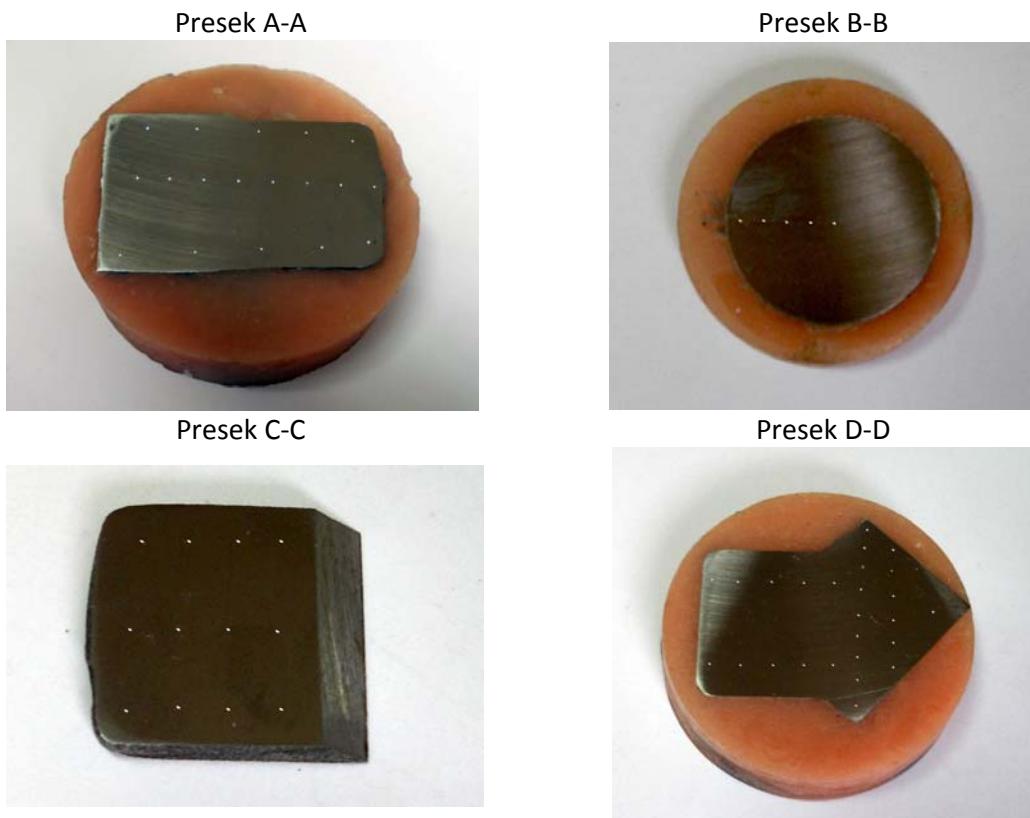


Slika 25 – Izgled otkovaka kardanskog krsta dobijenih orbitalnim kovanjem (levo) i toplim kovanjem (desno)

Sa slike 25 jasno se uočava razlika u kvalitetu površina jednog i drugog otkovka. Kod klasičnog toplog kovanja kvalitet površina je reda IT11-IT13, dok se kod hladnog orbitalnog kovanja kreće u granicama IT8-IT9.

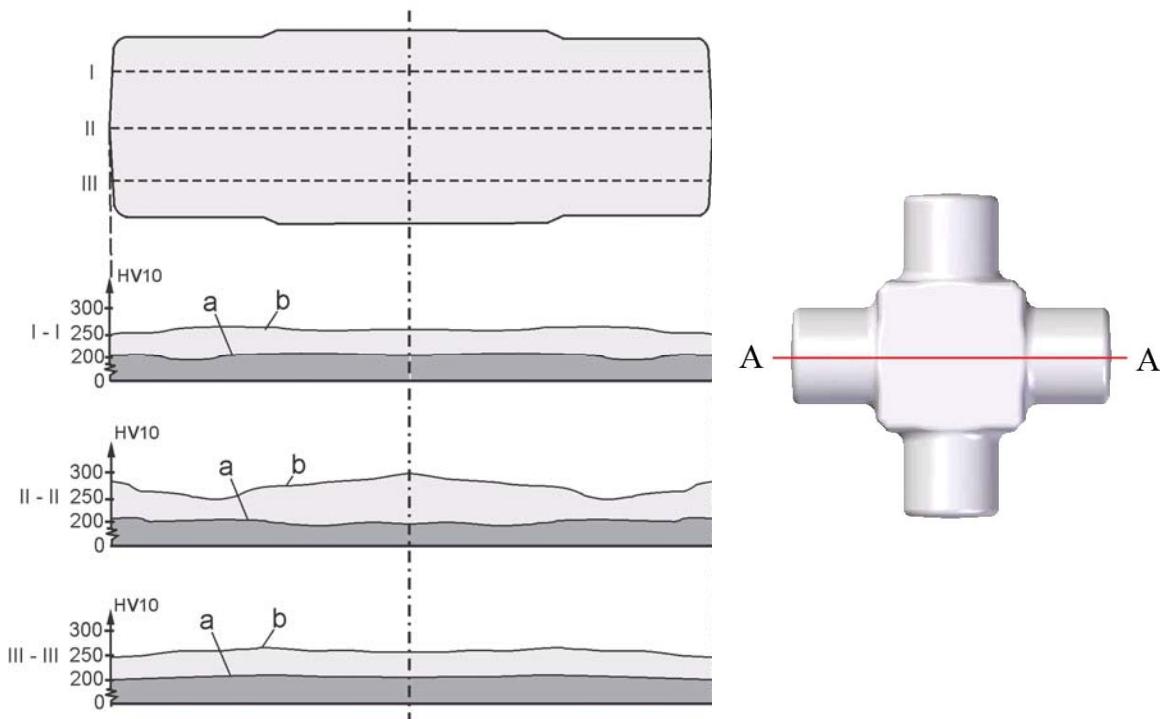
Po pitanju tačnosti dimenzija takođe je uočljiva razlika među otkovcima. Kod okovka dobijenog hladnim orbitalnim kovanje potrebno je samo dodatno brušenje funkcionalnih površina i na osnovu te karakteristike on se može svrstati u kategoriju tzv. Near Net Shape (NNS) delova. Sa druge strane otkovak dobijen toplim kovanjem zahteva dopunske operacije struganja i brušenja.

U okviru provere validnosti predloženog postupka izvršena je provera i poređenje tvrdoča kod oba otkovka. Tvrdoča je merena u duž četiri različita preseka (slika 26).



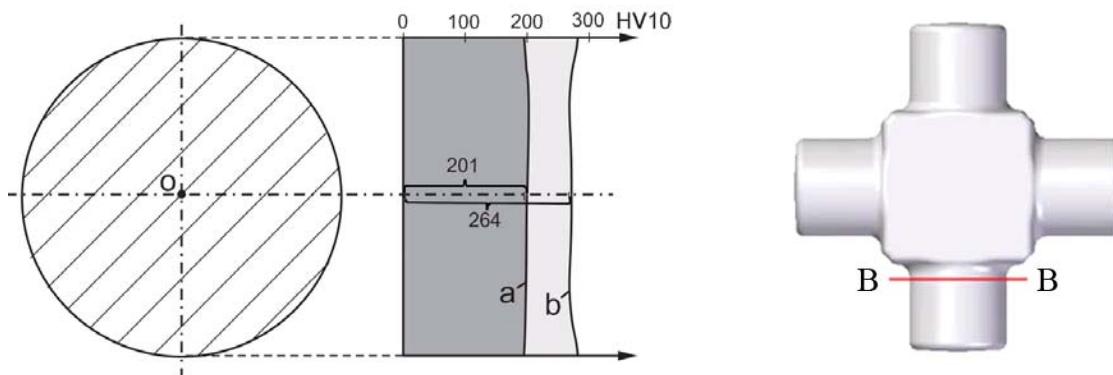
Slika 26 – Različiti preseci otkovka duž kojih je merena tvrdoča

Pregled vrednosti izmerenih tvrdoča po različitim presecima kod oba otkovka može se videti na slikama 27-30. Rezultati merenja pokazuju da je tvrdoča obratka dobijenog orbitalnim kovanjem veća po svim presecima u odnosu na toplo kovani deo. Razlike u tvrdočama iznose i do 50%, što jasno ukazuje da postupak orbitalnog kovanja osim tehno-ekonomskih prednosti ima preim秉stvo i kad su u pitanju mehaničke karakteristike otkovka.



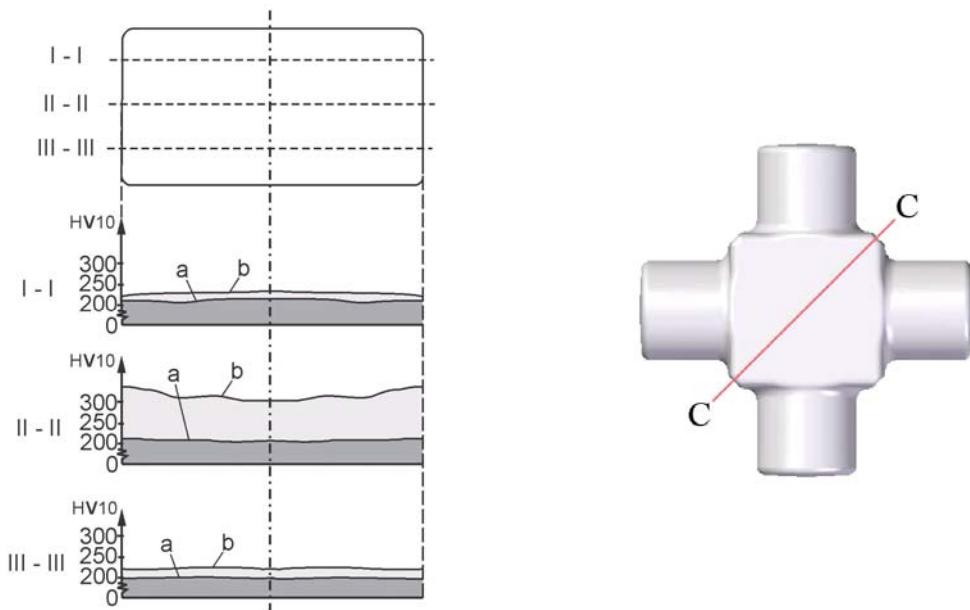
a – komad izrađen toplim kovanjem, b – komad izrađen orbitalnim kovanjem

Slika 27 – Raspored tvrdoće materijala po vertikalnom preseku A-A



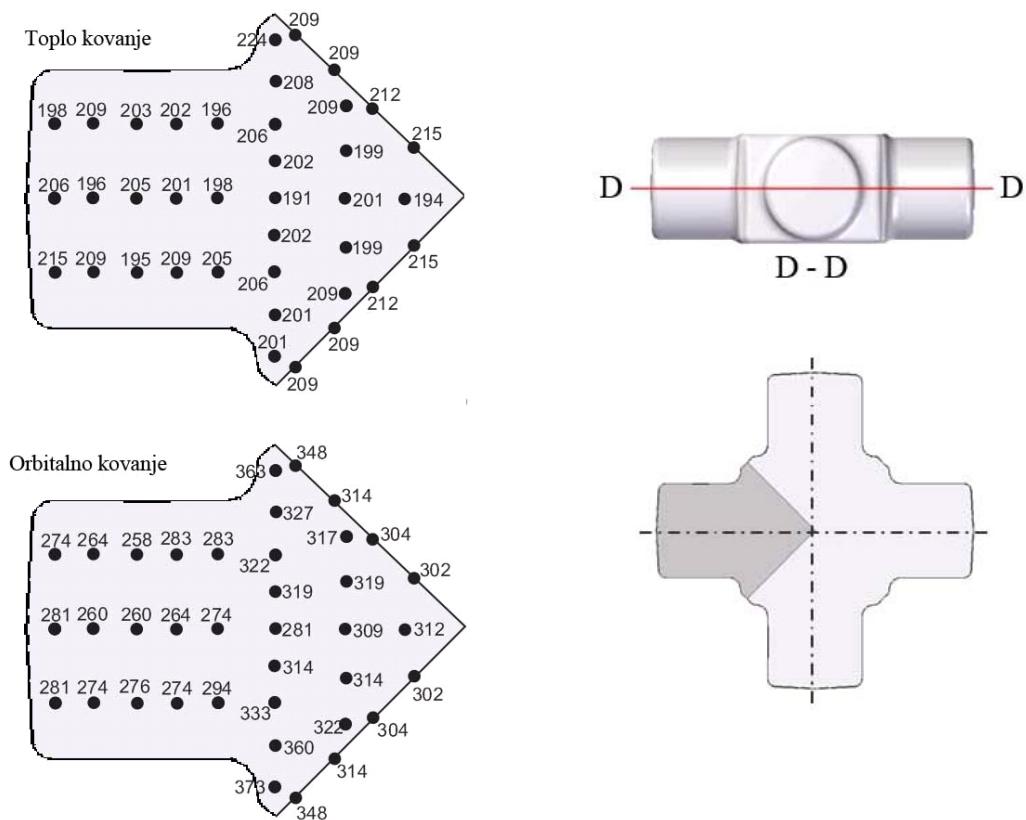
a – komad izrađen toplim kovanjem, b – komad izrađen orbitalnim kovanjem

Slika 28 - Raspored tvrdoće materijala po vertikalnom kružnom preseku B-B



a – komad izrađen toplim kovanjem, b – komad izrađen orbitalnim kovanjem

Slika 29 – Raspored tvrdoće materijala po vertikalnom preseku C-C



Slika 30 - Raspored tvrdoće materijala po horizontalnom preseku D-D

5. PRIMENLJIVOST PREDLOŽENOG REŠENJA

Opis: Novi postupak kovanja kardanskog krsta baziran je na tehnologiji hladnog orbitalnog kovanja. Predloženi postupak praktično je primjenjen i izведен u fabrici Zastava Kovačnica – Kragujevac. Ovaj rezultat projekta realizovan je kao tehničko razvojno rešenje (novi tehnološki postupak). Razvijeni postupak objedinjuje sve napredne pretpostavke vezane za uspešnu realizaciju tehnologije orbitalnog kovanja, uključujući pripremu obratka, izbor materijala, projektovanje u CAD-CAE okruženju itd., dovodi do podizanja kvaliteta proizvoda i smanjenja troškova proizvodnje.

Tehničke karakteristike: Za realizaciju ovog rešenja neophodno je posedovati odgovarajuću opremu, pre svega odgovarajuću presu za orbitalno kovanje i liniju za pripremu (fosfatiranje i termičku obradu) obradaka. U cilju optimizacije parametara procesa orbitalnog kovanja bitna je primena softvera za kreiranje 3D modela i numeričku simulaciju procesa orbitalnog kovanja. U ovom slučaju korišćeni su Solid Edge v18 i Simufact.Forming 10.0. Takođe, u realizaciji rešenja moraju učestvovati eksperti koji poznaju tehnologiju orbitalnog kovanja.

Efikasnost primene : Postupak izrade baziran na tehnologiji hladnog orbitalnog kovanja omogućava dobijanje delova povećane tačnosti i kvaliteta, kao i mehaničkih karakteristika u odnosu na klasičnu tehnologiju toplog kovanja u otvorenom kalupu. Takođe primenom ove tehnologije smanjuje se utrošak materijala (manji kovački nagibi, dodaci za obradu) i energije, troškovi naknadne mašinske obrade, skraćuje ukupno vreme izrade, itd., što sve zajedno pozitivno utiče na tehnno-ekonomске pokazatelje proizvodnje i konkurentnost proizvoda. Cena kompleta alata (gornji i donji alat) za orbitalno kovanje niža je od cene gravura za toplo kovanje, a samo vreme izrade mnogo kraće. Pored toga radni vek alata za orbitalno kovanje višestruko je duži od radnog veka alata za toplo kovanje.

Ovom tehnologijom mogu se izrađivati delovi različite geometrije i stepena složenosti. Budući da se radi o veoma fleksibilnoj tehnologiji, orbitalno kovanje može se podjednako uspešno primenjivati kako za malo-serijsku proizvodnju, tako i za visoko-serijsku. Supstitucija toplog kovanja tehnologijom hladnog orbitalnog kovanja donosi značajne benefite i na polju ekologije tj. zaštite čovekove okoline, jer se smanjuje emisija štetnih gasova u atmosferu zbog izostanka zagrevana delova i razvoja štetnih gasova tokom procesa kovanja i sagorevanja materijala, smanjuje se količina otpadnog materija i cundera, zatim buka i vibracije.

Usklađenost sa ciljevima projekta: Osnovni cilj projekta je razvoj i primena inovativnih ekoloških tehnologija obrade metala. Prikazano tehničko rešenje upravo demonstrira taj savremeni koncept i predstavlja rezultat predviđen Fazom: (navesti ime faze).

6. LITERATURA:

- [1] J. Schondelmaier, Grundlagenuntersuchung über das Taumelpressen, Springer Verlag 1992
- [2] E. Mössle, Kaltmassivumformung durch Taumelpressen, Industrie-Anzeiger 101 (1979) 8, pp 66-69
- [3] ASM Handbook Volume 14 Forming and Forging, pp 384-392

- [4] R. Shivpuri, Past developments and future trends in rotary and orbital forging technology, NSF Engineering Research Center for Net Shape Manufacturing, The Ohio State University, March 1987 Report nr ERC/NSM
- [5] H. Schmid, Taumel-Kaltumform-Presse T630, Firmenschrift Heinrich Schmid Maschinen- und Werkzeugbau AG, Schweiz
- [6] H. Schmid, Taumel -Kaltumform-Presse T200, Firmenschrift Heinrich Schmid Maschinen- und Werkzeugbau AG, Schweiz
- [7] P.C. Chou, R. Shivpuri, The design and construction of a precision rotary forging machine, 3rd International conference on rotary metalworking processes, IFS London 1984, pp 47-59
- [8] P.C. Chou, R. Shivpuri, A high precision rotary forging machine, Proceedings of 11th Conference on Prod. Res. and Techn., Carnegie Mellon University, Pittsburg, USA, 1984, pp 113-124
- [9] T. Balawender, F. Stachowicz, Tangential forces in rotary forging process, Manufacturing engineering, Issue 3, year VII, 2008., pp 5-7
- [10] Vujović V. : Tehnologija plastičnosti u mašinstvu, I Deo, Novi Sad 1990. god.
- [11] Lange K.: Handbook of Metal Forming, McGraw-Hill, Inc., ISBN 0-07-036285-8, 1985.
- [12] Eckart D., Behrens B. A.: Handbuch der Umformtechnik, ISBN-10 3-540-23441, Springer-Verlag Berlin- Heidelberg, 2007.
- [13] Simufact Forming 10.0 Help Library, Simufact Engineering GmbH, (c) 2010.



Наш број: _____

Ваш број: _____

Датум: 2012-10-09

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, на 41. редовној седници одржаној дана 26.09.2012. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

Тачка 11. Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње

У циљу доношења одлуке о прихвату *техничког решења –под називом:*

РАЗВОЈ ТЕХНОЛОГИЈЕ ОРБИТАЛНОГ КОВАЊА КАРДАНСКОГ МОСТА

Аутори техничког решења: проф. др Мирослав Планчак, проф. др Драгиша Вилотић, проф. др Милентије Стефановић, проф. др Карл Кузман, мр Плавка Скајун, мр Младомир Милутиновић, дипл. инж. Моврин Дејан.

именују се рецензенти:

1. Проф. др Весна Мандић, Факултет инжењерских наука, Крагујевац (*уно: производно машинство и индустријски инжењеринг*)
2. Проф. др Дамир Какаш, Факултет техничких наука у Новом Саду (*уно: инжењерство површина, микро и нанотехнологије, технологије термичке обраде и технологија ливења*)
3. Проф. др Велибор Маринковић, Машински факултет, Ниш (*уно: производно машинство*)

Техничко решење је развијено у оквиру пројекта EUREKA! 5005

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Ђорђевић, дипл. правник

Тачност података оверава:

Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник



Проф. др Раде Дорословачки

**Naučno-nastavnom veću Departmana za proizvodno mašinstvo i
Naučno-nastavnom veću Fakulteta tehničkih nauka Novi Sad**

Predmet: Recenzija tehničkog rešenja kategorije M84 (nov način upotrebe postojećeg proizvoda – bitno poboljšani postojeći proizvod i tehnologija).

Naziv: RAZVOJ TEHNOLOGIJE ORBITALNOG KOVANJA KARDANSKOG KRSTA

Projekat iz koga proizilazi tehničko rešenje: *EUREKA projekat E!5005: „Inovativne ekološke tehnologije obrade metala“* sufinansiranog od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije za period 2009 – 2012.

Nosilac realizacije projekta: Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Novi Sad.

Rukovodilac projekta: Prof. dr Miroslav Plančak

Autori:

Prof. dr Miroslav Plančak
Prof. dr Dragiša Vilotić
Prof. dr Milentije Stefanović
Prof. dr Karl Kuzman
mr Plavka Skakun
mr Mladomir Milutinović
Dejan Movrin mast. inž..

Mišljenje recenzenta

Tehničko rešenje pod nazivom:

RAZVOJ TEHNOLOGIJE ORBITALNOG KOVANJA KARDANSKOG KRSTA

urađeno je u skladu sa zahtevima koji su definisani u Pravilniku o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučno istraživačkih rezultata – „Službeni Glasnik RS“ 38/2008. Rešenje je prikazano na 25 strana A4 formata, sadrži 30 slika i 13 literaturnih referenci.

Sadržaj rešenja prikazan je kroz sledeće celine:

1. OSNOVE I CILJ PREDLOŽENOG REŠENJA
2. POSTOJEĆE TEHNOLOGIJE KOVANJA KARDANSKOG KRSTA
3. PRIKAZ PREDLOŽENOG REŠENJA
 - 3.1 Priprema obratka
 - 3.2 Modelovanje i simulacija tehnološkog postupka orbitalnog kovanja kardanskog krsta
 - 3.3 Konstrukcija alata za orbitalno kovanje kardanskog krsta
4. KOMPARACIJA KARAKTERISTIKA OTKOVAKA KARDANSKOG KRSTA DOBIJENIH STARIM (TOPLO KOVANJE) I NOVIM (HLADNO ORBITALNO KOVANJE) POSTUPKOM
5. PRIMENLJIVOST PREDLOŽENOG REŠENJA
6. LITERATURA

U prvom delu opisa rešenja (**Osnove i cilj predloženog rešenja**) ukazano je posledice globalizacije tržišta i povećane zahteve ka usavršavanju i razvoju novih, sa tehnokonomskog aspekta efikasnijih postupaka i tehnologija. U tom smislu naglašeno je da tehnologije inkrementalnog deformisanja u koje spada i postupak orbitalnog kovanja pružaju značajne mogućnosti. Nakon prikaza osnovnih karakteristika, mogućnosti i ograničenja u primeni tehnologije orbitalnog kovanja jasno je naveden cilj predloženog tehničkog rešenja, a to je uvođenje novog tehnološkog postupka izrade kardanskog vratila kod participanta, baziranog na tehnologiji hladnog orbitalnog kovanja.

U drugom delu (**Prikaz postojeće tehnologije kovanja kardanskog krsta**) istaknuto je da oblika i složena konfiguracije dela (kardanskog krsta) nisu povoljni sa aspekta tehnologije toplog kovanja u otvorenom kalupu, te da je zbog toga u proizvodnji ovog dela povećan škart. Takođe kvalitet površina i tačnost mera su niski pa je neophodno primeniti dodatnu mehaničku obradu što znatno opterećuje cenu proizvoda.

Poglavlje **Prikaz predloženog rešenja** detaljno opisuje predloženi postupak hladnog orbitalnog kovanja kardanskog krsta. Ovaj deo sastoji se iz tri celine. Prvo se daju smernice u vezi pripreme obratka za proces orbitalnog kovanja, sa naglaskom na potrebu nanošenja specijalnog sloja na obradak, tzv. nosača mazivnog sredstva (najčešće su to cink-fosfati i feroooksalati), radi poboljšanja uslova podmazivanja. Projektovanje tehnološkog postupka orbitalnog kovanja kardanskog krsta sprovedeno je pomoću odgovarajućih CAD/CAE softverskih paketa (*Solid.Edge.v.18* i *Simufact Forming 10.0*). U okviru numeričkih simulacija varirani su osnovni parametri procesa orbitalnog kovanja (ugao nagiba alata i

dimenzijske pripremke) i razmatran njihov uticaj na veličinu deformacione sile, kvalitet dela i vreme izrade. U sledećoj fazi, na bazi rezultata simulacije konstruisani su odgovarajući alati.

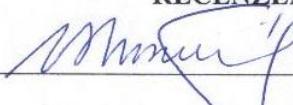
U poglavlju **Komparacija karakteristika otkovaka kardanskog krsta dobijenih starim (toplo kovanje) i novim (hladno orbitalno kovanje) postupkom** pokazano je da između otkovaka dobijenih toplim i hladnim orbitalnim kovanjem postoje bitne razlike u pogledu kvaliteta površina, tačnosti izrade i tvrdoće. Bolji kvalitet površina, manja odstupanja dimenzija i veća tvrdoća u svim posmatranim preseцима (4 analizirana preseka) konstatovana je kod hladno oblikovanih otkovaka.

Kroz poglavlje **Primenljivost predloženog rešenja** dat je sažeti opis predloženog tehničkog rešenja, karakteristike, navedeni benefiti njegove primene i konstatovana puna usklađenost rešenja sa ciljevima projekta.

Tehničko rešenje pod nazivom: „**RAZVOJ TEHNOLOGIJE ORBITALNOG KOVANJA KARDANSKOG KRSTA**“ predstavlja unapređeni i bitno poboljšani postupak izrade kardanskog krsta. Zato sa zadovoljstvom predlažem Naučno-nastavnom veću Departmana za proizvodno mašinstvo i Naučno-nastavnom veću Fakulteta tehničkih nauka Novi Sad da isto prihvati.

U Nišu,
18.10.2012.godine

RECENZENT:


Dr Velibor Marinković,
redovni profesor Mašinskog fakulteta u Nišu

Naučno-nastavnom veću Departmana za proizvodno mašinstvo i Naučno-nastavnom veću Fakulteta tehničkih nauka Novi Sad

Predmet: Recenzija tehničkog rešenja kategorije M84 (nov način upotrebe postojećeg proizvoda – bitno poboljšani postojeći proizvod i tehnologija).

Naziv: RAZVOJ TEHNOLOGIJE ORBITALNOG KOVANJA KARDANSKOG KRSTA

Projekat iz koga proizilazi tehničko rešenje: EUREKA projekta: „*Inovativne ekološke tehnologije obrade metala E!5005*“ sufinansiranog od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije za period 2009 – 2012.

Nosilac realizacije projekta: Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Novi Sad.

Rukovodilac projekta: Prof. dr Miroslav Plančak

Autori:

Prof. dr Miroslav Plančak

Prof. dr Dragiša Vilotić

Prof. dr Milentije Stefanović

Prof. dr Karl Kuzman

Mr Plavka Skakun

Mr Mladomir Milutinović

Dejan Movrin mast. inž..

Mišljenje recenzenta

Tehničko rešenje:

RAZVOJ TEHNOLOGIJE ORBITALNOG KOVANJA KARDANSKOG KRSTA

urađeno je u skladu sa zahtevima koji su definisani u Pravilniku o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučno istraživačkih rezultata – „Službeni Glasnik RS“ 38/2008. Rešenje sadrži 25 strana sa 30 slika.

U okviru prvog poglavlja (**Osnove i cilj predloženog rešenja**) ukazano je na nove trendove i paradigme vezane za proizvodnju metalnih delova kao i samu tehnologiju plastičnog deformisanja. Nakon toga definisan je cilj tehničkog rešenja, a to je unapređenje odnosno razvijanje novog tehnološkog postupka izrade kardanskog krsta, elementa koji predstavlja važan segment u transmisionom sistemu vozila. Nov tehnološki postupak baziran je na tehnologiji hladnog orbitalnog kovanja koja spada u grupu metoda baziranih na inkrementalnom deformisanju.

Drugo poglavlje (**Prikaz postojeće tehnologije kovanja pneumatske stezaljke**) sadrži detalje vezane za probleme koji se javljaju pri izradi kardanskog krsta klasičnom tehnologijom toplog kovanja u otvorenom kalupu. Analiza otkovka ukazala je da se radi o kompleksnom proizvodu kod koga u postojećoj varijanti kovanja često dolazi do grešaka i pojave škarta u proizvodnji. Takođe kvalitet površina i tačnost dimenzija predmetnog otkovka je niska što zahteva dodatnu obradu.

Prikaz predloženog rešenja je sledeće, trče poglavlje. U njemu je detaljno opisan nov tehnološki postupak izrade kardanskog krsta. Posebna pažnja posvećena je pripremi obratka,

modelovanju delova i alata, kao i analizi i optimizaciji parametara merodavnih za proces orbitalnog kovanja. Primenjena metodologija projektovanja procesa orbitalnog kovanja bila je bazirana na CAD/CAE konceptu što je podrazumevalo formiranje odgovarajućih virtuelnih 3D modela. Numeričke simulacije su pokazale da ugao nagiba gornjeg alata u odnosu vertikalnu osu mašine ima dominantan uticaj na veličinu deformacione sile u procesu orbitalnog kovanja. Konstatovano je da sa aspekta veličine sile (minimalna sila) ovaj ugao treba da bude što veći. Međutim, u tom slučaju javlja se problem naknadne deformacije radnog komada u završnoj fazi kovanja zbog geometrijske kolizije alata i radnog komada. Problem se u osnovi može rešiti povećanjem kovačkih nagiba i radiusa na obradku, ali to dovodi do povećanja dodataka za obradu i naknadne mehaničke obrade. Takođe, pri većim uglovima uležištenja mašine su više opterećena, a tačnost delova zbog dejstava horizontalnih sile manja. Sledeći parametar čiji je uticaj analiziran jeste geometrija pripremka. U tom smislu variran je prečnik cilindričnog pripremka u dva nivoa. Utvrđeno je da se u slučaju pripremka manjeg polaznog prečnika a veće visine može javiti problem izvijanja, kao i da se vreme izrade produžava.

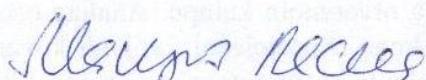
Poređenje postojeće i nove tehnologije dato je u okviru poglavlja **Komparacija karakteristika otkovaka kardanskog krsta dobijenih starim (toplo kovanje) i novim (hladno orbitalno kovanje) postupkom**. Karakteristike otkovaka dobijenih toplim i hladnim orbitalnim kovanjem analizirane su sa tri aspekta: kvalitet površina, tačnost mera i tvrdoća. Na dobijenim otkovcima vizuelno se jasno uočava razlika u kvalitetu površina koja u slučaju toplog kovanja odgovara visini tolerancijskog polja IT11-IT13, dok se kod hladnog orbitalnog kovanja kreće u granicama IT8-IT9. I po pitanju tačnosti dimenzija takođe je primetna razlika među otkovcima. Kod okovka dobijenog hladnim orbitalnim kovanje potrebno je samo dodatno brušenje funkcionalnih površina (tkz. Near Net Shape tehnologija). Sa druge strane otkovak dobijen toplim kovanjem zahteva dopunske operacije struganja i brušenja. Tvrdoća delova merena je duž četiri različita preseka obratka, a rezultati govore da je u svim presecima tvrdoća obratka dobijenog orbitalnim kovanjem veća (i do 50%) u odnosu na klasični otkovak.

Poslednje poglavlje ovog tehničkog rešenja je **Primenljivost predloženog rešenja**, u kome je dat sažet prikaz, tehnički preduslovi i sumirani rezultati vezani za implementaciju novog tehnološkog postupka kovanja kardanskog postupkom orbitalnog kovanja. Pored navođenja niza tehničko-ekonomskih prednosti novog postupka, posebno je ukazano na ekološki aspekt supstitucije toplog kovanja hladnim orbitalnim kovanjem.

Imajući u vidu činjenicu da se primenom ovog Tehničkog rešenja postiže značajno poboljšanje postupka izrade kardanskog krsta preporučujem Naučno-nastavnom veću Departmana za proizvodno mašinstvo i Naučno-nastavnom veću Fakulteta tehničkih nauka Novi Sad da ga prihvati.

RECENTZENT:

Dr Vesna Mandić
vanredni profesor Fakulteta inženjerskih nauka, Kragujevac



15.10.2012

Naučno-nastavnom veću Departmana za proizvodno mašinstvo i Naučno-nastavnom veću Fakulteta tehničkih nauka Novi Sad

Predmet: Recenzija tehničkog rešenja kategorije M84 (nov način upotrebe postojećeg proizvoda – bitno poboljšani postojeći proizvod i tehnologija).

Naziv: RAZVOJ TEHNOLOGIJE ORBITALNOG KOVANJA KARDANSKOG KRSTA

Projekat iz koga proizilazi tehničko rešenje: EUREKA projekta: „*Inovativne ekološke tehnologije obrade metala E!5005*“ sufinansiranog od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije za period 2009 – 2012.

Nosilac realizacije projekta: Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Novi Sad.

Rukovodilac projekta: Prof. dr Miroslav Plančak

Autori:

Prof. dr Miroslav Plančak

Prof. dr Dragiša Vilotić

Prof. dr Milentije Stefanović

Prof. dr Karl Kuzman

Mr Plavka Skakun

Mr Mladomir Milutinović

Dejan Movrin mast. inž..

Mišljenje recenzenta

Tehničko rešenje:

RAZVOJ TEHNOLOGIJE ORBITALNOG KOVANJA KARDANSKOG KRSTA

urađeno je u skladu sa zahtevima koji su definisani u Pravilniku o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučno istraživačkih rezultata – „Službeni Glasnik RS“ 38/2008. Rešenje sadrži 25 strana sa 30 slika.

U prvom delu rada (**Osnove i cilj predloženog rešenja**) ukazano je da je cilj predloženog tehničkog rešenja supstitucija klasične tehnologije toplog kovanja kardanskog krsta tehnologijom hladnog orbitalnog kovanja radi povećanja kvaliteta i tačnosti, smanjenja škarta u proizvodnji i smanjenja ukupnih troškova izrade predmetnog proizvoda, odnosno unapređenja ekoloških aspekata proizvodnje.

U drugom delu rada (**Prikaz postojeće tehnologije kovanja kardanskog krsta**) autori navode glavne probleme, ograničenja i nedostatke postojeće tehnologije (toplo kovanje) izrade kardanskog krsta.

U poglavljiju **Prikaz predloženog rešenja** detaljno je opisano nov tehnološki postupak izrade kardanskog krsta baziran na metodi hladnog orbitalnog kovanja. Poglavlje je podeljeno u tri celine. Na početku se definišu detalji vezani za izradu i tretman pripremka (određivanje oblika i dimenzija, način izrade, termička obrada, priprema površina i podmazivanje) s obzirom na specifične zahteve tehnologije hladnog orbitalnog kovanja. U sledećem koraku izvršeno je projektovanje tehnološkog postupka orbitalnog kovanja kardanskog krsta, a primenjena metodologija zasnivala se na CAD/CAE aplikacijama i integrativnom principu. Za

modeliranje i simulaciju procesa orbitalnog kovanja kardanskog krsta korišćeni su softverski paketi *Solid.Edge.v.18* (CAD) i *Simufact Forming 10.0* (CAE). Za potrebe numeričkih simulacija razvijeni su odgovarajući 3D modeli bazirani na metodi konačnih elemenata. Ovakav pristup u projektovanju tehnologije orbitalnog kovanja omogućio je vizuelizaciju procesa kovanja, ispitivanje funkcionalnih i eksploracionih karakteristika otkivaka pre same proizvodnje, procenu uticaja parametara (dimenzije pripremka, ugao nagiba gornjeg alata) na proces kovanja i njihovu optimizaciju, automatsko projektovanje gravura alata itd. Nakon razrade i izvršene optimizacije procesa orbitalnog kovanja pristupilo se kreiranju alata i definisanju parametara (materijal, mehaničkih karakteristike tvrdoća itd) neophodnih za njihovu izradu.

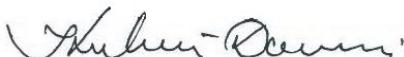
U poglavlju **Komparacija karakteristika otkovaka kardanskog krsta dobijenih starim (toplo kovanje) i novim (hladno orbitalno kovanje) postupkom** analizirane su karakteristike otkovaka (stari i novi postupak) i to u tri kategorije: kvalitet površina, tačnost mera i tvrdoća. Rezultati istraživanja pokazuju da otkovak dobijen hladnim orbitalnim kovanjem u sve tri kategorije ima prednost (bolje karakteristike) u odnosu na toplokovani obradak.

U poglavlju **Primenljivost predloženog rešenja** ukazano je da razvijeni postupak objedinjuje sve napredne pretpostavke vezane za uspešnu realizaciju tehnologije orbitalnog kovanja, uključujući pripremu obratka, izbor materijala, projektovanje u CAD-CAE okruženju itd., i da njegova primena obezbeđuje značajne tehno-ekonomski efekti. Pored toga navedeno je da se tehnologija orbitalnog kovanja može podjednako uspešno primeniti kako za malo-serijsku tako i za visoko-serijsku proizvodnju, a da supstitucija toplog kovanja tehnologijom hladnog kovanja ima značajne benefite i po pitanju ekologije.

Predstavljeno tehničko rešenje „RAZVOJ TEHNOLOGIJE ORBITALNOG KOVANJA KARDANSKOG KRSTA“ omogućava značajno poboljšanje i unapređenje postupka izrade kardanskog krsta te stoga preporučujem Naučno-nastavnom veću Departmana za proizvodno mašinstvo i Naučno-nastavnom veću Fakulteta tehničkih nauka Novi Sad da ga prihvati.

RECENTZENT:

Dr Damir Kakaš,
redovni profesor Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu



22.10.2012.



Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
 Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централа: 021 485 2000
 Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
 Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНІ
СИСТЕМІ
МЕНЕДЖМЕНТА
СЕРТИФІКОВАНІ ОД:



Наш број: 01.сл

Ваш број:

Датум: 2012-11-02

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, на 44. редовној седници одржаној дана 31.10.2012. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

Тачка 13.2.1. Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње

Одлука

На основу позитивног извештаја рецензената прихвата се
техничко решење – (M84) под називом:

РАЗВОЈ ТЕХНОЛОГИЈЕ ОРБИТАЛНОГ КОВАЊА КАРДАНСКОГ МОСТА

Аутори техничког решења: проф. др Мирослав Планчак, проф. др Драгиша Вилотић, проф. др Милентије Стефановић, проф. др Карл Кузман, мр Плавка Скакун, мр Младомир Милутиновић, дипл. инж. Моврин Дејан.

Техничко решење је развијено у оквиру пројекта EUREKA! 5005

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:

Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник

