

Институт за технологију нуклеарних  
и других минералних сировина с.п.о.

Број 13/18-2

27. 11. 2013. год

Београд  
Планште Д'Епере-а 86, пошт. фах 20

На основу члана 40 Статута Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Научно веће Института је, на седници одржаној 26.11.2013. године донело

## ОДЛУКУ

Покреће се поступак за валидацију и верификацију техничког решења под називом:

### "УНАПРЕЂЕЊЕ ПРОЈЕКТОВАЊА ТЕХНОЛОГИЈЕ ПЛАСТИЧНЕ ПРЕРАДЕ У ТОПЛОМ СТАЊУ ДЕЛОВА ОД АЛ-ЛЕГУРА КОРИШЋЕЊЕМ САВРЕМЕНИХ ПОСТУПАКА НУМЕРИЧКОГ МОДЕЛИРАЊА"

Аутора: Проф. др Звонка Гулишије, научног саветника, Проф. др Милентија Стефановића, Проф. др Весне Мандић, проф. др Србислава Александровића, др Зорана Јањушевића, вишег научног сарадника, мр Марије Михаиловић, истраживача сарадника, мр Александра Патарић, истраживача сарадника и Милана Ђорђевића, истраживача сарадника.

За рецензенте се именују Проф. др Мирослав Планчак, редовни професор Факултета техничких наука у Новом Саду и Проф. др. Драгољуб Лазаревић, редовни професор машинског факултета у Крагујевцу.



Институт за технологију нуклеарних
и других минералних сировина с.д.о.
Техничко решење: TR 3402
Бр. 1-55 Датум 24.12.2013.
Франше д'Енерга 66 пош.фах 330

На основу Правилника о верификацији и валидацији техничко-технолошких решења и процедуре ИП 19 Израда и поступак верификације и валидације техничко-технолошких решења, Научно веће Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, на седници одржаној 24.12.2013. год., донело је

## ОДЛУКУ

Да се резултат истраживачког рада "Унапређење пројектовања технологије пластичне прераде у топлом стању делова од ал-легура коришћењем савремених поступака нумеричког моделирања" који је проистекао као резултат рада на Пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја

**34002**

Назив пројекта:

**РАЗВОЈ ТЕХНОЛОШКИХ ПОСТУПАКА ЛИВЕЊА ПОД УТИЦАЈЕМ  
ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГ ПОЉА И ТЕХНОЛОГИЈА ПЛАСТИЧНЕ ПРЕРАДЕ У ТОПЛОМ  
СТАЊУ ЧЕТВОРОКОМПОНЕНТНИХ ЛЕГУРА Al-Zn ЗА СПЕЦИЈАЛНЕ НАМЕНЕ,**

аутора:

Проф. др Звонка Гулишије, научног саветника, ИТНМС, Београд,  
 Проф. др Милентија Стефановића, редовни професор, Факултет инжењерских наука, Крагујевац,  
 Проф. др Весне Мандић, редовни професор, Факултет инжењерских наука, Крагујевац.  
 Проф. др Србислава Александровића, редовни професор, Факултет инжењерских наука, Крагујевац,  
 др Зорана Јањушевића, вишег научног сарадника, ИТНМС, Београд,  
 мр Марије Михаиловић, истраживача сарадника, ИТНМС, Београд,  
 Александре Патарић, истраживача сарадника, ИТНМС, Београд,  
 Милана Ђорђевића, истраживача сарадника, Факултет инжењерских наука, Крагујевац.

верификује као техничко решење према индикаторима научне компетентности М 84 – (нов начин употребе постојећег производа- битно побољсани постојећи производ и технологије), у складу са Правилником о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача (Сл. гласник РС бр. 38/2008), а након усвајања рецензија Проф. др Мирослав Планчак, редовни професор Факултета техничких наука у Новом Саду и Проф. др. Драгољуб Лазаревић, редовни професор Машинског факултета у Крагујевцу.

Коначну одлуку о верификацији доноси надлежни Матични научни одбор МПН Р Србије.

**Доставити:**

- руководиоцу Пројекта,
- аторима,
- архиви НВ.



**ПРЕДСЕДНИК НАУЧНОГ ВЕЋА**

др Мирослав Сокић, научни сарадник



- **INSTITUT ZA TEHNOLOGIJU NUKLEARNIH I DRUGIH MINERALNIH SIROVINA**
- **FAKULTET INŽENJERSKIH NAUKA UNIVERZITETA U KRAGUJEVCU**

### **TEHNIČKO RAZVOJNO REŠENJE**

**UNAPREĐENJE PROJEKTOVANJA TEHNOLOGIJE PLASTIČNE PRERADE U TOPLOM STANJU  
DELOVA OD AI-LEGURA KORIŠĆENJEM SAVREMENIH POSTUPAKA NUMERIČKOG  
MODELIRANJA**

### **M 84 –NOV NAČIN PROJEKTOVANJA TEHNOLOGIJE TOPLOG KOVANJA (BITNO POBOLJŠANA POSTOJEĆA TEHNOLOGIJA)**

#### **AUTORI:**

Prof. dr Zvonko Gulišija, dipl.ing.met.  
Prof. dr Milentije Stefanović, dipl.ing.maš.  
Prof. dr Vesna Mandić, dipl.ing.maš.  
Prof. dr Srbislav Aleksandrović, dipl.ing.maš.  
Dr Zoran Janjušević, dipl. ing. met.,  
Mr Marija Mihailović, dipl.ing.met.  
Mr Aleksandra Patarić, dipl. ing. met.  
Istr. sarad. Milan Đorđević, dipl. ing.maš.

**KORISNIK:** Koncern Petar Drapšin, *Fabrika otkovaka d.o.o.* u Mladenovcu

**2013.**

## **SADRŽAJ**

1. PREDMET	3
2. OSNOVE PREDLOŽENOG REŠENJA	3
3. TOPLO KOVANJE Al-LEGURA	
3.1 Legure namenjene preradi u topлом stanju	5
3.2 Specifičnosti konstrukcije alata za toplo kovanje Al-legura	7
4. NUMERIČKA SIMULACIJA PROCESA KOVANJA	9
4.1 Kreiranje modela završnog otkovka	9
4.2 Kreiranje modela kovačkih gravura	11
4.3 Karakteristike softvera Simufact.forming	11
4.4 Ulagani podaci za analizu u softveru Simufact.forming	13
4.5 Rezultati numeričkog modeliranja	16
5. KREIRANJE CAM MODELA – GENERISANJE NC KODOVA ZA IZRADU KOVAČKE GRAVURE	19
6. PRIMENLJIVOST PREDLOŽENOG REŠENJA	20

## **1. PREDMET**

Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina (ITNMS), Beograd, zajedno sa Fakultetom inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, u okviru projekta TR - 34002 – *Razvoj tehnoloških postupaka livenja pod uticajem elektromagnetsnog polja i tehnologije plastične prerade u toploem stanju četvorokomponentnih legura Al-Zn za specijalne namene*, oblast: Materijali i hemijske tehnologije, za period 2010-2014. godine, razvio je nov pristup u projektovanju tehnologije plastične prerade u toploem stanju, do koncepcije tehničko-tehnološkog rešenja:

### **UNAPREĐENJE PROJEKTOVANJA TEHNOLOGIJE PLASTIČNE PRERADE U TOPLOM STANJU DELOVA OD AL-LEGURA KORIŠĆENJEM SAVREMENIH POSTUPAKA NUMERIČKOG MODELIRANJA**

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.

**Projektovanja tehnologije obrade metala u plastičnom stanju korišćenjem novih softverskih alata, predstavlja novi pristup u ovoj oblasti i pripada kategoriji „Bitno poboljšani postojeći proizvod i tehnologije“, M84 .**

## **2. OSNOVE PREDLOŽENOOG REŠENJA**

Primena novih tehnologija podrazumeva korišćenje savremenih softvera koji su podržani odgovarajućim hardverom. Moderni CAD/CAM/CAE (korišćenje računara u oblasti konstrukcije, izrade i inžinjeringu) sistemi su moćni alati u oblasti konkurentnog inženjerstva, zajedno sa novim konceptima virtuelne proizvodnje, brze izrade protipova i uvođenja u proizvodnju.

Virtuelna proizvodnja podrazumeva nelinearnu analizu i simulaciju svih procesa u tehnologiji izrade nekog proizvoda. Simulacija tehnologije omogućuje kompanijama da optimiziraju ključne faktore koji direktno utiču na profitabilnost proizvoda, kao što su: obradivost, finalni oblik i tačnost, nivo zaostalih napona, pouzdanost u eksploataciji itd. Profitabilnost se povećava smanjenjem troškova proizvodnje, uštedom materijala, eliminisanjem otkaza, skraćenjem vremena i troškova razvoja proizvoda i projektovanja alata kroz smanjenje pokušaja «trial-and-error» i ostalo.

Primena numeričkih simulacija, korišćenjem odgovarajućih softvera, efikasan je i visoko koristan alat za predviđanje problema u industrijskoj proizvodnji i za smanjenje vremena i troškova u razvoju novih proizvoda. U tradicionalnom projektovanju, npr. alata za toplo kovanje, i pri radu vrhunskih eksperata, često je neophodno vršiti probe u pogonskim uslovima i redizajniranje pojedinih elemenata konstrukcije alata. Upravo korišćenje simulacija, sa modelima visoke fleksibilnosti, omogućava prethodne, virtuelne provere i uspešan odabir optimalnih parametara geometrije projektovanog alata.

Numeričke simulacije su bazirane na znanjima o samoj fizici procesa i proverenim eksperimentalnim rezultatima, i koriste se za predviđanje tečenja materijala, određivanje distribucije deformacija, napona, temperatura, naprezanja na alatima, potencijalnih izvora defekata i lomova, osobine i mikrostruktura proizvoda, kao i elastičnog ispravljanja i zaostalih napona.

Generalno posmatrano, postoje dva osnovna cilja u primeni numeričkih simulacija u integrisanom projektovanju proizvoda i procesa:

**1. Adekvatna procena parametara procesa i projektovanja alata**, kroz: simulaciju procesa za popunjavanje alata, prevenciju defekata tečenja materijala (preklopi, "mrtve zone"), predviđanje granične deformabilnosti (izbegavanje unutrašnjih prslina), predviđanje temperatura, uslova trenja i veka alata.

**2. Poboljšanje kvaliteta proizvoda i smanjenje troškova proizvodnje** kroz: predviđanje i poboljšanje mehaničkih osobina i mikrostruktura, samanjenje pokušaja u projektovanju alata, smanjenje škarta i poboljšanje tečenja materijala.

U analizi toplog kovanja, proces obrade se mora posmatrati kao sistem međusobno povezanih relevantnih parametara, koji se mogu svrstati u pet grupa:

- pripremak: veličina i oblik, materijal, hemijski sastav i mikrostruktura, osobine tečenja u uslovima obrade (napon tečenja u funkciji deformacije, brzine deformacije i temperature), termičke i fizičke osobine;

- alat: geometrija, stanje površina, materijal i tvrdoća, temperatura pregrevanja, krutost i tačnost;

- uslovi u međukontaktu: finalizacija površina, podmazivanje, trenje i transfer topote;

- deformaciona zona: mehanika plastičnog deformisanja, tečenje materijala, naponi, brzine i temperature;

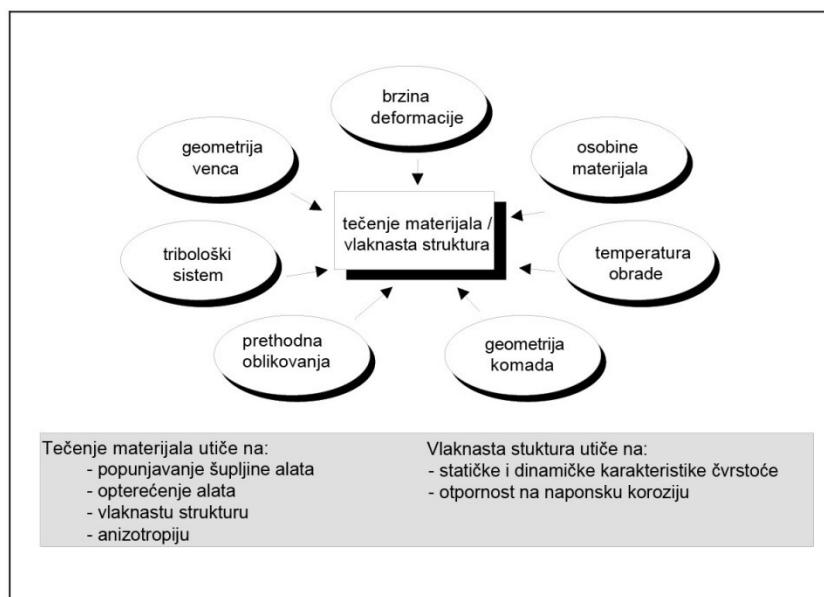
- proizvodna oprema: brzina, produktivnost, kapacitet u pogledu maksimalne sile i energije, krutost i preciznost.

Za potpunu simulaciju, svi nabrojani elementi se moraju pouzdano definisati, koristeći preporuke u softverskim bazama ili preporuke formirane na osnovu sopstvenih eksperimentalnih ispitivanja.

### 3. TOPLO KOVANJE AL-LEGURA

#### 3.1 Legure namenjene preradi u topлом stanju

Legure alumijuma, namenjene obradi toplim kovanjem, omogućavaju dobijanje delova veoma tačnih dimenzija, kvalitetne površine, sa minimumalnim zahtevom za dodatnu obrade. Ostvareni stepeni deformacija u pojedinim fazama kovanja, mogu biti znatno iznad onih koji se ostvaruju pri kovanju čelika ili legura bakra. Korišćenje Al-legura visoke čvrstoće (duraluminijum) omogućava izradu odgovornih delova sa povišenom nosivošću, npr. u auto i avionskoj industriji. Razvoj preciznog kovanja, na bazi tradicionalnog toplog kovanja, omogućava izradu komplikovanih otkovaka sa tzv. vlaknastom strukturom koja prati konturu otkovka, kvalitetne mikrostrukture i odgovarajućih mehaničkih osobina i tolerancija mera. Na sl.1 pokazani su opšti uticaji na uspešno popunjavanje šupljine kalupa i kvalitet ostvarene stukture otkovka.

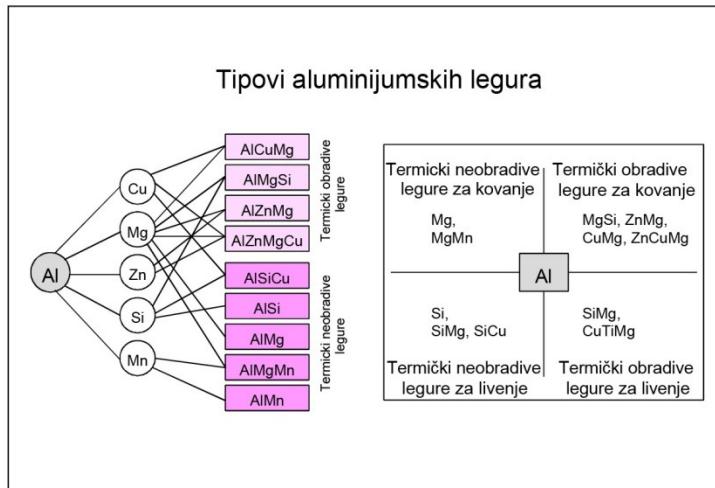


Sl.1. Faktori koji utiču na tečenje materijala i kvalitet otkovka

Veliki broj Al-legura se može kovati, u rasponu od čistog Al do legura visoke čvrstoće. Najčešće se kuju termički obradive legure srednje i visoke čvrstoće, prema sl.2. Ovi materijali su veoma osetljivi na izmenu temperature kovanja. Pri sniženim temperaturama nekompletna rekristalizacija dovodi do deformisane i nepoželjne mikrostrukture. Krupna zrna u nehomogenoj strukturi dovode do loših mehaničkih osobina kovanog dela. Povećani stepen deformacije u pojedinim fazama kovanja povećava čvrstoću otkovka. Nasuprot tome, povećanje temperature kovanja i produžavanja vremena obrade, dovodi do smanjenja čvrstoće otkovka.

Temperature kovanja Al-legura zavisi od vrste legure i nalaze se u intervalu od 320 do 480°C, prema sl.2. Alat se mora prethodno zagrejati, kako bi se izbela termička naprezanja. Osnovni problem kod kovanja Al-legura je potreba za preciznim održavanjem temperature

komada, na šta bitno utiče brzina deformacija. Temperaturni intervali kovanja su uski i moraju se poštovati, sl.3.



Sl. 2. Tipovi aluminijumskih legura

Oznake legure alfa-numerička internacionalna		320	360	400	440	480°C
Al 99	1100					
AlMn	3003					
AlMgSi	6061 6151					
	4032					
AlMg3	5052 5086					
AlMg4.5Mn	5083 5056A					
AlCuSiMn	2014					
AlCuMg2	2024					
AlCuMgNi	2218					
	2219					
	2618					
AlZnMgCu0.5	7039					
AlZnMgCu1.5	7079					
	7075 7049					

**Prednosti u odnosu na čelik:**

- \* alat se zagreva na temperaturu kovanja
- \* za vreme kovanja sprečeno je hlađenje otkovka

**Nedostaci u odnosu na čelik:**

Temperature kovanja moraju se precizno kontrolisati zbog:

- \* previške temperature mogu uništiti zrnastu strukturu
- \* nedovoljno visoke temperature uslovjavaju napravljene i dovodi do nepotpunjavanja kalupa

→ potrebna precizna kontrola temperature

Sl.3.Temperature kovanja Al-legura

Pri porastu brzine deformacije, deo dovedene energije se pretvara u topotnu, te se mora voditi računa o vrsti mašine na kojoj se vrši obrada (čekići, prese). Poznato je da temperatura i brzina deformacije imaju suprotan efekat na proces ojačanja; porast brzine dovodi do porasta naponu tečenja, veća temperatura umanjuje ojačanje.

### **3.2. Specifičnosti konstrukcije alata za toplo kovanje Al-legura**

Uobičajeno toplo kovanje Al-legura u tzv. otvorenim alatima sa vencom podrazumeva veće dodatke za obradu rezanjem i veće uglove kovačkih nagiba. Napredniji postupci kovanja, sa karakteristikama i prednostima svakog od njih, dati su u tabeli 1.

Tabela 1. Napredni postupci kovanja Al-legura

Posebni procesi kovanja i njihova primena			
PROCES	KARAKTERISTIKE	PREDNOST	
1 Precizno kovanje	Dobar kvalitet komada	Uske tolerancije, dobar oblik komada	
2 Visoko-precizno kovanje	Bolji kvalitet izratka	Uske tolerancije, dobar oblik komada, dobar kvalitet površine	
3 Kovanje u alatu bez vencu	Kovanje u zatvorenom alatu	Dobro iskorišćenje materijala	
4 Sinterovanje	Sinterovani delovi	Iskorišćenje materijala, oblikovanje u nekoliko koraka, uske tolerancije	
5 Izotermičko kovanje	Kontrolisana temperatura alata i Temperature komada	Bolji oblik komada	
6 Superplastično kovanje	Kao u 5; veoma mala brzina kovanja	Iskorišćenje materijala, oblikovanje u nekoliko koraka, bolji oblik komada	
7 Utiskivanje	Presovanje u testastom stawu	Oblikovanj u nekoliko koraka, zadovoljavajući oblik komada	
8 Parcijalno kovanje	Postupna izrada	Zadovoljavajući oblik komada	
9 Kovanje pri višim temperaturama	Kombinovano kovanje i strukturne promene radnog komada	Dobre mehaničke osobine komada	

Projektovanje tehnologije toplog kovanja podrazumeva sledeće neophodne korake, koji će se detaljnije kasnije analizirati :

1. Definisanje konstrukciono – tehničkih karakteristika otkovka;
2. Klasifikacija oblika otkovaka;
3. Analiza procesa kovanja u kalupu;
4. Određivanje oblika kanala za vijenac;
5. Određivanje oblika i dimenzija pripremka;
6. Definisanje termičke obrade;
7. Definisanje pripremnog i završnog kovanja;
8. Definisanje kovanja i kalibriranja
9. Definisanje opsecanja otkovka i čišćenje;
10. Konstrukcija alata i izbor potrebne mašine i opreme.

Pri numeričkoj simulaciji pojedini elementi nabrojanih faza projektovanja predstavljaju ulaz u simulaciju, odnosno predmet samog modeliranja. Npr. oblik kanala za venac se bira iz preporuka, ali njegova geometrija može biti i izmenjena, ukoliko to značajno utiče na tečenje metala unutar gravure.

Poznato je da se pri toploj obradi ne mogu postići visoki kvaliteti površine komada. U tabeli 2 su prikazane tačnosti koje se mogu ostvariti različitim obradama. Kvalitet IT6 i IT7 može biti postignut kovanjem samo u posebnim slučajevima. Realne vrednosti koje se mogu postići kovanjem su IT12 do IT16.

Tabela 2. Ostvarive tačnosti pri različitim obradama

		Ostvariva tačnost sa različitim postupcima kovanja i mašinske obrade											
Vrsta obrade	Značajna mera	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Kovanje u alatu	prečnik		■	■	○	○	○	○	●	●	●	●	●
Istiskivanje u topлом stanju	prečnik						○	○	●	●	●	●	●
Hladno istiskivanje	prečnik		○	●	●	●	●	●					
Precizno kovanje	debljina			○	●	●	●	●	●				
Struganje	prečnik		○	●	●	●	●						
Glodanje	debljina		○	●	●	●	●	●	●				
Okruglo brušenje	prečnik	●	●	●	●	●							

● - uglavnom dostižno

○ - ostvarivo sa posebnim zahtjevima za dimenzije

■ - ostvarivo u posebnim slučajevima

Kvalitet IT6 i IT7 su ostvarivi samo visoko – preciznim kovanjem koje je poseban slučaj preciznog kovanja. Ovim postupkom se dobijaju delovi koji imaju veliku tačnost i dobar kvalitet površine. Visoko preciznim kovanjem mogu se dobiti delovi koji se mogu odmah bez naknadne dorade ugraditi u mašinski sklop, sa sledećim karakteristikama:

- Povećanje tačnosti konstruktivnih delova,
- Smanjenja trošenja delova u eksploataciji,
- Smanjenja mase delova,
- Smanjenje zahteva za mašinskom obradom,
- Povećanja dobiti od proizvedenih delova.

## 4. NUMERIČKA SIMULACIJA

Pri unapređenju postojeće tehnologije toplog kovanja, neophodno je simulirati proces kovanja prema zadatoj geometriji otkovka. Posle optimizacije uslova obrade, geometrija završne gravure alata omogućava generisanje NC kodova za obradu na CNC glodalici pri izradi alata.

Početni korak u razvoju numeričke simulacije je prostorno (3D) kreiranje modela komada (3D CAD model). Postoje različiti softveri koji omogućavaju kreiranje 3D modela proizvoda. Za kreiranje 3D zapreminskog modela komada iz proizvodnog programa kovačnice "Petar Drapšin" iz Mladenovca (Naziv otkovka : nosač iz programa namenske industrije), završnog otkovka i odgovarajućih kovačkih gravura, u radu je korišćen PLM sistem CATIA V5 R17.

### 4.1. Kreiranje modela završnog otkovka

Modeliranje geometrije otkovka posle završnog kovanja podrazumeva potpuno poznavanje svih elemenata tehnološkog postupka plastičnog oblikovanja. Kovanje nosača obavlja se na hidrauličnoj presi u otvorenim alatima, što znači da se u toku procesa kovanja formira višak materijala u obliku venca, koji se naknadno uklanja u operaciji krzanja.

Projektovanje tehnološkog procesa kovanja uključuje sledeće faze:

1. Konstruisanje otkovka
  - Definisanje položaja i oblika podeone ravni
  - Definisanje dodataka za obradu i kovačkih tolerancija
  - Definisanje kovačkih nagiba i radijusa zaobljenja
  - Definisanje baznih površina
  - Definisanje veličine i oblika otvora, odnosno pločica u njima
  - Tehnologičnost otkovka (debljina tankih zidova)
2. Utvrđivanje vrste i redosleda kovačkih operacija
3. Određivanje dimenzija uloženog materijala (pripremka)
4. Definisanje režima zagrevanja i hlađenja, izbor mašine za zagrevanje
5. Izbor mašine za kovanje
6. Određivanje broja potrebnih radnika, normiranje vremena izrade
7. Definisanje vrste završne kontrole.

Pri izboru podeone ravni moraju se zadovoljiti sledeći zahtevi:

- Nesmetano sastavljanje i razdvajanje gornjeg i donjeg kalupa, kao i vađenje otkovka
- Poželjno je da podeona ravan bude ravna zbog jednostavnijeg alata za krzanje
- Završna gravura se lakše popunjava sabijanjem nego istiskivanjem
- Složeniji (razgranatiji) deo otkovka se postavlja u gornji deo kalupa, pri kovanju na čekiću, zbog postojanja inercijalnih sila
- Podeona ravan deli otkovak na delove jednakih visina
- Površine koje se obrađuju rezanjem, ne bi trebalo da imaju nagibe i šav od venca
- Kod izlomljene podeone linije treba voditi računa o ravnoteži horizontalnih sila (kovanje dva otkovka istovremeno, zakošenje otkovka ili konstrukcija alata sa naslonima).

**Podeona ravan** kod otkovka nosača se poklapa sa najvećim presekom otkovka, na početku konične površine.

**Dodaci za obradu** rezanjem predstavljaju povećanje nominalnih mera dela i obuhvataju čitav oštećeni površinski sloj (mikoprskotine, razugljenisani sloj sa oksidnom korom, dimenzijska odstupanja...).

**Kovački dodaci** se kreću od 1–5mm, biraju se na osnovu literurnih preporuka i zavise od: dimenzija dela, mase otkovka, vrste materijala, kovačke mašine, tehnologije naknadne obrade rezanjem i klase tačnosti.

**Kovačke tolerancije** nazivnih mera definišu tolerantno polje koje uključuje odstupanja iz sledećih razloga:

- Netačnost kovanja po visini
- Nepotpunjeno završne gravure
- Krivljenje ose
- Površinski defekti
- Ekscentričnost pri probijanju otvora.

**Kovački nagibi** bočnih površina otkovka, koje su paralelne pravcu kretanja alata, su potrebni radi lakšeg vađenja otkovka iz gravure i lakšeg tečenja materijala pri kovanju.

Veličina ovih nagiba zavisi od vrste kovačke mašine, i to za prese –  $\alpha = 1^\circ \div 3^\circ$ ,  $\alpha_1 = 3^\circ$   
gde su :  $\alpha$  – spoljašnji nagibi,  $\alpha_1$  – unutrašnji nagibi.

**Kovačka zaobljenja** – poboljšavaju uslove tečenja metala, popunjavanje udubljenja gravure, smanjuju habanje ivica gravure i sprečavaju koncentraciju napona i pojavu naprslina na kritičnim mestima.

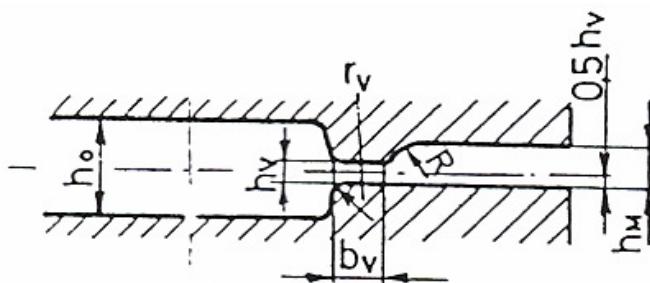
**Veličina spoljašnjih radijusa R** bira se tablično i zavisi od mase otkovka, klase tačnosti i dimenzija.

Za slučaj razmatranog otkovka dodaci za obradu iznose 2 mm, kovački nagibi su  $1^\circ \div 3^\circ$ .

Uz poštovanje svih ovih pravila konstruisanja otkovka, korišćenjem modula Generative Shape Design i Part Design softvera CATIA V5 R17, kreiran je model otkovka posle završnog kovanja.

#### 4.2. Kreiranje modela kovačkih gravura

Pri konstrukciji kovačkih gravura potrebno je uzeti u obzir činjenicu da po završetku procesa kovanja dolazi do skupljanja otkovka usled hlađenja materijala. Zato se gravure konstruišu sa takozvanim toplim kotama (dimenzije hladnog otkovka uvećavaju se za vrednost skupljanja materijala usled hlađenja). Tako uvećan otkovak se utiskuje u gornju i donju gravuru alata. Pošto se radi o kovanju u otvorenom alatu neophodno je predvideti kanal koji će obezbediti isticanje viška materijala i formiranje venca odgovarajućeg oblika. Na slici 4. prikazan je izabrani tip kanala za venac.



S1.4 Izabrani kanal za venac

Nakon izvršene pripreme modela elemenata koji su neophodni za simulaciju procesa završnog kovanja nosača, aktivira se upotreba CAE tehnologije, odnosno odgovarajućeg softvera koji se nalazi na raspolaganju.

Za simulaciju procesa kovanja, korišćen je softver Simufact.forming 11 čija se licencirana instalacija nalazi u okviru Centra za virtuelnu proizvodnju (CEVIP), na Fakultetu inženjerskih nauka u Kragujevcu.

#### 4.3 Karakteristike softvera Simufact.forming 11

Simufact.Forging 11 predstavlja kombinaciju složenog solvera i jednostavnog korisničkog okruženja koje je posebno prilagođeno za 3D simulacije zapreminskog oblikovanja. Metoda konačnih zapremina je brza i precizna jer ne primenjuje remeshing i koristi se za praćenje deformisanja materijala i automatsko poboljšavanje elementarnih malih površina (facet) na slobodnim površinama modela. U ovakovom pristupu, deformisani materijal jednostavno teče kroz (fiksnu) mrežu konačnih zapremina, prateći konture alata. Metoda konačnih elemenata je integrisana u solver, sa opcijom automatskog remeshing-a za primenu u zahtevnijim aplikacijama i proračunu napona u alatu.

U okviru softvera kreiran je novi grafički interfejs prilagođen Windows okruženju. Kompleksni modeli za simulaciju se za kratko vreme podešavaju zahvaljujući preglednom

grafičkom okruženju, i nakon toga se pokreće simulacija po čijem se završetku pristupa analizi rezultata. Svi rezultati su kako vrednosno, tako i grafički prikazani (slike i animacije) čime se postiže jasan pregled rezultata različitih vrsta: karakterističnih napona, tečenja materijala, temperatura, kontakta itd. Moguća je analiza napona, habanja i oštećenja alata što je korak dalje u odnosu na uobičajene analize. Procesi zapreminskog oblikovanja koji se mogu simulirati FE i FV metodama u hladnom i topлом stanju su: kovanje, sabijanje, istosmerno i suprotnosmerno istiskivanje, valjanje, savijanje i tako dalje. Simufact.forming podržava paralelno procesiranje (proračun simulacije i analize procesa korišćenjem više procesora) čime se može značajno smanjiti CPU vreme.

Kompletna prezentacija procesa koji se simulira, odnosno unos ulaznih podataka, korišćenjem kvalitetnog intuitivnog korisničkog interfejsa, može se izvesti relativno brzo, uključujući:

- Uvoz CAD geometrije alata i pripremka preko STL, DXF, Nastran, i VRML formata
- Izbor korišćene prese iz baze podataka o presama
- Izbor karakteristika materijala pripremka i alata iz baze podataka
- Definisanja uslova kontaktnog trenja, izbor modela trenja i zadavanje faktora trenja
- Definisanje temperaturnih režima procesa, za generisanje i transfer topote
- Automatsko / ručno pozicioniranje pripremka u alatu
- Izbor predmeta FE / FV analize i
- Startovanje analize

Simufact.forming ima moćan postprocesor za vizuelizaciju rezultata simulacije, koji omogućava projektantima i inženjerima potpun uvid u sve aspekte procesa, uključujući:

- Sliku tečenja materijala, sa prikazom celog modela u željenim presecima
- Popunjavanje alata i markiranje vankontaktnih zona
- Distribuciju napona, deformacija, temperature i pritiska
- Habanje alata i procenu kriterijuma loma
- Procenu sila na alatima i naponskih distribucija
- Prikaz defekata preklopa i zona poremećaja u podmazivanju (lubepocket) i tako dalje.

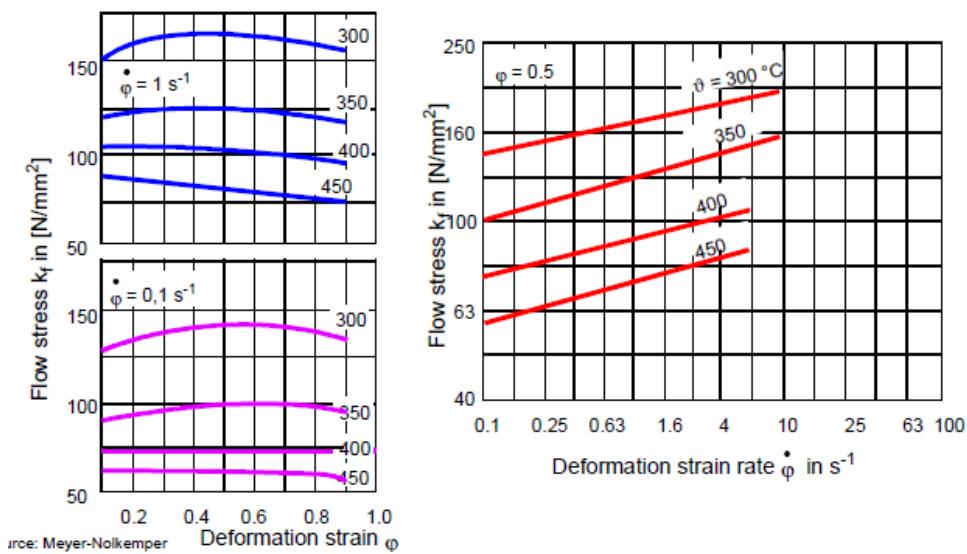
Kroz simulaciju procesa korišćenjem Simufact.forming-a, preduzeće koje se bavi projektovanjem i izradom otkovaka, ostvaruje značajne uštede smanjenjem:

- Broja prototipova pri projektovanju alata
- Broja defekata
- Škarta
- Broja fizičkih prototipova
- Vremena razvoja proizvoda
- Broja otkaza u serijskoj proizvodnji

#### 4.4 Ulazni podaci za analizu u softveru Simufact.forming

Analiza koja se prezentuje u ovom tehničkom rešenju je sprovedena na kovanju osnosimetričnog komada koji proizvodi kompanija "Petar Drapšin – Kovačnica", korisnik rezultata na projektu TR-34002. Dimenzije početnog komada, koji ide na zagrevanje iznose: Ø90 x 216 mm. Materijal za kovanje je AlZnMgCu1.5 (EN AW-7075), koji se izrađuje na dva načina: klasičnom pripremom za topnu plastičnu preradu (modifikacija, livenje, homogenizacija, plastična prerada-ekstruzija, termička obrada) i specijalnim postupkom livenja u elektromagnetskom polju.

Za sprovođenje postupka numeričkog modeliranja značajni su ulazni podaci koji pokazuju opisuju fenomene ojačanja pri kovanju, sl.5. Z razliku od čelika, pri kovanju Al-legura postoji visoka osjetljivost na veličinu brzine deformacije. Hemski sastav navedene legure je pokazan u tabeli 3 .Srednje vrednosti izmerenih mehaničkih karakteristika su: zatezna čvrstoća  $R_m = 470 \text{ MPa}$ , granica tečenja  $R_p = 310 \text{ MPa}$ , izduženje pri kidanju  $\Delta g = 7\%$  i tvrdoća 115 HB.



Slika.5 Krive tečenja u zavisnosti od temperature i brzine deformacije za AlZnMgCu1,5

Tabela 3 Hemski sastav legure AlZnMgCu1,5

Element	Zn	Mg	Cu	Mn	Cr	Fe
Sadržaj %	5.51	2.29	1.45	0.13	0.19	0.14

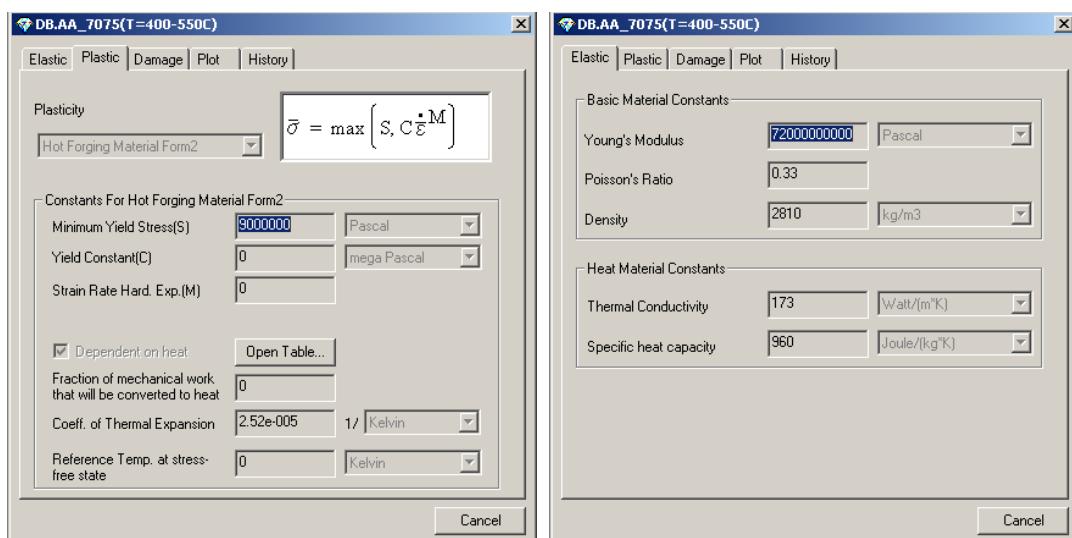
Pre obrade kovački alat se greje na temperaturu od  $250^{\circ}\text{C}$ , a komad na temperaturu predviđenu za ovu vrstu materijala od  $405\text{-}415^{\circ}\text{C}$ . Materijal alata je Č4751 (H13). Proces kovanja se izvodi u dve operacije: prethodnim sabijanjem i završnim kovanjem na elektrohidrauličnoj presi LASCO 1600. Faktor trenja je  $m=0,6$ . Brzina deformisanja iznosi:  $250\text{mm/s}$ .

Po startovanju softvera pojavljuje se prozor "Process properties". U ovom prozoru definiše se proces obrade, odnosno metoda koja se koristi za simulaciju procesa. Za razmatrani slučaj završnog kovanja tela veštačkog kuka usvaja se topla 3D obrada metodom konačnih zapremina.

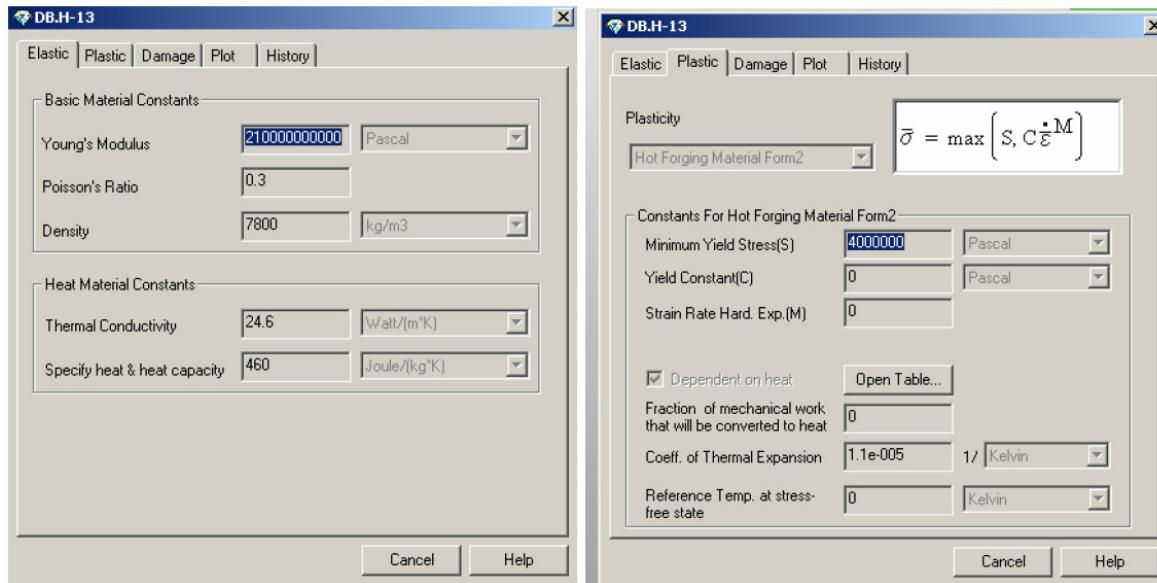
Posle definisanja metode kojom će se simulirati proces obrade, vrši se unos svih potrebnih elemenata za simulaciju procesa. U ovom slučaju to su: materijal predmeta obrade, materijal alata, presa na kojoj se vrši kovanje, modeli gornjeg i donjeg dela alata i radnog komada, karakteristike trenja, temperature alata i radnog komada.

Poznavanje karakteristika materijala je od izuzetnog značaja za simulaciju procesa oblikovanja materijala. Softver Simufact.forming 11 sadrži bazu podataka o karakteristikama materijala. Zahvaljujući toj činjenici nije potrebno vršiti ispitivanje materijala nekom od standardnih metoda, već je samo dovoljno izabrati materijal iz baze podataka.

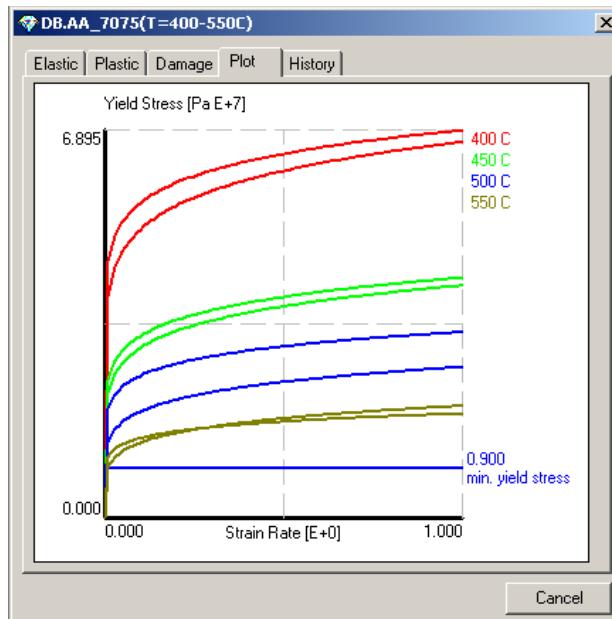
Na slići 6. prikazani su prozori u kojima su definisane osobine materijala predmeta obrade, a na sl. 7. osobine materijala alata H13.



Sl. 6. Izabrane osobine materijala komada



Slika 7. Podaci o materijalu alata H13



Slika 8. Krive tečenja za različite temperature kovanja

U ovom slučaju temperatura radnog komada (temperatura kovanja) je 405°C, a temperatura alata je 250°C. Zatim se vrši izbor mašine za kovanje (hidraulična presa) sa odgovarajućim hodom.U sledećem koraku formira se stablo procesa dodeljivanjem elemenata simulacije sistemskim granama stabla procesa: UpDie, LowerDie i WorkPiece.

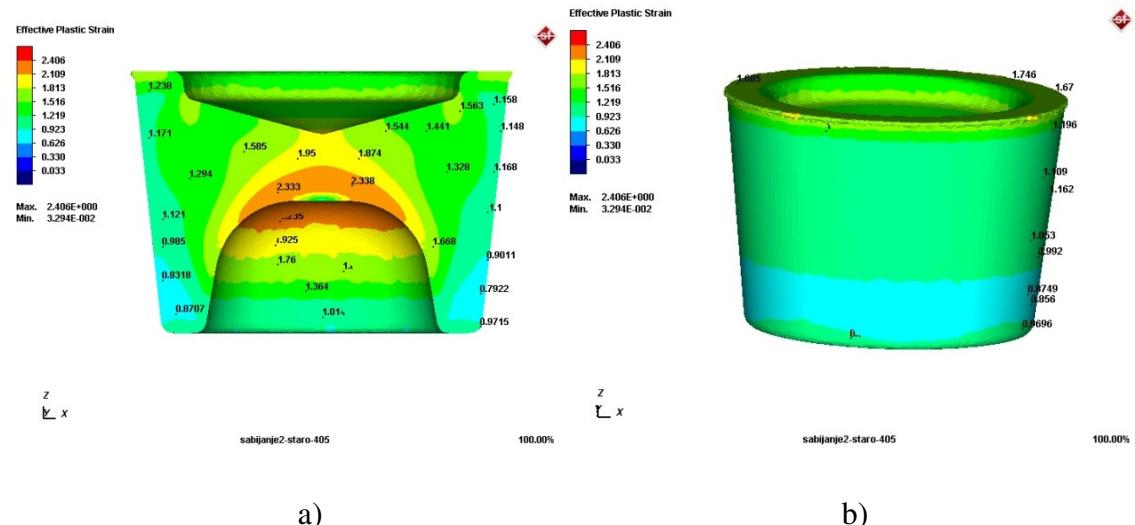
## 4.5. Rezultati numeričkog modeliranja

Da bi simulacija bila uspešno realizovana neophodno je izvršiti pravilno pozicioniranje modela gornjeg i donjeg dela alata i radnog komada. Ova tri modela se postavljaju u odgovarajući položaj pomoću paleta alata za manipulaciju modelima.

Ovim je završena priprema elemenata za simulaciju. Dužina trajanja simulacije zavisi od stepena složenosti i obima procesa. Nakon završene simulacije pristupa se pregledu rezultata simulacije procesa. U startu je potrebno proveriti da li su gravure alata potpuno ispunjene materijalom, to jest da li je dobijen željeni oblik otkovka.

Nakon konstatovanja pravilnog popunjavanja alata, pristupa se proveri drugih pokazatelja procesa obrade, kao što su: radna opterećenja, temperature, distribucije kontaktnih napona i sl. Svi navedeni parametri su u granicama predviđenim za ovakve postupke, te se i uvedeni parametri procesa mogu smatrati optimalnim.

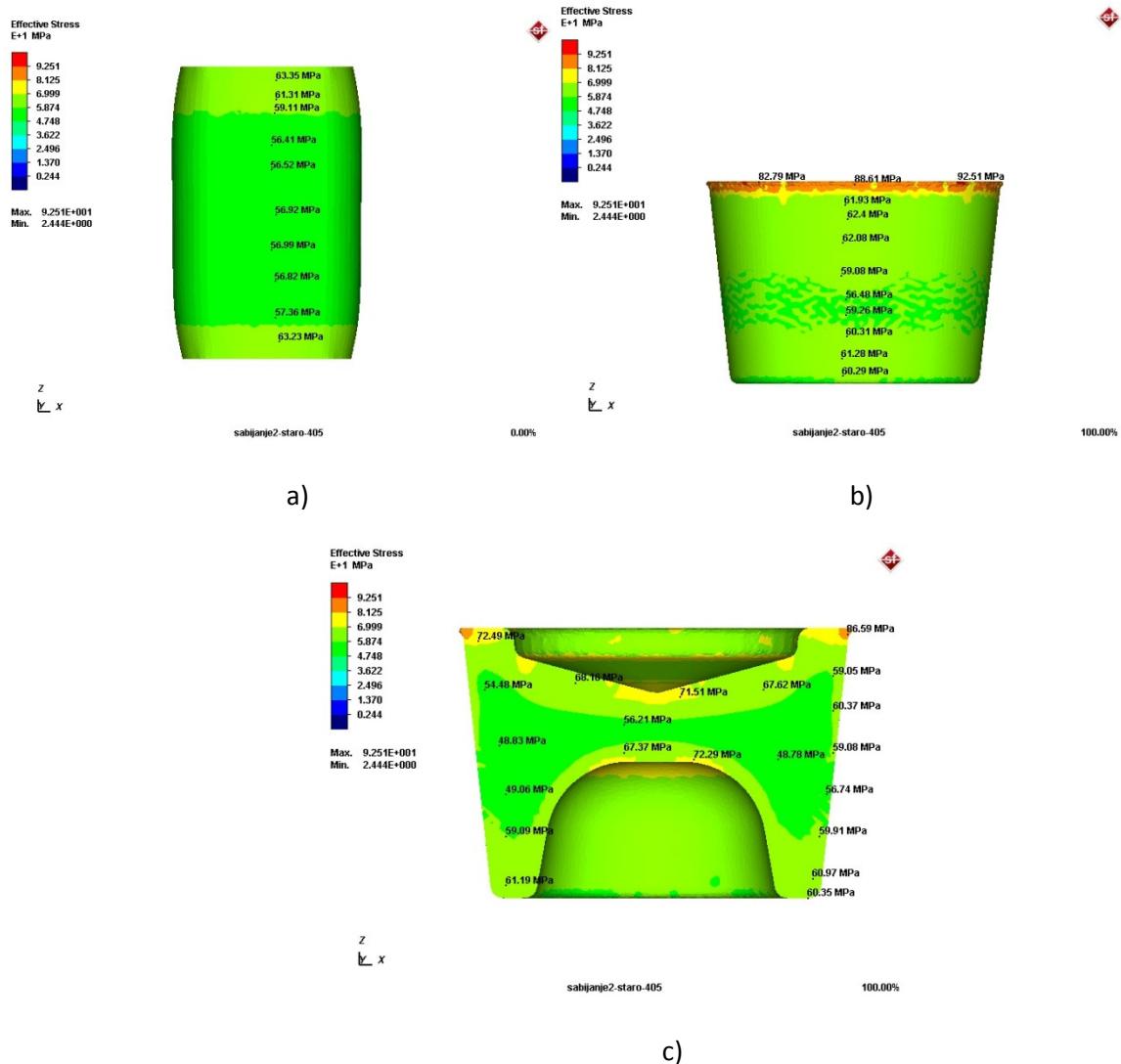
Na sl.9. date su distribucije ekvivalentne deformacije na kraju procesa kovanja, na kontaktnoj površini i unutar deformisane zapremine.



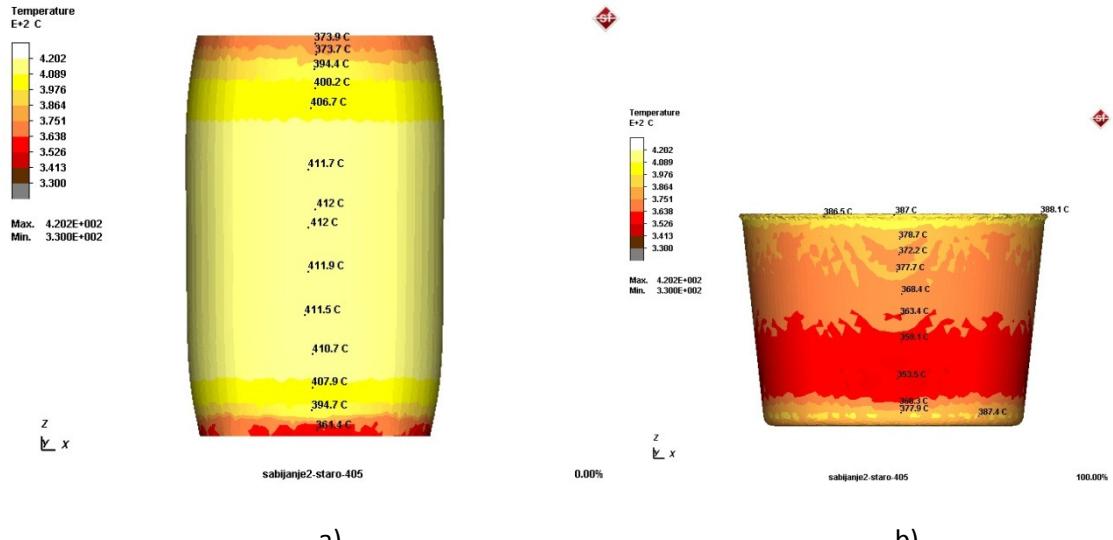
Slika 9 . Distribucija ekvivalentne deformacije na kraju procesa kovanja (a-unutar zapremine komada, b) – na površini)

Ekvivalentni napon ima maksimum na kraju procesa kovanja i iznosi 86.59 MPa u zoni radiusa matrice, sl.10. Najveća deformacija se ostvaruje prema očekivanju u centralnoj zoni komada, pri formiranju završnog profila u kalupu. Takođe, primetan je i porast temperature u centralnoj zoni komada, sl.11. Vrednosti napona u zidu komada najveće su pri oblikovanju zida, a zatim opadaju. Detaljna analiza tečenja materijala pri kovanju preko naponskih komponenata,

polja deformacija i sl., rađena je za više kombinacija geometrijskih parametara alata, kako bi se dobilo najoptimalnije rešenje. Takođe, korišćenjem pomunutog softvera, moguće je veoma precizno odrediti pravilno ispunjenje šupljina gravure i isticanje u venac. Na taj način se, pored pravilnog popunjavanja kalupa obezbeđuje i bolji kvalitet otkovka i veći vek trajanja alata.

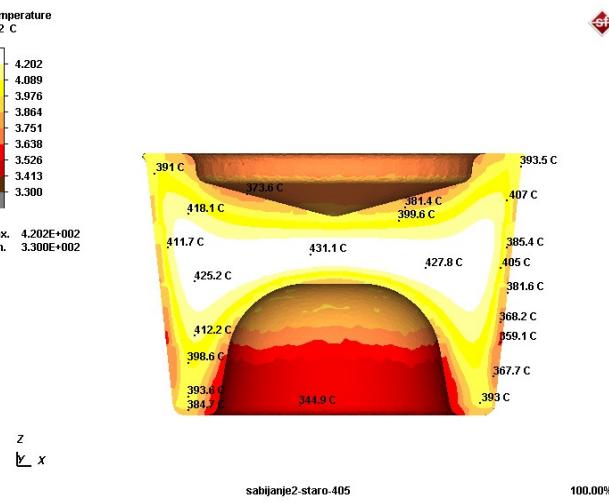


Slika 10 . Distribucija ekvivalentnog napona napočetku pripremnog sabijanja (a) i na kraju završnog kovanja (b-po površini, c-unutar komada)



a)

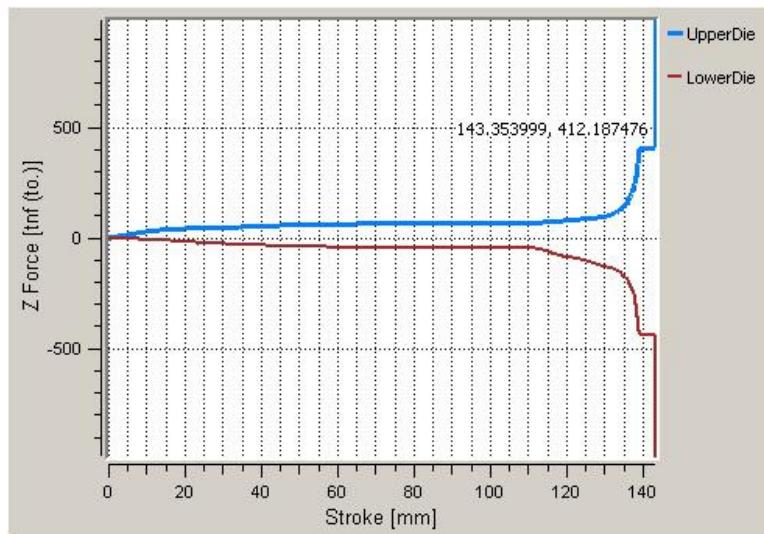
b)



c)

Slika 11 . Distribucija tempraturnih polja na početku pripremnog sabijanja (a) i na kraju završnog kovanja (b-po površini, c-unutar komada)

Na kraju analize, pokazana je simulacija promene deformacione sile na gornjem i donjem kalupu u funkciji hoda prese. Najveća sila iznosi 4121,8 kN, sa izrazitim porastom pri iskivanju vencu, sl.12.



Sl. 12. Promena deformacione sile u funkciji hoda pritiskivača prese

## 5. KREIRANJE CAM MODELA – GENERISANJE NC KODOVA ZA IZRADU KOVAČKE GRAVURE

U daljem postupku se realizuje proces transformacije apstraktne (elektronske) forme modela ka fizičkoj formi gotovog proizvoda, tj. koriste se CAM postupci (proizvodnja uz pomoć računara) za izradu alata za kovanje. U ovom slučaju, neophodno je kreiranja seta instrukcija za automatsko upravljanje mašinama alatkama ili drugim proizvodnim uređajima (NC mašiniranje), prema prethodno definisanom modelu kovačkih gravura. Jedan od poznatih softvera u ovoj oblasti je PowerMILL, nezavistan softverski paket koji se primenjuje za definisanje optimalne strategije obrade, simulaciju procesa obrade i generisanje NC koda za obradu metala na CNC glodalicama. Pri ovakovom modeliranju se generišu upravljački numerički kodovi za obradu na CNC mašini. Kod mašina sa automatskom promenom alata, NC kodovi svih korišćenih strategija se mogu povezati tako da se dobija jedan celovit program, koji omogućava neprekidni rad mašine.

## **5. PRIMENLJIVOST PREDLOŽENOG REŠENJA**

**Opis:** Projektovanja tehnologije obrade metala u plastičnom stanju korišćenjem novih softverskih alata, odnosno poboljšanje tehnologije toplog kovanja nosača za potrebe namenske industrije, sadrži sve napredne pretpostavke reinžinjeringu postojećih tehnologija, te dovodi do podizanja kvaliteta prizvoda i smanjenja troškova proizvodnje. Metodologija predloženog rešenja se može primeniti i kod drugih delova koji se izrađuju postupcima toplog kovanja Al-legura.

**Tehničke karakteristike:** Za realizaciju ovakvog rešenja neophodno je posedovati odgovarajuće softvere za kreiranje 3D modela i numeričku simulaciju procesa toplog kovanja. U ovom rešenju korišćeni su CATIA V5 i SIMUFACT.FORMING 11. Takođe, u realizaciji rešenja moraju učestvovati eksperti koji poznaju tehnologiju toplog kovanja visokolegiranih Al-legura.

**Efikasnost primene :** Realizacija predloženog rešenja, koje podrazumeva integralni razvoj proizvoda (CAD,CAM) omogućava višestruko smanjenje vremena projektovanja i troškova izrade alata za toplo kovanje, uz obezbređenje ispunjavanja svih tehnno-ekonomskih zahteva prema proizvodu, kao što su: izbegavanje defekata tečenja materijala (preklopi, unutrašnje prsline), povećanje veka alata, poboljšanje mehaničkih osobina i mikrostrukture, smanjenje broja industrijskih proba i potrebe za doradom alata, smanjenje škarta i sl. Na ovaj način, omogućen je brz razvoj modela proizvoda i sagledavanje svih bitnih parametara koji prate procese obrade kovanjem.

**Usklađenost sa ciljevima projekta:** U skladu sa planiranim aktivnostima pri radu na projektu, u okviru ovog tehničkog rešenja realizove su aktivnosti:

- a) Realizovan je CAD 3D model otkovaka nosača, kao priprema za ulaz u numeričko modeliranje procesa kovanja (aktivnost 6-7, faza III Plana istraživanja)
- b) Izvršena je dalja karakterizacija materijala otkovka, uzimajući u obzir realne vrednosti brzine deformacije, temperature komada i alata, kontaktne uslove i sl. Sproveden je postupak numeričkog modeliranja procesa kovanja, pouzdano definisana geometrije alata za kovanje (aktivnost 6,7,8, faza III Plana istraživanja)



INSTITUT ZA TEHNOLOGIJU  
NUKLEARNIH I DRUGIH  
MINERALNIH SIROVINA

Franše d'Eperea 86  
11000 Beograd

TELEFON: +381 11/8232-878  
TEL/FAX: +381 11/8232-878

SEKTOR: sekretarijat direktora  
NAŠ ZNAK:  
VAŠ ZNAK:  
MLADENOVAC 16 December 2013

Ovim potvrđujemo verifikaciju tehničko-tehnološkog rešenja:

**UNAPREĐENJE PROJEKTOVANJA TEHNOLOGIJE PLASTIČNE PRERADE U TOPLOM  
STANJU DELOVA OD AL-LEGURA KORIŠĆENJEM SAVREMENIH POSTUPAKA  
NUMERIČKOG MODELIRANJA**

Ovim se potvrđuje da Koncern „Petar Drapšin“ AD Fabrika otkovaka u Mladenovcu primenjuje rezultate tehničko-tehnološkog rešenja Unapređenje projektovanja tehnologije plastične prerade u topлом stanju delova od Al-legura korišćenjem savremenih postupaka numeričkog modeliranja.

Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina (ITNMS), Beograd, zajedno sa Fakultetom inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, u okviru projekta TR 34002 – *Razvoj tehnoloških postupaka livenja pod uticajem elektromagnetnog polja i tehnologije plastične prerade u topлом stanju četvorokomponentnih legura Al-Zn za specijalne namene*, oblast: Materijali i hemijske tehnologije, za period 2010-2014. godine, razvio je nov pristup u projektovanju tehnologije plastične prerade u topлом stanju pri izradi otkovka nosača za potrebe namenske industrijе.

Numeričkom simulacijom procesa kovanja, kreiran je model gotovog proizvoda, kao osnove za definisanje modela završne gravure i izbor geometrije polaznog oblika za završno kovanje. Pri tome se koristi alat CATIA V5 R17. Model završne gravure formiran je uz poštovanje konstruktivnih preporuka za kovanje osnosimetričnih otkovaka. Pri tome su određeni: podeona ravan, oblik venca, radijusi i nagibi zaobljenja i sl. Određeni su ulazni podaci i izvršena je numerička simulacija procesa kovanja i određeni ključni izlazni parametri procesa, korišćenjem softvera Simufact.forming 11, koji poseduje FIN-Kragujevac. Modeliranjem u više koraka, analizom deformacionih, naponskih i temperaturnih polja, obezbeđeno je pouzdano popunjavanje kovačke gravure i izrada kvalitetnog otkovka. Realizovana metodologija ima univerzalnu primenu u oblasti toplog kovanja metala, sa brojnim prednostima u odnosu na klasično projektovanje u oblasti postizanja kvaliteta proizvoda i umanjenja troškova proizvodnje.



Direktor Fabrike otkovaka

Milomir Sekulić, dipl.maš.ing.

**Naučnom veću Instituta za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina,  
Beograd**

**Predmet:** Recenzija Tehničkog rešenja, kategorije M 84, (nov način upotrebe postojećeg proizvoda-bitno poboljšani postojeći proizvod i tehnologije)

**Naziv:** **UNAPREĐENJE PROJEKTOVANJA TEHNOLOGIJE PLASTIČNE PRERADE  
U TOPLOM STANJU DELOVA OD AL-LEGURA KORIŠĆENJEM  
SAVREMENIH POSTUPAKA NUMERIČKOG MODELIRANJA**

**Projekat iz koga proizilazi tehničko rešenje kao rezultat:** Razvoj tehnoloških postupaka livenja pod uticajem elektromagnetnog polja i tehnologije plastične prerade u topлом stanju četvorokomponentnih legura Al-Zn za specijalne namene

**Boj projekta:** TR-34002

**Period realizacije:** 2010-2014.godine

**Nosilac realizacije projekta:** Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd (ITNMS)

**Učesnik u realizaciji projekta:** Fakultet inženjerskih nauka u Kragujevcu (FINKG)

**Korisnik tehničkog rešenja:** Koncern „Petar Drapšin“ AD Fabrika otkovaka u Mladenovcu

**Rukovodilac projekta:** Prof. dr Zvonko Gulišija, dipl.ing.met. (ITNMS)

**Autori:**

Prof. dr Zvonko Gulišija, dipl.ing.met., ITNMS  
Prof. dr Milentije Stefanović, dipl.ing.maš., FINKG  
Prof. dr Vesna Mandić, dipl.ing.maš., FINKG  
Prof. dr Srbislav Aleksandrović, dipl.ing.maš., FINKG  
Dr Zoran Janjušević, dipl. ing. met., ITNMS  
Mr Marija Mihailović, dipl.ing.met., ITNMS  
Mr Aleksandra Patarić, dipl. ing. met., ITNMS  
Istr. sarad. Milan Đorđević, dipl. ing.maš. FINKG

**Mišljenje recenzenta**

Tehničko rešenje pod nazivom: **UNAPREĐENJE PROJEKTOVANJA TEHNOLOGIJE PLASTIČNE PRERADE U TOPLOM STANJU DELOVA OD AL-LEGURA KORIŠĆENJEM SAVREMENIH POSTUPAKA NUMERIČKOG MODELIRANJA** predstavljeno je na 20 stranica sa 12 slika i 3 tabele. Tehničko rešenje je uredjeno u skladu sa zahtevima definisanih „Pravilnikom o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata, Sl. Glasnik, RS 38|2008. Sadržaj rešenja prikazan je kroz sledeće celine:

- Predmet Tehničkog rešenja
- Osnove predloženog rešenja
- Toplo kovanje Al-legura

- Numerička simulacija procesa kovanja
- Kreiranje CAM modela
- Primenljivost predloženog rešenja

U **Predmetu** Tehničkog rešenja navodi se da je cilj ovih aktivnosti doprinos u razvoju savremenih metoda projektovanja tehnologije toplog kovanja Al-legura.

U **drugom delu** u autori daju osnove predloženog rešenja, koje podrazumeva korišćenje savremenih principa virtualne proizvodnje u oblasti projektovanja tehnologije toplog kovanja Al-legura. Naveden je značaj modernih CAD/CAM/CAE sistema u oblasti konstrukcije, izrade i inženjeringu proizvodnje, kao moćnih alata konkurentnog inženjerstva, u skladu sa novim konceptima savremenog inžinjeringu, brze izrade protipova i uvođenja u proizvodnju.

U okviru poglavlja **Toplo kovanje Al-legura** naveden je pregled legura Al za kovanje, kao i specifičnosti konstrukcije alata za toplu obradu. Posebno se ukazuje na uticaj brzine deformacije na ojačanje legura na visokim temperaturama.

U okviru poglavlja **Numerička simulacija procesa kovanja** prikazan je postupak kreiranja modela gotovog proizvoda, kao osnove za definisanje modela završne gravure i izbor geometrije polaznog oblika za završno kovanje. Pri tome se koristi alat CATIA V5 R17. Model završne gravure formiran je uz poštovanje konstruktivnih preporuka za kovanje osnosimetričnih otkovaka. Pri tome su određeni: podeona ravan, oblik venga, radijusi i nagibi zaobljenja i sl. Navedene su karakteristike softvera Simufact.forming 11, definisani ulazni podaci i opisan rad u ovom softveru. Zatim je izvršena numerička simulacija procesa kovanja i određeni su ključni izlazni parametri procesa.

U sledećem poglavlju je pokazani su osnovi CAM tehnologija kao i metodologija generisanja NC kodova i izradi gravura kovačkih alata.

U delu **Primenljivost predloženog rešenja**, detaljno su navedeni: opis, tehničke karakteristike i efikasnost primene navedenog rešenja. Autori navode mogućnost univerzalne primene ostvarene metodologije u oblasti toplog kovanja metala, sa brojnim prednostima u odnosu na klasično projektovanje u oblasti postizanja kvaliteta proizvoda i umanjenja troškova proizvodnje. Takođe, navodi se i usklađenost sadržaja tehničkog rešenja i planiranih radova u okviru rada na projektu po aktivnostima 6, 7 i 8, koje se odnose na: realizovan je CAD 3D modela otkovaka nosača, kao pripreme za ulaz u numeričko modeliranje procesa kovanja, izvršena je dalja karakterizacija materijala otkovka, uzimajući u obzir realne vrednosti brzine deformacije, temperature komada i alata, kontaktne uslove i sl. Sprovoden je postupak numeričkog modeliranja procesa kovanja, pouzdano definisana geometrije alata za kovanje.

Tehničko rešenje poboljšanja projektovanja tehnologije toplog kovanja dela-nosača za potrebe namenske industrije jasno prezentira oblast na koju se tehničko rešenje odnosi, način rešavanja mogućih problema korišćenjem postupaka numeričkog modeliranja, razvojnu poziciju predloženog rešenja u okviru savremenih postupaka projektovanja novih tehnologija i sl. Izloženi materijal je pregledan i koncizno izložen. Na osnovu izloženog preporučujem da se tehničko rešenje prihvati.

12.12.2013.

RECENTZENT

Drag. Lazarević

Prof. dr Dragoljub Lazarević, redovni profesor  
Mašinski fakultet u Nišu

**Naučnom veću Instituta za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina,  
Beograd**

**Predmet:** Recenzija Tehničkog rešenja, kategorije M 84, (nov način upotrebe postojećeg proizvoda-bitno poboljšani postojeći proizvod i tehnologije)

**Naziv:** **UNAPREĐENJE PROJEKTOVANJA TEHNOLOGIJE PLASTIČNE PRERADE  
U TOPLOM STANJU DELOVA OD AL-LEGURA KORIŠĆENJEM  
SAVREMENIH POSTUPAKA NUMERIČKOG MODELIRANJA**

**Projekat iz koga proizilazi tehničko rešenje kao rezultat:** *Razvoj tehnoloških postupaka livenja pod uticajem elektromagnetskog polja i tehnologije plastične prerade u topлом stanju četvorokomponentnih legura Al-Zn za specijalne namene*

**Boj projekta:** TR-34002

**Period realizacije:** 2010-2014.godine

**Nosilac realizacije projekta:** Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd (ITNMS)

**Učesnik u realizaciji projekta:** Fakultet inženjerskih nauka u Kragujevcu (FINKG)

**Rukovodilac projekta:** Prof. dr Zvonko Gulišija, dipl.ing.met. (ITNMS)

**Autori:**

Prof. dr Zvonko Gulišija, dipl.ing.met., ITNMS  
Prof. dr Milentije Stefanović, dipl.ing.maš., FINKG  
Prof. dr Vesna Mandić, dipl.ing.maš., FINKG  
Prof. dr Srbislav Aleksandrović, dipl.ing.maš., FINKG  
Dr Zoran Janjušević, dipl. ing. met., ITNMS  
Mr Marija Mihailović, dipl.ing.met., ITNMS  
Mr Aleksandra Patarić, dipl. ing. met., ITNMS  
Istr. sarad. Milan Đorđević, dipl. ing.maš. FINKG

**Mišljenje recenzenta**

Tehničko rešenje pod nazivom: **UNAPREĐENJE PROJEKTOVANJA TEHNOLOGIJE PLASTIČNE PRERADE U TOPLOM STANJU DELOVA OD AL-LEGURA KORIŠĆENJEM SAVREMENIH POSTUPAKA NUMERIČKOG MODELIRANJA** predstavljeno je na 20 stranica sa 12 slika i 3 tabele. Tehničko rešenje je uredjeno u skladu sa zahtevima definisanih „Pravilnikom o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata, Sl. Glasnik, RS 38|2008.

Sadržaj rešenja prikazan je kroz sledeće celine:

- Osnove predloženog rešenja
- Toplo kovanje Al-legura
- Numerička simulacija procesa kovanja
- Kreiranje Cam modela
- Primenljivost predloženog rešenja

U prvom delu autori daju osnove predloženog rešenja, koje podrazumeva korišćenje savremenih softvera u oblasti projektovanja tehnologije toplog kovanja Al-legura. Naveden je značaj modernih CAD/CAM/CAE sistema u oblasti konstrukcije, izrade i inženjeringu proizvoda, kao moćnih alata konkurentnog inženjerstva, u skladu sa novim konceptima virtuelne proizvodnje, brze izrade protipova i uvođenja u proizvodnju.

U okviru poglavlja koje se odnosi na toplo kovanje Al-legura navedene su specifičnosti prerade u topлом ovih legura uzimajući u obzir tehnološka ograničenja. Posebno je značajno pouzdano održavanje temperature na kojoj se vrši obrada.

U okviru poglavlja **Numerička simulacija procesa kovanja**, prikazan je postupak kreiranja modela gotovog proizvoda, kao osnove za definisanje modela završne gravure i izbor geometrije polaznog oblika za završno kovanje. Pri tome se koristi alat CATIA V5 R17. Model završne gravure formiran je uz poštovanje konstruktivnih preporuka za kovanje osnosimetričnih otkovaka. Pri tome su određeni: podeona ravan, oblik venca, radijusi i nagibi zaobljenja i sl. Određeni su ulazni podaci i izvršena je numerička simulacija procesa kovanja i određeni ključni izlazni parametri procesa, korišćenjem softvera Simufact.forming 11. Modeliranjem u više koraka, analizom deformacionih, naponskih i temperaturnih polja, obezbeđeno je pouzdano popunjavanje kovačke gravure i izrada kvalitetnog otkovka.

U sledećem poglavlju je pokazana je metodologija generisanja NC kodova za izradu kovačkog alata.

U delu **Primenljivost predloženog rešenja**, detaljno su navedeni: opis, tehničke karakteristike i efikasnost primene navedenog rešenja. Autori navede mogućnost univerzalne primene ostvarene metodologije u oblasti toplog kovanja metala, sa brojnim prednostima u odnosu na klasično projektovanje u oblasti postizanja kvaliteta proizoda i umanjenja troškova proizvodnje. Takođe, navodi se i usklađenost sadržaja tehničkog rešenja i planiranih aktivnosti u okviru rada na projektu, i to:

a) Realizovan je CAD 3D model otkovaka nosača, kao priprema za ulaz u numeričko modeliranje procesa kovanja (aktivnost 6-7, faza III Plana istraživanja)

b) Izvršena je dalja karakterizacija materijala otkovka, uzimajući u obzir realne vrednosti brzine deformacije, temperature komada i alata, kontaktne uslove i sl. Sprovoden je postupak numeričkog modeliranja procesa kovanja, pouzdano definisana geometrije alata za kovanje (aktivnost 6,7,8 , faza III Plana istraživanja).

Tehničko rešenje poboljšanja projektovanja tehnologije toplog kovanja otkovka nosača za potrebe namenske industrije, jasno prezentira oblast na koju se tehničko rešenje odnosi, način reševanja mogućih problema korišćenjem softvera, razvojnu poziciju predloženog rešenja u okviru savremenih postupaka projektovanja novih tehnologija i sl. Ilustrativni prikazi su detaljni, korektno je opisana procedura projektovanja. Na osnovu izloženog preporučujem da se Tehničko rešenje prihvati.

10.12.2013.

RECENTZENT

Dr Miroslav Plančak, redovni profesor u penziji  
Fakultet tehničkih nauka  
Novi Sad

