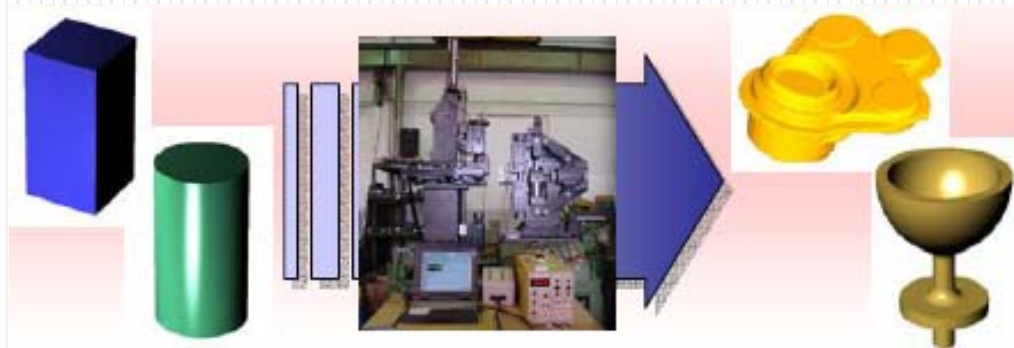
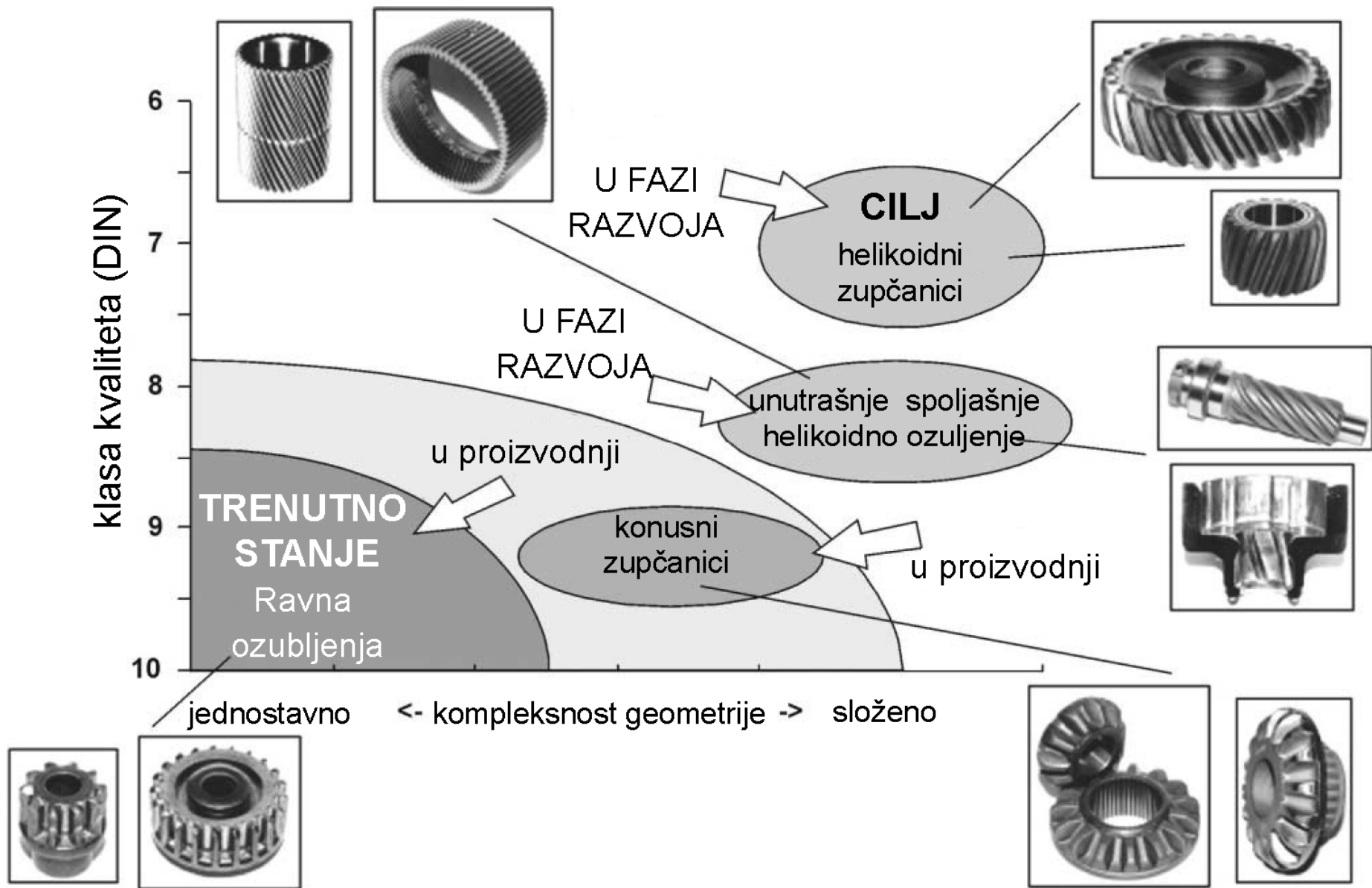


NAPREDNE METODE TEHNOLOGIJE PLASTIČNOG DEFORMISANJA

dr Mladomir Milutinović, vanredni profesor
dr Marko Vilotić, docent



Net Shape i Near Net Shap Forming



TAČNOST – KVALITET DELOVA DOBIJENIH DEFORMISANJEM

	Vrsta obrade	Dimenzija	ISO - kvalitet / IT														
			5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
Deformisanje	kovanje u kalupu	prečnik								■	■	■	■	■	■	■	■
	precizno kovanje	prečnik		□	□	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■
	toplo istiskivanje	prečnik									■	■	■	■	■	■	■
	hladno istiskivanje	prečnik		□	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■
	utiskivanje	debljina				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	precizno valjanje	debljina	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	valjanje	debljina				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	dub. izv. sa prom. deb.zida	debljina	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	vučenje šipki, cevi, žice	prečnik									■	■	■	■	■	■	■
	duboko izvlačenje	prečnik										■	■	■	■	■	■
Rezanje	odsecanje	prečnik									■	■	■	■	■	■	■
	fino odsecanje	prečnik		□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	struganje	prečnik		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	glodanje	debljina		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	okruglo brušenje	prečnik	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Hladno deformisanje
±10 (5) µm

Mašinska obrada
– brušenje
±1 µm

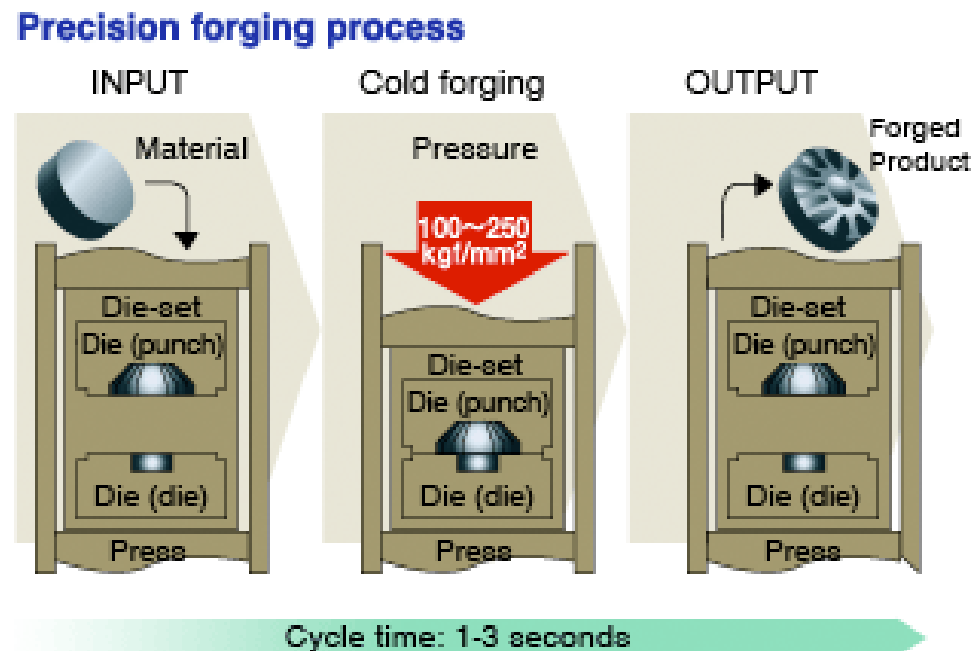
postiže se uobičajenim postupkom
 postiže se posebnim merama
 postiže se samo u izuzetnim slučajevima

HRAPAVOST POVRŠINA

Postupak	Rz (μm)										Ra (μm)														
	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	0,5	1	2	3	4	6	8	10	12	15	20	25	30
toplo istiskivanje																									
polutoplo istiskivanje																									
polutoplo/hladno istiskivanje																									
hladno istiskivanje																									
duboko izvlačenje sa promenom deb. zida																									
sabijanje																									
redukovanje preseka																									

- pre odstranjivanja nosača mazivnog sredstva
- nakon odstranjivanja nosača mazivnog sredstva

- **80% cene** delova dobijenih deformisanjem može biti **posledica naknadne obrade**
 - Da bi se smanjili troškovi i gubitak materijala, geometrija delova nakon operacija oblikovanja **treba biti što bliža finalnom obliku**
 - Kod hladnog kovanja u zatvorenom kalupu elastične deformacije alata su **10 puta veće od zahtevane tolerancije dela**
 - **Net-shape i Near-net shape** tehnologije
- Precizno oblikovanje (precise forging)

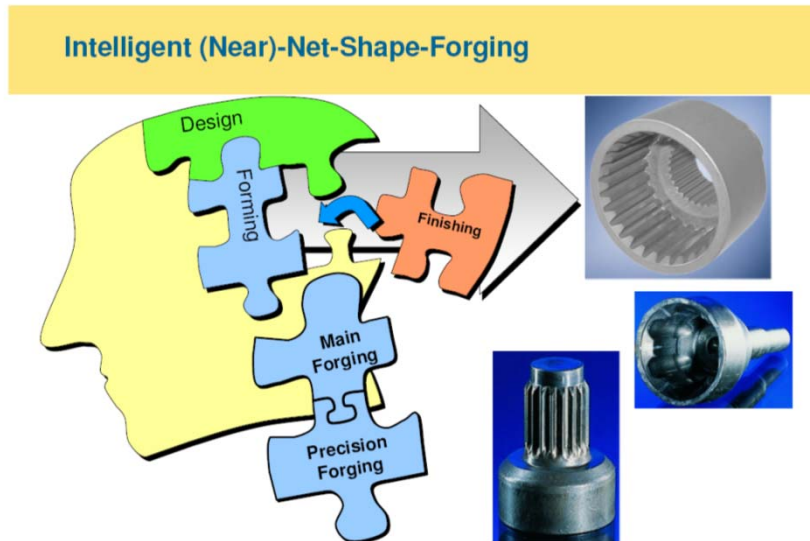


“NET SHAPE” TEHNOLOGIJE OBLIKOVANJA

“Net shape forming” (NSF) obuhvata grupu metoda obrade deformisanjem kojima se dobijaju delovi spremni za ugradnju, bez potrebe za naknadnom obradom funkcionalnih površina. NSF tehnologije omogućavaju izradu delova visokog kvaliteta i povećane tačnosti (IT5 – IT7).

Ove tehnologije se baziraju na unapređenim (poboljšanim) metodama hladnog zapreminskog deformisanja, u prvom redu **hladnog istiskivanja, valjanja i preciznog kovanja (kovanje u zatvorenom kalupu)**.

Osnovne pretpostavke za uspešnu primenu NSF-a:



- *Kvalitetan ulazni materijal polufabrikata*
- *Tehnologičan komad*
- *Tolerancije u skladu sa potrebama funkcije dela*
- *Korektna izrada polufabrikata*
- *Izbor optimalnog broja faza deformisanja i naknadnih obrada*
- *Ispravan izbor i primena maziva*
- *Pravilna konstrukcija alata, posebno sa stanovišta minimalnih elastičnih deformacija*
- *Pravilan izbor materijala alata i njegova termička obrada*
- *Odgovarajuća mašina koja poseduje visoku krutost i pravilno vođenje*

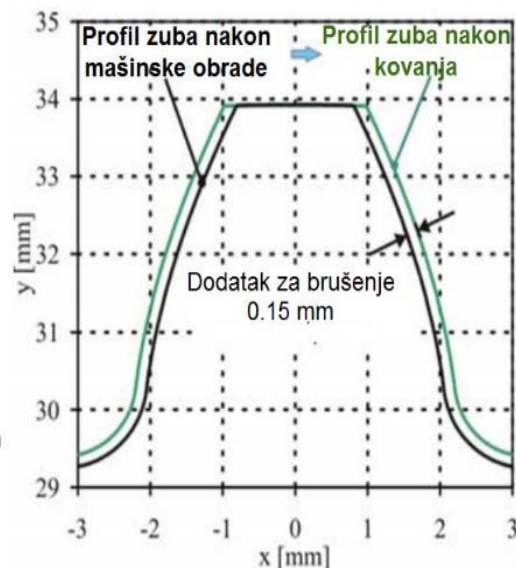
“NEAR NET SHAPE” TEHNOLOGIJE OBLIKOVANJA

Near Net Shape Forming (NNSF) postupcima izrađuju se delovi čije su dimenzije veoma bliske finalnim dimenzijama, ali je neophodna dodatna mehanička obrada nakon operacija deformisanja, najčešće u vidu finog struganja ili brušenja funkcionalnih površina.



Karakteristike zupčanika

Modul 2
Broj zuba 37
Ugao nagiba zuba 20°
Prečnik zupčanika 63,85 mm
Dodatak za mašinsku obradu 0,15 mm



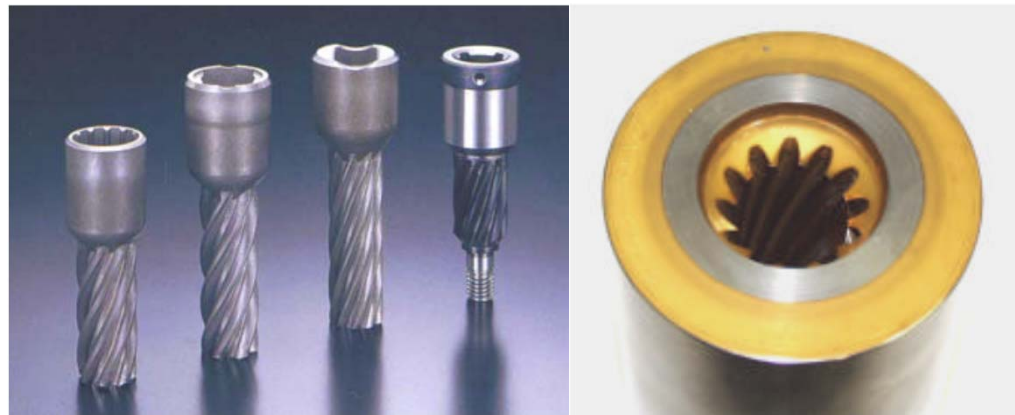
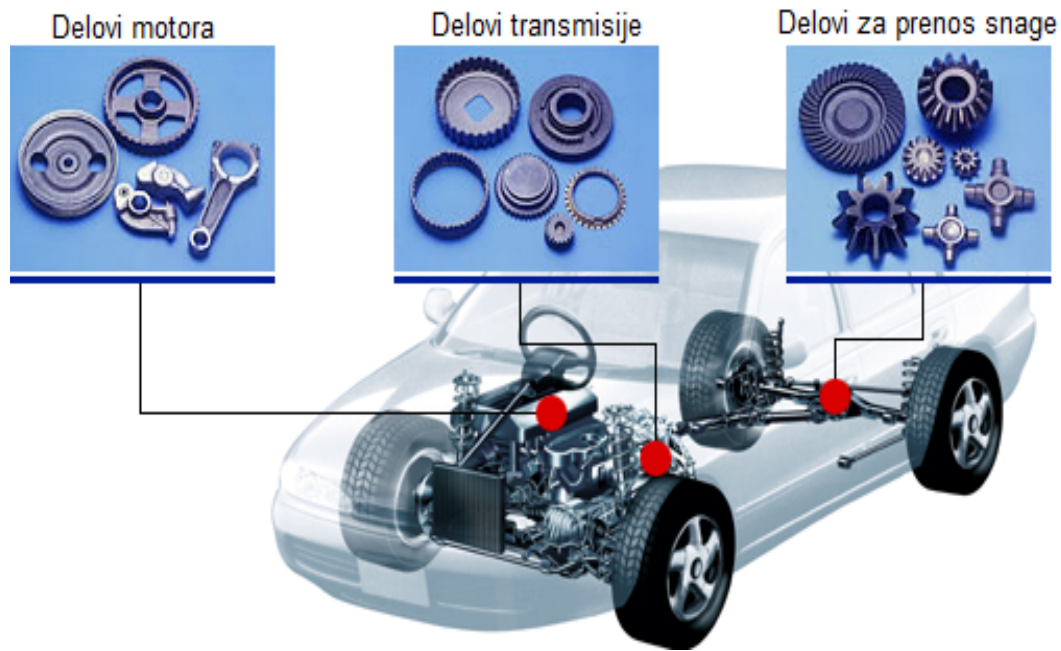
Potrebna je dorada samo
funkcionalnih površina
brušenjem!!!!

Kod otkovaka koji se izrađuju preciznim kovanjem (topla i polutopla obrada) dodaci za mašinsku obradu manji su nekoliko puta u odnosu na delove dobijene toplim kovanjem u otvorenom alatu.

Net Shaper



Delovi dobijeni NSF tehnologijama



Net shape cold forging parts

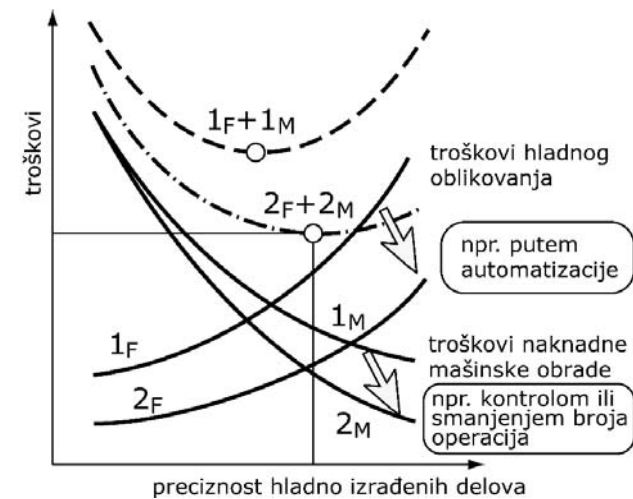
Mesečna proizvodnja 300.000 komada

Delovi dobijeni NSF i NNSF tehnologijama

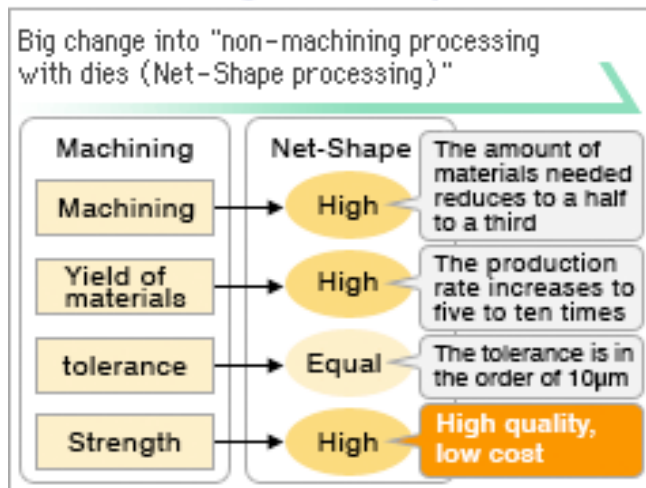


Benefiti primene NSF i NNSF

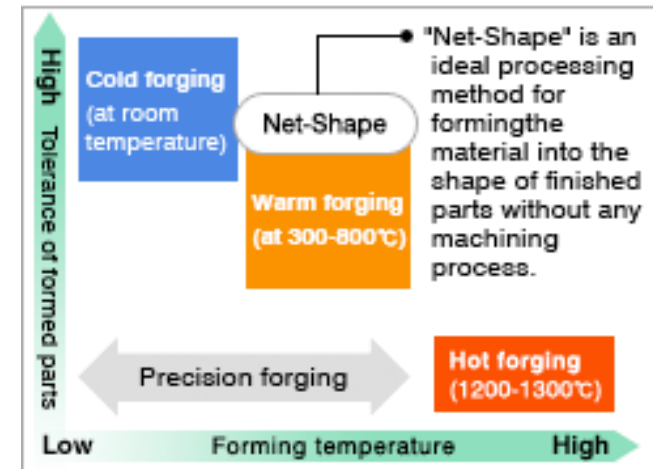
- Značajni tehno-ekonomski efekti
- Postupak preciznog kovanja omogućava redukciju konačne cene proizvoda za 60 do 70%, i radne snage do 80% u odnosu na konvencionalno kovanje
- Poboľšavaju se ekološki aspekti proizvodnje
- Veća produktivnost i stabilnost procesa
- Smanjuje se škart i fluktuacija mehaničko-geometrijskih karakteristika proizvoda.
- Manje je habanje i duži radni vek alata



From machining to Net-Shape



Ideal processing method



Hladno, polu-toplo i toplo kovanje

Cold, Warm, & Hot Forging



ADVANTAGES

- | | | |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• precision process (tight tolerances)• improved part strength• better surface finish• material conservation | <ul style="list-style-type: none">• combines advantages of cold & hot forging• better formability• lower forming pressures• higher deformation ratio• no annealing required | <ul style="list-style-type: none">• can forge complex shapes• good formability• low forming pressures• can forge parts of higher weight and volume |
|---|---|---|

DISADVANTAGES

- | | | |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• high forming pressures• several pre-forming steps needed• annealing steps may be required during process• low formability | <ul style="list-style-type: none">• high tooling costs• tooling must withstand forming pressures as well as high temperatures | <ul style="list-style-type: none">• formation of scale• decreased accuracy (larger tolerances) |
|--|--|---|

Hladno, polu-toplo i toplo kovanje

<i>Criteria</i>	<i>Hot</i>	<i>Warm</i>	<i>Cold</i>
Weight of the Workpiece	<60 kg	<10 kg	<2 kg
Steel Grade	Any	C desirable Other alloying elements < 10 %	Low alloyed steels (C<0.45%, other <3%)
Shape	Any without undercut	Rotationally- symmetrical without undercut	Rotationally- symmetrical without undercut
Normally achievable surface quality R	100 µm	50 µm	10 µm
Intermediate Treatments	Not necessary	Normally no surface treatment	Annealing and phosphating
Deformation Pressure	Low	Medium	High
Energy Costs	High	Medium	Low
Tolerances	Generous	Close	Closest
Tooling costs	Lowest	High	High
Tool life (pieces)	5 000 – 10 000	10 000 -20 000	20 000 – 50 000

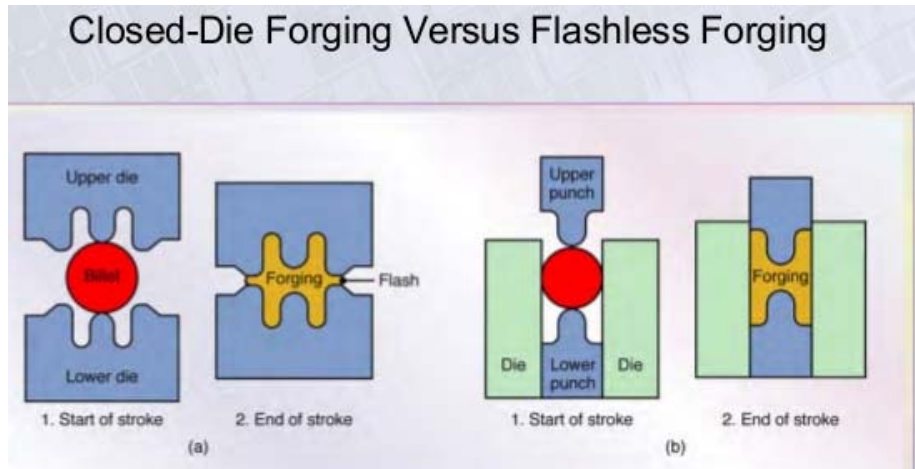


- a) *toplo kovanje (konvencionalno)*
- b) *toplo kovanje na automatima*
- c) *hladno kovanje*

Kada se precizno kovanje izvodi u hladnom stanju, kovački nagibi i dodaci za mašinsku obradu se izostavljaju.

Mehaničke osobine finalnih delova su znatno bolje u poređenju sa onima dobijenim konvencionalnim kovanjem, jer se usled izostanka mašinske obrade, mikrostruktura površinskog sloja ne narušava!

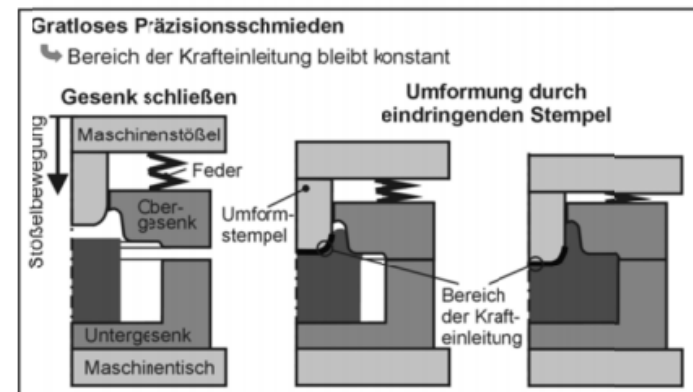
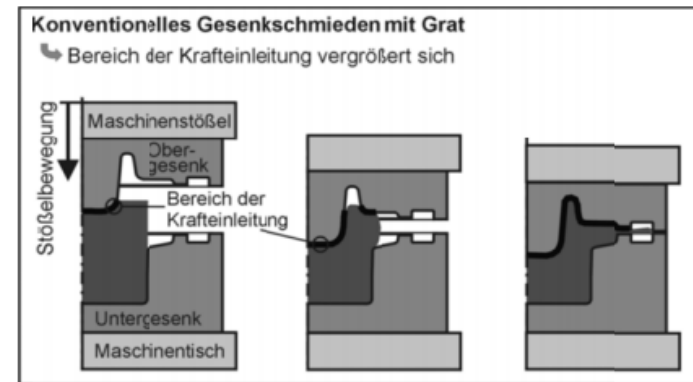
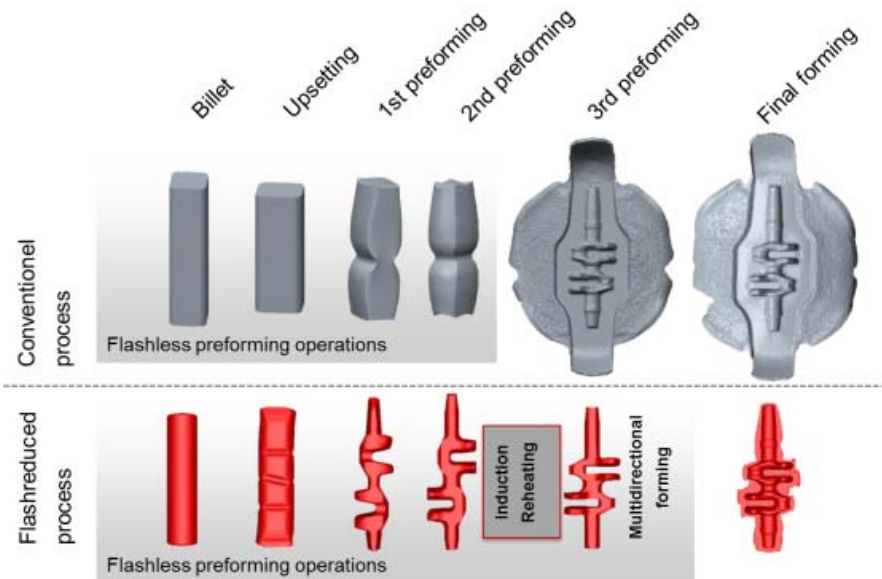
Precizno vs klasično kovanje



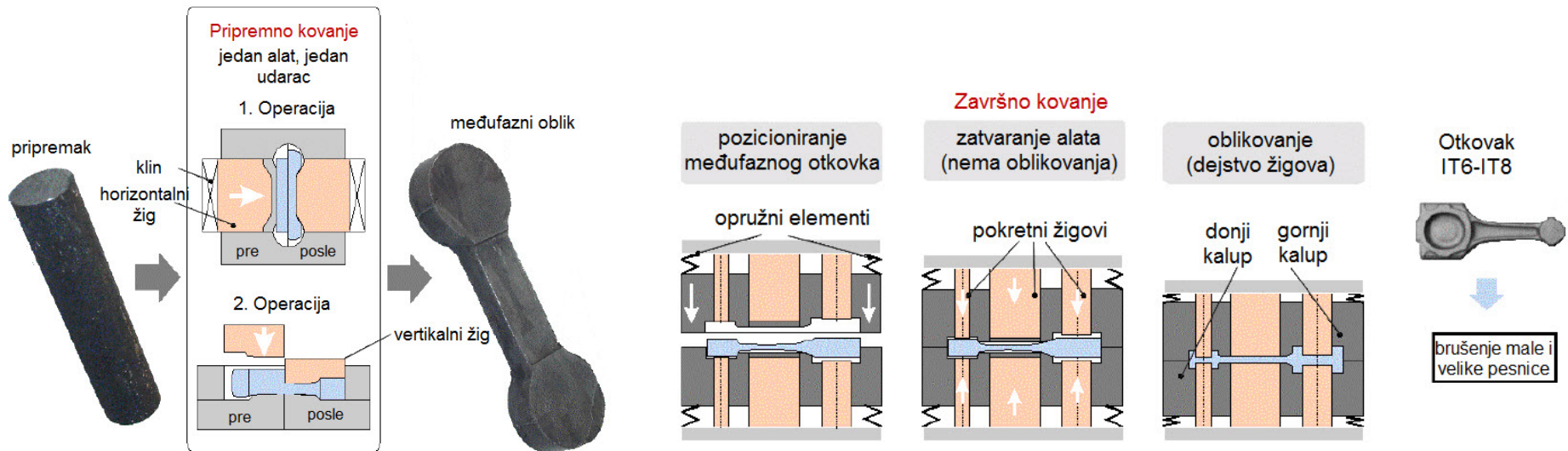
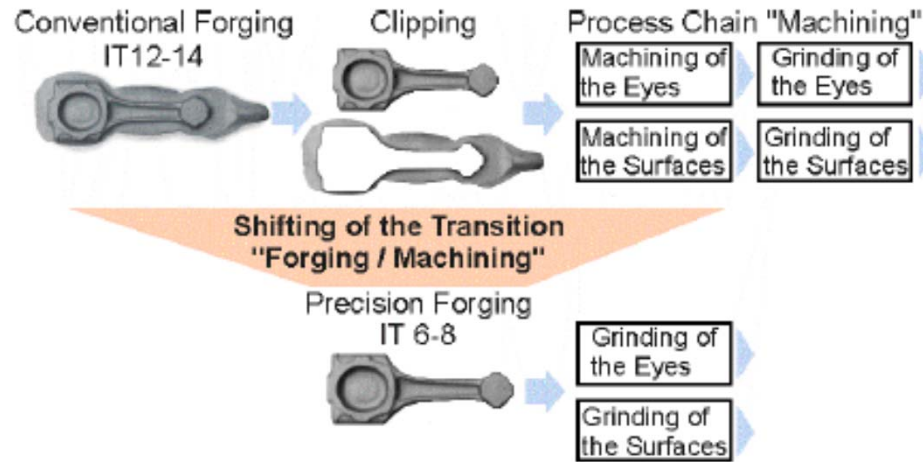
Pod preciznim kovanjem podrazumeva se postupak kovanja u zatvorenom alatu gde se dobijaju otkovci bez **venca (srha)** obradom u hladnom ili polutoplom stanju.

1. Fizički uslovi
 - sila izbacivanja (velika)
 - čvrstoća otkovaka (velika)
 - habanje (malo)
2. Ekonomski uslovi

Srh: 20-40% mase otkovka

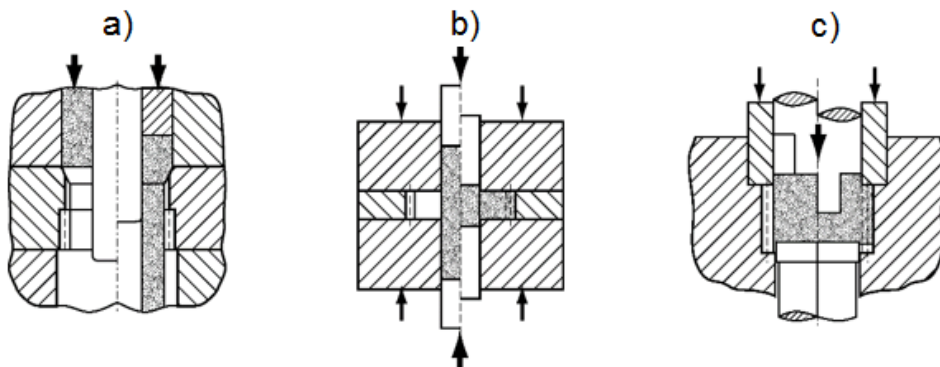
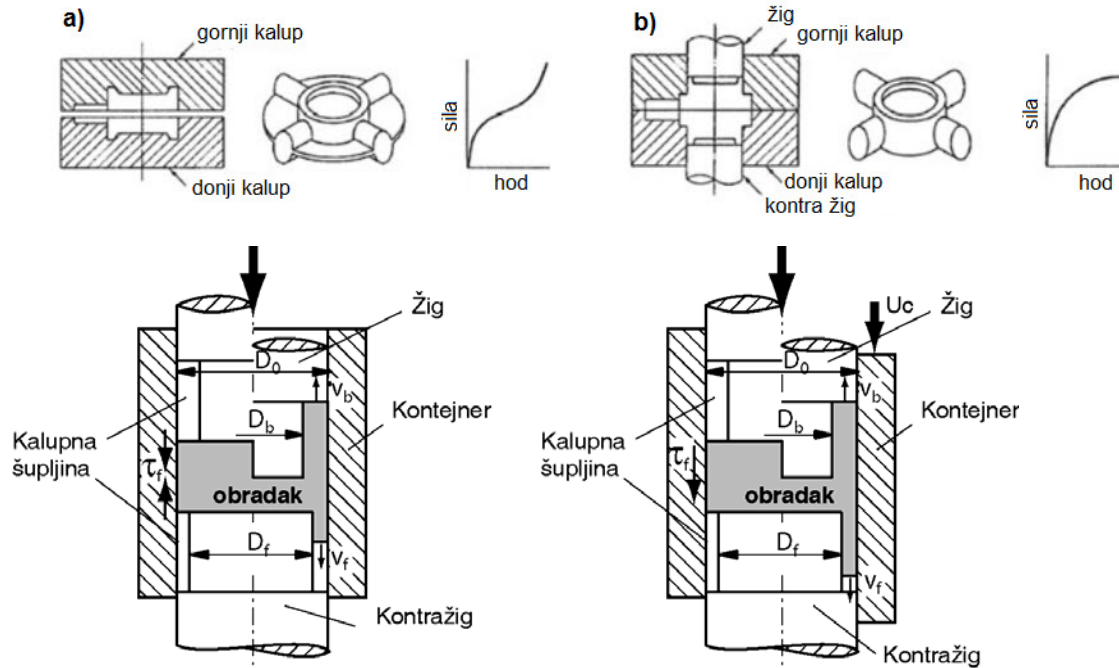


Precizno vs klasično kovanje



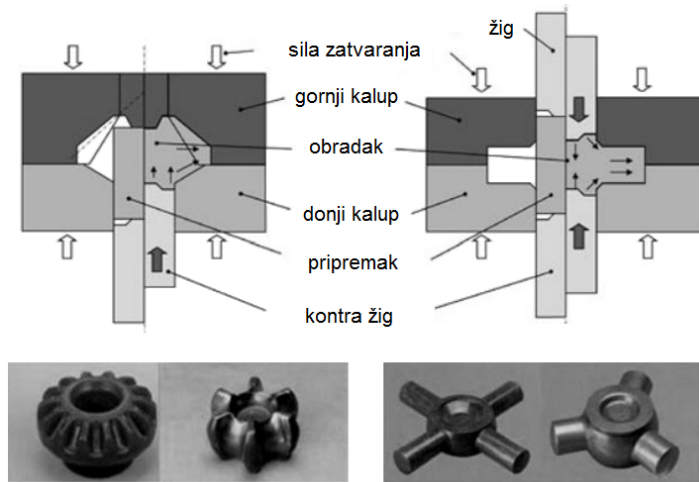
Koncepcijska rešenja alata za izradu NSF i NNSF delova

Redukcija pritiska i sila u procesu!!!!

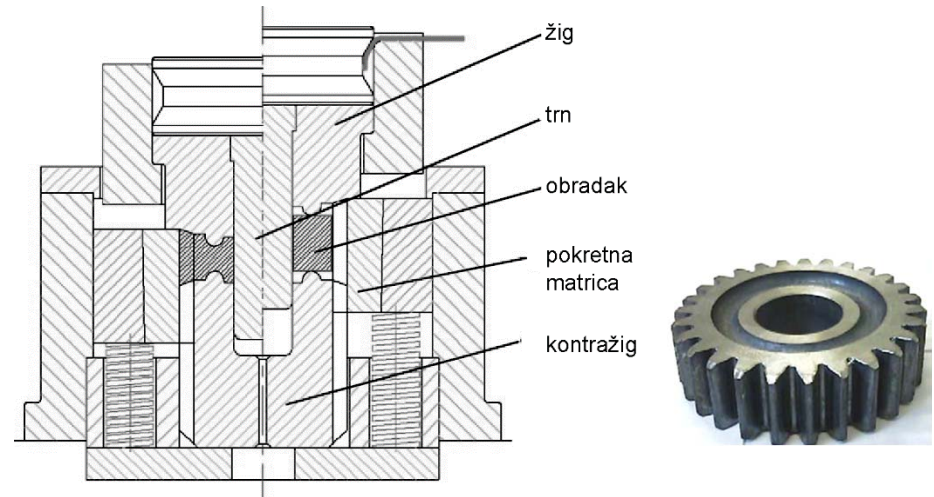


- a) istosmerno,
- b) radijalno i
- c) suprotnosmerno istiskivanje

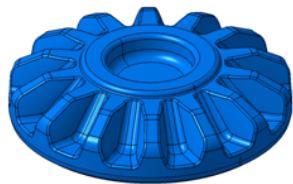
Koncepcijska rešenja alata za izradu NSF i NNSF delova



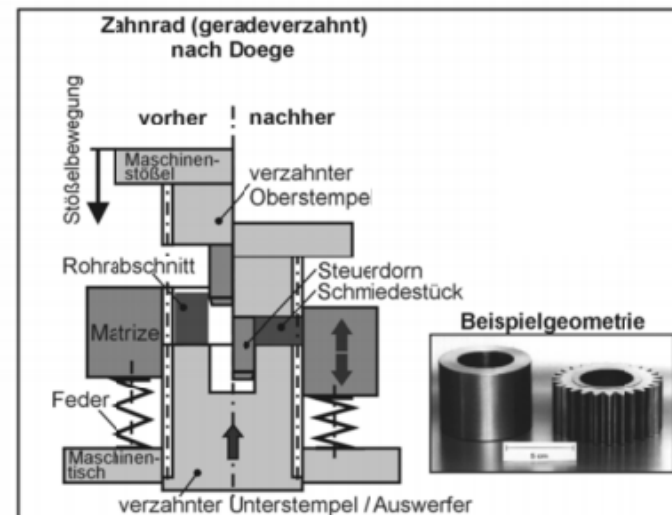
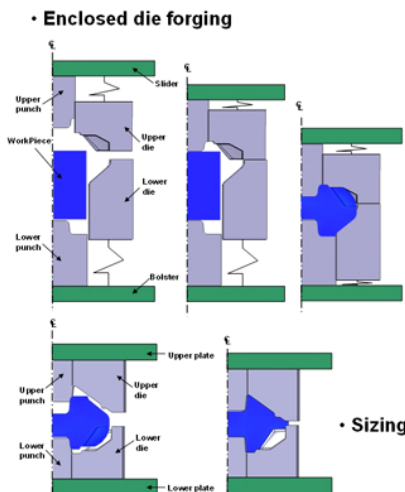
Alati za precizno kovanje sa jednim i dva pokretna žiga



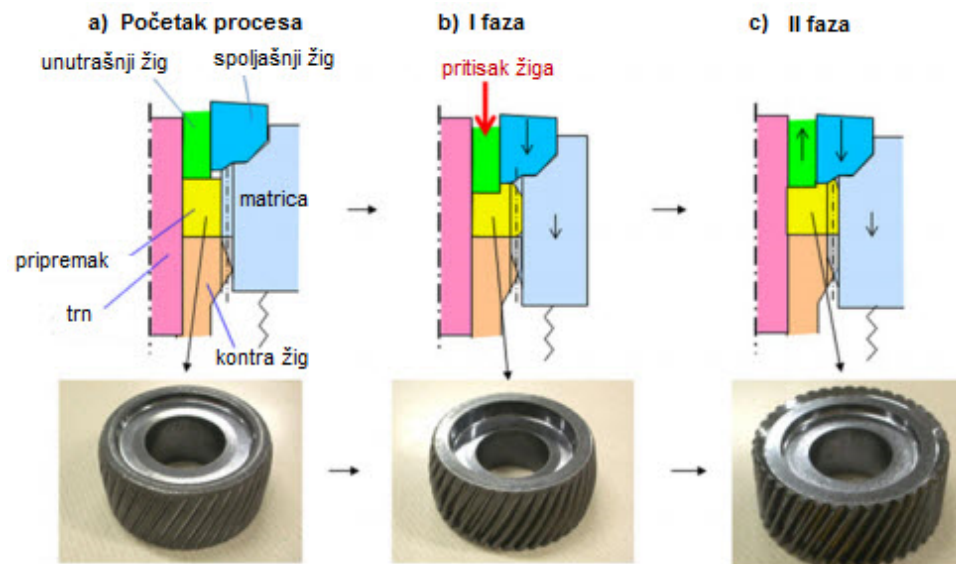
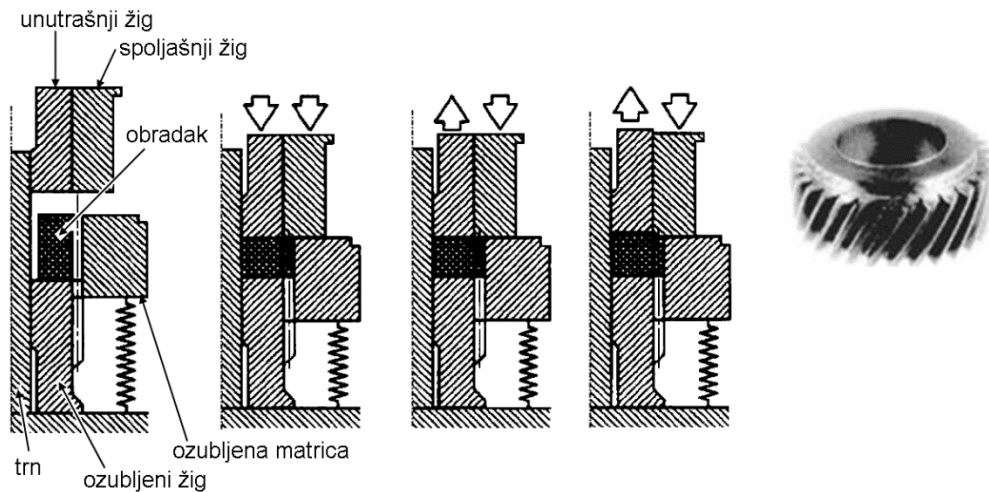
Alat sa pokretnom matricom za izradu zupčanika sa pravim zubima



• Product model



Koncepcijska rešenja alata za izradu NSF i NNSF delova

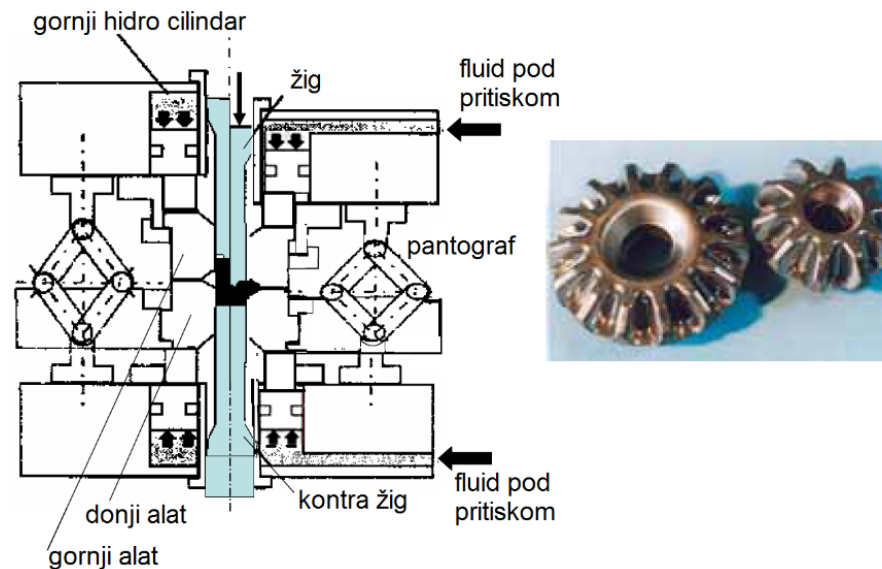


Šema alata za istiskivanje cilindričnih zupčanika sa kosim zubima

Koncepcijska rešenja alata za izradu NSF i NNSF delova

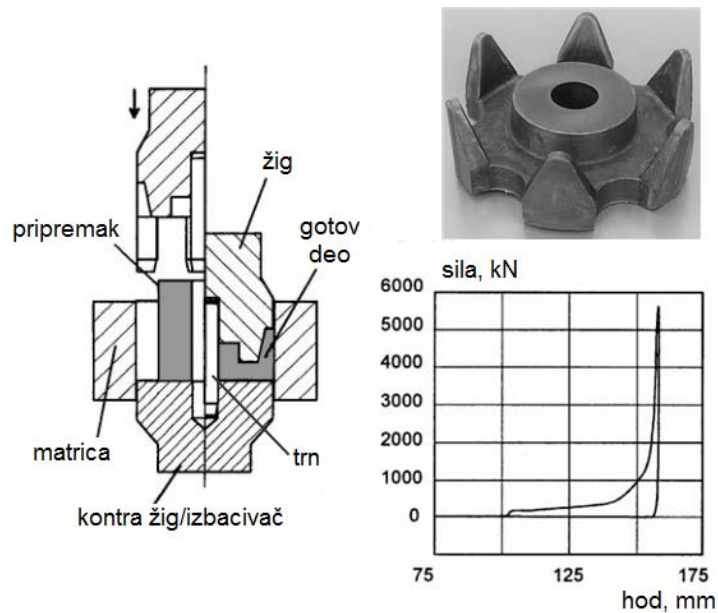


Alat za izradu cilindričnog zupčanika sa helikoidnim zubima



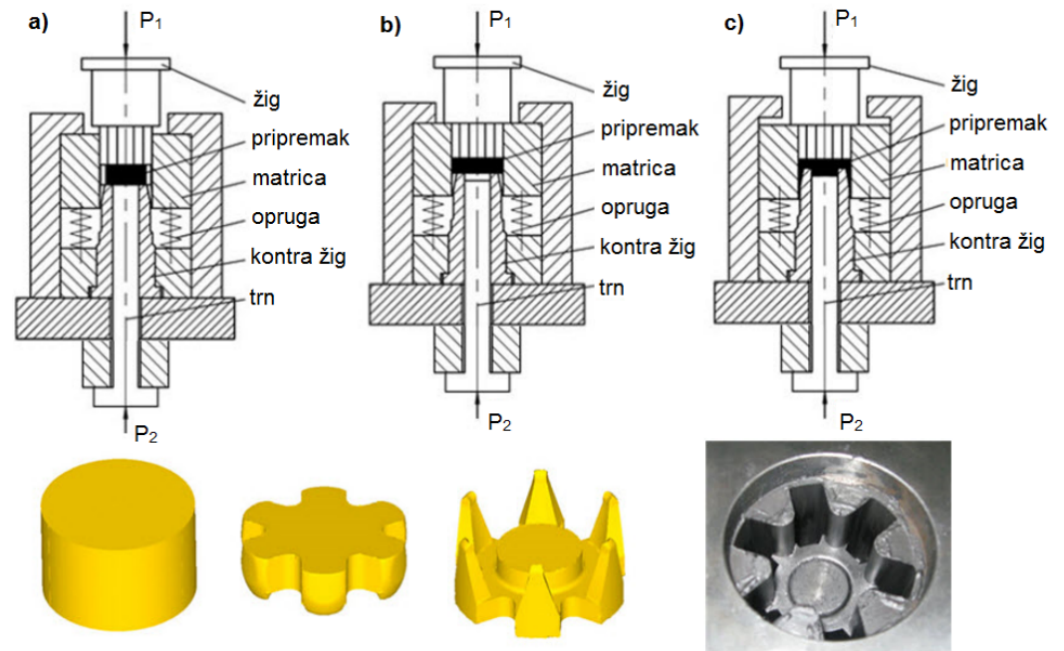
Alat sa pantografskim mehanizmom za izradu konusnog zupčanika

Koncepcijska rešenja alata za izradu NSF i NNSF delova



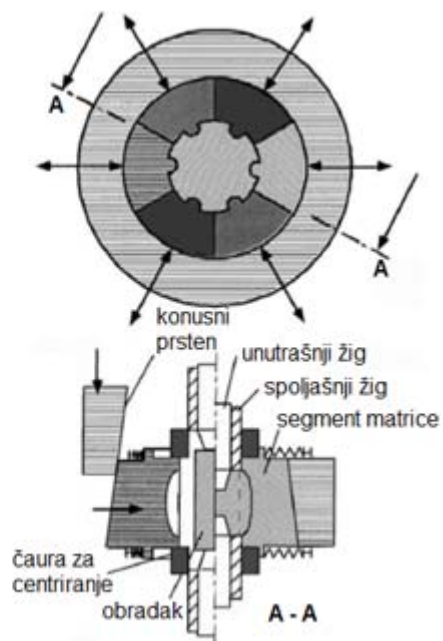
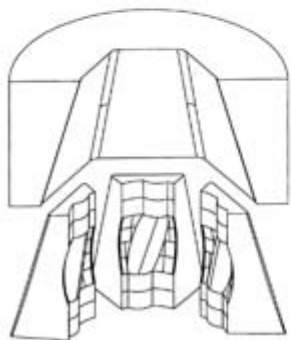
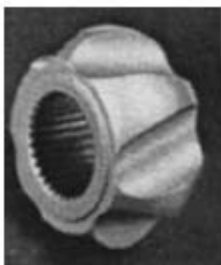
*Alat za toplo izotermalno kovanje
kandže jezgra alternatora (1050g)
IT7-IT8*

IFUM - Hanover (Institut für
Umformtechnik und Umformmaschinen)

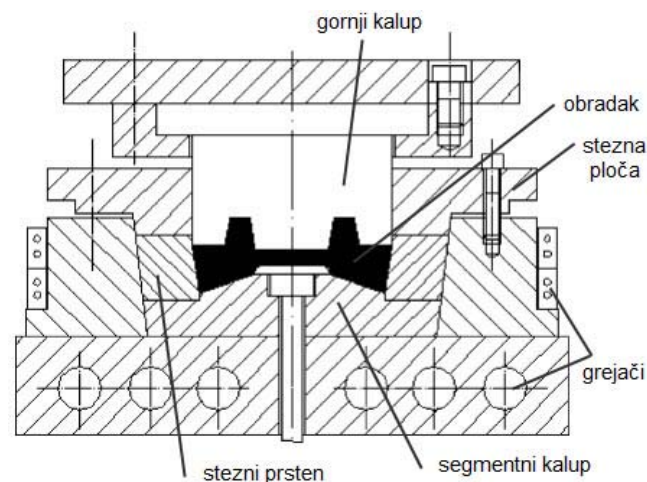


*Šema alata za dvofazno kovanje kandže
jezgra alternatora*

Koncepcijska rešenja alata za izradu NSF i NNSF delova

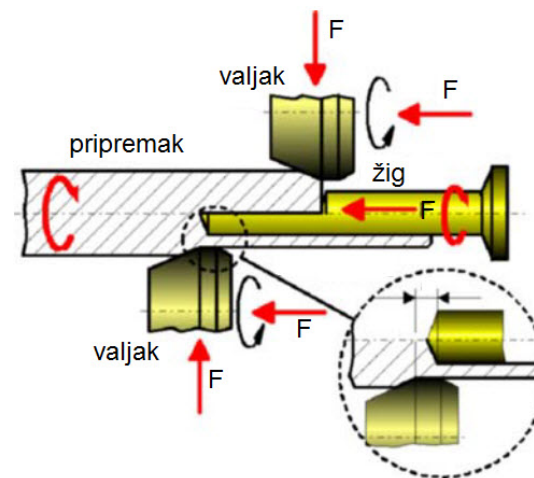
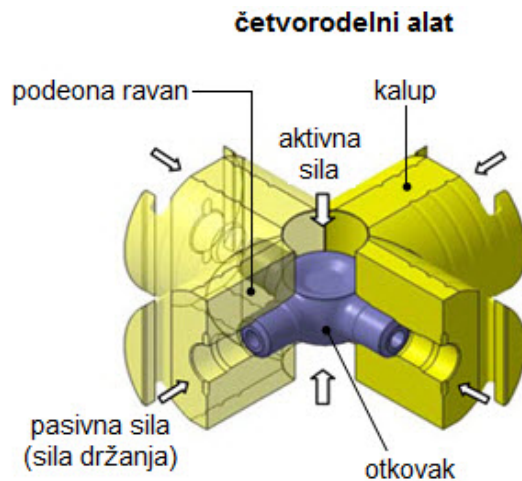
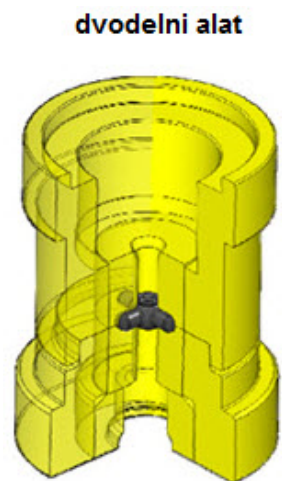


Višedelni alat za hladno istiskivanje helikoidnog zupčanika



Segmentni kalup za toplo izotermalno kovanje rotora

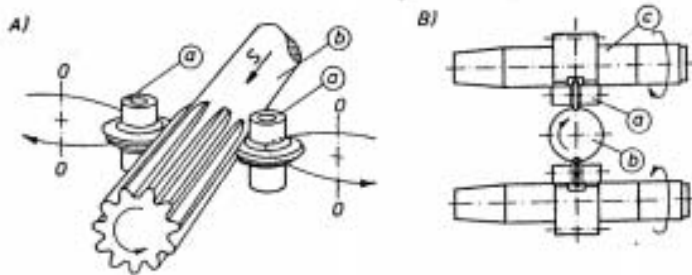
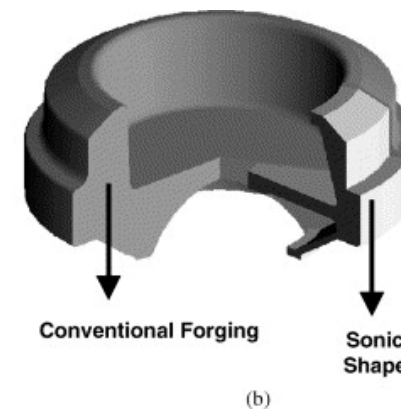
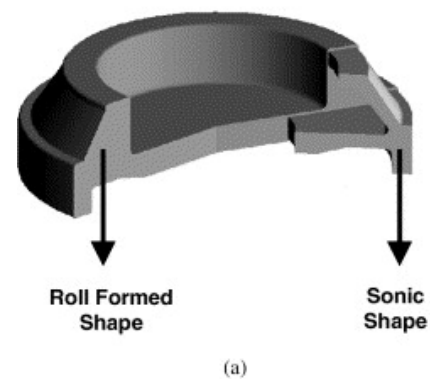
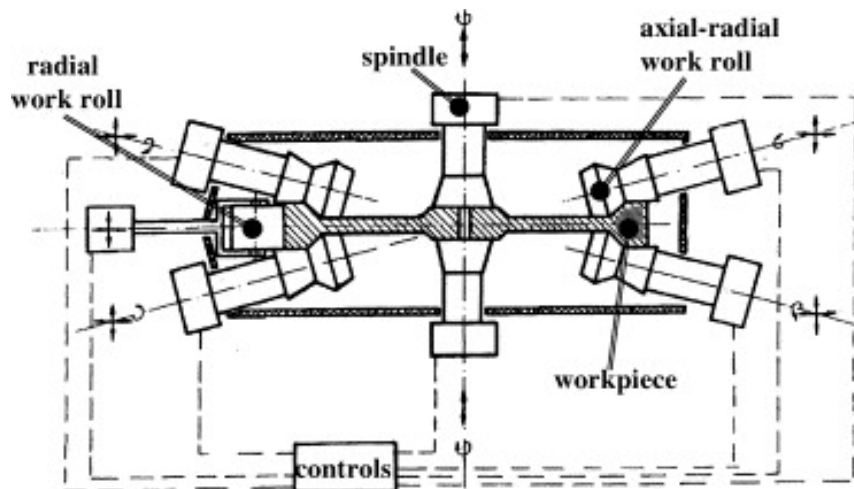
Koncepcijska rešenja alata za izradu NSF i NNSF delova



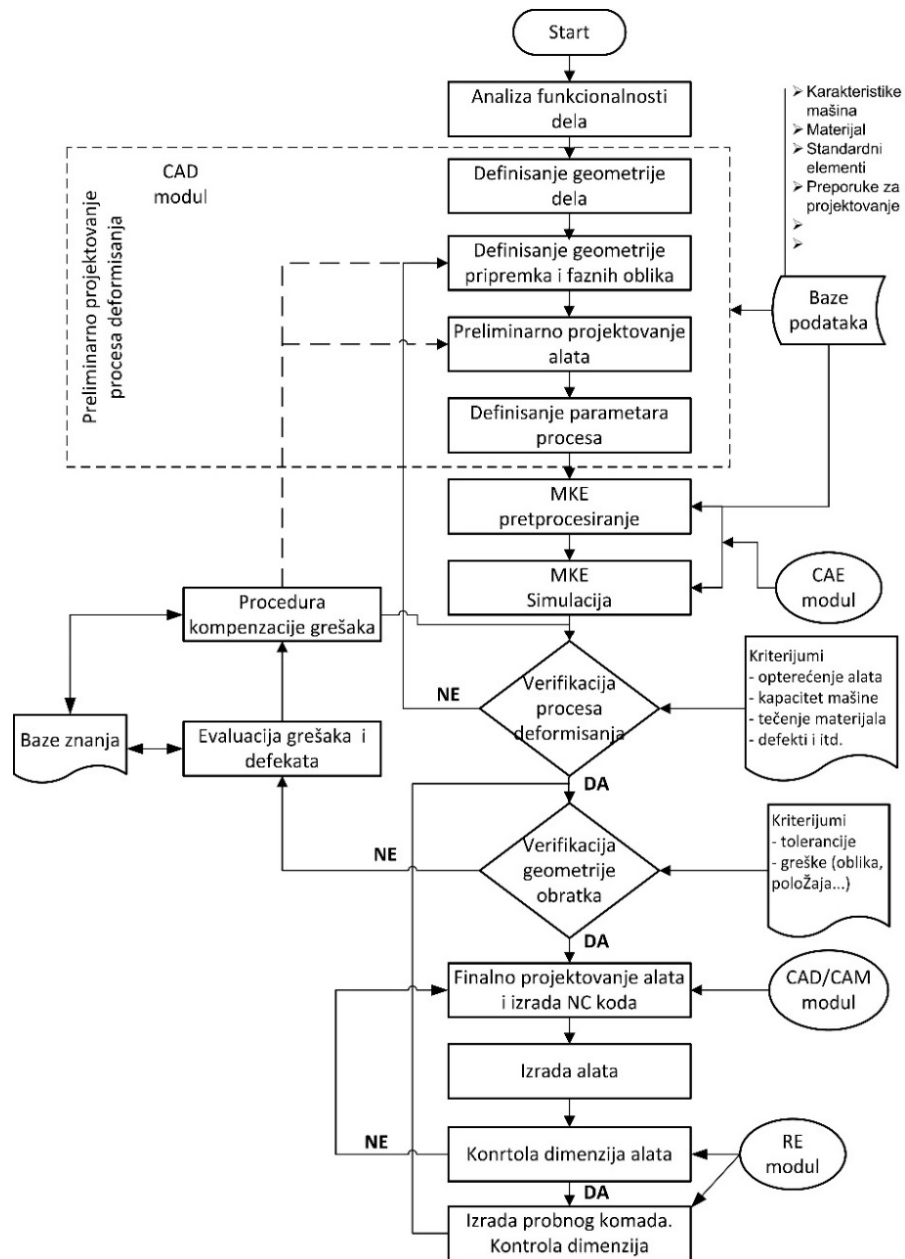
Različiti koncepti alata za izradu kardanskog krsta povišene tačnosti

Šema procesa i delovi dobijeni „spin“ istiskivanjem

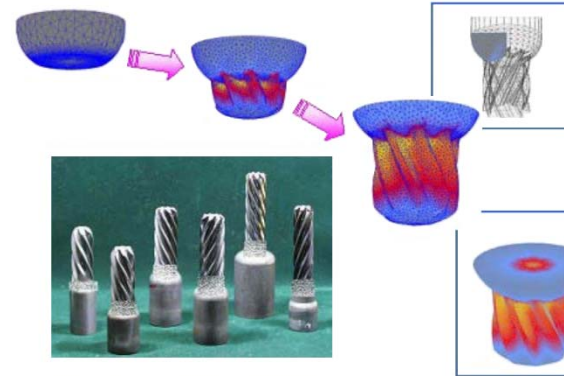
Koncepcijska rešenja alata za izradu NSF i NNSF delova



Algoritam projektovanja NSF i NNSF procesa

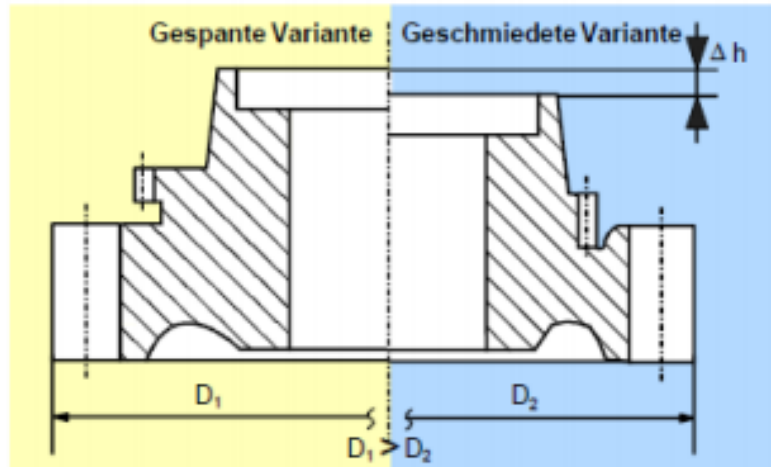


Primena numeričkih simulacija u izradi NSF komponenti



Measured Item	Specification
Single Pitch Error (Fp)	13µ m
Pitch Variations (Rp)	15µ m
Cumulative Pitch Error (Fp)	53µ m
Run-out (Fr)	20µ m
Tooth Profile Error (Fa)	20µ m
Total Alignment Error(FB)	22µ m

Konstrukcija otkovka

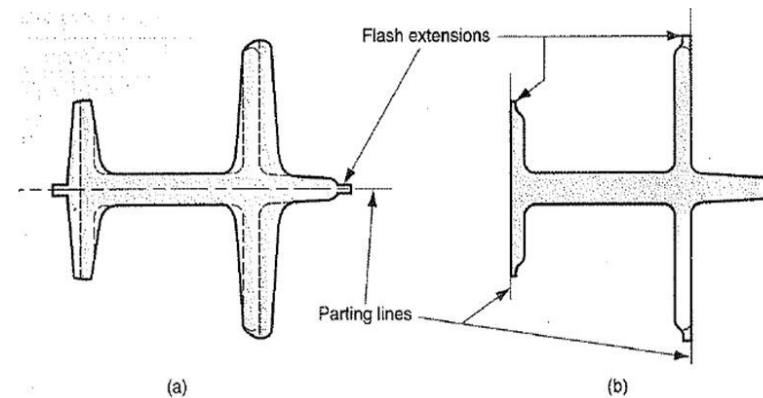
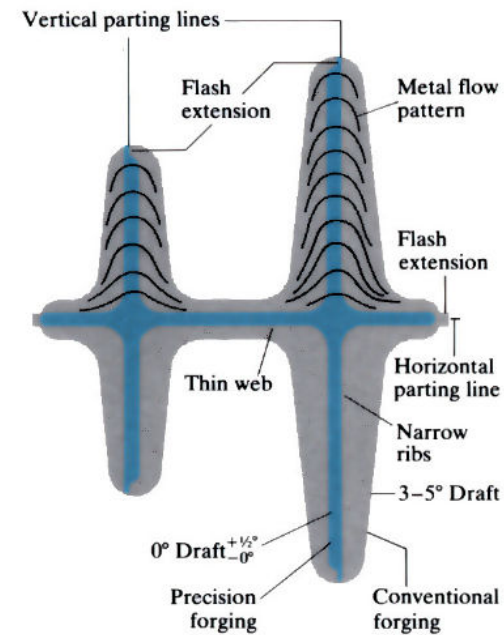


Anbindung der Kupplungsverzahnung an den Grundkörper

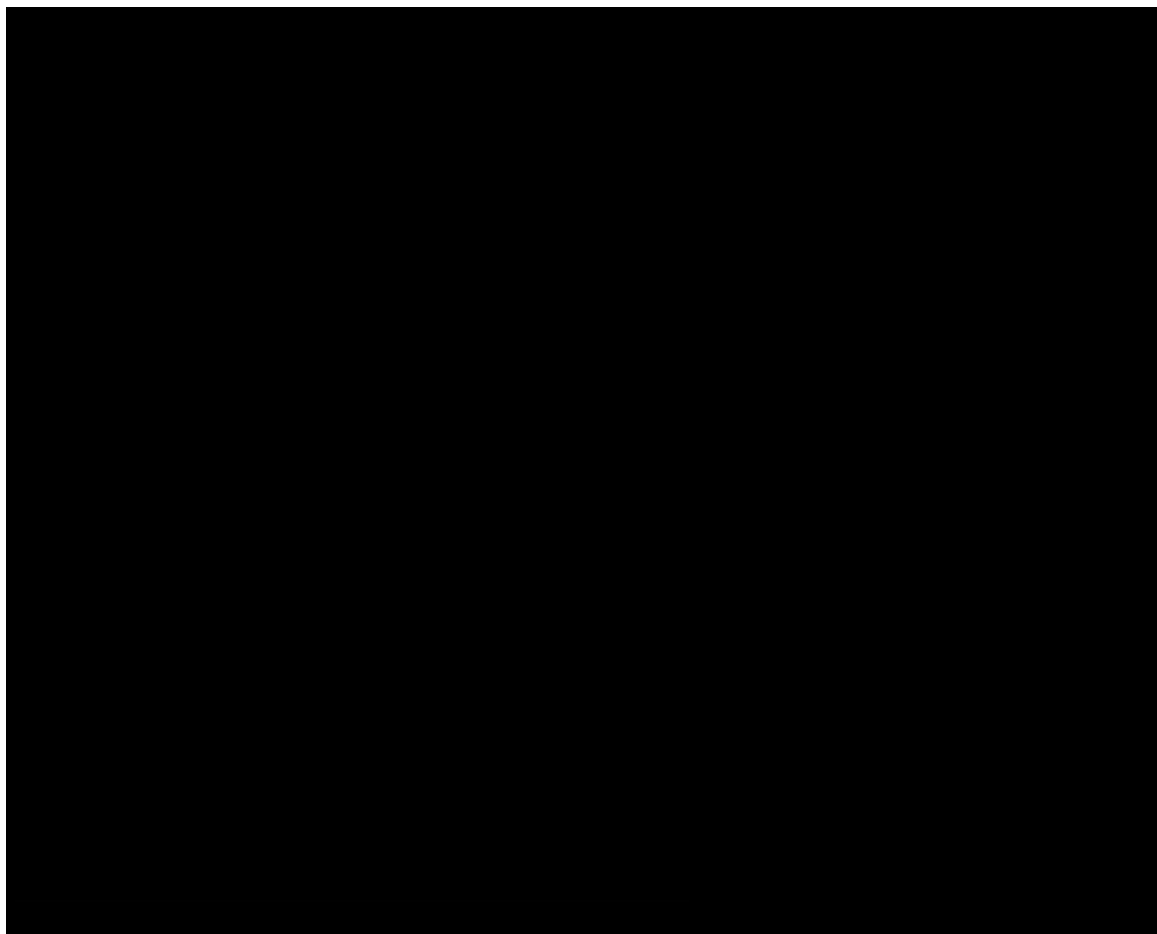
→ Verringerung der Bauhöhe durch Wegfall der Werkzeugauslaufzone

Gesteigerte Festigkeit durch Umformung

→ Verringerung des Bauteildurchmessers



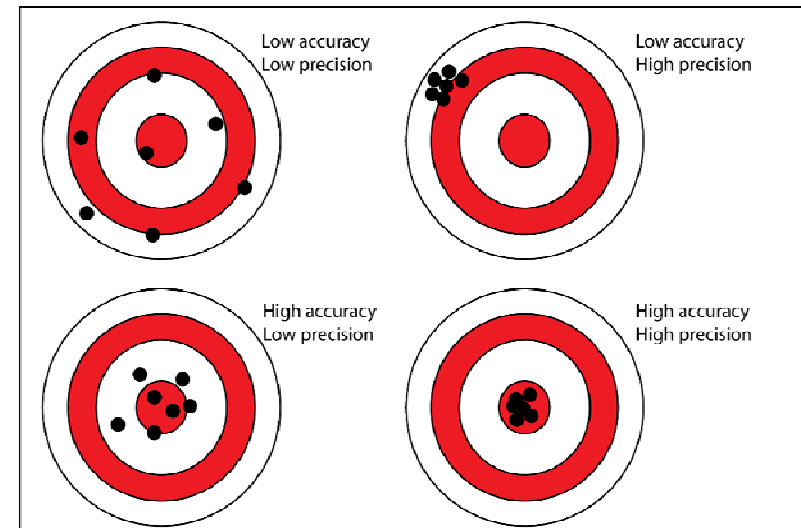
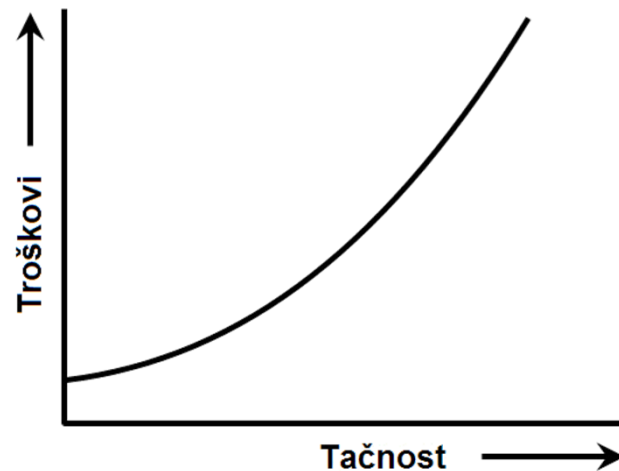
a) Conventional Impression Die forging, b) Precision Forging



**TAČNOST DELOVA U
PROCESIMA
HLADNOG
ZAPREMINSKOG
DEFORMISANJA**

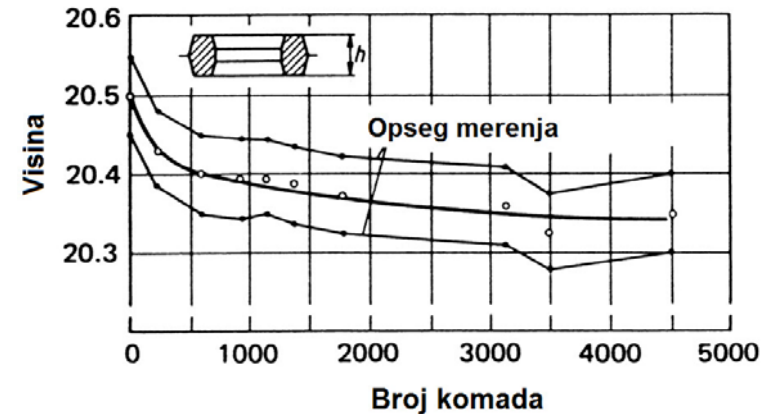
TAČNOST, GREŠKE, DEFEKTI

- Greške – odstupanja geometrijskih karakteristika i dimenzija finalnog dela od zadatih vrednosti tj. vezuje se za termin (ne)tačnosti
- Defekti generalno obuhvataju sve osobine proizvoda koji nisu u skladu specifikacijama dizajna
- Greške i defekti smanjuju ili u potpunosti čine deo nefunkcionalnim u pogledu njegove namene.



KLASIFIKACIJA GREŠAKA

- **Sistemske greške**
 - Promenljive
(neprekidne i periodične)
 - Stalne
- **Slučajne greške**



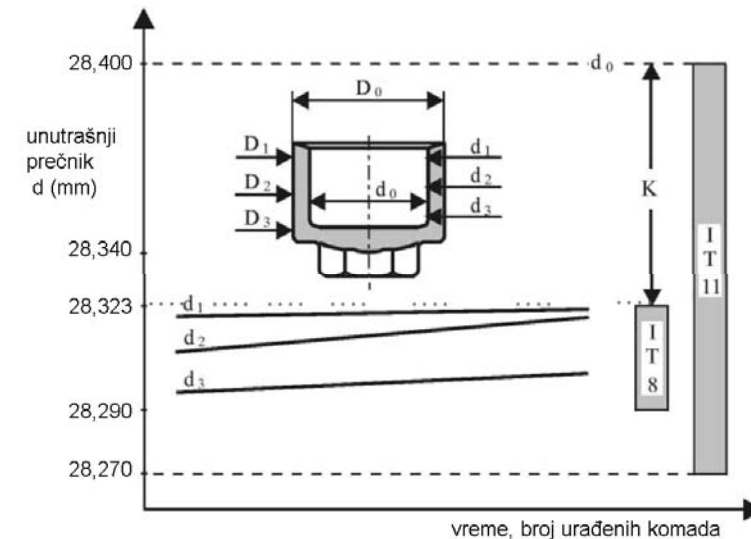
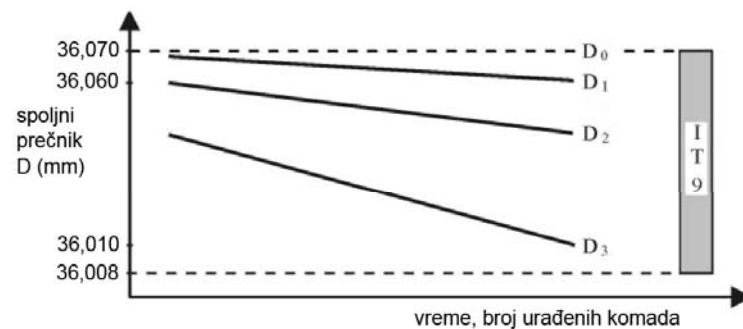
Sistemske greške su greške koje pokazuju određeni trend nastanka i razvoja u toku procesa proizvodnje, a javljaju se kao posledica sistemskih promena jednog ili više parametara.

Sistemske greške mogu biti **konstantne po veličini ili znaku (neprekidne)** ili se **menjati po određenom matematičkom ili empirijskom zakonu u vremenu (periodične)**.

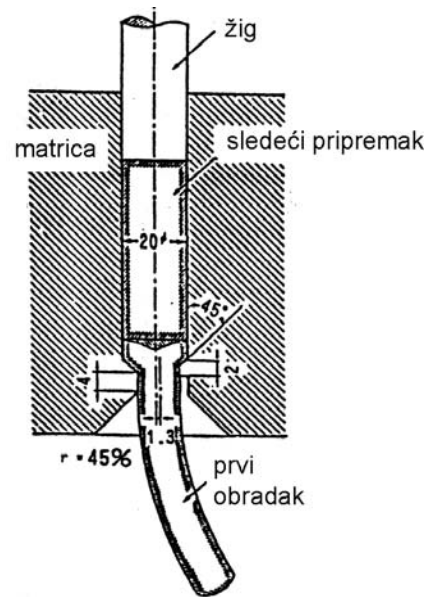
Promenljive sistemske greške posledica su habanja i plastičnog deformisanja alata (neprekidni procesi), odnosno elastičnih deformacija elemenata obradnog sistema (periodični proces).

Tipične greške ovoga tipa su:

- povećanje visine glave vijaka u procesu sabijanja (usled elastičnih deformacija alata i noseće strukture mašine),
- redukcija debljine-visine otkovka (usled habanja gravura)
- povećanje debljine zidova na delovima dobijenih suprotno-smernim istiskivanjem usled potrošenosti žiga i elastičnih deformacija matrice
- nestacionarnost temperature u procesu deformisanja



Stalne sistemske greške rezultat su netačnosti i greška pri izradi alata i mašina, grešaka kalibrišućih uređaja kao i metodskih grešaka
Uzrok ovih grešaka ne leži u samom procesu proizvodnje - njihova glavna karakteristika je uniformnost.

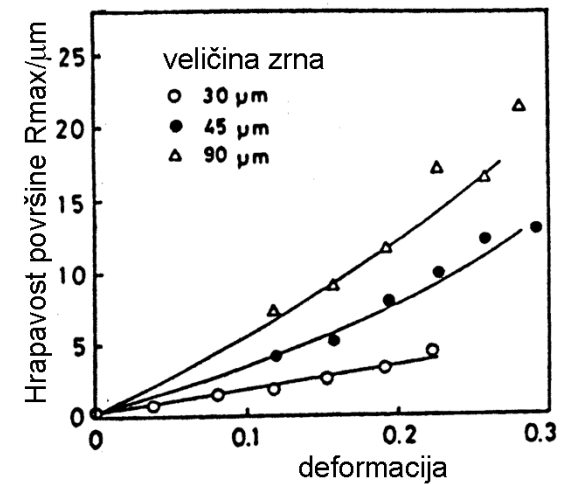
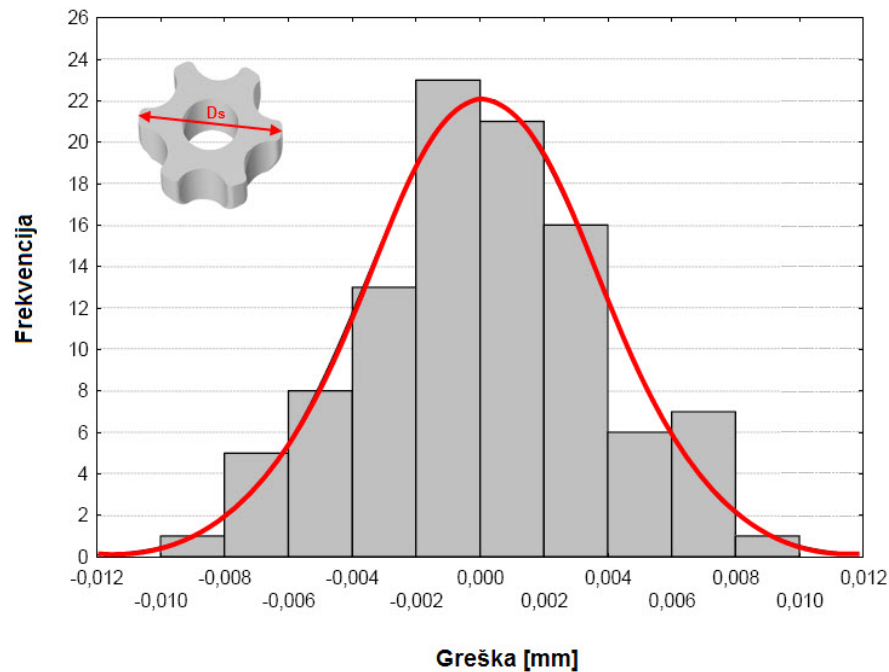


Efekat nesimetrične geometrije alata (netačnost alata usled nepreciznosti izrade) na dobijanje delova koji odstupaju od upravnosti i centričnosti za slučaj istosmernog istiskivanja šipkastih delova

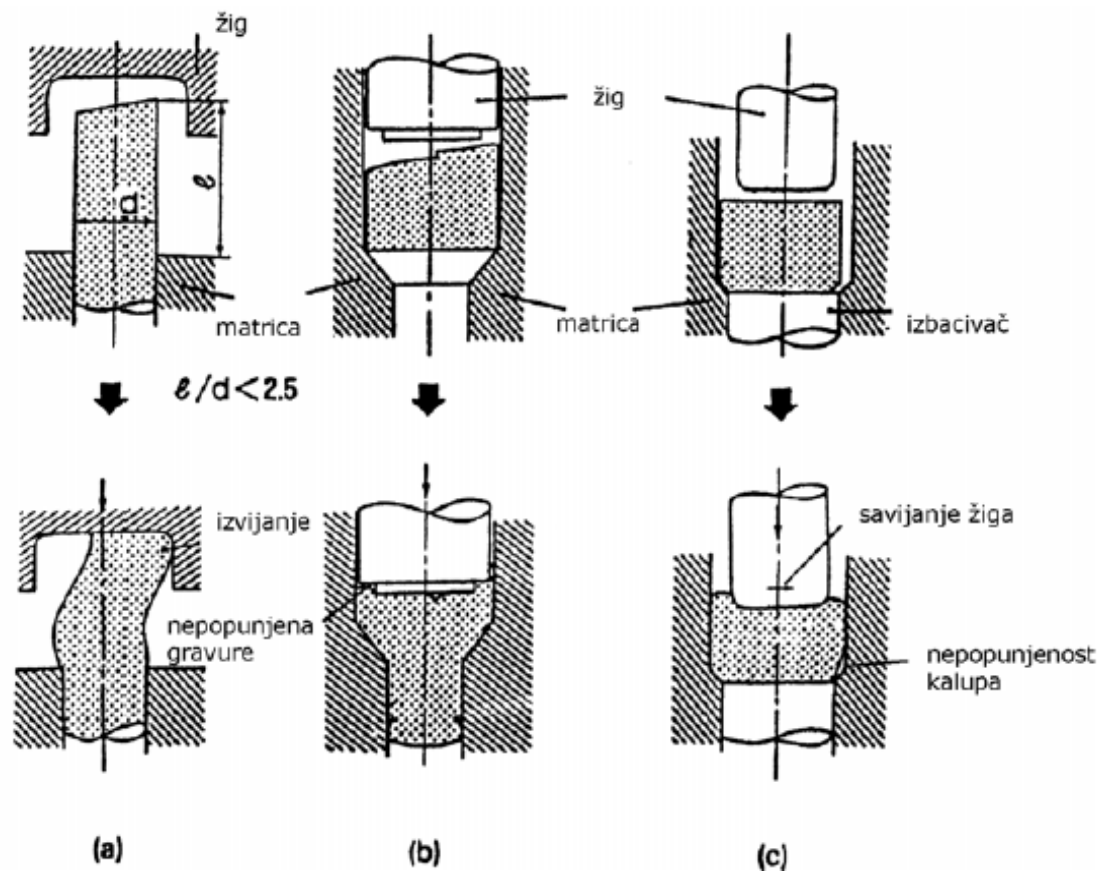
Slučajne greške - ne pokazuju odgovarajući trend ponovljivosti

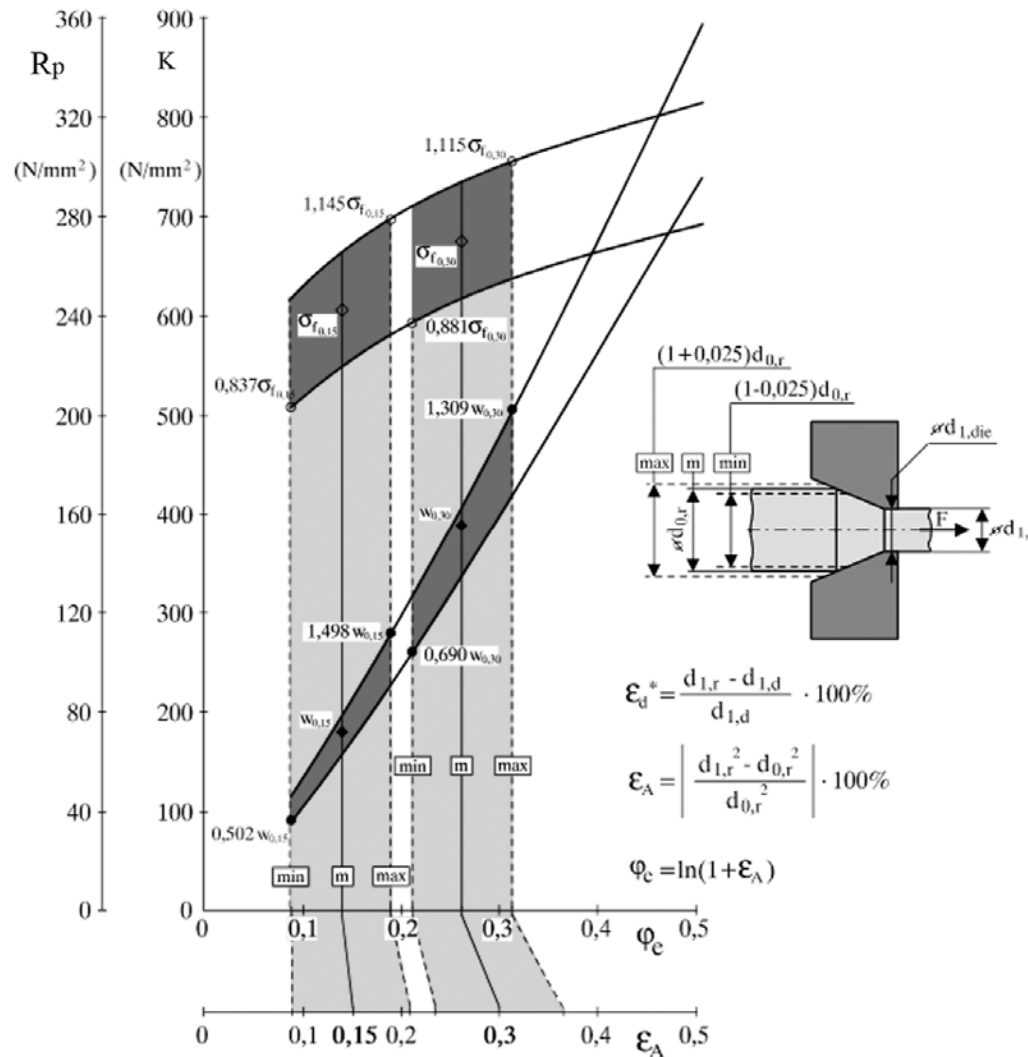
Uzroci:

- temperaturne promene
- promene poprečnih preseka i zapremine radnog predmeta
- odstupanja mehaničkih osobina materijala i njegove mikrostrukture
- fluktuacija elastičnih deformacija u sistemu alat-mašina zbog variranja deformacione sile



Uticaj tačnosti zapremine i pozicioniranja pripremljena u alatu na tačnost obratka





Varijacija zapremine priprema odnosno ulazne mase ima najveći korelacioni faktor vezan za netačnost geometrije i dimenzija dela pri hladnom masovnom kovanju zupčanika.

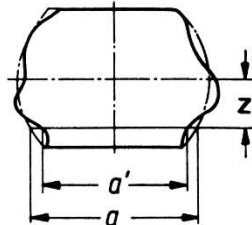
Interval odstupanja napona tečenja i deformacionog rada kod istosmernog istiskivanja šipke prečnika $d_{0,r} = d_0 \pm 0,025d_0$ za ostvareni stepen deformacije $\epsilon_A = 0,15$ i $\epsilon_A = 0,30$, materijal Č4320

TIPOVI GREŠAKA

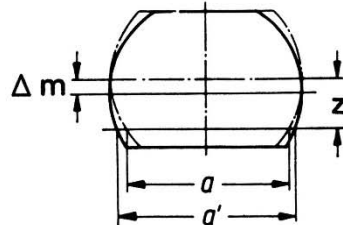
- **Dimenzione greške:** Odstupanja stvarnih vrednosti dimenzija radnog predmeta od željenih ili nominalnih dimenzija. Statistika pokazuje da oko 95 % od ukupnog broja grešaka čine upravo dimenzione greške.
- **Greške položaja:** Odstupanje položaja dve ose, npr. greška paralelizama, upravnosti, ugla nagiba, koaksijalnosti itd.
- **Greške oblika:** Odstupanje makro-geometrijskog oblika tela od idealnog - greške cilindričnosti, kružnosti linija preseka, ravnosti površina, ovalnosti, pravosti.
- **Greške kvaliteta površina:** Odstupanje mikro-geometrijskog oblika tela od idealnog (mikro-neravnine, mikro-pukotine).
- **Greške karakteristika materijala:** Greške prouzrokovane nepravilnom termičkom obradom-segregacija, sagorevanje površinskog sloja itd



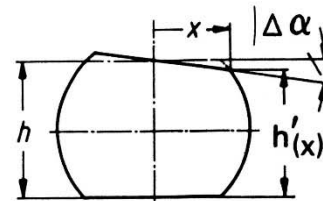
(a)



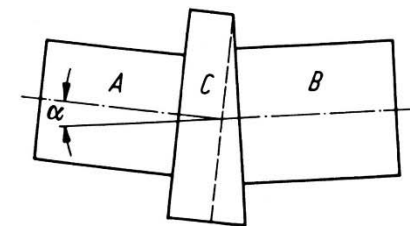
(b)



(c)

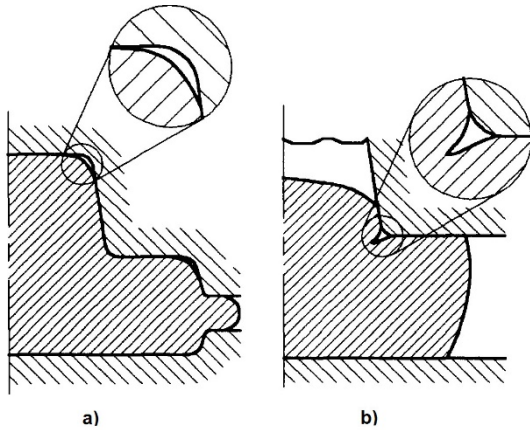


(d)

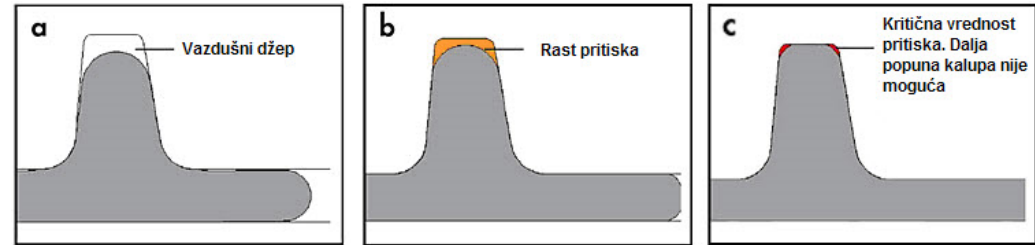


(e)

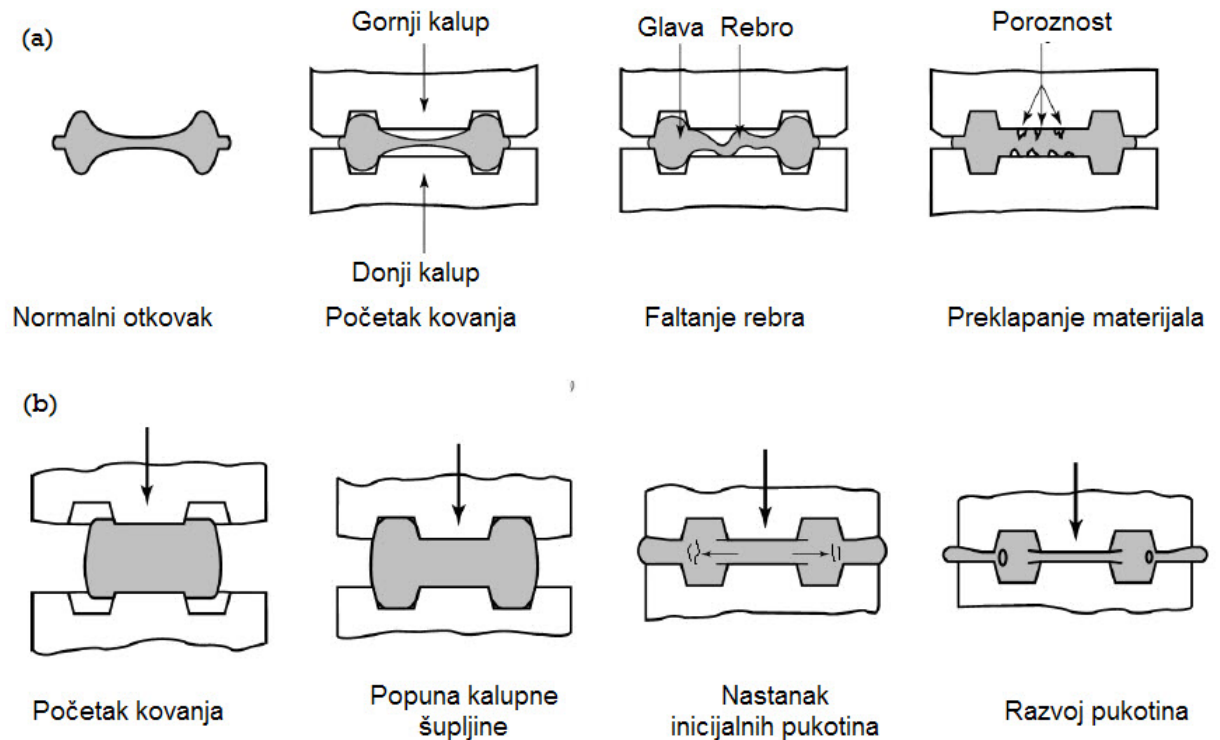
Greške/defekti na otkovcima



Nepopunjenost uglova gravure (a) i nastanak šupljine u obratku

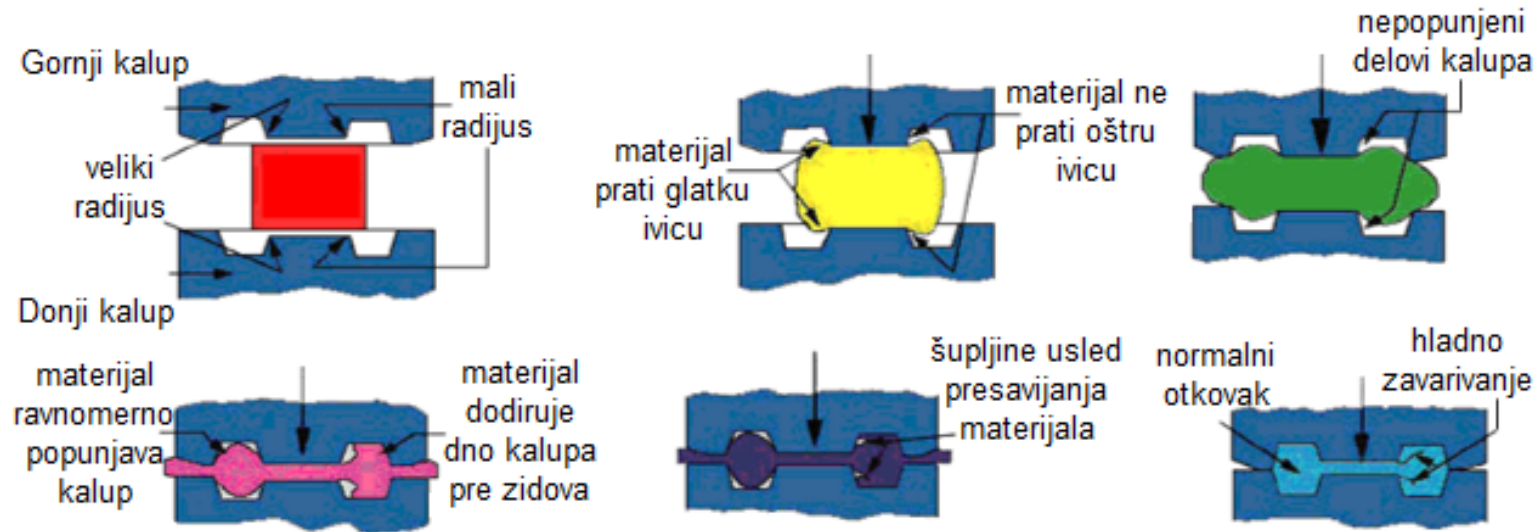


Nepopunjenost gravure kao rezultat formiranja vazdušnog džepa



Spoljašnje (a) i unutrašnje (b) greške kod otkovaka

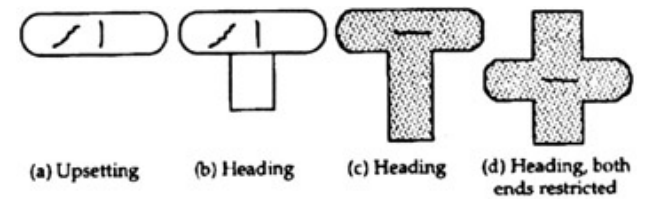
Greške/defekti na otkovcima



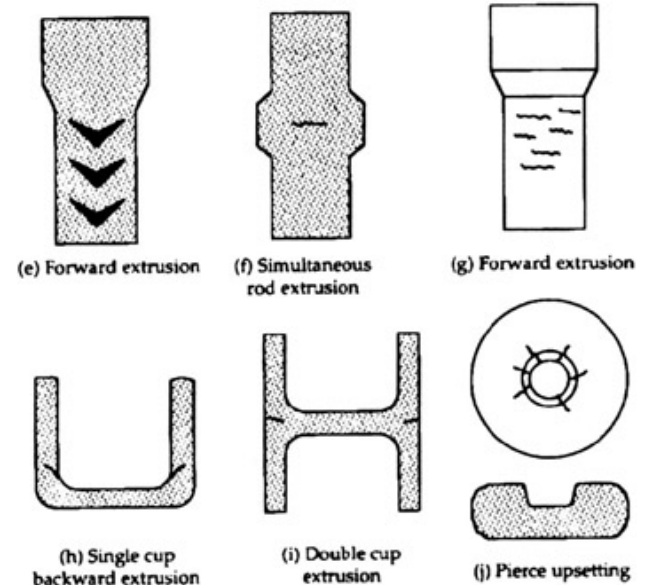
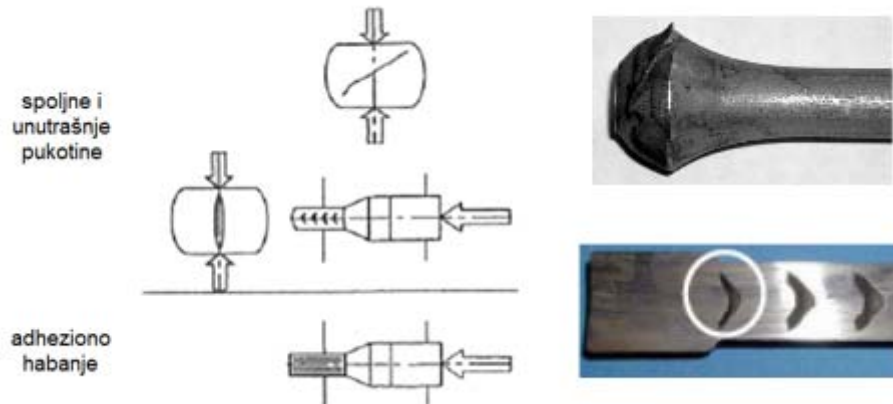
Greške na otkovcima usled neodgovarajućeg radijusa

Defekti kod delova dobijenih hladnim istiskivanjem

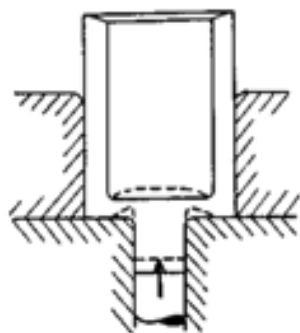
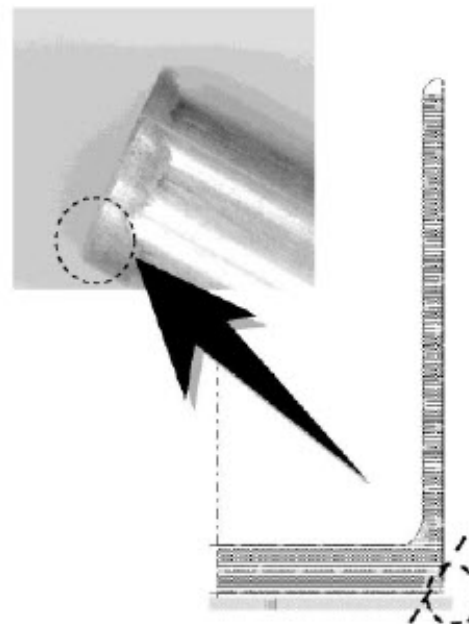
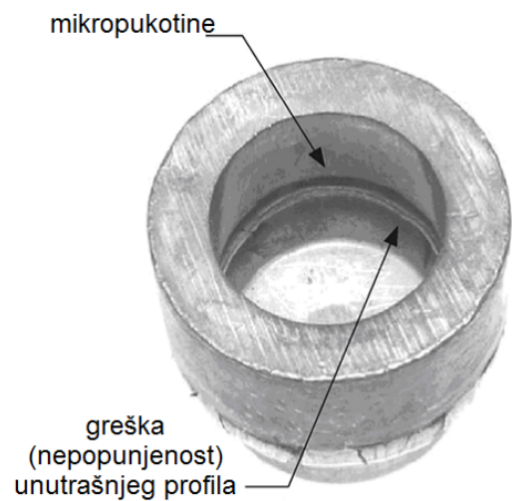
Usahline



Mikro pukotine



Defekti kod delova dobijenih hladnim istiskivanjem

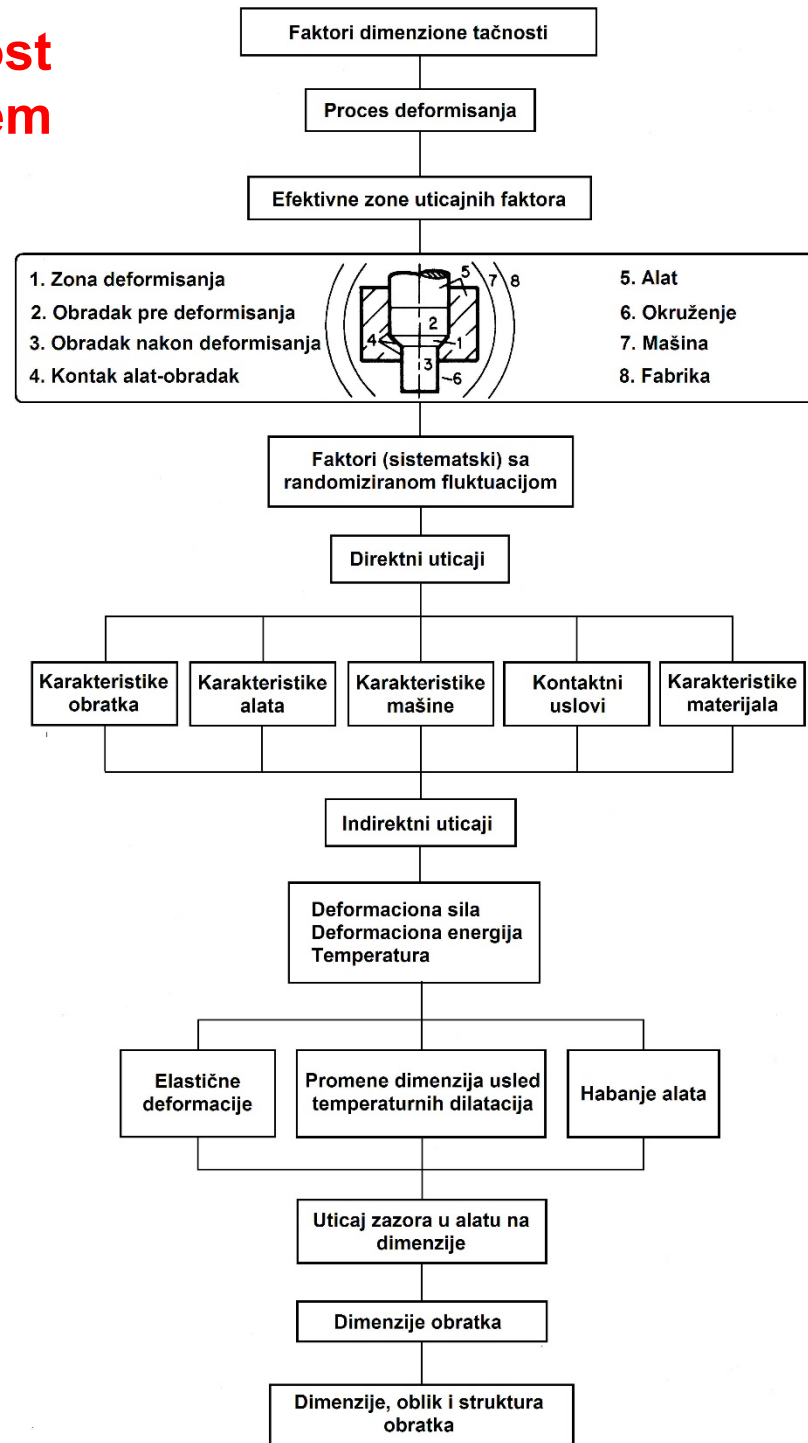
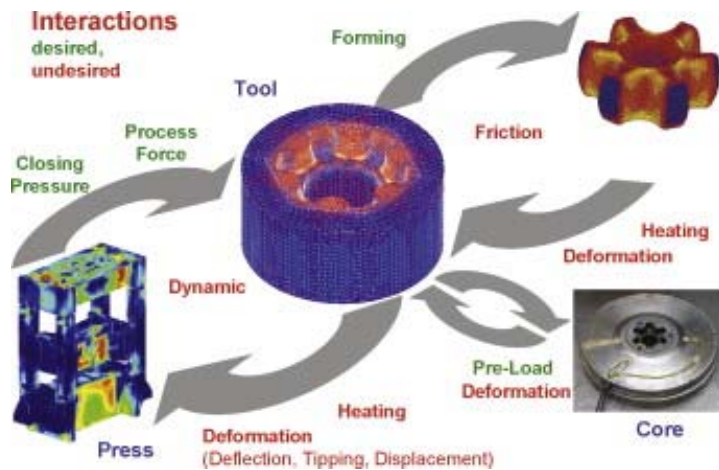
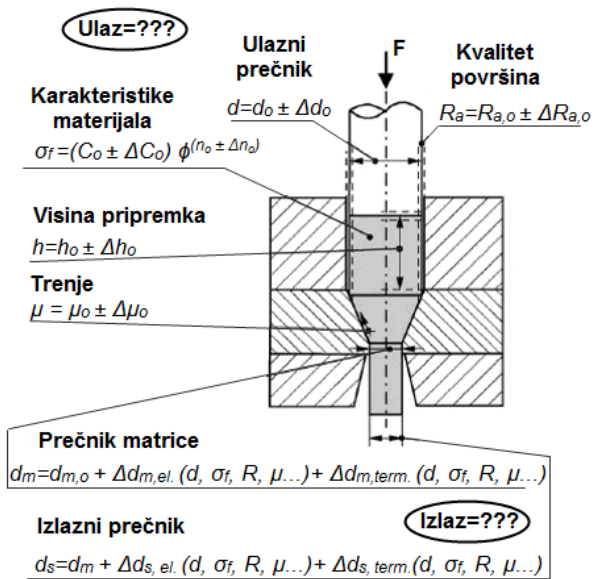


Deformacije obratka pri izbacivanju iz alata

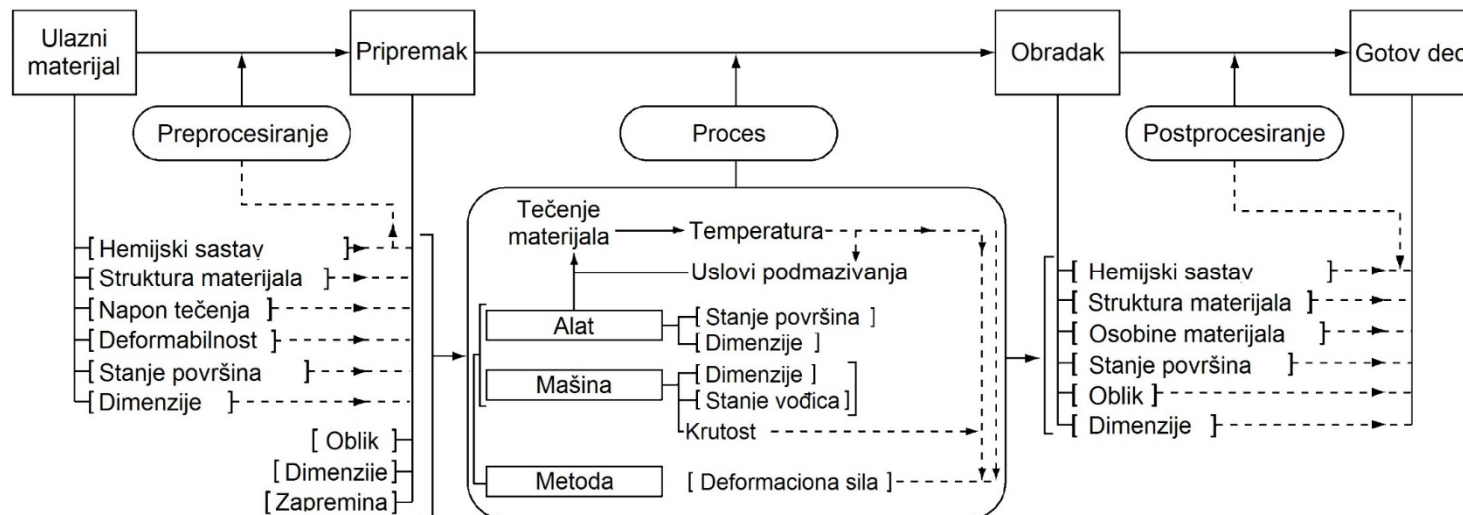
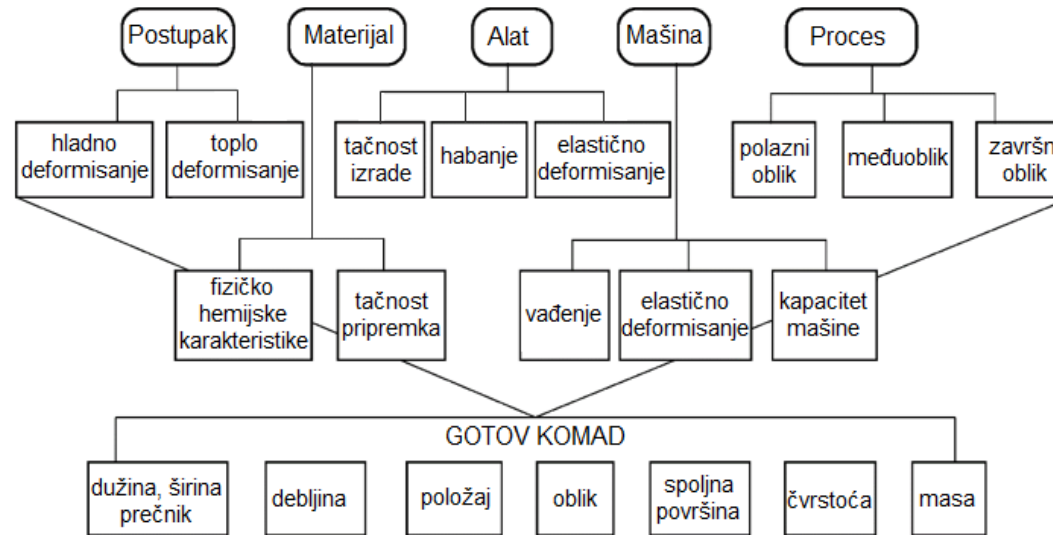
FAKTORI (NE)TAČNOSTI

- **PRIPREMAK** (varijacija dimenzija priprema, napon tečenja, deformabilnost i ojačavanje materijala, kvalitet površina, kvalitet rezne ivice, prethodna termička obrada, hemijski sastav itd)
- **ALAT** (tolerancije izrade, konstrukcija alata, montaža, termo-mehaničke karakteristike materijala alata, habanje itd.)
- **MAŠINA** (konstrukcija, kinematika, krutost, zazori elemenata vođenja, stepen automatizacije itd.)
- **TEHNOLOŠKI POSTUPAK** (metoda, tečenje materijala, sila, brzina deformisanja, stepen deformacije, podmazivanje, temperatura obratka i alata, faze oblikovanja, međufazni oblici itd.)
- **INFORMACIONI MENADŽMENT** (distribucija informacija, simultani inženjering, baze podataka itd.)
- **LJUDSKI RESURSI** (obučenosn radnika, razvoj i primena novih tehnologija itd.)
- **PROJEKTOVANJE I SIMULACIJA PROCESA** (pouzdanost modela, metode rešavanja, tačnost rešenja, itd)

Glavni uticajni faktori na tačnost delova pri obradi deformisanjem

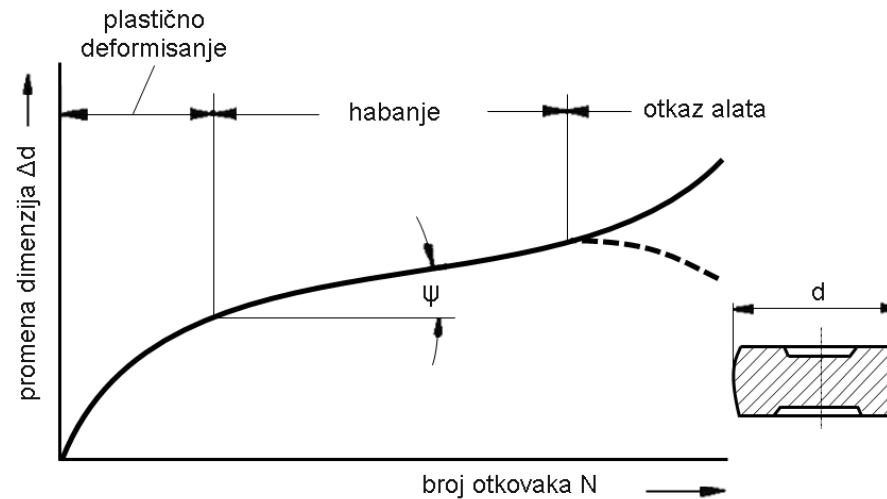


Glavni uticajni faktori na tačnost delova pri obradi deformisanjem



UTICAJ ALATA NA TAČNOST DELOVA

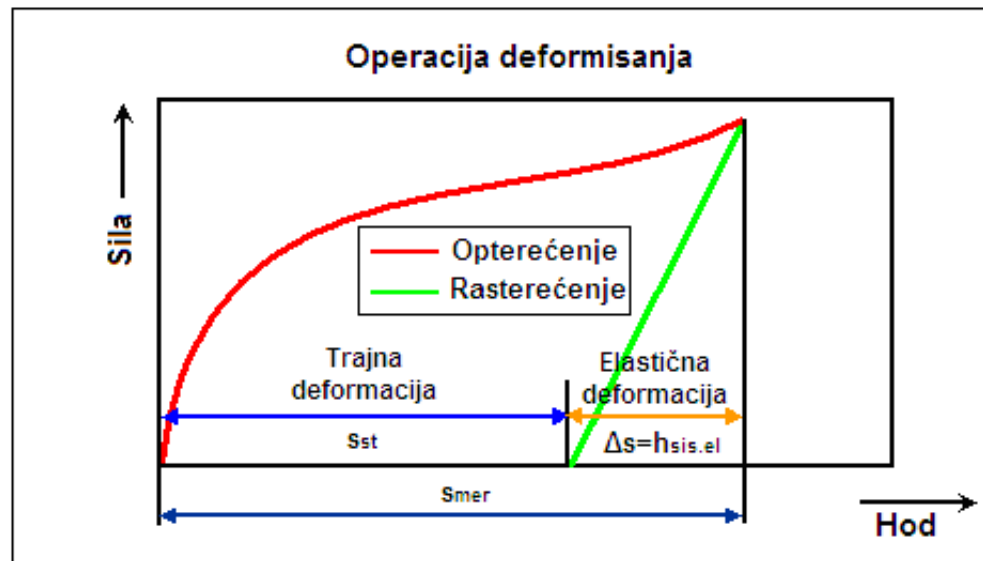
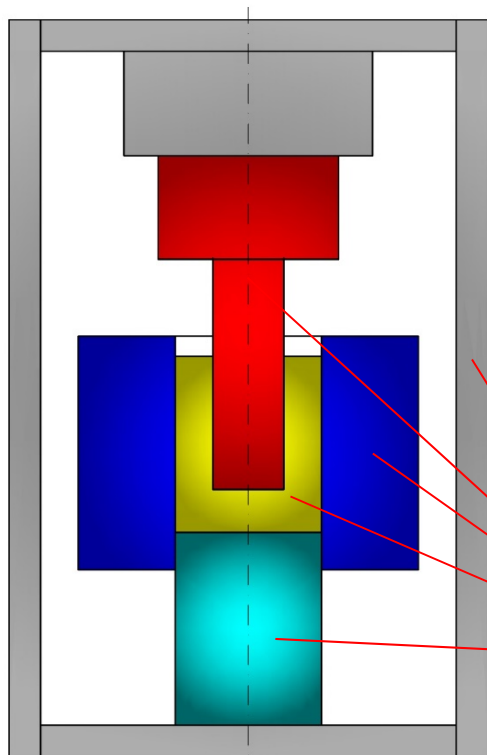
- Alat - „negativ“ obratka
- Kvalitet izrade alata mora biti veći za 1/10 do 1/3 veći u odnosu na zahtevanu tačnost dela
- Kruto i elastično telo
- Eksploatacione karakteristike alata
- Dimenzije obratka su pre replika uticaja pojedinih faktora na geometriju alata nego nominalne geometrije alata.



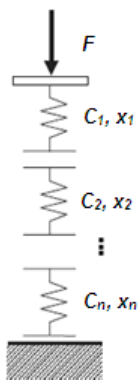
UTICAJ ALATA NA TAČNOST DELOVA

- **Elastične deformacije alata** - reverzibilni proces promene dimenzija alata usled opterećenja. Sa stanovišta smanjenja ovih deformacija, odnosno povećanja tačnosti delova neophodno je da materijal alata ima što veći modul elastičnosti. U tom smislu alati od tvrdih metala imaju prednost u odnosu na alate od čelika.
- **Plastične deformacije alata** – kontinualni proces pri kome se dimenzije alata trajno menjaju kao rezultat rasta deformacione sile ili koncentracije napona. Mogući razlozi za to su greške u montaži alata, neadekvatno podmazivanje, promena polaznih karakteristika materijala obratka i njegovih dimenzija, itd.
- **Ciklične promena tvrdoće alata** – nastaje usled značajnih promena naponsko-deformacionih karakteristika materijala alata. Ovaj fenomen je naročito izražen kada geometrija alata dovodi do pojave koncentracije napona na pojedinim mestima ili zonama.
- **Termičke deformacije** – dimenzije alata se menjaju usled akumulisanja toplote u alatu i njene razmene sa okolinom.
- **Promene modula elastičnosti** – ovaj fenomen je takođe posledica promene temperature alata. U opštem slučaju, modul elastičnosti opada sa porastom temperature.
- **Ciklično plastično deformisanje** – javlja se u zonama koje se graniče za mestima koncentracije napona i može dovesti do pojave mikropukotina u alatu.
- **Smanjenja tvrdoće alata** - dolazi usled povećanja temperature alata ili pogrešnog temperovanja alata.

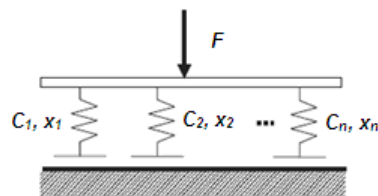
ELASTIČNOST (KRUTOST) SISTEMA ALAT-MAŠINA - OBRADAK



$$\frac{1}{C^{uk}} = \frac{1}{C_{m+a}} + \frac{1}{C_{rp.}}$$



a)

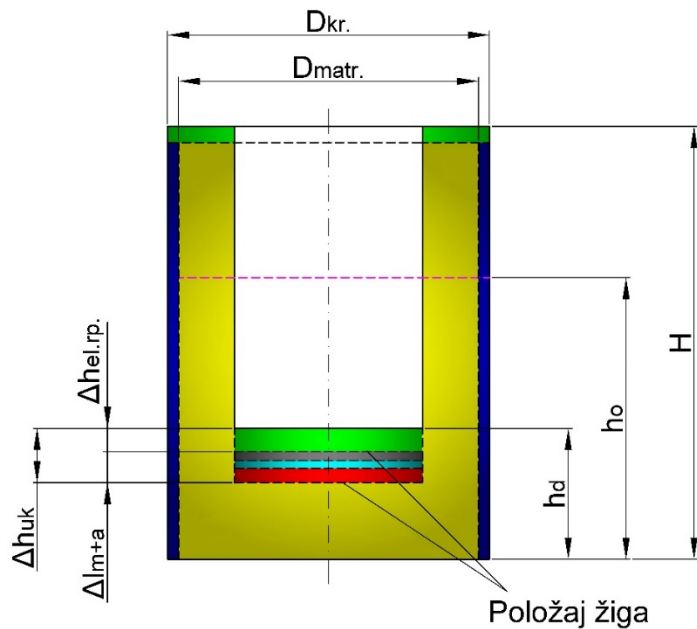


b)

$$\frac{1}{C^{uk}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

$$C^{uk} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

ELASTIČNOST (KRUTOST) SISTEMA ALAT-MAŠINA – OBRADAK (promena visine debljine dna obratka)

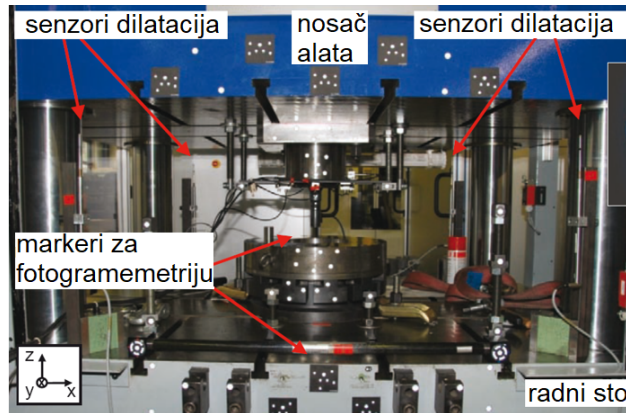
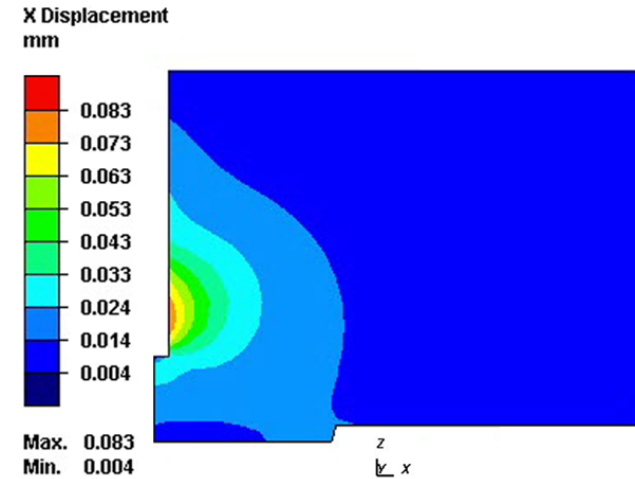
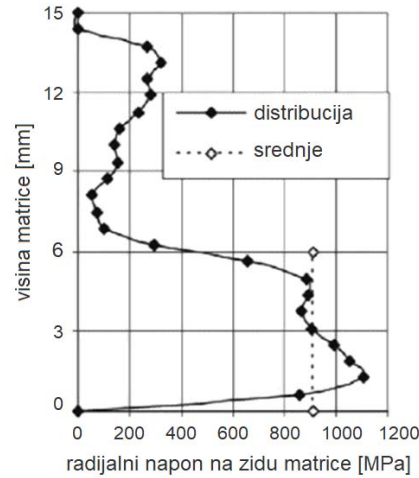
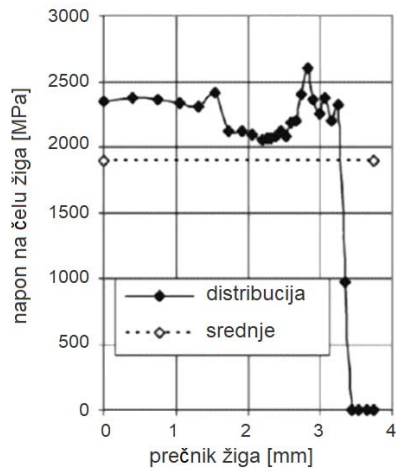


$$\Delta h_{uk} = \underbrace{\Delta l_{mašina} + \Delta l_{žig, izbacivac} + \Delta l_{matrica}}_{\Delta l_{m+a}} + \underbrace{\Delta h_{el. žig} + \Delta h_{el. matrica}}_{\Delta h_{el. rp.}}$$

- elastične deformacija elemenata mašine ($\Delta l_{mašina}$)
- aksijalne deformacije žiga i izbacivača ($\Delta l_{žig. izbac.}$)
- radijalne deformacije matrice ($\Delta l_{matrice}$)
- elastično vraćanje materijala obratka nakon faza rasterećenja žiga ($\Delta h_{el. žig}$)
- elastično vraćanje materijala obratka nakon vađenja obratka iz matrice ($\Delta h_{el. matrica}$)

PROMENA DIMENZIJA OBRATKA USLED ELASTIČNIH DEFORMACIJA ALATA

DEFORMACIJE MATRICE

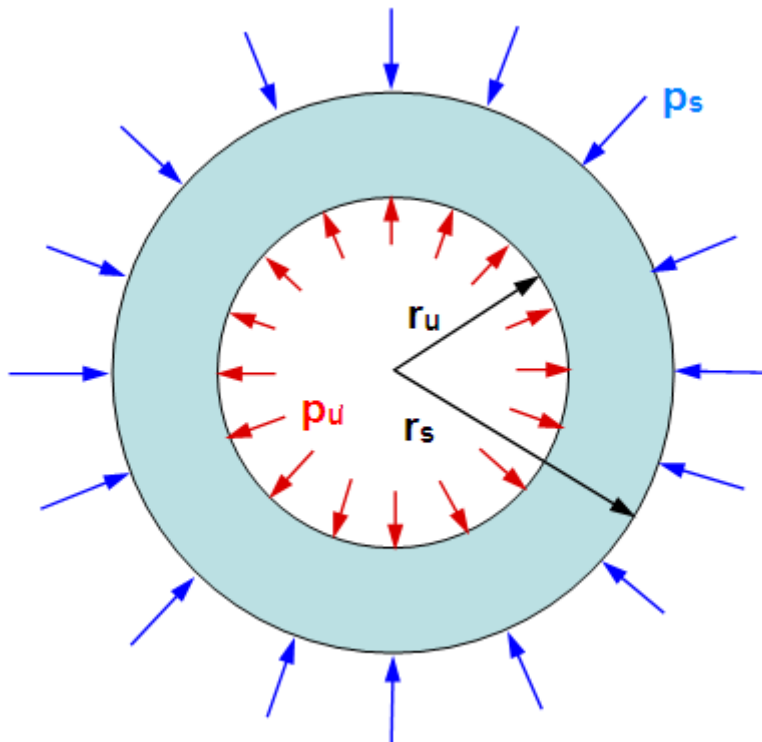


CMM merni uređaj

PROMENA DIMENZIJA OBRATKA USLED ELASTIČNIH DEFORMACIJA ALATA

DEFORMACIJE MATRICE

- Lamé-ove jednačine - debelozidi cilindar optrećen ravnomernim unutrašnjim pritiskom



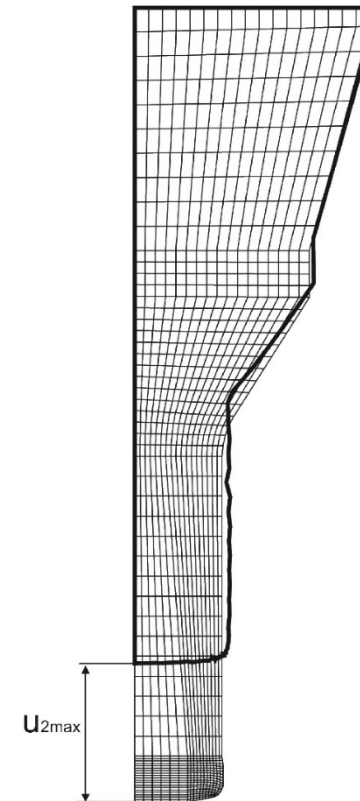
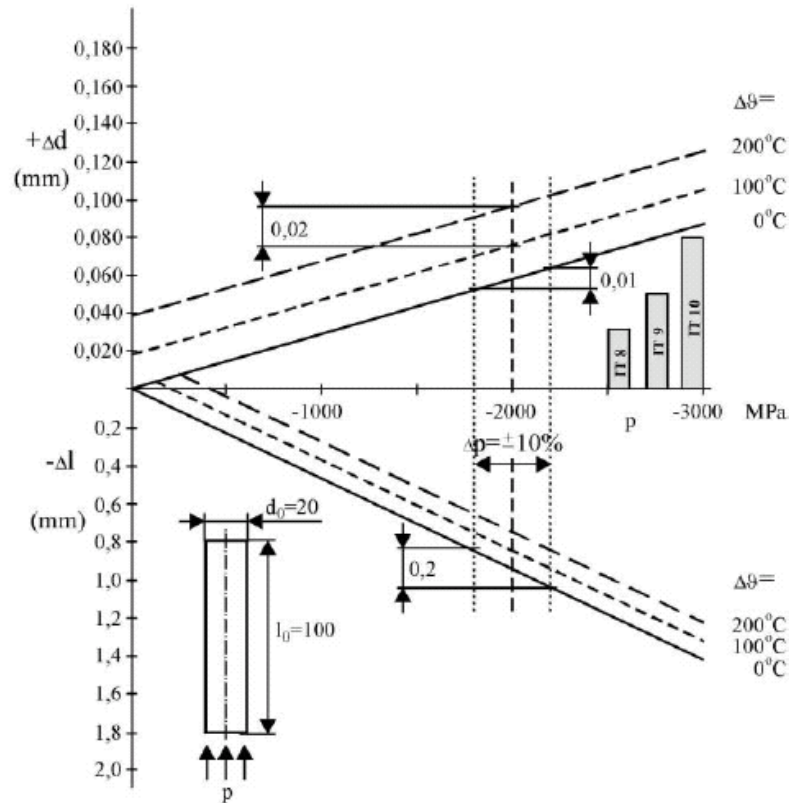
$$\varepsilon_r = \frac{p_u \cdot r_u^2}{E(r_s^2 - r_u^2)} \left[(1 - \nu) + (1 + \nu) \frac{r_s^2}{r^2} \right] 2r$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{\varepsilon_r}{2r} = \frac{p_u \cdot r_u^2}{E(r_u^2 - r_i^2)} \left[(1 - \nu) + (1 + \nu) \frac{r_s^2}{r^2} \right]$$

$$\Delta r_u = \frac{p_u \cdot r_{m,u}^2}{E(r_{m,s}^2 - r_{m,u}^2)} \left[(1 - \nu) + (1 + \nu) \frac{r_{m,s}^2}{r_{m,u}^2} \right] r_{m,u}$$

PROMENA DIMENZIJA OBRATKA USLED ELASTIČNIH DEFORMACIJA ALATA

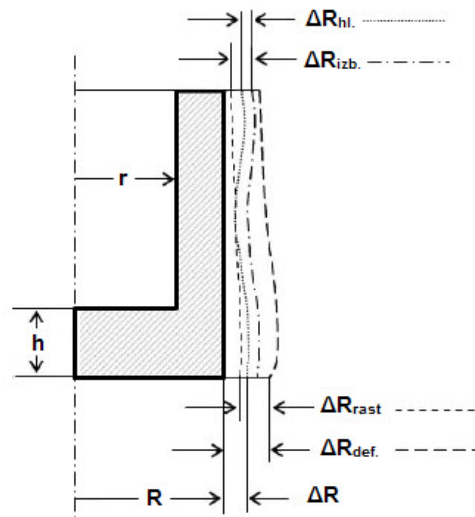
DEFORMACIJE ŽIGA



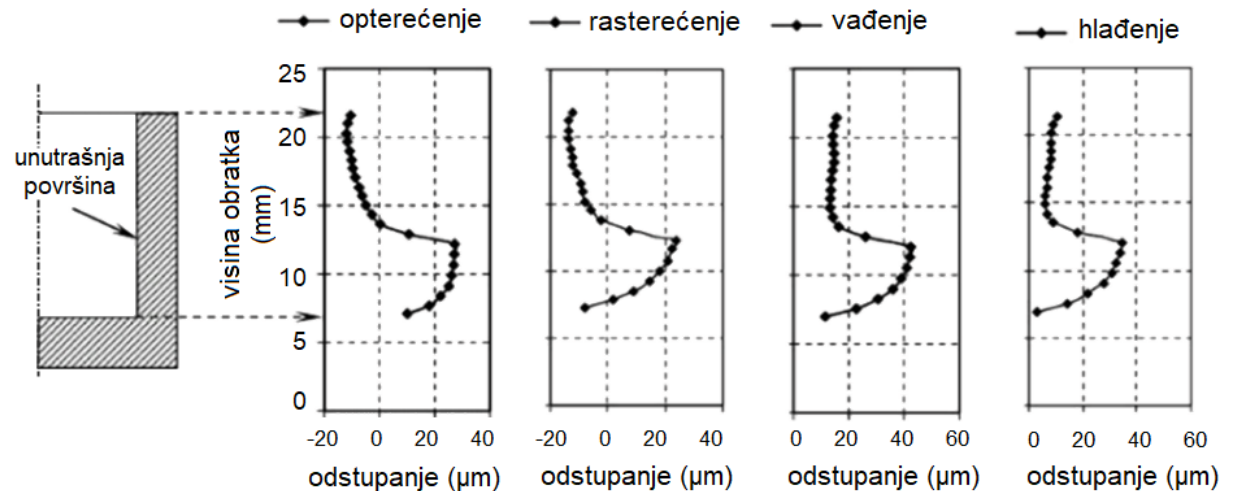
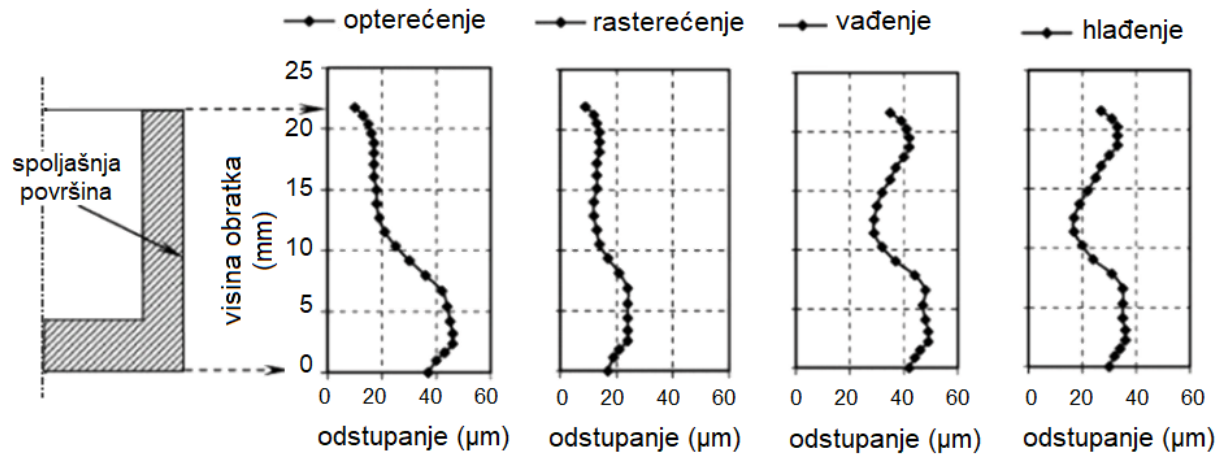
$$\Delta l = \frac{F \cdot l}{A \cdot E}$$

$$\Delta l = \frac{F}{E} \sum \frac{l_i}{A_{sr.i}}$$

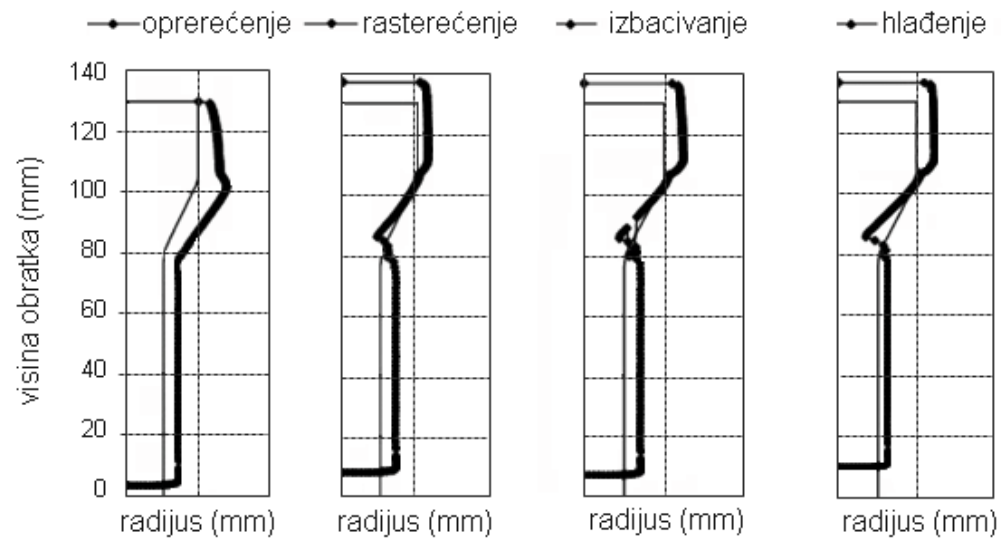
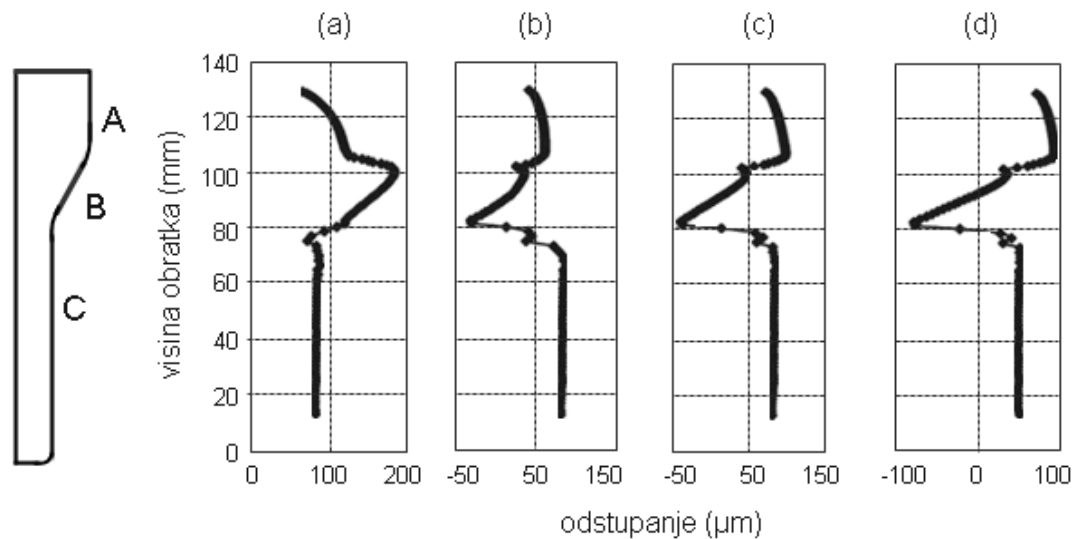
PROMENA DIMENZIJA OBRATKA USLED ELASTIČNIH DEFORMACIJA ALATA



$$\Delta R = \Delta R_{def} - \Delta R_{rast} + \Delta R_{izb} - \Delta R_{hl}$$



PROMENA DIMENZIJA OBRATKA USLED ELASTIČNIH DEFORMACIJA ALATA



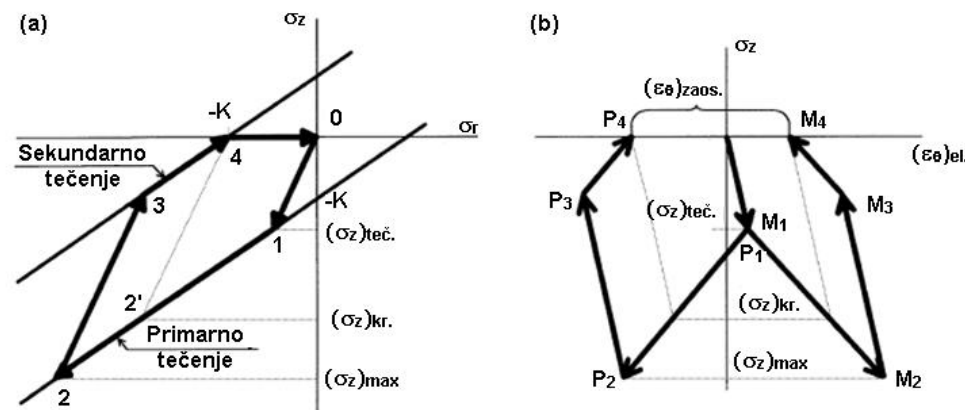
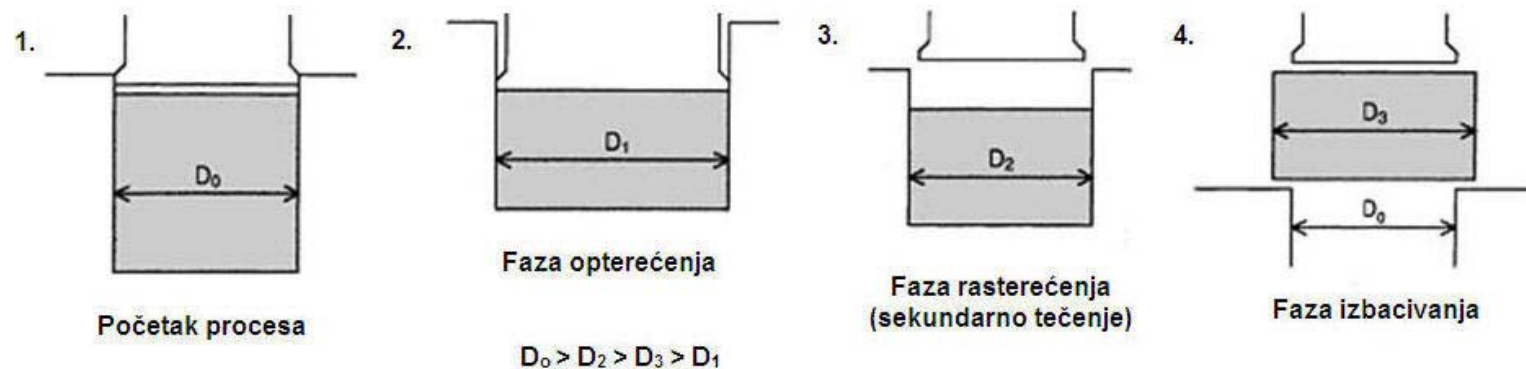
PROMENA DIMENZIJA OBRATKA USLED ELASTIČNIH DEFORMACIJA ALATA

Sekundarno tečenje materijala – deformacija obratka pod dejstvom zaostalih napona u matrici pri njenom rasterećenju.

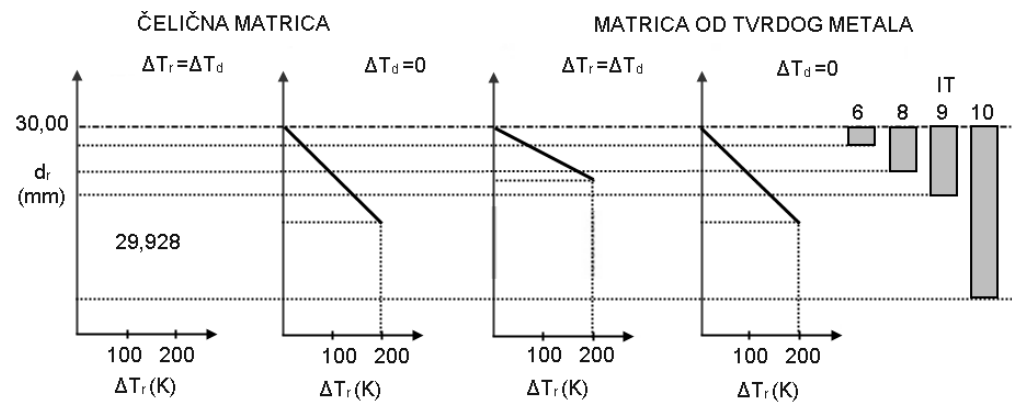
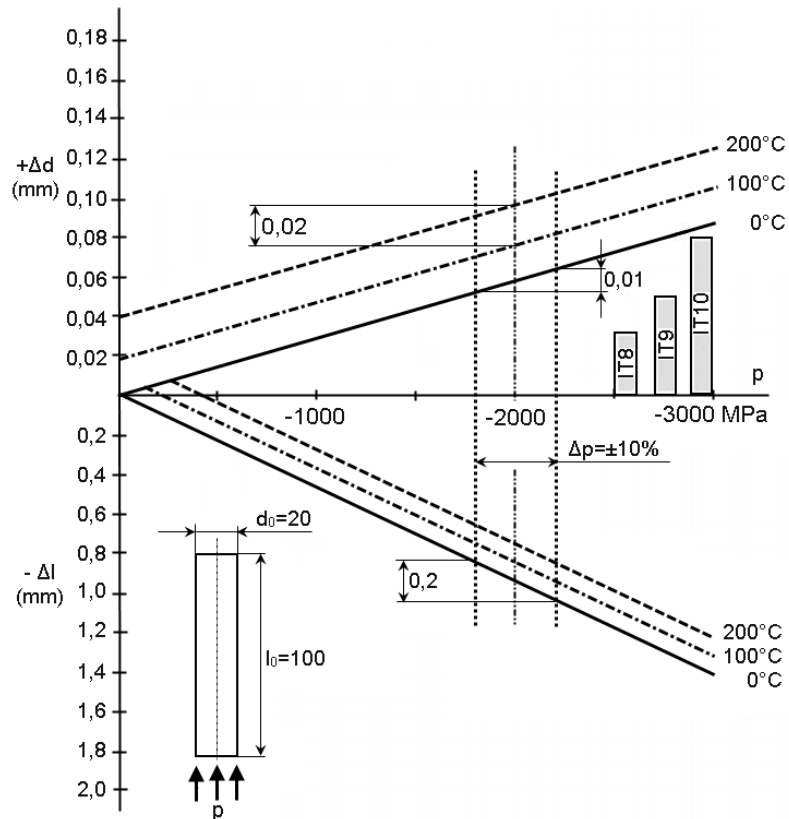
Kritična vrednost napona za pojavu sekundarnog tečenja

$(\sigma_z)_{kr.} = -2,35K_0$ aluminijum/čelik

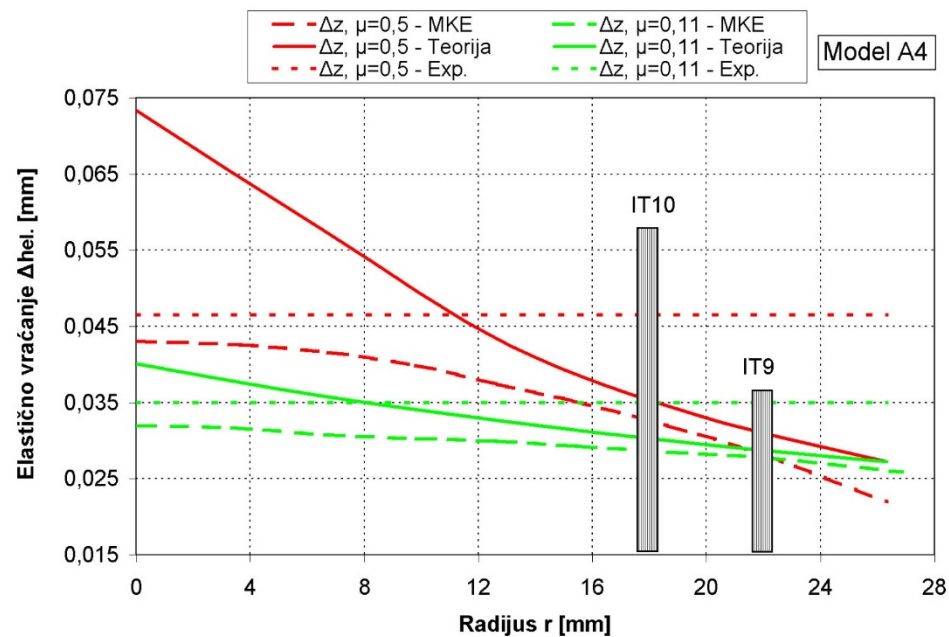
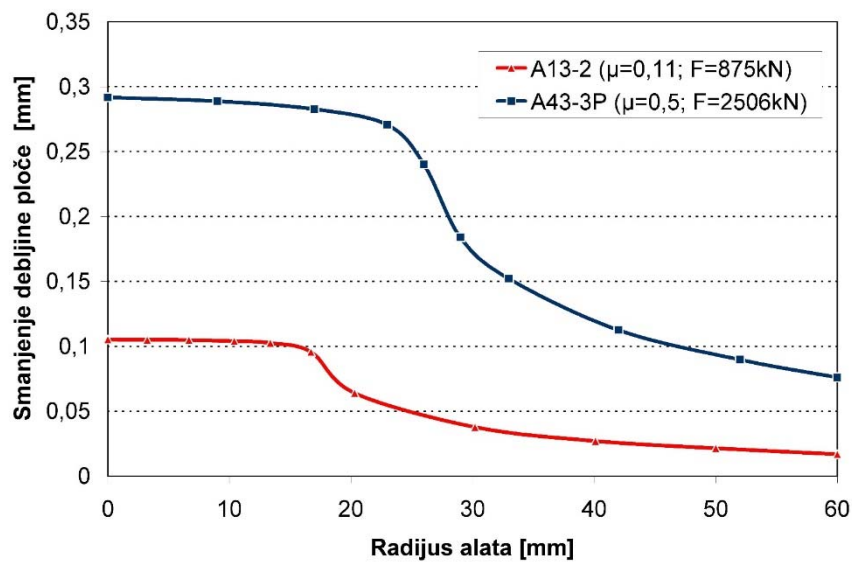
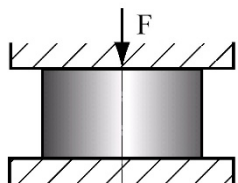
$(\sigma_z)_{kr.} = -2,7K_0$ čelik/čelik



PROMENA DIMENZIJA OBRATKA USLED ELASTIČNIH I TOPLLOTNIH DILATACIJA

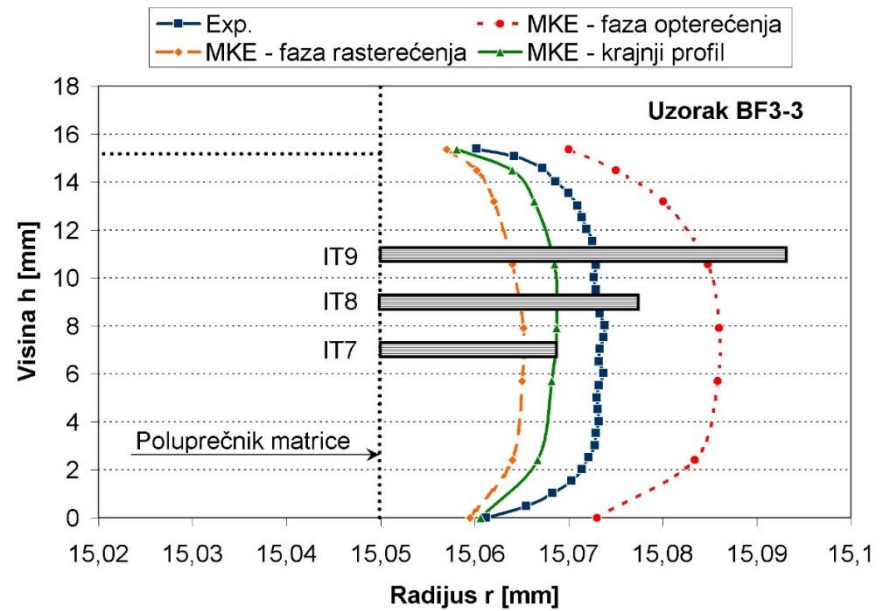
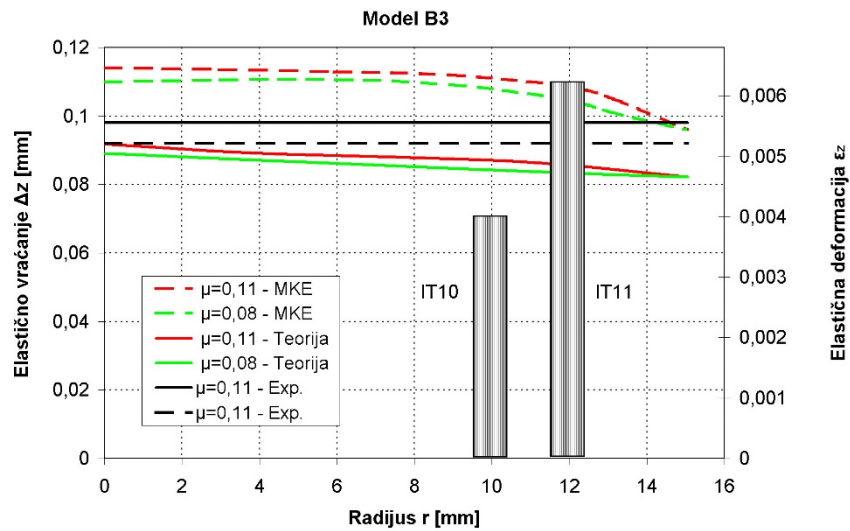
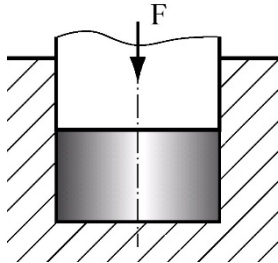


Elastične deformacije alata i obratka pri slobodnom sabijanju

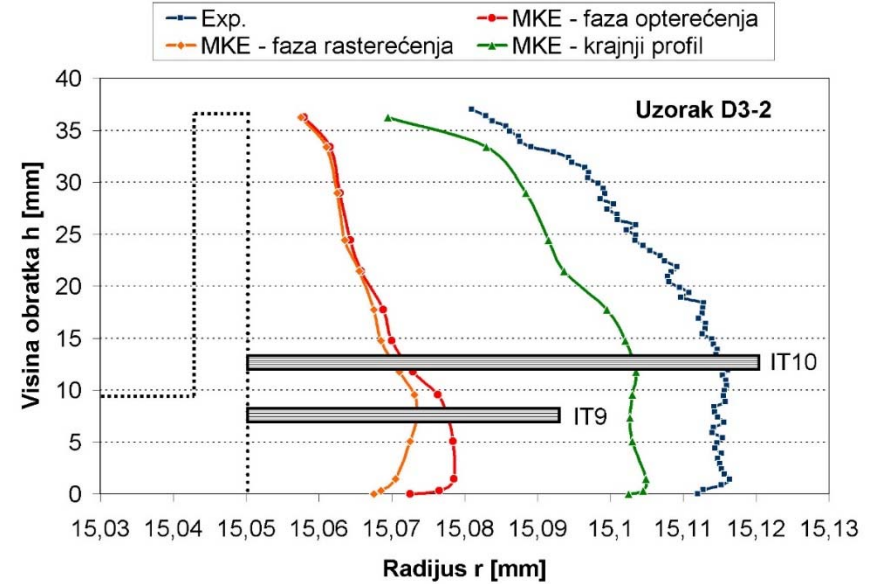
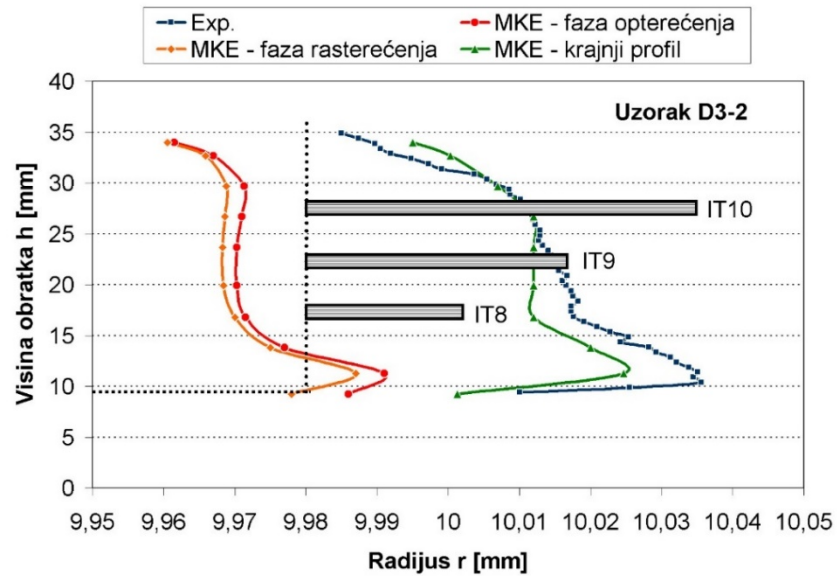
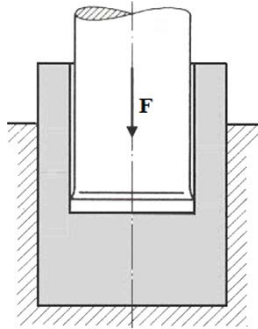


$$D_o=30\text{mm}, h_o=25\text{mm}, h_{kr}=7,8\text{mm}$$

ELASTIČNO VRAĆANJE OBRATKA sabijanje u kalupu

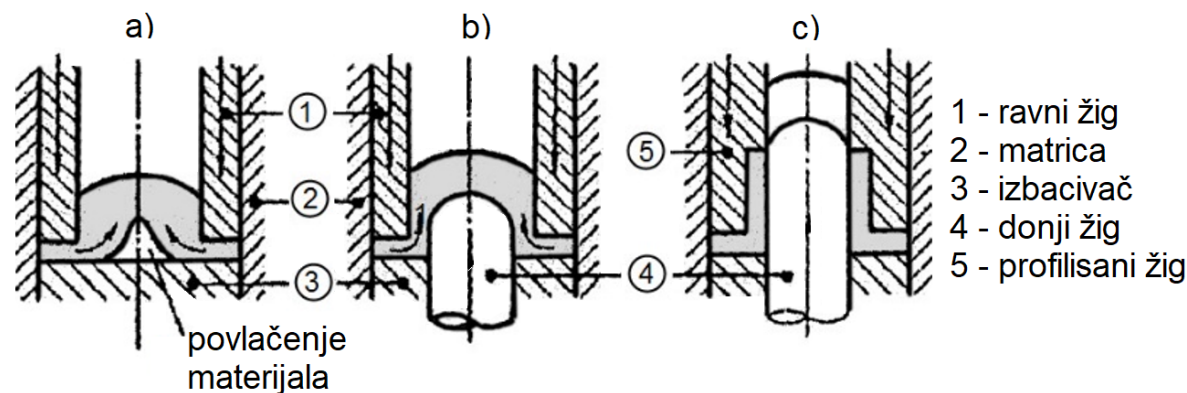


ELASTIČNO VRAĆANJE OBRATKA suprotno-smerno istiskivanje

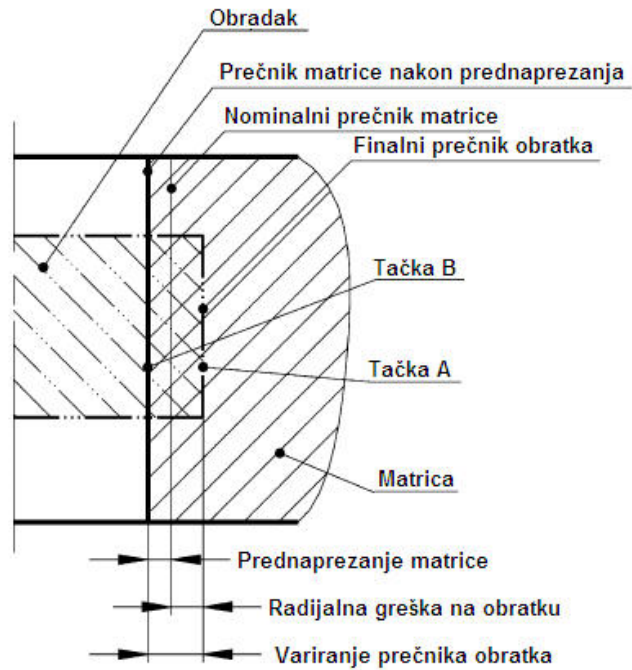


KONSTRUKTIVNE MERE ZA SMANJENJE NEGATIVNOG UTICAJA ELASTIČNIH DEFORMACIJA ALATA NA TAČNOST DELOVA

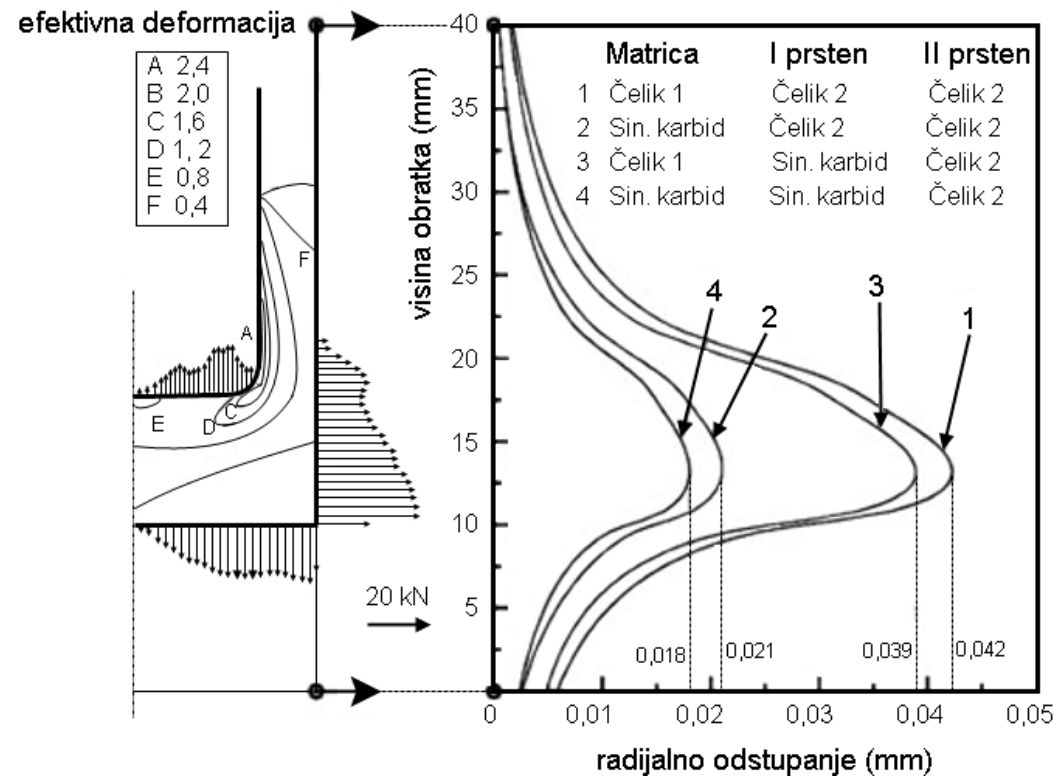
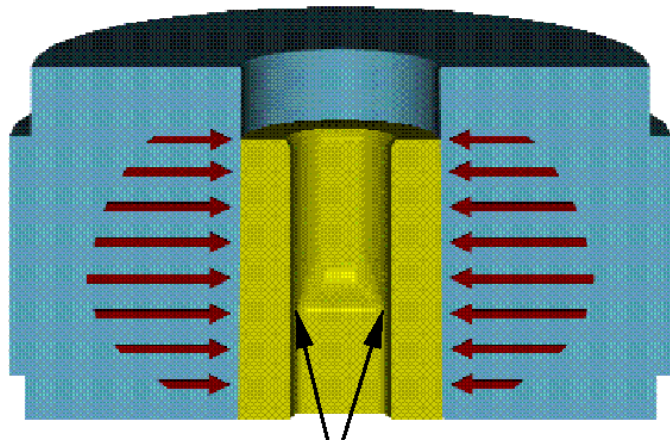
- optimizacija procesa proizvodnje (podmazivanje, početni oblik obratka, ...)
- redukcija radnih pritisaka
- poboljšanje kvaliteta kontaktne površine alata nanošenjem prevlaka
- optimizacija oblika kontaktne površine alata sa ciljem smanjenja koncentracije opterećenja
- pravilan izbor materijala za radne elemente alata
- korišćenje prednapregnutih matrica, i dr.



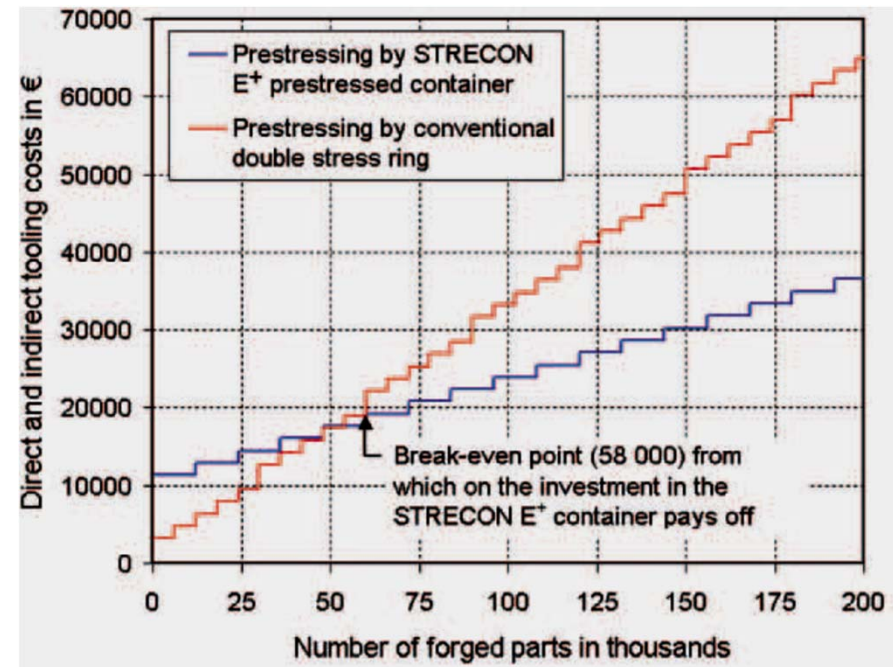
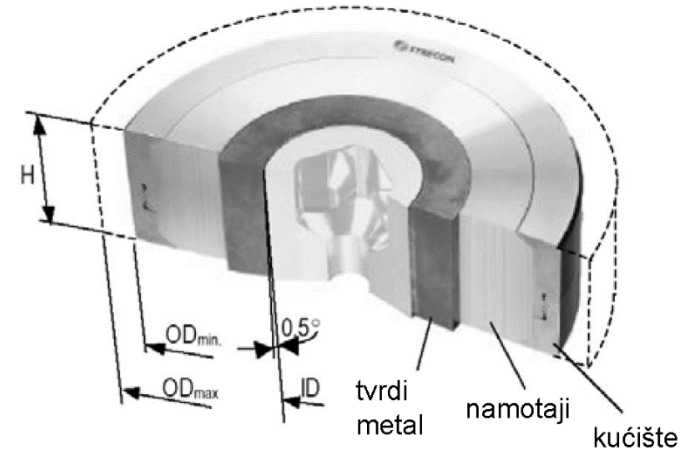
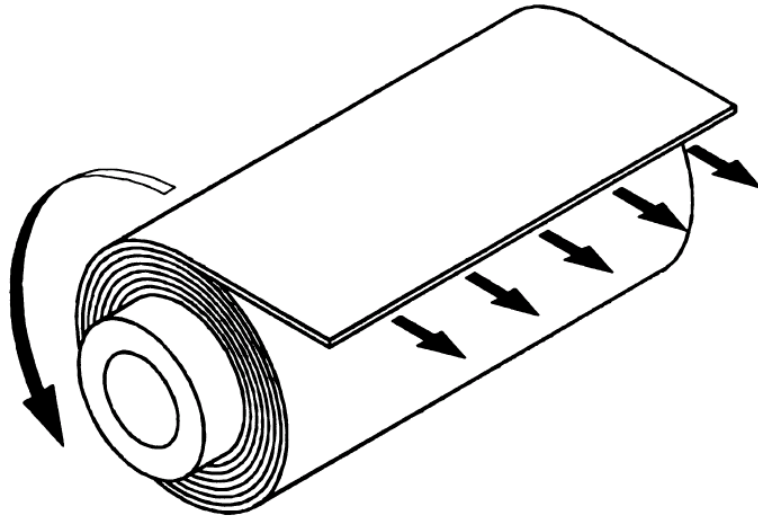
PREDNAPREZANJE MATRICE



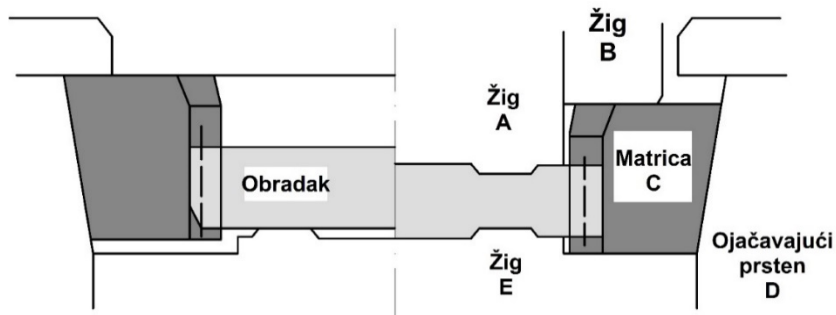
$$\Delta r_u = \frac{(p_u - p_{pn.}) \cdot r_u^2}{E(r_s^2 - r_u^2)} \left[(1 - \nu) + (1 + \nu) \frac{r_s^2}{r_u^2} \right] r_u$$



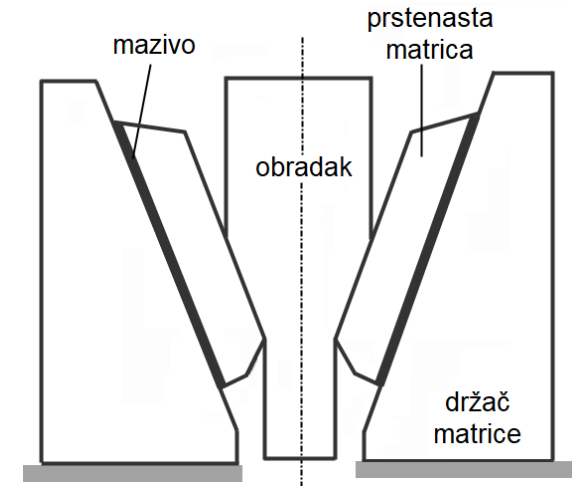
PREDNAPREZANJE MATRICE - **STRECON** sistem



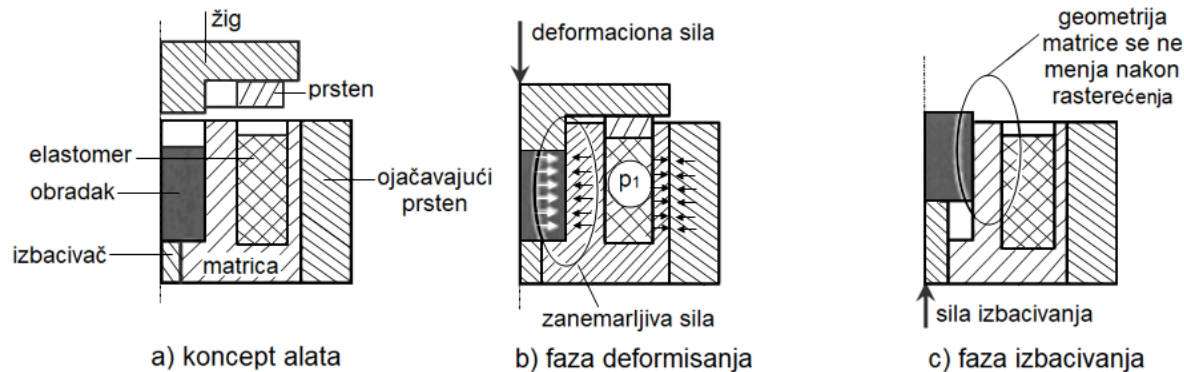
PREDNAPREZANJE MATRICE – **Elastična matrica**



Princip preciznog kovanja helikoidnog zupčanika korišćenjem elastične matrice

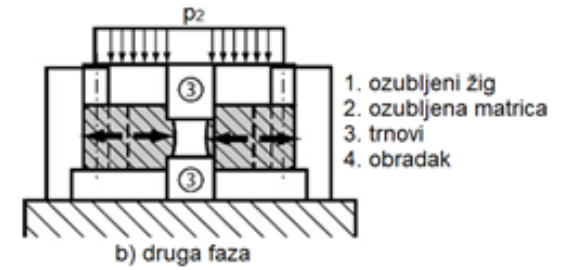
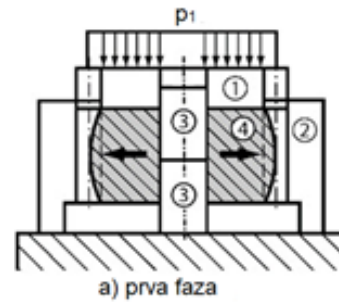
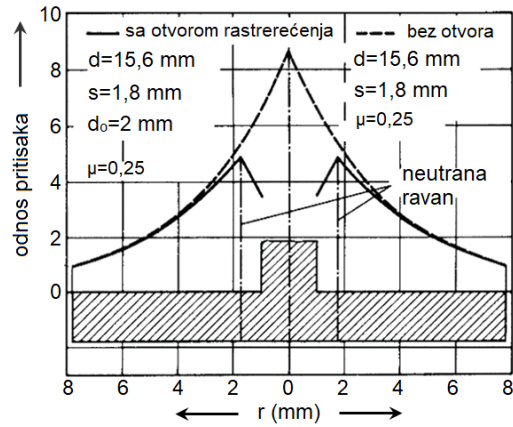
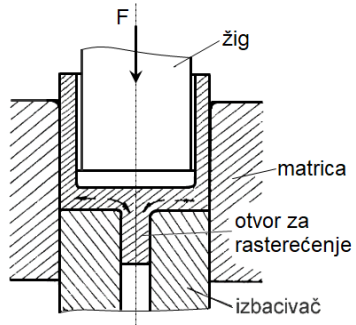


Koncepcija alata sa aktivnom kontrolom trenja

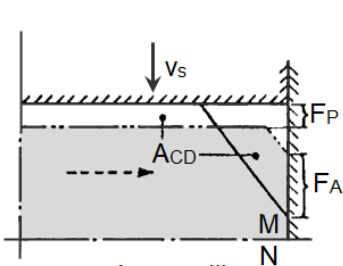
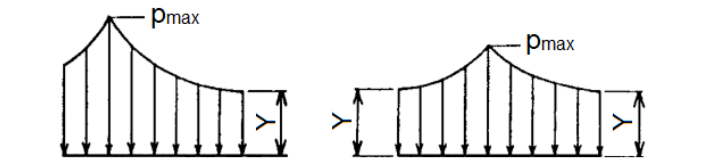
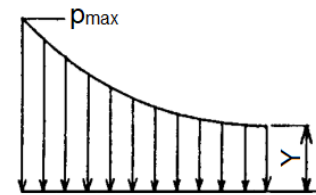


Šema alata sa aktivnom kompenzacijom deformacija matrice

OTVORI RASTEREĆENJA

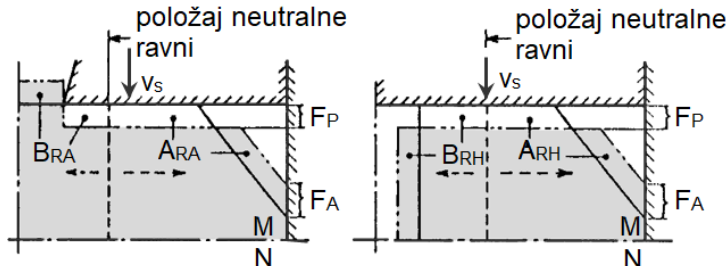


1. ozubljeni žig
2. ozubljena matrica
3. trnovi
4. obradak



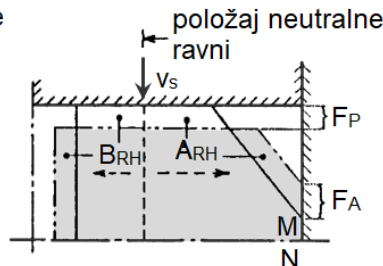
A_{CD} : veliko
velika kontaktna površina
visoki radni pritisci

a)



A_{RA}, A_{RH} : malo
površina trenja mala
niži radni pritisci

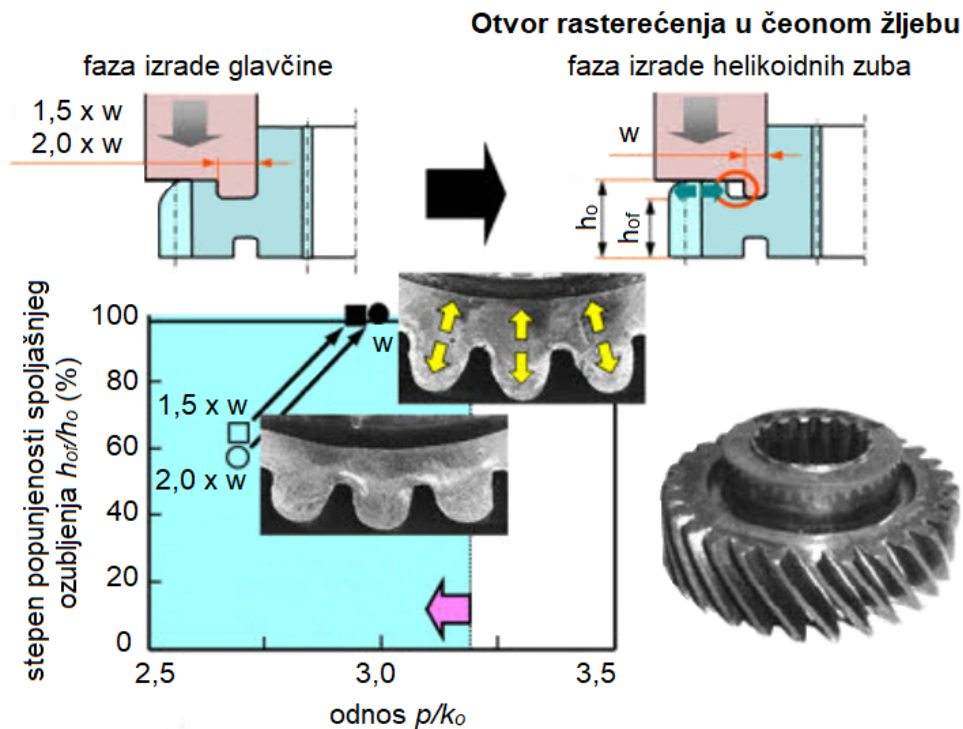
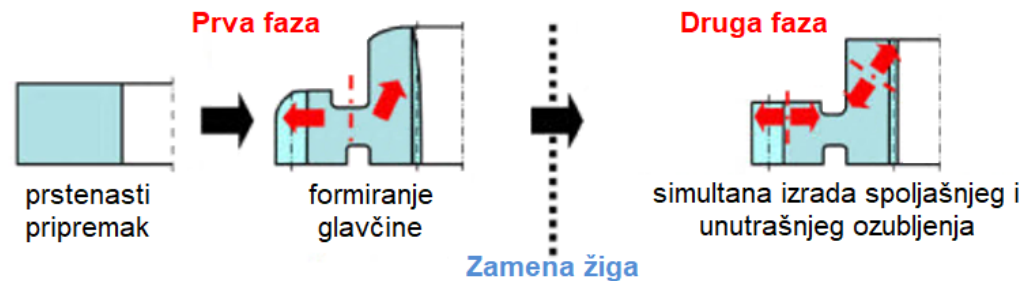
b)



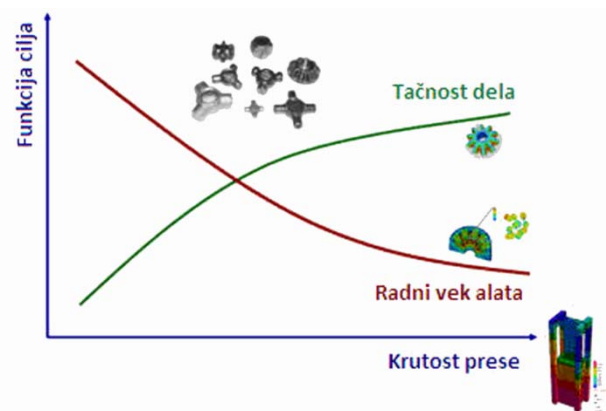
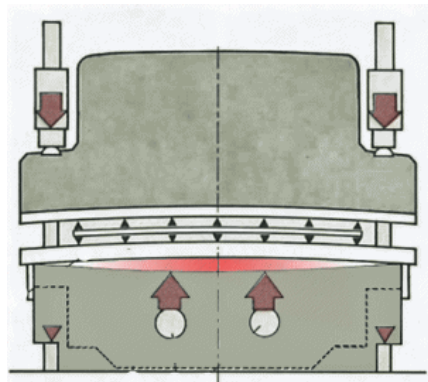
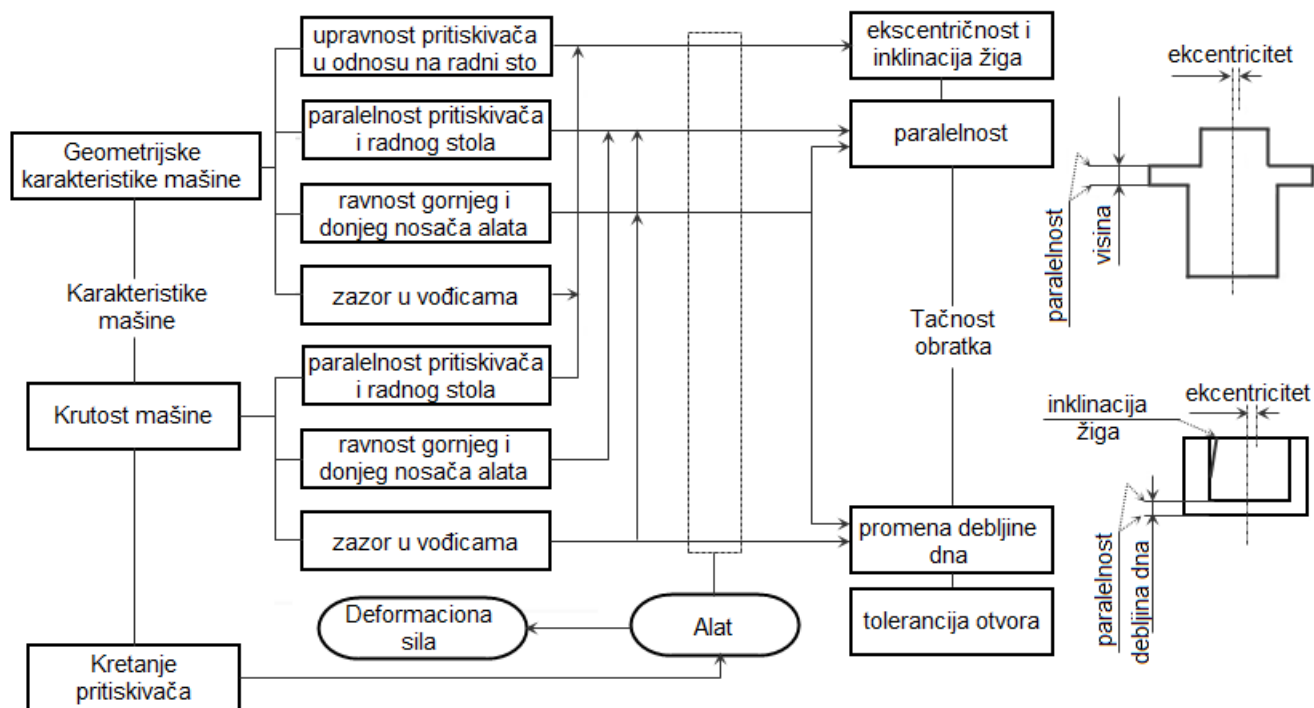
c)

OTVORI RASTEREĆENJA

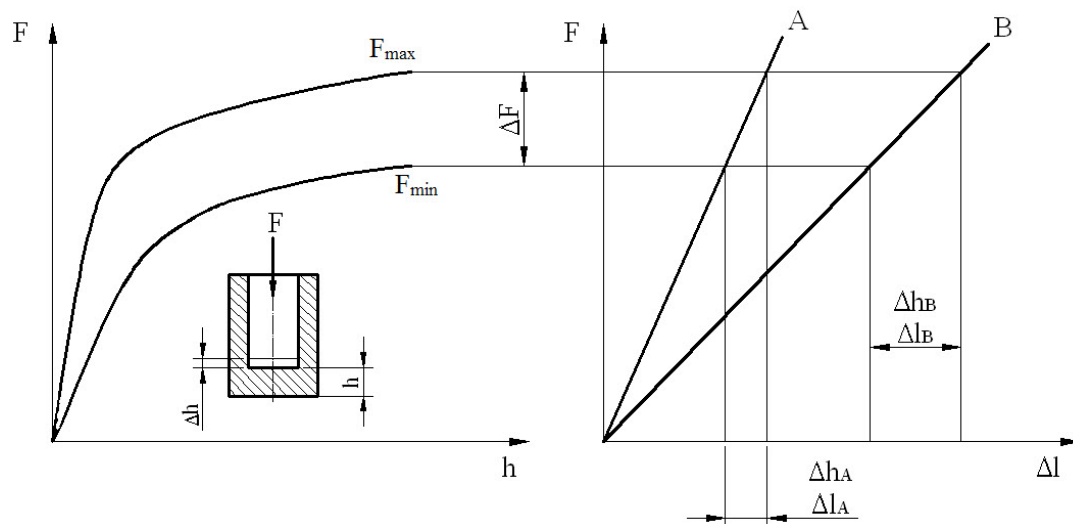
RAZNOSMERNO TEČENJE MATERIJALA



UTICAJ MAŠINE I OSTALIH ELEMENATA OBRADNOG SISTEMA NA TAČNOST OBRATKA

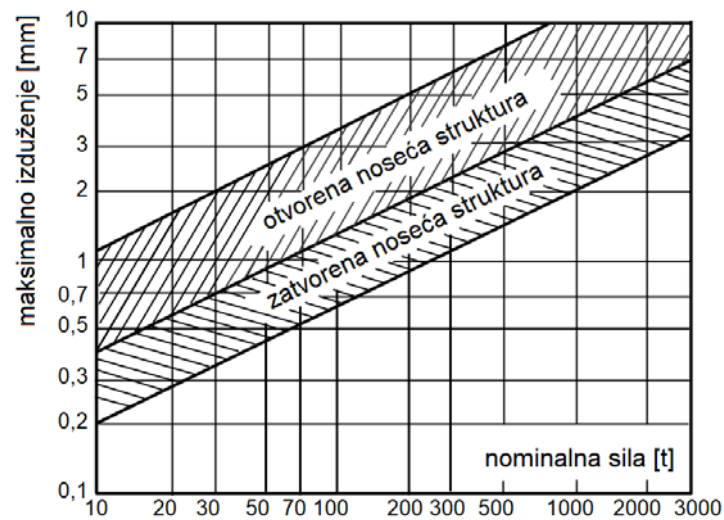
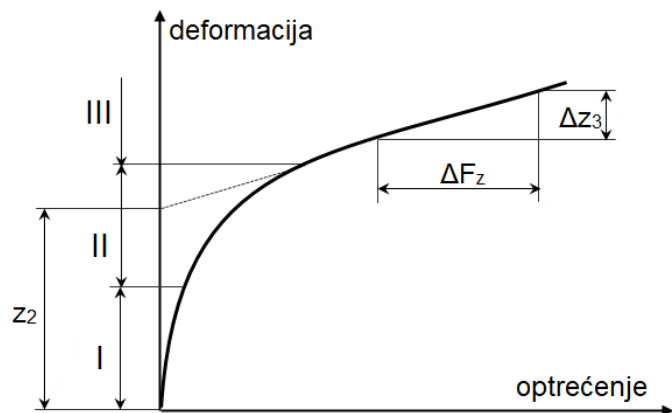


Uticaj krutosti mašine i fluktuacije sile mašine na aksijalnu tačnost delova



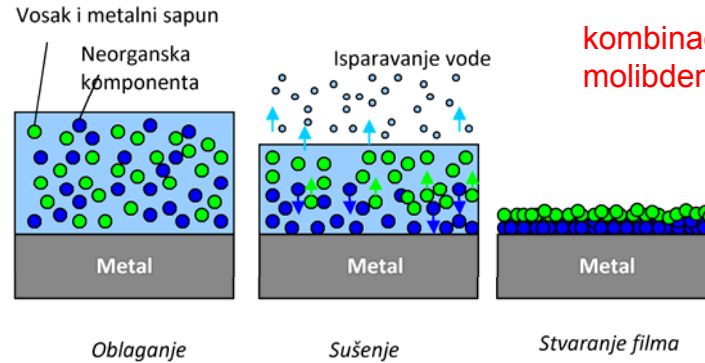
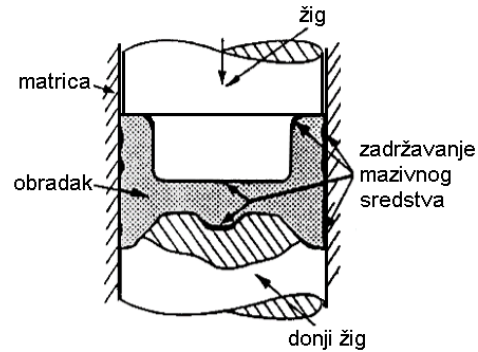
$$C_{zz} = \frac{\Delta F_z}{\Delta z}$$

$$C_{\alpha\alpha} = \frac{\Delta F_z \cdot l_y}{\Delta \alpha}$$



UTICAJ OSTALIH FAKTORA NA TAČNOST OBRATKA

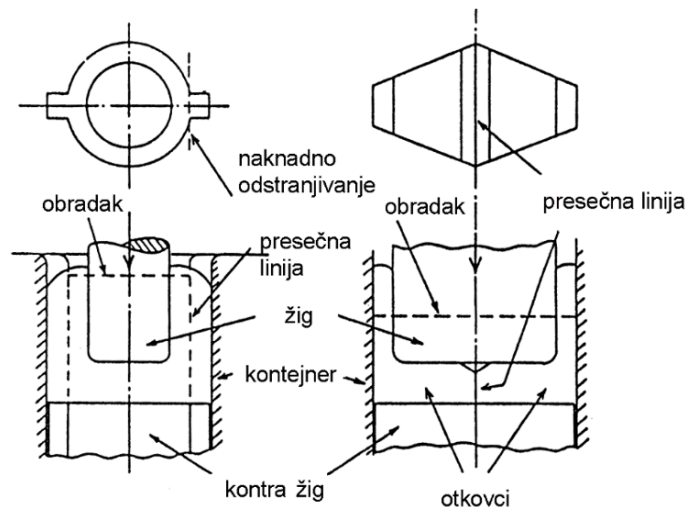
Smanjenje trenja



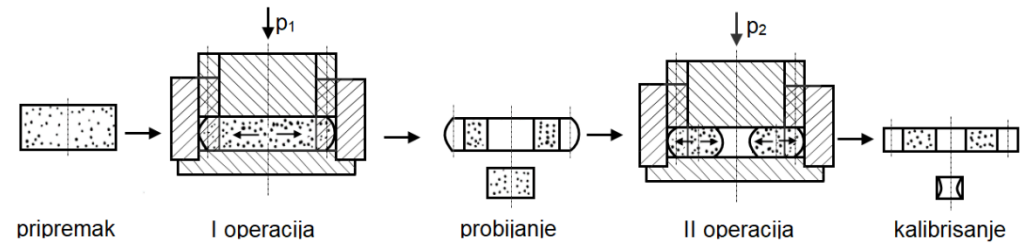
kombinacija vosak/metalni sapun ili molibden disulfid i grafit

BONDERLUBE

Modifikacija geometrije obratka



Izbor optimalnog broja faza obrada



Obrada deformisanjem i Industrija 4.0

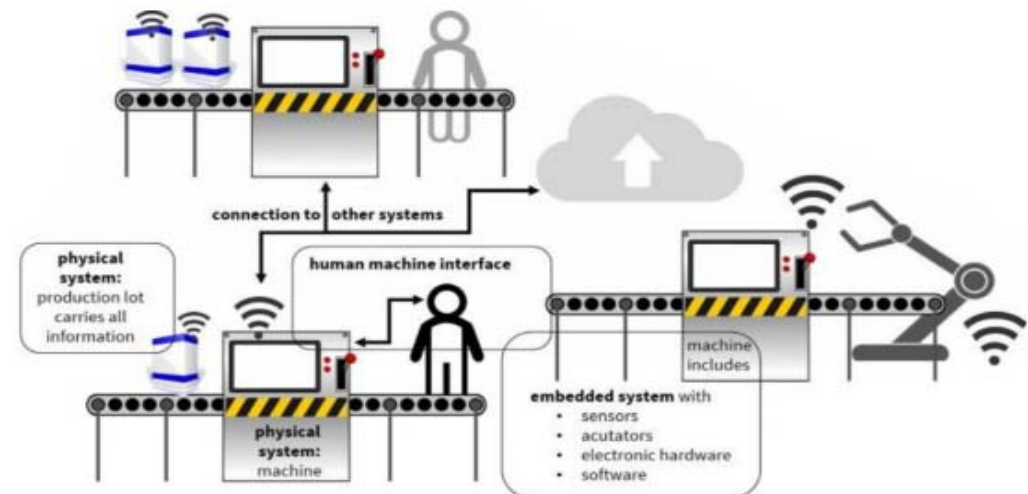
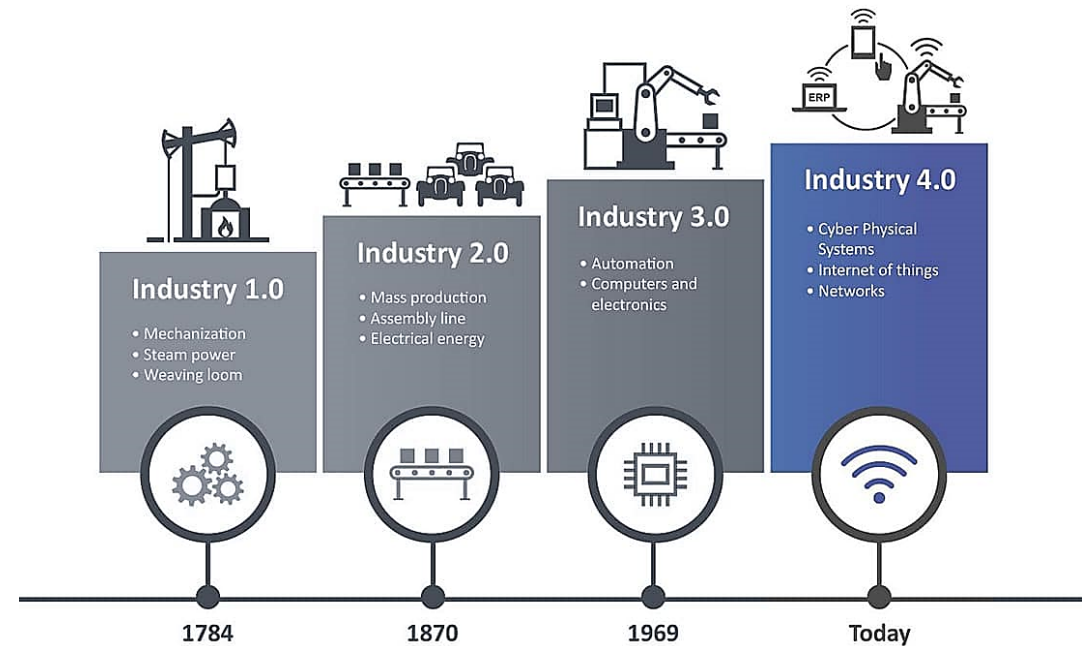
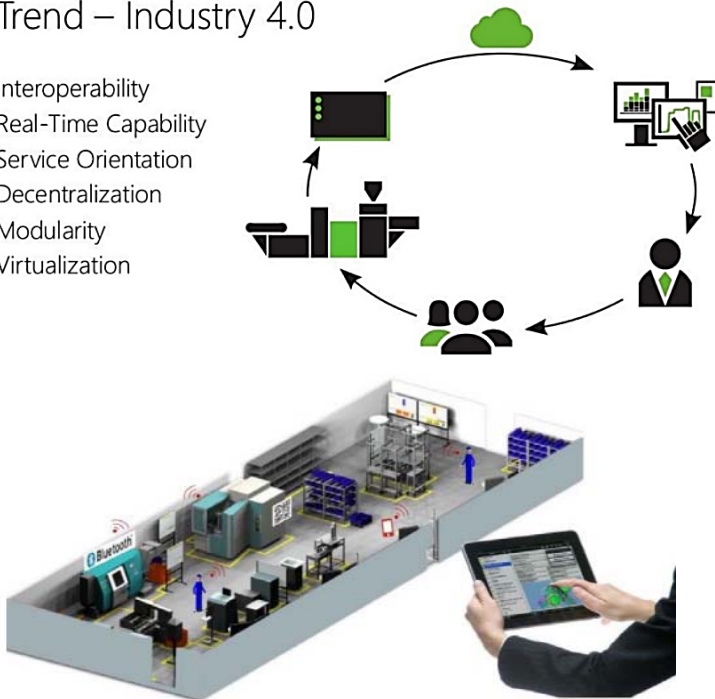
Industrija 4.0 - strateški pristup povezivanja sistema i uređaja baziranih na internet tehnologijama u cilju stvaranja inteligentnih mreža tj. uspostavljanje komunikacije između ljudi, mašina, alata, proizvoda, proizvodnih i poslovnih sistema.

Povezivanje fizičko-kibernetskog sveta!!!!

Pametni alati, mašine....

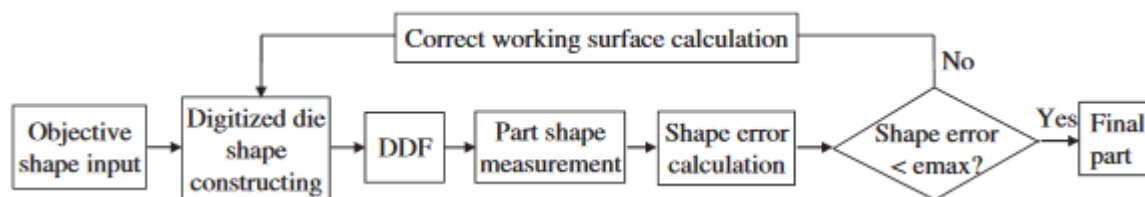
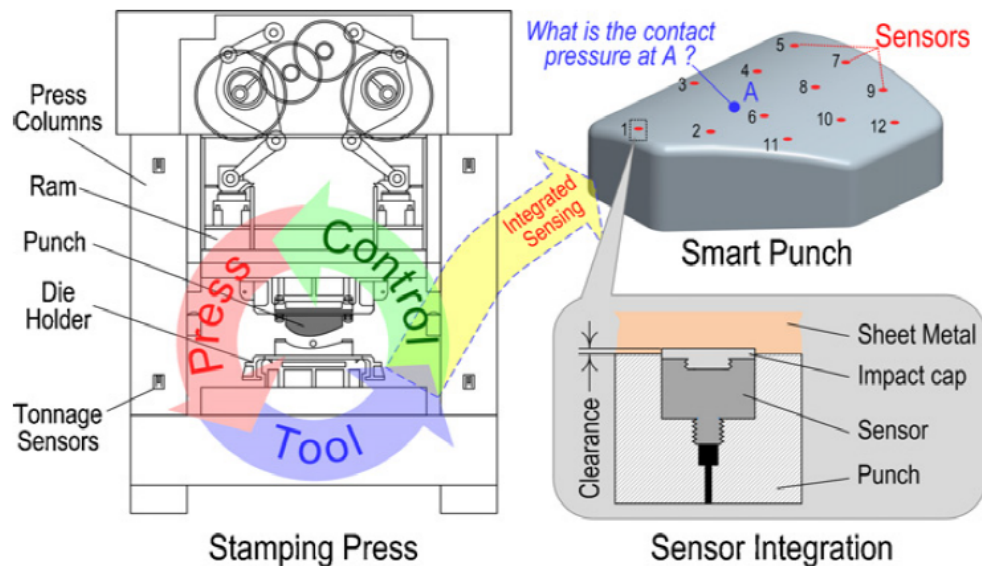
Trend – Industry 4.0

Interoperability
Real-Time Capability
Service Orientation
Decentralization
Modularity
Virtualization



Kontrola i upravljanje u obradi deformisanjem (pametni alati - smart tools)

- Pametni alati – alati sa integrisanim različitim senzorima preko kojih se kontroliše i prati proces obrade i dobijaju informacije o procesu u realnom vremenu.
- Detektovanje i merenje varijabli u procesu deformisanja → Korektivne radnje
- Pasivni → Aktivni alat
- Optimizacija procesa (tačnost, kvalitet, redukcija škarta, ...)



Kontrola i upravljanje u obradi deformisanjem (pametni alati - smart tools)

Sistemi upravljanja:

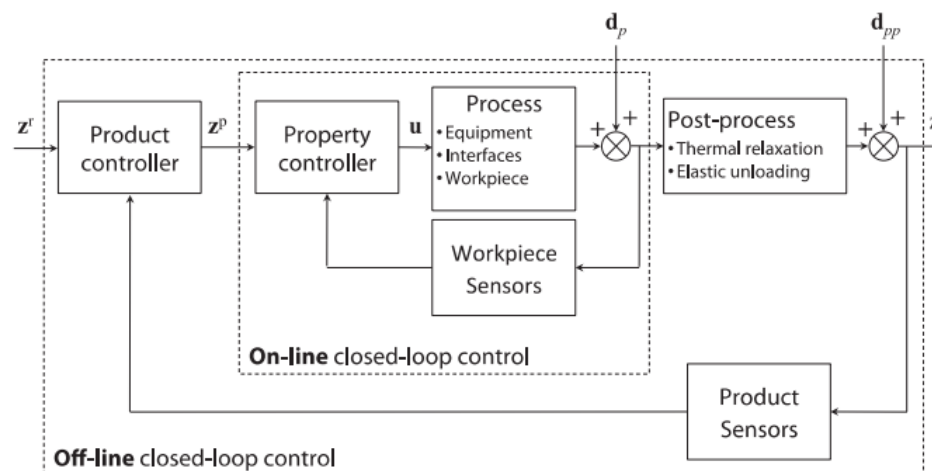
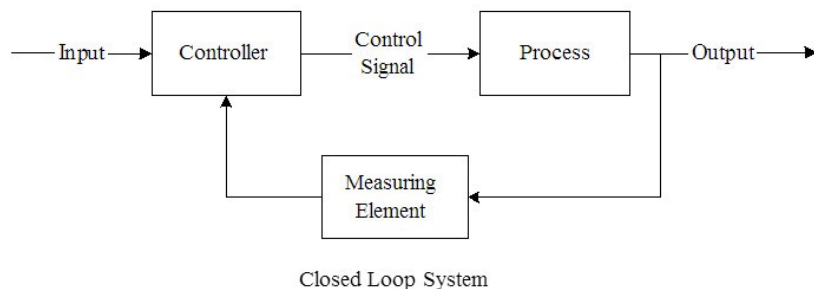
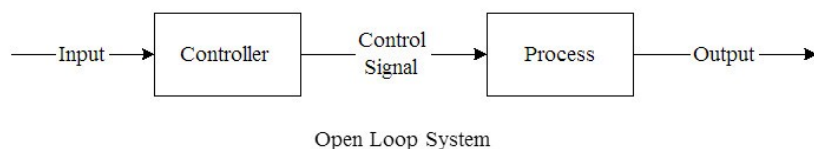
- sa povratnom spregom (closed loop)
- bez povratne sprege (open loop)

Sistemi bez povratne sprege - ne poseduju nikakav oblik povratne petlje, pa samim time funkcionišu bez poređenja stvarnih i programiranih vrednosti izlaza, te se izlazni signal generiše direktno.

- Upravljački sistem ne dobija informacije o rezultatima svojih upravljačkih odluka.
- Jednostavnije konstrukcije, jeftini su jer ne poseduju merni sistem, a karakteriše ih i zadovoljavajuća stabilnost.
- Osnovni nedostatak ovih sistema ogleda se u tome što ne postoji mogućnost korekcije grešaka koje nastaju kao rezultat neočekivanih poremećaja koji neminovno prate proces obrade.

Sistemi sa povratnom spregom - imaju mogućnost regulacije sistema putem nadgledanja trenutnog izlaza i korigovanja bilo kakvih odstupanja u odnosu na projektovane vrijednosti izlaza.

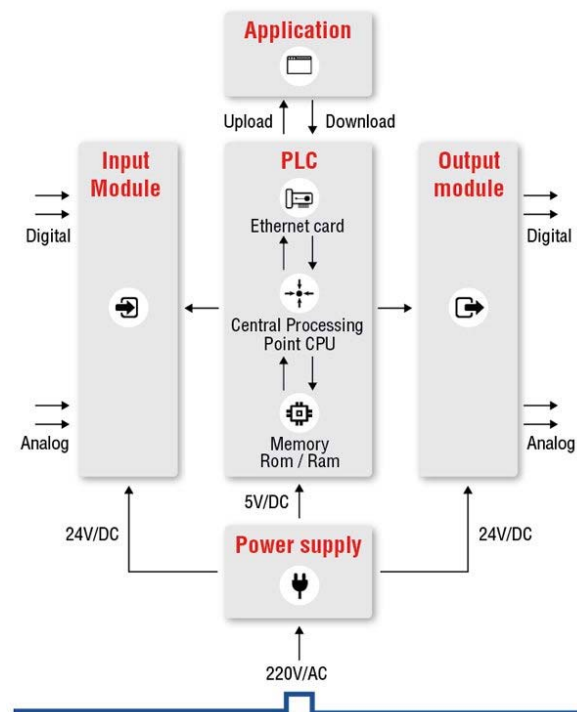
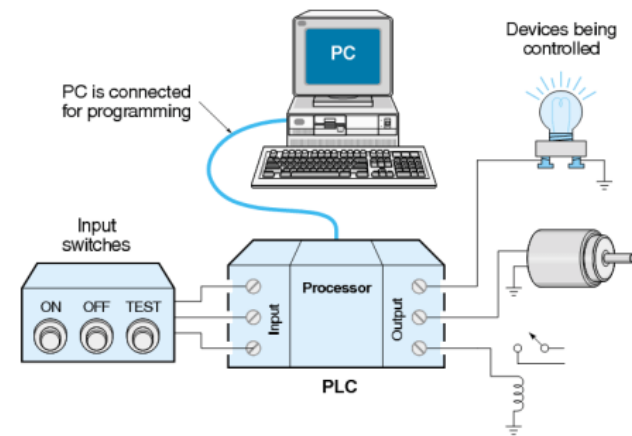
- Željeni rezultat postiže se povratnim djelovanjem izlaznih informacija iz procesa na njegove ulazne parametre, tako što se izlazna veličina meri, a zatim poredi sa željenom vrednošću u cilju generisanja signala greške, koji se koristi za upravljanje.
- Za mjerenje izlaznih veličina sistemi sa povratnom spregom obavezno posjeduju integrisani merni sistem



Kontrola i upravljanje u obradi deformisanjem (kontroleri)

Programabilni logički kontroler ili **PLC** (skraćenica od engleske reči *programmable logic controller*) je **programabilni** (uređaj koji se može programirati) **logički** (izvršava logičke algoritme) **kontroler** (računar).

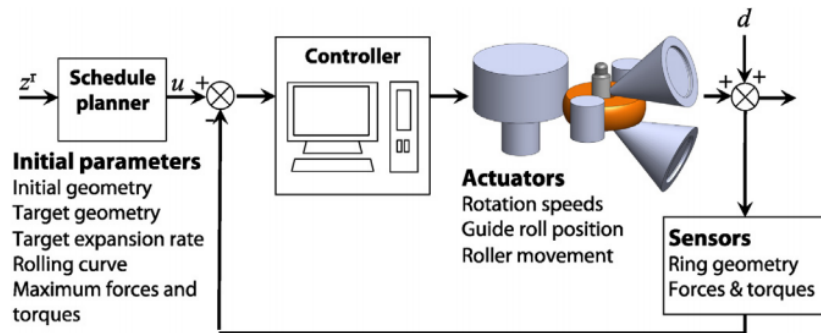
- PLC se najviše koristi kao centralni deo upravljačkih automatskih sistema u industriji
- Njegov program (algoritam) se može brzo i jednostavno menjati te je pogodan za brza rešenja i aplikacije.
- PLC je digitalni računar a njegov program se izvršava ciklično u 3 faze:
 - čitanje ulaznih promenljivih,
 - izvršavanje programskog koda,
 - ispisivanje rezultata logičkih operacija na izlaze.
- Program se pamti u internoj memoriji i kada uređaj ostane bez napajanja.



Kontrola i upravljanje u obradi deformisanjem (senzori i aktuatori)

Senzor (davač, detektor) - uređaj koji meri fizičke veličine i konvertuje ih u signal čitljiv posmatraču i/ili instrumentu. Kontaktni i bezkontaktni.

Aktuator - uređaj koji pretvara električne ili fizičke (fluidne) ulaze/impulse u mehaničke izlaze, kao što su pozicija, sila, ugao ili moment.



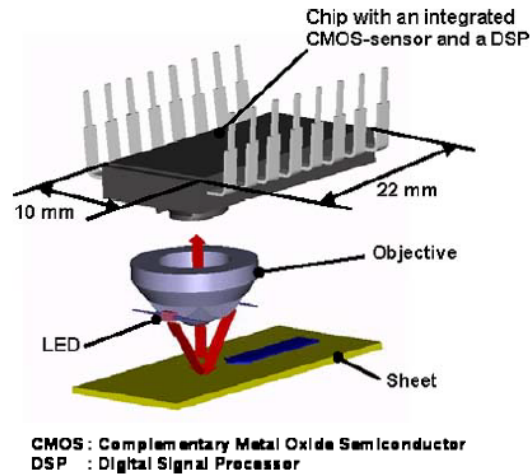
Aktuatori

	Actuator type	Characteristics
Force/ displacement	Motor + ball screw	Stiffness
	Hydraulic	Maximum force/pressure
	Piezo-electric	Torque
	Electromagnetic/plasma pulse, explosion	Power
	Pneumatic (+switching valves)	Stroke (range)
Heating/cooling		Resolution/accuracy
		Resonant frequency
		Speed and acceleration
	Power supply/DC converter: conductive heat	Maximum temperature
	High current switch mode – resistance heat	Maximum power
	Laser	Frequency
	Gas furnace	(induction heating)
Electric furnace		
Induction heating		
Spray cooling		

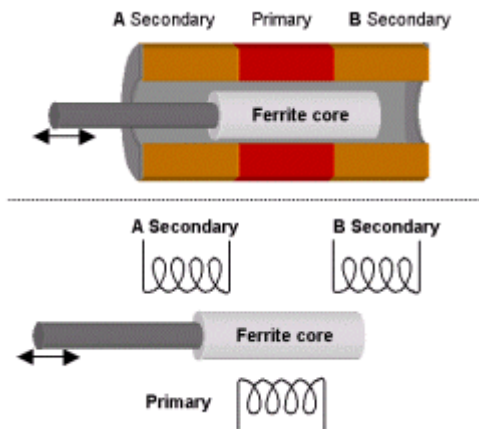
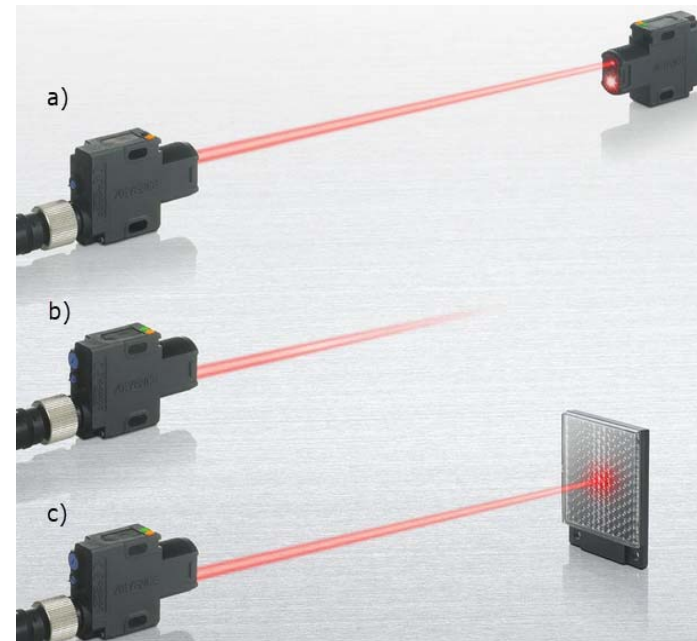
Senzori

	Sensor type	Selection characteristics
Actuation and equipment condition	Strain gauges and load cells	Stiffness (or equivalently resistance or thermal inertia)
	Linear/rotary distance encoders and transducers	Natural frequency
	Voltage and current metres	Range
Interface conditions	Pressure and friction sensors	Resolution
	Workpiece conditions	Accuracy/Repeatability
Microstructure properties	Surface temperature (infra-red camera, optical pyrometry, thermocouples)	Linearity
	Surface strains/strain rates (digital image correlation, photon Doppler velocimetry)	Sampling frequency (or frame rate, or speed)
	Textures (electron backscatter diffraction)	Spatial resolution
	Hardness ductility (on-line hardness testing, X-ray diffraction, magneto-inductive tests)	Robustness to practical on-line conditions
	Damage (thermography, ultrasonics, radiographic inspection, vibrometry, acoustic emissions, eddy current techniques, magnetic leakage flux)	
Mechanical properties	Residual stress ("shapemeter")	
	Surface properties	Surface morphology (white-light interference microscopy, tactile profilometer, photometry, laser triangulation, electronic speckle pattern interferometry)

Kontrola i upravljanje u obradi deformisanjem (senzori)

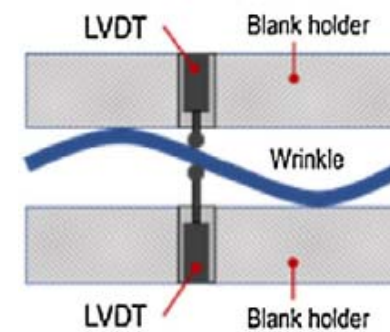


Princip optičkog senzora

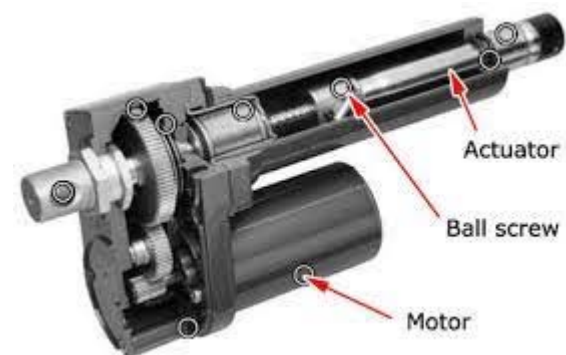
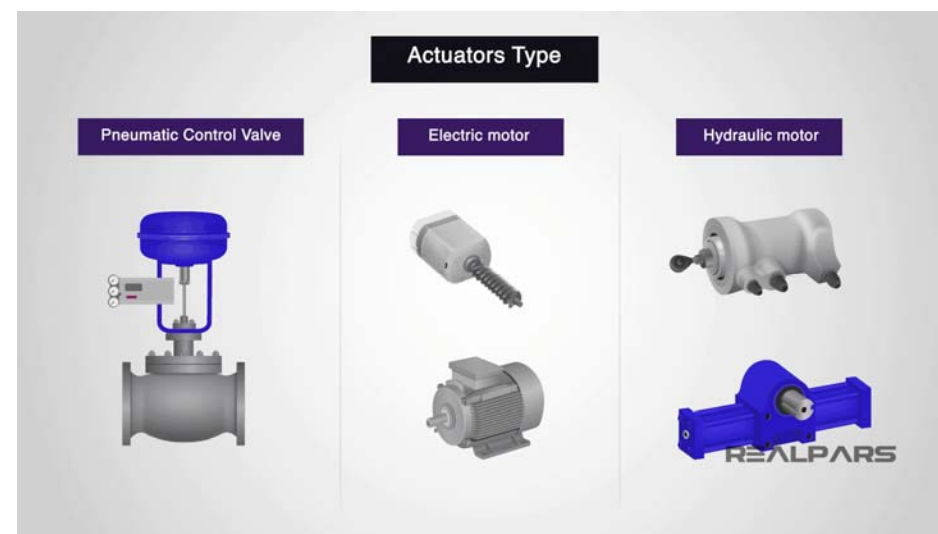
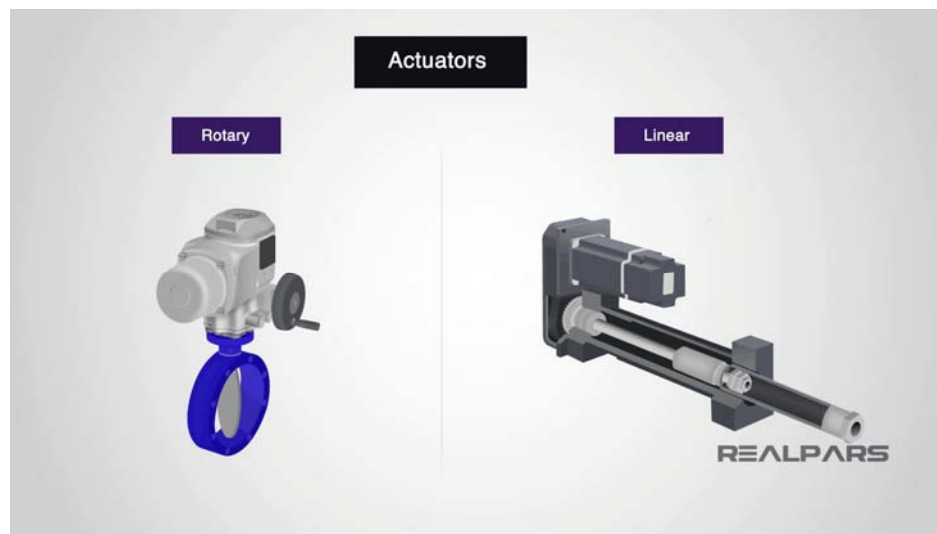


Induktivni kontaktni senzori

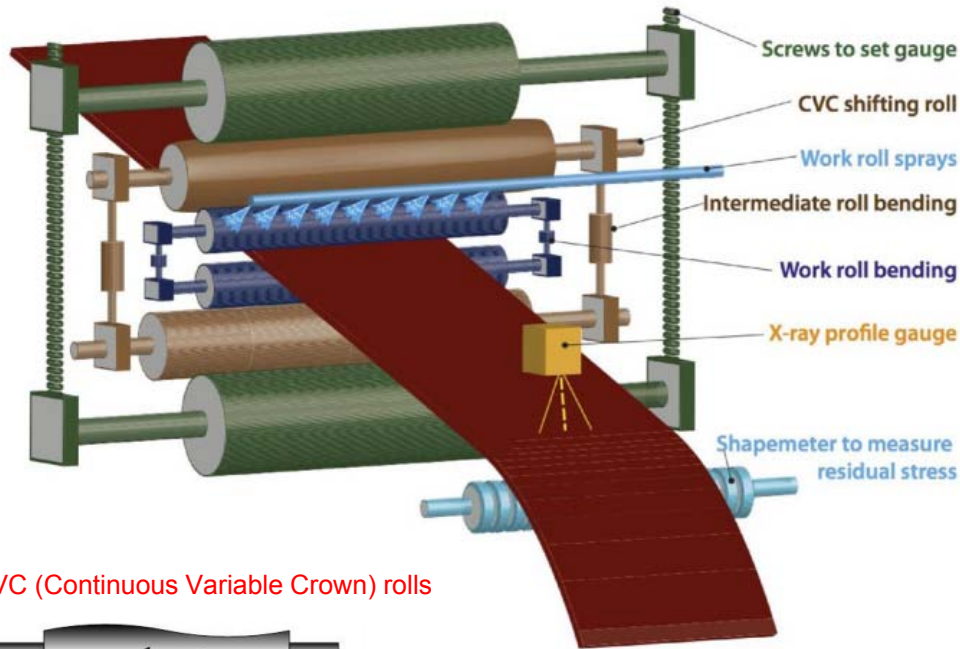
Fotoelektrični senzori



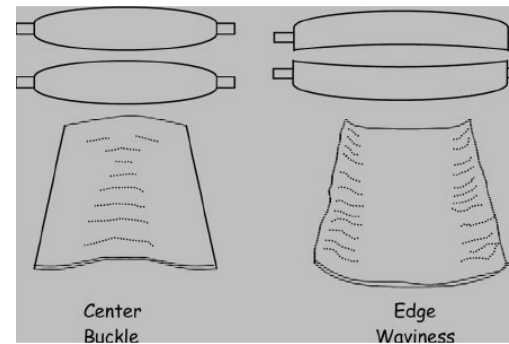
Kontrola i upravljanje u obradi deformisanjem (aktuatori)



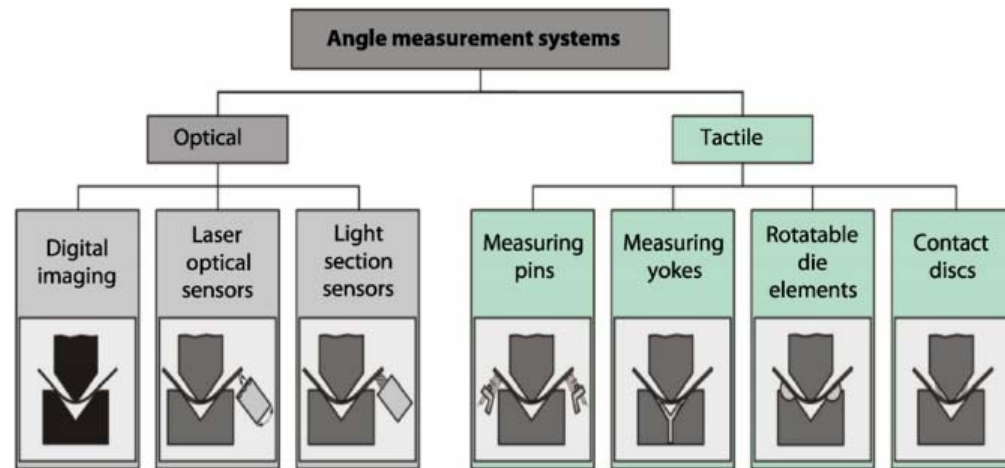
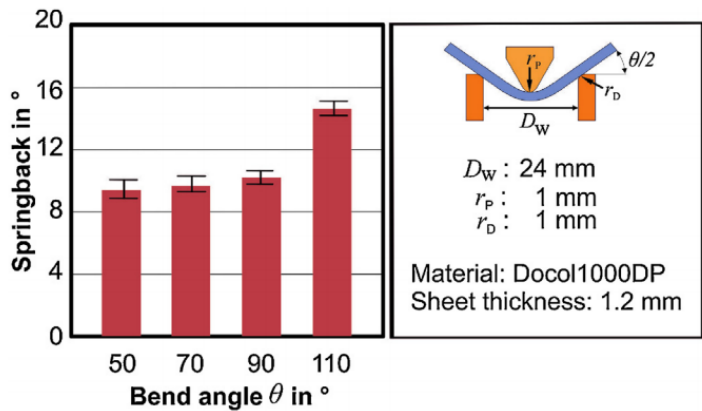
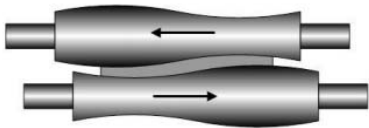
Kontrola u procesu obrade lima



Šematski prikaz aktuatora i senzora za kontrolu ravnosti lima pri hladnom valjanju

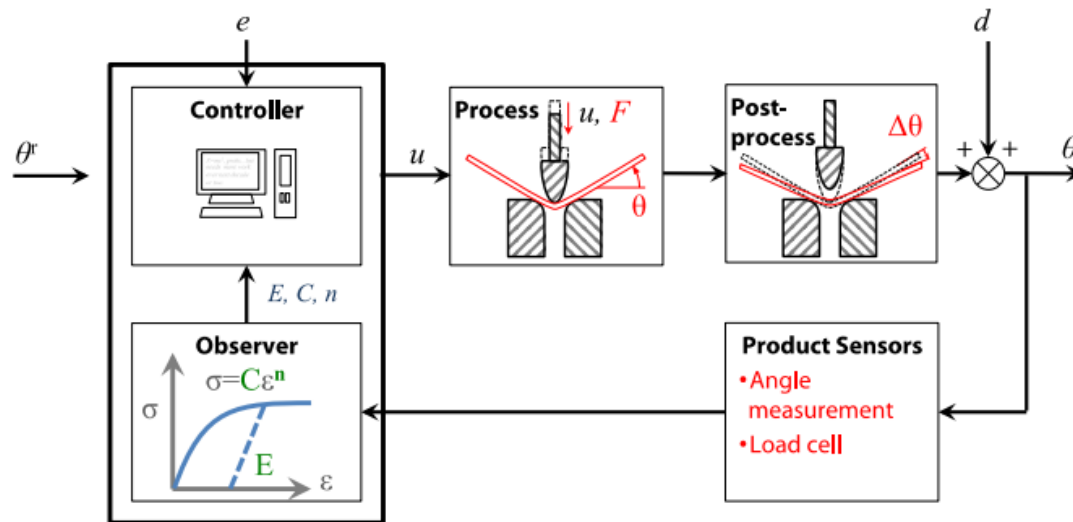


CVC (Continuous Variable Crown) rolls

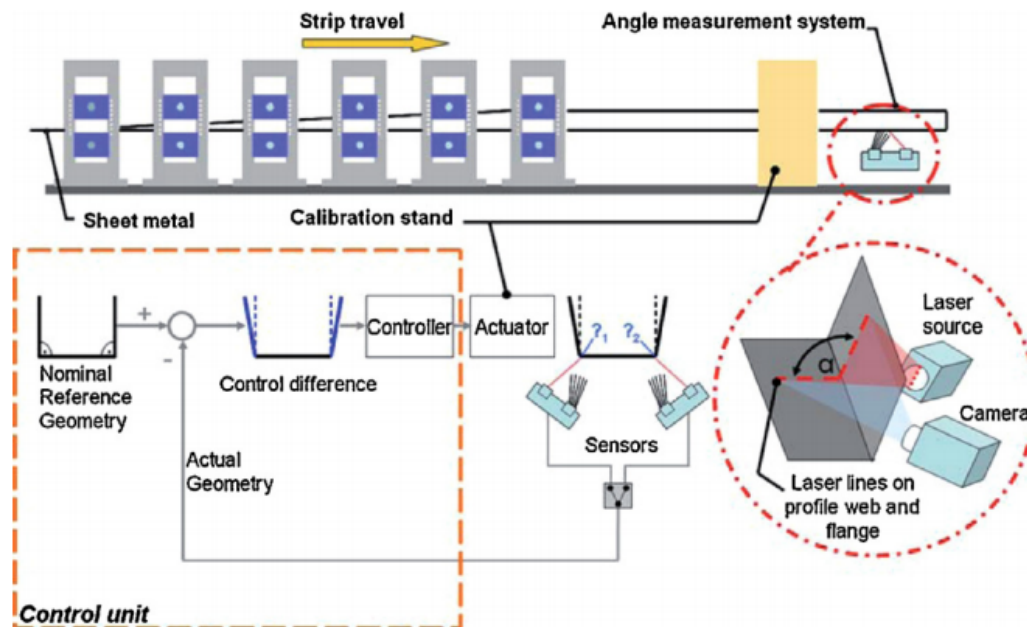


Različite metode merenja ugla elastičnog vraćanja

Kontrola u procesu obrade lima savijanjem

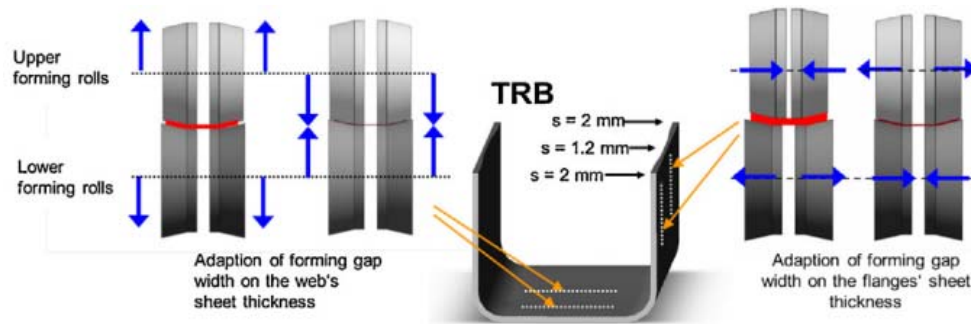


Dvo-operaciono savijanje za postizanje visoke tačnost ugla savijanja

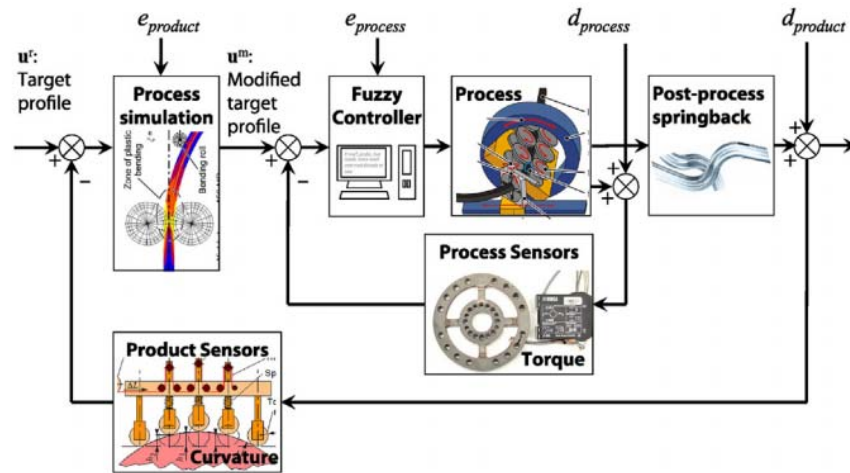


Sistem za kalibraciju (closed loop control) integrisan u konvencionalnu liniju za profilo savijanje pomoću valjaka za U-profile

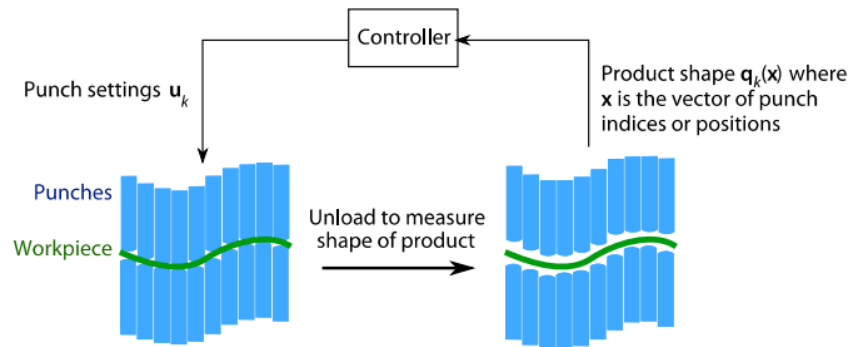
Kontrola u procesu obrade lima



Profilno valjanja Tailor Blanks limova

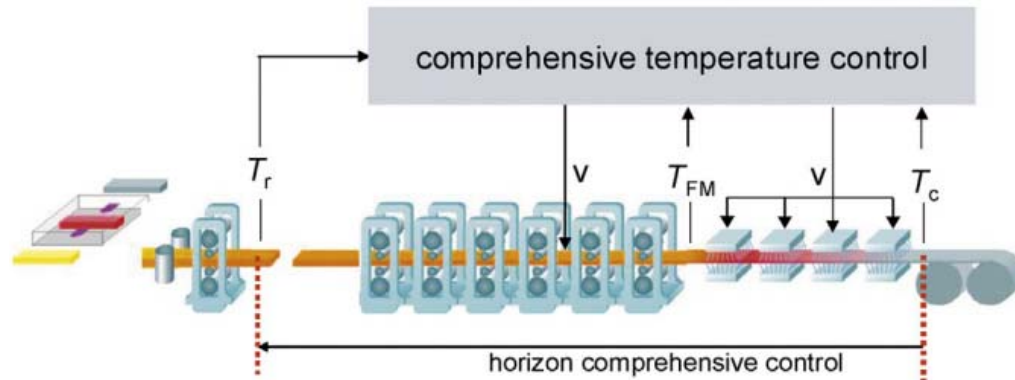


Izrada cevi savijanjem:
Kontrola spošanjeg profila
primenom zatvorene petlje
upravljanja

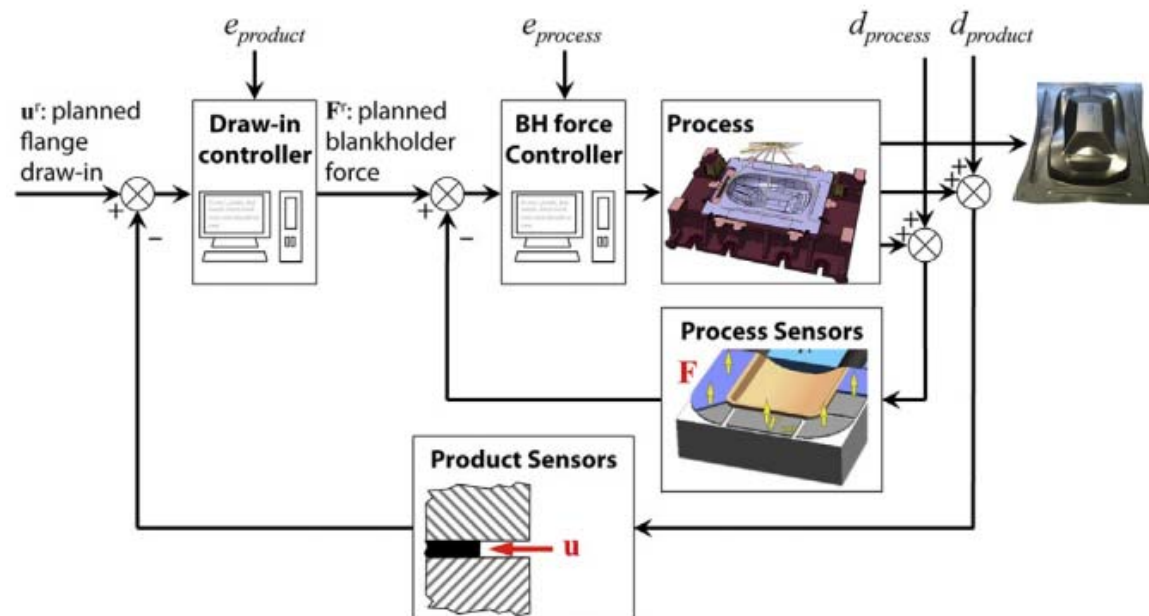


Oblikovanje lima pomoću seta žigova

Kontrola u procesu obrade lima

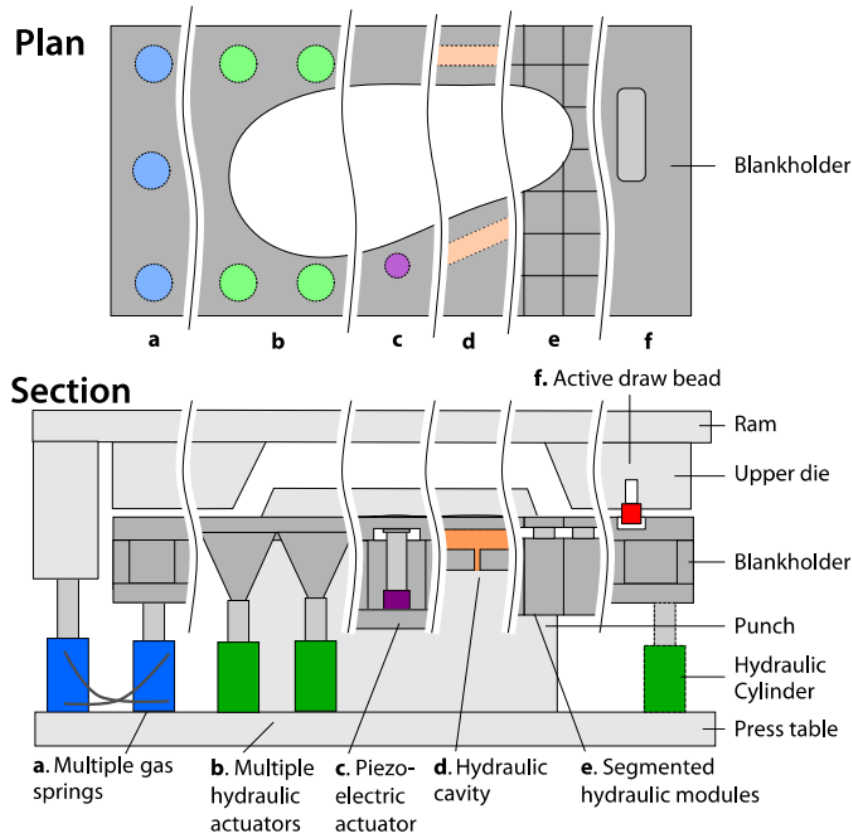


Sveobuhvatna kontrola temperature uključujući kontrolu brzine kotrljanja radi podešavanja temperature izlaza valjaoničkog mlina

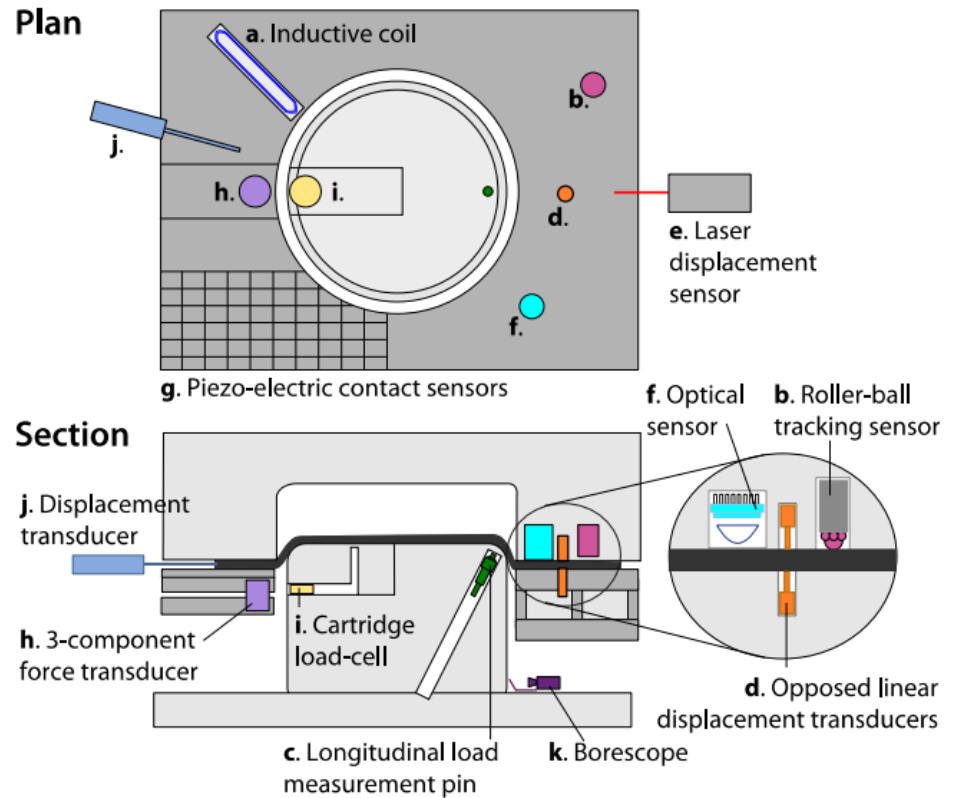


Standardna šema zatvorene petlje (closed loop) za kontrolu toka materijala pri dubokim izvlačenju

Kontrola u procesu dubokog izvlačenja

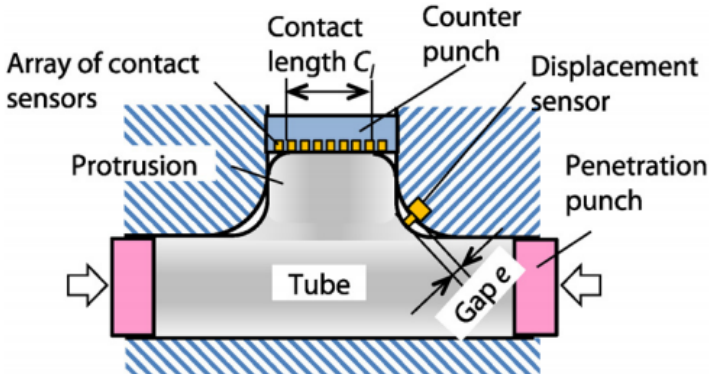
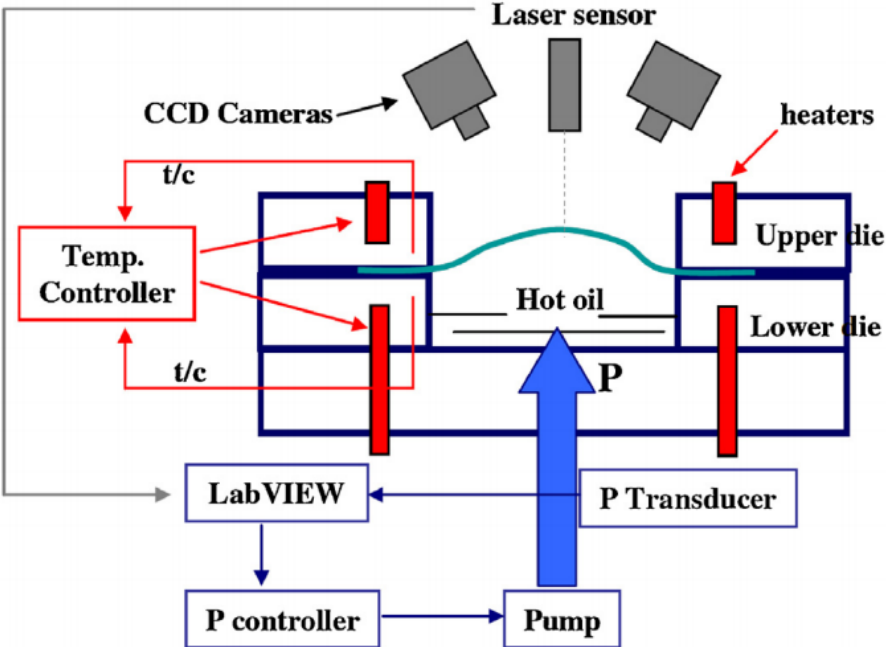


Aktuatori za kontrolu toka materijala u dubokom izvlačenju



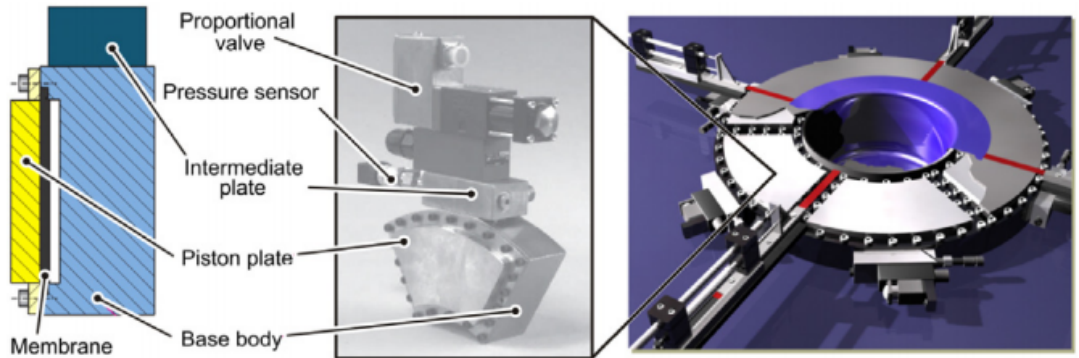
Senzori za monitoring (prikupljanje podataka) za tok materijala pri dubokom izvlačenju

Kontrola u procesu hidro-deformisanja



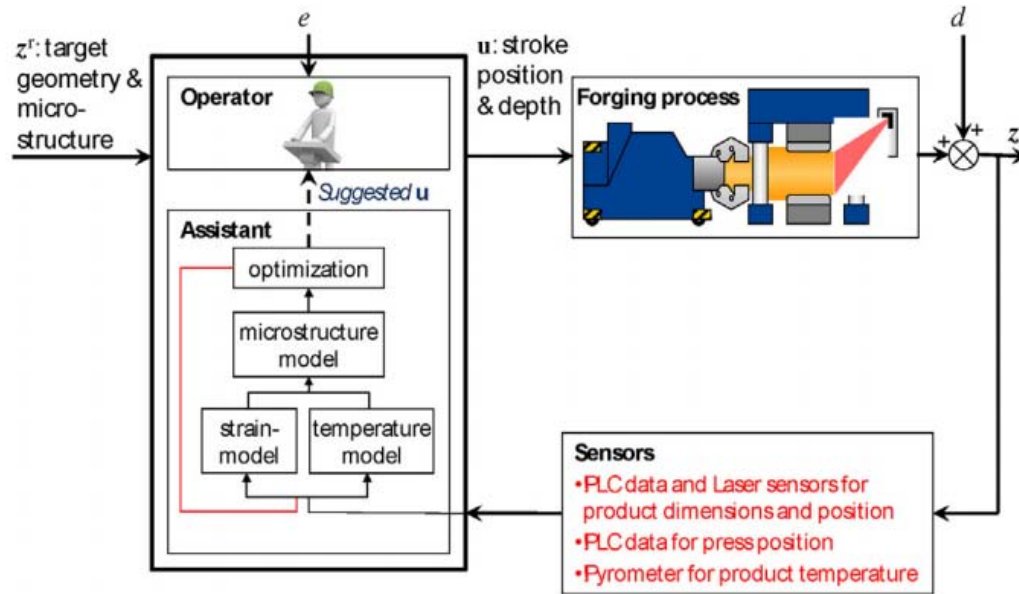
Senzori u alatu u hidroformiranju cevi

Hidraulički test sa on-line senzorima za deformacije, brzinu deformacije, temperaturu i pritisak tečnosti.

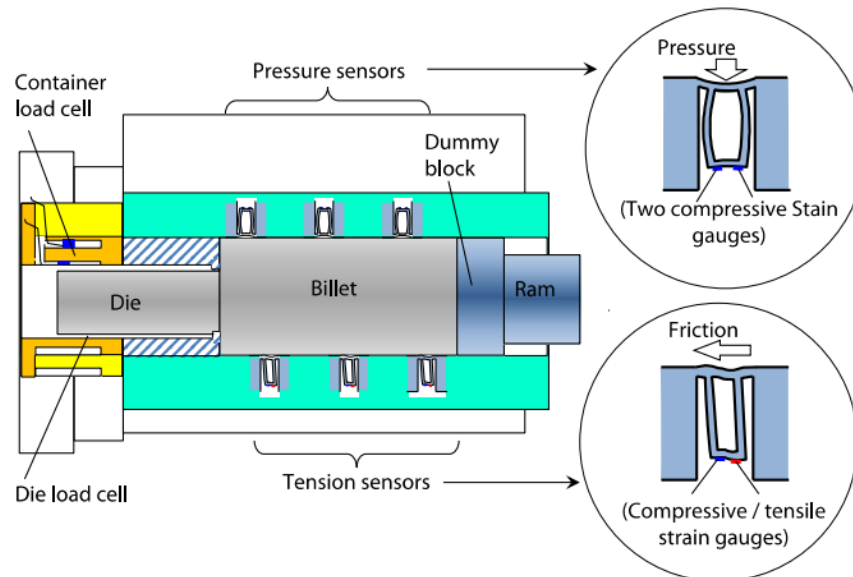


Multi kontakti držač lima pri hidroformiranju cevi

Kontrola u procesu kovanja i ekstrudiranja

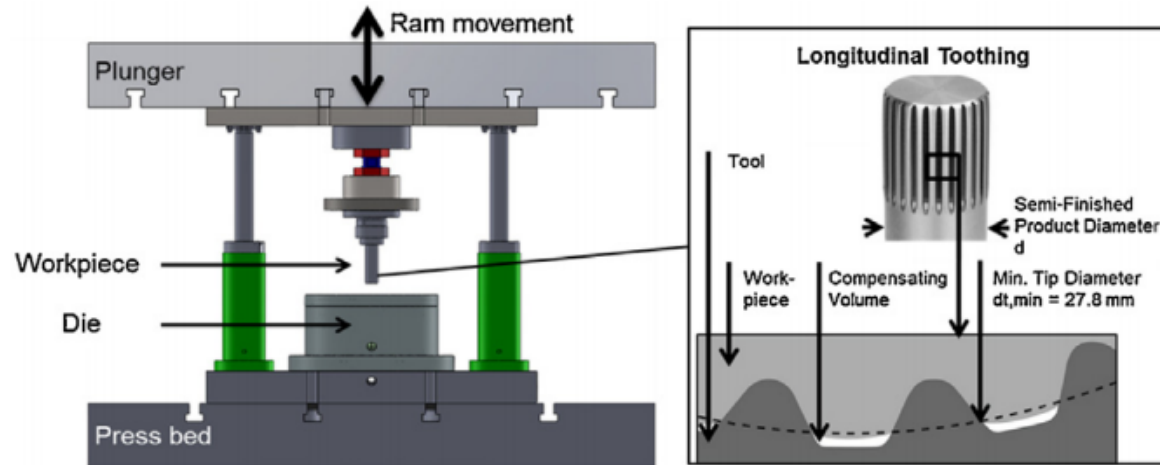


Kontrola procesa slobodnog kovanja

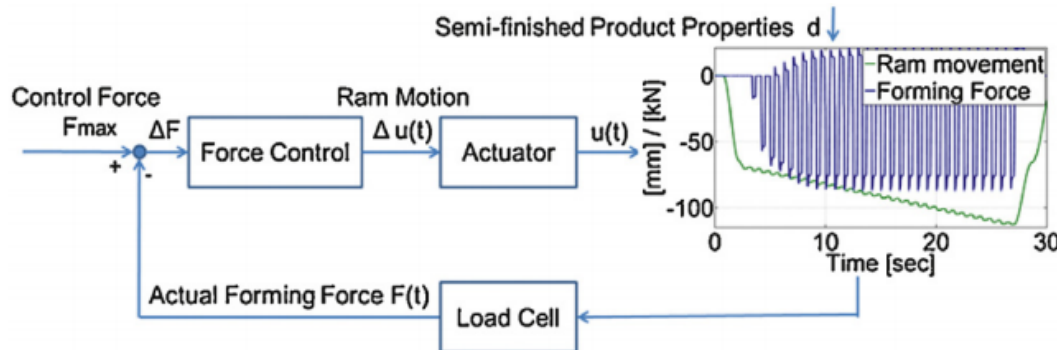


Senzori u sistemu za kontrolu procesa toplog ekstrudiranja

Kontrola u procesu hladnog deformisanja



Utiskivanje sa oscilućom silom



Strategija kontrole sile radi postizanja maksimalne tačnosti