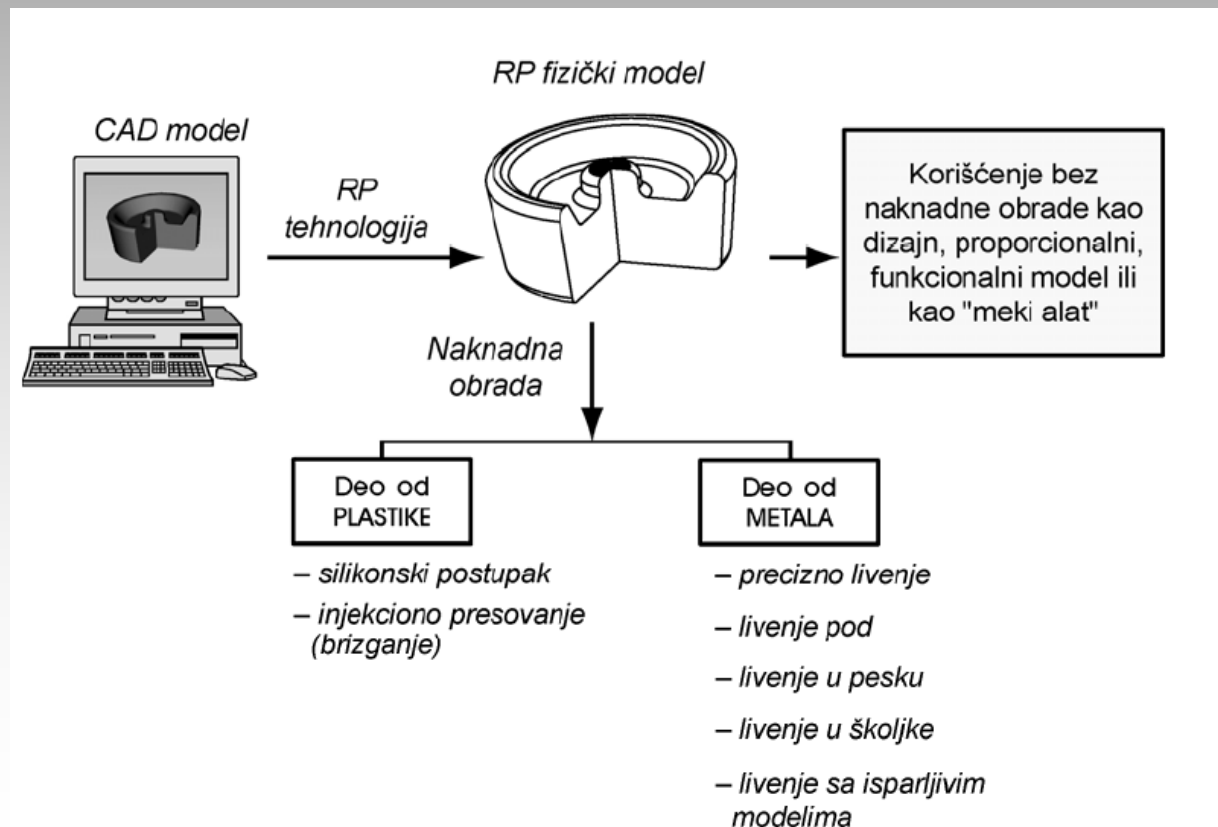


RT tehnologije

RT tehnologije – brza izrada alata

- Brza izrada alata (engl. *Rapid Tooling* – RT) obično opisuje proces koji koristi RP model kao šablon za brzu izradu kalupa (**indirektni postupci**), ili **direktno** koristi RP proces za izradu alata za male serije.





RT tehnologije – brza izrada alata

Najčešći RT postupci:

- SLA – Direktni AIM
- SLA (3DKeltool)
- Silikonski kalupi (RTV- room temperature vulcanisation)
- SLS (IMLS, DMLS)
- FDM (metali i keramika)
- 3DP (Prometal)
- LENS & DMD (taloženje metala)
- DSPC (izrada ljuske i livenje)
- EBM (topljenje pomoću snopa elektrona)
- LOM (Stratoconcept)
- SMT
- Optoform
- Ultrazvučno očvršćavanje alata od aluminijuma

Direktni meki RT postupci

- Alati za livenje se izrađuju direktno na RP sistemima
- S obzirom da ovi alati mogu da izrade jedan komad, ili male serije, pre nego što se unište, klasifikovani su kao meki alati
- Izrada peščanih kalupa SLS postupkom
- Direct AIM – SLA postupak za izradu kalupa za injekciono livenje termoplastike

Direktni tvrdi RT postupci

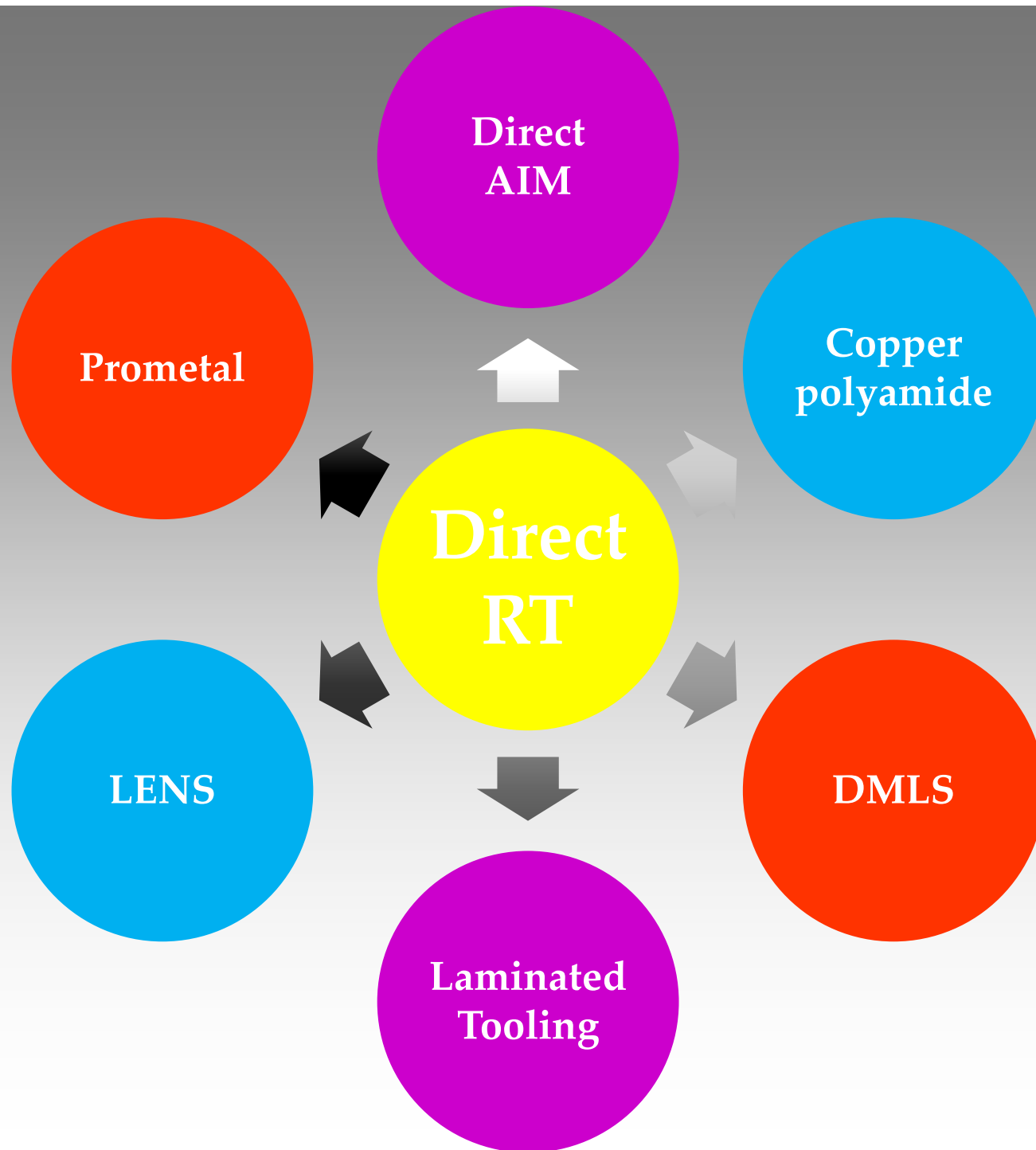
- Izrada alata za velike serije na RP sistemima.
- Prednosti tvrdih alata proizvedenih na RP sistemima su kratka vremena potrebna za izradu kompleksnih alata za velike serije.
- Odgovor na izmene u dizajnu može biti gotovo trenutno.
- RapidTool™
- Izrada alata od metalnih laminata
- Prometal™

Indirektni meki RT postupci

- Kod ovih postupaka se na RP sistemu prvo izradi master model. Na osnovu njega se zatim napravi kalup.
- Izrada metalnih alata raspršivanjem
- Kalupi od silikonske gume
- Livenje u pesku
- Precizno livenje
- Livenje sa isparljivim modelom

Indirekni tvrdi RT postupci

- Postoje razni postupci koji potpadaju pod ovu kategoriju, i njihov broj sve više raste. Uopšte gledano, indirektne metode izrade tvrdih alata za injekciono livenje plastike se svode na livenje tečnih metala ili metalnog praha u vezivu. Naknadno se vrši sinterovanje i infiltracija sekundarnim materijalom.
- 3D Keltool
- EDM elektrode
- Kopiranje glodalicom

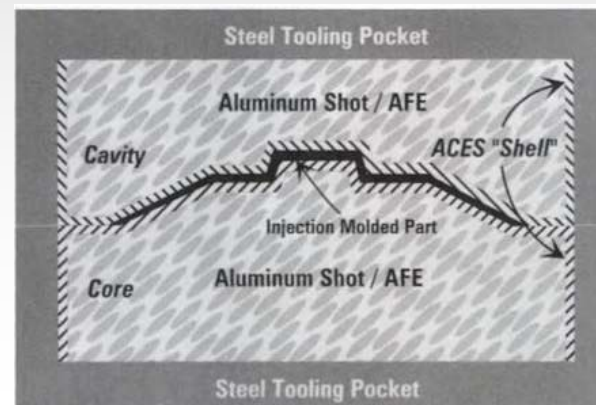


SLA - Direct AIM (Direct *ACES* Injection Molding)

Direktno modelovanje ubrizgavanjem

SLA postupak za izradu kalupa (umetaka) za injekciono presovanje

- ❑ Pomoću SLA izrađuje se obe polovine (muški+ženski deo) kalupa, koje se onda umeću u standardni alat za brizganje plastike
- ❑ Kalup nastaje polimerizacijom nisko-viskozno polimernog rastvora sloj po sloj pod dejstvom UV svetlosti. Uglavnom se prerađuju fotopolimeri bazirani na akrilnim, vinilnim ili epoksidnim smolama.
- ❑ Shelling – Izrada ljuske debljine (2-3mm). Kalupni elementi (zidovi kalupne šupljine) izrađuju se pomoću tzv. *Accurate Clear Epoxy Solid (ACES)* smole. Zbog niske toplotne provodljivosti klasičnih SLA materijala (300 puta manja od metalnih uložaka), za izradu ljuske koristi se smesa aluminijuma i epoksidne smole. (termoplastika, keramika, metali sa niskom tačkom topljenja).
- ❑ Tipično trajanje ciklusa injekcionog presovanja s AIM kalupima iznosi za tanje zidove 3 do 5 minuta, za razliku od 5 do 20sec. kod klasičnih kalupa.



SLA - Direct AIM (Direct *ACES* Injection Molding)

Direktno modelovanje ubrizgavanjem



- Using a 3D CAD package, the injection mould is drawn.
- Runners, gates, ejector pins and clearance holes are added and mould is shelled to a recommended thickness of 1.27mm.
- The mould is then built using accurate clear epoxy solid style on a Stereolithography machine.
- The supports are subsequently removed and the mould is polished in the direction of draw to facilitate part release.
- To remove the maximum amount of heat from the tool and reduce the injection moulding cycle time, copper water cooling lines are added and the back of the mould is filled with a mixture made up of 30% by volume of aluminum granulate and 70% of epoxy resin.
- The cooling of the mould is completed by blowing air on the mould faces as they separate after the injection moulding operation. The cooling of the mould is completed by blowing air on the mould faces as they separate after the injection moulding operation

SLA - Direct AIM (Direct *ACES Injection Molding*)

Direktno modelovanje ubrizgavanjem

Glavne prednosti:

- ✓ brza i jeftina proizvodnja kalupa,
- ✓ dobra dimenziona tačnost i preciznost,
- ✓ mogućnost reprodukcije vrlo finih detalja.

Nedostatci:

- Elementi kalupne šupljine osjetljivi su na savijanje i habanje, posebno pri preradi staklom ojačanih plastomera.
- Radni vek alata ≤ 100 kom

Takvi kalupi vrlo brzo postaju neupotrebivi zbog intenzivnog habanja, a prisutna je i teškoća odvođenja toplote od kalupa zbog loše toplotne provodljivosti materijala kalupa.

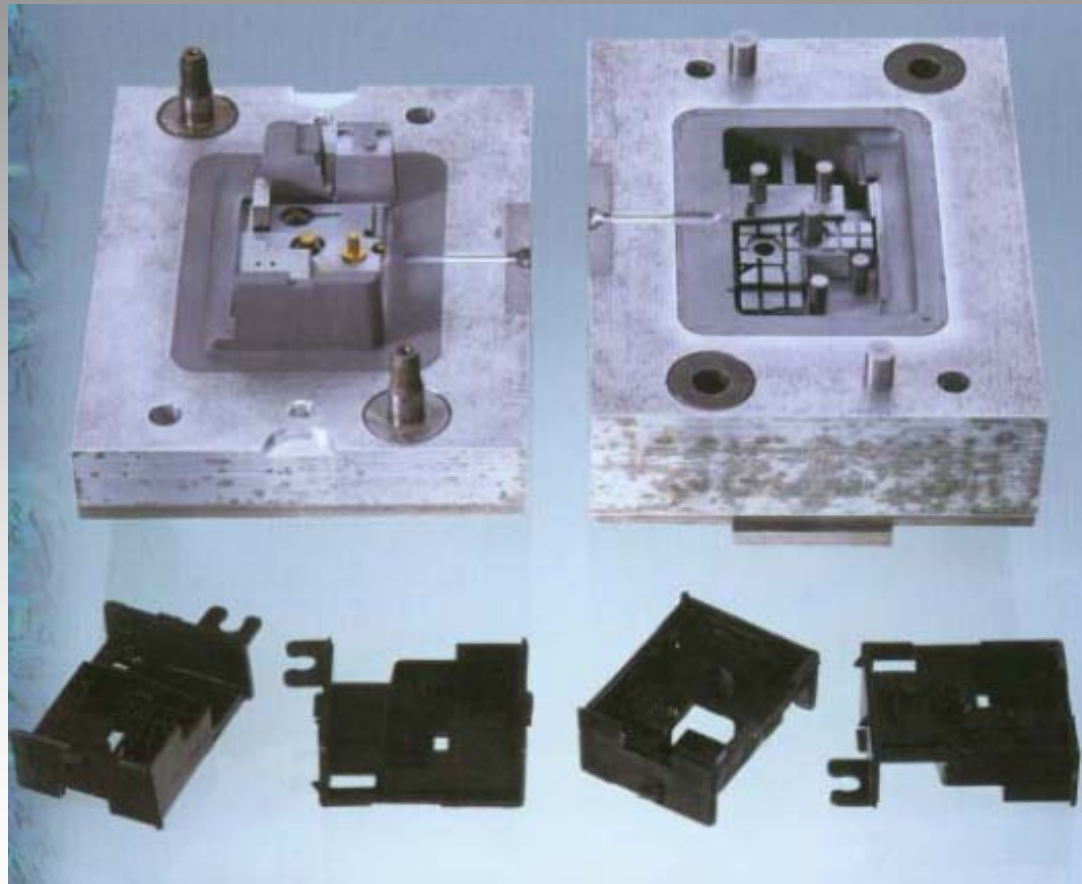
SLA - Direct AIM (Direct *ACES Injection Molding*)

Direktno modelovanje ubrizgavanjem



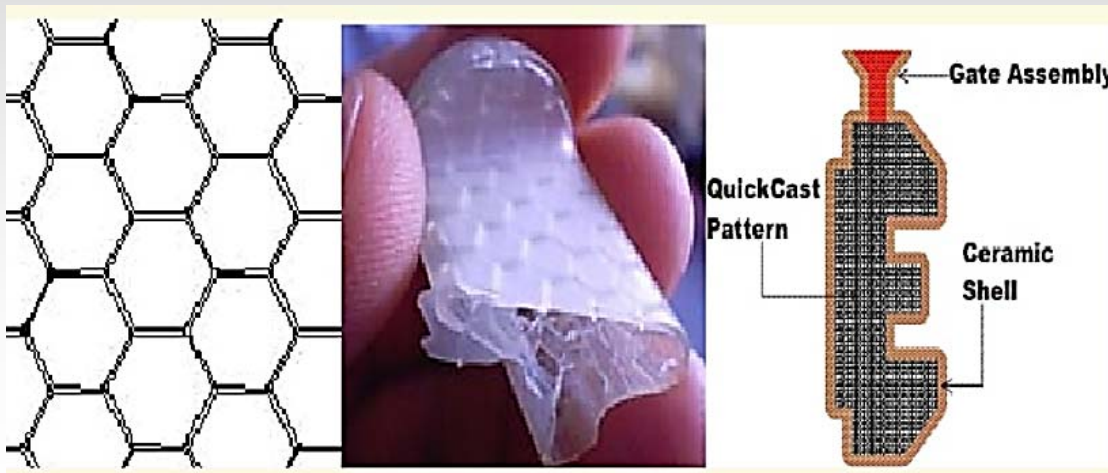
Parameter	LDPE	HDPE	PS	PP	ABS
Injection pressure (psi)	1600	2300	2400	1900	3200
Injection temperature (°C)	180	220	200	205	240
Cycle time (min)	3.5	4.5	4.0	4.0	5.0

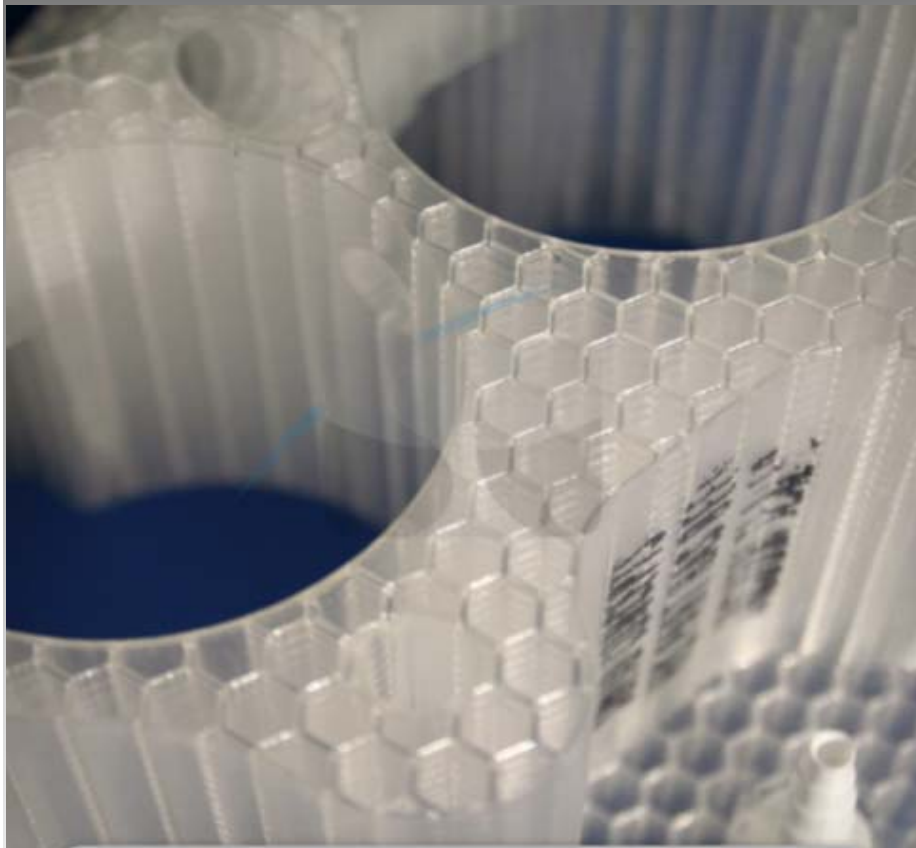
Direktna proizvodnja epoksidnih delova kalupa pomoću SLA - Direct AIM (ACES)



Proces brzog livenja - Quickcast Process

- QuickCast is a process that allows for the creation of direct shell investment castings using "QuickCast" Stereolithography (SLA) patterns.
- The QuickCast method allows you to rapidly build highly accurate resin patterns in Stereolithography, bypassing the expensive and time-consuming step of tooling.
- QuickCast facilitates rapid production of small quantities of metal parts in much less time than traditional methods.
- Instead of the SLA part being completely solid, QuickCast eliminates 95% of the internal mass of the part.





Modeli za precizno livenje dobijeni pomoću
QuickCast

Copper Polyamide

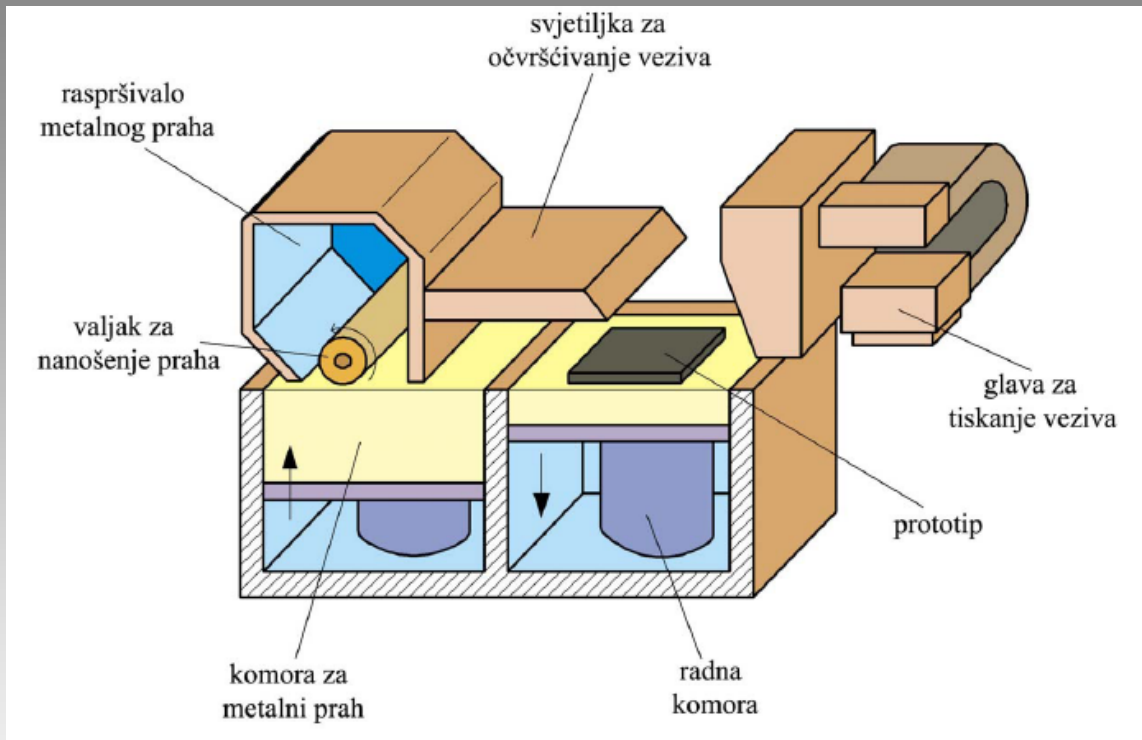
- This process uses the essence of SLS
- Copper Polyamide is a new metal plastic composite designed for short tooling applications (100 to 400 parts) from common plastics.
- Tooling inserts are produced directly in the **SLS machine** with a layer thickness of 75 μm .
- Subsequent **finishing is necessary** before their integration in the tool base.
- During the CAD stage, Copper polyamide inserts a shelled and cooling lines, ejector pin guides, gates and runners are included in the design and built directly during the SLS process.
- Then the insert surface are **sealed with epoxy** and **finished with sand paper** and finally the shell inserts are **packed up with a metal alloy**.

Copper Polyamide

Advantages

- Inserts produced from copper polyamide are **easy to machine and finish**.
- **Heat resistant** and **thermal conductivity** are better in most plastic tooling materials.
- The **cycle times of moulds** employing copper polyamide inserts are similar to those of metal tooling.

3DP Prometal postupak



PREDNOSTI:

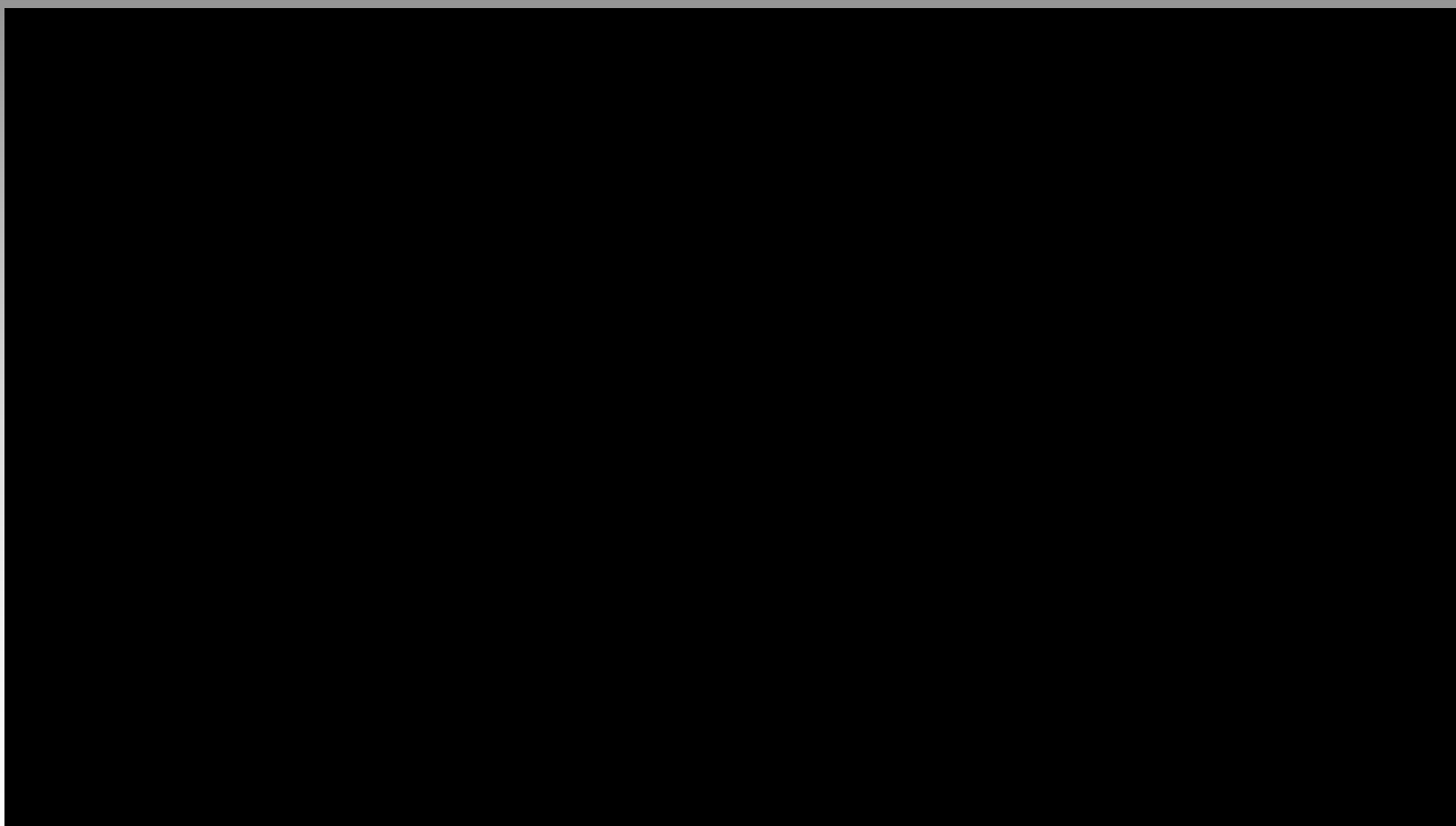
- ❖ alternativa SLS postupku za izradu složenih alata
- ❖ izrada alata za manje serije polimernih otpresaka livenjem pod pritiskom
- ❖ tačnost izrade oko 0,1 mm

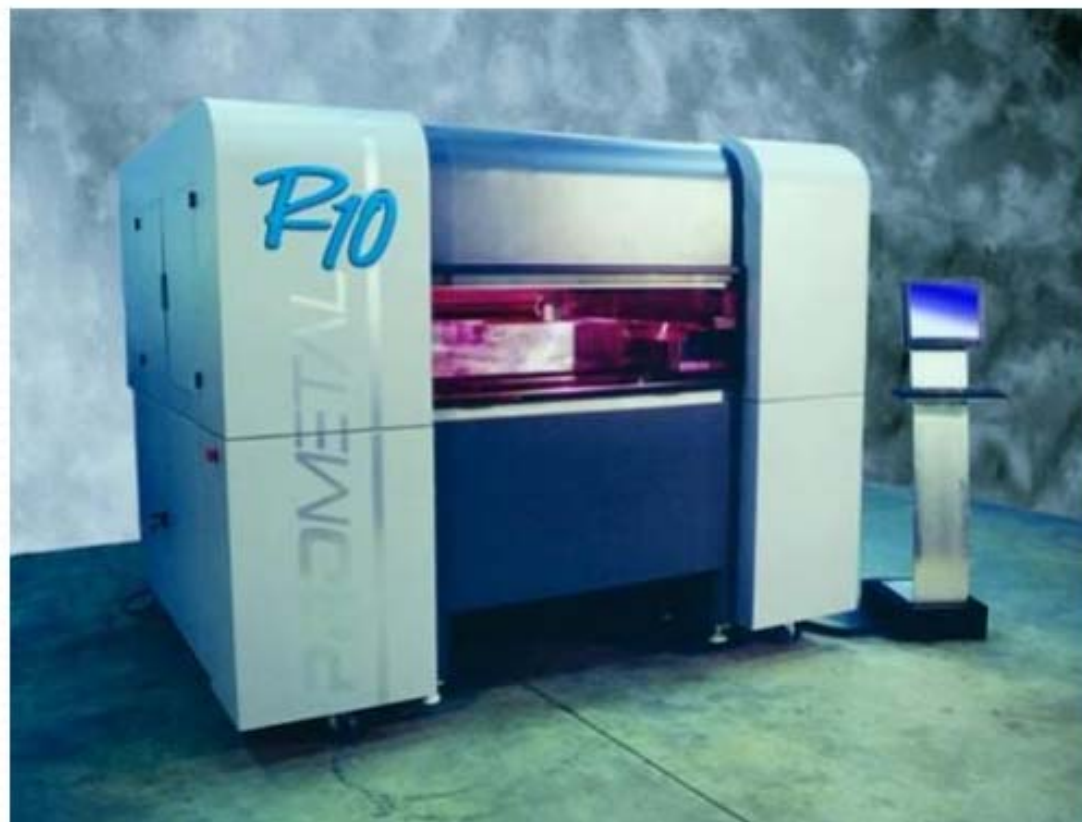
NEDOSTAK:

- Niži kvalitet površine u odnosu na SLS postupak

FAZE POSTUPKA:

1. Faza: na nanosen metalni prah raspršuje se tečno organsko vezivno sredstvo (pomoću piezo električkih elemenata).
2. Faza: srašćivanje alata u peći uz uklanjanje organskog veziva i prodiranje tečne bronze u pore.

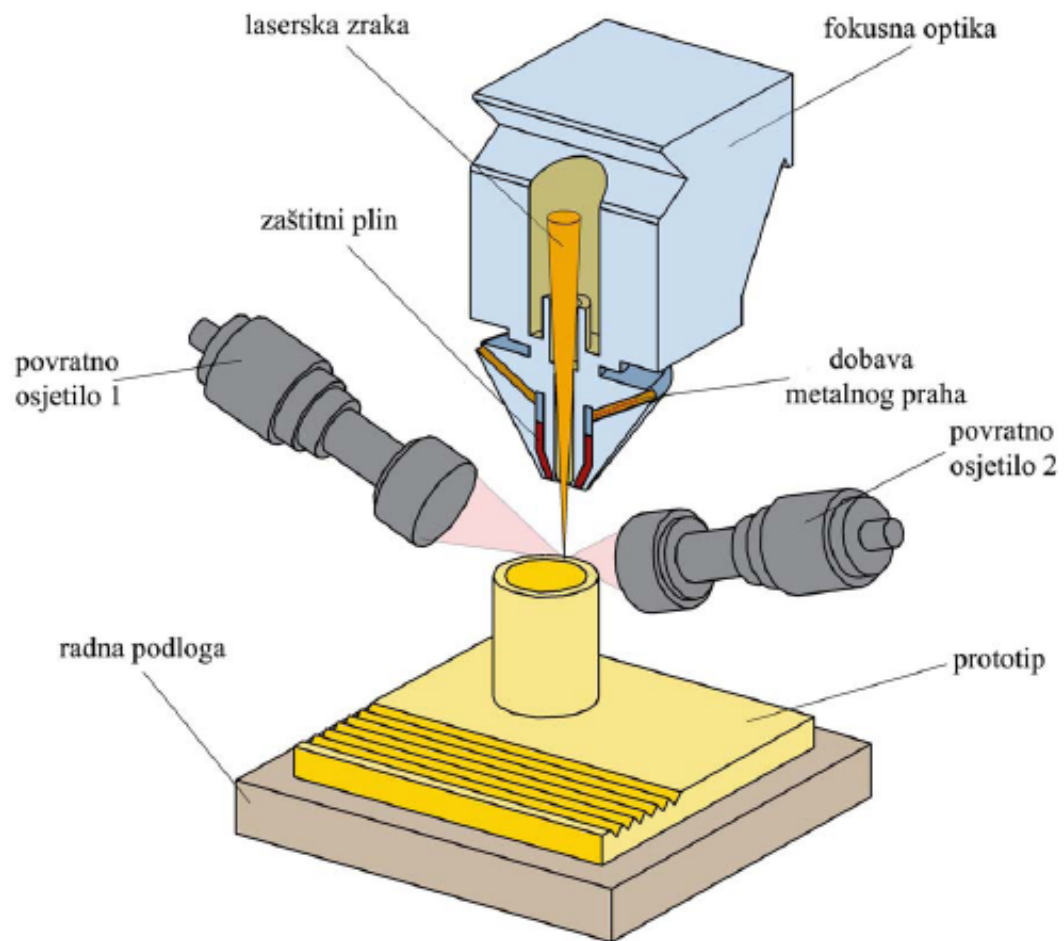




Oprema za *ProMetal* postupak

DMD postupak

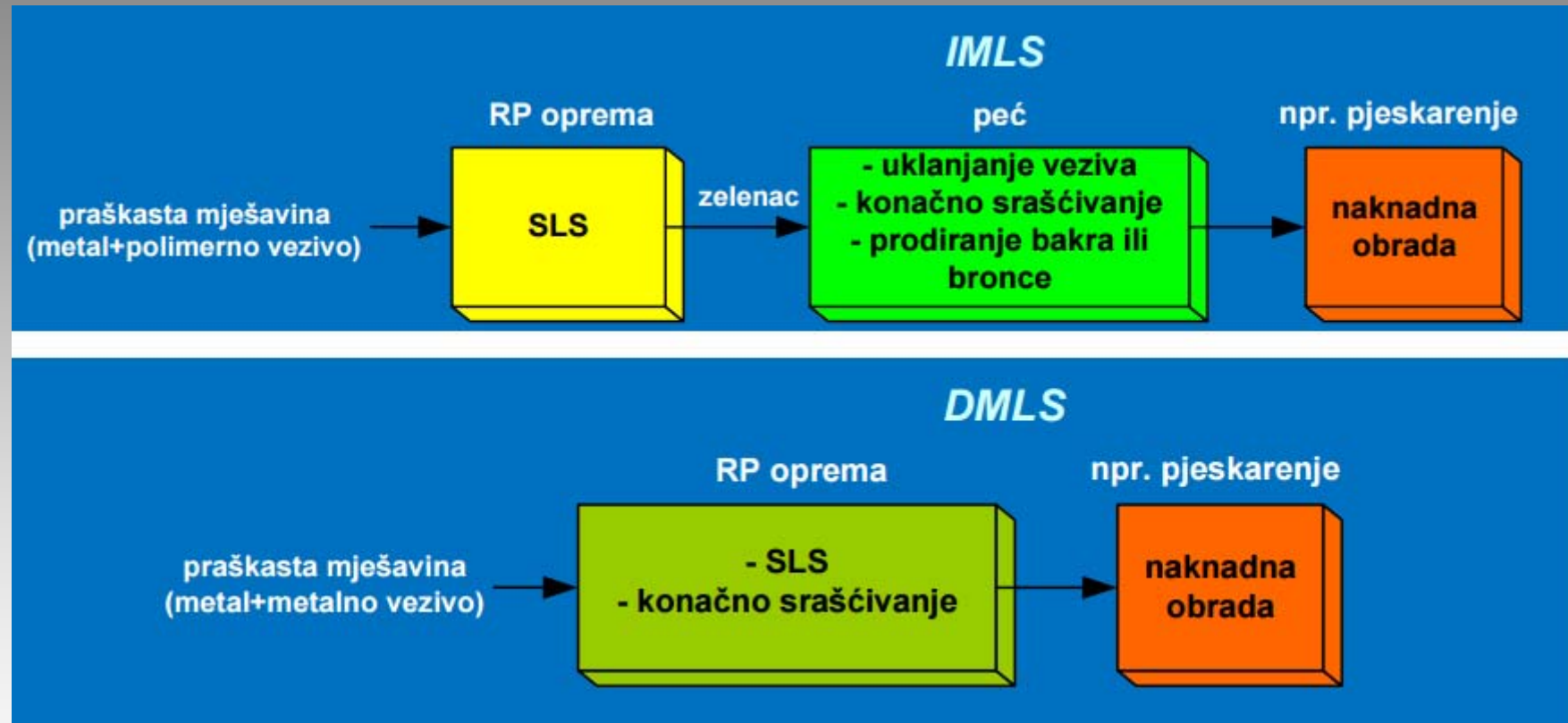
(Direct metal deposition)



SLS postupci

IMLS (Indirect Metal Laser Sintering)

DMLS (Direct Metal Laser Sintering)



1 Mold Design



CAD Workstation with
3D Software for Part
and Mold Design

2 The DTM[™] RapidTool[™] Process

Sinterstation[®] 2000 System



3 Infiltration and Furnace Treatment



Polymer Infiltration
and Drying Oven



Green Part

Controlled-Atmosphere Furnace



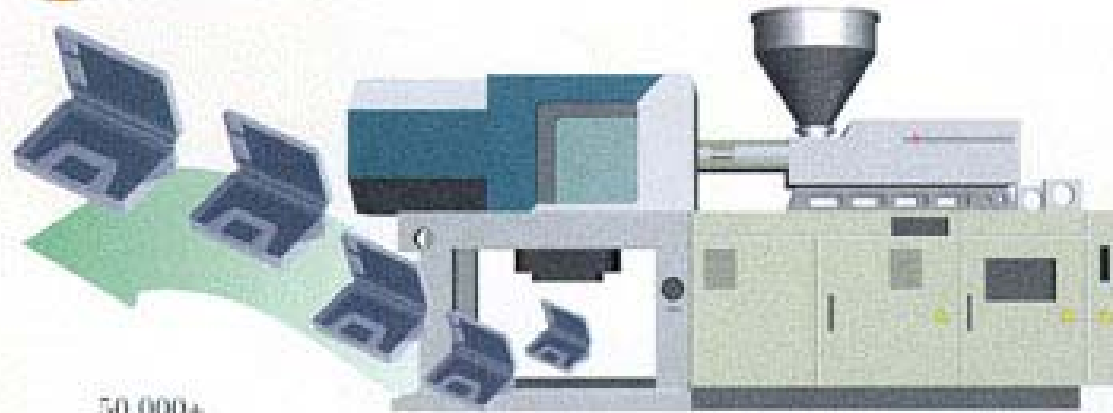
Infiltration
of Copper

Debinding

Fully-Dense Part



4 Injection Molding

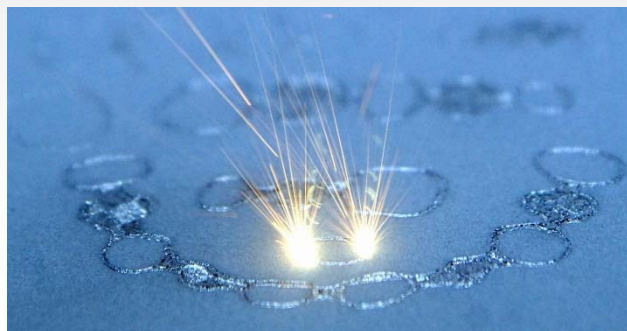
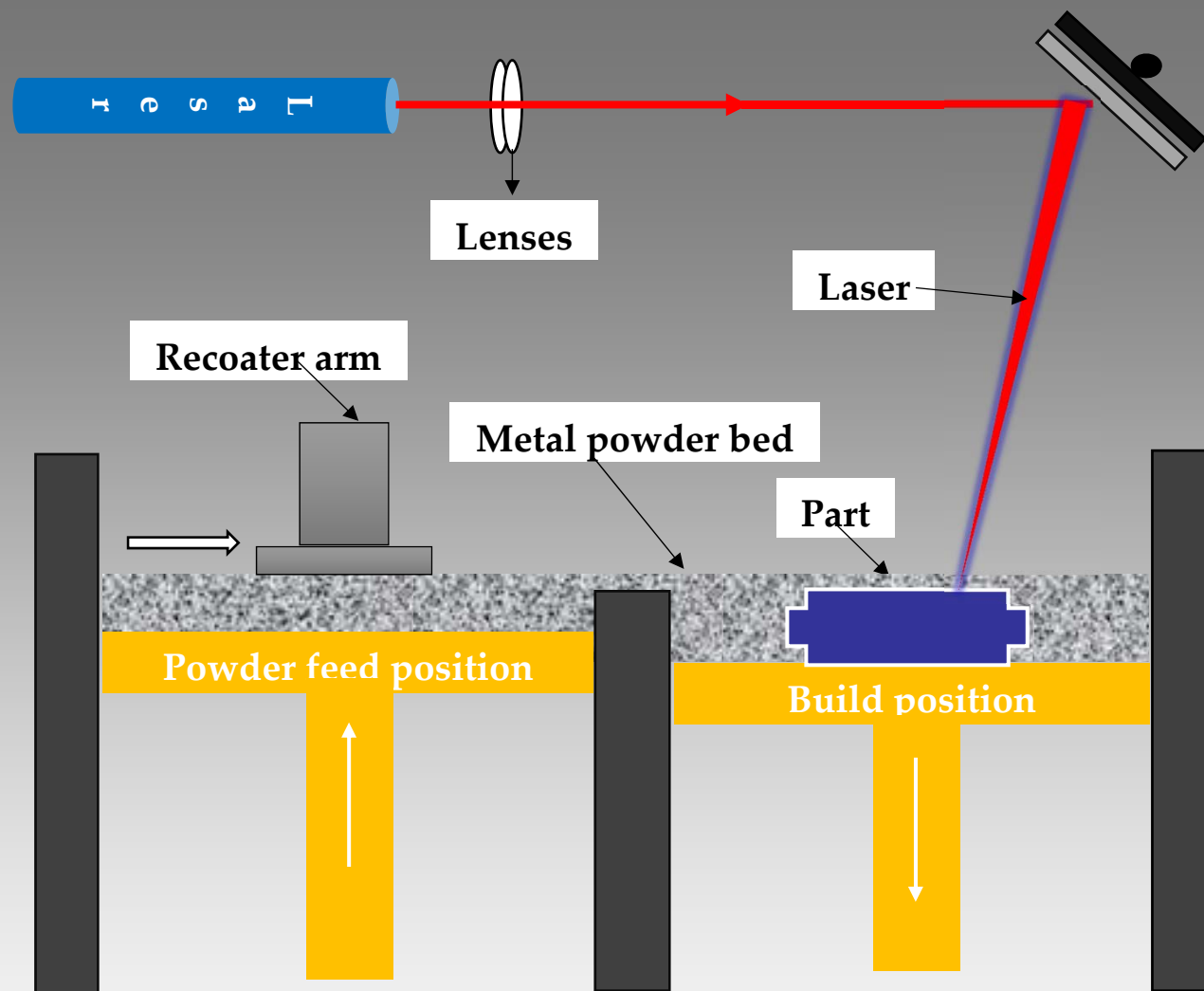


50,000+
Finished Parts

Injection Molding Machine

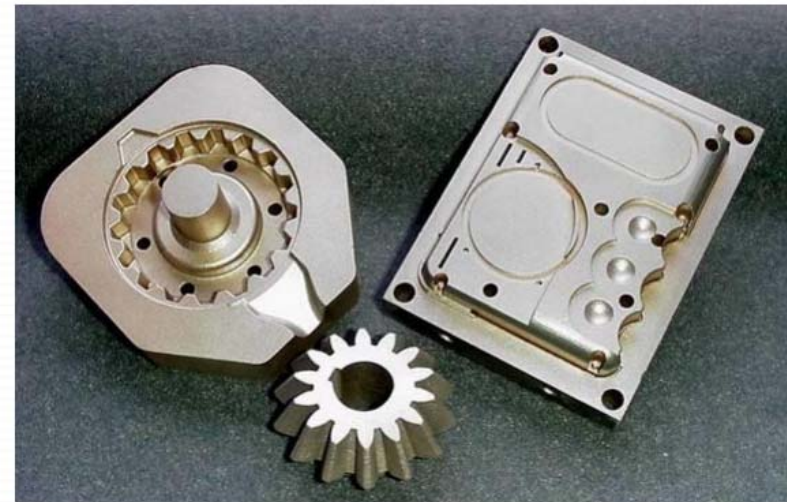


Polish and integrate
with moldbase



IMLS (Indirect Metal Laser Sintering)

Izrada kalupa sraščivanjem

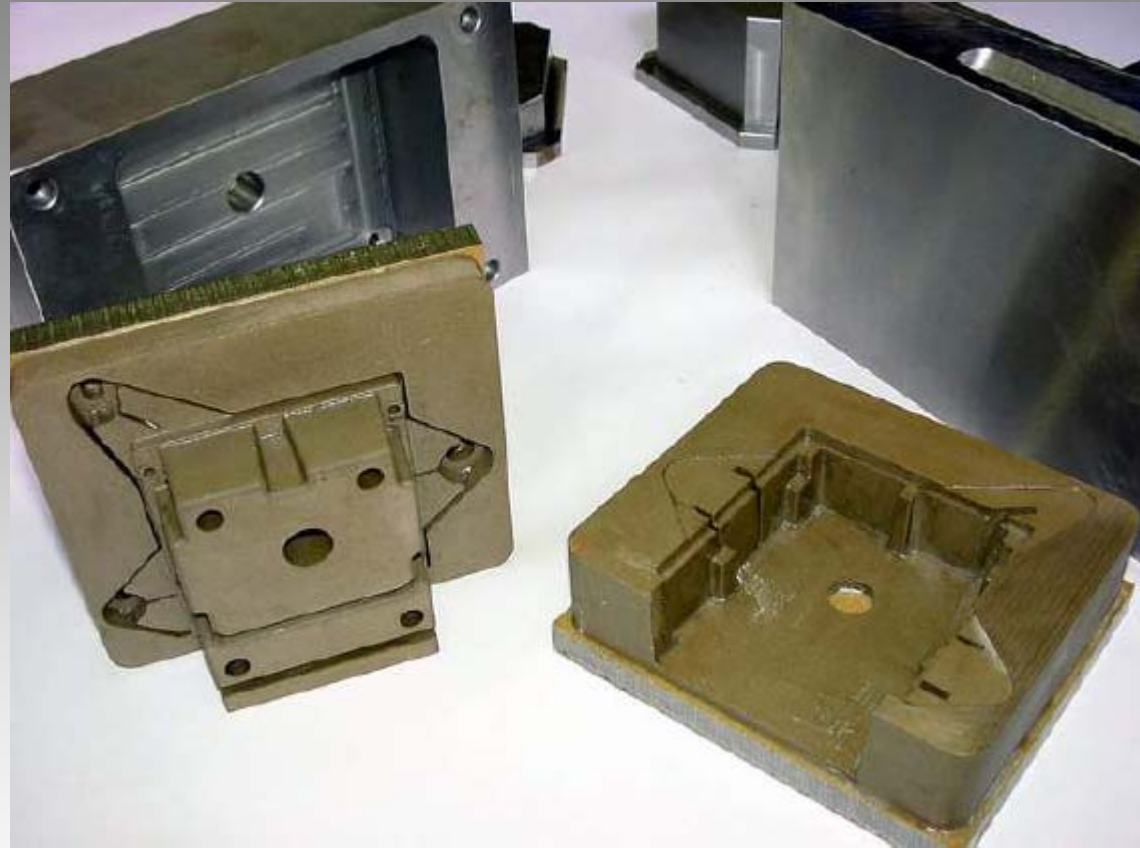
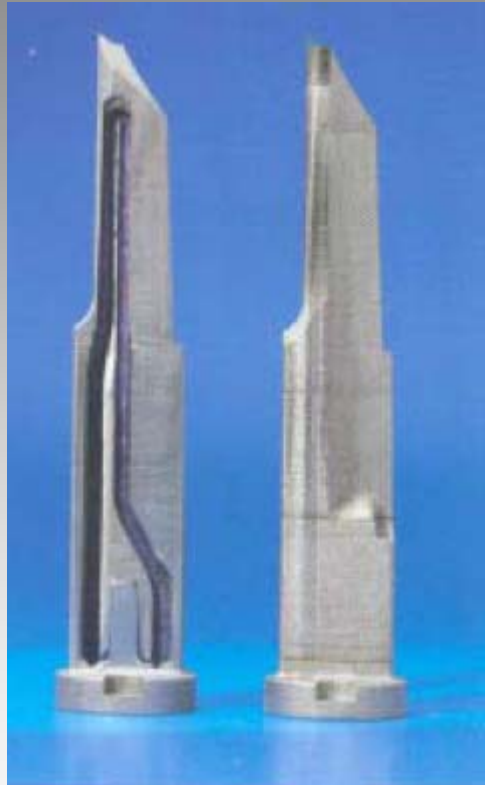


Primjer kalupnih umetaka (*IMLS*) (3D Systems)



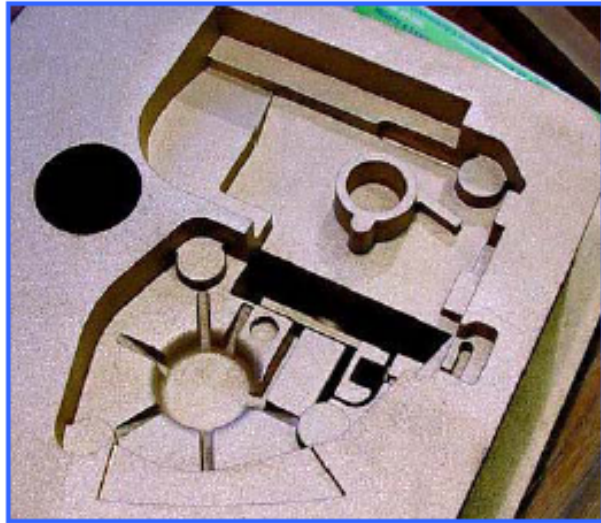
Oprema za *IMLS* postupak (**Rapid Tool** – 3D Systems)

DMLS

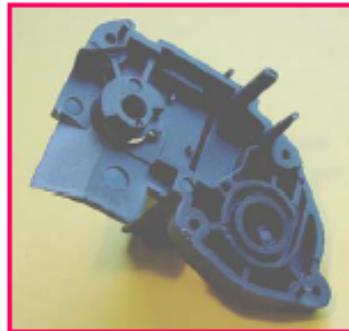
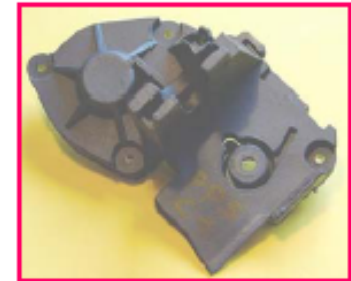




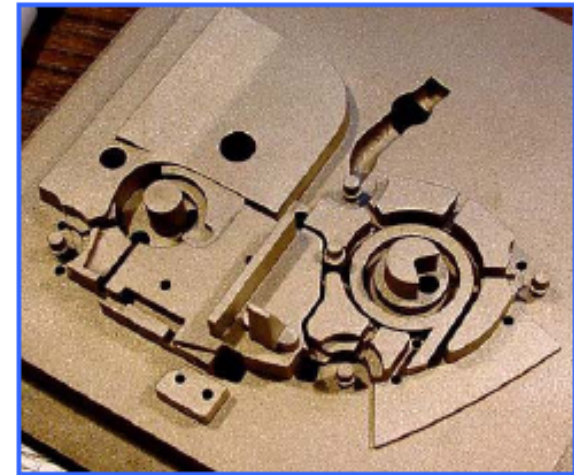
DMLS



- DMLS Cu + epoxy + shotpeening
- Part size: 90x60x60 mm³
- DMLS size: 120x120x73 mm³
- DMLS volume: 1095 cm³
- DMLS building time: 65h
- Mold T° : 95°C (PC + 30% GF)
150°C (PPS + GF)
- Injection pressure: 940 b (PC + 30% GF)
720 b (PPS + GF)

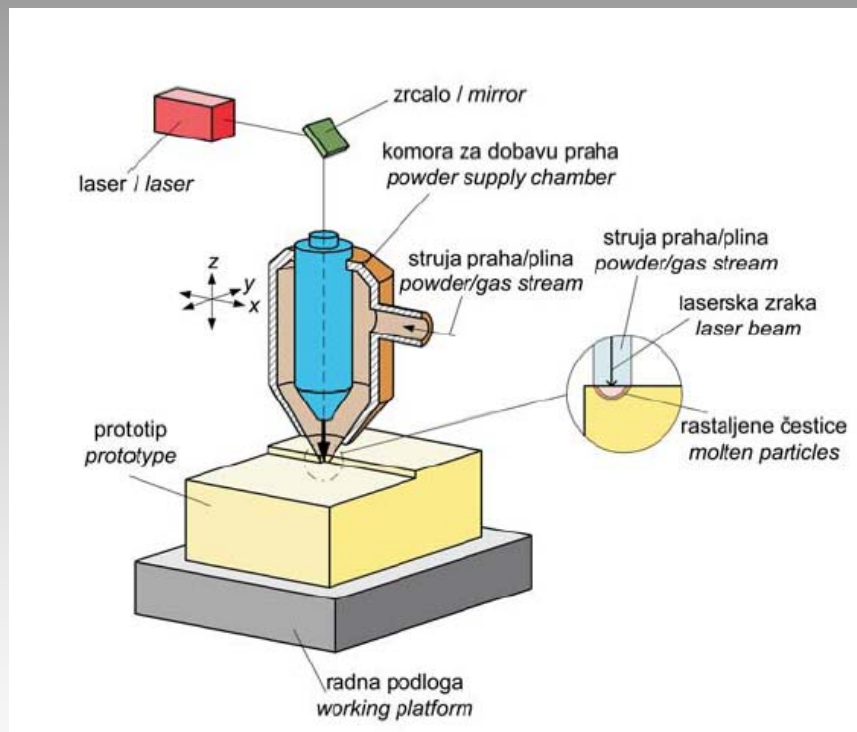


- 500 shots with PC + 500 parts with PPS
 - 15 days
 - 11.000 €
- | | | |
|--------------------|---------|--------|
| - CAD | 1.800 € | 4 days |
| - DMLS | 3.700 € | 4 days |
| - Finishing | 1.000 € | 2 days |
| - Mold integration | 2.800 € | 5 days |
| - Injection | 1.700 € | 3 days |



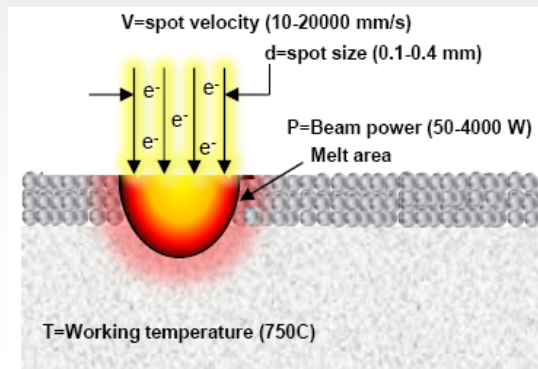
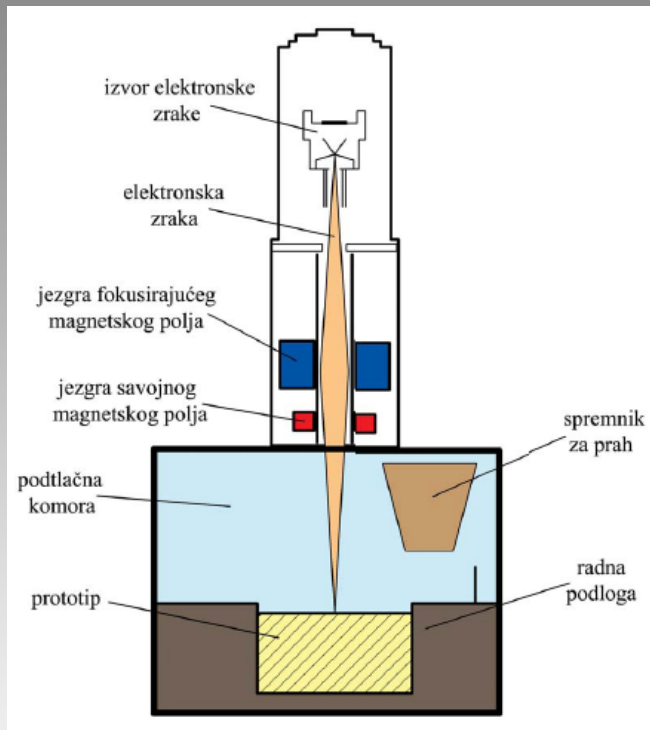
LENS postupak

(Laser-Engineered Net Shaping)

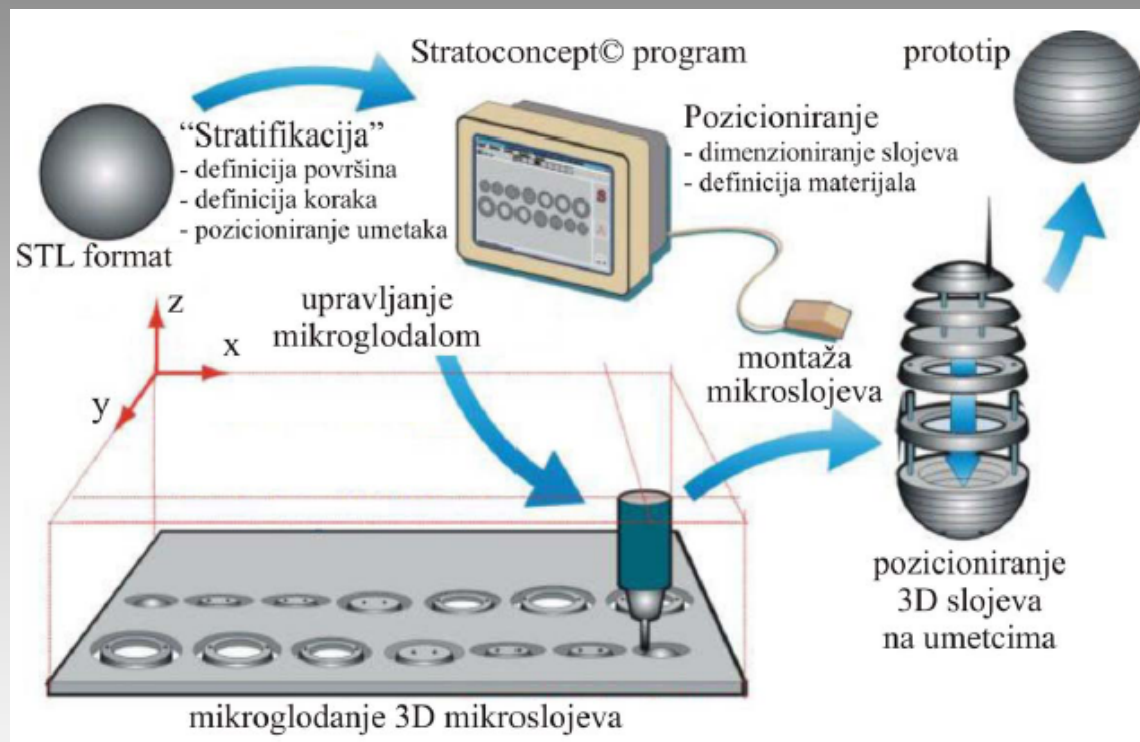


- Postupak LENS započinje delovanjem laserskog zraka na vrlo usko područje površine, pri čemu nastaje lokalno rastopljeno područje.
- Pomoću mlaznice se zatim dodaje tačno određena količina novoga praha, pri čemu nastaje novi sloj prototipa. Postupak se odvija u komori sa podpritiskom, u kojoj se lako mogu kontrolisati uslovi. To je posebno važno pri izradi prototipova od aluminijuma, gde prisutnost kiseonika sprečava dobro međusobno povezivanje slojeva.
- LENS postupak omogućava i izradu kalupa s više materijala u jednom ciklusu. Tako je moguće je izraditi delove kalupne šupljine od čelika, a deo umetaka može u istom ciklusu biti načinjen od bakra, npr. za jezgra koje se teško mogu temperirati).

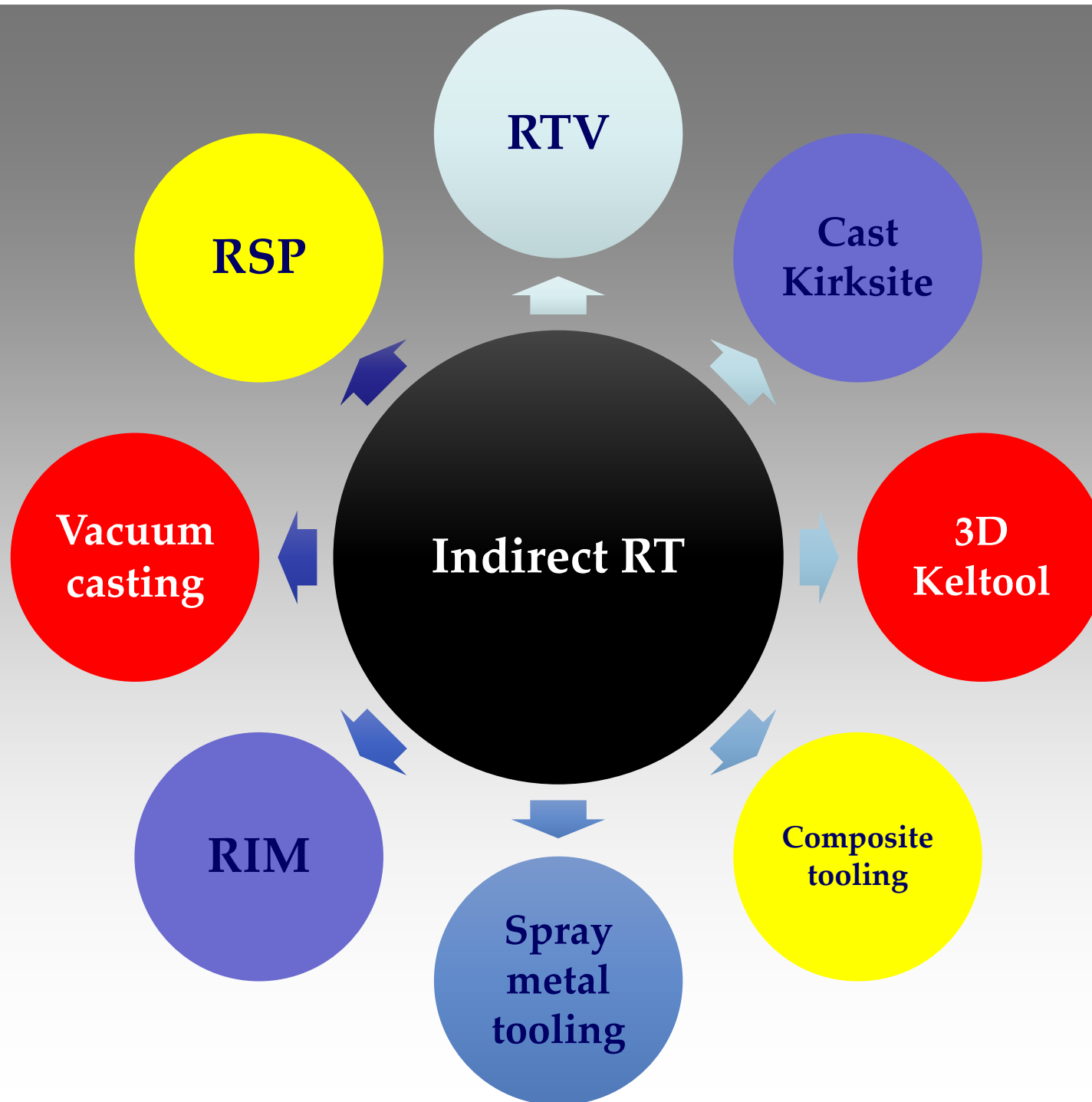
EBM postupak (Electron beam melting)



LOM (Stratoconcept) postupak

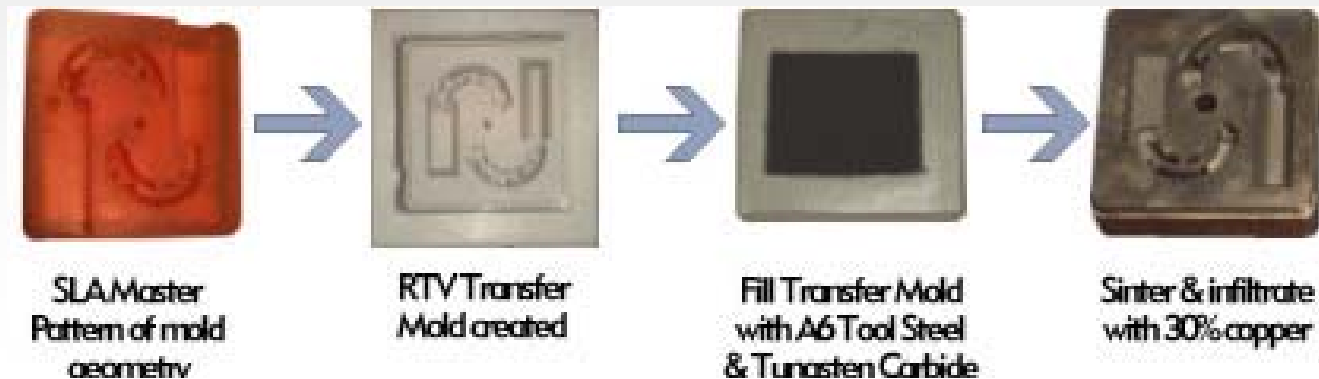


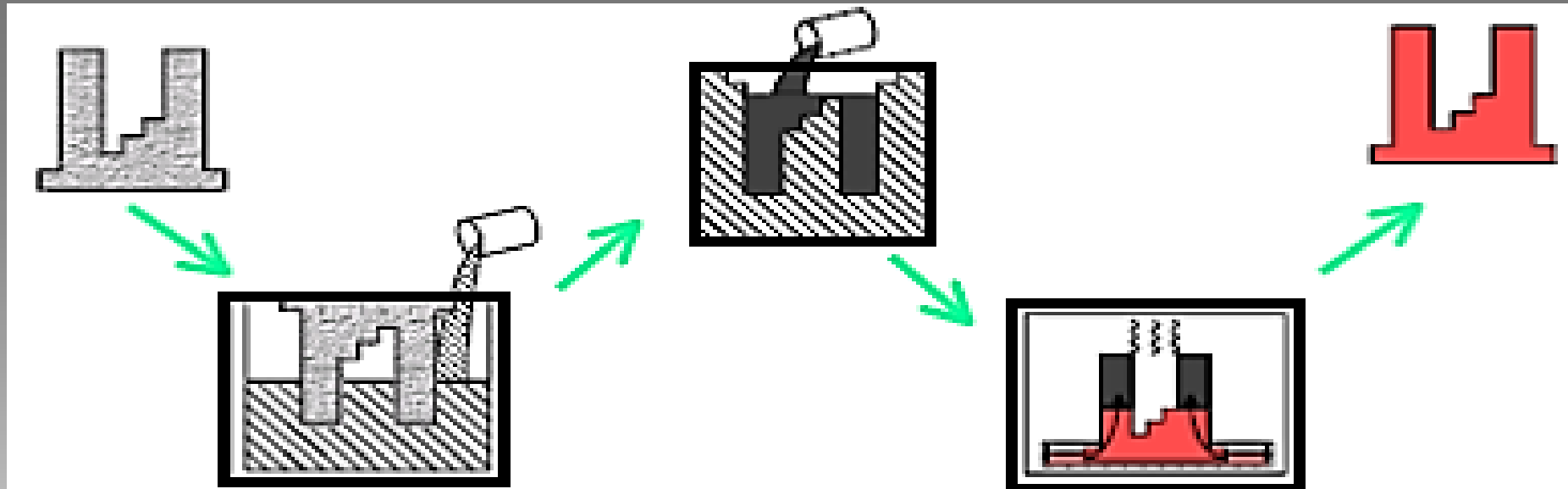
- Prototipni kalupi načinjeni LOM postupkom izrađuju se od metalnih (uglavnom čeličnih) ploča.
- Pomoću računara generišu se slojevi budućeg kalupnog elementa, a zapis svakog sloja posebno se čuva.
- Na temelju svakog od zapisa na ploči ise izrezuju oblici slojeva pomoću glodala, plazme, lasera ili vodenim mlazom.
- Izrezani slojevi u sledećem koraku se slažu i međusobno povezuju.



SLA -3D Keltool postupak

- ❖ Postupak izrade metalnih kalupnih umetaka pomoću modela načinjenih SLA postupkom i zasniva se na procesu sinterovanja metalnog praha.
- ❖ Postupak započinje izradom 3D CAD modela, odnosno SLA Master Pattern (jezgra i uložka) pomoću SLA postupka. Zatim se proizvode silikonski kalupi sa šupljinama koje odgovaraju geometriji Master Pattern-a.
- ❖ U te se kalupe u idućem koraku uliva smesa metalnog praha (čelik i titan-karbid) i pomemernog veziva, čime se dobija tzv. zeleni umetak.
- ❖ Umetci se stavljaju u peć te se pri povišenim temperaturama i u kontrolisanoj atmosferi (sniženi udeo vodonika) razgrađuje vezivo, metalne čestice sraščuju, a u nastale pore prodire Cu. Rezultujući kalupni umetci sastoje se od 70 % čelika i 30 % bakra.





Process chain of 3D Keltool:

I. Master pattern

II. Silicone casting

III. Casting with a tool steel/Tungsten carbide/epoxy mixture

IV. Burn-out of binder, sintering and infiltration with copper in an oven

V. Tool insert ready for production

SLA -3D Keltool postupak

Prednosti:

- prerada svih vrsta plastomera
- 3D Keltool postupak omogućuje visoku rezoluciju detalja na kalupnim umetcima. Tolerancije se u granicama $\pm 0,02$ mm. (ključna je tačnost modela).
- visoka tvrdoća i čvrstoća elemenata kalupa. Mogu se mašinski obrađivati.
- mogućnost izrade od 500 000 do 1 000 000 otpresaka u jednom kalupu
- brz izlaz proizvoda na tržište
- mogućnost naknadne obradbe pomoću bilo kog klasičnog postupka
- nema ograničenja u pogledu složenosti geometrije,
- skraćanje vremena za oko 60 % u poređenju s klasičnom izradom kalupa
- mogućnost vrlo dobre ponovljivosti (pravljenje kalupa s više kalupnih šupljina).

Nedostatak:

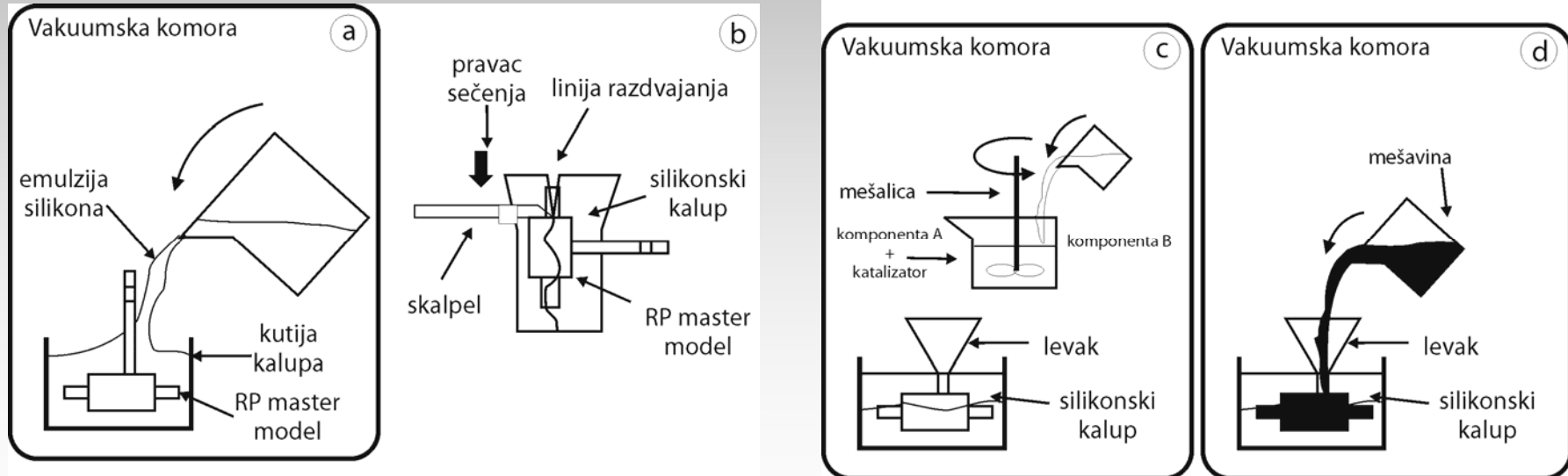
- ograničenje u pogledu dimenzija kalupnih umetaka (150x215x100 mm).

SLA -3D Keltool postupak



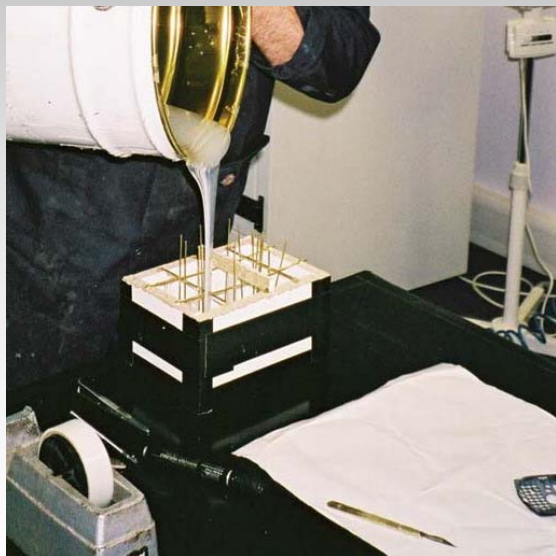
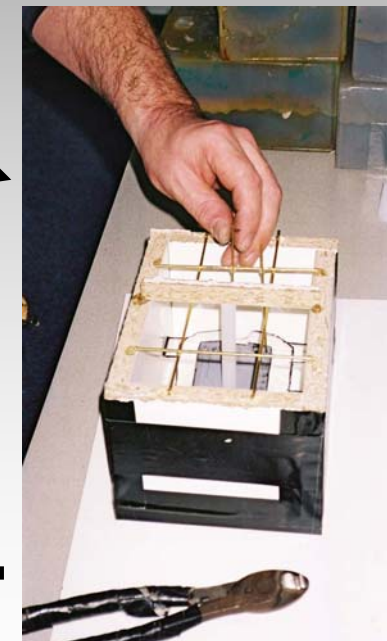
Kalupi od silikonske gume – RTV postupak

- Jedan od najpopularnijih postupaka
- Vulkanizacija gume na sobnoj temperaturi (RTV)
- Ekstremno visoka rezolucija
- Značajno olakšano vađenje delova iz kalupa
- Prednosti: brza izrada, jeftin kalup, mogućnost korišćenja više materijala
- Postupak je pogodan za male ili srednje veličine delova

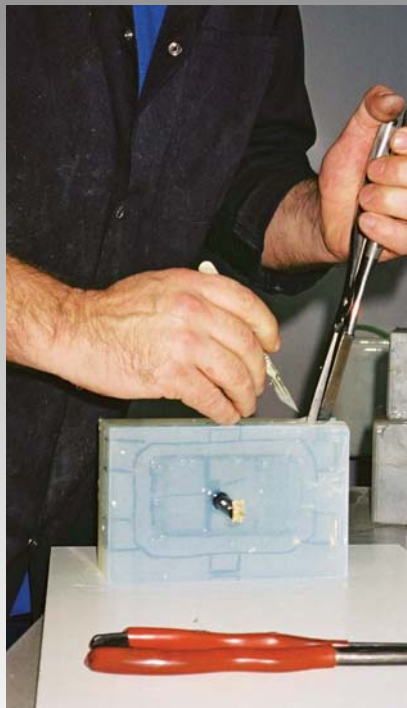


Izrada silikonskog kalupa i livenje prototipa

Postupak livenja u kalupu od silikonske gume - 1



Postupak livenja u kalupu od silikonske gume - 2

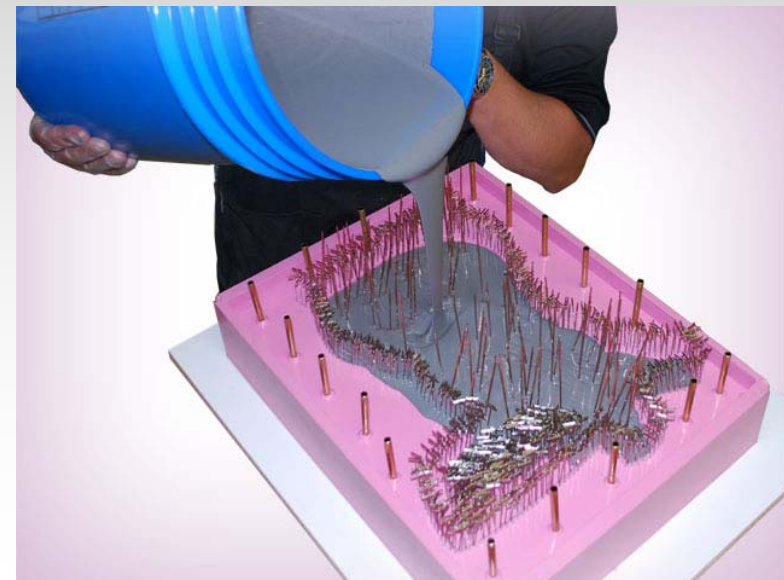


Postupak livenja u kalupu od silikonske gume - 3



Aluminium filled epoxy tooling

- Its also known as 'Composite Tooling'
- Like silicone rubber tooling, epoxy-based composite tooling requires a master pattern
- This pattern is created by RP process
- The pattern is finished and then embedded in a parting line block to create the parting line of the mould
- Metal inserts are placed in areas where the epoxy is unlikely to withstand the pressures of the injection-moulding process.
- Epoxy is then cast against the pattern and parting line block combination to create the first side of the tool.
- Once the epoxy has cured, the assembly is inverted, and the parting line is removed, leaving the pattern embedded in the first side of the tool.
- The second side of the tool is then cast against the first.



Aluminium filled epoxy tooling

Time:

- Composite tooling generates injection moulded parts in 2 to 6 weeks

Production Rate:

- The moulding process will have a cycle time of 5 to 15 minutes

Accuracy

- Accuracy is dependent on the SLA model. Typically about +/- 0.2 mm

Cost

- Dependent upon the cost of the master pattern, and overall size of the part. An SLA master pattern can cost between \$300 to \$1000, on average, and the epoxy tool is typically between \$800 and \$1000

Composite Tool Life Expectancies

Thermoplastic	Tool Life (# shots)
---------------	---------------------

ABS	50 - 3000
-----	-----------

Acetal	100 - 1000
--------	------------

Nylon	250 - 3000
-------	------------

Nylon (Glass filled)	50 - 200
----------------------	----------

PBT	100 - 500
-----	-----------

PC/ABS blends	100 - 1000
---------------	------------

Polycarbonate	100 - 1000
---------------	------------

Polyethylene	500 - 5000
--------------	------------

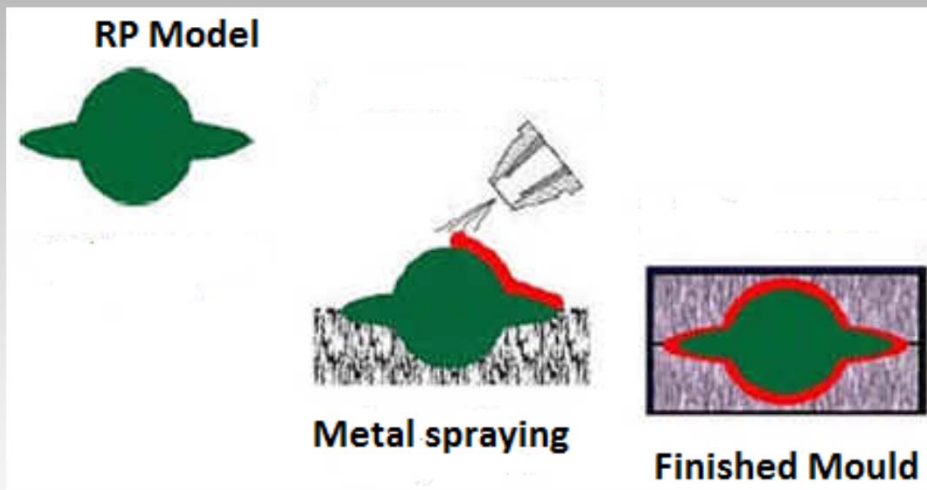
Polypropylene	500 - 5000
---------------	------------

Polystyrene	500 - 5000
-------------	------------

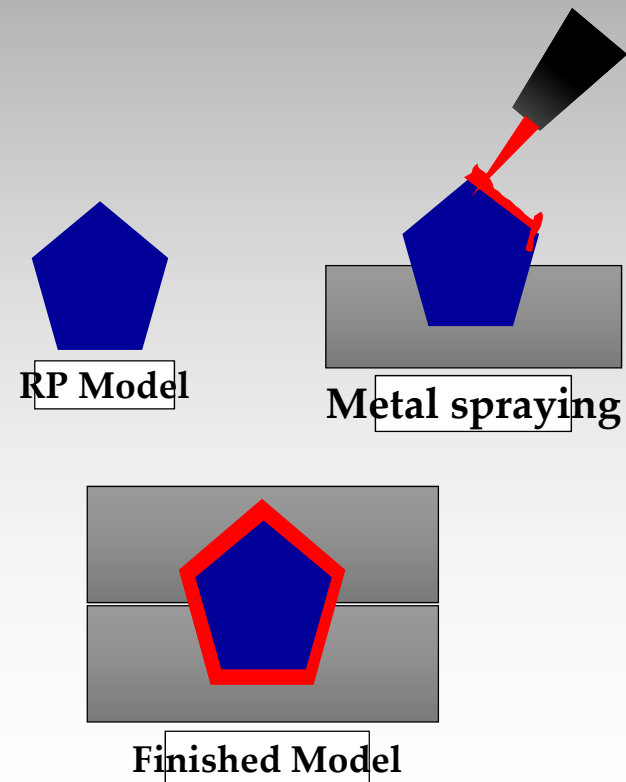
Investment Casting Wax	1000 - 10000
------------------------	--------------

Spray metal tooling

- It is very similar to aluminum filled epoxy
- In this process, against the RP pattern low temperature metal alloys is sprayed
- A thin metal coating is then arc-sprayed on the resultant mould surface
- It gives higher strength and maximum tool life
- This process is suitable for larger parts



Advantages:
Very good for large parts
No or less shrinkage
Highly accurate



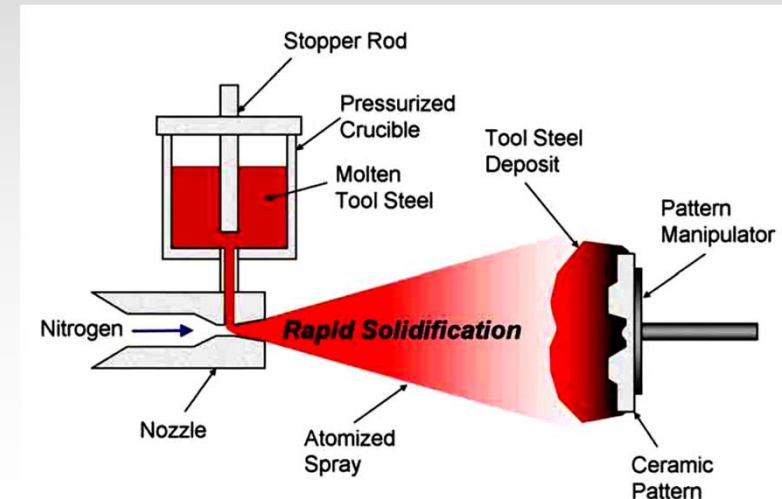
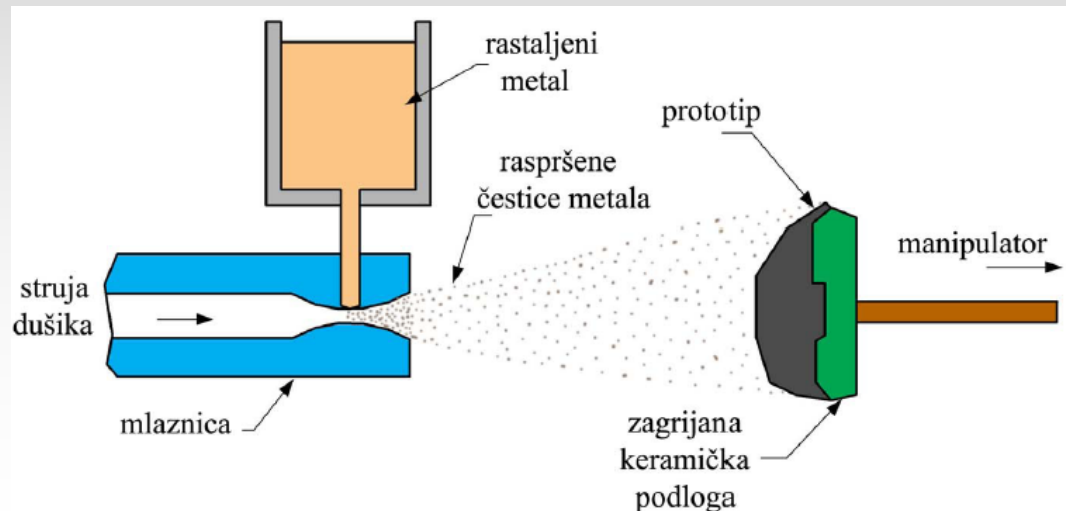


Spray metal tooling

SMT postupak

(Surface Mount Technology RSP - Rapid Solidification Proces)

- ❑ Pri izradi kalupa raspršivanjem metala najčešće se na prethodno izrađeni model nanose Zn i Al legure (temp. topljenja 120 °C do 420 °C) ili epoksi smole.
- ❑ Nanošenjem rastopljene legure (5 mikrona) na model dobija se sloj metala debljine 2 do 3 mm, formirajući na taj način ljusku koja predstavlja zid kalupne šupljine.
- ❑ Kako se tokom postupka nanose vrlo sitne čestice, prototip je gotovo bez zaostalih napona, a kvalitet površine je zadovoljavajući. Postupak se primenjuje za proizvodnju elemenata kalupnih šupljina koji imaju relativno glatku površinu i bez malih detalja.
- ❑ Kako bi se osiguralo tačno naleganje ljuske u kalup, šupljina ljuske ispunjava se ulivanjem potpora (najčešće epoksidne smole).



SMT postupak

(Surface Mount Technology
RSP -Rapid Solidification Proces)

KARAKTERISTIKE PROCESA :

- U kalupima izrađenim ovim postupkom moguće je napraviti do 1000 otpresaka, što zavisi o vrsti prerađivanog materijala i geometriji kalupne šupljine.
- Toplotna provodljivost kalupa je znatno niža u odnosu na aluminijum ili čelik, stoga ciklusi traju duže, a karakteristike izrađenih otpresaka su lošije u poređenju sa otprescima načinjenim u klasičnim kalupima.

PREDNOSTI:

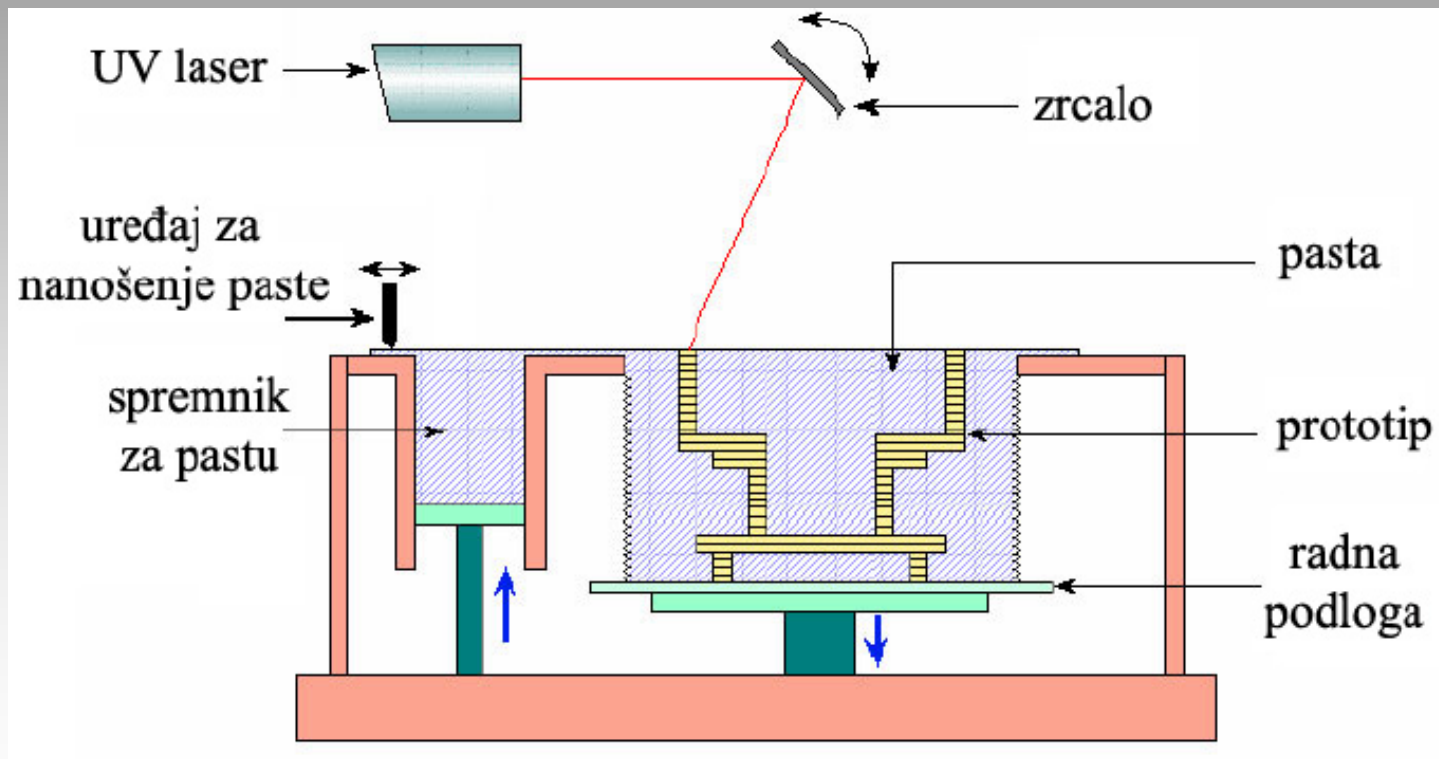
- ✓ izrada gotovih alata bez potrebe naknadne termičke obrade
- ✓ duži radni vek alata
- ✓ mogućnost brze proizvodnje većih kalupa.

NEDOSTACI:

- opasnost od otkidanja dijelova ljuske tokom punjenja kalupne šupljine
- nemogućnost pravljenja finih detalja.

OPTOFORM postupak

- ❑ Materijal u obliku paste.
- ❑ Koristi se fotopolimer (akrilni ili epoksidni), punjen metalnim ili keramičkim prahom ili česticama.



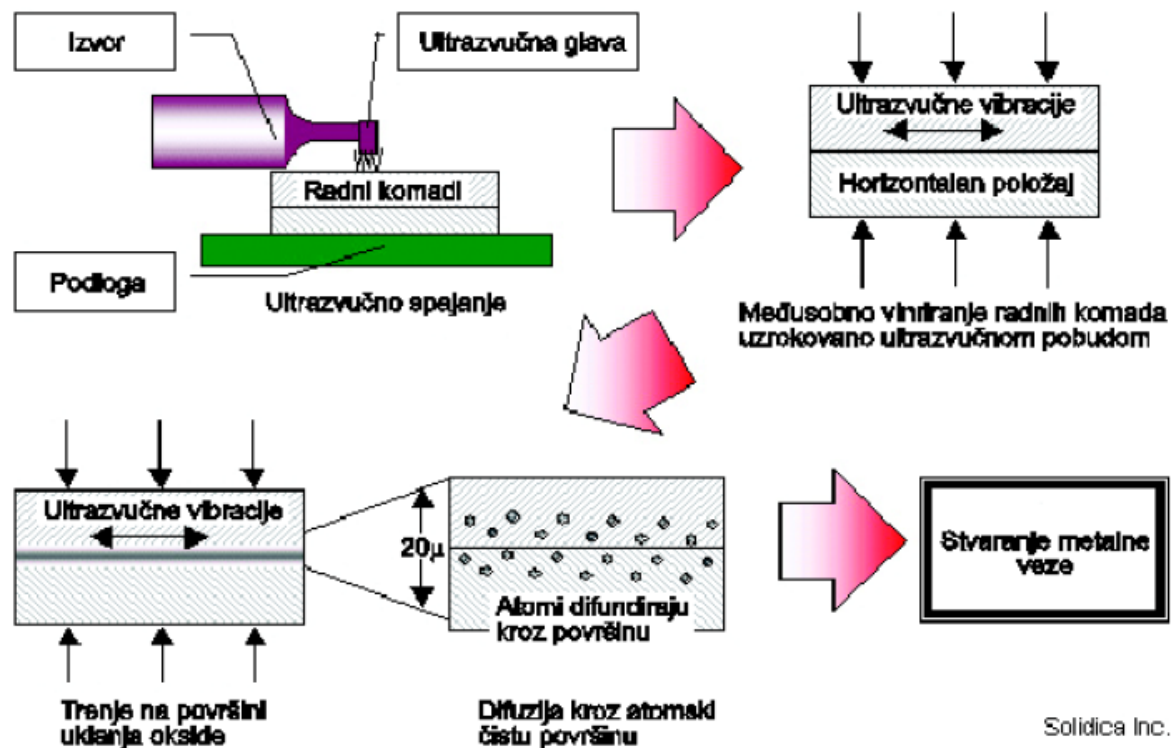
OPTOFORM postupak

KARAKTERISTIKE PROCESA :

- Pasta se nanosi u finim slojevima (od 20 do 200 μ m) jedan za drugim, a očvršćavanje se vrši po dejstvom UV laserskih zraka
- Neophodna je primena oslonaca (potpora) kao kod SLA
- Nakon pravljenja jednoga sloja nije potrebno dodatno vreme pre nanošenja novoga sloja kao što je slučaj kod SLA. Ta činjenica, zajedno s činjenicom da se za postupak koristi Ar laser snage 400 ili 800mW, dovodi do visoke proizvodnosti čak i za velike i masivne prototipove.
- Brzina izrade prototipova mogu dostići i 25 mm/h (u smeru z-ose).
- Materijali koji se koriste za *OptoForm* postupak dele se u nekoliko grupa:
 - a) akrilne smole dovoljne čvrstoće da za proizvodnju voštanih kalupa za injekciono brizganje
 - b) više namjnske epoksidne smole za proizvodnju prototipova,
 - c) materijali male stišljivosti za postupke kao što su toplo oblikovanje i oblikovanje deformisanjem
 - d) keramika
 - e) metali (titan i čelik).

Ultrazvučno očvršćavanje

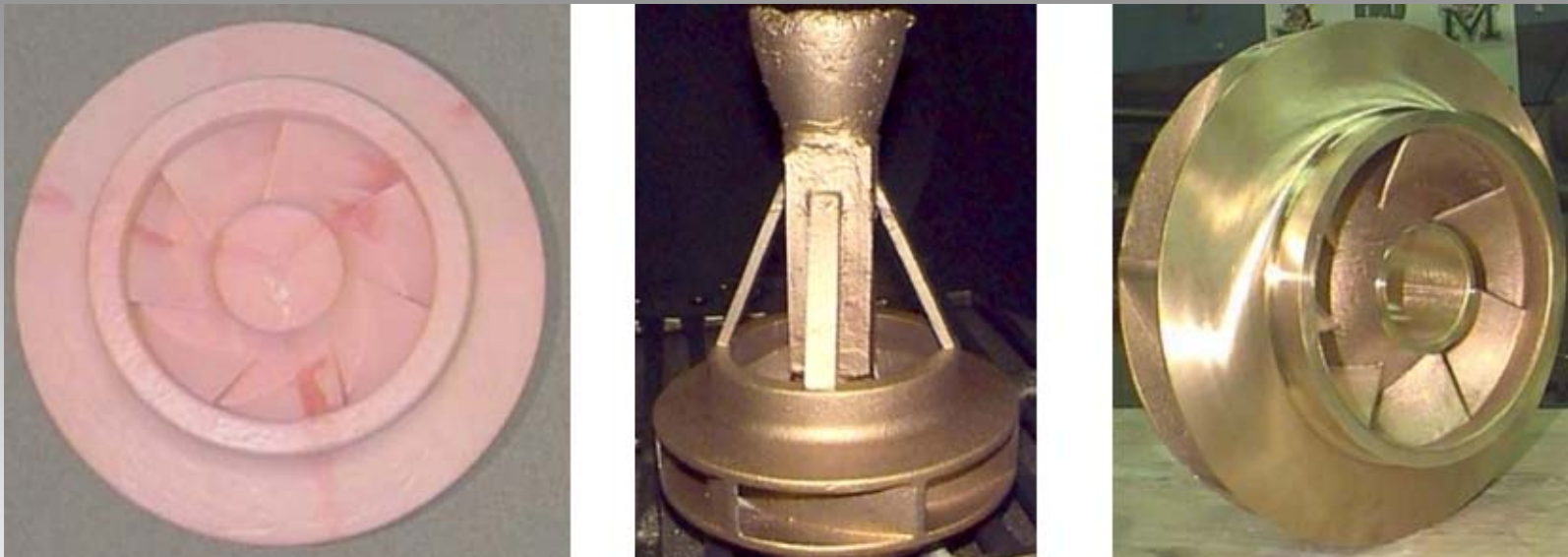
- ❖ Kalupi napravljeni ovim postupkom koriste se za proizvodnju delova livenjem PP, PA, PA punjenog staklom, ABS-a, akrila i PC.
- ❖ Ovaj postupak omogućava reparaciju oštećenih dijelova od aluminijuma.



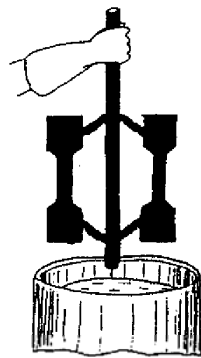
PREDNOSTI:

- ✓ nema zagađenja
- ✓ zbog nižih temperatura troši se manje energije
- ✓ nema zaostalih naprezanja i deformacija (nema transformacije iz krutog u tekuće stanje)
- ✓ relativno velika brzina nanošenja materijala
- ✓ dobra dimenzionaa stabilnost
- ✓ smanjenje vremena razvoja alata za 75 %.

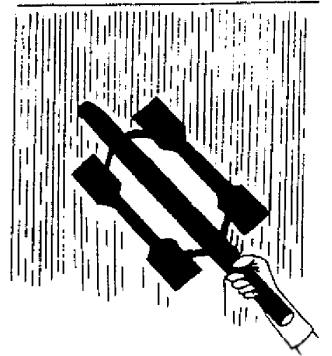
Precizno livenje



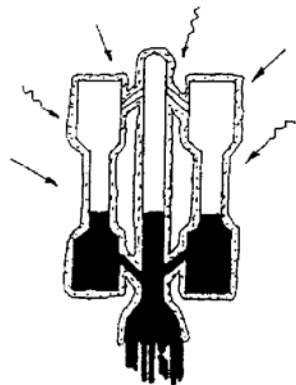
Master model izrađen postupkom 3D štampe (levo), odlivak dobijen preciznim livenjem (sredina) i obrađeni odlivak (desno)



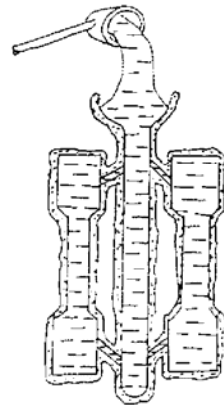
a) Grozdovi master modela se umaču u emulziju.



b) Vatrostalni pesak se seje na presvučeni master. Koraci a) i b) se ponavljaju do postizanja željene debljine školjke.

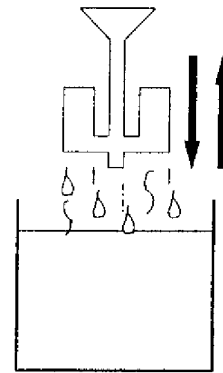


c) Pri zagrevanju, master se topi i izliva iz kalupa.

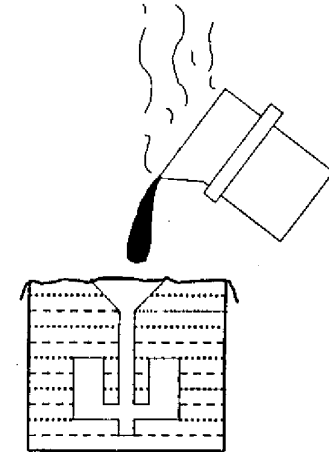


d) Vruć kalup se naliva topljenim metalom.

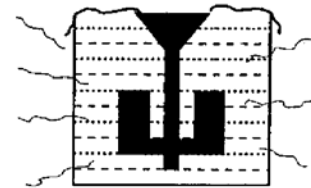
Postupak preciznog livenja



a) Polistirenski RP model se umače u keramičku emulziju i suši na vazduhu



b) Presvučeni RP model se prekriva peskom u kontejneru. Kontejner se zaptiva i vakuumira da bi se obezbedilo bolje pakovanje peska.



c) Polistirenski model isparava dok se topljeni metal uliva u kalup. Nakon toga se liv hladi.



d) Nakon stvrdnjavanja, gotovi odlivci se odvajaju od ulivnog sistema.

Postupak livenja sa isparljivim modelom