



# PENASTI LIV

## TEHNOLOGIJE IZRADE ODLIVAKA OD METALNE PENE

Prof. dr Damir Kakaš  
Pal Terek

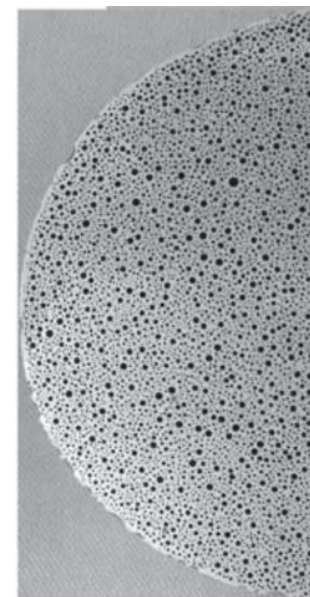
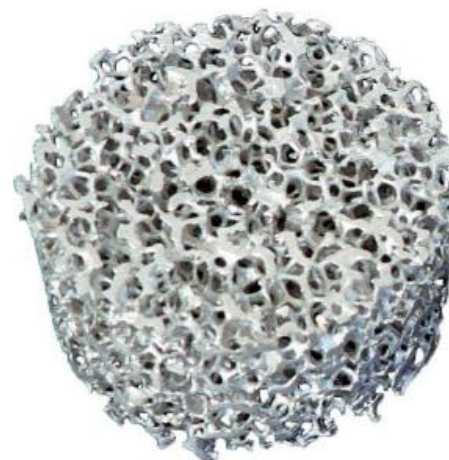
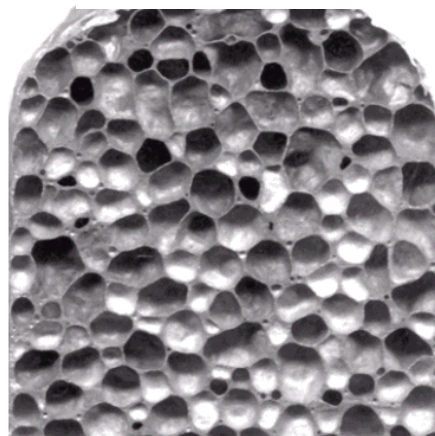
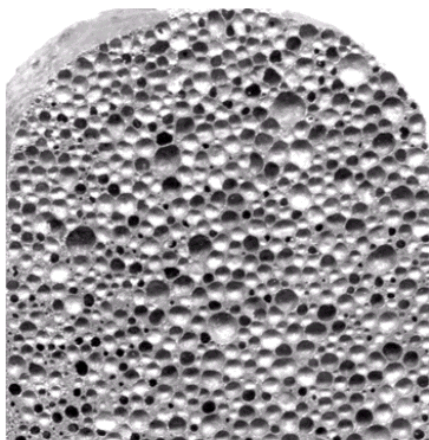
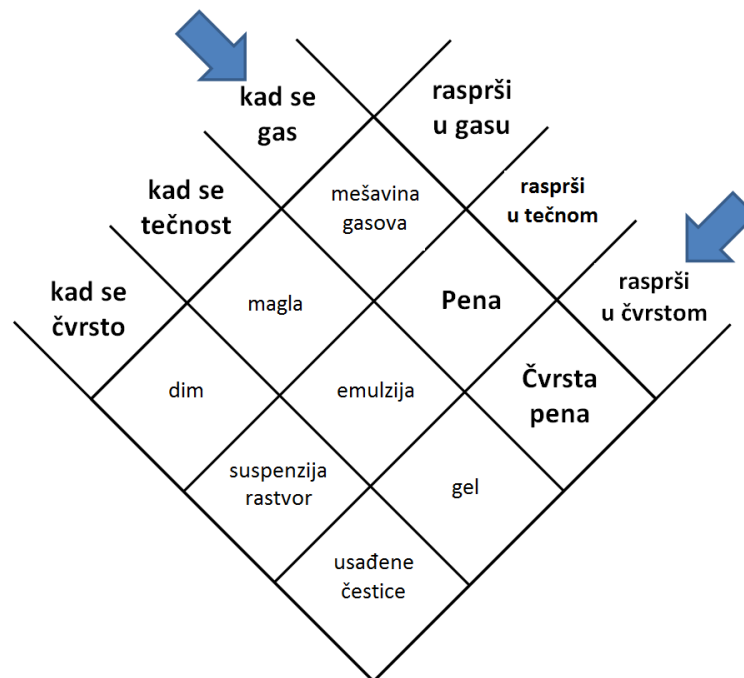


# Uvod



- Eksploatacija principa iz prirode
- Pensate strukture materijala:
  - Metali
  - Polimeri
  - Keramike
- Osobine penastih materijala su veoma zanimljive za praktičnu primenu na raznim poljima
- Prvi patent o metalnim penama iz 50-ih godina 20 veka a tek 80-ih ekspanzija razvoja a 90-ih komercijalna proizvodnja
- Metalne pene karakteriše veliki broj pora različitog oblika u strukturi koje su povezane ili ne

# Metalne pene





# Metalne pene



**Metalne pene su strukture** a ne materijali

Osobine metalnih pena zavise od:

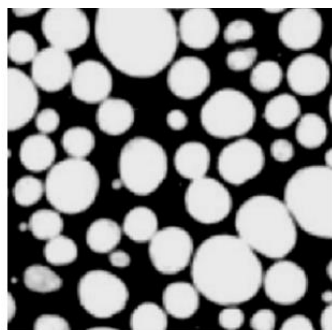
- vrste materijala
- relativne gustine pene
- **oblika ćelijske strukture**
- dimenzija ćelija

Mala gustina, visoka specifična krutost, visok kapacitet absorpcije različitih vidova energije, velika površina po jedinici zapremine



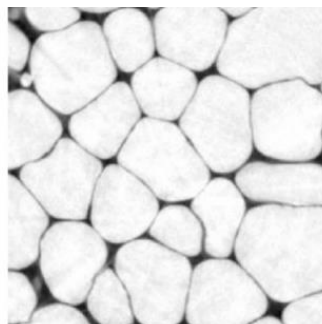
# Struktura metalnih pena

Suva pena



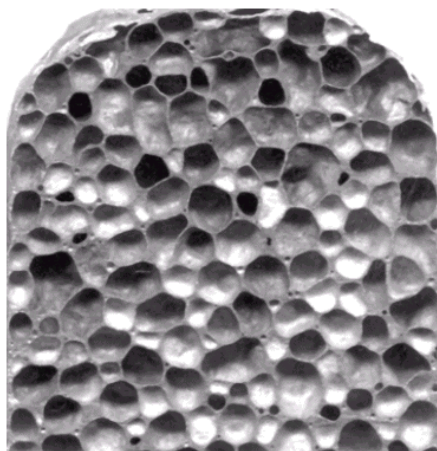
8 mm

Vlažna pena

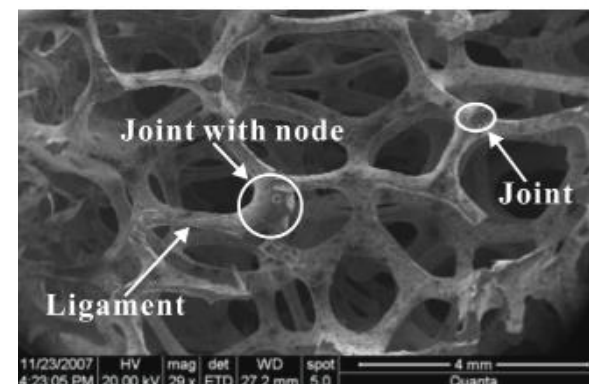


15 mm

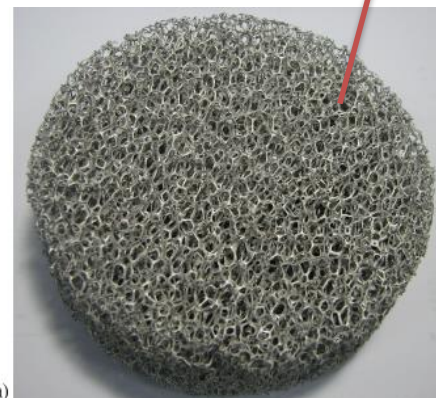
Zatvorene pore



Kombinovane pore



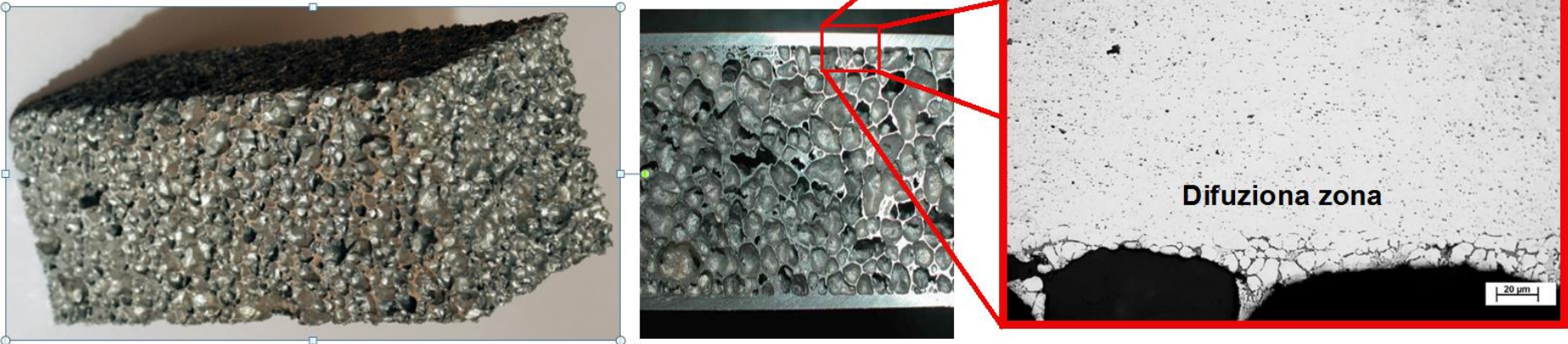
Otvorene pore



(a) (l)  
Čvrste ćelijske strukture

# Odливci sa penastom strukturom

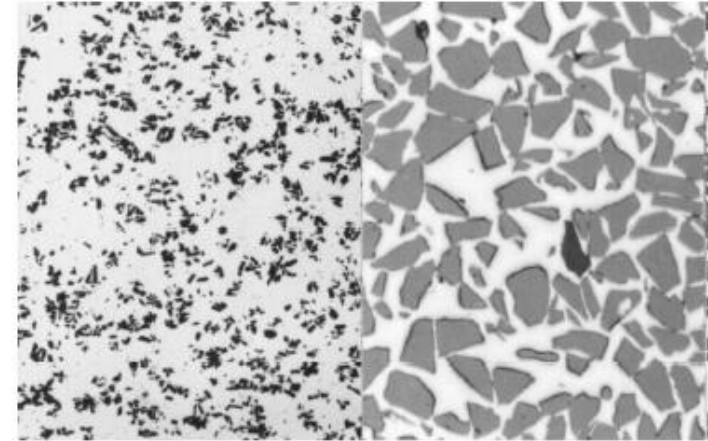
- Odливci od penastog liva mogu biti sa penastom morfologijom površine ili sa korom



- Kora obezbeđuje odgovarajuću krutost i čvrstoću elementa i sprečava se uticaj spoljašnje atmosfere na otvorenu strukturu ćelija

# Materijal metalnih pena

- Čestično ojačane legure metala u odnosu na osnovne legure imaju:
    - + veću krutost
    - + višji napon tečenja
    - + veću tvrdoću
    - + visoka specifična čvrstoća/E
  - smanjenu duktilnost
- Čestice SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>C



a)

b)



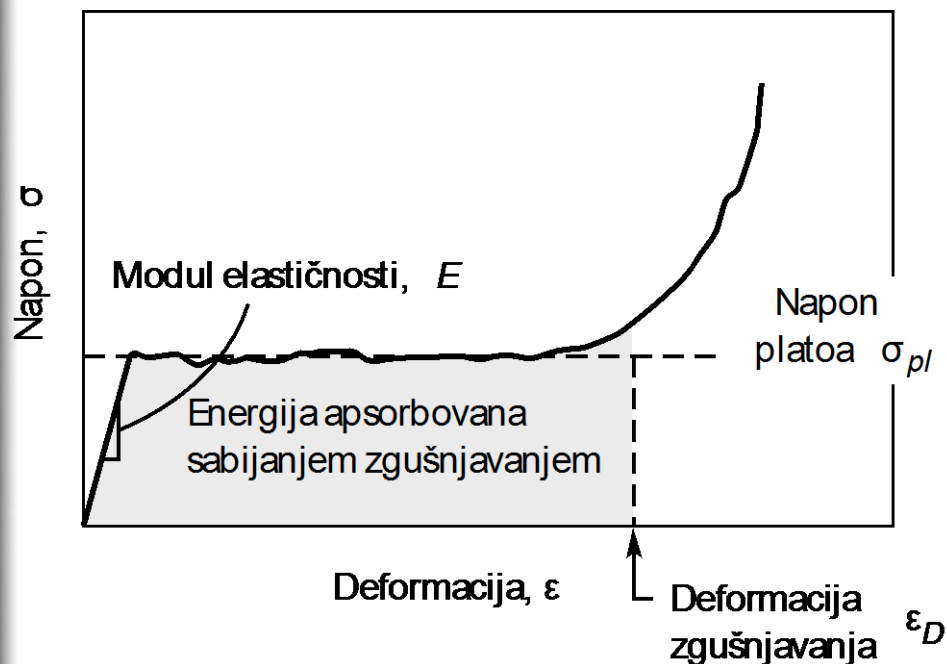
c)

0,1 mm

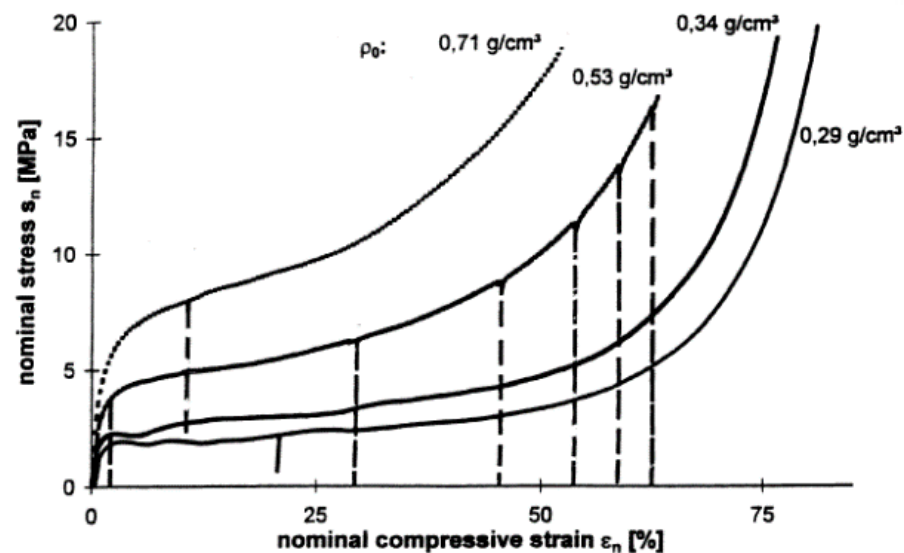
# Osobine metalnih pena

$$\rho_{rel} = \frac{\rho_{pene}}{\rho_{materijala\ pene}}$$

Pritisna čvrstoća

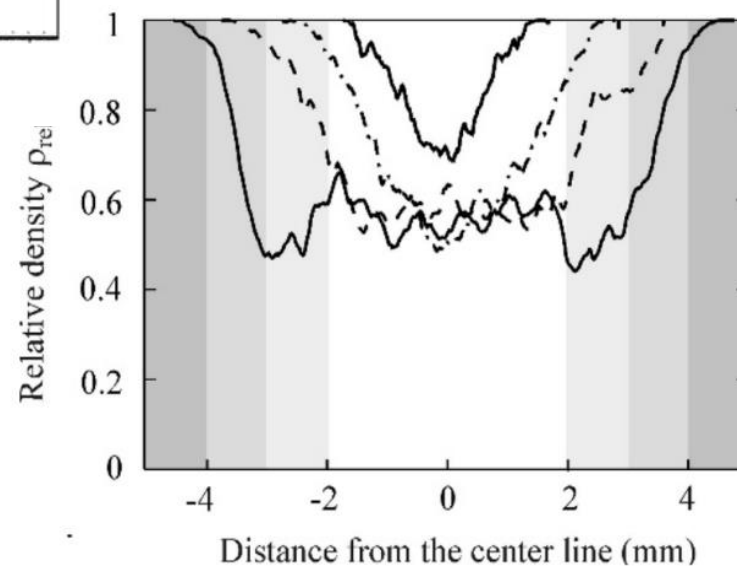
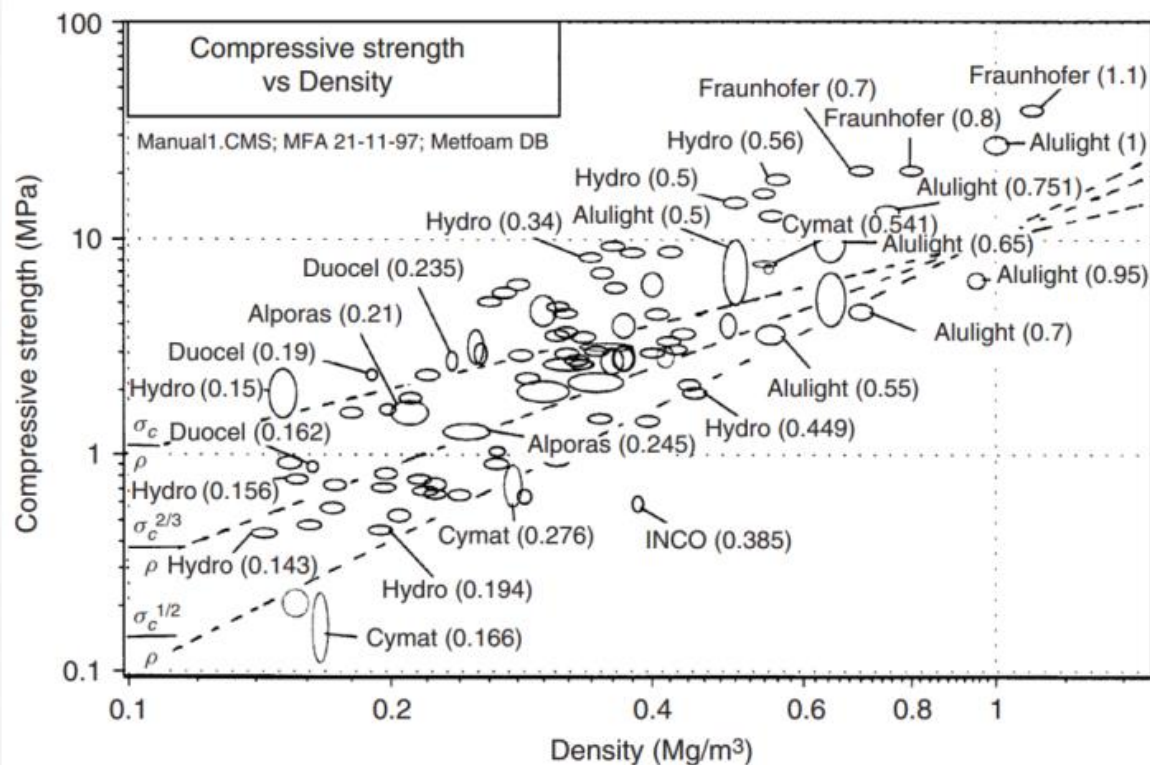


Pritisna čvrstoća

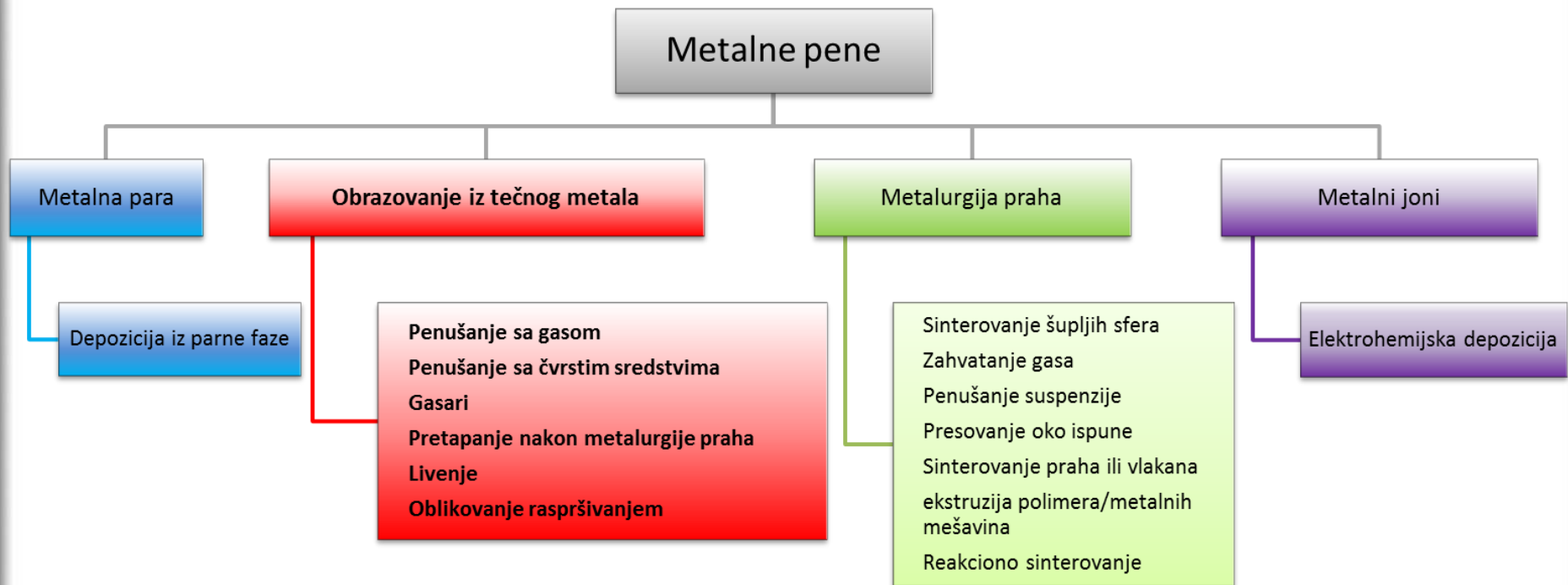




# Osobine metalnih pena

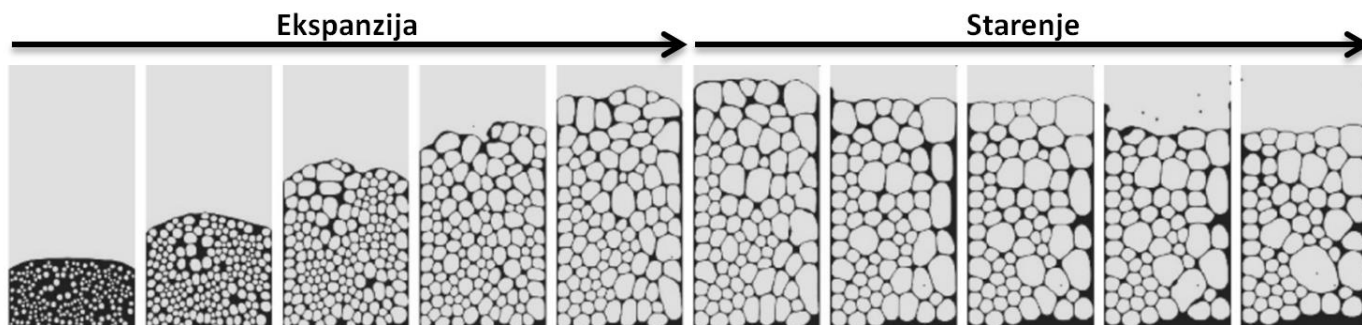


# Tehnologije izrade delova od metalnih pena

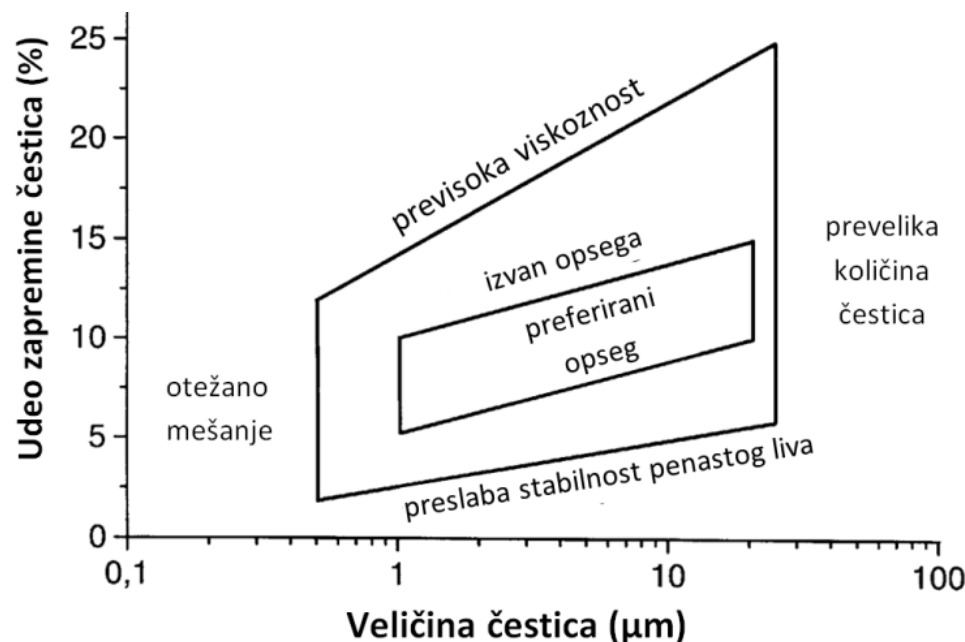


# Osnovi tehnologije izrade metalne pene

- Sredstva za penušanje (gasovita/čvrsta)
- Sredstva za stabilizaciju penaste strukture

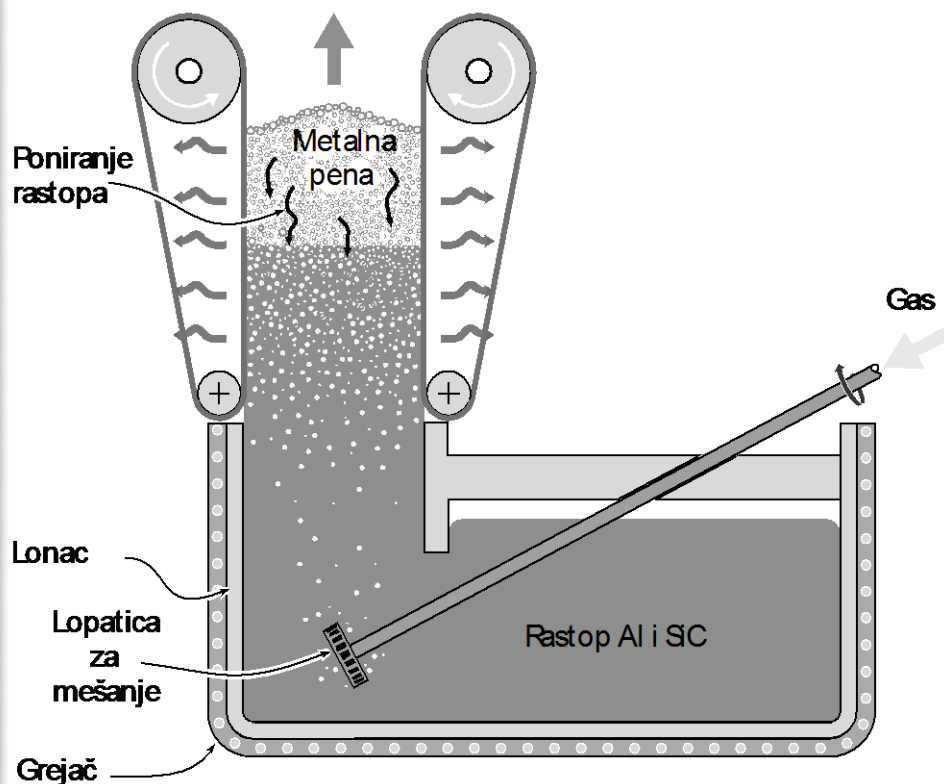


Može i bez sredstava za stabilizaciju ako se pretapa povrat iz proizvodnje



# Metal-gasni postupak livenja penastog liva

1. Priprema rastopa sa česticama
2. Penušanje
3. Izrada odlivaka



**Gasovi za penušanje:** inertni gasovi, vodonik, kiseonik, vazduh

**Sistema za uduvavanje gasa:**

lopatice, vibrirajuće dizne

**Čestično ojačane legure sa:**

SiC,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CaO ili  $\text{CaAl}_2\text{O}_4$

**Odlivci sa korom ili bez**

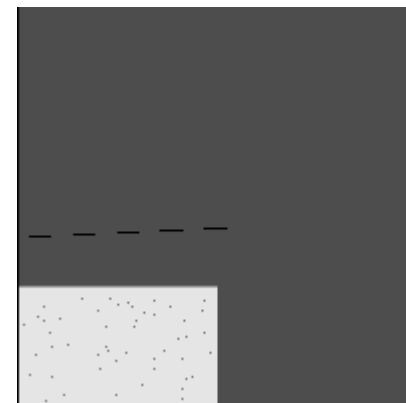
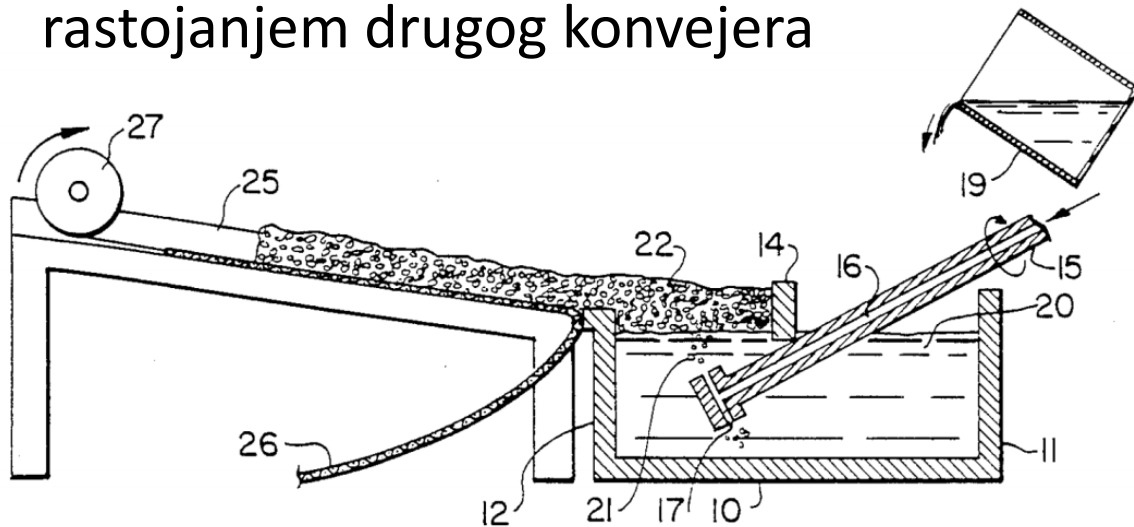
Pore od 3 do 20mm

$\rho_{rel}$  od 0,03 do 0,1

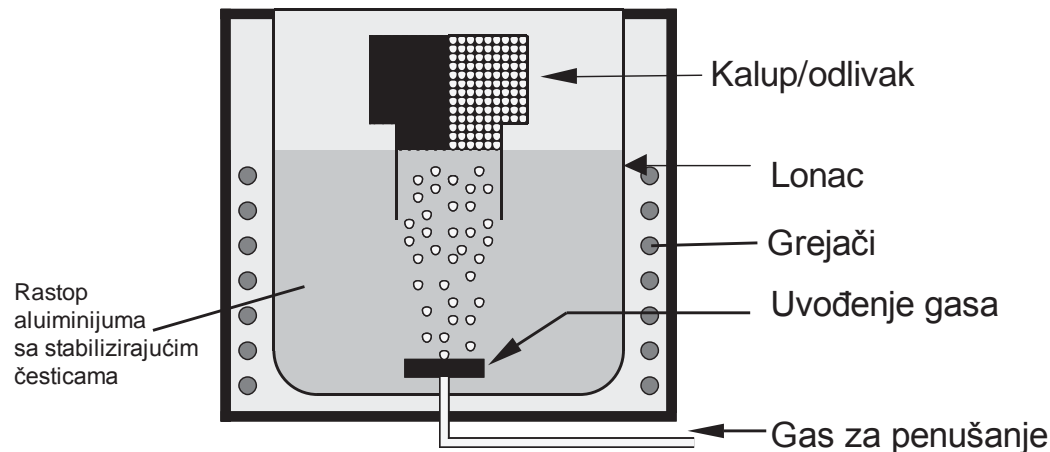


# Metal-gasni postupak livenja penastog liva

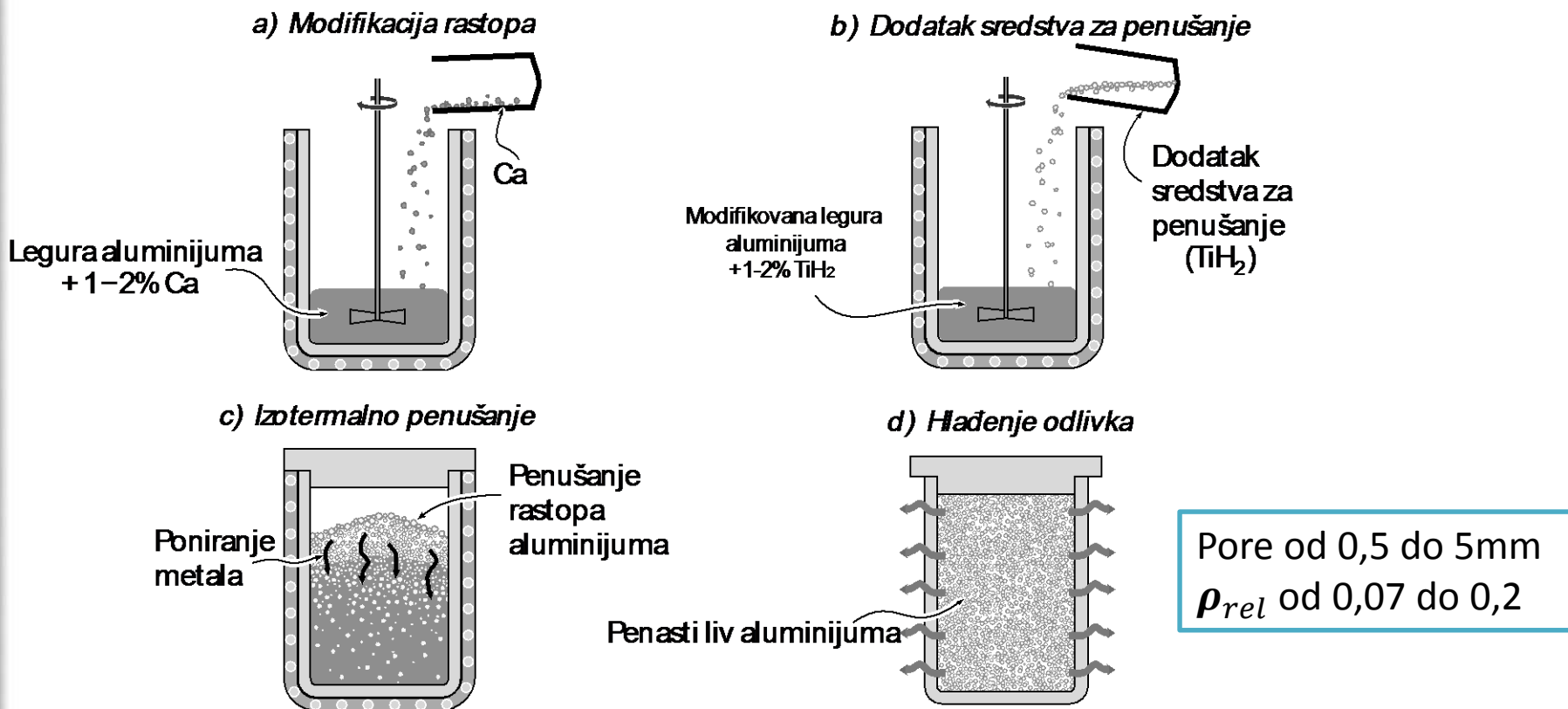
- Debljina odlivka: brzina kretanja konvejera, hlađenje, rastojanjem drugog konvejera



- Izrada odlivaka kompleksne geometrije



# Tehnologija livenja penastog liva sa oslobađanjem gasa iz čestica



**Parametri procesa:** pritisak iznad liva, temperatura liva i vreme držanja, vrsta sredstva za penušanje, mešanje rastopa i sredstva

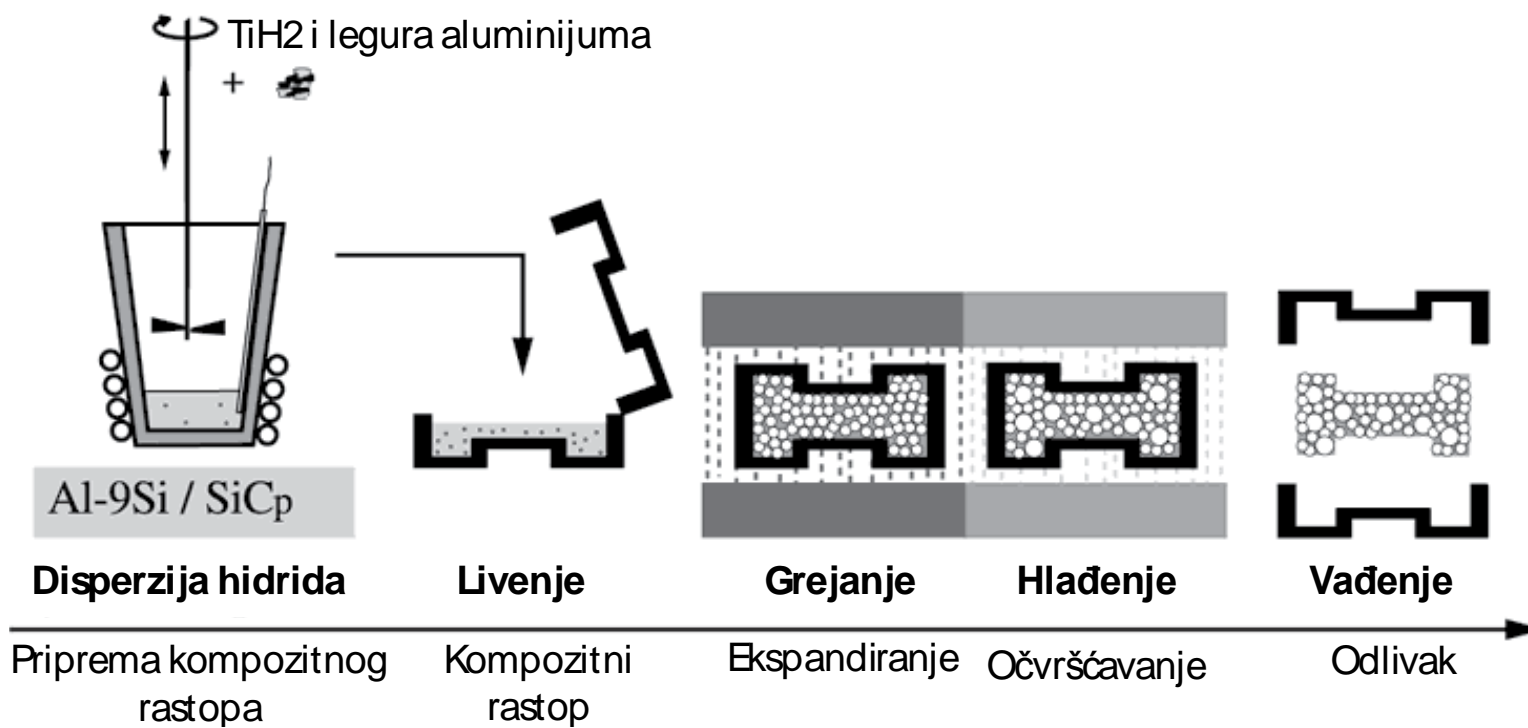
**Takt rada** sprečavanje prevremenog penušanja



# Tehnologija livenja penastog liva sa oslobađanjem gasa iz čestica



- Dve varijante procesa
  - ekspandiranje iz pripremljenog liva
  - ekspandiranje vrši iz pripremk
- TO sredstva za penušanje za usporavanje penušanja

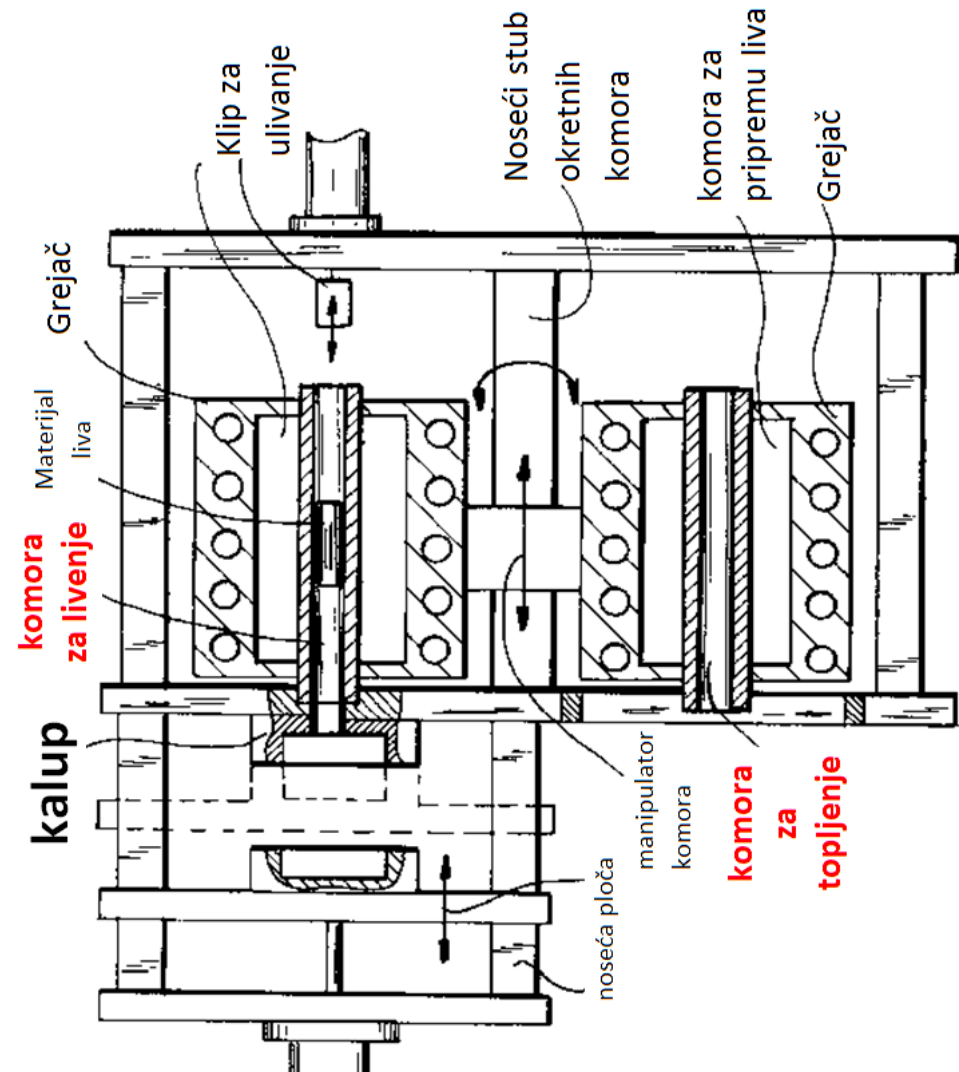


# Tehnologija livenja penastog liva sa oslobađanjem gasa iz čestica

Mašina za pripremu liva i livenje u obliku karusela

## Faze procesa:

- Priprema materijala za topljenje
- Topljenje i penušanje
- Livenje
- Vađenje odlivka







# Tehnologija livenja penastog liva sa oslobađanjem gasa iz čestica



Odливci dobijeni livenjem u peščane kalupe

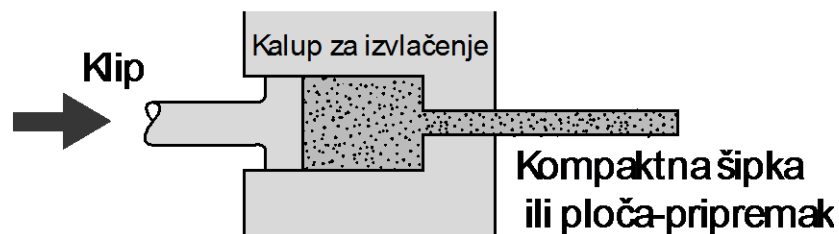


# Tehnologija livenja penastog liva u poluočvrslom stanju sa oslobađanjem gasa iz čestica

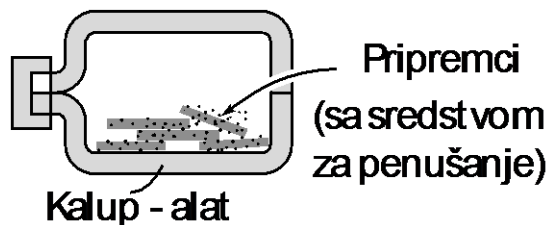
a) Izbor i mešanje čestica



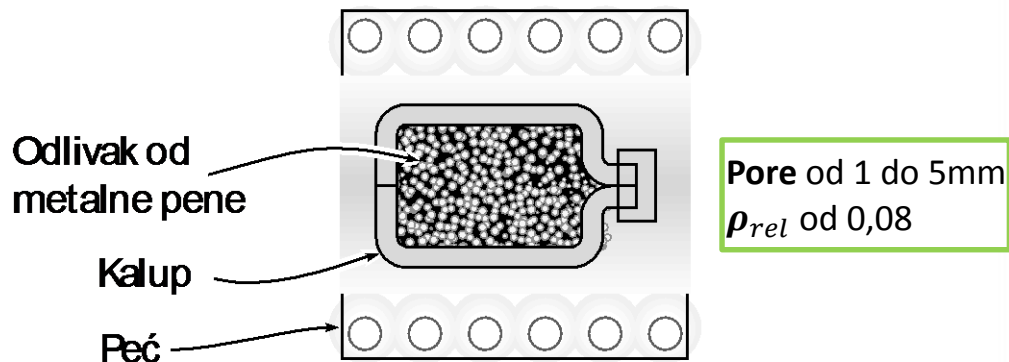
b) Sedinjavanje i izvlačenje



c) Priprema kalupa



d) Penušanje-ekspandiranje

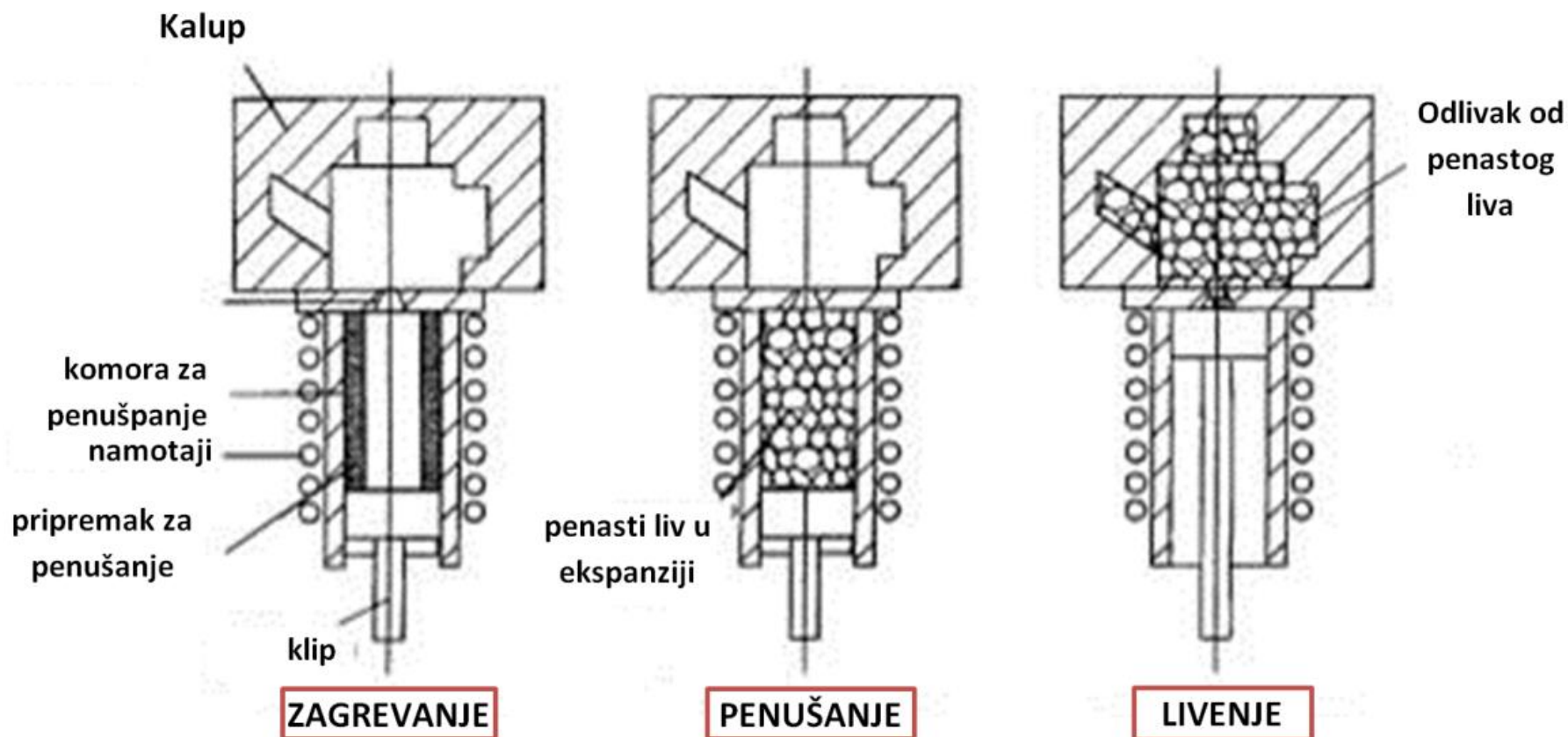




# Tehnologija livenja penastog liva u poluočvrstom stanju sa oslobađanjem gasa iz čestica



- Proces penušanja može da se izdvoji iz kalupne šupljine
- Popunjavanje kalupa složene geometrije





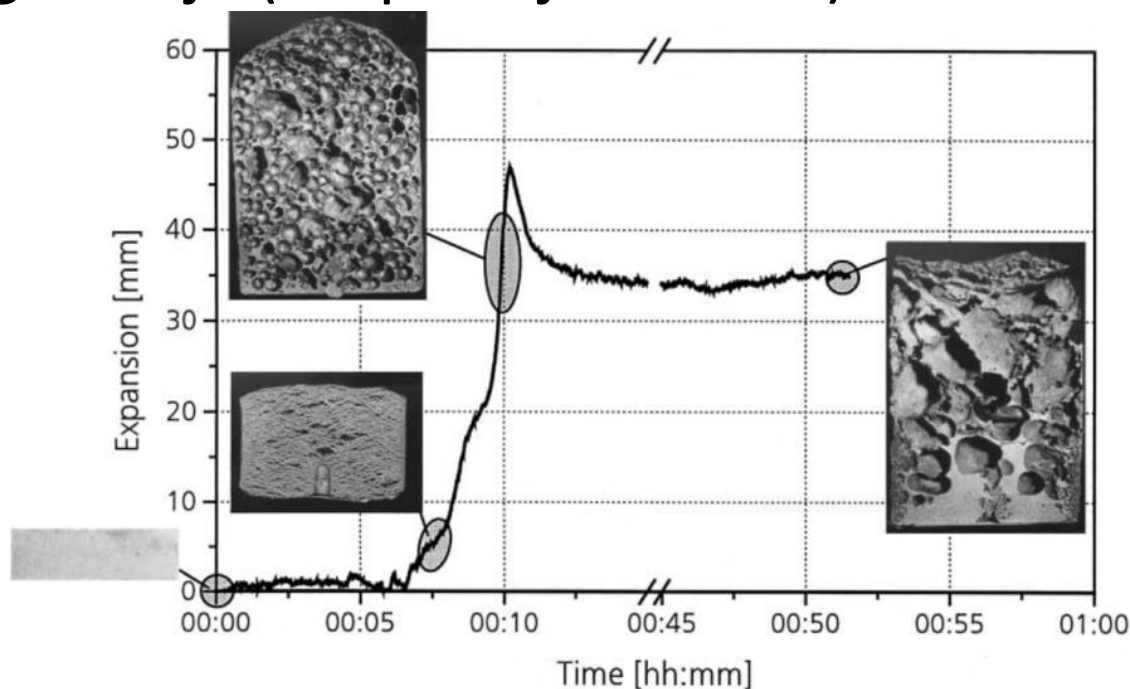
# Tehnologija livenja penastog liva u poluočvrslom stanju sa oslobađanjem gasa iz čestica



- oblikom pripremaka može se prići obliku odlivka

## Parametri procesa:

- vreme penušanja i temperatura zagrevanja
- optimalna struktura materijala postiže pre dostizanja najvećeg širenja (ekspanzije odlivka)

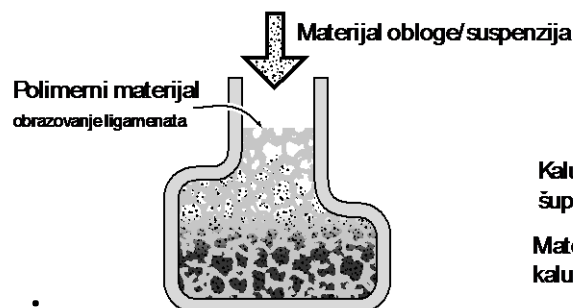




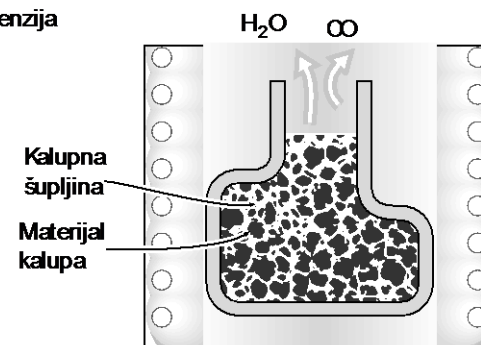
# Precizno livenje penastog liva

- Izbor pene
- Modeli se izrađuju brizganjem polimerne pene
- Oblaganje suspenzijom
- Nanošenje peska kao ispune kalupa

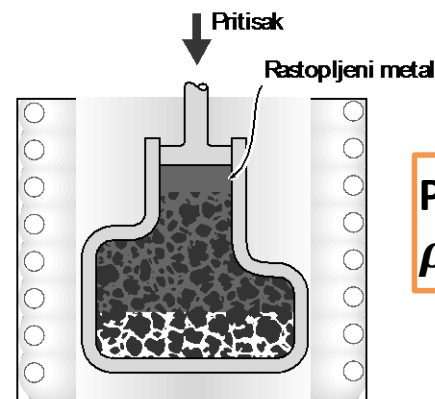
a) Oblaganje modelnog materijala



b) Uklanjanje modelnog materijala (polimera)

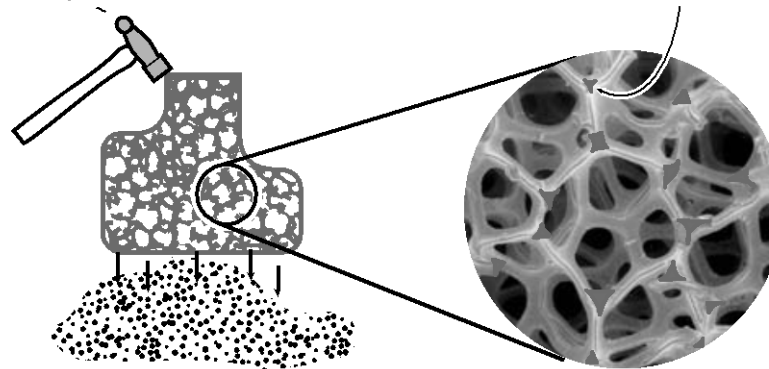


c) Livenje



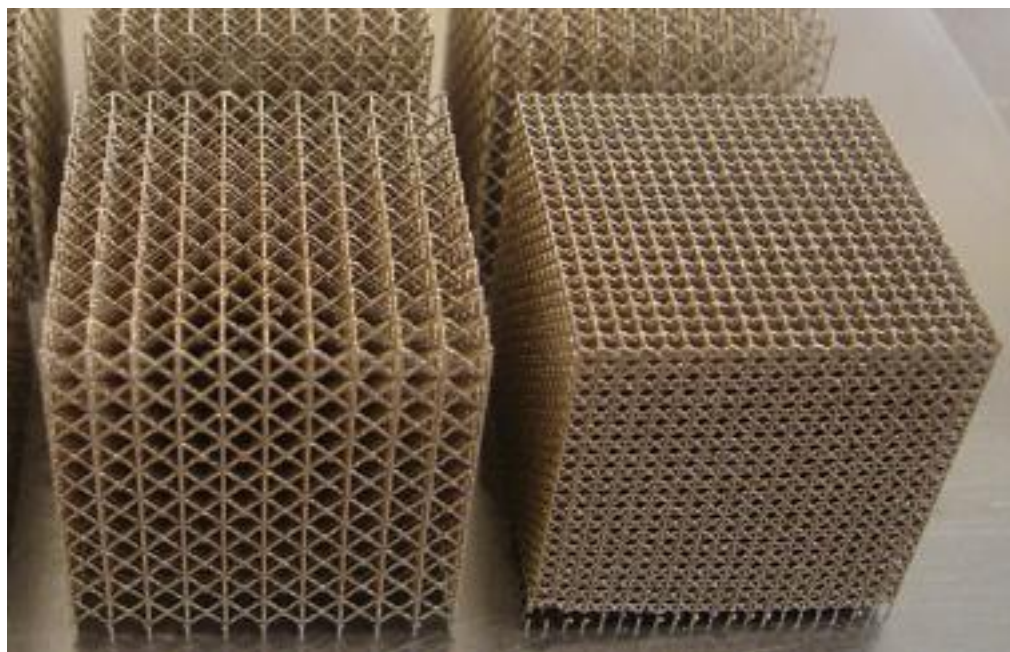
Pore od 1 do 5mm  
 $\rho_{rel}$  od 0,05

d) Istresanje kalupa



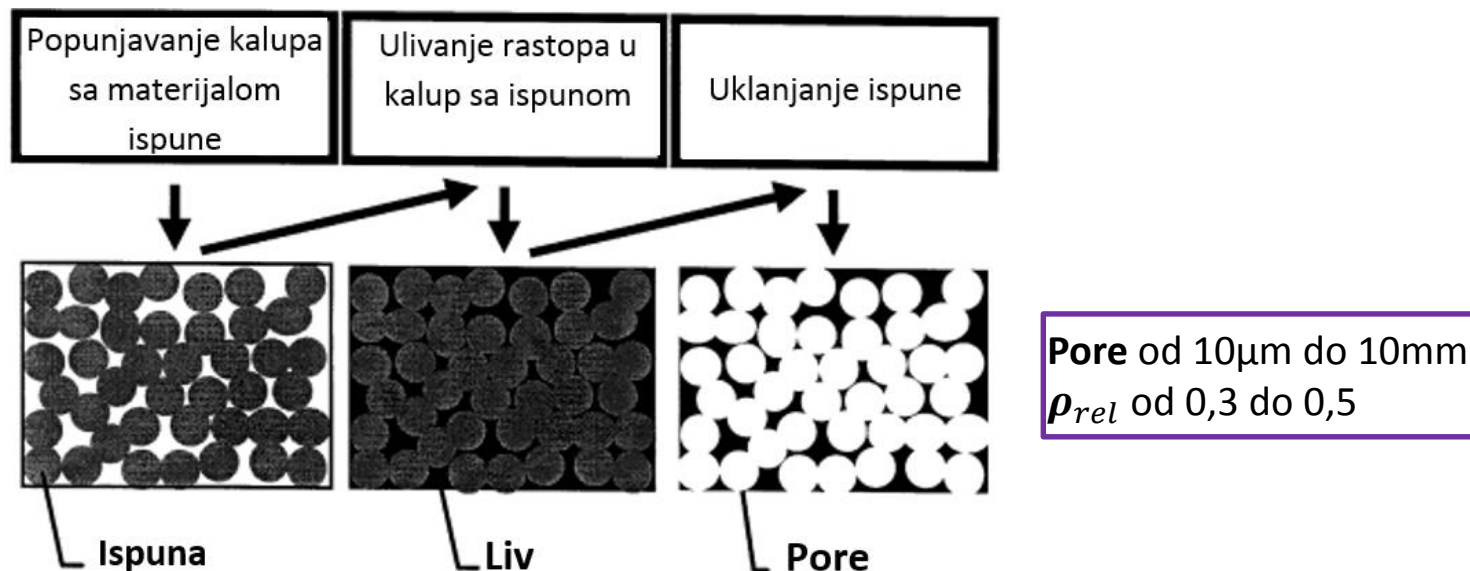
# Precizno livenje penastog liva

- Dobro predgrevanje kalupa pre livenja
- Primena pritiska pri ulivanju i vakuma u kalupu
- Metalne pene otvorene strukture sa visokom sređenošću





# Tehnologija izrade metalne pene livenjem u kalupe sa ispunom



Važni parametri:

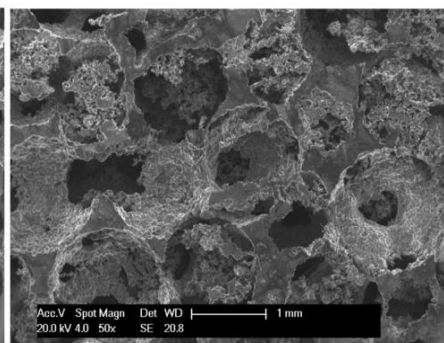
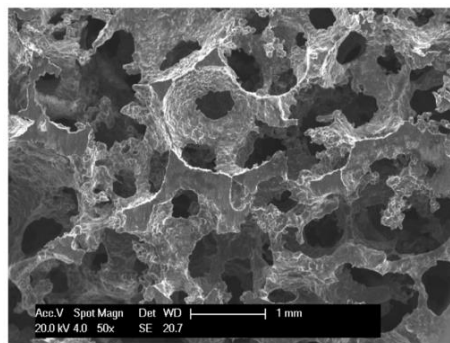
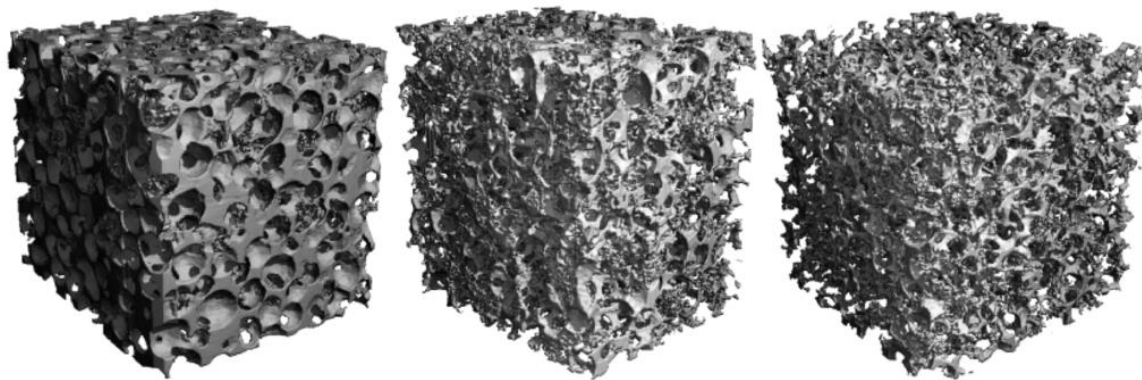
- Primena vibracija nakon popunjavanja kalupa ispunom
- Primena pritska na liv prilikom popunjavanja
- Izborom materijala i oblika ispune zavisi i vrsta metalne pene
- Temperatura topljenja materijala ispune
- toplotna provodljivost materijala ispune
- Kvašljivost materijala ispune sa materijalom liva



# Tehnologija izrade metalne pene livenjem u kalupe sa ispunom



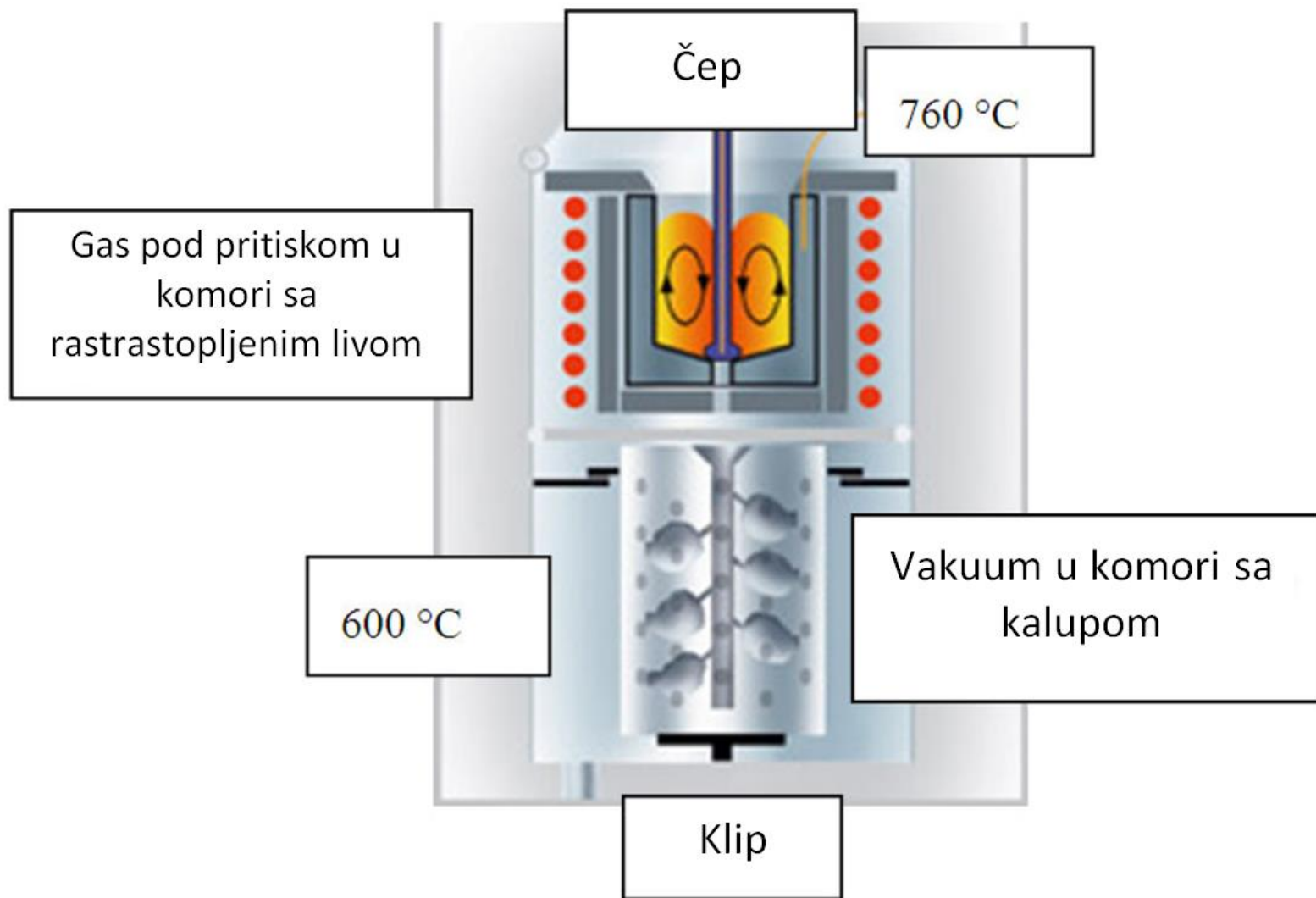
NaCl



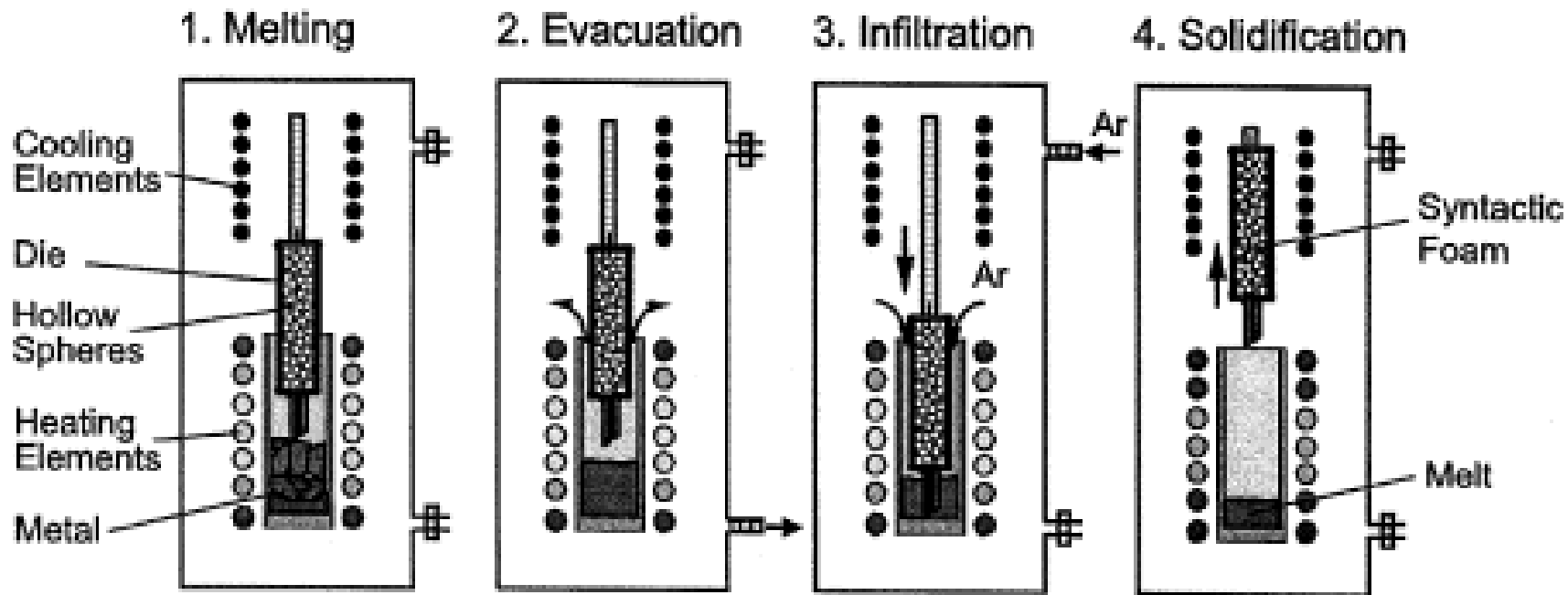




# Tehnologija izrade metalne pene livenjem u kalupe sa ispunom

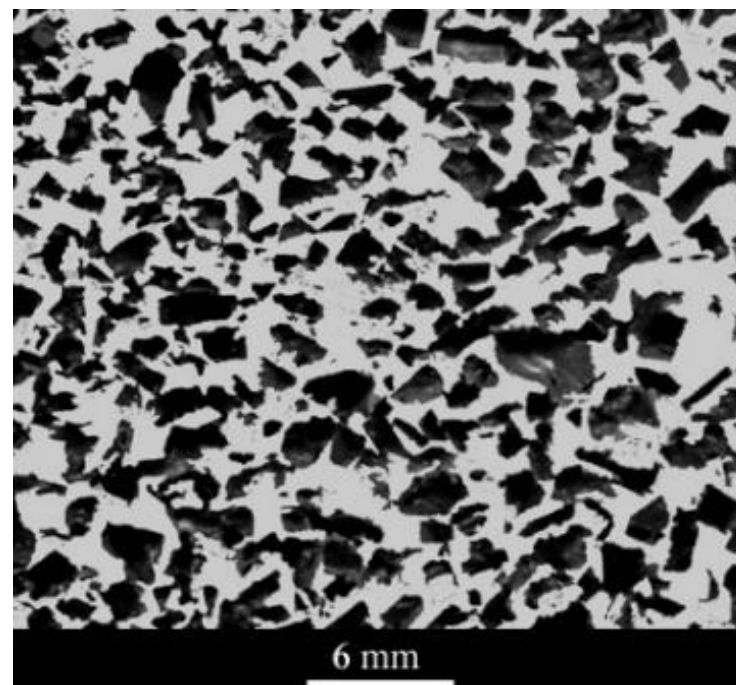


# Tehnologija izrade metalne pene livenjem u kalupe sa ispunom – sintaksne pene



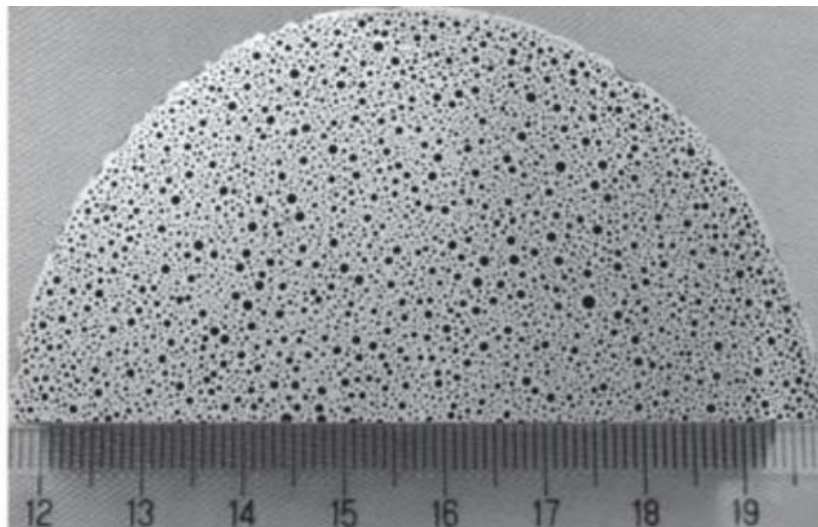
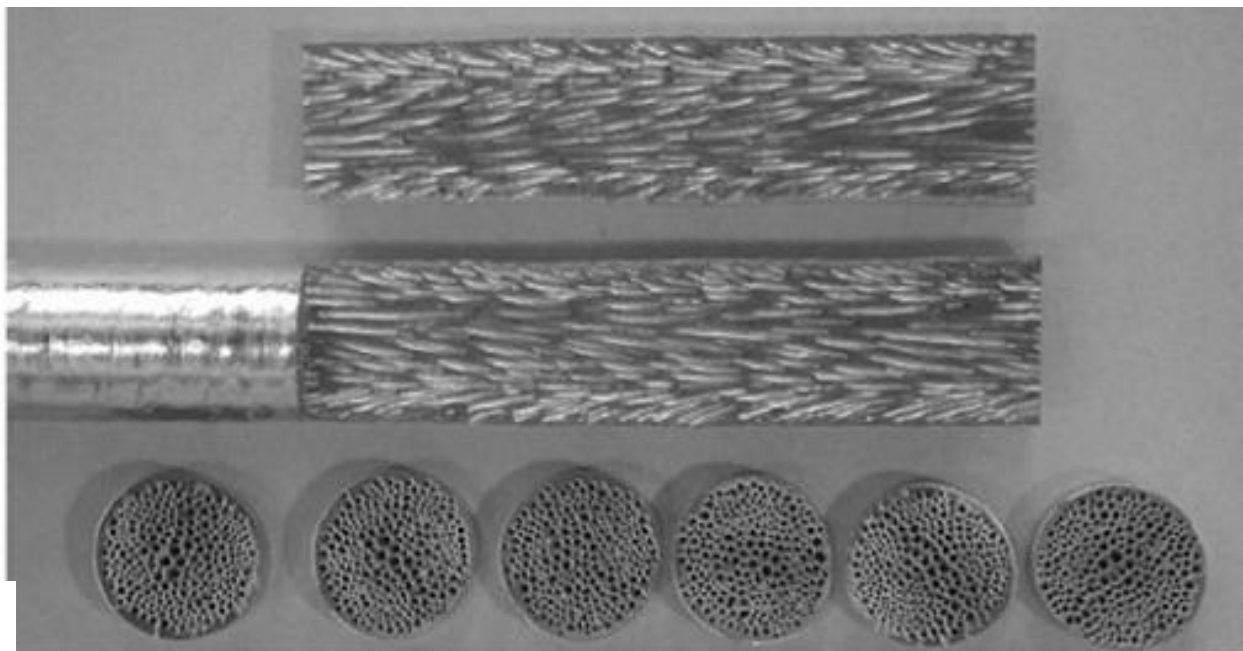


# Tehnologija izrade metalne pene livenjem u kalupe sa ispunom





# Čvrsto-gasnim eutektičkim očvršćaváním „Gasari“



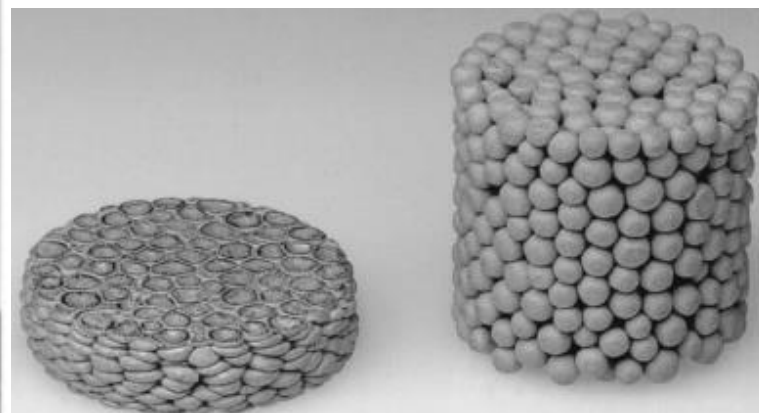
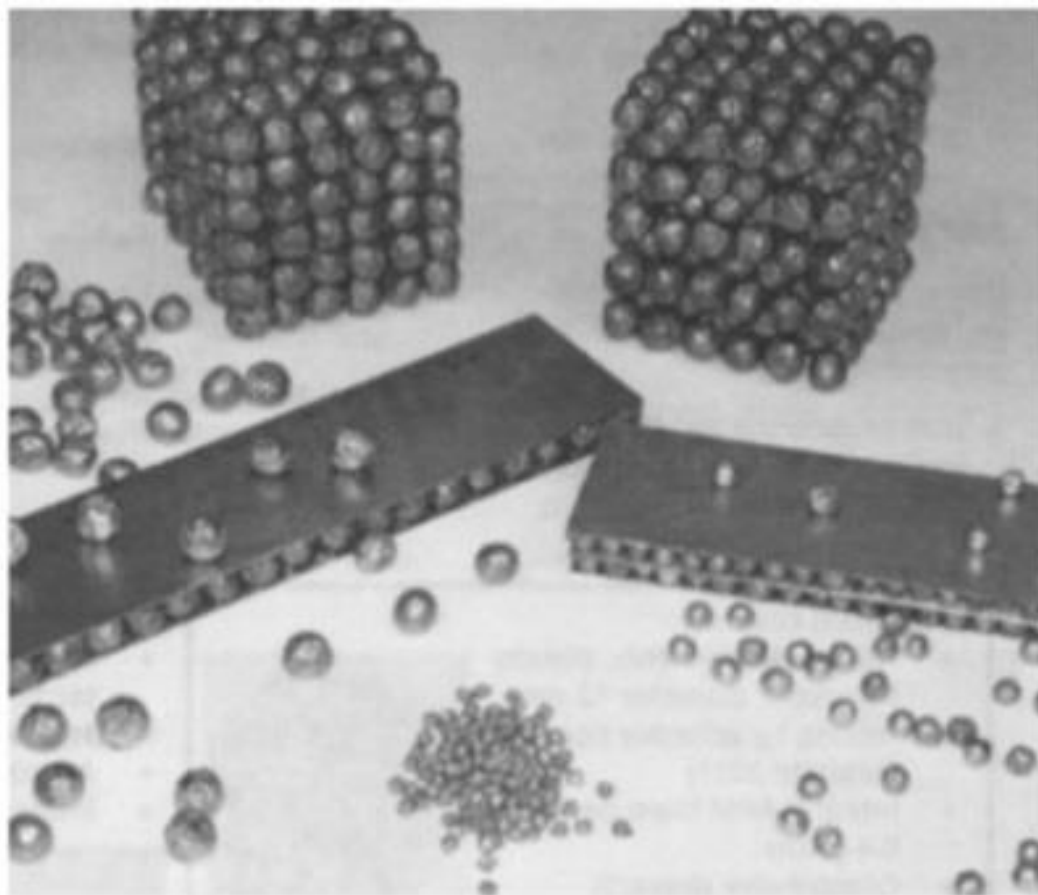




# Livenje struktura u obliku šupljih sfera



- izrada metalnih sfera
- sjedinjavanje u kompaktnu celinu mašinskog elementa ili dela



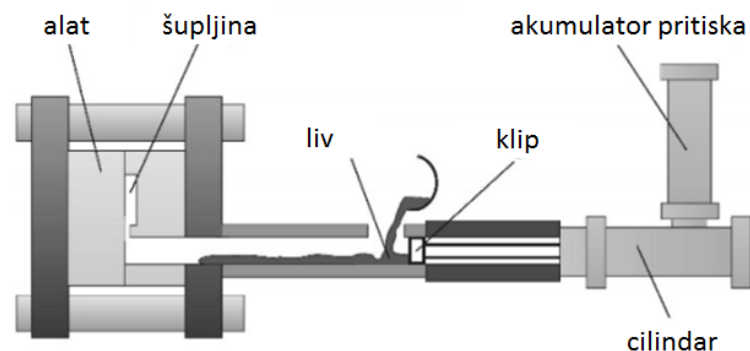




# Livenje pod pritiskom i „tikso“ livenje



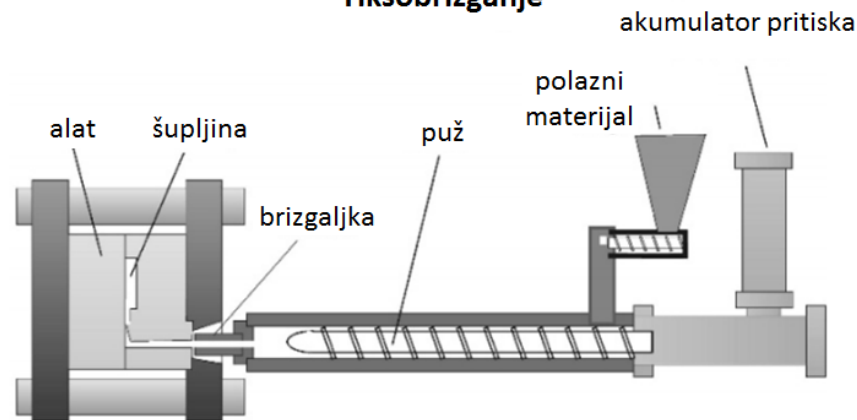
- Velika turbulencija povoljna
- Brzo hlađenje zidova odlivka
- Raspršivanje sredstva za penušanje (SZP)
- **Vreme kontakta sredstva za penušanje i livene legure**
- **Lokacija unošenja SZP ulivnom sistemu**



Livenje pod niskim pritiskom

Livenje pod visokim pritiskom

## Tiksobrizganje

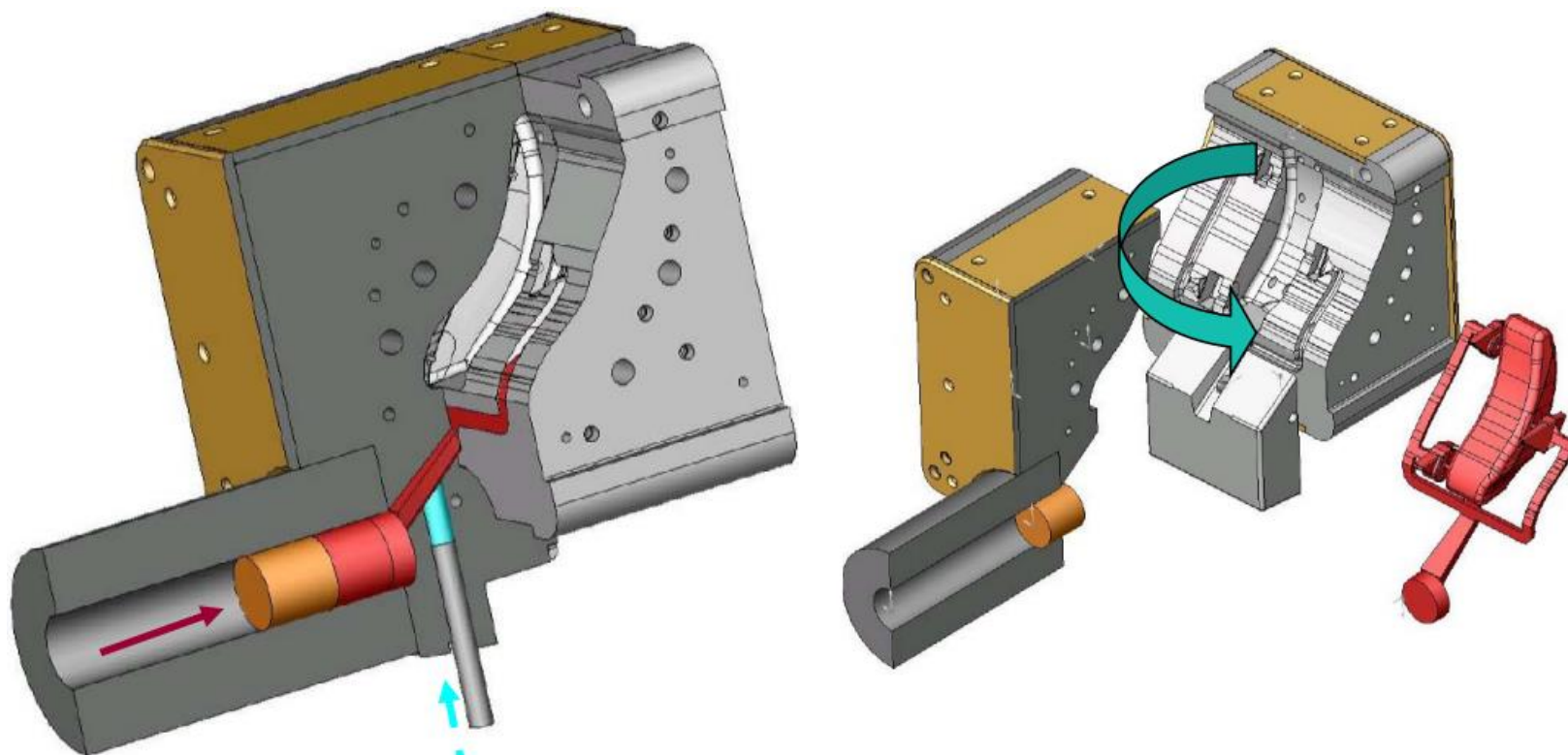




# Livenje pod niskim pritiskom penastog liva



## Lokacija unošenja sredstva za penušanje



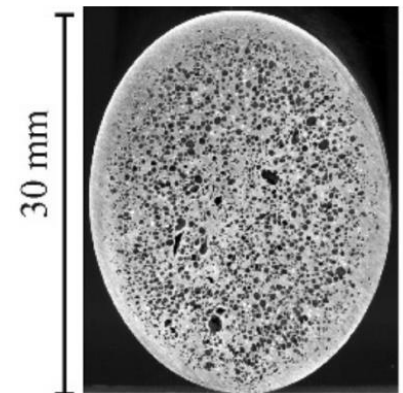
- Popunjavanje alata se ne vrši do kraja (ostavlja se za ekspanziju)
- Pritisak je od 5 do 50bara
- Klip cilindra i mehanizam unošenja SZP moraju biti usklađeni
- **Mogu se koristiti konvencionalne mašine** za livenje pod pritiskom



# Livenje pod niskim pritiskom penastog liva



- Zatvorene pore i kora odlivka
- Kompleksna geometrija
- Proces livenja sa jednom operacijom
- Moguć je velik stepen automatizacije
- Materijali legure mogu biti i povrat i čiste legure

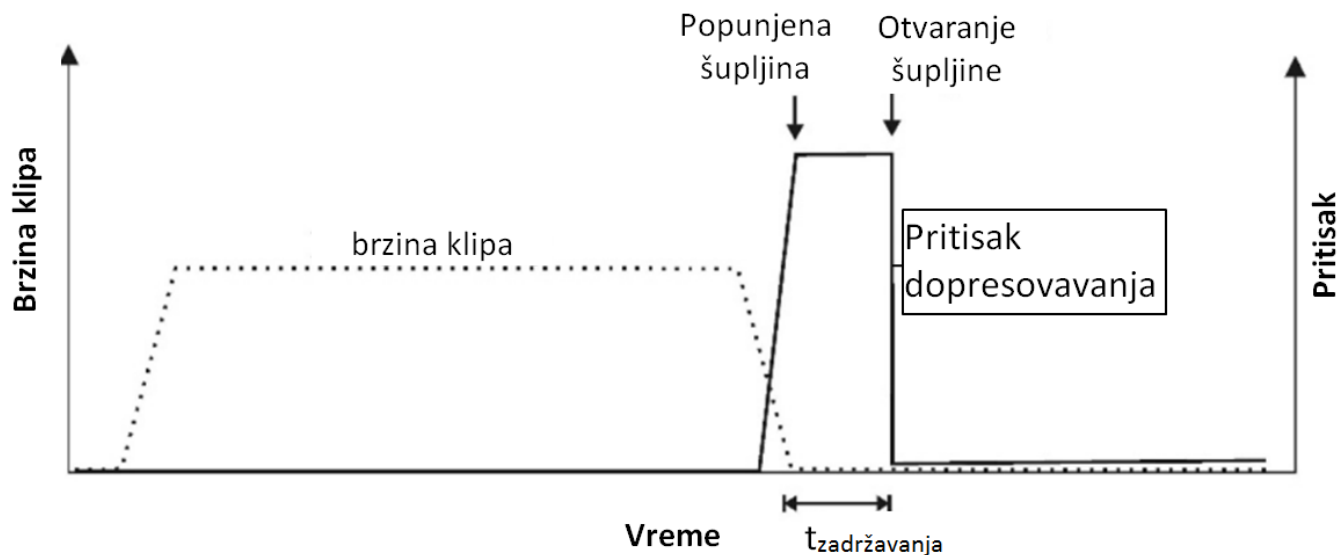
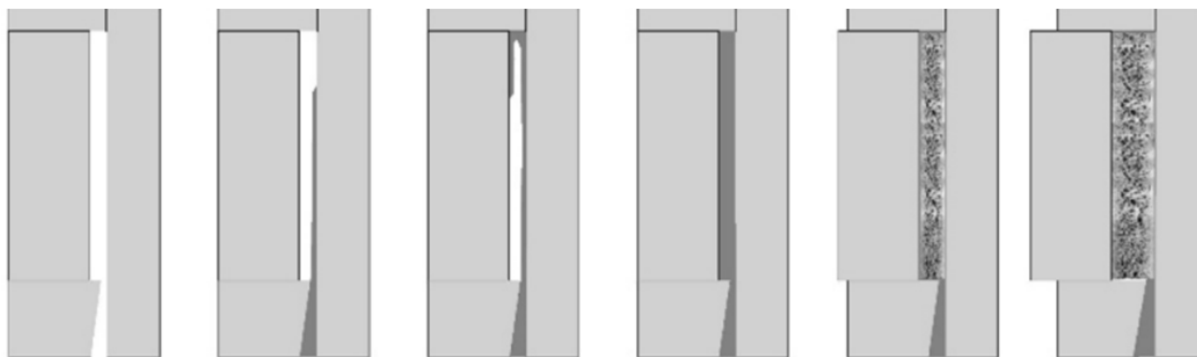




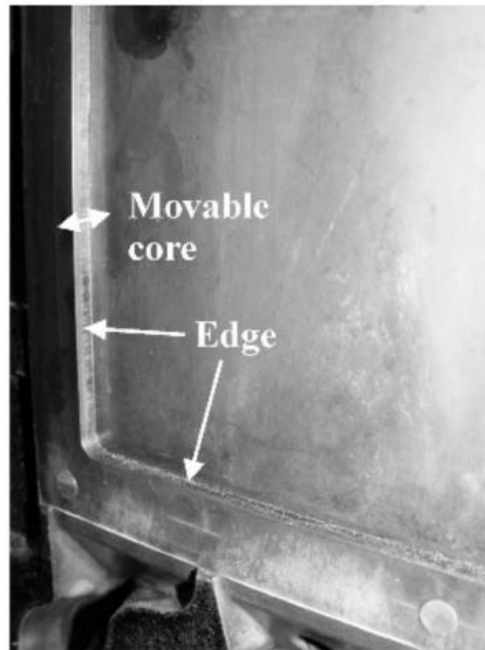
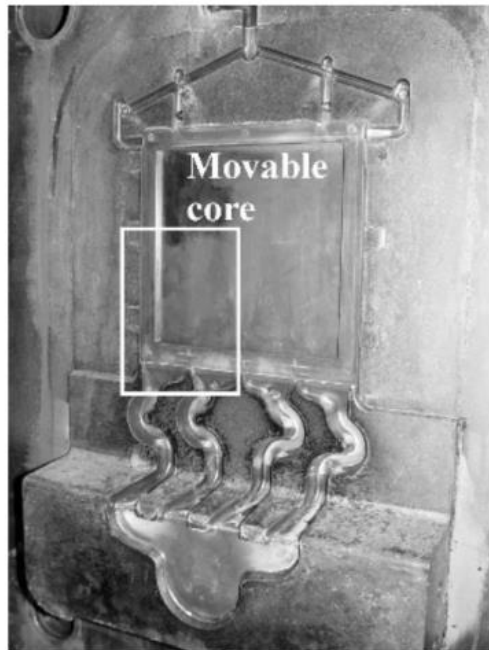
# Livenje pod viskoim pritiskom penastog liva



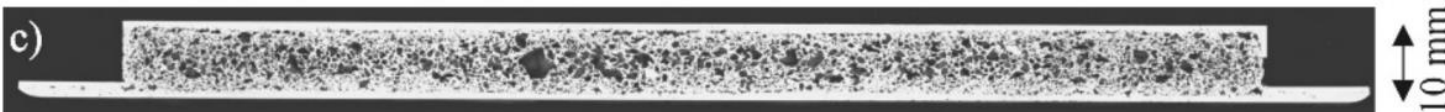
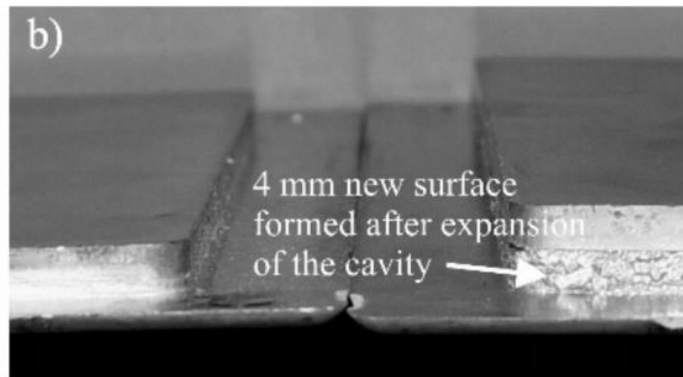
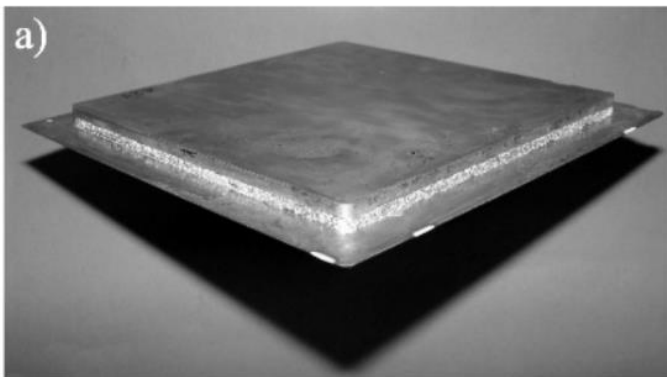
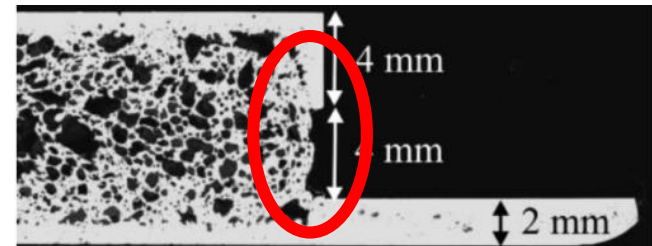
- Dimenzije šupljine su manje od krajnjeg odlivka
- Faza dopresovavanja (100bara) kada se otvara alat



# Livenje pod viskoim pritiskom penastog liva



Deo odlivka bez kore





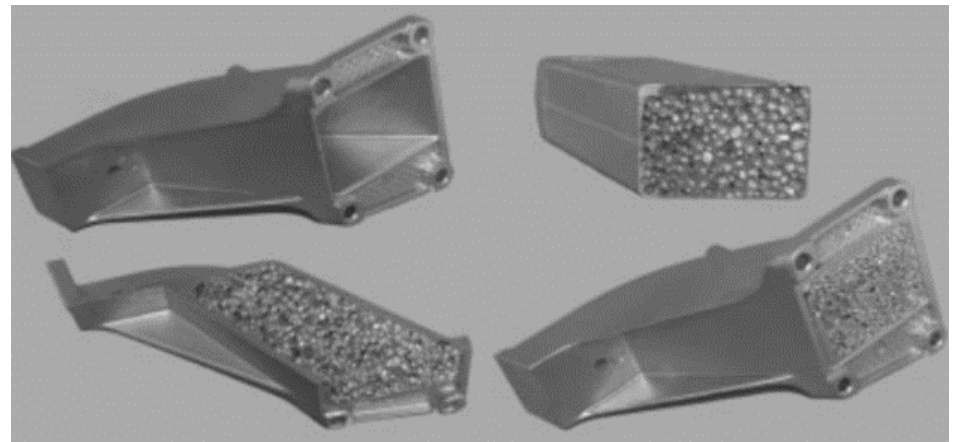


# Proces livenja pod visokim pritiskom



- + formiranje odlivaka manje gustine
- + mogućnost proizvodnje odlivka sa **tankim zidovima** koji se formiraju **na znatnim udaljenostima** od US
- + varijacija debljine kore odlivka
- + lokalno penušanje samo neke sekcije odlivka
  
- Ne postoji kora odlivka na celoj njegovoj površini
- Formiranje odlivaka jednostavnije geometrije
- Specijalna konstrukcija mašine i alata (mogućnost otvaranja)
- Sinhronizacija klipa i otvaranja alata

# Livenje pod pritiskom sa unetkom od penastog liva



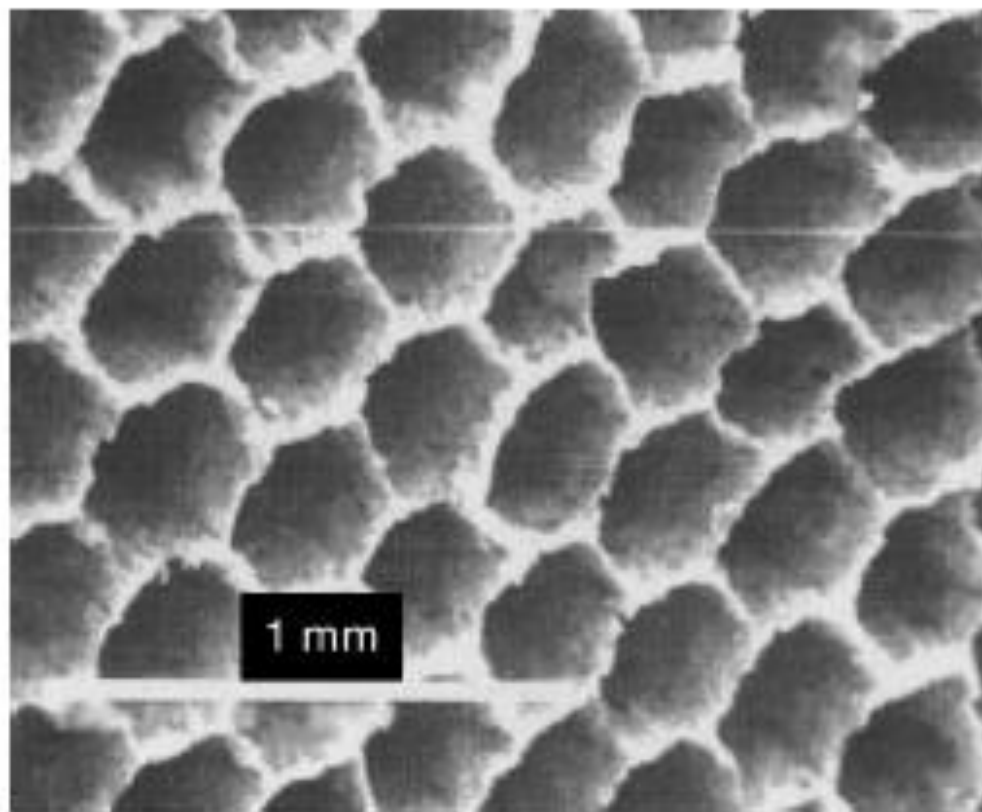
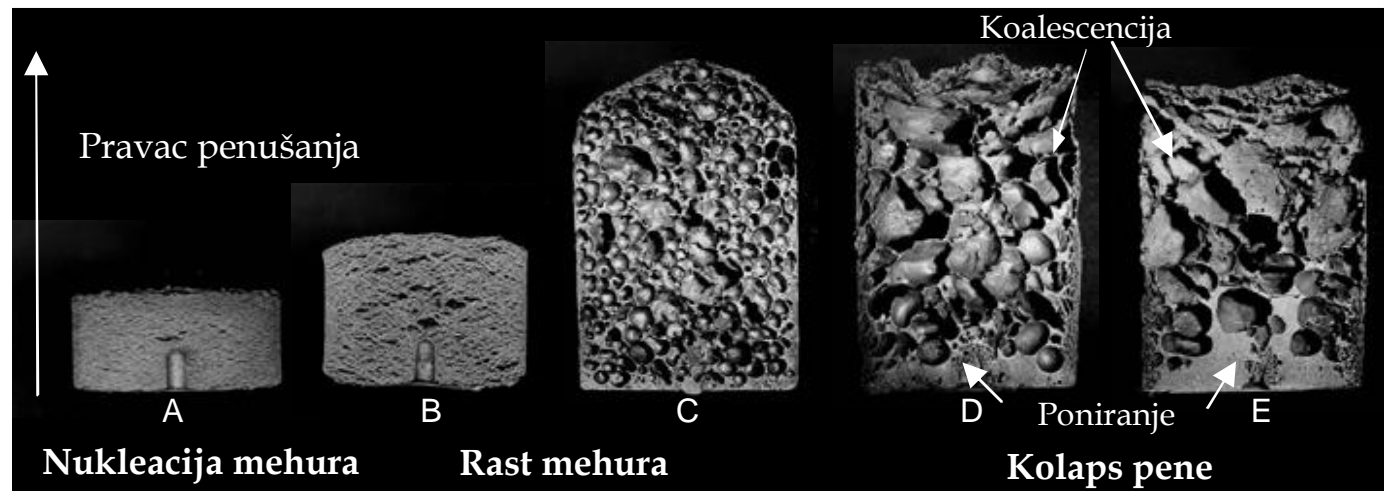
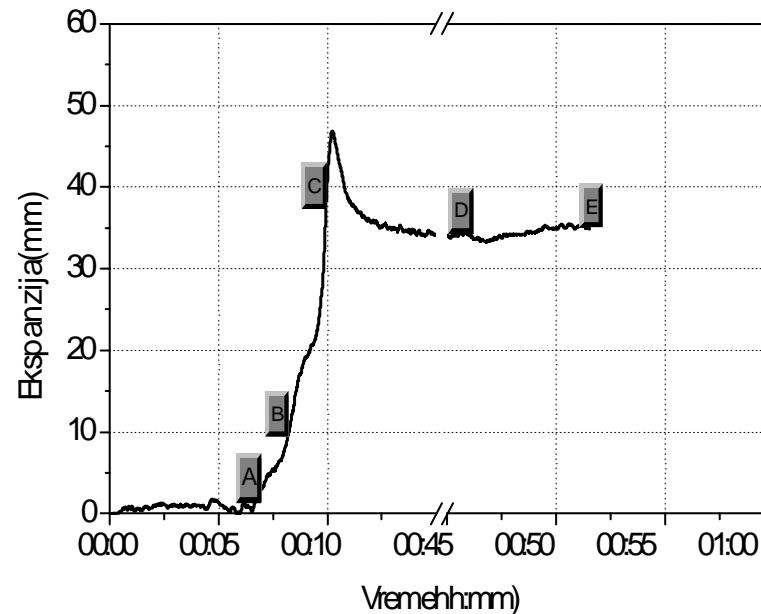


Fig. 33. Porous iron sample with oriented cells of hexagonal cross-section (86% porosity) [230].

# Osnovi livačkih grešaka kod penastog liva

- poniranje pene
- koalescencija mehura





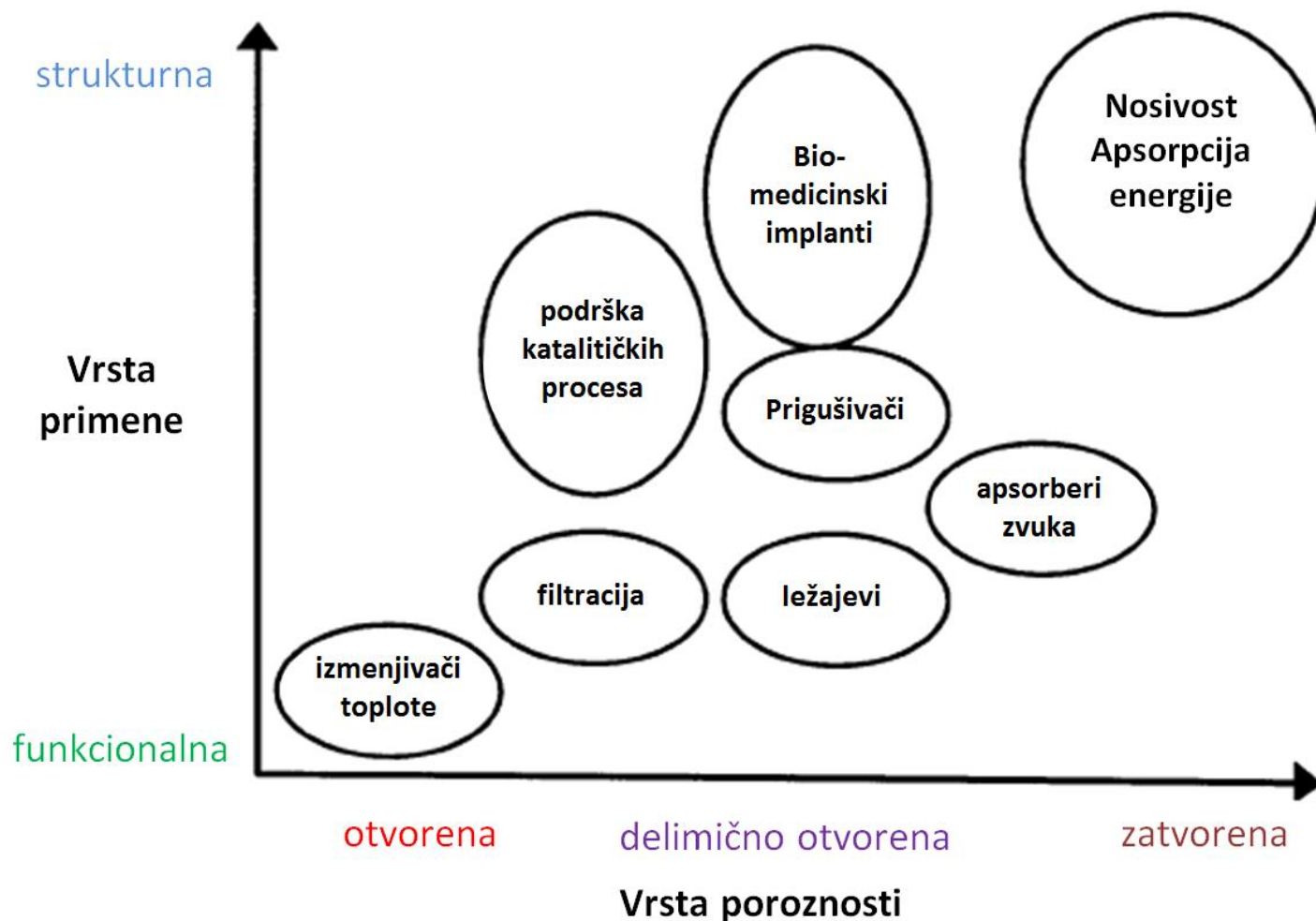
# Primena metalnih pena



- **Vrsta-morfologija penaste strukture:** otvorene ili zatvorene pore, poluzatvorene, gustina penastog odlivka
- **Vrsta materijala**
- **Tehnologija** – mogućnosti ostavriavanja oblika odlivka
- **Ekonomija** – cena koštanja i mogućnost uvođenja u masovnu i serijsku proizvodnju
- poniranje pene i koalescencija mehura



# Primena odlivaka od metalne pene





# COMBAL odlivci u autoindustriji

Reduction of  
fuel consumption



Noise reduction  
by sound  
absorption

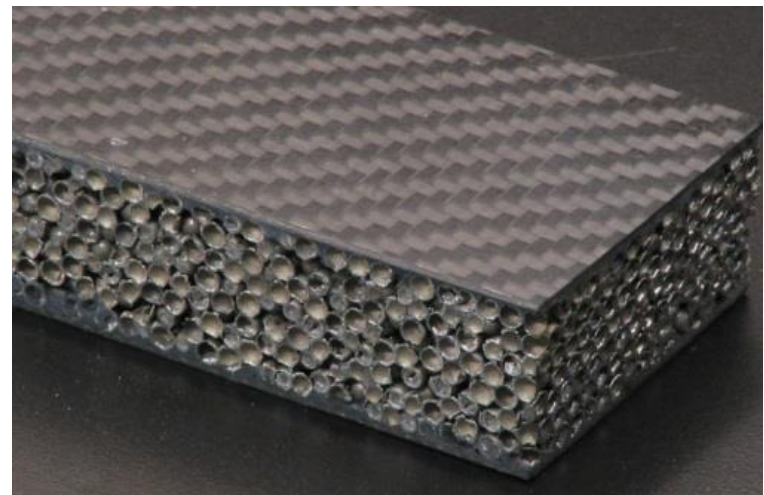
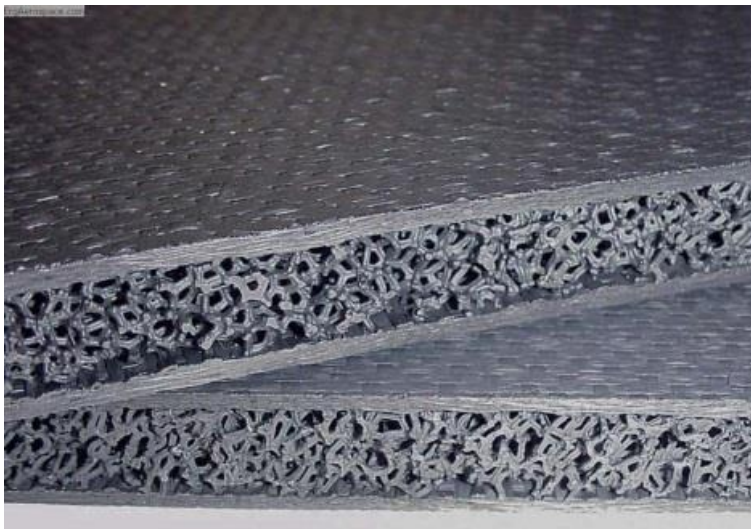
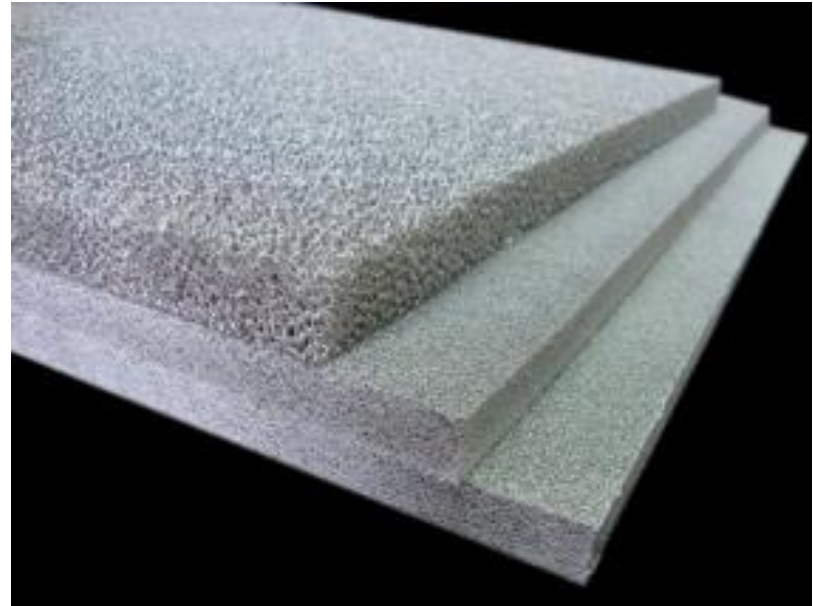
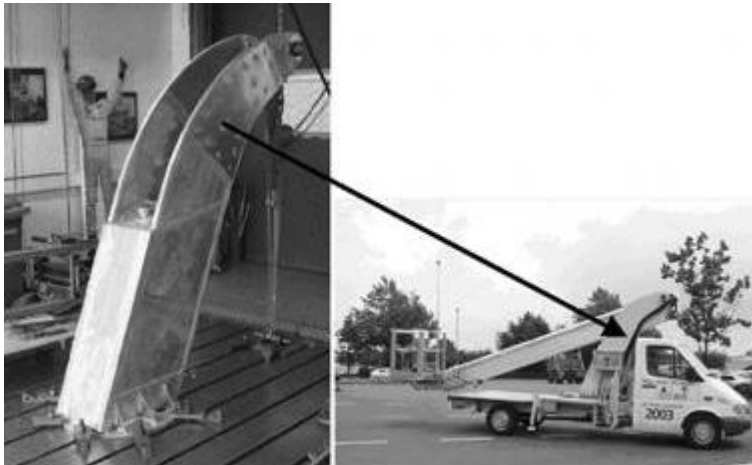
Reduction of  
vibrations

Reduction of production  
costs

- raw material savings
  - shortening of processing routes
- Total recycling

Effective absorption  
of collision forces  
by integration of  
metal foams into  
the passenger  
compartment

# Lake i krute konstrukcije

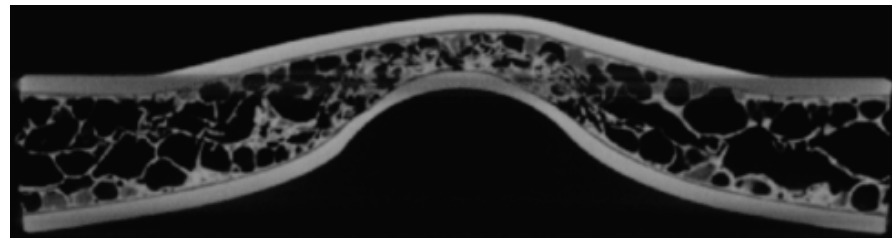




# Apsorpcija energije



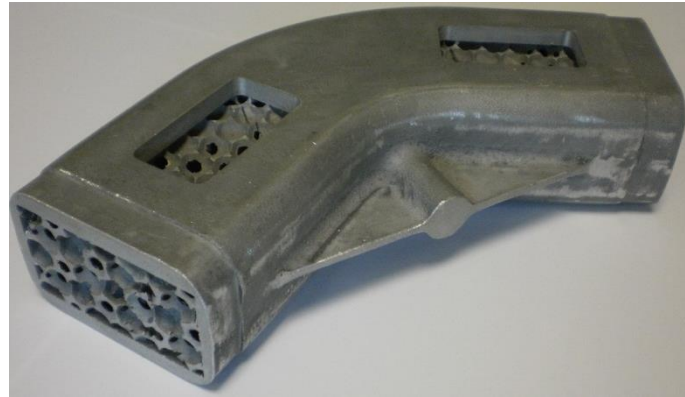
- Prigušivači udara (bamperi)
- Veoma malo povratno dejstvo na element kojim je izvršen udar





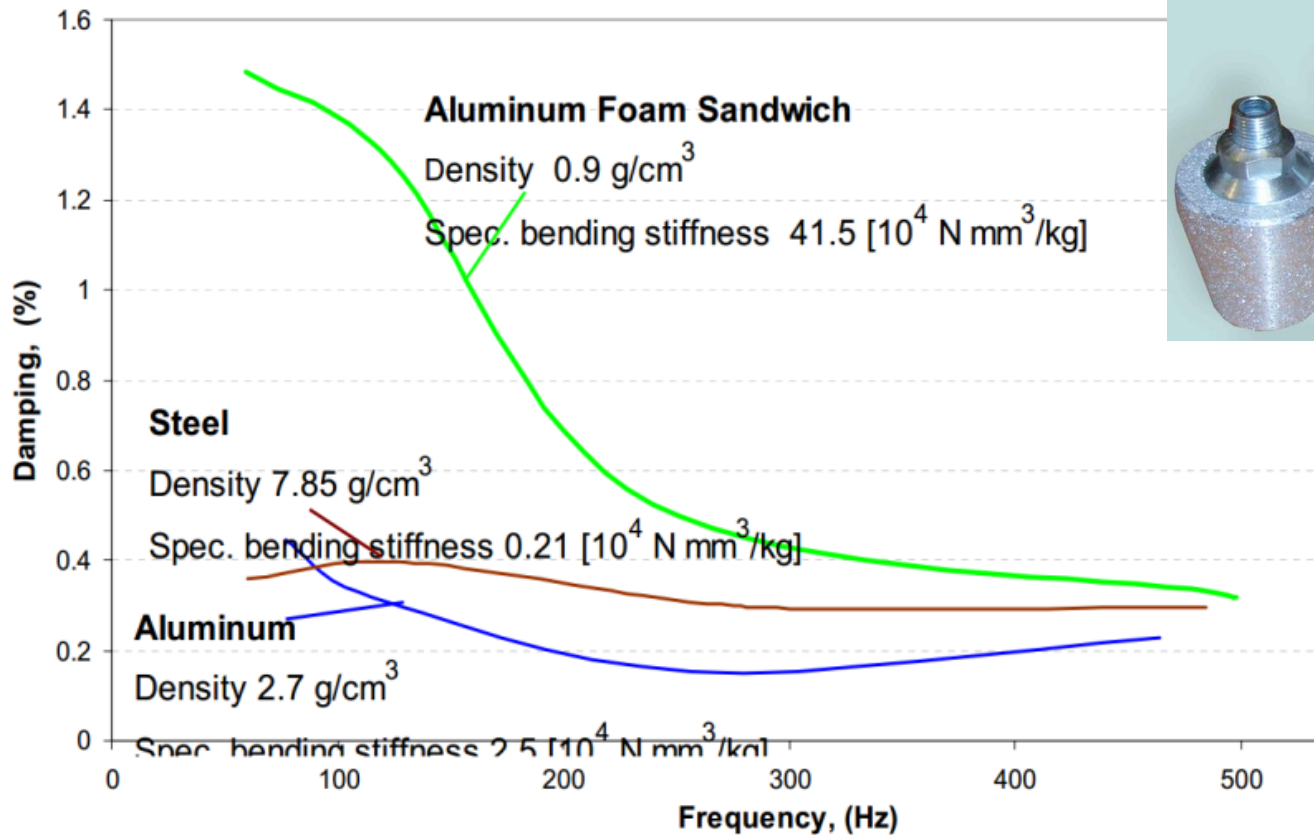
# Apsorpcija energije

- Branici, pragovi, stubovi u automobilu



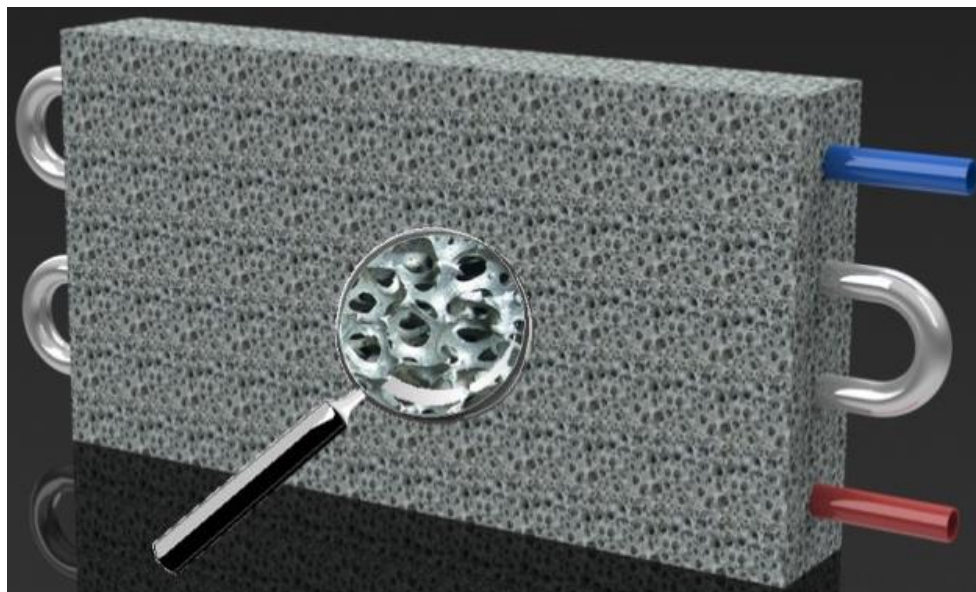
# Prigušivanje mehaničkih i akustičnih vibracija

- Nizak modul elastičnosti
- Rezonantna frekv. Pomerena ka nižim frekvencijama



# Sposobnost razmene toplote

- Izmenjivači toplote



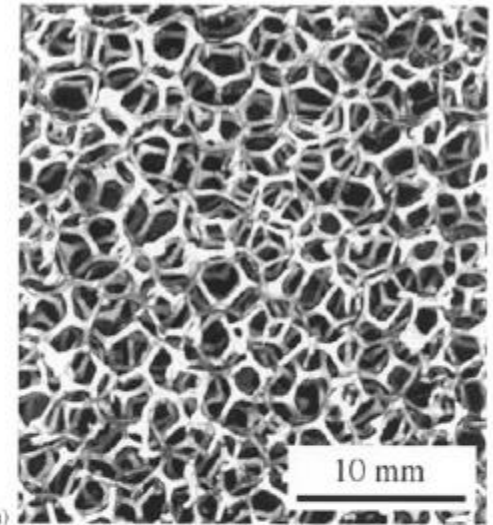
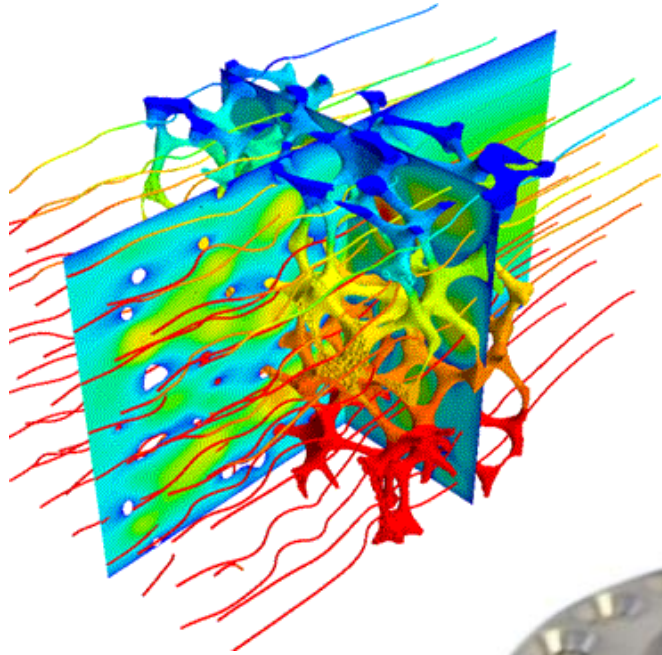


# Sposobnost razmene toplote

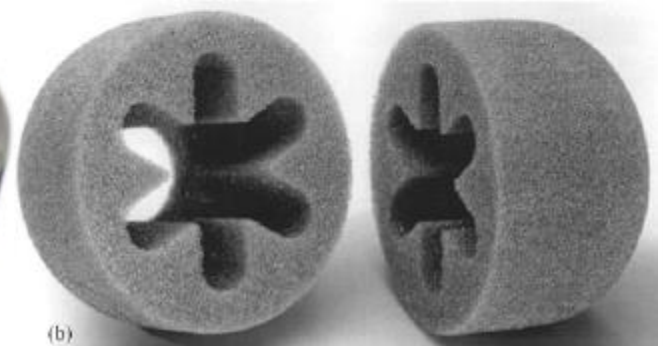
- Izmenjivači toplote



# Upravljanje tečenjem fluida – filtracija



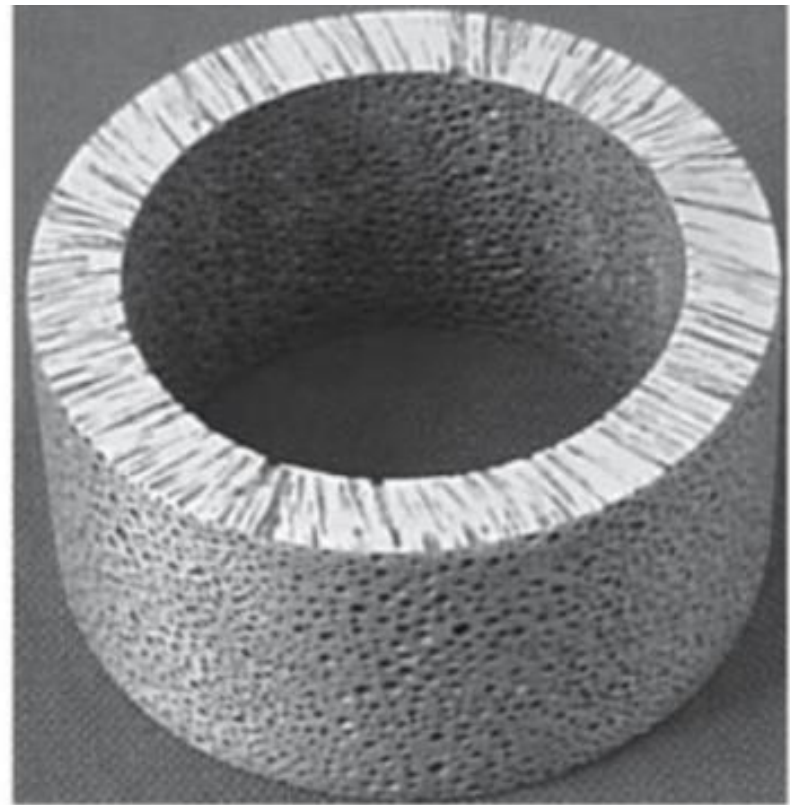
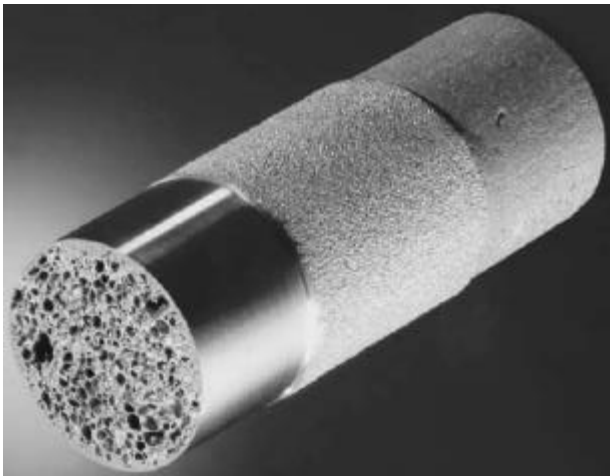
(a)



(b)



# Primena metalnih pena



# Primena metalnih pena

- **Zaustavljanje plamena**
  - brzinama i do 550m/s
- **Katalitičke osobine**



# Medicina i stomatologija

