

Processi di fusione e colata, parte III

Stampi permanenti
Trattamenti termici

Colata in stampi permanenti: generalità

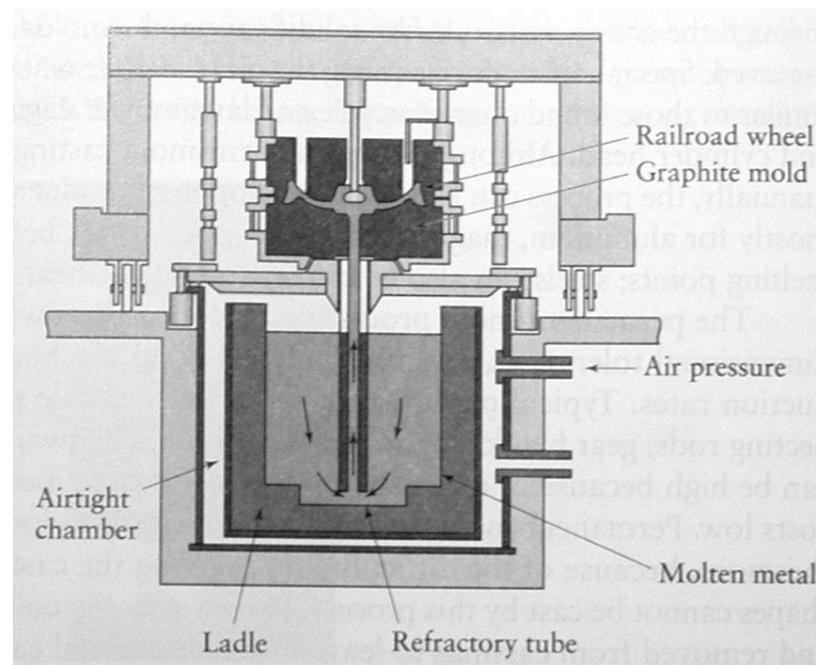
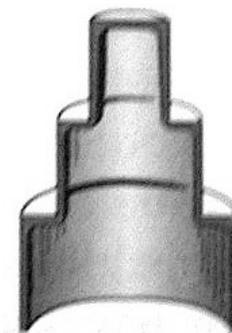
- Gli stampi permanenti sono progettati in modo che il pezzo venga estratto facilmente e lo stampo riusato.
- Sono fatti in leghe per alte temperature e permettono velocità di raffreddamento più elevate.
- Abbiamo in genere uno stampo in due pezzi di acciaio, bronzo, lega metallica refrattaria o grafite (semipermanenti). L'immissione e le cavità vengono ottenute per lavorazione all'utensile.
- Cores vengono fatti in sabbia o metallo compattati come ghise grigie e permettono di ottenere anche cavità e percorsi complessi.
- Per aumentare la durata degli stampi si possono rivestire in grafite o con ceramici refrattari (tramite slurry). Il rivestimento ripetuto ogni certo quantitativo di pezzi.

Colata in stampi permanenti: generalità

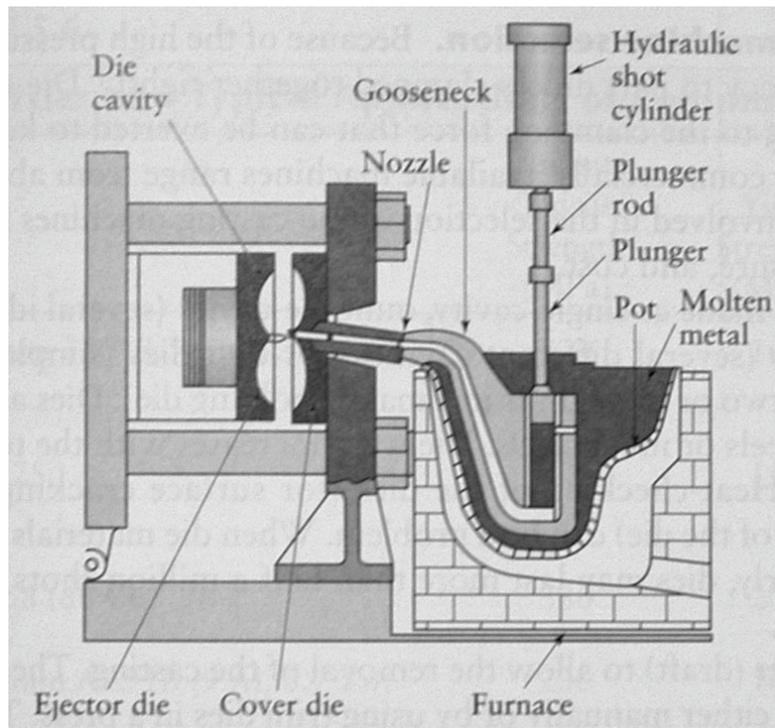
- Possiamo avere dei pins nello stampo per l'espulsione del pezzo (si notano per piccole impronte circolari sul pezzo).
- I pezzi dello stampo vengono afferrati e chiusi con i cores all'interno prima della colata e riscaldati per danneggiare meno lo stampo.
- Per raffreddare meglio lo stampo si può avere un sistema di alette di raffreddamento esternamente.
- Con stampi permanenti si usano in genere processi automatizzati e sono convenienti solo per grosse produzioni visto il costo dello stampo.
- Si ottengono pezzi con alta finitura, tolleranze strette e buone proprietà meccaniche. Si producono pezzi meccanici per automobile e strumenti da cucina. Non si realizzano forme troppo complicate a causa della rimozione dallo stampo.

Tipi di colata in stampi permanenti

- Slush casting:
lo stampo aperto viene rovesciato e il metallo non solidificato fuoriesce lasciando un pezzo di spessore controllato dal tempo di raffreddamento.
- Colata in pressione:
il metallo viene spinto nello stampo dalla differenza di pressione tra il fuso e la cavità dello stampo. Si usa pressione di gas sul fuso o vuoto nello stampo.

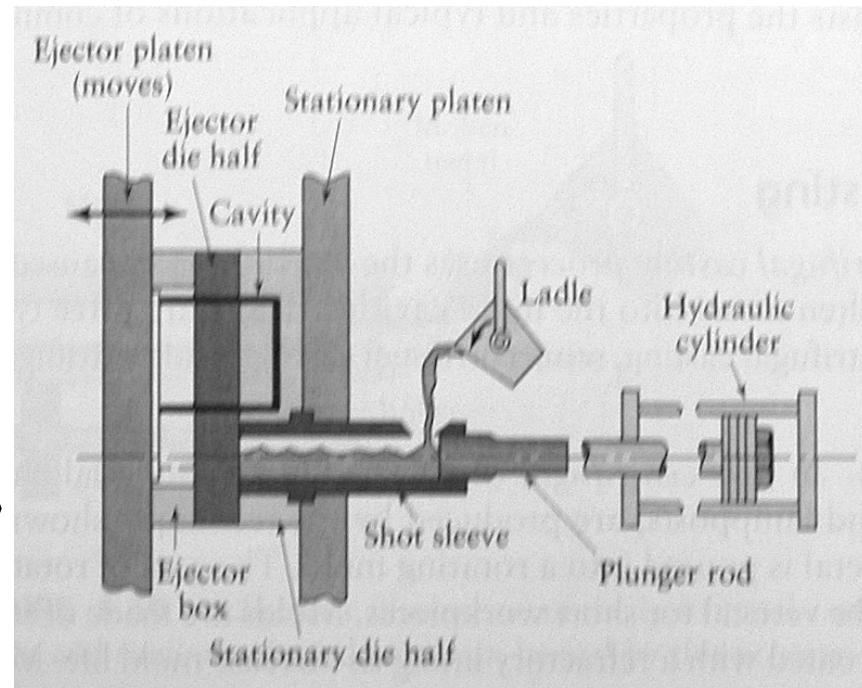


Die casting (in pressione tramite pistone)



Processo a camera calda:
il metallo in un crogiolo caldo viene spinto dal pistone in pressione fino a 35 MPa nello stampo. Per metalli basso fondenti tipo zinco etc.; produzioni da 900 fino a 18000 pezzi per ora a seconda della dimensione.

Processo a camera fredda:
in questa variante il metallo fuso viene versato nella camera del cilindro (fredda). Il Pistone spinge in pressione fino a 150 MPa. Si usa per leghe Al, Mg e Cu.

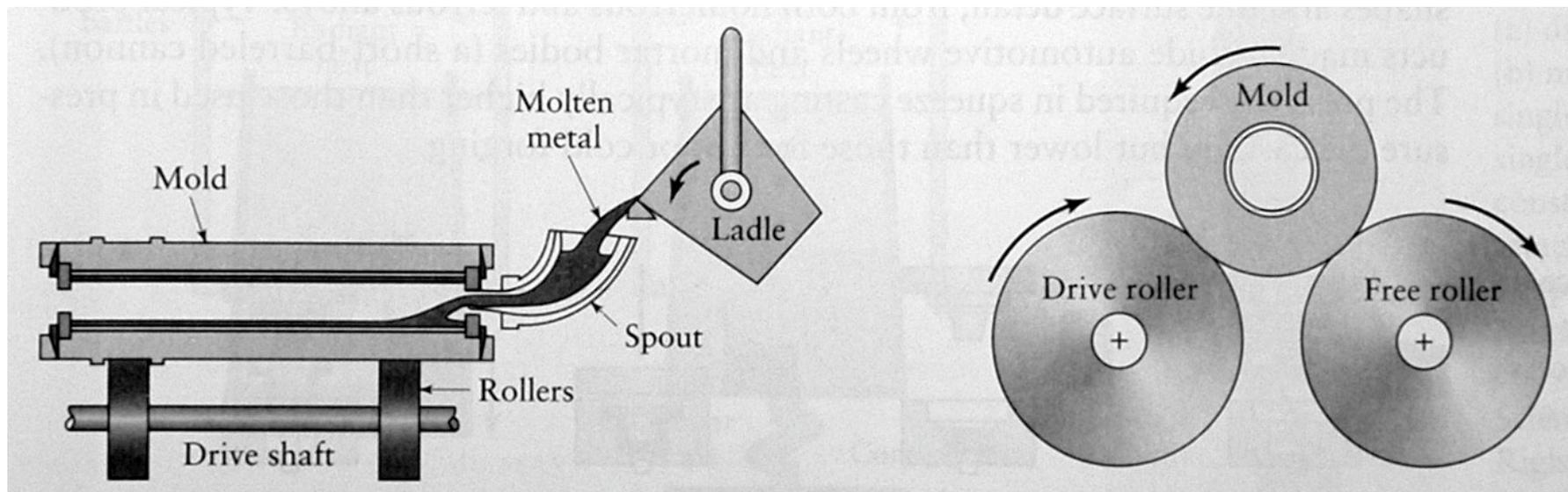


Die casting

- Gli stampi sono molto costosi in quanto devono avere ottima resistenza ad alta temperatura (si usano pressioni elevate) e alla usura. Si osservano cricche superficiali dovute al ciclaggio termico. Se realizzati con i giusti materiali si può arrivare sino a produrre un milione di pezzi senza usura significativa.
- Si utilizzano lubrificanti per ridurre l'usura delle parti in movimento e sulle superfici dello stampo (eccetto per Mg) per aiutare l'espulsione del pezzo e il raffreddamento.
- Permette produzioni elevate con buona resistenza meccanica e ottima finitura superficiale che richiedono ridottissima finitura all'utensile. Per lo più per rimuovere bave sulla congiunzione dello stampo e impronte dei meccanismi di espulsione.

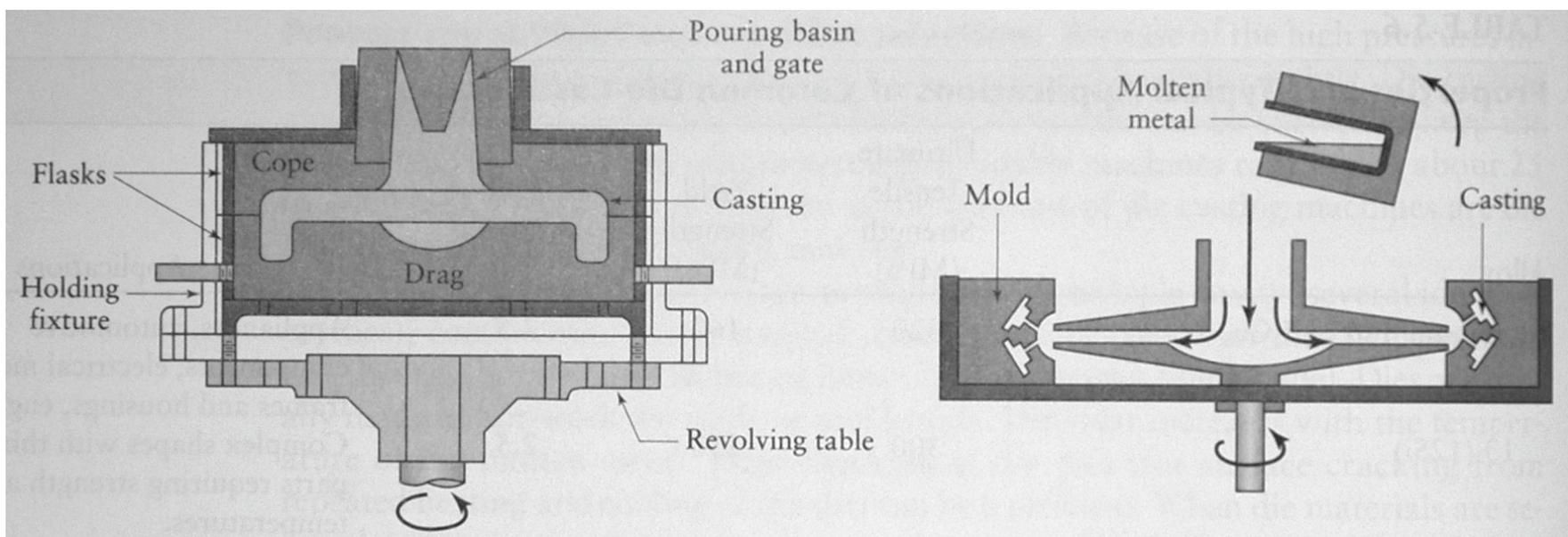
Colata centrifuga (vera)

- Si realizzano tubi, cilindri cavi, canne di fucile.....
- Le superfici interne hanno un'elevata finitura e perfettamente cilindriche. Tendenza a segregare gli elementi leggeri sulla superficie interna.
- Si producono pezzi da 13mm a 3 m in diametro, fino a 16 m in lunghezza. Spessori da 6 a 125 mm.



Colata semicentrifuga e centrifugazione

- Si usa per pezzi a simmetria rotazionale.

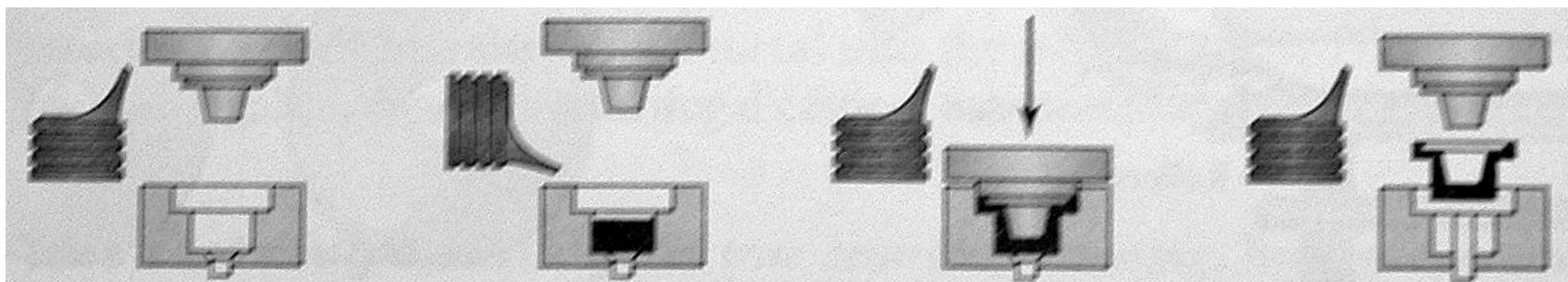


Colata semicentrifuga di una ruota

Schema della colata per centrifugazione

Squeeze casting

- Il metallo fuso nello stampo viene deformato in pressione a caldo in un processo che combina la colata e la forgiatura. Pressioni inferiori alla forgiatura e superiori al die casting.
- Si ottengono pezzi near-net shape, con ottime proprietà meccaniche e bassa microporosità.
- Tipici prodotti sono cerchi d'auto e mortai.



Fusione del metallo

Colata nello
stampo

Chiusura controstampo
in pressione

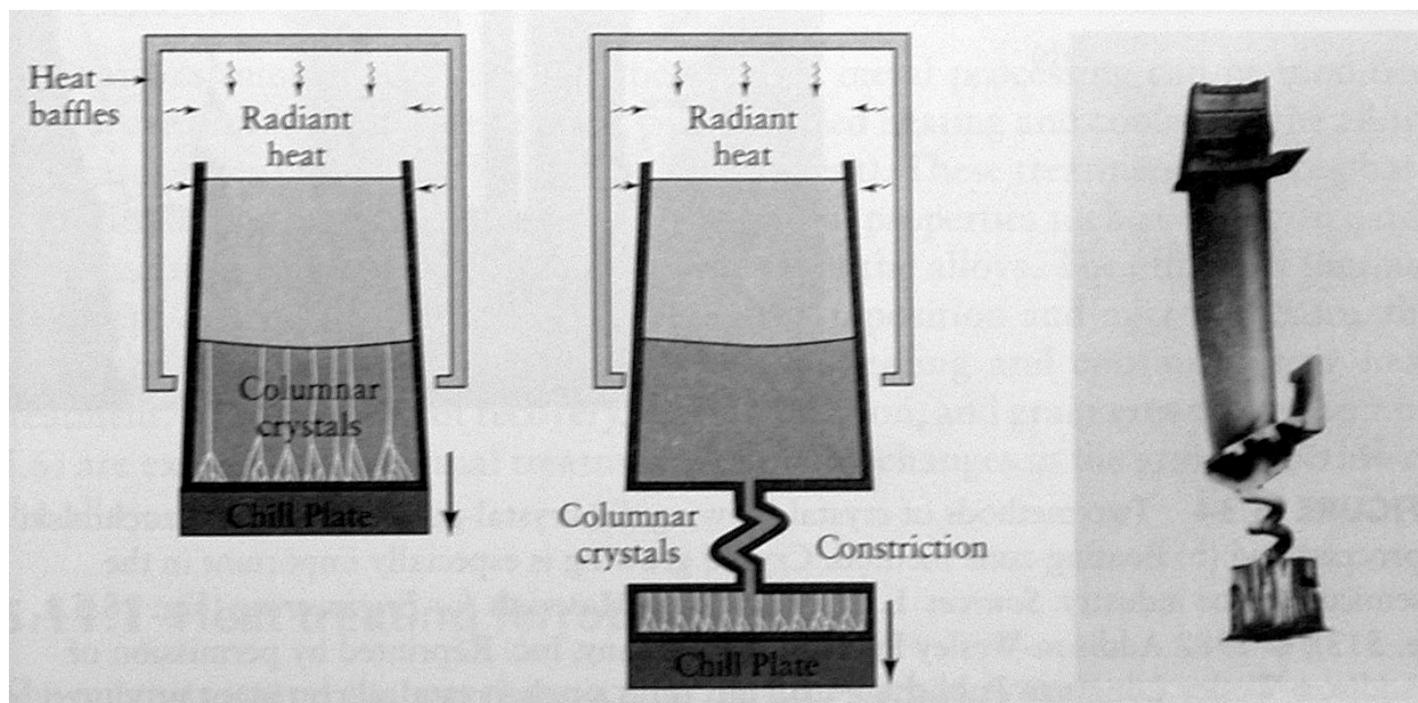
Estrazione pezzo

Formatura tixotropica (semisolid metal forming)

- Il metallo mentre solidifica mostra un comportamento tixotropico, ossia la viscosità cala all'aumentare della velocità di deformazione.
- Il fuso in solidificazione viene agitato prima di essere immesso nello stampo ad alta velocità; in questo modo aumenta la fluidità e si facilita il riempimento dello stampo.
- Un'altra variante è la colata reologica che però non ha ancora trovato un uso commerciale.

Colata in cristalli singoli

- Si usa per palette di turbine a gas o nell'industria dei semiconduttori (silicon foundries)



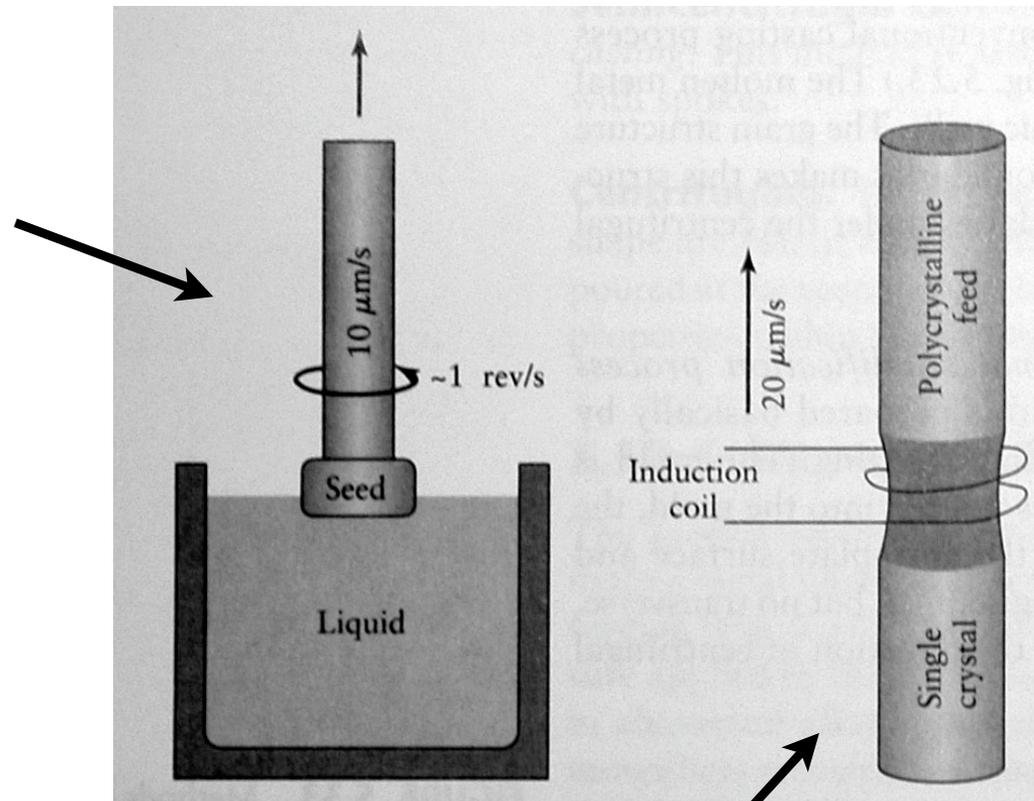
Solidificazione direzionale
tramite gradiente di
temperatura

Con un condotto a spirale
si seleziona un solo grano
che cresce con
l'orientazione corretta

La palette estratta dallo
stampo. Si usano stampi a
cera persa in genere.

Metodo di Czochralski (silicio) e floating zone

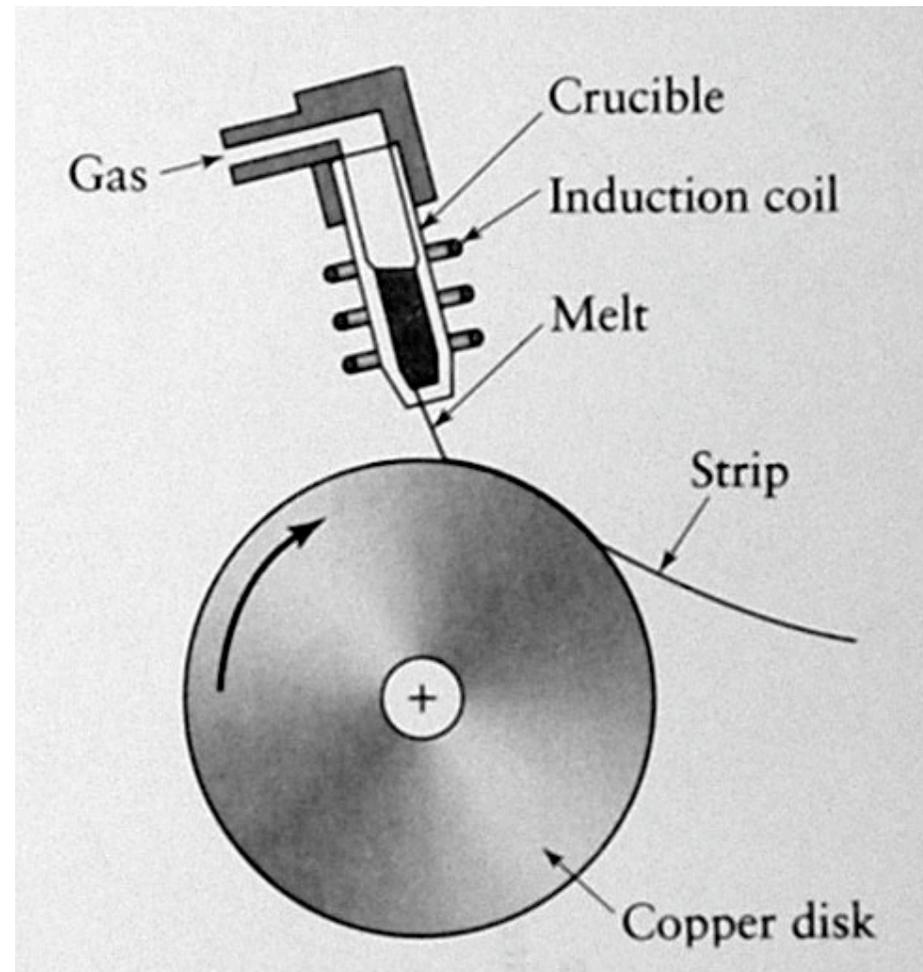
Czochralski:
si parte da un seme dove
nuclea e cresce il
cristallo che viene
estratto lentamente in
rotazione



Floating zone: una barra policristallina viene trasformata in
singolo cristallo con il lento movimento di una zona fusa

Solidificazione rapida

- Si producono nastri, fili o polvere di metallo amorfo o vetri metallici
- Nel processo si usano velocità di solidificazione altissime, con cilindri raffreddati o getti di gas sul fuso in colata.
- I metalli amorfi hanno delle ottime resistenze a corrosione, meccaniche e alta duttilità.

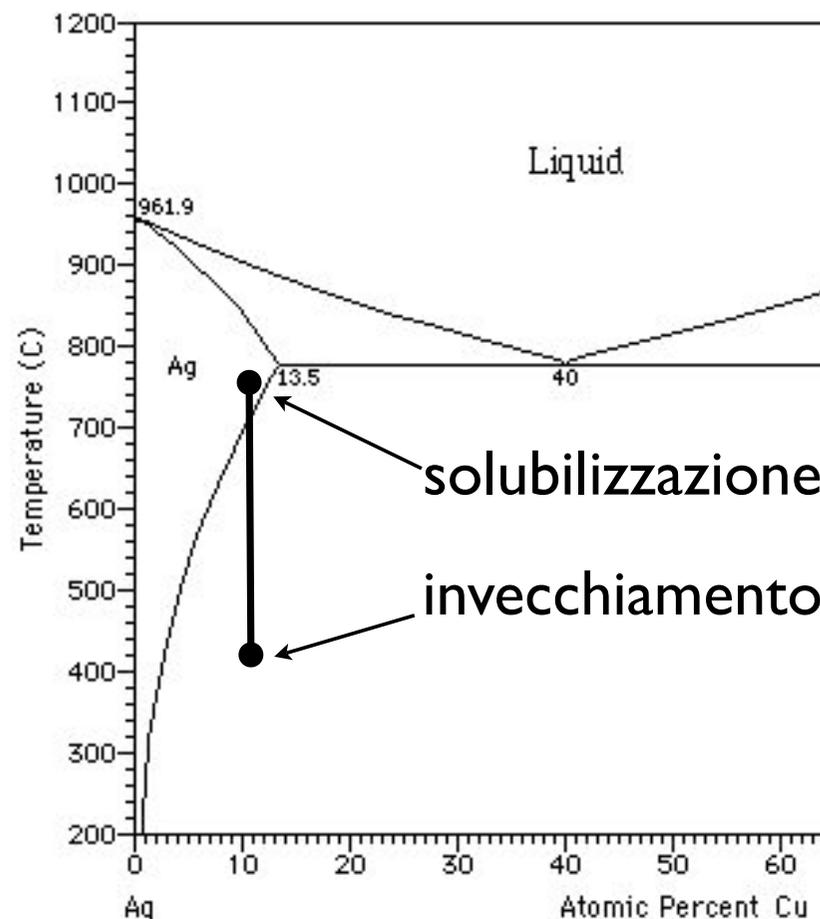


Trattamenti termici (leghe ferrose)

- Si effettuano sui pezzi dopo la solidificazione per migliorarne le proprietà.
- Si possono avere (trattamenti puramente termici):
 - trattamenti di distensione
 - trattamenti di rinvenimento
 - tempra (martensitica o austenitica)
 - ricristallizzazione (+ raffreddamenti controllati per ottenere perlite o bainite...., vedere diagrammi TTT)
 - trattamenti criogenici
 - normalizzazioni
- Oppure trattamenti di indurimento superficiale:
 - carburizzazione, carbonitrurazione, nitrurazione, borurazione
 - indurimento alla fiamma
 - indurimento a induzione

Trattamenti termici (leghe non ferrose)

- Il trattamento più tipico (es. leghe Al) è l'indurimento per precipitazione:
 - trattamento di solubilizzazione: si effettua ad alta T in campo monofasico per favorire la solubilizzazione dell'elemento in lega
 - trattamento di precipitazione, invecchiamento o aging: si scende in temperatura dove la soluzione solida è sovrasatura e si resta per il tempo necessario alla precipitazione di nuovi grani ricchi dell'elemento in lega



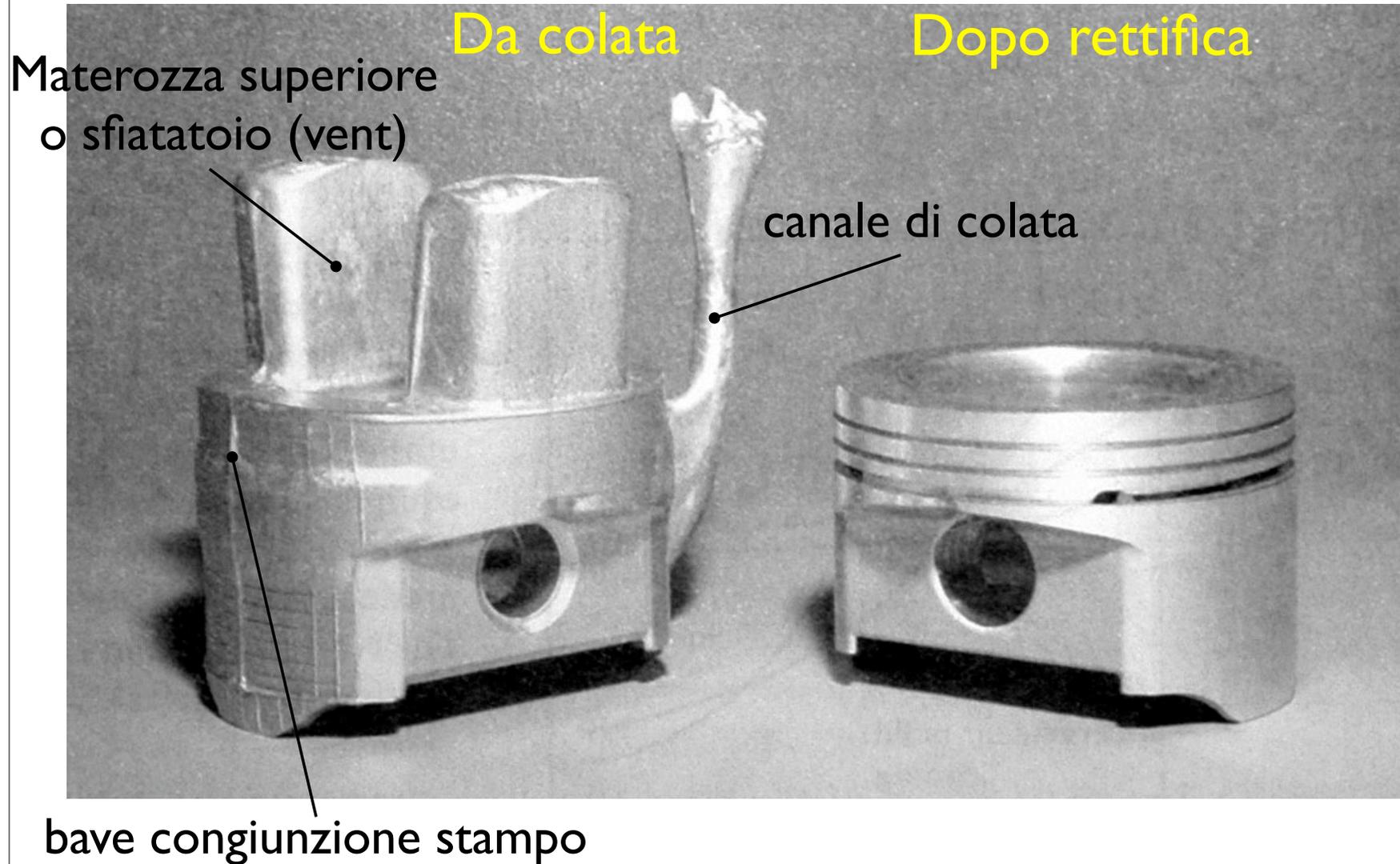
Progettazione per i trattamenti termici

- La forma del pezzo e in particolare gli spessori uniformi sono molto importanti per poter realizzare dei trattamenti termici uniformi.
- Ad esempio vanno evitati oltre agli spessori non uniformi anche angoli e spigoli sia interni che esterni (in quanto subiranno raffreddamenti e diffusioni differenti). Potrebbero sviluppare sforzi residui fino alla formazione di cricche.
- Pezzi asimmetrici sono difficili da trattare termicamente poichè si espandono o contraggono in maniera asimmetrica generando cricche
- Larghe superfici con spessori sottili tendono ad imbarcarsi

Pulitura e trattamenti di finitura dopo colata

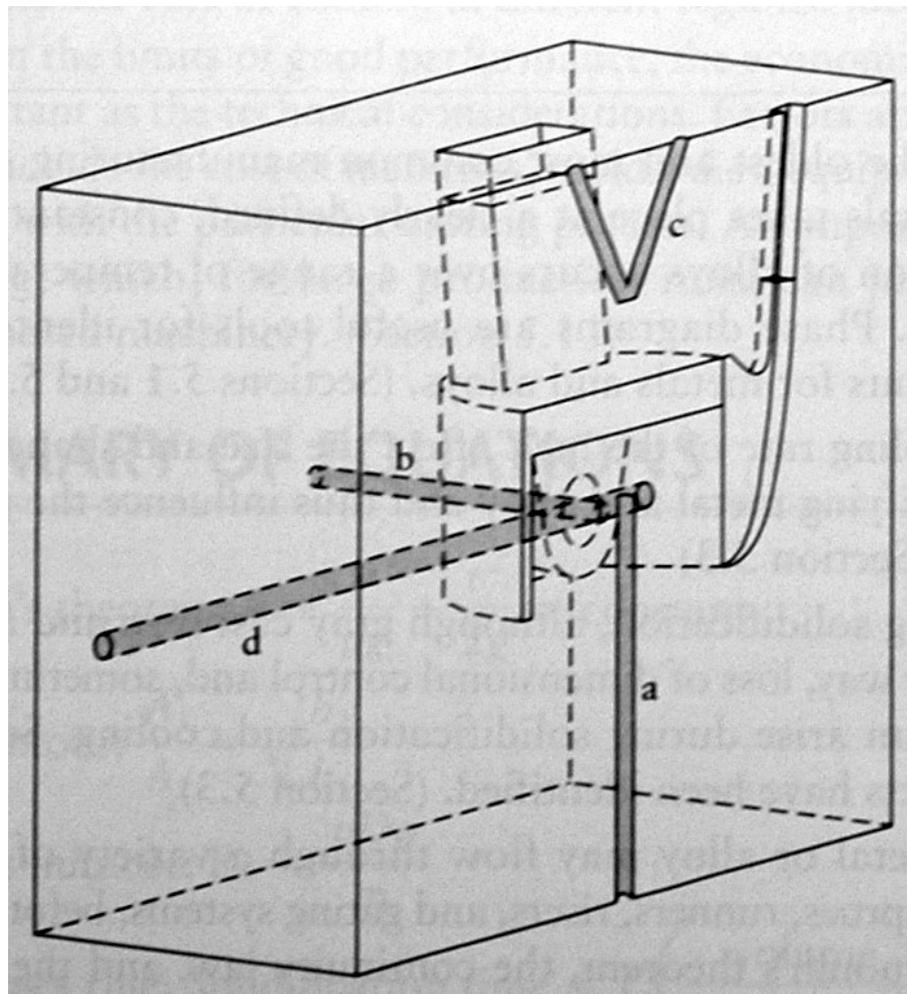
- Nella colata in sabbia, i resti dello stampo vengono tolti per vibratura o sabbiatura (ossidi compresi).
- I gates, canali di ingresso, sfiatatoi e materozze vengono rimossi per taglio
- Si usano acidi, basi o processi elettrochimici per rimuovere residui d'ossido
- Eventuali grosse discontinuità del materiale in pezzi importanti possono essere riparate per saldatura e apporto di materiale
- Superfici molto granulose come da colata in sabbia devono essere rettificate
- Infine si può procedere a forgiatura e lavorazione all'utensile per arrivare alle dimensioni di progetto

Esempio: pistone in lega Al 413.0 (Si)



Posizionamento dei canali di raffreddamento

- Stampo permanente in acciaio per utensili rapidi (alta temperatura) H13
- Lo stampo viene preriscaldato al primo uso tra 200-450°C
- Il fuso surriscaldato 100-200°C sopra la T di fusione
- Simulazione del problema termomeccanico tramite FEA

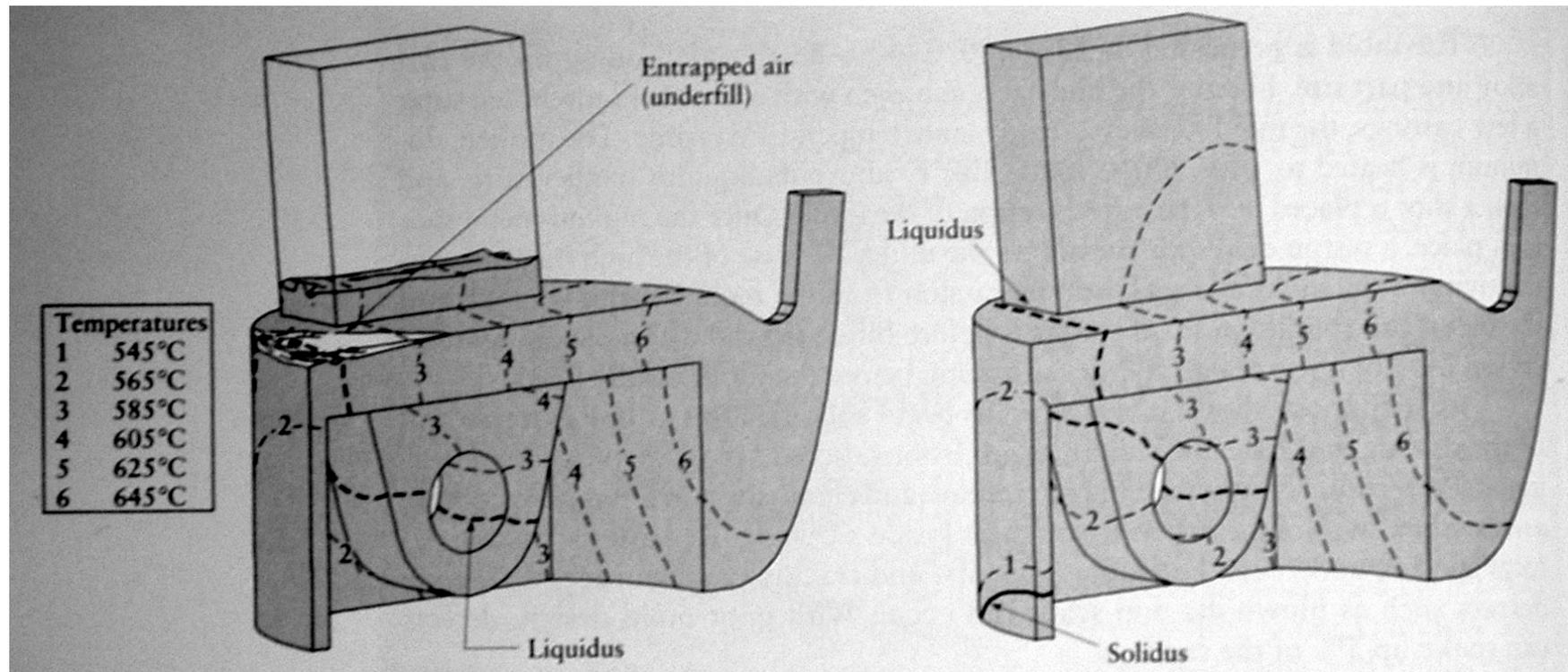


Simulazione riempimento stampo e solidificazione

- La materozza superiore deve essere sufficiente a garantire l'assenza di aria intrappolata nella cavità dello stampo

Materozza superiore ridotta

Materozza superiore riempita



Dopo 3.7 sec

Dopo 5 sec