

Formatura in guscio

Shell Molding o processo Crowing

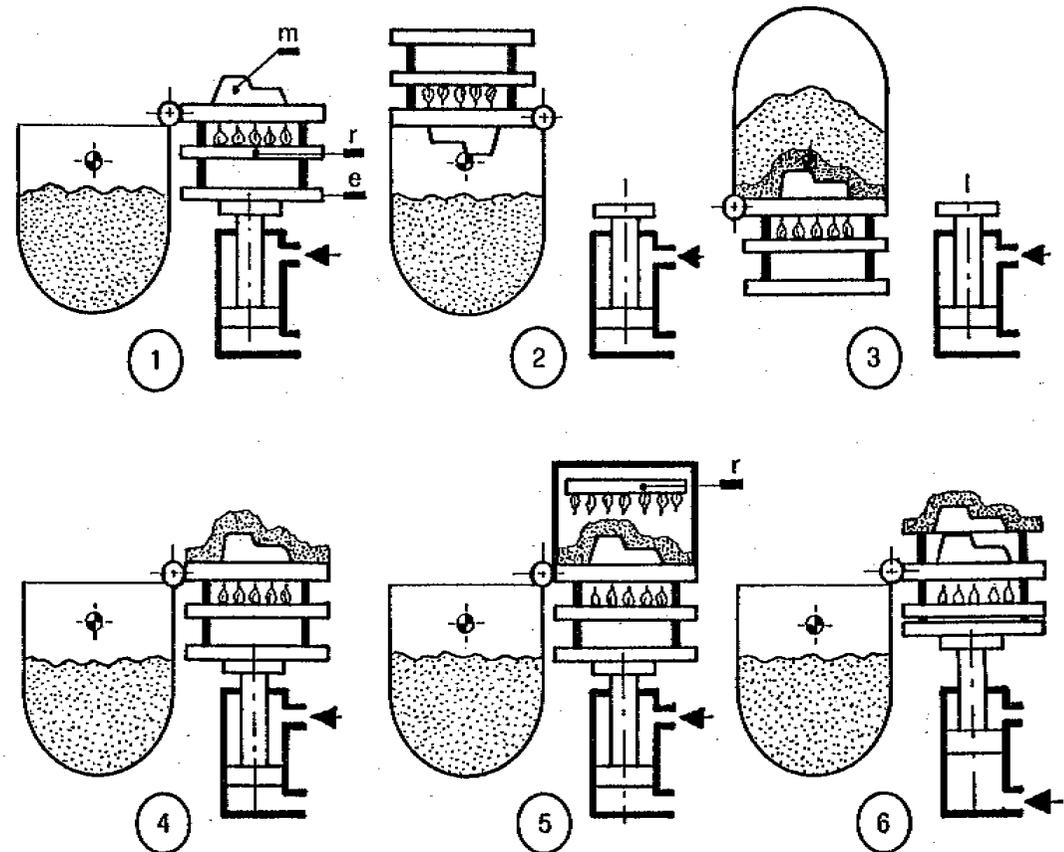
- sabbia di quarzo a grani tondi prerivestita
- resina termoindurente (es fenolica)

Vantaggi

- buone tolleranze
- buona finitura
- spessori sottili (min 2.5 - 1.5 mm)
(Il guscio presenta > isolamento termico rispetto alla forma in terra)
- impiegato anche per la fabbricazione delle anime
- applicazioni in medie e grandi serie

Limitazioni

- getti di limitate dimensioni (< 20 kg)

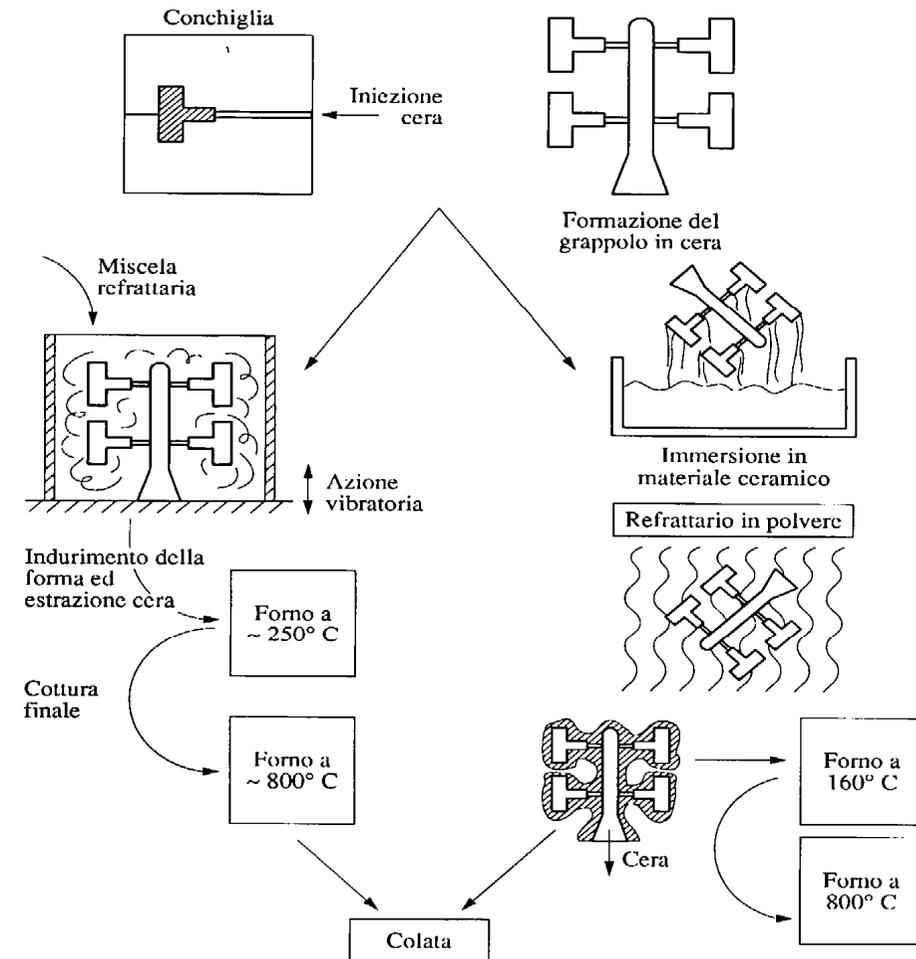


Formatura in cera persa o microfusione

Modello transitorio
Forma transitoria

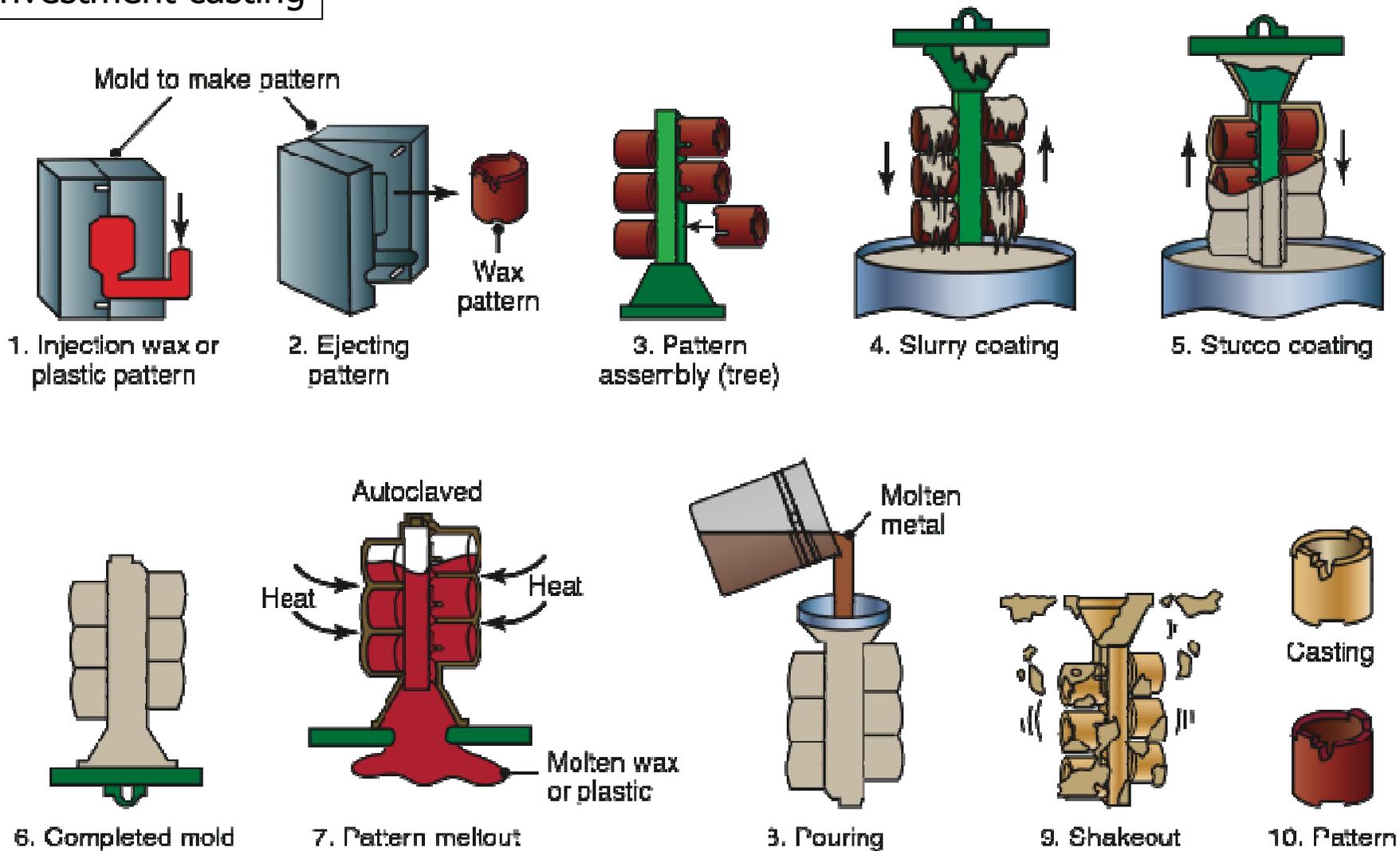
Precisione dimensionale molto buona
Finitura superficiale molto buona
Spessori minimi 1.5 mm
Pezzi piccoli
Produzione di piccola media serie

I modelli possono essere comunque complessi, non essendoci problemi di estrazione. Ovviamente la conchiglia per fare i modelli diventa molto costosa.

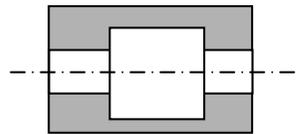




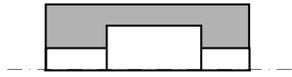
Investment casting



Polycast

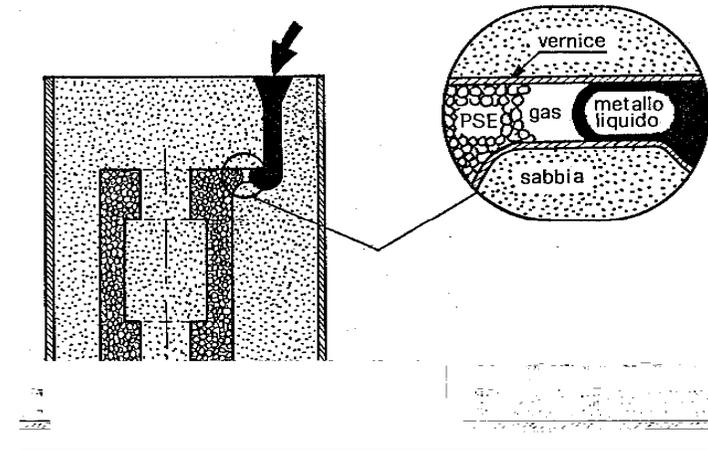
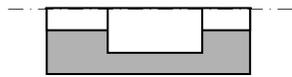


Pezzo



Preparazione modello

- stampaggio ad iniezione
- incollaggio delle diverse parti
- verniciatura con polvere di quarzo/allumina



Colata in forma ottenuta con polistirene espanso

Vantaggi:

- forma in un'unica staffa
- assenza di bave
- parti in sottosquadro
- assenza di anime
- assenza di sforni
- riciclo totale della sabbia

Svantaggi:

- possibile porosità
- finitura superficiale modesta



Altri sistemi di formatura

Formatura in fossa

Getti di grandi dimensioni, formatura manuale, impiego di sagome nel caso di pezzi assialsimmetrici.

Formatura in sabbia cemento

Adatta per getti di grosse dimensioni (gnrl di materiali ferrosi). L'indurimento avviene per formazione di prodotti di idratazione cristallini (es. $\text{Ca}(\text{OH})_2$).

Generalmente si impiega cemento Portland (7%-12%) + acqua (3%-10%). Si ottiene un impasto fluido che ricopia perfettamente il modello senza richiedere compressione. La sabbia può essere parzialmente recuperata (70-80%)

Vantaggi

- non necessita di compattazione (modello anche in polistirolo)
- resistenza meccanica elevata (getti da 1 tonn a 600 (Spurr), es. gabbie di laminatoi)
- ridotta produzione di polveri

Svantaggi

- difficoltà di distaffatura
- lungo tempo di presa ed indurimento del cemento (24-48 h)



Formatura alla CO₂

Si utilizza come legante il silicato sodico (vetro solubile). Realizzata la forma fa passare nel suo interno una corrente di CO₂ che dà luogo alla reazione:



La silice gelatinosa forma ponti di collegamento tra i grani di sabbia.

- adatto sia per **anime** che per forme
- impiegare additivi per facilitare la disgregazione delle forme/anime dopo la colata
- pezzi fino a 100 tonn
- elevata produttività
- parziale recupero (40% max (Giusti, 169))

Processo hot-box

Sabbia e resina termoindurente con catalizzatore.

La polimerizzazione avviene a 180 - 250 °C.

Costo dell'energia, sostanze nocive.

Processo cold-box

Sabbia e resina termoindurente. Si impiega un catalizzatore gassoso che promuove la polimerizzazione a temperatura ambiente.



- Processi a solidificazione direzionale (Metals Handbook):

- Processo **DS** (**D**irectional **S**olidification)
- Processo **SC** (**S**ingle **C**ystal)

Il metallo viene colato in una forma a guscio, di materiale ceramico, posta in un forno a temperatura superiore a quella di fusione del metallo. La solidificazione avviene facendo traslare lentamente il guscio verso un ambiente a temperatura più bassa. Si possono ottenere strutture cristalline a grani allungati (lungo la direzione del flusso del calore), compositi metallici eutettici e componenti costituiti da un singolo cristallo.

Es. palette di turbine a gas.

- Processi **CLA, CLV, CV** (Metals Handbook): impiegano una forma a guscio e un sistema di riempimento per aspirazione

- **C**ounter-gravity **L**ow-Pressure of **A**ir-meleted alloy
- **C**ounter-gravity **L**ow-Pressure of low-**V**acuum-meleted alloy
- **C**heck **V**alve casting

•Formatura magnetica (Mazzoleni 1, 146)

Modello di polistirene. Il materiale di formatura, polvere di ferro [eventualmente miscelata con magnetite (Fe_3O_4)] viene addensato mediante vibrazione e tenuto insieme dalle forze generate da un campo magnetico

- Formatura in vuoto (applicabile a tutte le leghe,
- precisione, recupero sabbia)

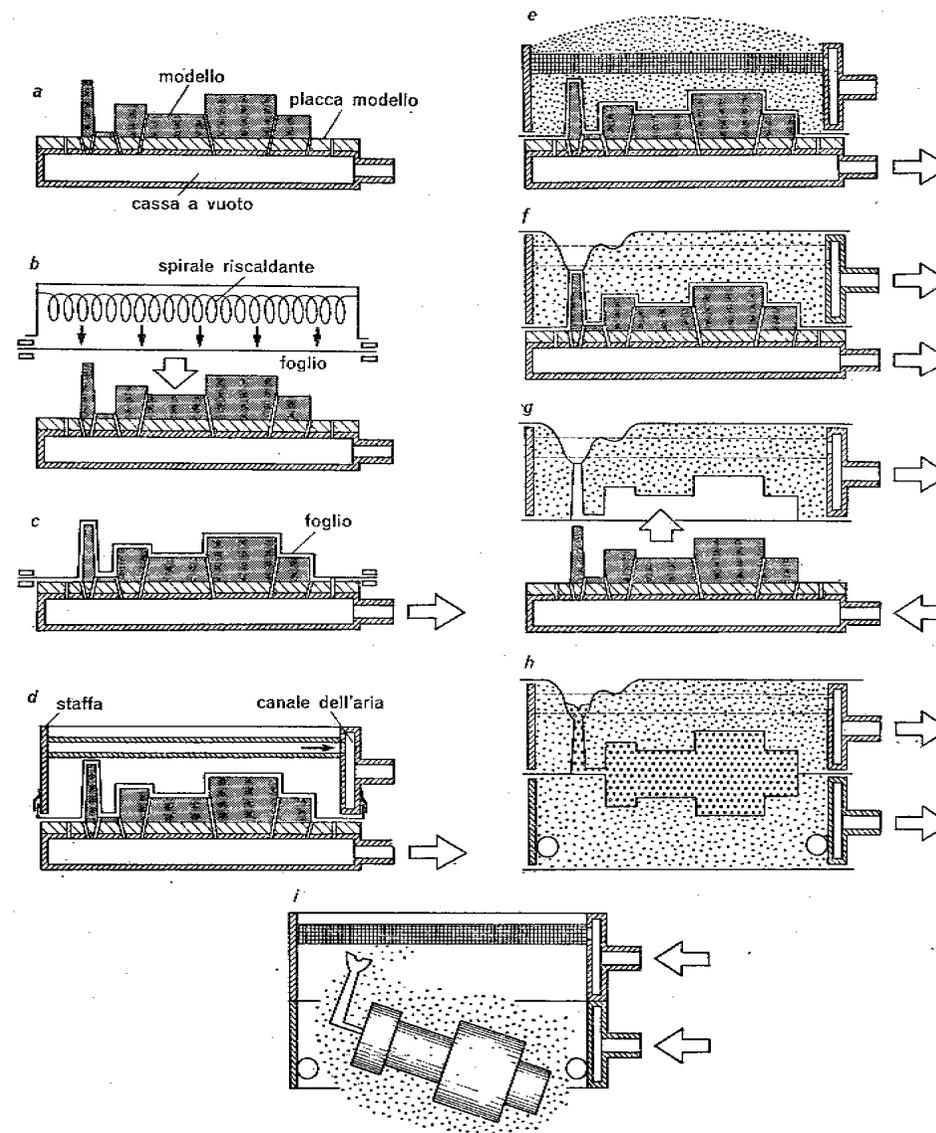


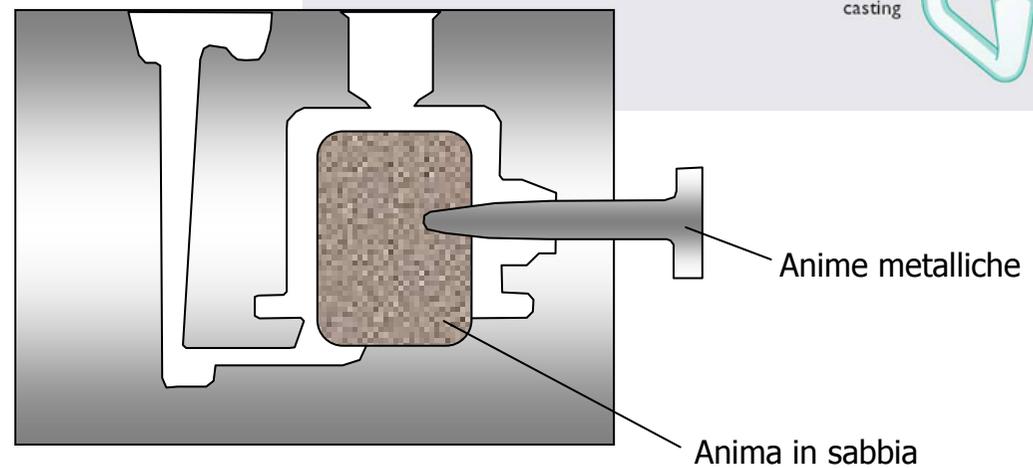
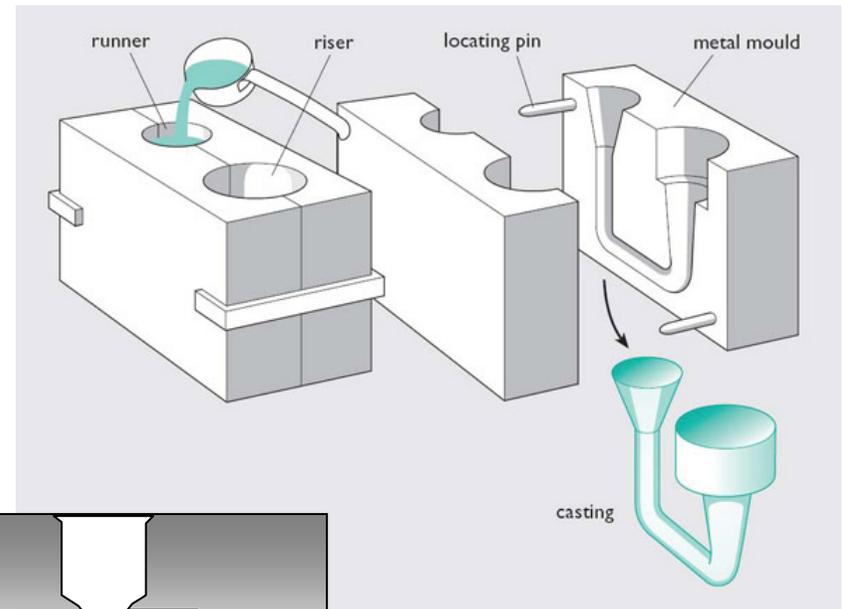
Fig. 78. — Formature in vuoto. La placca modello è applicata a una cassa in cui si pratica il vuoto (a). Su di essa si stende un foglio sottile termoplastico riscaldato preventivamente per alcuni secondi (b), che vi aderisce perfettamente sotto la pressione atmosferica (c). Si applica una staffa (d) che si riempie di sabbia essiccata, eventualmente con l'azione di vibrazioni (e), si prepara il bacino di colata, si ricopre con un foglio di plastica, che si fa aderire fortemente realizzando una depressione nella staffa di 0,5 atm (f). Facendo rientrare l'aria nella cassa di base si può sollevare la staffa formata (g), comporre la forma completa con un'altra preparata in modo simile ed effettuare la colata (h). Dopo sufficiente raffreddamento del getto se ne ottiene la immediata sformatura facendo rientrare l'aria (i).

Colata in conchiglia permanente

Conchiglie metalliche

leghe leggere
struttura fina dei grani
finitura superficiale e tolleranze buone

gas disciolti
fluidità del metallo liquido
estraibilità del getto
colata veloce per evitare premature
solidificazioni in parti sottili (4 mm)



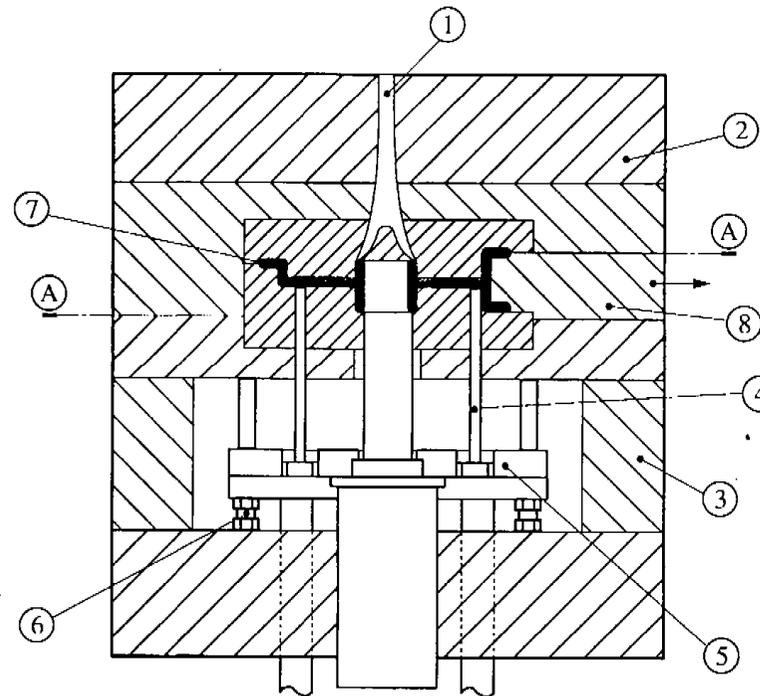


Colata sotto pressione

Costi di impianto
Costo delle conchiglie
acciaio al W / Cr
durate anche 100.000 pezzi

Anime metalliche
Grandi serie
Ottime finiture / tolleranze

Pezzi piccoli
Spessori 2.5 mm
Forme semplici

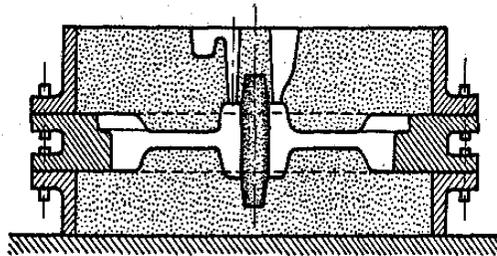


A-A superficie di separazione delle semi-conchiglie

- 1 - canale di iniezione della lega liquida
- 2 - semiconchiglia fissa
- 3 - semiconchiglia mobile
- 4 - estrattore
- 6 - fine corsa regolabile
- 5 - piastra porta estrattori
- 7 - getto
- 8 - tassello mobile per sottosquadro.

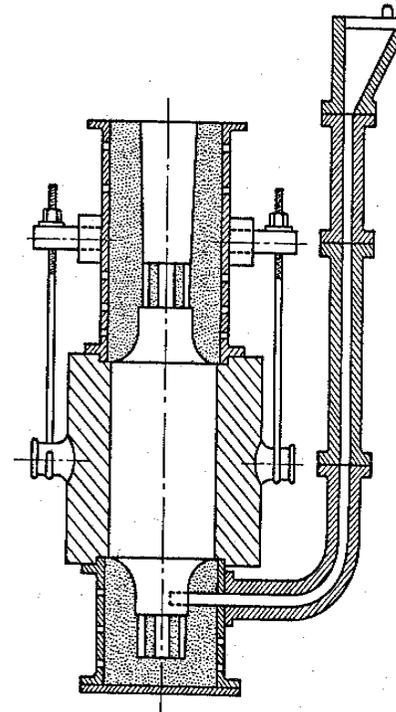


Anche in forme parzialmente metalliche



Conchiglia parziale: ruota per
veicolo ferroviario

Conchiglia parziale: cilindro
di laminatoio





1. Camera di pressione CALDA: INIETTOFUSIONE

Materiali (leghe)

Piombo / Stagno 250 - 300 °C

Zinco 500 - 600 °C

Magnesio 600 - 700 °C

Compressione

Gas in pressione 2 - 6 MPa

Pistone tuffante 4 - 15 MPa

2. Camera di pressione FREDDA: PRESSOFUSIONE

Materiali (leghe)

Alluminio 650 - 700 °C

Rame 1000 - 1100 °C

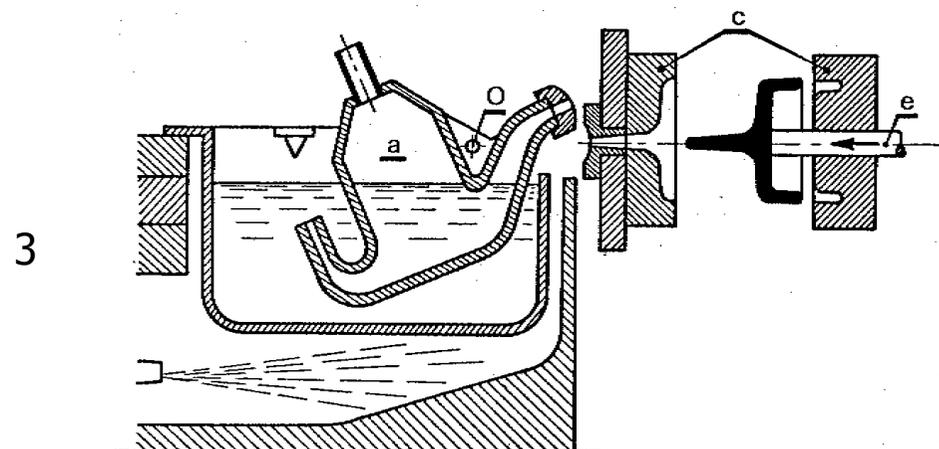
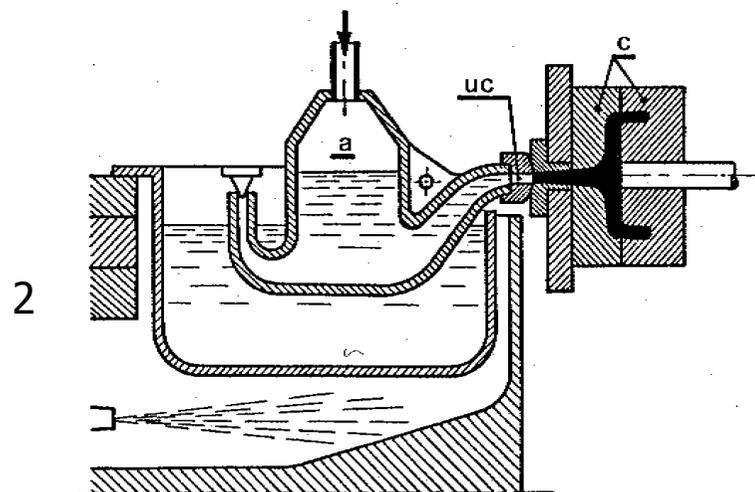
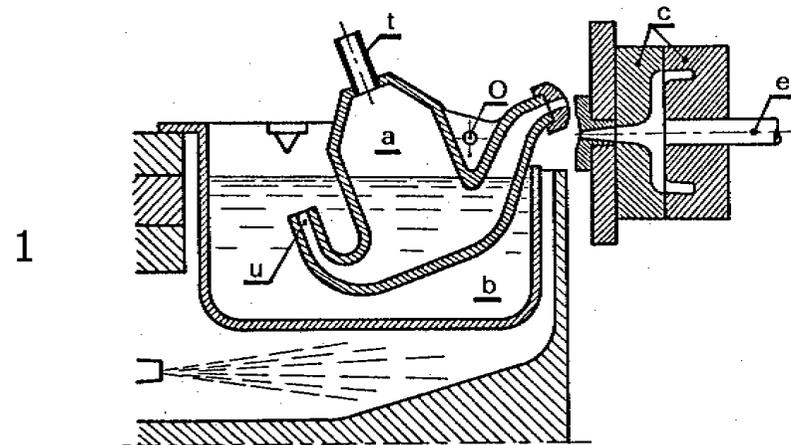
Compressione: cilindro-stantuffo 150 Mpa

Il metallo viene introdotto nella camera di pressione ad una temperatura compresa nell'intervallo di fusione.

Iniettofusione

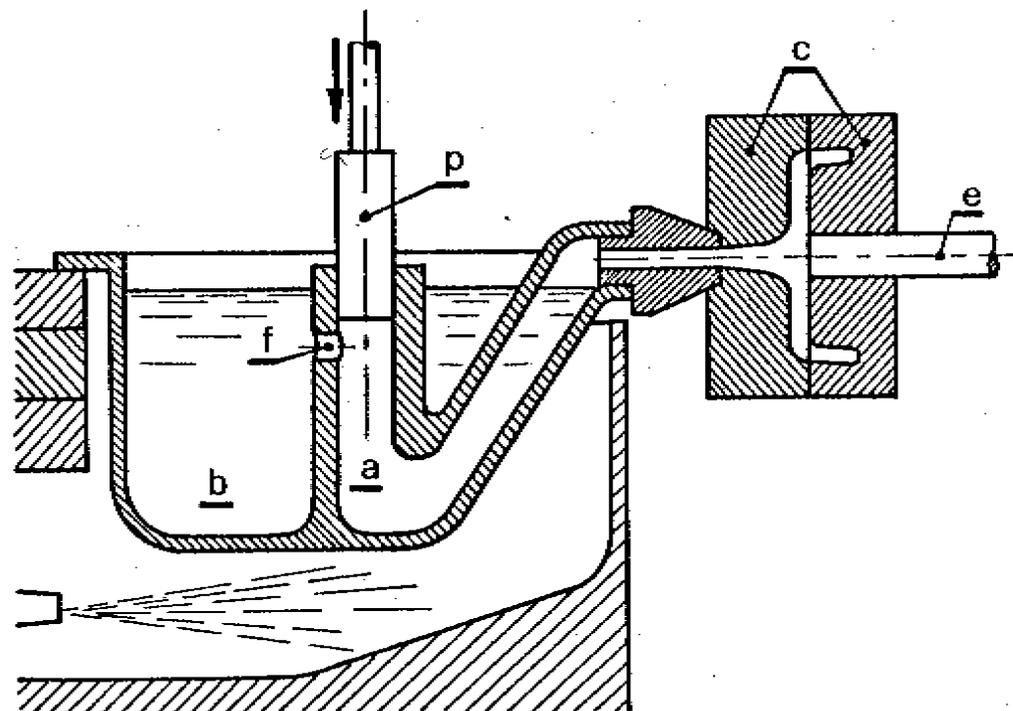
macchina a camera
oscillante:

- riempimento
- compressione
- estrazione



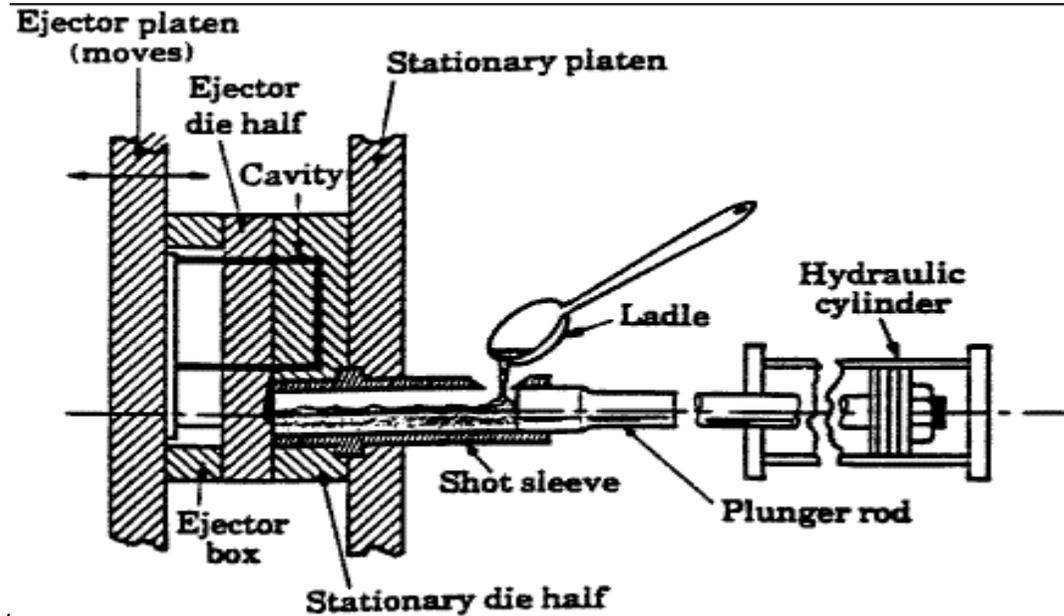


macchina a pistone tuffante

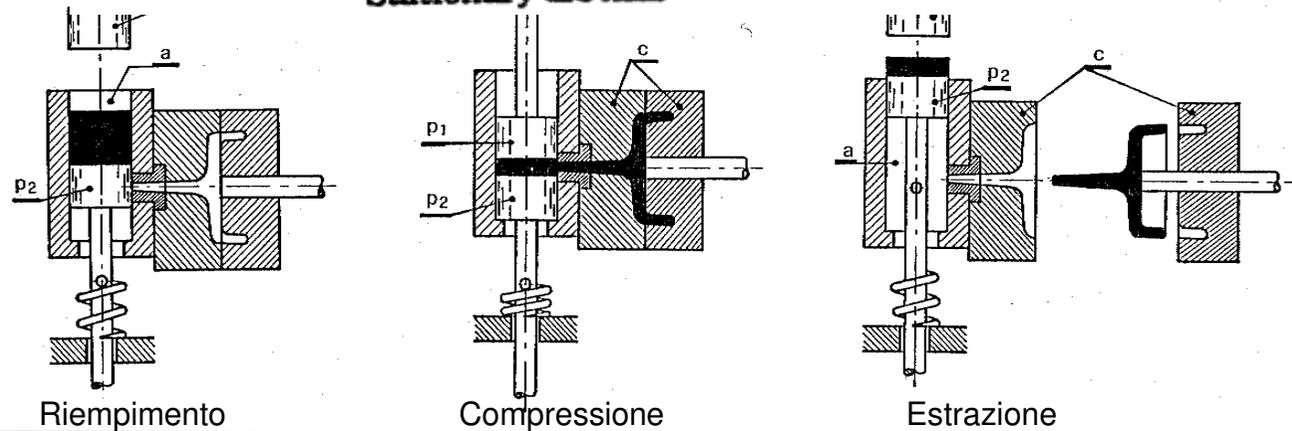


Pressofusione

Macchina a camera orizzontale



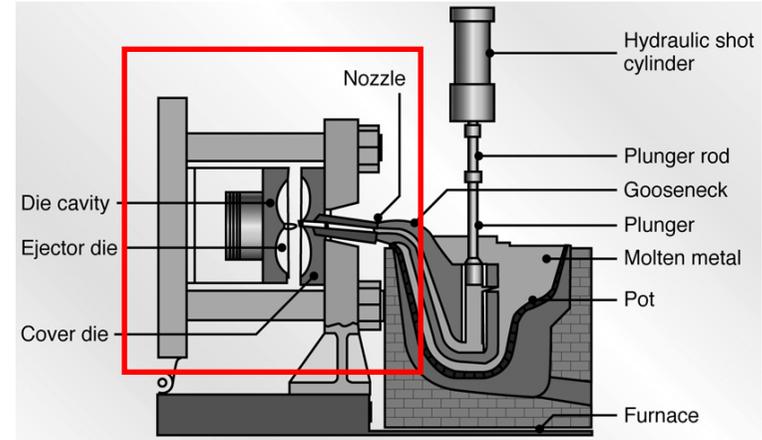
Macchina a camera verticale



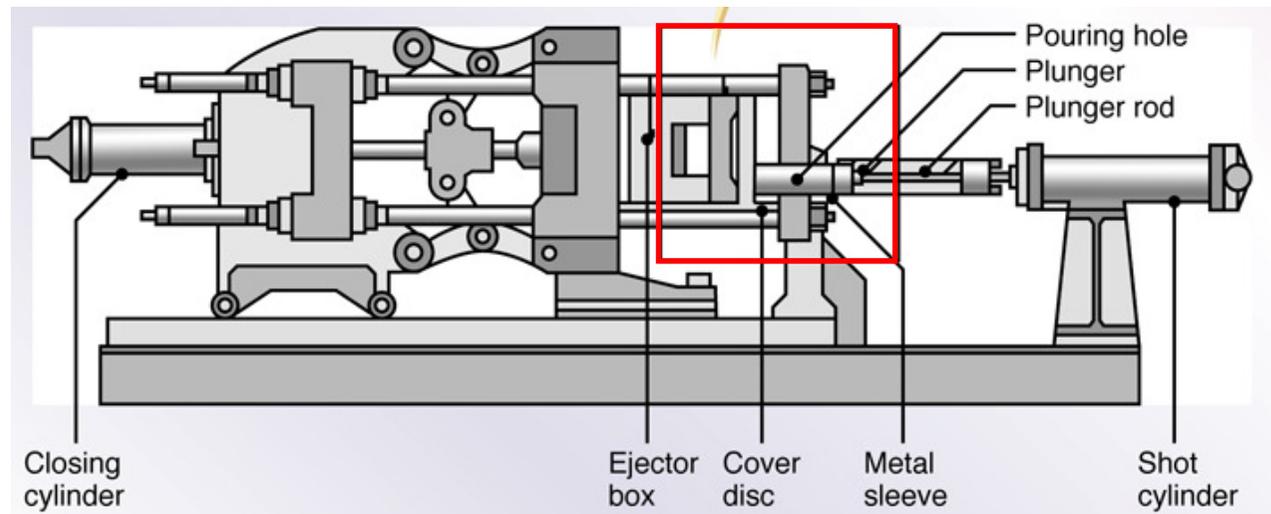


Struttura delle macchine

camera calda



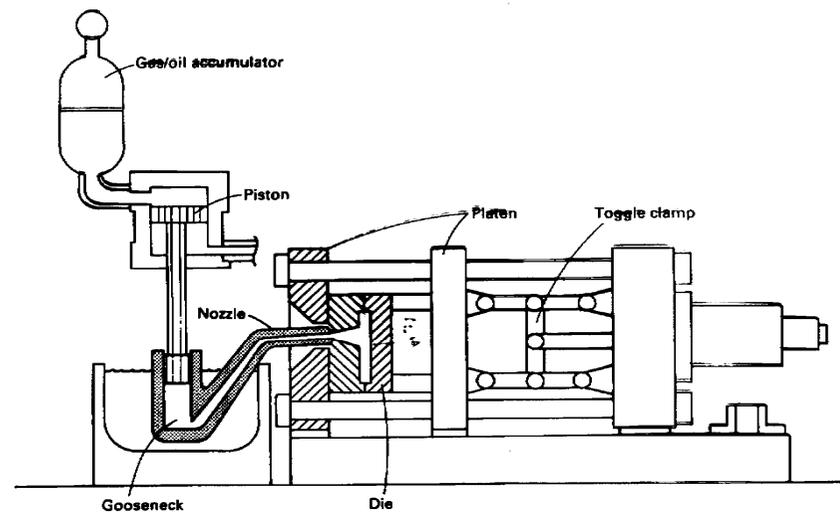
camera fredda



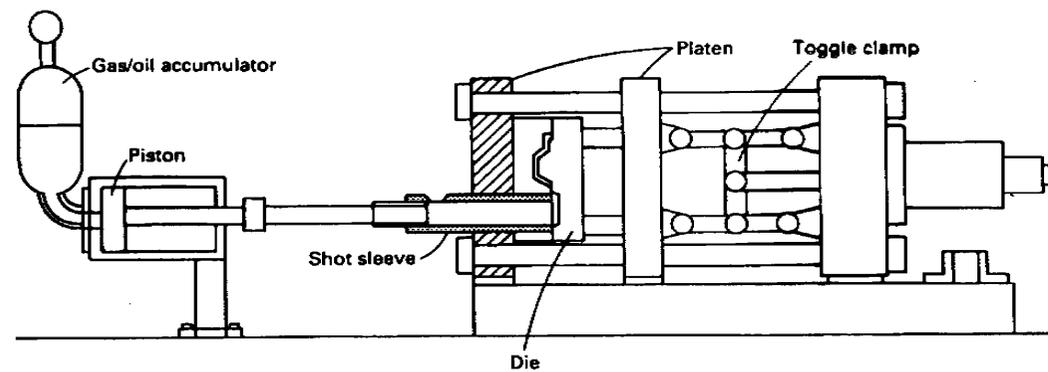


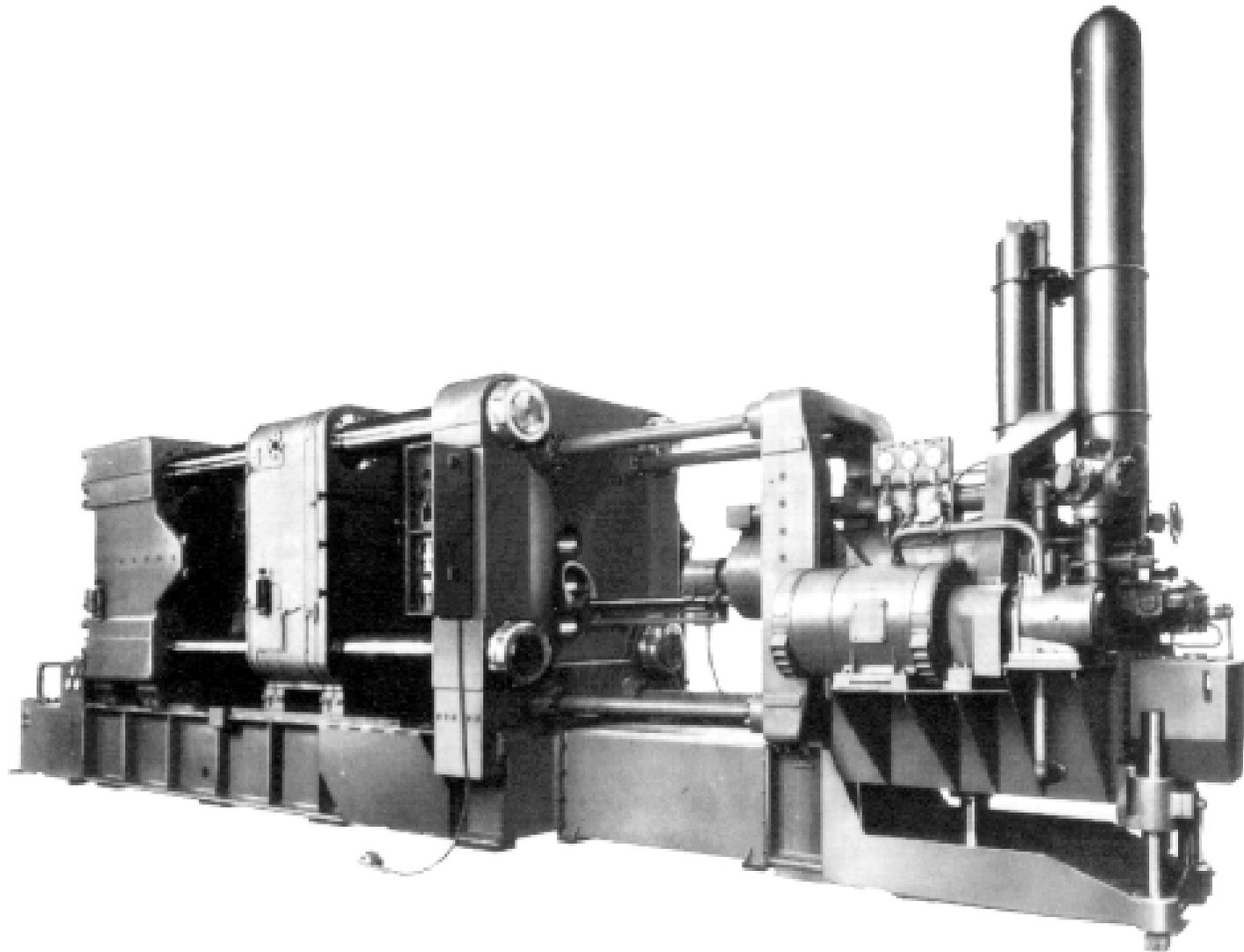
Altre macchine

camera calda



camera fredda





Apparato per pressofusione da 1500 ton (per gentile cortesia della Buhler Brothers Ltd)



Colata centrifuga

Getti semplici e complicati

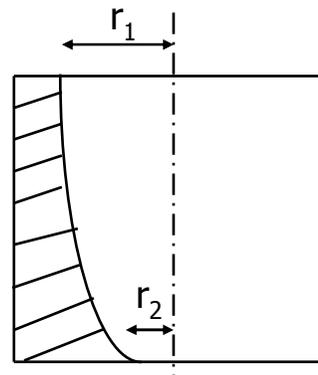
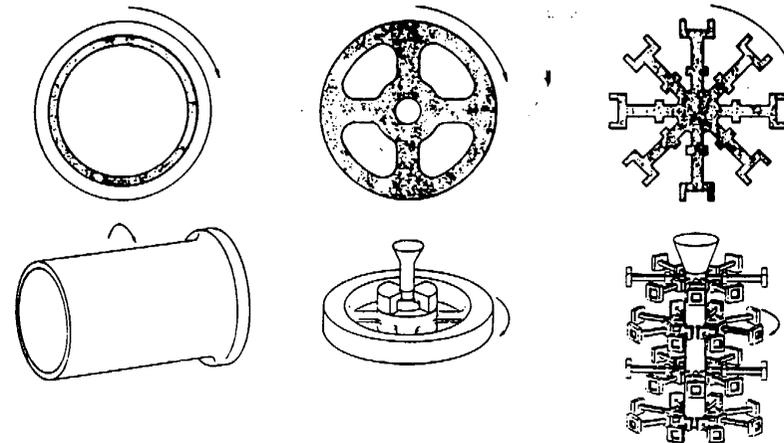
buone caratteristiche meccaniche
buone finiture / tolleranze

velocità di rotazione:

$$\omega = 2 \pi n / 60 \quad a = \omega^2 r$$

$$\rightarrow n = 60 / 2 \pi \text{ SQR} (a / r)$$

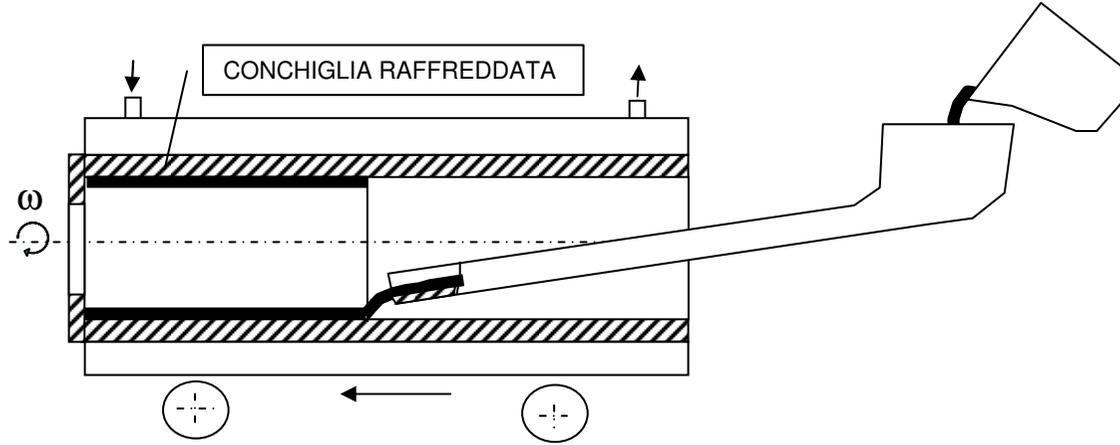
$$a \in [70 - 200] g$$



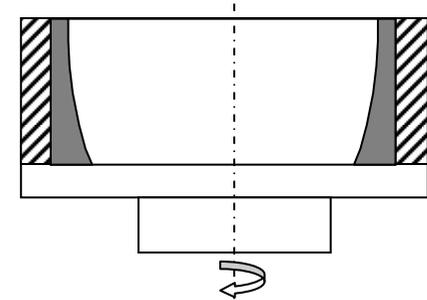
difetto di forma
in colata verticale

relazione sperimentale:

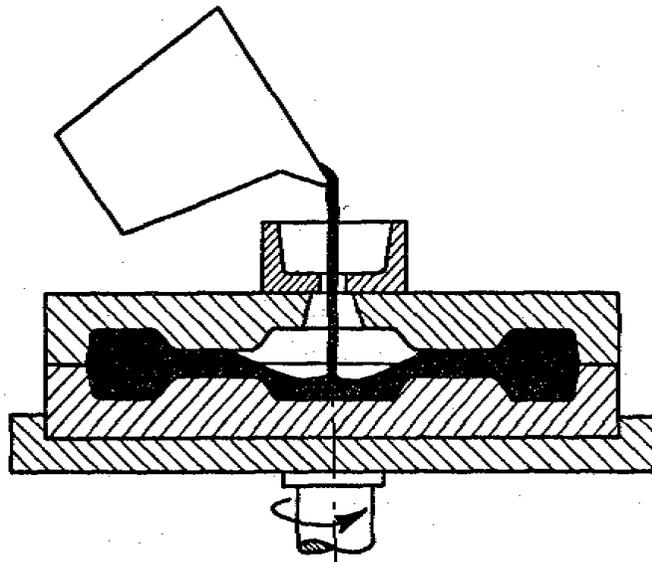
$$n = 42 \text{ SQR} [h (r_1^2 - r_2^2)]$$



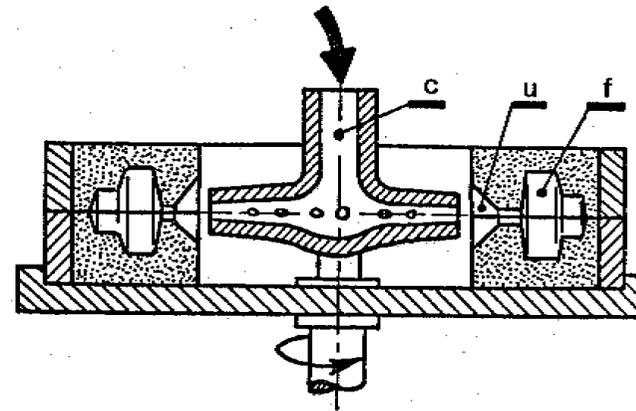
Colata centrifuga orizzontale



Colata centrifuga verticale



Colata semicentrifuga



con centrifugazione



Finitura dei getti

STERRATURA

SABBIATURA

⇒ elevata richiesta di manodopera

SMATEROZZAMENTO

SBAVATURA

STERRATURA

getti medio / grandi

getti piccoli

- griglie a scossa
- martelli pneumatici
- spazzole metalliche

- contenitori rotanti (buratti)

SMATEROZZAMENTO:

- urto
- con mole
- taglio ad arco

SBAVATURA:

- mole
- barilatura (pezzi piccoli)



Difetti nei getti

Classificazione in base all' origine

1. azioni che si verificano nella forma durante la colata
2. gas
3. contrazione di volume nel passaggio solido-liquido
4. ritiro dopo la solidificazione
5. segregazione

Parametri fondamentali del processo che influenzano i difetti

1. temperatura di colata
2. velocità di colata

PREVENZIONI / RIMEDI

- modifiche del disegno
- modifiche del processo
- eliminazione errori accidentali durante la fabbricazione
- riparazione del getto



CLASSIFICAZIONE IN BASE AL TIPO DI DIFETTO

	CAUSE	RIMEDI
1. incompleto riempimento	- canali di colata troppo lontani dalla zona	+ aggiungere altri attacchi/canali di colata + aumentare il carico idrostatico (battente) + aumentare la temp. di colata --> fluidità
	CAUSE	RIMEDI
2. ripresa di fusione (crosta ossidata)	- arresto temporaneo del riempimento - incontro di flussi provenienti da attacchi diversi	+ aumentare la vel. di riempimento + aumentare la temperatura di colata
	DIAGNOSI	RIMEDI
3. incrinature (tensioni di trazione)	- ispezione visiva - cause che determinano le tensioni di ritiro	+ impiego di terre/leganti collassabili * acciaio : riparazione mediante saldatura * ghisa : sono più rari (< temperatura di colata, < ritiro ma possono causare scarti)
4. soffiature e porosità	- esame radiografico - tenuta stagna: prova idraulica	



DIAGNOSI

5. formazione di ghisa bianca (Fe_3C)

difetto grave se si prevedono lavorazioni alle MU

- prova del cuneo

CAUSE

+ minore velocità di raffreddamento (forme essiccate)

+ maggiore temperatura di colata (effetto di preriscaldamento)

CAUSE

6. inclusioni non metalliche:

pressione dei gas
azione erosiva (trappole)

TIPOLOGIE

7. difetti superficiali

- porosità (pin-holes)
- escrescenze (<- penetrazione)
- tacconi (<- rotture)

RIMEDI

+ maggiore consistenza della terra (Fe_2O_3 , graniglia acciaio)

+ sabbia più fine

+ minore temperatura di colata

CAUSE

8. variazioni di spessore

- spostamento delle anime



Reazioni del metallo liquido con la forma

- ossidazione
- penetrazione

1. per infiltrazione

2. per scorificazione (es. il manganese nell' acciaio forma MnO con alto potere bagnante)

- * tensione superficiale (influenza della temperatura)
- * viscosità (influenza della temperatura)
- * pressione idrostatica
- * colpo di pressione generato dai gas che si sprigionano (dipende dal tipo di legante, acqua, segatura, ...).

Rimedio: riduzione della velocità di colata.

- * porosità della forma
- contrazione/espansione della ghisa



Gas disciolti

L'assorbimento dei gas costituisce un importante problema in fonderia

Origine:

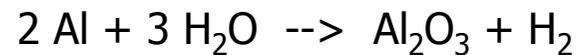
- dissoluzione nel metallo liquido
- reazione tra il metallo e la forma

Effetti: POROSITA' --> riduzione σ_r
“ duttilità

Es.: la presenza di acqua nel materiale di formatura può dar luogo alle seguenti reazioni:



2) presenza di alluminio nella ghisa

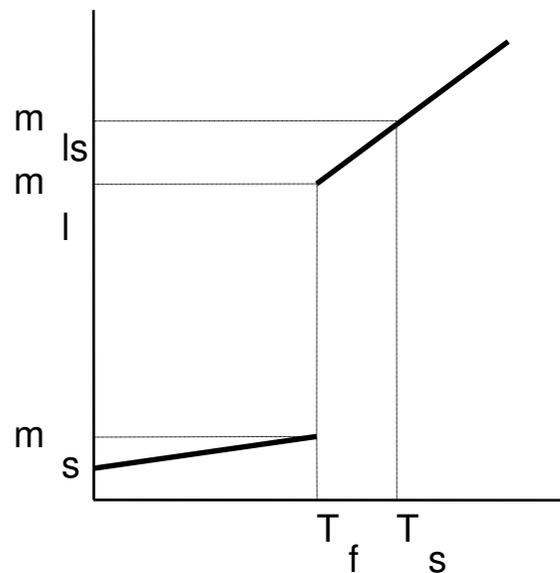




La SOLUBILITA' dei gas dipende:

- presenza di altri elementi (es. %C, %Si, ...)
- temperatura
- pressione

Dipendenza dalla temperatura



(caso di un metallo puro)

m = massa di gas che si discioglie nel metallo a saturazione

Durante la solidificazione si libera la quantità di gas:

$$m_L - m_S$$

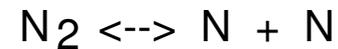
T_f = temp. di fusione

T_s = temp. di surriscaldamento



Dipendenza dalla pressione

La dissoluzione è preceduta da dissociazione:



La reazione di dissociazione è regolata dalla *legge di azione di massa*

. Ad es., per la prima delle precedenti:

$$\frac{P_{H_2}}{P_H P_H} = \text{cost} \quad \Rightarrow \quad P_H \propto P_{H_2}^{0.5}$$

Per la legge di Henry, la quantità di gas disciolto nel metallo:

$$m_{gas} \propto P_H \quad \Rightarrow \quad m_{gas} \propto P_{H_2}^{0.5}$$



METODI PER RIDURRE LA PRESENZA DEI GAS

1. Non utilizzare materiali "inquinati"
[es. da oli da taglio]
2. Protezione mediante flussi
(gnrl. miscele di sali alcalini: NaCl, CaCl², ...)
3. Limitare la temperatura di surriscaldamento ed il tempo di permanenza allo stato fuso
4. Degasaggio:
 - insufflazione di gas insolubili
 - con sali → decomposizione → gas insolubili

e/o	"	azione meccanica: es. Ar
		chimica: es. Cl

 - trattamento sotto vuoto
5. Fusione sotto vuoto (ottimo ma costoso)

RIDUZIONE EFFETTI NOCIVI DEI GAS: colata sotto pressione



Inclusioni non metalliche

Fasi non metalliche o composti intermetallici (specialmente nelle leghe non ferrose)

Nelle leghe ferrose sono di solito: ossidi, solfuri, nitruri

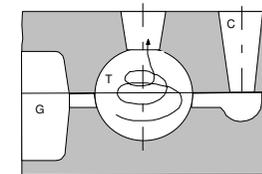
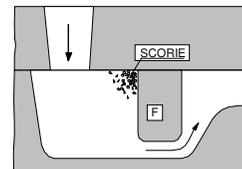
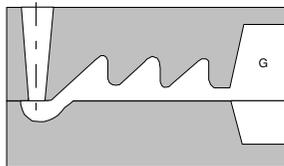
Effetti:

- riduzione R_m
- riduzione duttilità



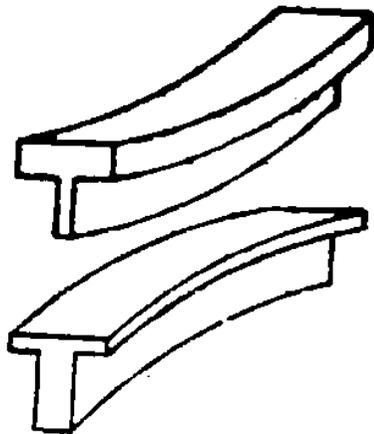
natura
forma
quantità
distribuzione
orientazione

Metodi per l'eliminazione: FILTRI, TRAPPOLE



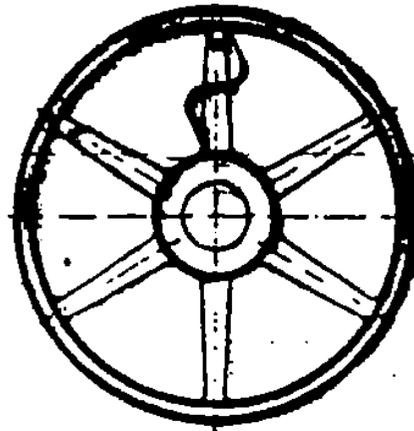


Difetti di forma



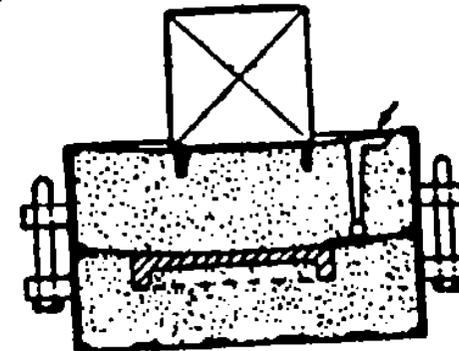
Deformazione (incurvamento) dell'asse principale di un getto causato da irregolarità di spessori: i getti presentano la concavità dalla parte dello spessore maggiore.

Incurvamento



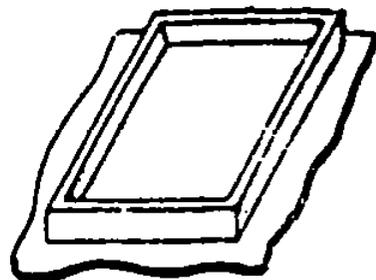
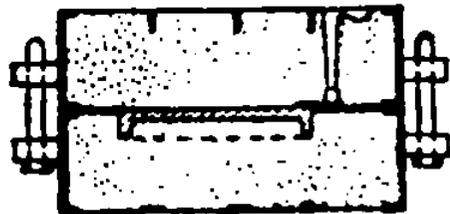
Criccate e rotture delle razze di un volano causate da eccessive differenze degli spessori tra mozza, corona e razze, e dalle razze in numero pari disposte radialmente.

cricche

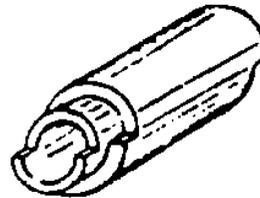
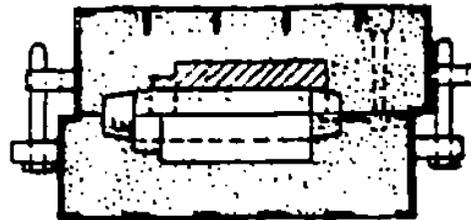


Riduzione dello spessore di un getto causata da cedimento della mezza staffa superiore troppo caricata

schacciamento staffa

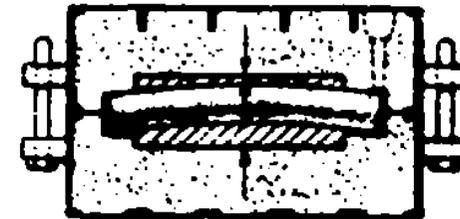


sollevamento staffa



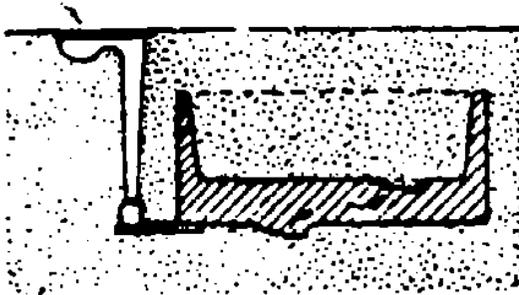
Variazione di staffa provocata
da eccessivo gioco tra perni di riferimen-
to e fori delle staffe.

disallineamento forma

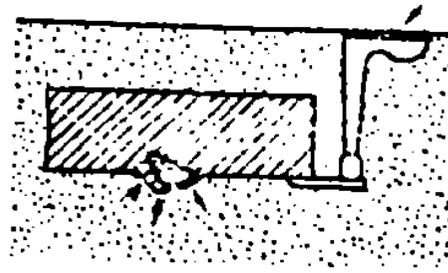


eterogeneità dello spessore in
un tubo a causa dello spostamento del-
l'anima dovuto alla spinta metallostatica.

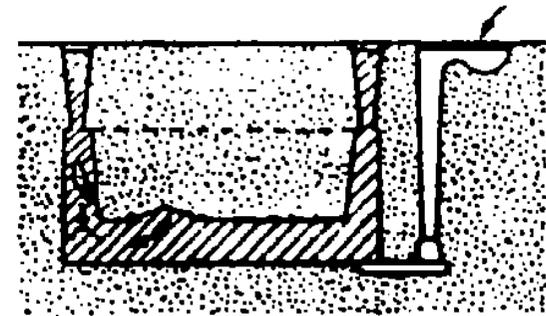
disallineamento anima



Taccone: una zolla di sabbia si stacca dalla parte inferiore (a causa della scarsa permeabilità) e va a galleggiare contro la superficie superiore della forma: il getto quindi presenta in basso una protuberanza e sopra una cavità con inclusione di sabbia.



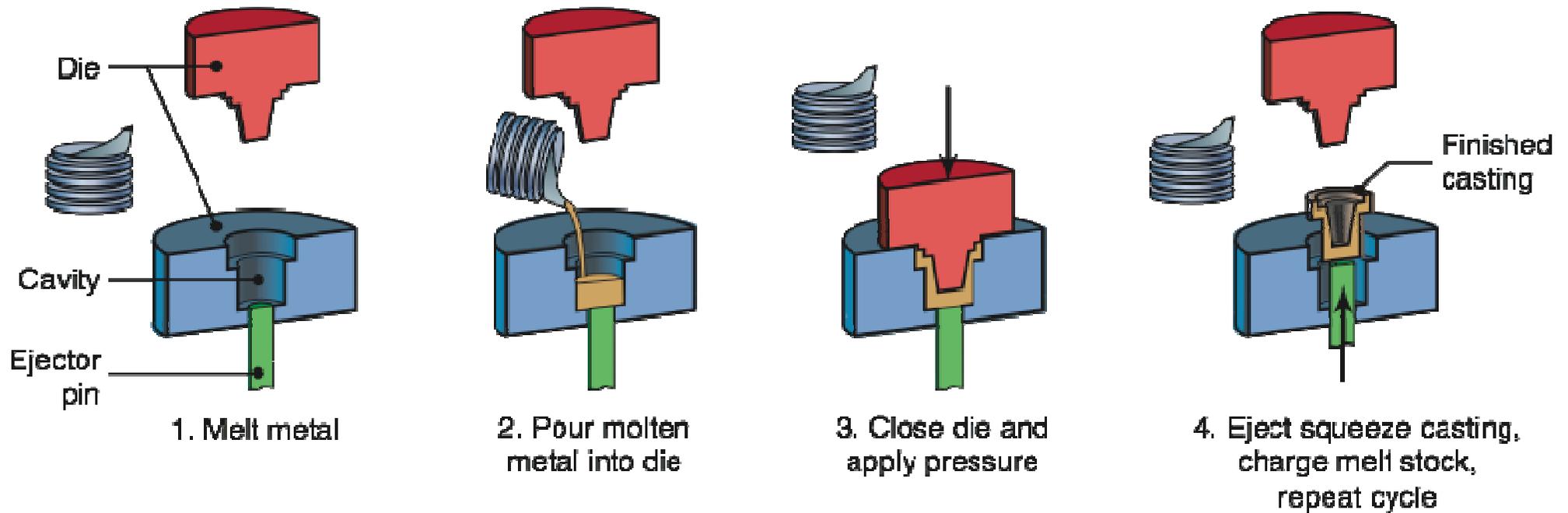
Taccone falso o scatola: difetto dovuto alla stessa causa: la zolla però non si stacca del tutto e rimane imprigionata nella protuberanza.



Altro difetto analogo ai precedenti: la zolla si stacca da una parete superiore e trascinate dal metallo liquido, rimane imprigionata in una serratura.

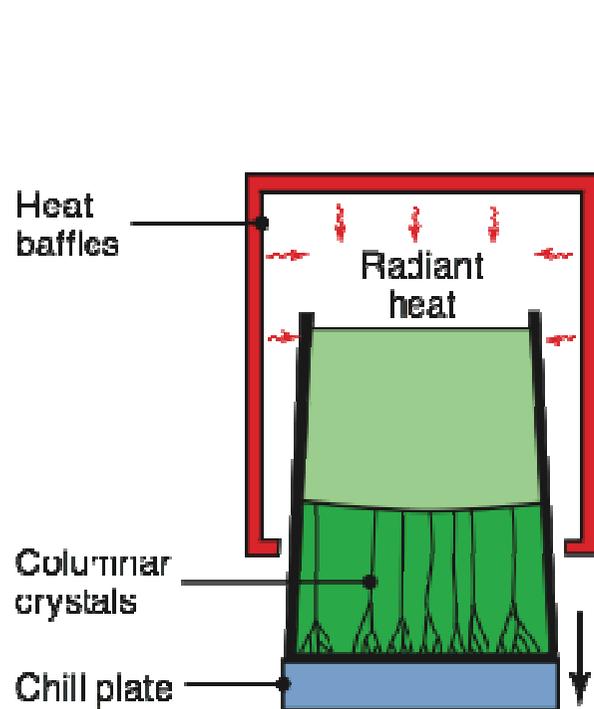
Rottura della forma, distacco di zolle

Squeeze-Casting

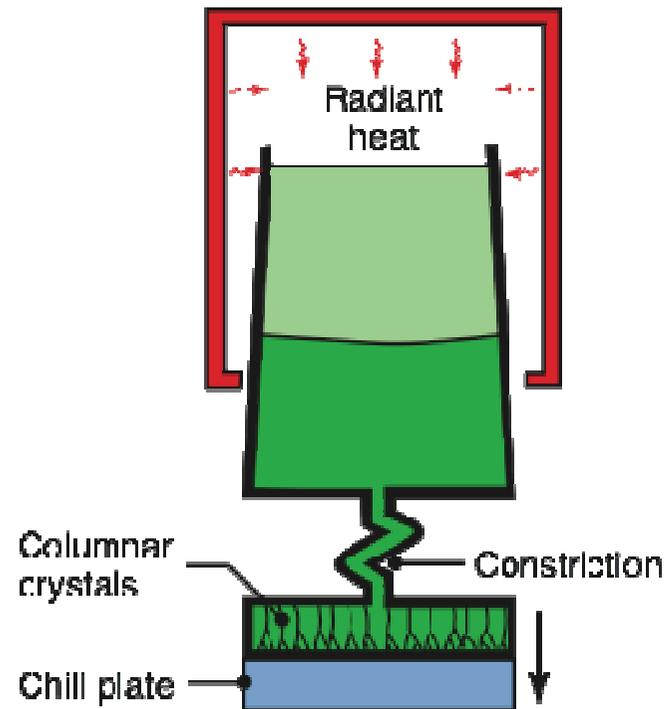


Sequenza delle operazioni nello squeeze casting, che combina i vantaggi della colata e della forgiatura

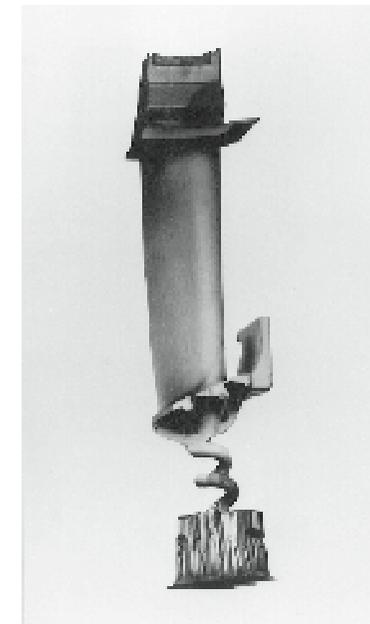
Turbine Blade Casting



Solidificazione con direzione preferenziale di crescita

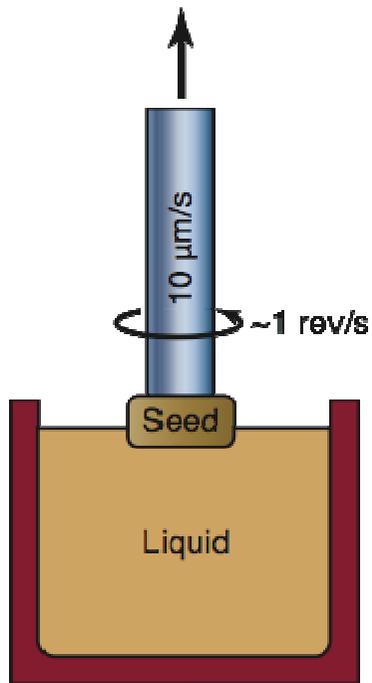


Metodo per produrre palette monocristalline

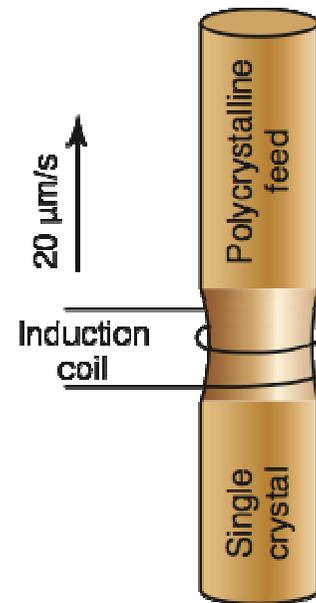


Esempio di palette in monocristallo

Crescita monocristallina



Metodo Czochralski



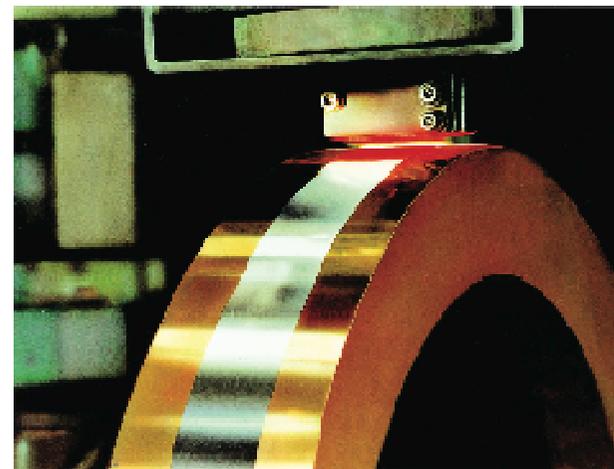
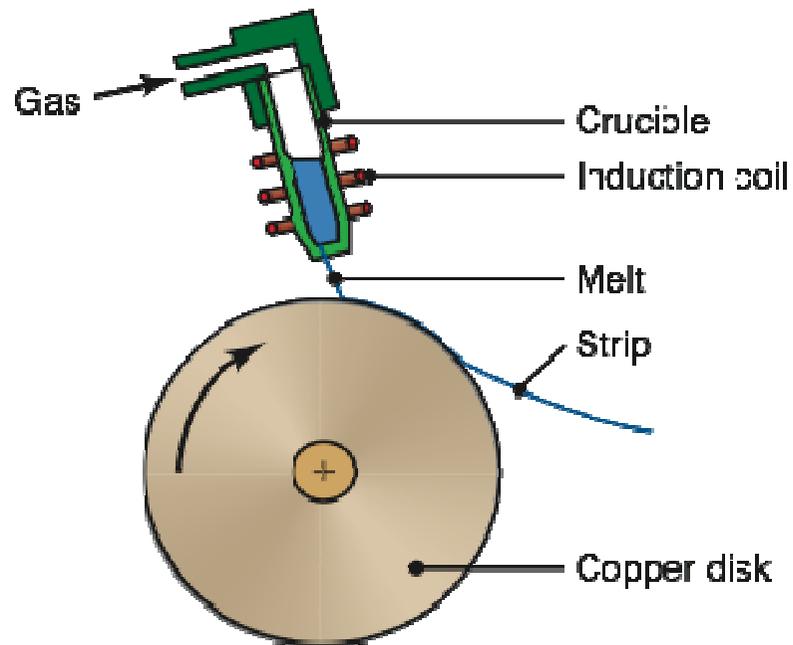
Metodo zona fusa flottante



Monocristallo di silicio

Questi metodi sono particolarmente usati nell'industria dei semiconduttori

Melt-Spinning Process



L'elevatissima velocità di raffreddamento (10^5 - 10^7 °C/s) produce materiali amorfi (vetri metallici)