



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

**Appunti universitari**

**Tesi di laurea**

**Cartoleria e cancelleria**

**Stampa file e fotocopie**

**Print on demand**

**Rilegature**

NUMERO: 1069

DATA: 09/09/2014

# **A P P U N T I**

STUDENTE: Marchisa

MATERIA: Materiali Metallici

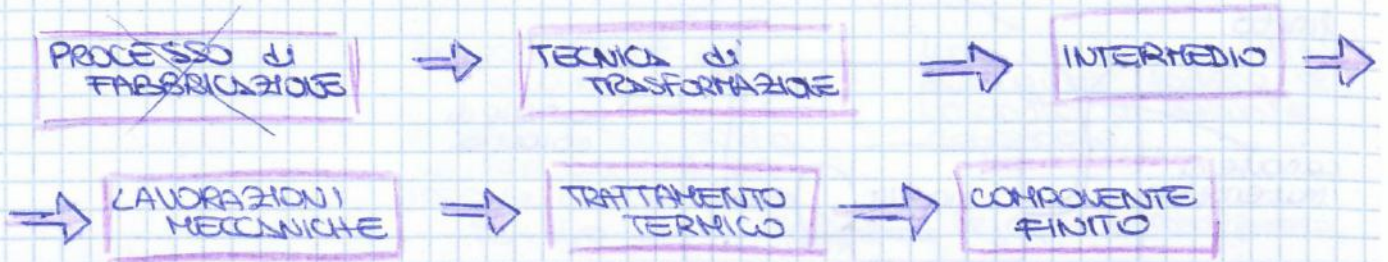
Prof. De Benedetti

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.  
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

## TECNICHE di PRODUZIONE delle LEGHE



da prima riga interesse il settore metallo/ siderurgico, la seconda è l'industria meccanica.

l'INTERMEDIO può essere: - un prodotto LUNGO (barre e lamiere)  
- un prodotto METALLURGICO

Il componente finito è l'oggetto finito con forma specifica e quote ben determinate.

La TECNICA di TRASFORMAZIONE segue due strade:

- produzione di lingotti o simili
- processo di fonderia

Il processo di FONDERIA da un prodotto di una forma prossima a quella del componente finito, la lega deve essere adatta a questo processo, non tutte le leghe sono adatte alla fonderia; la migliore è l'oro, con una temperatura di fusione moderata ma una modestissima affinità con l'ossigeno anche il bronzo va bene; la meno adatta è il bronzo che presenta alta affinità con l'ossigeno e alta temperatura di fusione.

Si usa soprattutto per le forme complicate: grandi variazioni di sezione e di differenze di quote nelle tre direzioni ortogonali.

### TECNICA di FONDERIA

Necessità di una forma in cui versare la lega liquida, la forma deve consentire di liberare l'oggetto quando la lega è completamente solidificata

FORME a PERDERE

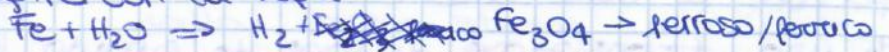
FORME PERMANENTI

Le forme a perdere seguono il processo della colata in sabbia. servono due impronte da accoppiare per creare il vuoto tra di esse. quali dettagli perdo nella forma? Ne

La sabbia subisce un principio di cottura quando viene a contatto con il liquido fuso  $\Rightarrow$  reazione metallo/forma

evaporazione di acqua

$\downarrow$   
l'acqua a sua volta in fase vapore può reagire con la lega



$\downarrow$   
una certa quantità di argilla foderà il granulo di sabbia espandolo.

Avere un certo grado di porosità della forma diventa importante affinché i gas possano fuoriuscire dalla forma.  
La forma arrotondata del granulo porta a una diminuzione della porosità.

La sabbia non è riciclabile all'infinito, in un certo momento una parte di sabbia dovrà essere scartata per essere sostituita da sabbia vergine.

La materozza viene anche definita accumulatrice di rifiuti/difetti.

All'arrivo della lega fusa si erode leggermente la forma, se la sabbia va a finire nel getto trova come via di deflusso la materozza, infatti la sabbia tende a galleggiare sulla lega metallica fusa e pesante.

Visto che la lega non può essere perfetta si deve descrivere un GRADO DI TOLLERANZA al di sopra del quale il difetto diventa intollerabile e si getta di scarto.

Esiste un GRADO DI POROSITÀ massimo tollerabile, deve impedire che la porosità rovini il mio getto.

Come si definisce questo grado? Con dei controlli o esami (distruttivi o non) che consentono di esaminare il metallo  $\rightarrow$  CONTROLLO DI QUALITÀ (si stabilisce la soglia di accettabilità)

¶ DIFETTI sono: - porosità  
- inclusione di ossidi

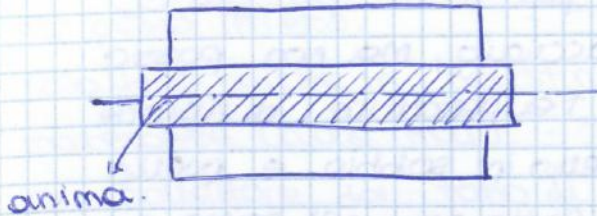
Per definizione un' inclusione è una fase di tipo non metallica che rimane intrappolata nella matrice metallica.

Un esempio è un' inclusione gassosa (porosità).

L'effetto di queste normalmente riduce la sezione resistente (difetto modesto). Un effetto molto più dannoso è se il poro si trova in superficie e quindi può essere un

catastrofica si originano delle cricche.

con cicli e tecniche opportune si possono minimizzare le variazioni dimensionali, ma non si possono eliminare del tutto infatti ogni ciclo termico induce delle variazioni dimensionali.



inserisco nella forma, supportato dalla forma stessa, un cilindro in modo che la lega non vada nella parte centrale del cilindro per creare un tubo.

l'anima deve avere due caratteristiche:

- resistere all'azione della lega liquida, cioè deve rimanere integra quando investita dalla lega (buona resistenza meccanica)
- deve disgregarsi una volta che la lega è solidificata (perdere consistenza)

↓  
realizzazione di combustore: anima formata da sabbia e collanti che possono bruciare.

l'operazione di collocazione dell'anima all'interno della struttura viene detta PANNOLOGGIO

la tecnica successiva è quella della FORMA PERMANENTE.  
la forma è costituita da due stampi che si accoppiano in modo da realizzare la cavità.

Due tipologie differenti:

- la lega entra nello stampo chiuso grazie all'azione della gravità ⇒ COLATA IN CONCHIGLIA
- la lega viene spinta dentro la cavità dello stampo sotto pressione ⇒ PRESSOCOLATA

la seconda è la tecnica più efficace e più utilizzata.  
Sono colate e non fuse!

Nel secondo caso abbiamo un'elevata velocità di riempimento ma per preciso sia l'accoppiamento, la lega tenderà sempre ad entrare tra le due pieche dove sono unite le due parti dello stampo, formando una bava di giuntura (questo non succede nella colata per gravità)

lo stampo viene nebulizzato con dell'olio che aiuta le

SHELLMONTING: stampo il guscio in due pezzi e lo incollo con resine termoplastiche.

### TECNICA a SCHIUMA PERSA

Realizzo il mio modello in polistirolo espanso, anche in vari pezzi uniti da un normalissimo collante ottenendo così un pezzo intero.

Realizzo anche in polistirolo l'imbuto di colata e eventuali materozze (quasi mai).

es. - collettore del tubo di scarico (9 condotti in uno unico)

Devo rivestire il polistirolo con una vernice refrattoria, una miscela di frazione solida refrattoria con collante polimerico dotata di una certa quantità di porosità (posso farla per immersione).

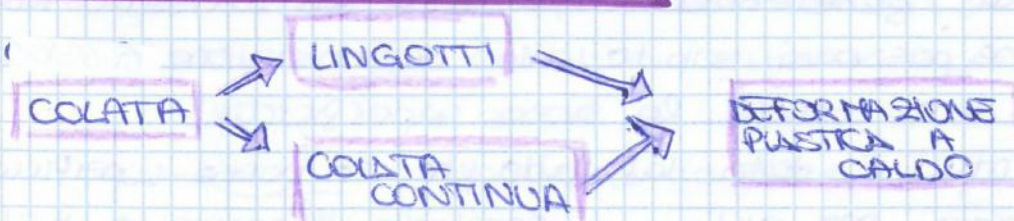
Si mette il modello in un bidone riempito di sabbia che esercita una pressione sulle pareti del modello e lo sostiene senza fargli perdere la sua forma.

Immerisco la lega fusa, il polistirolo brucia facendole spazio e le bolle vengono in superficie ed escono.

Tutto dal cera polistirolo viene a immettersi e fuso: il polistirolo viene fuso pian piano (colore) e o viene a galla o viene assorbito dalle pareti.

La sabbia non ha collante quindi il guscio non deve crollare.

### PRODUZIONE di LINGOTTI o SIMILI



I processi di deformazione dei lingotti sono più onerosi della colata continua.

I LINGOTTI sono blocchi del peso di varie tonnellate.

I lingotti d'acciaio si formano usando una forma di ghisa perché ghisa e acciaio hanno una bassissima tendenza a fondere insieme.

Le lingottiere sono a sezione quadrata con pareti inclinate

protettiva). questo fa sì che la parte superficiale del lingotto solidifichi per ultima.

Il lingotto però ha altri difetti di tipo strutturale perché lungo le pareti della lingottiera si vengono a creare cristalli (difetti microstrutturali)

dell'ultima frazione solidificata è più ricca di elementi di lega (per le diagramme di stato).

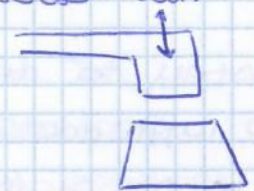
Il processo di ricottura dei lingotti viene detto di ricottura completa.

### PROCESSI di DEFORMAZIONE PLASTICA A CALDO

Due tipologie: - per fucinatura  
- per laminazione

La FUCINATURA è il trattamento più antico.

Tecnologia di martellatura del lingotto attraverso un processo di MAGLIO: grosso martello che continua a salire e scendere colpendo il lingotto. Può creare dei blocchi di dimensioni più opportune per lavorazioni successive.



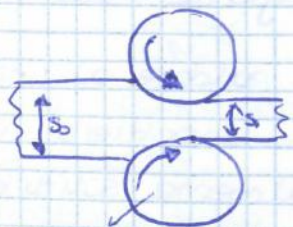
Questa operazione di fucinatura da un intermedio siderurgico detto BLINDO.

Utile per realizzare blocchi di grosse dimensioni, ad esempio per stampi.

La LAMINAZIONE è la tecnica più diffusa.

Trattamento dei lingotti molto semplificato.

Il lingotto viene fatto passare attraverso dei cilindri di laminazione e esce con una sezione minore.



La GABBIA di LAMINAZIONE lavora a 1200°C.

rapporto di riduzione:  $\frac{s_0 - s_1}{s_0}$ ; quanto più è maggiore, tanto minore sarà lo sforzo di lavoro

cilindri sbalzatori successivi ai cilindri sbalzatori ci sono altri rulli in serie in continuo, attenzione perché si può andare incontro a INCAGLIO!

Man mano <sup>che</sup> si riduce la sezione del mio lingotto, e l'acciaio aumenta la velocità di passaggio.

Il processo è dominato da "anelli d'incaglio"

di esso spazio altissimo).

Una volta in orizzontale la billetta viene tagliata ogni circa 1,5/2 metri.

quando arriva la billetta, la pelle è sottoposta a sforzi di compressione e trazione: più estraggo velocemente, più le cuore liquido è maggiore, più la pelle è sottile e se la sottopongo a trazione si spacca e fa fuoriuscire il acciaio liquido.

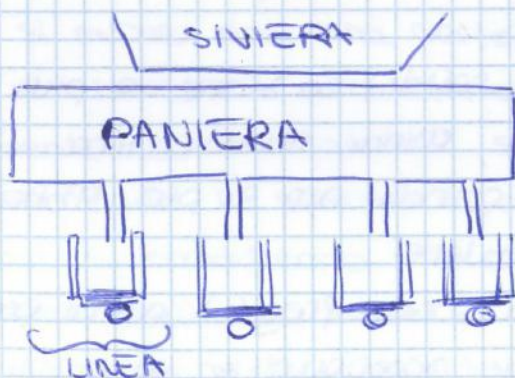
Bisogna sincronizzare:

- velocità di colata
- velocità di estrazione dei rulli
- determinazione del raggio di curvatura dello macchina

4 rulli sono raffreddati ad acqua, se c'è una variazione di pressione nell'acqua possiamo andare incontro a cricatura della pelle.

SCARICATORI CERAMICI: il petto che esce dalla lingottiera non fa un percorso in aria, per evitare l'ossidazione

Si utilizza un serbatoio intermedio detto PANIERA da cui escono gli SCARICATORI, ogni scaricatore va a finire in una impoiera per proteggere il petto e ogni impoiera costituisce una LINEA.



Per ridurre al massimo l'ossidazione dovuta all'aria

Avere lo scarico libero però è più semplice anche se provoca scarto.

Me vantaggio della colata continua è che gli ossidi che si formano possono essere portati via da un operatore che toglie la scoria non mono che si forma sulla cima della lingottiera.

Nel cuore del lingotto con la pelle si formano delle disomogeneità, quindi dello mescolare le bagno. Questo avviene



- EVITA FENOMENI di OSSIDAZIONE SUPERFICIALE  
 I cavi elettrici sono trafilati a freddo perché se no si ossidano e diminuisce la loro conducibilità.

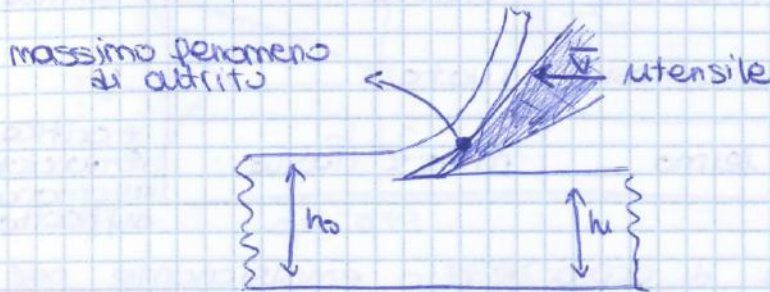
Non adatto per materiali di elevata durezza.

Dipende anche dall'allungamento percentuale, questo deve essere elevato (i ceramici infatti non vanno bene).

Dipende anche dal sistema di cristallizzazione, i migliori sono CFC e gli EC perché hanno un maggiore allungamento.

Lavorazione per **ASPORTAZIONE di TRUCCIOLO**

è l'elemento fondamentale e l'utensile, non le pezzi da tornare: la vita dell'utensile è il cuore dell'azione meccanica.



La temperatura nel punto di attrito (focale) raggiunge le varie centinaia di gradi; il materiale è deformato plasticamente quasi completamente a freddo.

$h_0 - h_1$  = profondità di passata o di asportazione di truciolo.

L'utensile si muove con una certa velocità.

Asportare il massimo di materiale nell'unità di tempo:

- aumentando la velocità
- aumentando lo spessore di truciolo

Nei due casi si modificano completamente i parametri di funzionamento della macchina.

Nel primo caso aumenta l'attrito e l'utensile può rompersi.

Nel secondo aumenta la forza di deformazione plastica tra utensile e materiale e la sollecitazione meccanica sulla punta dell'utensile diventa eccessiva rompendo l'utensile.

Quindi bisogna mettere materiali con grande carico di trazione, molto resistenti.

Posso anche aumentare la velocità di passata con utensili che resistono meglio alle alte temperature (utensili metallo-ceramica).

Il truciolo deve allontanarsi dalla zona di lavoro per non

# DIAGRAMMA di STATO FERRO-CARBONIO

- STABILE (il carbonio viene completamente espulso dalla fase solida)  
 ↓ per il Fe

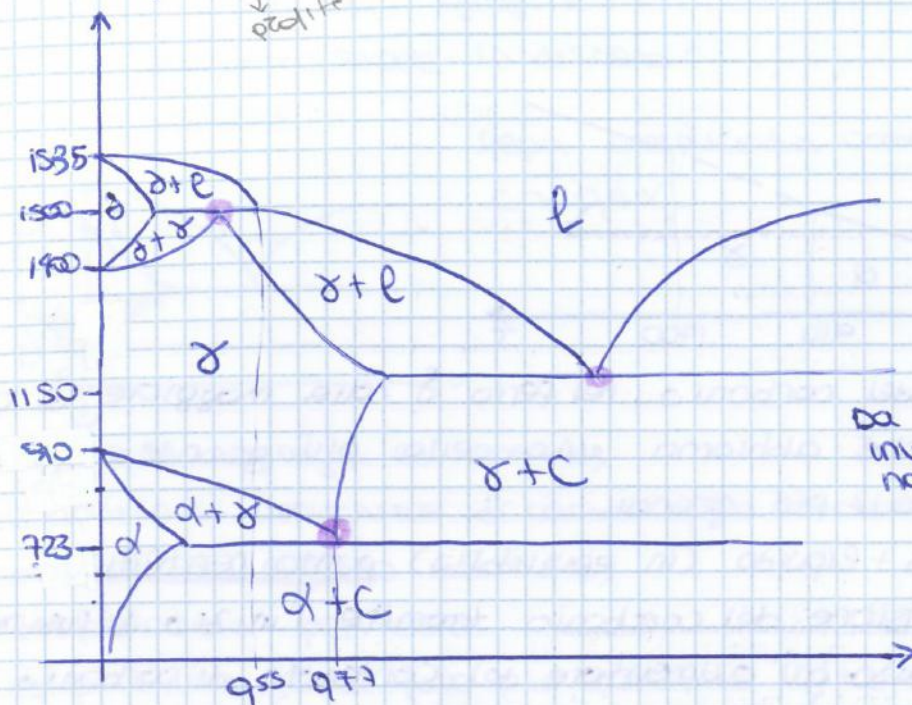


Diagramma  
 totalmente  
 sproportional

Da ogni punto di  
 invarianza  
 nascono due linee  
 di ~~monovarianza~~  
 monovarianza

- FORME ALLOTROPICHE del FERRO
- T<sub>amb</sub> → 910 : ferro α CCC
  - 910 : α → δ \*
  - 910 → 1400 : ferro γ CFC
  - 1400 : γ → δ \*
  - 1400 → 1535 : ferro δ CCC
  - 1535 : T. di fusione \*

legge della varianza: 2 linee

$$v = 1 + 1 - f = 0$$

monocomponente | fattori fisici attivi (T)

nei punti di trasformazione \* (invarianza)

Qual'è l'effetto dell'aggiunta del carbonio sulle fasi che abbiamo descritto? Il carbonio ha raggio molto minore di quello del ferro quindi da soluzioni solide interstiziali, e ha più possibilità di inserirsi nel CFC.

La fase δ è uno stato di alta temperatura.

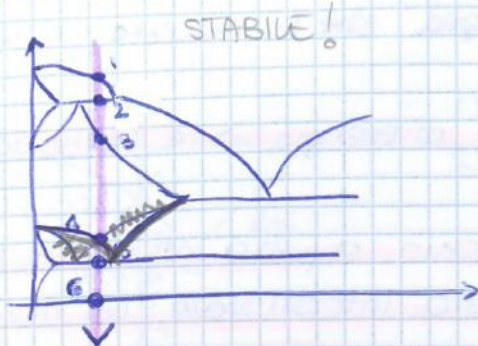
Con l'aggiunta del carbonio, δ ha maggiore inerzia a trasformarsi, ma non può nemmeno andare a temperatura ambiente così, quindi il carbonio deve essere espulso.

A 723 : δ → α + C condizione di invarianza, punto euteticoide, α e δ hanno lo stesso abito cristallino ma per convenzione

Nomi METALLOGRAFICI:

- $\delta$ : ferrite
- $\gamma$ : austenite
- $\delta$ : ferrite  $\delta$
- C: grafite

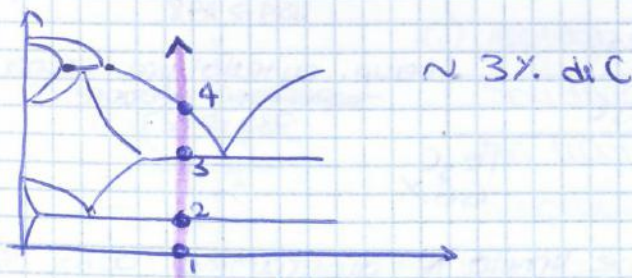
Esempio di trasformazione in discesa:



lega complicata come trasformazioni  
C ~ 0,4%

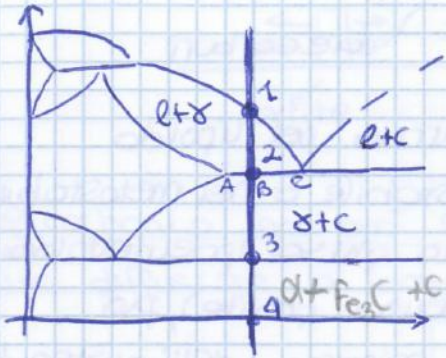
- a  $T_1$ : da liquido ne precipita la fase  $\delta$ ;  
il liquido si arricchisce di carbonio, la concentrazione di carbonio nel liquido aumenta;
- a  $T_2$ : temperatura peritettica  
compare una nuova fase: in equilibrio  $\delta + \gamma + e$   
 $\neq 0$  tende a scomparire
- a  $T_3$ : si completa la solidificazione e abbiamo solo più  $\delta$
- a  $T_4$ : inizio della precipitazione di  $\delta$
- a  $T_5$ : da  $\delta$  ne precipita carbonio grafite (nuovo arresto di temperatura)  
l'arresto permane fino a quando non scompare  $\delta$  e  
raggiungiamo la condizione di equilibrio stabile.

Esempio di trasformazione in salita:



- a  $T_2$ : trasformazione da  $\delta$  e  $\gamma$  in condizioni di arresto di temperatura nella temperatura eutettoidica.  
l'arresto permane fino a che la fase  $\delta$  non è completamente scomparsa.
- a  $T_3$ : all'eutettico inizio la trasformazione di liquido che non meno fa si che scompare la fase grafite fino alla sua completa scomparsa; quando tutta la grafite è scomparsa la temperatura del sistema può ricominciare a

di grafite. Nel raffreddamento ho un lungo percorso in cui ho solo  $\delta$ , non c'è energia sufficiente nel sistema per espellere grafite e quindi si combina con  $Fe_3C$ .  
 Si usa quello stabile nel campo delle ghise da liquido solo fino alla temperatura eutettoidica. Il carbonio ha difficoltà a diffondere e quindi fa un composto interstiziale.



1): separa  $\delta$

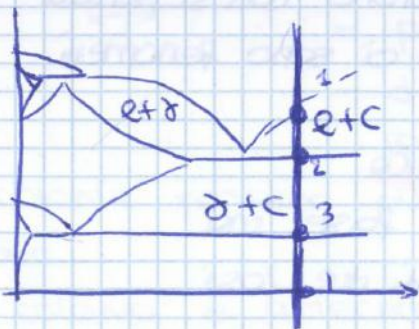
2): arrivo in un sistema costituito da  $l$  e  $\delta$ :  $\frac{BC}{AC}$  % di  $\delta$  e  $\frac{AB}{AC}$  % di  $l$

Il liquido non vuole tendere a scomparire e si trasforma in una miscela di  $\delta+c$  con struttura dendritica di  $\delta$  con un liquido interdendritico.

Procedendo nel raffreddamento, il liquido lascerà il posto a una miscela di  $\delta+c$ : se dal liquido deve separare  $C$  deve esserci un fenomeno diffusivo: senza diffusione non può avvenire la divisione. In questo caso posso separare lo stabile.

Otengo una ghisa ipoeutettica (grossi dendriti di austenite e piccole zone intermedie contenenti grafite)

Abbassando la temperatura ( $1150^\circ - 727^\circ C$ ) di diffusione dell'austenite all'esterno del carbonio perché diminuisce la solubilità del carbonio in  $\delta$  ( $2,06 \rightarrow 0,77\%$ )



1.): separa  $C$

Solidifica del carbonio grafite in un liquido eutettico, riprendo le diagrammi di stato stabile.

Sia che io abbia grafite secondaria (realizzata all'eutettico) o primaria

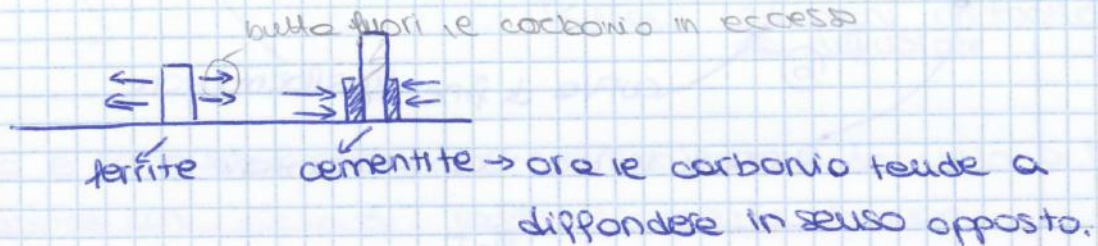
(prima dell'eutettico) il carbonio tende a diffondere verso i nuclei di grafite.

Nella ghisa ipoeutettica il carbonio è separato nelle zone interdendritiche (miscela fine di grafite e austenite), quindi diffonde meglio.

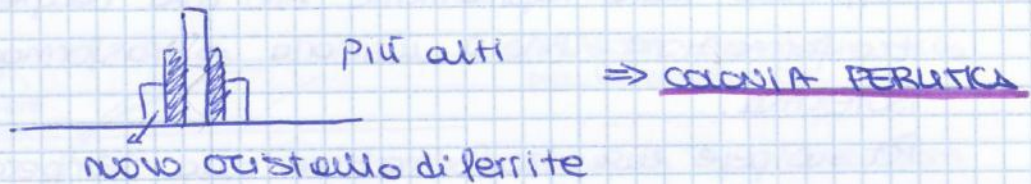
$1150^\circ C$  la diffusione del carbonio da  $C$  a  $\delta$  è massiccia;  
 $727^\circ C$  la diffusione è modesta.

cristallo 1  
bordo di grano di  $\delta$   
Cristallo 2

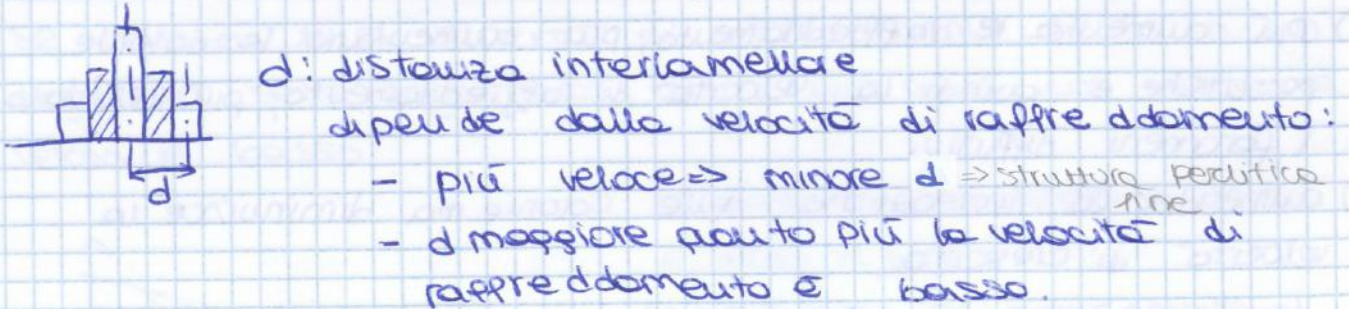
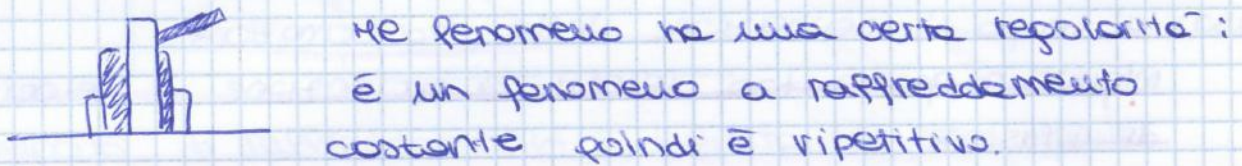
Ne bordo di grano nel corso del raffreddamento deve subire una perturbazione:  $\delta$  deve spartirsi in ferro  $\alpha'$  e  $Fe_3C$  dall'austenite. Fenomeno di nucleazione dominato da fenomeni diffusivi a corto raggio.



Ne carbonio non può formare grafite perché non siamo in una diffusione a lungo raggio.



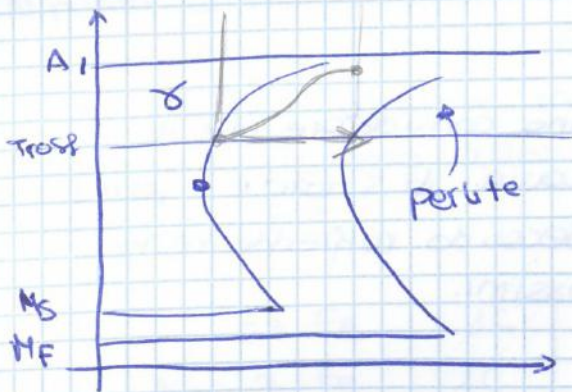
Non diventa tutto colonia perché si possono creare altre colonie: le colonie tra di loro si ostacolano nella crescita.



Le colonie nascono all'interno della massa e sui bordi di grano.

La colonia è alternata di lamelle in cui la fase principale è la ferrite.

Se il raffreddamento è troppo veloce, il carbonio resta intrappolato nella struttura ferritica, non riesce a diffondere e forma MARTENSITE. Jump del carbonio in CFC che va a finire sullo spigolo di una tetragonale corpo centrato.

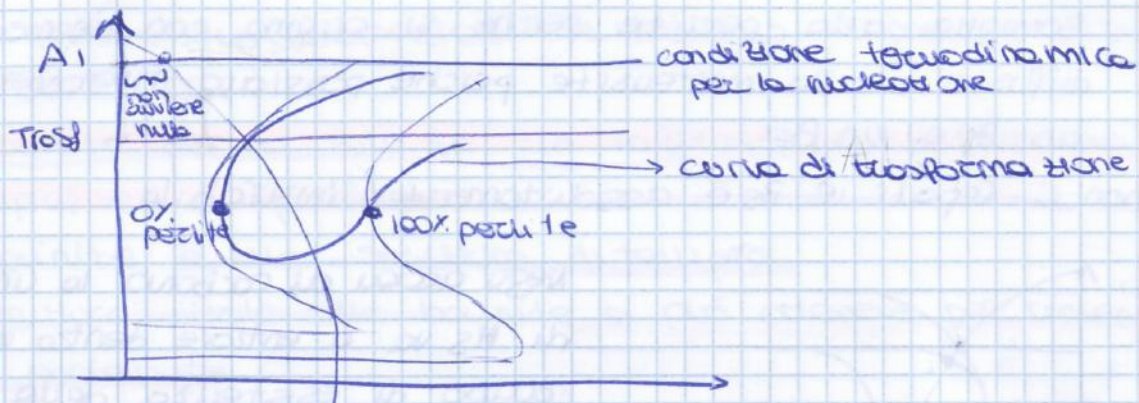


$M_s$ : Martensite start  
 $M_f$ : Martensite finish

$T > N_{50}$  fenomeni controllati da nucleazione  
 $T < N_{50}$  fenomeni controllati da diffusione

Un acciaio è completamente martensitico se scende sotto a  $M_f$   
 Scopo: avere un ciclo di raffreddamento teorico.

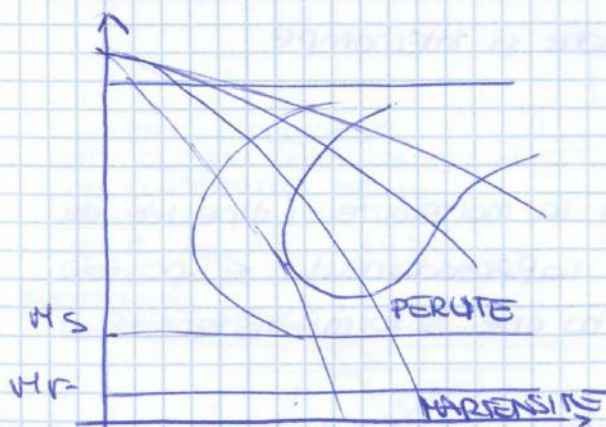
## CURVE C.C.T. $\Rightarrow$ raffreddamento costante



la velocità di raffreddamento è infinita nel caso ideale.  
 Se utilizzo una velocità di raffreddamento finita in un diagramma semi-logaritmico, otterrò una curva con concavità verso il basso

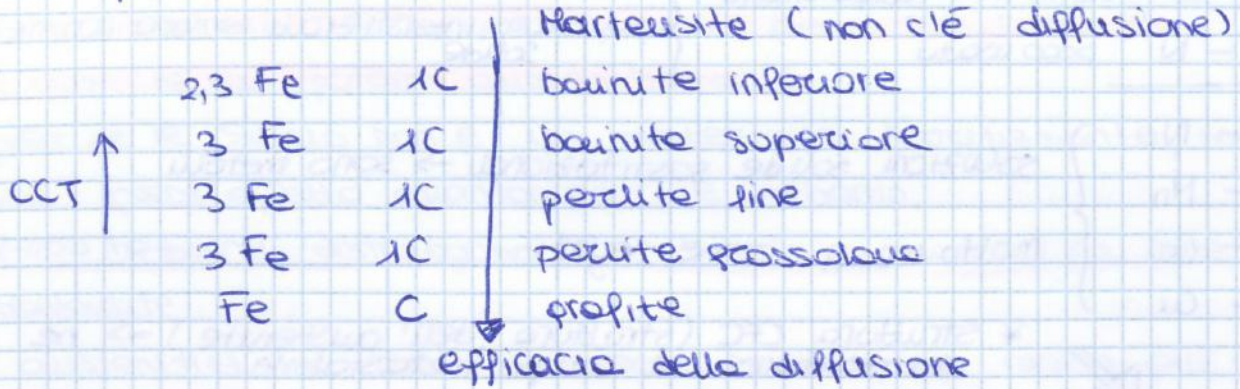
le curve sono spostate a destra e verso il basso.

Si discosta man mano che  $M_i$  avvicina al basso



Al punto eutelloidico ho: 12%  $Fe_3C$  e 88% Ferrite  $\alpha$ .

Nel meccanismo diffusivo potrebbe succedere qualcosa di intermedio. A temperature basse il meccanismo di diffusione è molto rallentato rispetto alla perlite, ma miscela ferrite - cementite è molto più fine.



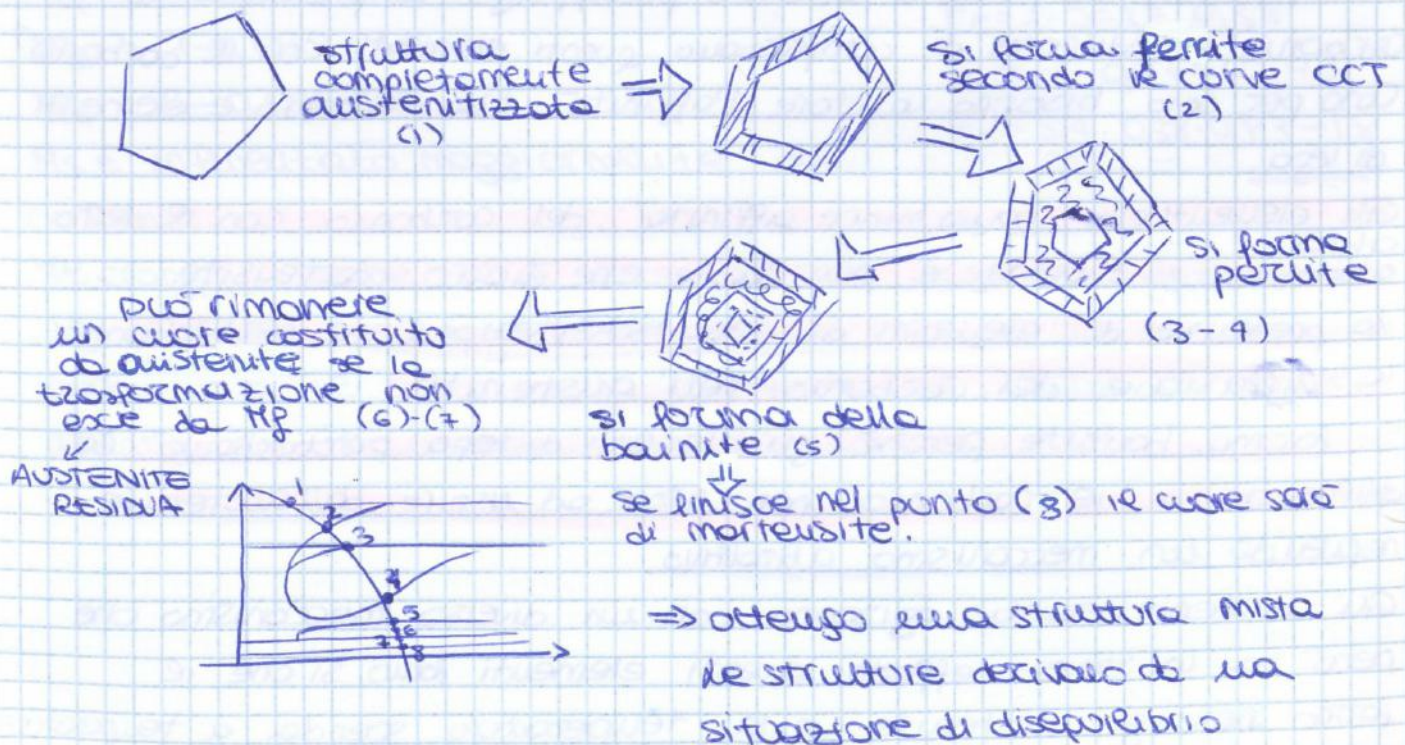
Tutte queste trasformazioni le vediamo in qualche misura nelle curve CCT.

La Bainite deriva solo da un raffreddamento (fenomeno di tempo) ed è polifasica.

La bainite è una struttura di tempo.

Una struttura simile alla bainite si può ottenere per rinvenimento della martensite.

Le trasformazioni avvengono con una certa progressione all'interno dei cristalli.



Si spostano le curve CCT a destra e in basso. => maggior martensite  
 Il silicio ha una dimensione simile a quella del carbonio, ma è molto più grande, quindi da soluzioni solide sostituzionali, lui vuole catturare più elettroni messi a disposizione dai metalli nobili.

Il silicio scaccia il carbonio, quindi questo non riesce a esplicitare il suo potere austenitizzante.

Di per sé il silicio non è un materiale ferritizzante, ma ottiene quest'effetto allontanando il carbonio.

Le ferritizzanti distruggono il reticolo e riducono la fase di martensite.

Gli austenitizzanti hanno una zona martensitica molto più stabile.

STABILIZZAZIONE TERMICA: quando ho una struttura metastabile, le lamine metalliche sono tolleranti e questa struttura si stabilizza: o espello subito il carbonio o piano piano si integra.)

Ci sono delle Formule Empiriche che identificano alcuni punti sulle CCT:

$$M_s = 514 \cdot F - 18$$

$$F_c = 1 - 0,62 \% C$$

$$F_{Cr} = 1 - 0,07 \% Cr$$

$$F_{Si} = 1 - 0,033 \% Si$$

$$F_{Ni} = 1 - 0,045 \% Ni$$

$$F = F_c \cdot F_{Cr} \quad \text{es. } 1 \% C ; 1 \% Cr$$

$$F_c = 1 - 0,62 = 0,38$$

$$F_{Cr} = 1 - 0,07 = 0,93$$

$$M_s = 514 \cdot 0,38 \cdot 0,93 - 18$$

$M_s$  è influenzato maggiormente dal carbonio.

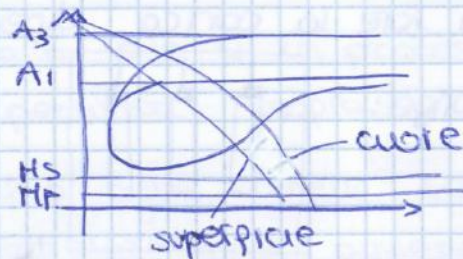
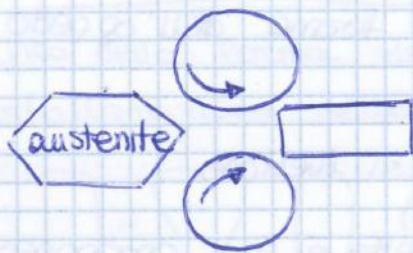
Il cromo anche se è ferritizzante, abbassa di più il  $M_s$  del nichel perché dipende dalla facilità con cui il carbonio fa il salto nella martensite: il cromo ha grande affinità con il carbonio e gli impedisce il salto.



**LINGOTTI:** affetti da: - disomogeneità chimica (superficie più povera di elementi di lega)  
- disomogeneità strutturale (cristalli più grossi sulle pareti)

La disomogeneità chimica è il difetto più importante: devo portare il materiale a omogenizzarsi chimicamente attraverso una diffusione efficace ad alta temperatura (temperatura di austenizzazione) così da far ingrossare le pareti dell'austenite. Voglio ora eliminare i cristalli a parete sulle pareti del lingotto per ottenere una struttura isotropa (stesse proprietà meccaniche nelle tre direzioni).

Quindi devo compiere una **RICOTTURA COMPLETA** (omogeneizzazione chimica + ricristallizzazione). Una volta riscaldato il materiale lo deformerò plasticamente a caldo: sul laminato avviene un fenomeno di segregazione differenziale delle varie fasi.



Un superficie posso avere un po' di martensite mentre nel cuore avrò una struttura ferritica-perlitica.



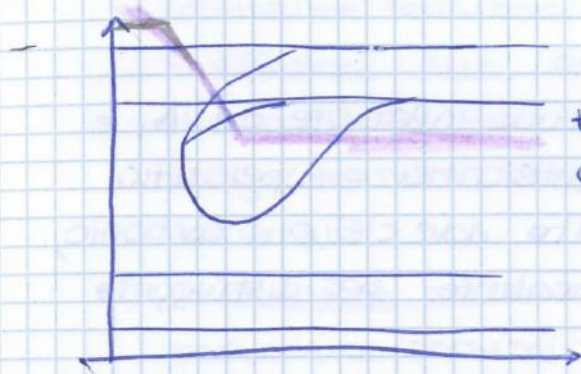
Nasceranno di sicuro delle tensioni interne dovute alle differenti durezza tra bordo e cuore.

Se eseguo un raffreddamento lento potrei non avere martensite nella superficie.

Esiste un fenomeno che annulla le problemi della martensite: il laminato è fatto in aria, quindi la superficie è decarburata (il carbonio sposta la curva della superficie) quindi anche superficialmente avrò ferrite e perlite e non martensite, in una struttura alternata. ⇒ struttura di tipo fibroso decarburata in superficie. La laminazione porta a un difetto ineliminabile, la pelle deve essere scartata tramite la **PERLITURA** (devo fare delle laminazioni meccaniche per assorbire di tutto).  
 (devo fare delle laminazioni meccaniche per assorbire di tutto).

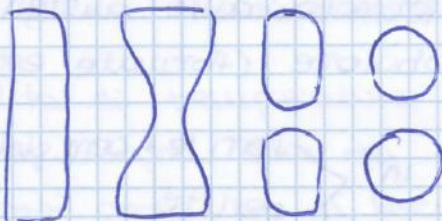
da NORMALIZZAZIONE è una sottocategoria dei trattamenti di ricottura; è una ricottura destinata ad acciai poco temprati.

RICOTTURA ISOTERMICA: mantenimento isoteramico per annullare gli effetti di differenza tra superficie e cuore, per acciai a basso tenore di carbonio (curve CCT spostate verso sinistra). Ottengo una struttura non più ferritico-perlitica ma ferritica con cementite sferoidale dispersa. Utile se devo fare un processo di deformazione a freddo.



temperatura costante fino a completamente della trasformazione.

Modifica della forma della lamella a valle di un processo di ricristallizzazione della colonia perlitica (sopra  $A_3$ )



Modifica delle lamelle detta SFEROIDIZZAZIONE; avviene spontaneamente sotto l'azione della tensione superficiale.

Otengo una struttura indicata per:

- acciai a basso tenore di carbonio che debbano essere sottoposti a deformazione plastica a freddo; miglioro le loro deformabilità (deformazione in una matrice completamente ferritica, la cementite è soltanto la fase rinforzante)
- caso in cui devo migliorare le proprietà per una successiva lavorazione per asportazione di truciolo su acciai eufetoidici o ipereufetoidici; rende il materiale più lavorabile.

È necessario fare la ricottura per ottenere della ferrite globulare? <sup>se lo</sup> Scopo del trattamento non è quello di ricristallizzare ma solo rendere globulare la cementite: devo mantenermi sotto  $A_1$  e lasciare il tempo ai cristalli per cambiare forma.

Ne processo non è governato dalle curve CCT.

Detta anche ricottura di SFEROIDIZZAZIONE: viene a mancare le

sufficientemente elevata mette in movimento le dislocazioni (climb) che possono modificare le piani di scorrimento e combinarsi tra loro.

Tre tipi di tensioni:

- a) Getto: pezzo sottoposto a colata. Si osserva un RITIRO INTERNO, tensioni di ritiro che possono essere minimizzate tramite un trattamento di RICOTTURA di DISTENSIONE
- b) Giunzioni saldate. Le SALDATURE sono percorse da fortissime tensioni da ritiro nel cordone di saldatura. Si effettua una RICOTTURA di STABILIZZAZIONE per eliminazione delle tensioni interne che se no a lungo termine porterebbero alla deformazione del materiale.
- c) Lavorazione meccanica per ASPORTAZIONE di TRUCCIO: porto via porzioni di materiale dal pezzo e modifica l'equilibrio interno, il materiale risponde con una deformazione.

Tutte queste ricotture hanno come base l'instabilità dimensionale.

La salita di temperatura non può essere a una velocità costante, bisogna fare dei gradini di pre-riscaldamento soprattutto per pezzi grossi e di forma complessa.

Durante il tratto a temperatura costante, il pezzo viene uniformato alla stessa temperatura; il tempo di permanenza deve uniformare tutta la carica o il pezzo.

Adatto per materiali a minor conducibilità termica (acciai inossidabili). La ricottura è meno importante perché si fa sul pezzo su cui devo fare ancora molte operazioni e ho dei tempi di mantenimento molto lunghi.

Il pre-riscaldamento è fondamentale sul semi-finito, cioè devo farlo prima della bonifica; risulta essere obbligatorio su pezzi allo stato semifinito.

Ma alcuni casi esistono le curve TTT più facilmente di quelle CCT. Scopo: trovare la velocità critica per avere la martensite, quindi se con una TTT ho almeno il 50% di martensite allora posso usare anche le CCT perché sono

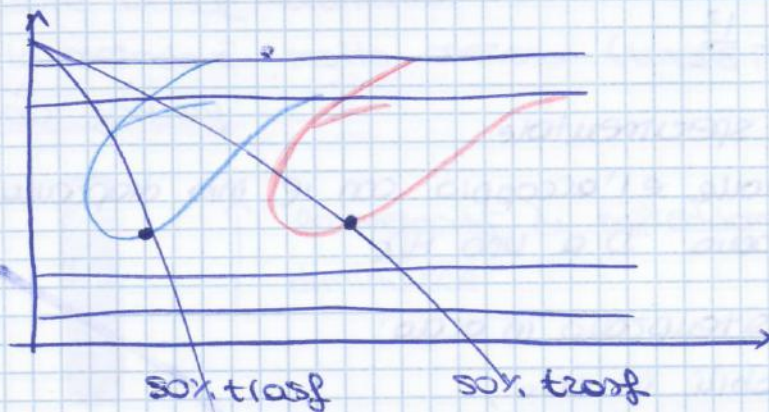
quello che modifica la posizione del punto sull'asse delle ascisse è l'efficacia del mezzo termico: più efficace, più a destra e non arriva a 1.

Due tipologie di diagramma.

- con le diametro del provino sull'asse orizzontale
- con le diámetro critico: le diametro più piccolo che prende tempo fino a cuore

Il punto (a) rappresenta le diametro ideale critico (nempce più a destra con meno pendenza).

Se fisso le mezzo termico e cambio le tipo di acciaio, cambio le curve CCT



meno termabile

più termabile: posso termare un pezzo più grosso perché la linea di raffreddamento è più a destra.

VARIABILI di TEMPERA:

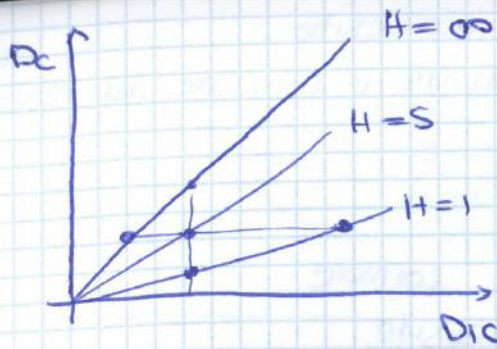
- efficacia mezzo termico
- diametro del pezzo
- qualità dell'acciaio

Voglio determinare le diametro critico avendo ho un mezzo termico ideale (destruttura infinito).

$$\lim_{H \rightarrow \infty} D_c = D_{ic}$$

Il mezzo termico smaltisce a  $t=0$  tutto il calore ma l'acciaio non ha conducibilità infinita. Il calore deve riempire il wire dal centro alla superficie.

Mi manca un numero che mi indichi la durezza del mezzo termico  $\Rightarrow$  MODELLO SPERIMENTALE: quello le diagramma con un parametro  $H$  indice di durezza di termica per le diametro del provino.



questo metodo è detto METODO di GROSSMANN

ogni curva per un certo acciaio

se cambio la drasticità del mezzo temperante mi muovo sulla verticale, gli acciai per avere lo stesso valore di  $D_c$  devono essere sempre a temprabilità diverso.

se mantengo uguale l'acciaio ma cambio la drasticità, abbassando il valore di  $D_c$  aumento.

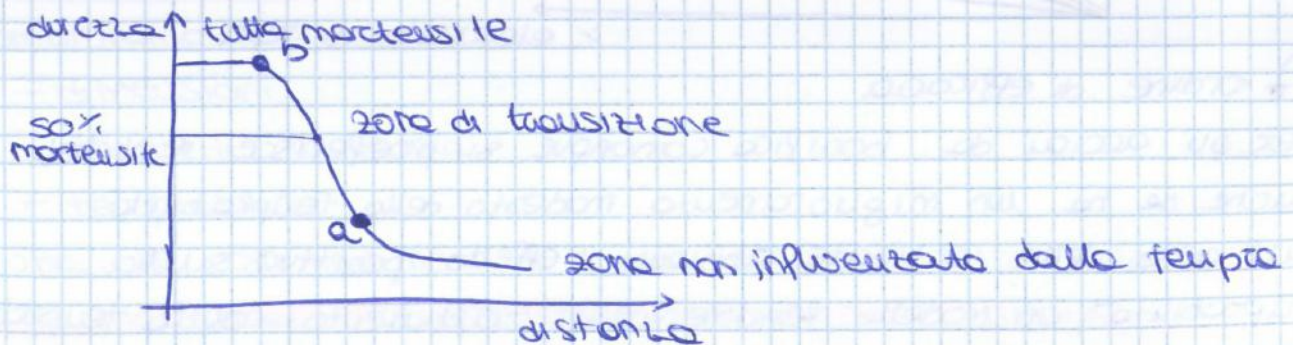
questo metodo è molto oneroso (tutti provini da fare)

METODO JOMINY:



la velocità di raffreddamento diminuisce.

si rappresenta una curva in funzione della distanza con in ordinate la durezza; man mano che mi allontano dalla base temperata la velocità di raffreddamento diminuisce.



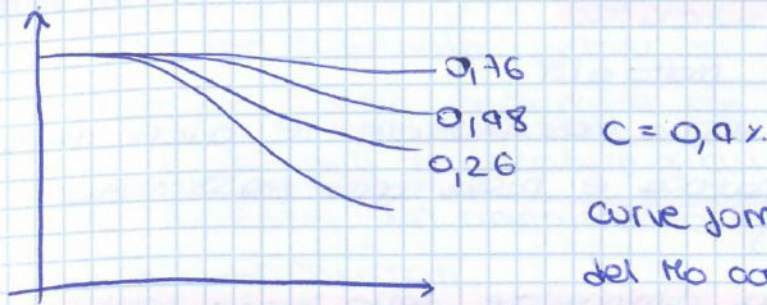
Traccio la curva misurando i valori di durezza su una generatrice del provino: valori massimi di durezza sulle zone del provino.

Il provino è costituito da un acciaio a modesta temprabilità e

- è pieno (a) vicino all'asse delle ordinate

- c'è una netta differenza tra la linea costante e la curva (b)

chi mi influenza il punto di partenza è il valore del contenuto



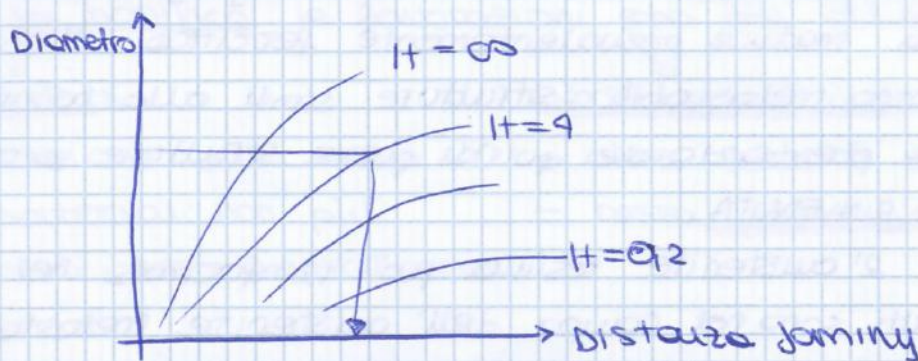
Curve Jominy al variare del tenore del Mn con lo stesso tenore di carbonio

- Situazioni di diversa concentrazione di elementi di lega nel provino

- situazione di degrado del carbonio nelle lavorazioni.

mi danno l'analisi del provino di colata diversa da quello del mio oggetto finito.

Diagrammi di tipo sperimentale detti CURVE di JOMINY



distanza jominy minore = maggior durezza.

A parità di H, diminuendo le diametro avrò una durezza maggiore e una distanza minore di Jominy

Più il provino è grande più dev'essere lavorato sulla distanza di tempo e sulla temprabilità.

Combiniamo 3 parametri:

- dimensioni
- durezza di tempo
- temprabilità

Risulta che comunque ho uno stato tensionale importante: con la tempera avremo sempre delle deformazioni dimensionali  
 un po' di austenite la tempera bene perché soprattutto in superficie consente delle deformazioni non trapili.

Il carbonio in posizione interstiziale tensiona la struttura: dev'essere uscite il carbonio dalla martensite quindi dev'essere scaldare ma non tanto in modo da arrivare alla perite.  
 si fa quindi il RINVENIMENTO, fatto il più vicino possibile alla tempera.

tempi di più rinvenimenti, non ha lo stesso effetto: ottenere più martensite non rinvenuta quindi si preferiscono più rinvenimenti da tollerabilità della martensite non rinvenuta dipende dalla quantità e da quali temperature a cui deve subire il pezzo: potrebbe succedere un rinvenimento in opera creando delle variazioni dimensionali.

La BONIFICA si fa sul semi-finito.

Dopo la bonifica si fa: - una rettificazione finale (che già resiste all'usura)

- trattamenti termici superficiali.

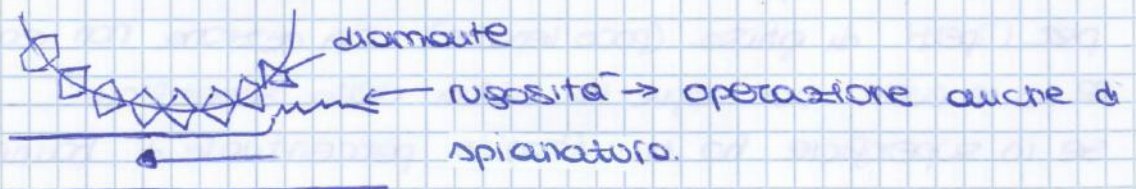
Nelle lavorazioni di asportazione di truciolo la profondità di passata è dell'ordine del decimo di millimetro.

Dopo la bonifica le lavorazioni sono dell'ordine dell'1,2%.

### RETTIFICA

lavorazione alla mola per materiali non più lavorabili per asportazione di truciolo.

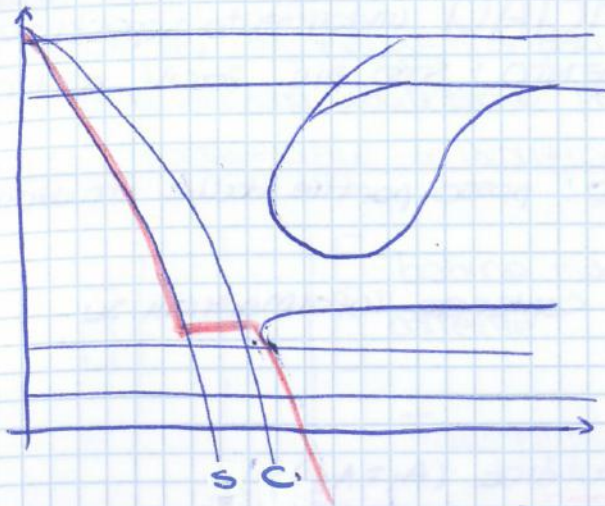
Mole cilindriche (posso seguire le contorni del pezzo) o a tazza (superfici piane)



Si scassa il materiale sottoforma di polvere e non di truciolo; ho bisogno di un getto d'acqua raffreddante che lubrifici e raffreddi la zona, quindi tutto a produrre fanghi e non più polveri di rettificazione.

Materiali più facili da lavorare sono quelli a più elevata durezza (che non si rigano) perché la mola è abrasiva. Su materiali teneri il metallo tende a rivestire la mola impedendola. La mola si rinvigorisce con un cristallo di diamante sintetico più consistente.

Gli acciai rinvenuti a temperatura bassa sono più rettificabili.  
La rettificazione si fa passare dal semi-finito al quasi-finito.



Per leghe molto temprabili  
Nulla vieta anche la  
presenza di bainite se il  
naso della zona isomorfica  
è più verso sinistra.  
La bainite è deformabile  
e agevola il materiale.

Queste due tecniche sono più costose perché devo tenere un  
bagno di sali fusi (nitriti e nitrati) continuamente caldo.

\* MARTENSERING: tempera martensitica seguita da autorinvenimento

Per acciai autotempranti, perché devo andare a temperare in  
aria. Sfrutto il calore immagazzinato nel pezzo per fare  
il rinvenimento.

Da parte interna si trasformerà in martensite e poi fatto  
il rinvenimento.

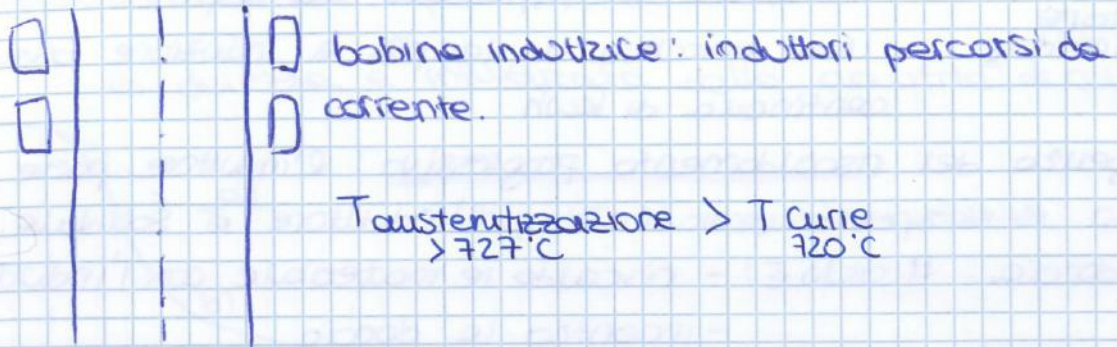
Per pezzi di sezione grande.

Posso fare la stessa cosa di un autotemprante in aria  
con un bagno salino raffreddante.



quando faccio il riscaldamento di tempo vedo con queste curve quale sia il tempo di permanenza in forno corretto. Le CHT sono anche utilizzate per:

★ TEMPERATURE SUPERFICIALE a INDUZIONE



l'effetto skinning induce correnti parassite nel pezzo, che però passeranno tutte in superficie.

la profondità del passaggio della corrente è data da  $\delta$ .

Arrivati a una certa temperatura la permeabilità magnetica del pezzo diminuisce (temperatura di Curie) e  $\delta$  aumenta.

Durante il riscaldamento il materiale subisce la trasformazione da ferromagnetico a paramagnetico.

$f = 50 \text{ Hz}$  frequenza di rete; per il riscaldamento massivo prima della deformazione plastica a caldo: riscaldare i pezzi uno a uno in linea

le potenze in gioco sono estremamente elevate.

Per tempore solo la zona superficiale deve superare abbondantemente la temperatura  $A_3$ : riscaldare unicamente la sezione che dovrà essere sottoposta a indurimento.

Conveniente dal punto di vista energetico

$$\delta = \sqrt{\frac{2P}{\mu \omega}}$$

$\downarrow$   
 $2\pi f$

★ vedi fondo "Capitolo" (- Post-IT)

$$P_e = \frac{\rho I^2}{2\pi S h} \rightarrow \text{effetto joule}$$

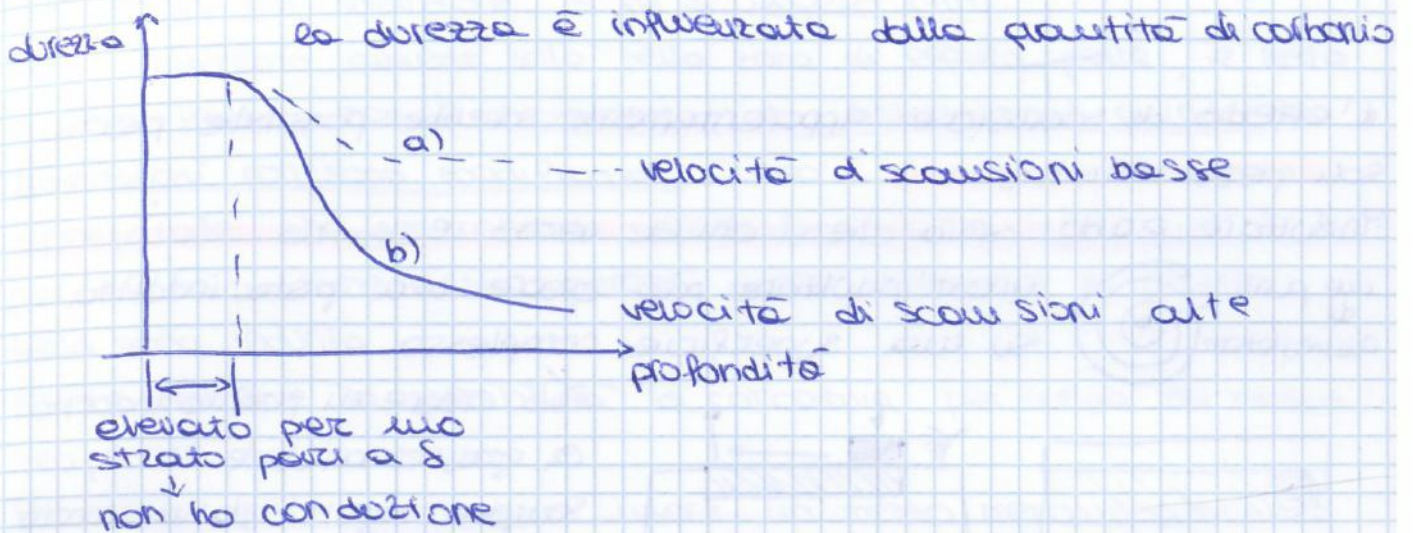
$\downarrow$

trasfero: distanza tra il pezzo e l'induttore: al diminuire di  $h$  aumenta la potenza elettrica all'indotto.

Il pezzo non è immobile tra le spire ma deve essere messo in rotazione. Se tenessi fermo l'induttore il riscaldamento non sarebbe uniforme.

Determinante rispetto all'effetto pelle è il valore del trasfero.

raffreddato circa una temperatura maggiore di quella della superficie che invece viene raffreddata drasticamente. Se la velocità di scansione è bassa anche più calore a cuore utilizzato per dare autorinvenimento. Nella media dei casi si preferisce evitare quest'effetto.

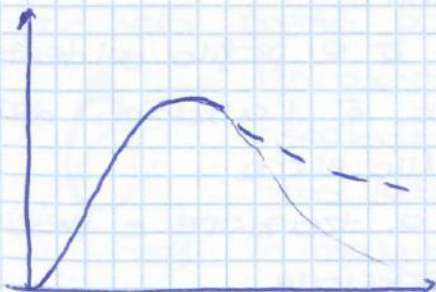


Normalmente si richiede che la transizione tra la parte indurita e la parte non trasformata sia marcata.

La superficie prende subito tempo e la martensite in a) si forma dopo crepuscoli tensioni. Normalmente si lavora ad alte velocità per evitare le tensioni.

Per pezzi critici nulla vieta un rinvenimento a bassa temperatura in forno.

Distanza doccia-induttore: se lo avvicino troppo i pezzi incomincio ad avere la zona di tempo troppo presto, se li allontano troppo ho l'effetto induttivo fuori.



All' aumentare della distanza diminuisce la drasticità di tempo e diminuisce la quantità di martensite

Parametri: - frequenza

- potenza elettrica
- velocità di scansione
- distanza doccia-induttore
- drasticità del mezzo temperante
- capacità termica

Si riduce la drasticità aggiunta glicole etilenico  
↓  
AQUAQUENCH

molto grande e l'ingranaggio deve avere un certo spessore.  
 Temperatura per dente per ingranaggi estremamente grossi: non conta l'altezza del dente ma lo spessore dell'ingranaggio.

A denti dritti l'ingranaggio rimane fermo e l'induttore si muove, a denti elicoidali l'ingranaggio si muove e anche l'induttore.  
 La temperatura ad induzione si fa su oggetti finiti.

Il riscaldamento avviene solo nella zona di effetto pelle, il resto rimane freddo, non c'è movimento di dislocazioni quindi le dimensioni non sono modificate. Questo è l'unico trattamento superficiale che non richiede riscaldamento massivo ed è il più efficace che esista perché posso disegnare il profilo della zona indurita.

Esiste comunque la possibilità di cricatura per colpa del mezzo temperante molto drastico.

Per acciai più legati devo usare un mezzo meno drastico.  
 La temperatura ad induzione non è possibile su tutti i materiali!

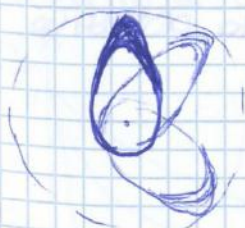
I materiali di media temperabilità si temperano in olio.

La doccia non si fa per immersione ma l'acqua è gettata sottopressione e nebulizzata per evitare la formazione di vapore che rende più lento il mio raffreddamento. La doccia è soprattutto usata per piccole zone.

### ALBERI a CAMMA:

Lo strisciamento avviene sulla parte alta della camma, le camicie sono orientate in modo diverso sull'albero.

La parte alta è accoppiata con l'induttore, il resto no, quindi tempero solo questa parte.



In questo trattamento l'albero non viene mai riscaldato quindi non si storge.

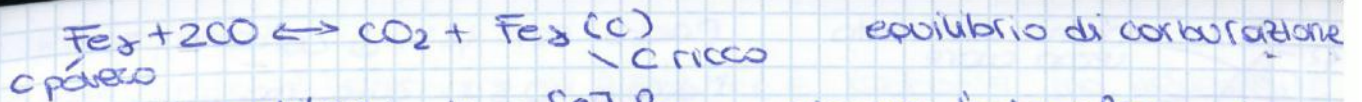
Sono fatti di ghisa speciale (nella ghisa conta la matrice non la quantità di carbonio).

### VITI a CIRCOLAZIONE di SFERE: lunghe diversi metri.

La vite deve rimanere dritta, lavorare a rotolamento all'usura molto alta perché non sono lubrificate.

Acciai con medio-alti tenori di carbonio legati con elementi che migliorano la resistenza all'usura.

Quando le passo rimane costante sono sicuro di aver trasformato



Costante di equilibrio:  $k = \frac{[C] P_{CO_2}}{P_{CO}}$  siccome l'atmosfera è costante  $k = [C]_{ep}$ .

la reazione si sposta verso sinistra all'aumentare della temperatura  $k$  diminuisce all'aumentare della temperatura; e' atmosfera decarburante porta l'equilibrio a sinistra.

Utilizzo l'atmosfera 90/40/20 come gas portante e le metano o le spl come gas arricchente.

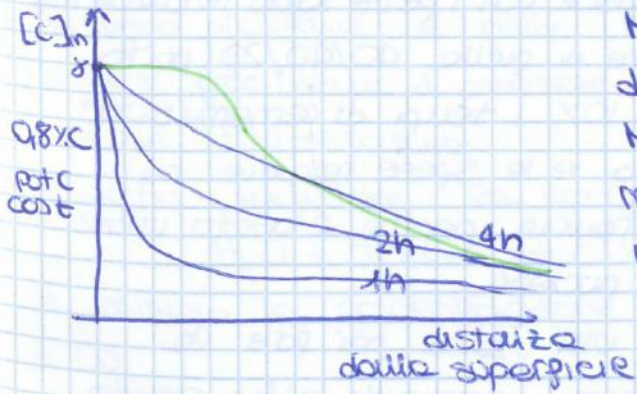
Se potenziale di carbonio rimane costante al variare della temperatura. Più è alta la temperatura più devo usare un gas arricchente perché il potenziale di CO in atmosfera diminuisce: devo controbilanciare la reazione e spostarla verso destra.

La cementazione carburante induce elevata durezza in superficie e un cuore tenace. Il tenore di carbonio in superficie è più elevato rispetto agli oggetti fatti per induzione.

Se carbonio non solo deve entrare in superficie ma deve anche diffondere quindi devo considerare i fenomeni diffusivi: alzare la temperatura significa diminuire il carbonio, mettere altri arricchenti significa nuovamente tempo e aumentare lo shock termico. È una tecnica complicata, bisogna trovare un compromesso.

Il profilo di diffusione è un grafico con concavità verso l'alto in funzione del tempo.

A tempi brevi avrò un arricchimento superficiale e un contenuto a cuore uguale a quello originale dell'acciaio.



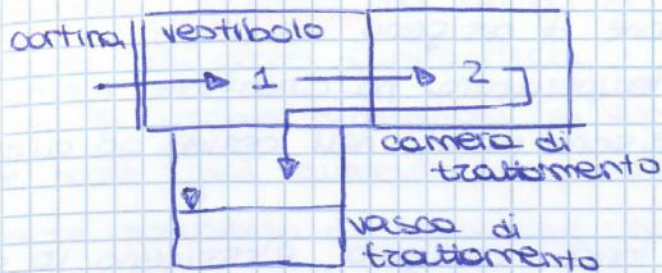
Non meno che passano le ore la diffusione è migliore. Ma nei casi di 1,2,4h le proprietà meccaniche dello strato cementato non sarebbero buone.

Voglio ottenere un processo del tipo // : una diffusione a temperatura costante non mi potrà mai dare un profilo di questo tipo. Nel variare il potenziale di carbonio.

decarbonante.

Ne potenziale di carbonio nel forno non è costante ma leggermente variabile.

Trattamento fatto in un forno particolare:



Nel sistema entra atmosfera ed esce atmosfera esausta, c'è un continuo bisogno di un ricambio di atmosfera perché vado a perdere i gas carburanti.

Nel primo tratto vado a caricare le forno (preiscaldamento). La carica è in atmosfera perché voglio evitare l'ossidazione dei pezzi.

La porta di ingresso deve essere tale da evitare che entri aria: ci vuole un bruciatore, una cortina di fiamma che evita l'uscita dell'atmosfera e in piccola quantità brucia l'idrogeno. Questo è l'unico processo in cui l'ingresso è schermato da cortina viene accesa solo quando viene aperta la porta.

La carica si preiscalda e passo in 2.

Viene mantenuta per un certo tempo affinché avvenga la cementazione e viene portata nella vasca di tempera attraverso il vestibolo.

Ne forno, detto PAGEMACKER, può trattare cariche in continuo in quanto quella temperata non ostacola l'entrata di una nuova carica.

Ne vero problema è quello di ricambiare correttamente l'atmosfera. Nasce il problema di pilotare l'ingresso della nuova atmosfera, ma a quale temperatura?

Bisogna valutare la concentrazione di acqua nell'atmosfera:



Se misuro la concentrazione di  $\text{H}_2\text{O}$  misuro anche la concentrazione di  $\text{CO}$ .

Un'atmosfera 40/40/20:  $\text{Fe}_3 + 2\text{CO} \leftrightarrow \text{Fe}_3(\text{C}) + \text{CO}_2$  è l'equazione di cementazione da cui risalgo al potenziale di carbonio.

Più bassa è l'umidità dell'atmosfera, più bassa è la temperatura

cementazione, quindi gli acciai da cementazione contengono degli elementi di lega che fanno da affinantissimi del grano austenitico (elementi stabilizzanti dei carburi). questo ostacola il processo di carburazione, si creano carburi quindi questi elementi di lega non devono essere troppi, ma un po' ci vogliono perché inibiscono la crescita del grano austenitico.

Per pezzi di grandi dimensioni si vuole spingere il trattamento in fase boost: più aumenta la percentuale di metallo, più abbiamo la reazione parassita di cracking: non posso caricare entro un certo limite.

Devo accelerare il processo grazie all'azione della temperatura a circa 950°C ⇒ CEMENTAZIONE ad ALTA TEMPERATURA per acciai con grano austenitico di partenza molto fine (es. acciai contenenti alluminio).

Il trattamento di tempera crea distorsioni o dilatazioni per l'entrata del carbonio nella formazione di martensite, quindi dopo la cementazione bisogna fare un'operazione di superfinitura lo spessore della zona cementata è dell'ordine del millimetro, quindi non ne posso portare via tanto: passata di rettifica costosa quindi si fa la TEMPER SOTTO PRESSO in cui i pezzi vengono temprati nella vasca di tempera leno a uno in una morsa che fa sì che le quote si mantengano.

Il progettista propeterà i pezzi in base alle deformazioni che dovrà subire.

Dopo tempera si deve fare il rinvenimento, dobbiamo privilegiare la durezza quindi opero a circa 200°C

TEMPER a INDUZIONE

- resistere a tanta potenza
- costa meno
- indurimento a disegno
- se uso un acciaio extra duro lo specco

CEMENTAZIONE CARBURANTE

- resistere per tanto tempo
- acciai dolci
- spessori induriti minori (minore resistenza a carichi specifici)
- durezza maggiore (0,8% C)
- strati induriti di spessore costante esterni o interni.

↓  
se gas cementante eutza

ovunque, non ho zone di ombra. Devo ottenere una vernice

Non è tracciato allo stato liquido perché si decomporrebbe, ma è tracciato allo stato solido.

d'azoto nascente deve avere poca tendenza a diventare azoto molecolare.

La solubilità dell'azoto è lievemente più alta rispetto a quella del carbonio.

Trattando in ammoniaca entro nel campo  $\delta$ . Esiste un azoto martensite e l'azoto austenite da una martensite più dura.

d'azoto austenite è più stabile del carbonio austenite, avrà Mg molto più basso rispetto a quello del carbonio quindi rimane sempre dell'austenite residua.

Trattamento criogenico da azoto austenite.

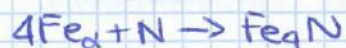
Non posso sapere la temperatura del primo eutettoide perché formerai austenite residua (550°C nel ferro/Azoto). Ma io ho un acciaio e devo guardare l'eutettoide ferro/Acciaio/Azoto e noto che l'eutettoide si sposta più in basso, a 550°C con contenuto di carbonio circa 0,1% (tenore di carbonio tipico degli acciai di bonifico).

Nella martensite rinvenuta la diffusione avviene a bordo grano martensitico.

Nitrotrazione fatta con un trattamento in ammoniaca parzialmente dissociata.

Formazione di porre  $\epsilon$  nella superficie che rende critico il procedimento di boost diffusion: la porre  $\epsilon$  è nemico della durezza.

La Nitrotrazione viene fatta in ammoniaca parzialmente dissociata per avere azoto nascente per produrre  $\epsilon$  ma non  $\delta$  (materiale tenero e stabile a temperatura ambiente)



La nitrotrazione non può essere pilotata tramite una sonda ad azoto.

Devo avere un predissociatore dell'ammoniaca, per dissociarla in un forno.

Per variare il potenziale di Azoto rispetto al flusso di ammoniaca predissociata in modo che il potenziale non scenda troppo nell'aria (ricambio opportuno dell'atmosfera).

Componente tenuta stagna per ammoniaca che produce  $H_2$ ; devo

# GLI ACCIAI

## ACCIAI da BONIFICA

Tenori di carbonio tali da garantire accettabile temprabilità incrementate dall'aggiunta di quattro tipi di leganti: Ni-Cr-Mo-Mn. Incrementano la qualità a discapito dell'allungamento percentuale.

↑ ↑ ↑ ↑ ↓	C25	}	temprabili in acqua: tenori di carbonio bassi quindi minor temprabilità, minor resistenza a carichi a trazione e maggior allungamento %.
	C40		
	C45	}	temprabili in olio.
	41Cr4		
	34CrMo4		
▼ 36CrNiMo4			

C40 acciaio principale da bonifica per componenti semplici. Elemento principale legante: Manganesio, lo ritengo senza materiali di aggiunta, ~96/96%. È anche determinato il contenuto di zolfo:  $S \leq 0,03\%$  e fosforo:  $P \leq 0,03\%$ . Se lo non ho bisogno di tenacità posso superare le limite di zolfo e fosforo.

Se gli acciai sono al semplice carbonio non ho sufficiente tenacità.

41Cr4 è un acciaio legato al solo cromo: temprabilità superiore al C40. È interessante in un solo caso: cioè quando dopo tempra è rinvenuto a basse temperature perché essendo legato al solo cromo questo induce fragilità da rinvenimento, non più visibile ad alte temperature.

Se finito il rinvenimento posso raffreddare molto rapidamente e carico, in modo da stare per poco tempo nella zona fragile, allora posso rinvenire ad alte temperature (500/600°C)

Se ho acciai che contengono anche Molibdeno e quindi non più sensibili a fragilità da rinvenimento.

Con Cromo, Nichel e Molibdeno ho un miglioramento delle caratteristiche tensili del materiale e migliora la temprabilità.

Il Nichel migliora ulteriormente la temprabilità perché è un elemento tenacizzante: non è uno stabilizzante dei carburi



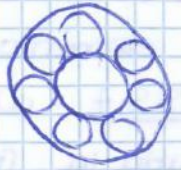
aumentare le tenore di carbonio e degli altri elementi stabilizzanti del carbonio.

## ACCIAI da CUSCINETTI (a sfere o a rulli)

- serve resistenza all'usura.

la rettifica viene eseguita alla fine di tutti i cicli.

L'elemento fondamentale è l'anello del cuscinetto, sia quello interno, sia quello esterno.



- Grande precisione dimensionale

- Poco costoso se possibile

100Cr6 acciaio ipereutetoidico dove la resistenza all'usura è fornita dai carburi di cromo. È un acciaio molto resistente alla fragilità da rinvenimento. Se non devo usare acciai da cementazione in cui il rinvenimento è dell'ordine massimo di 200°C. Ma essendo un componente di alta precisione devo rettificarlo, ma rettificare un acciaio da cementazione non va bene.

Devo temperarlo a 780°C (gli acciai ipereutetoidici si temperano a circa 50°C sopra l'eutettoide: devo superare A<sub>1</sub>, ma non A<sub>3</sub>).

Otengo prestazioni migliori garantendo precisione dimensionale che non mi può dare la cementazione.

La ricottura di sferoidizzazione (tempza) mi rende difficile lavorare quest'acciaio.

Se la temperabilità è insufficiente uso il 100CrMo7 che mi garantisce un aumento significativo della temperabilità.

17NiCrMo5 acciaio da cementazione impiegato per costruire cuscinetti; è un acciaio a buona temperabilità.

Il quarto tipo di acciaio da cuscinetti è l'acciaio inox martensitico

Il 100CrMo17 non è sostituibile, ha un carico specifico molto alto.

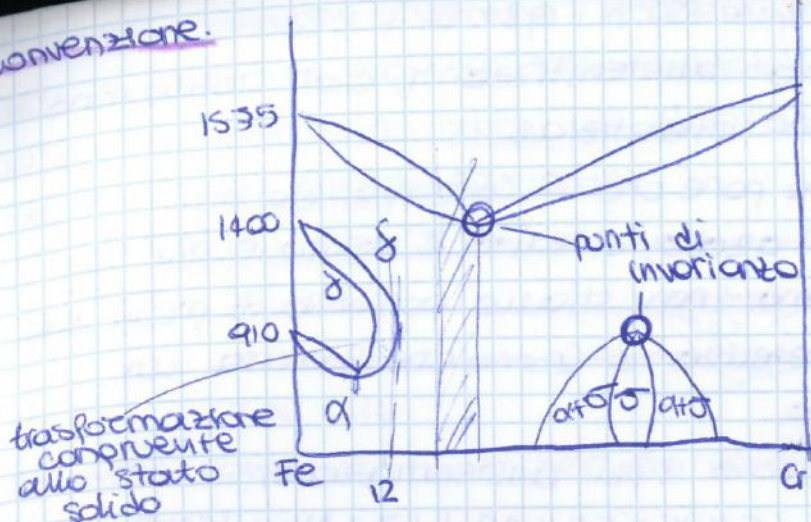
Non posso temperarlo a induzione perché temperandolo con acqua si spaccerebbe.

I cuscinetti metallici non vanno oltre un certo limite di resistenza all'usura, quindi si ricorre a cuscinetti ceramici.

**MOLLA:** componente che lavora in campo elastico, se sottoposta a deformazione, una volta rimossa la sollecitazione, recupera la deformazione.

Il limite elastico deve essere il più vicino possibile al

convenzione.



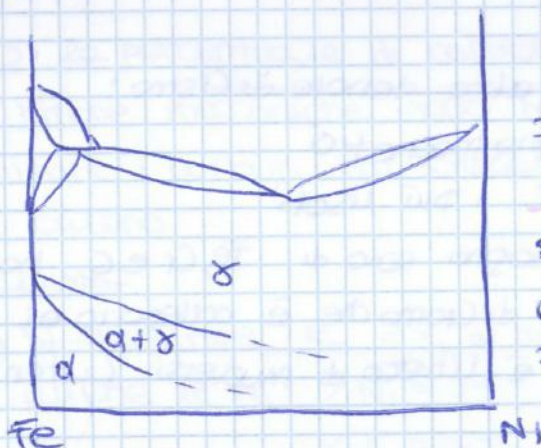
Se abbiamo una quantità di Cromo compresa tra il 12% e l'inizio di  $\alpha+\delta$ , se scaldiamo le pezzi avremo irreversibile del grano perché essendoci  $\alpha$  non abbiamo mai la ricristallizzazione e non avremo martensite.

Se metto il carbonio nella lega Fe-Cr andrà nella zona  $\delta$  quindi all'aumentare della percentuale di carbonio, le linee di  $\delta$  si spostano in basso e a sinistra/destra

Il carbonio va a formare carburi e ne forma carburi con il cromo questo non è più disponibile per ossidarsi, quindi devo mettere più cromo e meno carbonio possibile (acciaio dolce)

ISO7: Punto di invarianza in cui la fase avrà la stessa composizione del liquido.

La fase  $\delta$  è stabile fino a  $\approx 800^\circ\text{C}$  ed è uno dei difetti fondamentali che si possono avere nella saldatura.



Se voglio avere anche fase  $\delta$  devo aggiungere Nichel.  
Possiamo anche avere austenite residua al 100%.  
 $8\% \text{ Ni} \Rightarrow$  praticamente è tutta austenite (es. acciai criogenici)  
Per acciai inox non ferritici.

Gli acciai dolci sono molto saldabili quindi l'inox è saldabile perché ha poco carbonio.

Qual'è la struttura del cordone di saldatura? Uso diagrammi di tipo cinetico (come ad esempio le CCT). Si fa un diagramma utilizzando le nichel equivalente e le cromo equivalente.

Le ferritici possono presentare resistenza alla corrosione maggiore degli austenitici ma non sono saldabili perché sono sensibili all'ingrossamento del grano. di utilizzo principalmente se voglio ottenere degli oggetti magnetici.

Gli austenitici sono i più usati

AISI 304 %C = 0,05  
%Cr = 20  
%Ni = 10



- Ha <sup>maggior</sup> contenuto di Nichel che mi garantisce una struttura austenitica.
- Miglior prestazione dal tipo corrosivistico
- Massimo della formabilità!
- ottengo l'incrudimento: deformabile plasticamente a freddo (abbasso l'allungamento percentuale e aumento il carico a snervamento)
- per pentole
- Il tenore di carbonio è molto basso, quindi le resistenze meccaniche molto scendenti (250 MPa del carico di snervamento, ma  $A\% \geq 50\%$  <sup>alto</sup> <sup>basso</sup>)
- Non esiste nessuna lega ferritica che presenti miglior formabilità.

Anche chiamato 2010 o 188 (vecchio)

Come interagisce il carbonio negli Inox? interagisce con il cromo in seguito a un riscaldamento che mobilita il carbonio e causa la precipitazione di carburi (corrosione a bordo grano nei grani austenitici).

AISI 304 L la percentuale di carbonio tollerata è circa %C = 0,02. Le caratteristiche meccaniche sono molto simili, ma se il carbonio fa precipitare i carburi mi sottrae cromo e le proprietà meccaniche calano.

Alta saldabilità.

AISI 316 si aggiunge il 2% di Mo quindi devo aumentare anche il Ni: %Ni = 11

%C = 0,05

%Cr = 20



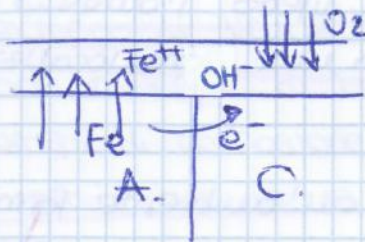
Il molibdeno si aggiunge per aumentare la resistenza alla corrosione, è più affine al carbonio rispetto al cromo quindi si afferra il carbonio e tutto il cromo rimane libero per fare da passivanti

Reazione Anodica:  $An + Me \rightarrow Me^{n+} + ne^{-}$  il metallo si ossida a ione.

Corrosione in ambiente acido: Cat:  $2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2$  solo se  $2H_2O + O_2 + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$  → per avere corrosione servono acqua e ossigeno.

C'è una sovratensione perché i prodotti di corrosione possono ostacolare il passaggio in soluzione.

Il ferro passa in soluzione sulla superficie:  $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$  nella zona ~~cattodica~~ <sup>anodica</sup>, mentre nella zona cattodica arriva ossigeno:  $2H_2O + O_2 + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$



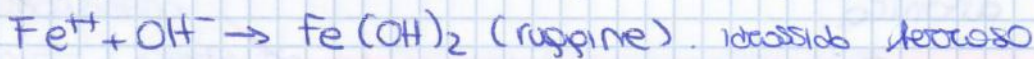
gli elettroni passano dall'anodo al catodo.

I<sup>a</sup> classe → trasporto elettronico

II<sup>a</sup> classe → trasporto ionico (più difficile)

Gli altri materiali non hanno conduttività elettronica e quindi non possono corrodersi.

Qual'è la zona anodica? e quella catodica? c'è un invertimento tra zona anodica e catodica istante per istante.



la ruggine ostacola il passaggio ulteriore in soluzione quindi la corrosione avviene nell'altra zona.

Coppia in cortocircuito istantaneo.

Fattore di localizzazione: tipico dei materiali allo stato passivo: una zona specifica del materiale ha comportamento preferenzialmente anodico o catodico.



attacco metallografico dovuto a soluzioni idroalcoliche come le Nitral che aggredisce la soluzione nel bordo di grano che ha maggior energia perché non ci sono più

dislocazioni. quindi tende a corrodersi i bordi di grano e così inalterata la superficie.

In luce radente: dove le Nitral non ha ancora attaccato, il metallo è riflettente e quindi bianco, risulta invece nero sui bordi di grano. Dopo un piccolo tempo di esposizione si scurisce e allarga le

Questo è un fenomeno che accelera perché la superficie attaccata è sempre maggiore.

Ad un certo punto gli ioni ferro riescono ad uscire, incattonano gli ioni  $\text{OH}^-$  e formano un piccolo vulcano di prodotto di corrosione ostacolando l'entrata di ioni cloro.



Se mantengo la soluzione in agitazione il fenomeno si blocca perché gli ioni cloro non si attaccano. Infatti per fermare un impianto chimico basta fermarlo

se no appena lo fermo devo fare un lavaggio completo.

Il fenomeno di luciolatura o Pitting è un fenomeno tipico di corrosione in acqua di mare.

I fenomeni di corrosione non sono istantanei, hanno bisogno di tempo però dopo che il fenomeno si è innescato diventa rapido. Per bloccare il pitting si può anche riossidare per esempio con acido nitrico che ossida la superficie creando un rivello stretto. Più lo strato passivante è stabile più è difficile l'attivazione del pitting.

Bisogna trovare un acciaio inox che renda lo strato passivante più potente; si può anche aumentare il cromo e il molibdeno.

INDICE di PITTING o PITTING RESISTENCE INDEX

$$IP = (\%Cr) + 3(\%Mo) + 16(\%Ni)$$

AISI 304  $IP \approx 20$

AISI 316  $IP \approx 20 + 6$

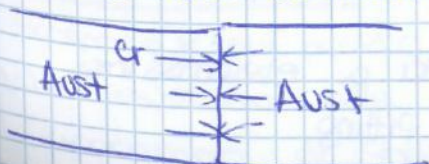
Se l'IP è maggiore avrà una minor tendenza alla formazione di vuoti.

In presenza di acque clorurate in ambiente neutro  $IP \geq 25$ , come ad esempio l'acqua di mare.

Sensibilizzazione alla corrosione intergranulare

Gli acciai inox hanno poco carbonio che va verso i bordi di grano e attira il cromo per formare carburi.

Prendiamo due cristalli di Austenite:



a  $800^\circ\text{C}$  il carbonio si diffonde bene, va ai bordi di grano e attira il cromo vicino

Essendo acciai austenitici hanno buona resistenza al creep.  
Sono utilizzati nei casi in cui sono soggetti ad attacco corrosivo ad alta temperatura. vengono anche detti ACCIAI REFRAATTARI perché sono applicati ad alte temperature come gli altri materiali refrattari però questi conducono le calore.  
Hanno una buona resistenza all'ossidazione a caldo.  
Contengono più carbonio per dare un po' più resistenza meccanica, tanto il cromo è abbastanza alto.  
Questi materiali non presentano transizione duttile - fragile. Sono senza a basse temperature (per tutti gli inox austenitici)

### ACCIAI INOX MARTENSITICI

AISI 416 Cr 13 x 12

AISI 420 x 30 Cr 13

### ACCIAI INOX FERRITICI

AISI 405 x 6 Cr Al 13 e alluminio è un ferritizzante, senza come affinità di piombo infatti i ferritici sono sensibili all'impassamento di piombo. L'alluminio si ossida perché è meno nobile dell'inox però è passivabile quindi lavora un po' come il cromo.

AISI 430 x 8 Cr 17 si formano carburi lungo le bordi di grano quando alza la temperatura

AISI 430F x 10 Cr 17 inclusioni di solfo di ferro che aumentano la durezza (fragilità del truciolo)

AISI 446 x 16 Cr 26 alta resistenza meccanica a trazione perché ha tanto cromo.

ci vuole il 12% per stabilizzare la ferrite quindi ci va almeno il 13% di Cr

### ACCIAI INOX MARTENSITICI

Sono acciai da utensili con in più la caratteristica di eccellente resistenza alla corrosione. Gli acciai da utensili devono possedere grande resistenza all'usura.

Sono fondamentali le seconde fasi (carburi) che impartiscono resistenza all'usura.

Il cromo è il più povero stabilizzante dell'austenite però dona anche resistenza alla corrosione.

Il diagramma di Shreffler non è molto interessante in questo caso

che potremmo prevedere data la composizione, con  $e' \times 12$  a queste temperature entro completamente nel campo dell'austenite (le  $e$  inite del 12% esiste nel diagramma Fe-Cr ma poi abbiamo anche C)

410  $\rightarrow$  completa scomparsa dei carburi

420/440  $\rightarrow$  rimangono sempre carburi indisciolti

Per evitare l'anisotropia i carburi che rimangono devono essere disposti in modo uguale

Non distruggo completamente i carburi primari, la distruzione parziale deve essere tale da dare martensite con buone caratteristiche prestazionali.

Più carbonio disciolto c'è, più è dura la martensite; aumentando il carbonio in soluzione espando il campo dell'austenite e oltre a martensite ottengo anche austenite residua perché la martensite finish si sposta verso le basso. Quindi diminuisce la durezza del materiale, non quella della martensite.



$\rightarrow$  dopo dovrei fare un raffreddamento criogenico e otterrei elevata durezza

preferisco sempre stare sotto il massimo, non sopra. Voglio contenere le deformazioni quindi imparisco minor shock termico. Se non ottengo abbastanza durezza posso fare solo un altro processo di tempera.

la temperatura di tempera dipende da:

- struttura iniziale
- contenuto di carbonio

410/420 usati per fare forgenti che vengono fuori da un processo di laminazione.

la forgiatura aiuta a controllare i carburi perché si spaccano e vengono impastati (FORGIATURA TRIDIMENSIONALE) quindi ho più facilità a controllare i carburi su un blocco.

410/420 ipereutetoidici

440 ipereutetoidico: il cromo ha spostato l'eutetotide a un più basso tenore di carbonio.

## ACCIAI INOX BIFASICI

da fase ha la tendenza a passivare l'altra fase, quindi risultano entrambe inattive e tra loro passa una debolissima corrente di corrosione.

Potrei, non in questo caso, aspettarmi delle coppie locali di corrosione per contatto galvanico tra fase più nobile e quella meno nobile.

Gli elementi di lega che migliorano la resistenza al pitting sono: Cr, Mo, N e W. L'azoto favorisce la precipitazione di nitruri: la precipitazione fa male quando avviene ai bordi granulari; se invece i nitruri sono ben distribuiti migliorano le caratteristiche tensili.

Le duplex sono stati inventati per migliorare la corrosione sotto sforzo (se i nitruri sono uniformemente distribuiti nella matrice)

Le mix austenite ferrite consente di avere una parte di matrice ad altissima resistenza (rafforzante) data dalla ferrite e una parte tenacizzante data dall'austenite.

Si cercano molti compromessi perché si vuole ottenere le 50% di ferrite e le 50% di austenite.

	N	IP	R
X 2 Cr Ni 23-4	0,05 ÷ 0,2	25	400
X 2 Cr Ni Mo 22-5-3	0,1 ÷ 0,22	35	460
X 2 Cr Ni Mo 25-7-4	0,2 ÷ 0,35	>40	530
X 2 Cr Ni Mo W 25-7-4	0,2 ÷ 0,3	>40	530

### X 2 Cr Ni 23-4

Ho aumentato il cromo rispetto agli inox usati per avere una matrice con uguale percentuale di austenite e ferrite, e ho diminuito il tenore degli austenitizzanti come il nichel.

L'indice di pitting è comparabile con quello dell'AISI 316, ma non ha Molibdeno, quindi è più conveniente perché ha anche resistenza meccanica quasi doppia ma la formabilità è inferiore.

Il bilanciamento austenite-ferrite si ottiene:

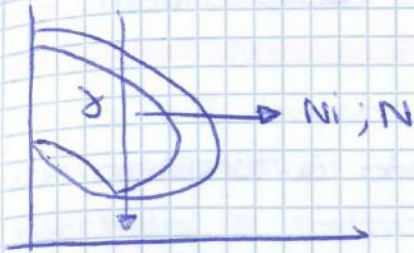
- per raffreddamento controllato a partire da liquido
- per trattamento termico.

Da liquido, riprendendo i diagrammi Fe-Ni, Fe-Cr, si forma spontaneamente ferrite  $\delta$ , ho bisogno di un raffreddamento lento per



X2 CrNiMo 25-7-4

l'Indice di pitting è il più alto che ci sia.  
(piattaforme petrolifere marine)



Ni e N aumentano il campo dell'austenite, rendono l'austenite meno propensa a trasformarsi in ferrite. Il 10% di Nichel evita il passaggio da austenite residua a austenite per il difetto di Schaeffler.

la lega deve avere la tendenza a destabilizzare l'austenite per far sì che si formi ferrite. Devo passare in un campo di austenite metastabile, quanto sia metastabile dipende dalla quantità di Nichel e Azoto.

Cromo e Molibdeno contrastano l'effetto di Nichel e Azoto.

quando creo le superduplex mi serve avere tanto Nichel perché aumenta l'indice di Pitting, quindi devo aumentare anche il cromo e il molibdeno e mi serve una parte di austenitizzante dato dal Nichel.

X2 CrNiMoW 25-7-4

Il Tungsteno aumenta l'indice di Pitting

Ogni tanto si utilizza anche il rame come austenitizzante.

Con i duplex posso avere stessa resistenza meccanica e a corrosione riducendo il peso della lega.

## SALDATURA

Criterio di saldabilità:

$$Cep = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+W}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \leq 99 \div 95$$

elemento più limitante la saldabilità

gli elementi di lega limitano la saldabilità perché aumentano la temprabilità; potrebbero crearsi tensioni da martensite.

Fattore limitante: negli inox c'è un alto valore di elementi di lega.

- Devo proteggere il cromo e il molibdeno dall'ossidazione, non devono affiorare in superficie durante la saldatura.
- Devo mantenere il bilanciamento tra austenite e ferrite nel

decompone in azoto atomico.

Nei duplex siccome il cordone tenderebbe a essere di ferrite & se io metto un po di azoto nel pos aumento la quantità di azoto nel cordone e uso un metallo d'apporto tenacizzante per compensare i nitruri di azoto.

L'argon puro è troppo poco conduttore rispetto all'arco elettrico.  
SISTEMA AUTOMATICO:

La bacchetta è sostituita da un filo alimentato in continuo. Tutto dipende dalla velocità di alimentazione, se è troppo bassa il cordone non è penetrato completamente ed è in carenza di metallo liquido ed è affetto da incisione marginale



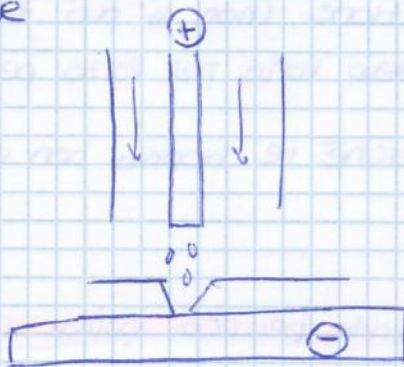
Il cordone subisce fenomeni importanti da ritiro.

Lo zolfo disciolto crea effetti di incisione marginale intollerabili.

### MIG: Metal Inert Gas

Usa la polarità inversa e non diretta (TIG)

Gli elettrodi vengono emessi dal pezzo e vanno a sciogliere il metallo consumabile



sempre con arco elettrico

La saldatura va bene sull'inox e sull'alluminio e non per un acciaio da bonifica: il filo di saldatura deve essere duttile e malleabile quindi con poco carbonio.

TIG e MIG vengono eseguite con un metallo d'apporto nudo per differenza con le metodiche che prevedono metallo d'apporto rivestito da scoria in modo che nel ciambino col acciaio liquido che lo riempia e si crei una scoria che protegga il bagno da un'ulteriore ossidazione.



Martellando si fa uscire via la scoria e si plasma ne il cordone di saldatura è tutto riempito.

Me Nichel favorisce la trasformazione martensitica, non provoca austenite residua stabile, per cui ce ne vorrebbe 8-10%.

questa martensite risulta essere priva di elementi interstiziali come il carbonio, non ha quindi grosse differenze rispetto alla ferrite nella costante di cella, ma ha una dimensione del piano cristallino paragonabile a quella della normale martensite. È quindi una martensite tenace. Questo è l'unico caso in cui il trattamento di tempra non è seguito da rinvenimento. Non è una tempra totale, ma interessa solo la zona termicamente alterata dalla saldatura e conferisce a questa zona maggior resistenza dovuta all'ingrossamento del grano.

Ottengo quindi un acciaio inox ferritico a saldabilità migliorata.

Se arrivo a temperature più elevate provo maggior austenite residua, che però non è così critica come negli acciai da bonifica perché la trasformazione da austenite residua a martensite che avviene nel tempo non provoca variazioni di volume facendo martensite tenace, quindi va bene perché l'austenite non è dannosa.

la tempra è indotta dal processo di saldatura.

Per diminuire la velocità di raffreddamento della zona termicamente alterata preriscaldo i due pezzi da saldare.

Soprattutto per fare i containers.

(7-4 PH (precipitation hardening)

Cr Ni Indurente per precipitazione (di solito ho indurimento martensitico).

Bassissimo tenore di carbonio  $C < 0,07$ . Me cromo per la resistenza quindi tutto per l'ossidabilità.

Contiene anche Rame e Niobio.

Me trattamento termico per questi acciai è sempre detto bonifica (tempra + rinvenimento).

la tempra è di soluzione e non di durezza; gli elementi di lega sono portati in soluzione e a seconda del materiale possono rimanere nell'austenite o nella martensite o nella austeno-martensite (3 diverse possibili matrici).

Questo è un acciaio ~~inox martensitico~~. la matrice che ne deriva assomiglia alla ferrite con in soluzione Cu, Ni, Nb, ...

Dopo tempra di soluzione il materiale si trova nelle massime condizioni di addolcimento perché contiene sempre i composti intermetallici preparati nella matrice: miglior risultato di omogeneità.

## ACCIAI PER UTENSILI

Se non è richiesta resistenza alla corrosione:

- per lavorazioni a freddo
- per lavorazioni a caldo
- per lavorazioni da asportazione di truciolo (acciai RAPIDI, cioè ad alta velocità di taglio).

Un utensile deve durare ed essere molto performante.

d'utensile assicura la prestazione della macchina utensile.

- Grande resistenza all'usura: alto tenore di carburi significa indurre bassa tenacità.

d'abbassamento della tenacità è dovuto al contenuto inclusionale.

Voglio quindi avere una bassa quantità di elementi che inducono inclusione (zolfo e fosforo) e ottengo acciai ad elevato grado di pulizia della lega.

È richiesto un elevatissimo grado di isotropia.

questi acciai sono separati dalle lettere KU per indicare acciai da utensile.

### C 100 KU

acciaio a elevatissimo tenore di carbonio, extraduro, con un basso contenuto inclusionale.

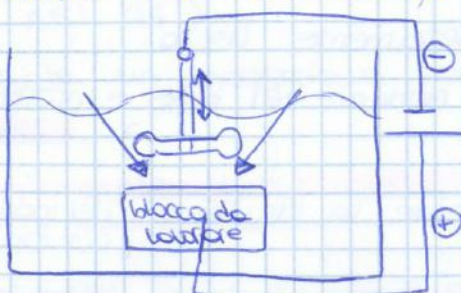
es. per fare falci.

STAMPI: la vita dello stampo è determinante la vita del processo.

Ottenuti per deformazione a freddo o a caldo (plastica o colata).

Tecnologia per produrre stampi: lavorazione per elettroerosione consente di realizzare cavità.

- Applicazione molto particolare dell'arco elettrico.
- per produrre la sublimazione di una parte di lega metallica che devo asportare
- È richiesto un ambiente dielettrico e un sistema per favorire l'allontanamento delle particelle indesiderate.



⊖ Vasca riempita con liquido dielettrico come il kerosene che però puzza e quindi si mette un liquido profumato.

⊕ Il blocco deve essere totalmente immerso. Si utilizza sia polarità diretta sia inversa.

zona più superficiale



zona più interna

- NO!
- 1) sotto le materie sublimato c'è una zona 1450 e poi riscaldata
  - 2) zona temprata
  - 3) zona che ha subito rinvenimento spinto
  - 4) matrice bonificata

Alternanza di zone dove quella corretta è quella bonificata.

4 primi tre strati non vanno bene.

da zona temprata nel tempo crea tensioni che possono portare a rottura.

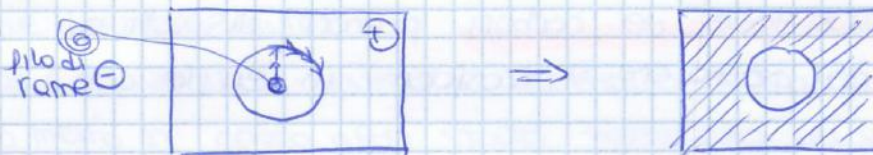
Prima di fare la finitura, la zona temprata deve essere rinvenita: una notte mi rovinerebbe la matrice bonificata.

STAMPI DA TRANCIATURA:

es - per motenete, Ingranaggi bici

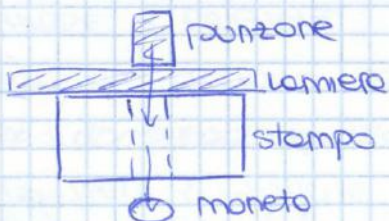
Fatti per elettroerosione a filo.

Realizzo nel pezzo un piccolo buco tramite trapanatura, faccio passare un filo di rame che si avvolge e si svolge, la testa si sposta portando via il materiale inutile.



Me tassello che si realizza è sottopunta perché il passaggio del filo provoca eliminazione del materiale quindi il tassello è più piccolo del buco dello stampo.

da tensione di corrente dipende dalla velocità di lavorazione del filo, che rischia di strapparsi ad alte tensioni.



Me punzone schiaccia la lamiera nello stampo per romperla.

ACCIAI PER STAMPI PER LAVORAZIONE A FREDDO

es - AISI 440

si vuole un materiale con matrice martensitica e rafforzante i carburi.

Non si vuole Nickel perché tende a dare austenite residua.

C 100 KV

Sono tutti acciai ipereutetoidici.

su queste caratteristiche si basano:

- 90MnCrV8 acciaio per lavorazioni a freddo, per utensili.  
Mn manganese è usato principalmente come stabilizzante dei carburi.

Acciaio temprabile in olio; classificato come indeformabile

- Acciaio per cassaforti: X120Mn12

Mn manganese è usato come austenitizzante, ottengo un acciaio austenitico

- Acciaio per rotore: 20Mn6

acciai non normalizzati

Non sono classificati come acciai legati ma in base alla resistenza meccanica: la lettera significativa è la R: Fe 380 R

Mn manganese favorisce l'incrudimento e riduce la tenacità.

### ACCIAI PER CASSAFORTI → ACCIAI HADFIELD

Sotto l'azione di un'intensa sollecitazione meccanica l'austenite si trasforma in martensite.

Voglio un acciaio di estrema tenacità, sotto l'azione meccanica deve diventare duro.

Non è lavorabile, quindi è scomodo dal punto di vista di fabbricazione. Lo metto in opera dopo stato temprato di soluzione: faccio sciogliere i carburi di manganese che fanno un'austenite ricca di carbonio che trasformandosi crea una martensite molto dura; non è più una tempra di durezza ma una di soluzione (tempra in acqua).

Non sono acciai resistenti all'usura (carburi dispersi in modo omogeneo), ma sono intreponibili.

### BARRE x PRIGIONE

se uso un acciaio per utensili, temprato ad induzione, con un accendino posso far rinvenire il materiale.

- l'Hadfield è difficile a lavorare ma è migliore per questa applicazione

- Un acciaio cementato è parzialmente rinvenuto ed è molto tenace.

- Un acciaio nitruato non rinviene ed è meglio del cementato

### ACCIAIO DA ROTORE

Si vuole: - resistenza all'usura

- tenacità elevata

Per la resistenza all'usura potrei usare un acciaio ricco di carbonio, invece ne contiene circa lo 0,2% C perché se no l'acciaio

lo stampo si usura, ma io non lo voglio sostituire, voglio solo fare un po' di manutenzione, devono quindi resistere alla fatica tecnica e all'usura.

### 40NiCrMoV 16 (KV)

appartiene agli acciai da bonifica ad alto tenore di Nichel, e ad elevata temprabilità, dove è più importante la resistenza a fatica tecnica rispetto a quella all'usura.

lo stampo non deve rinvenire in esercizio, lo devo quindi rinvenire a una temperatura alta (550°C), vicino alla temperatura di fusione delle leghe che ottengo per pressocolate (Magnesio e Alluminio). A queste temperature l'austenite residua si combatte con un rinvenimento ripetuto. Voglio altissima tenacità.

Me Martensite Finish è sotto zero perché ho un elevato tenore di elementi di lega.

Pressocolata: azione di corrosione dell'acciaio quando la lega entra in contatto con la parete di acciaio che entra in soluzione.

Ottengo tensione residua di compressione in superficie dovuta al trattamento termico di nitrurazione che migliora il comportamento a fatica.

gassosa!  
migliora la durezza

morbida o Nitrocoburazione ferritica

Non ho bisogno di durezza superficiale ma solo di resistenza alla fatica tecnica: si usa la nitrurazione morbida come secondo rinvenimento.

Nella deformazione plastica a caldo il materiale è più sottoposto a stress <sup>che</sup> usura e allora uso la nitrurazione gassosa.

Con la Temperatura di Nitrurazione (500-550) sorpasso le Martensite Start e l'austenite residua viene decomposta e quindi ottengo un rinvenimento ripetuto. Questo processo diventa un importante processo per allungare la vita dello stampo. Si formano mini-cricche di fatica tecnica sullo stampo che potrebbero evolvere in modo drammatico, quindi bisogna fare manutenzione: lo stampo scende sottofuota e porto a nudo una zona solo bonificata e quindi devo rifare la nitrurazione. Questo è l'unico processo di nitrurazione mantentiva. Più la tempra è drastica e più la precipitazione dei carburi è meglio dispersa e quindi migliore.

tungsteno sinterizzato con cobalto. Ci assomiglia perché la seconda fase è il Tungsteno e come seconda fase si usa la martensite rinvenuta che è più prestazionale di una matrice che serve solo da legante tra le particelle ceramiche.

T1 W=18% Mo=0 V=1% Cr=4% C=0,78%

Il Tungsteno è il componente principale rafforzante dell'acciaio.

Il Vanadio è un affinante del grano austenitico di partenza.

L'effetto del Molibdeno è analogo a 2 volte quello del tungsteno dal punto di vista prestazionale e quindi la resistenza all'usura migliora e riduce meno la tenacità (2 parti W = 1 parte Mo)

M2 W=6 Mo=5 V=2 C=0,87 Cr=4

Topuendo tungsteno e aggiungendo due volte molibdeno e un po' di boro ottengo un carburo più prestazionale per effetto del Molibdeno che è anche più leggero del Tungsteno, e una maggiore affinazione del grano dovuta al Vanadio.

M3 W=6 Mo=5 V=3 C=1,06

La resistenza all'usura è dovuta essenzialmente grazie ai carburi, quindi aumento i carburi visto che il Molibdeno non deprime la tenacità.

Gli acciai rapidi possono essere sostituiti agli acciai per lavorazione a freddo.

T4 W=18 Mo=1 V=1 C=0,85 Co=5

L'aggiunta di cobalto rende più prestazionale l'acciaio anche se è austenitizzante e non è stabilizzante dei carburi.

È un acciaio superrapido (lavora a velocità ancora più elevate).

Il cobalto aumenta la tenacità ad alte temperature! aumentare la velocità di taglio significa aumentare notevolmente la temperatura.

L'utensile è soggetto anche a deformazione plastica locale.

Con un meccanismo simile a quello degli acciai per cospicui (lavorano per trasformazione e non per carburi) ad alte temperature si ha la germinazione di martensite.

Ad alte temperature più che Scheggiarsi, lavora meglio.

I rapidi sono influenzati dalla forma e dalla distribuzione dei carburi prima principalmente, non dalle percentuali dei carburi.

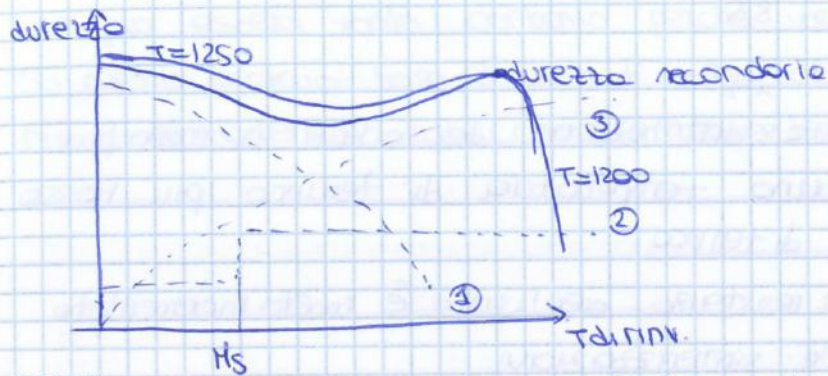
Bisogna quindi avere un processo di formazione che garantisca piccoli carburi e ben dispersi (ho un acciaio sensibile alle forature).



della curva verso sinistra; se questi sono meglio distribuiti posso temperare a temperature più basse. Se lo abbasso troppo la temperatura da non portare in soluzione i carburi lo devo ritemperare.

Determinante è la temperatura di tempera che consente di imitare le deformazioni di tempera.

DIAGRAMMA di RINVENIMENTO:

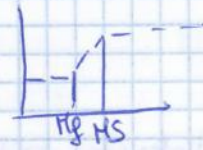


condizione fondamentale:  
 il tempo di rinvenimento  
 deve essere costante (tipo 1h.)

Schema teorico

ME diagramma è la somma di 3 fenomeni contemporanei:

- ① rinvenimento della martensite (trasformazione), previsto da qualunque fenomeno di bonifica
- ② trasformazione dell'austenite residua (si presenta solo opportunamente).  
 Devo superare le martensite start; tutti gli elementi di lega abbassano le  $M_s$ , che dovrebbe essere più giusto: perché tra  $M_s$  e  $M_f$  ho trasformazione di austenite in martensite
- ③ Precipitazione di carburi.



CARBURI PRIMARI: dati dall'acciaieria

CARBURI SECONDARI: dati dal trattamentista, dopo tutti i trattamenti.

Dipendono totalmente dai carburi primari.

Diagramma anomalo perché di solito il diagramma di rinvenimento è monotono decrescente.

Alla temperatura di  $1250^\circ\text{C}$  il picco di durezza secondaria non si alza più perché il carbonio è tutto nella martensite e non è disponibile per fare carburi secondari.

Parametro di qualità fondamentale: carburi primari piccoli e ben distribuiti.  
 Se parto da un processo di colata avrò carburi di dimensione disomogenea: devo usare la metallurgia delle polveri: polveri schiacciate e fuse dalla pressione. Con questo processo posso mettere più carburi e in modo migliore, è una tecnica dei materiali ceramici applicabile agli acciai. Più uso il cobalto. Posso mettere più carburi inizialmente (anche più carbonio) e poi aggiungo il cobalto per migliorare la

- resistenza alla corrosione  $\rightarrow$  Cr

d'acciaio per valvole di aspirazione è un acciaio da bonifica al Silicio. Non voglio austenitizzanti come il Nichel, perché non voglio il rinvenimento in opera.

Per le valvole di uscita l'acciaio sarà martensitico con Cromo, deve essere inossidabile all'ossidazione a freddo del gas di scarico.

Non può esserci tanto carbonio perché voglio tenacità.

Su questo acciaio base si cerca di migliorare la tenuta della valvola con rapporti di materiali nobili come le superleghe