



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1983A -

ANNO: 2016

A P P U N T I

STUDENTE: Santuccio Erika

MATERIA: Tecnologia materiali metallici - Prof. Ubertalli.pdf

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.**

Lezione 02/04

11/17/10

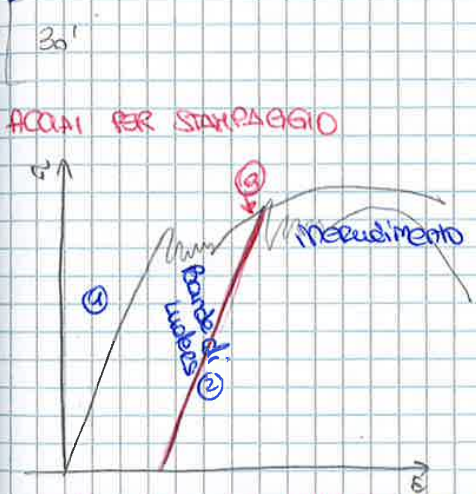
SOLUZIONI SOLIDE

Ci sono degli elementi di base di ferro che all'aumentare della percentuale di soluto in volume aumentano la resistenza del materiale.
 La scala utilizzata per la rappresentazione dei grafici sono entrambe logaritmiche.
 Il carbonio è l'elemento che mi dà il minor aumento di resistenza, mentre il boro ha incrementi molto maggiori. Queste sono le scale nel caso in cui aggiungiamo in soluzione solida questi elementi metallici.
 Il manganese è presente nel 95-98% degli acciai. Nella maggior parte degli acciai è presente allo 0,25-0,50% negli acciai per le metodologie con cui essi si formano. (per fusione) e porta a un rafforzamento del ferro.
 Tutti gli elementi che possono essere aggiunti in lega (tra il 10-100%) portano sempre a un rafforzamento.

Nel caso di leghe ingegneristiche il idrogeno è sempre pericoloso, si può insediare e può portare alla formazione di idrogeno molecolare da parte di pressioni pericolose che può portare alla formazione di bolle e di rottura del materiale.
 Alcuni vengono fatti trattamenti di DEIDROGENAZIONE trattamenti di 6-8 ore che prevedono un riscaldamento di almeno 250°C questo porta alla sua fuoriuscita e il idrogeno porta a una migrazione al suo interno e la suddivisa in strutture e altri metalli.

Azoto, carbonio (basso ppm) vengono utilizzati per il rafforzamento.

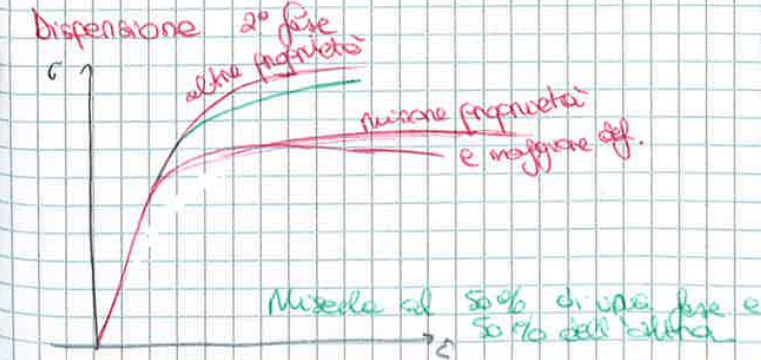
Due si fanno situazioni di trazioni si dice l'intramissione di atomi di altre molecole



Dopo il manufatto si fa trazione e rottura. Le soluzioni si posizionano in prossimità delle dislocazioni. Le dislocazioni, sottoposte ad una certa carica, si spostano, scivolano (ovviamente nei piani a 45°) nei piani preferenzialmente orientati portano a dare una serie di movimenti senza incremento di carico.
 Quando le dislocazioni si sono spostate e hanno subito completamente il carico e il manufatto.
 Questo tipo di grafico è generato solo per gli acciai.
 Queste microstrutture e la somma di movimento di migrazione di dislocazioni che si sono spaccate

Atmosfera di Cottrell: si localizzano in prossimità delle linee di dislocazione. Se abbiamo dei soluti nel materiale, mi viene localmente uno stato tensionale, quindi nel tempo i soluti si spostano e si posizionano vicino alle dislocazioni per abbassare l'energia (INVECCIA MENTO)

Se si lascia il materiale a riposo per mesi si fa un andamento di tipo 2, se non si lascia riposare di tipo 3.



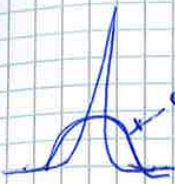
Il comportamento delle deformabilità si fa alla metà dei due: si a livello di resistenza che di deformabilità.
 Anche come vengono misurate le due fasi risulta importante.

Se gli atomi del secondo componente rimangono nei domini cristallini, e anche fuori, possono indebolire il materiale.



grani cristallini
molto piccoli

la parte predominante è costituita da
di + ad invece della parte esatta che risulta
essere più piccola.



contributo delle code maggiore

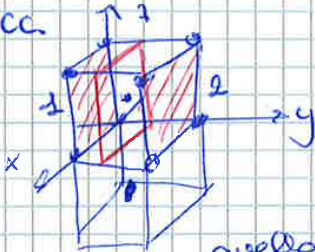
Analizzando le profilo del picco è possibile calcolare le profilo del grano più
grande o più piccolo che sia.
Quanto più stretto è il picco più grande è il grano.

CRISTALLOGRAFIA

In una struttura cristallina ordinata ci sono direzioni e piani preferenziali a mo' di
ma impaccamento atomico.

Indice di Miller dei piani cristallografici del α

ccc



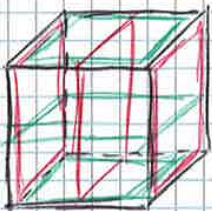
$$\infty, \infty, \infty$$

$$\frac{1}{\infty}, \frac{1}{\infty}, \frac{1}{\infty}$$

$$0, \frac{1}{2}, 0 \rightarrow \frac{1}{2} (0, 1, 0) \leftarrow \text{mi identificano i piani 1 e 2}$$

quello mediano viene individuato ad $\frac{a_0}{2}$

$$\frac{1}{2} (0, 2, 0) \text{ ma questo li individua tutti e 3, non solo quelli di mezzo moltiplicato doppio}$$



$$0, 1, 0 \rightarrow a_0$$

$$0, 2, 0 \rightarrow \frac{a_0}{2}$$

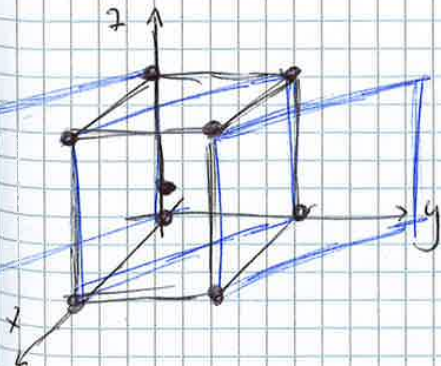
$$0, 0, 2$$

Per il caso cubico a face centrate si utilizzano le famiglie dei piani

$$(0, 1, 0) \rightarrow \text{che comprendono } (0, 1, 0) / (0, 0, 1)$$

$$(0, 2, 0) \rightarrow \text{che comprendono anche } (2, 0, 0) (0, 0, 2)$$

$$(1, 1, 0) \text{ con } a = \frac{a_0 \sqrt{2}}{2}$$



$$(1, 1, 1)$$

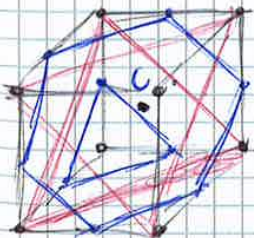
almeno 4 piani per individuare 8 atomi.

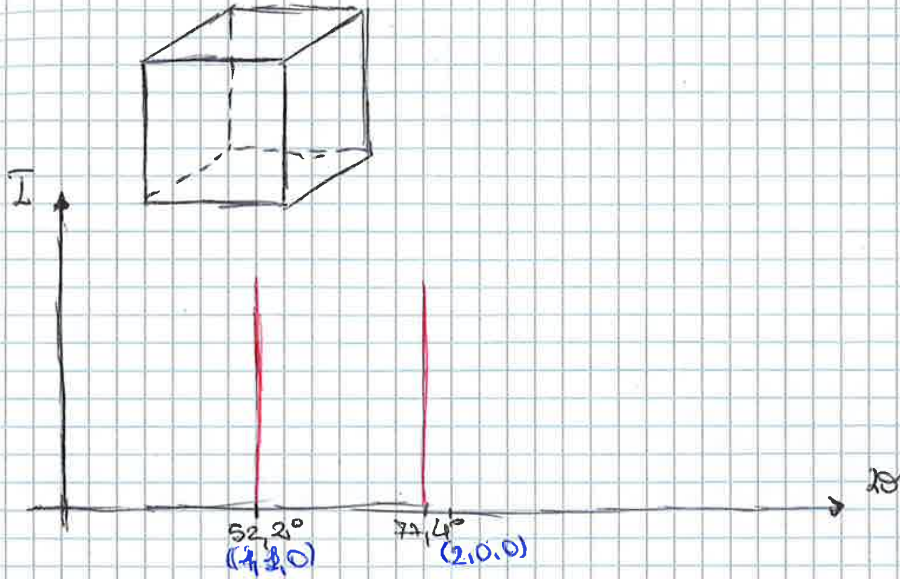
Quindi ci saranno degli altri piani intermed.

Al centro dell'esigono vi è il c

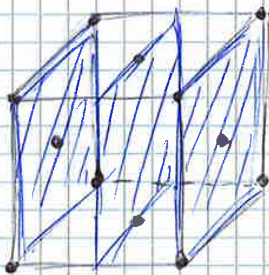
per descriverlo completamente

$$\rightarrow (2, 2, 2)$$





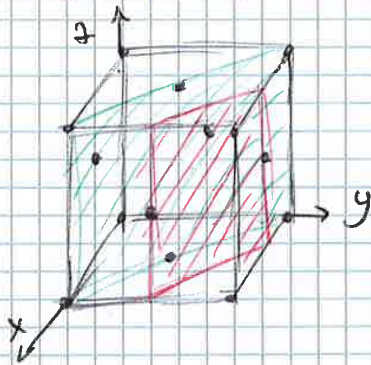
Reticolo cubico a facce centrate (CFC)



$(1, 0, 0)$ non basta per descriverlo
c'è bisogno di un piano intermedio

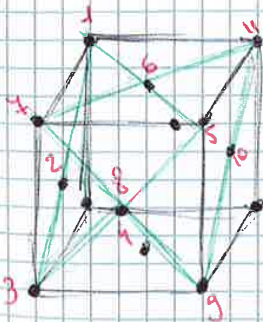
$(2, 0, 0)$

$d = \frac{a_0}{2}$



$(1, 1, 0)$ non descrive bene perché mancano le posizioni centrali.

$(2, 2, 0) \rightarrow d = \frac{a_0 \sqrt{2}}{4}$



$(1, 1, 1) \rightarrow$ sufficienti a descrivere il cubo a facce centrate

$d = 1,28 \text{ \AA}$

$a_0 = 3,6 \text{ \AA}$

austenite

Lezione 1

Acciaio: leghe da deformazione plastica e trattamento termico base ferro.

Ghisa: leghe da getto base ferro

Se proviene da getto il materiale ^{prodotto} ha forma finita e definitiva per l'utilizzo finale (es. testata motore), poche operazioni di finitura e sgranatura mi danno il componente finito.
 Procedura da getto abbastanza veloce \rightarrow costi ridotti.
 Ovviamente porta anche degli svantaggi.

Procedura di deformazione plastica e trattamento termico in questo si parte comunque dal liquido, il liquido viene poi colato in un lingotto



Ordine di grandezza della lingottiera 1,5 m di diametro, 2-2,5 m di altezza.

Poi si lascia solidificare il liquido nella lingottiera generando un grande componente (ore - giorni per avere una completa solidificazione).
 A questo punto il materiale viene deformato per ottenere tutta una serie di semilavorati...

Deformato spesso a caldo: dipende dal materiale, dalla temperatura di ricristallizzazione del materiale e dalla temperatura di fusione.

Per quel che riguarda i lingotti ci sono anche una serie di disomogeneità.

Ovviamente avere un componente da un lingotto vuol dire deformato plasticamente e poi trasformarlo per opportunità di trafilatura implica notevole tempo e costo per le varie lavorazioni.

Assolutamente i costi ^{sono} maggiori per questo tipo di lavorazione rispetto alla procedura da getto, ma ovviamente le proprietà meccaniche sono talvolta superiori.

- leghe di alluminio, leghe di magnesio, leghe di rame e leghe di titanio.

Leghe metalliche

• Presentano dei legami metallici, che non sono legami direzionali di conseguenza è possibile che queste posizioni atomiche possano slittare di una distanza atomica senza sostanzialmente rompere il legame metallico ma deformando il materiale (questo non succede nei solidi ionici o covalenti che se avviene uno spostamento atomico portano a rottura il materiale).

Questo implica un'importante proprietà: avere lo scorrimento di piani, senza danneggiare il materiale, ma portando ad avere una deformazione plastica permanente nel materiale.

Un materiale ^{metallico} può essere deformato a freddo, a caldo con notevoli cambi di spessore, di dimensioni, forme senza danneggiarlo.

Questa elevata possibilità di deformazione plastica cambia in base al materiale (dal 3% al 70% o per altre tipologie di materiali metallici anche all'800% nel caso di superplasticità), in ogni caso queste deformazioni non portano sostanzialmente a danneggiare il materiale.

LE PRINCIPALI LEGHE METALLICHE SONO UTILILI ovvero si possono deformare plasticamente per produrre dei fili, delle piastre, dei fogli, ...

Esistono inoltre intrinsecamente dei compositi, quando si parla di compositi si pensa alle fibre di vetro, di carbonio perché si ha la miscela di 2 tipi di fibre di fibre differenti, una fibre che costituisce il agente che lega l'altra, che è la matrice (o fibre). Le leghe metalliche sono molto simili da questo punto di vista con opportuni trattamenti termici, in seguito ad opportune composizioni chimiche, possiamo avere due fasi con la corretta distribuzione, forma e dimensioni della seconda fase nella prima fase in modo tale da darci un tributo proprio a questo aspetto misto delle due fasi dei compositi. Quindi un composito lo cerchiamo direttamente nella deformazione plastica e nel trattamento termico.

Hanno un ampio spettro di caratteristiche:

CHIMICHE: ~~esposibilità~~ corrosione

FISICHE: conducibilità elettrica e termica

TECNOLOGICHE: diversi utilizzi che possiamo avere: duttilità, tenacità, deformabilità, resistenza.

STRUTTURE CRISTALLINE

CUBICO FACCE CENTRATE

Ferro (307/1400 °C) → Austenite

- Rame
- Argento
- Oro
- Nichel

Alluminio ← **INERTANTE**

- Piombo
- Platino

...
ex. catalizzatore per diminuire le sostanze incombuste

ex. di impiego del piombo: batterie di auto
Poi fornire e accumulare en. elettr.

CUBICO CORPO CENTRATO

Ferro (<307°C / >1400°C) → α ferritica e δ ferritica

- Tungsteno → filamenti x lampadine di estensione.
- Lanadio
- Kalibdeno
- Cromo
- Metalli alcalini.

ESAGONALE COMPATTO

lega leggera

Zinco → rivestimento anodico di piastre x dare protez.

← Ragnorio

Titanio → materiale recente (1950), resistente alla corrosione.

← Zinco

Renillio → leggerissimo, costoso e veloce x l'uomo.

Cadmio → cancerogeno.

Cobalto

Importante x le centrali nucleari, assorbimento o trasferimento di neutroni

Zinco viene usato come elettrodo sacrificale: ex. le barche si trovano in un ambiente marino molto aggressivo e se le piastre fossero semplicemente zincate dopo un po' di tempo la zincatura va via e le imbarcazioni hanno una lunga vita per cui per proteggere lo scafo vengono messi dei blocchi di zinco e vengono bruciati, saldati messi in contatto elettrico con lo scafo della nave, visto che lo zinco è meno resistente alla corrosione si corrode per primo e protegge lo scafo delle imbarcazione. Dopo un po' di mesi lo zinco si è mangiato e viene sostituito. **ELETTRODO SACRIFICIALE.**

Reticolo cubico facce centrate

In posizioni ben definite ci sono gli atomi di **Cu** e gli atomi di **Au**

Le 8 posizioni atomiche del rame in questo tipo di reticolo contano per un atomo, poiché è in condivisione con 8 reticoli cubici.

I 6 atomi di oro sono condivisi fra due facce di 2 cubi.



$$\text{Cu: } 8 \cdot \frac{1}{8} = 1 \quad \text{Au: } 6 \cdot \frac{1}{2} = 3$$

Formula molecolare minima: Au_3Cu

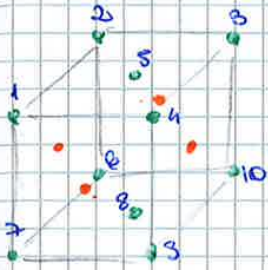
Questo rapporto è ben definito nel reticolo.

$$\text{Cu: } 8 \cdot \frac{1}{8} + 2 \cdot \frac{1}{2} = 3 \quad \text{Au: } 4 \cdot \frac{1}{2} = 2$$

Piani alternati di Rame e Oro.

Quindi il rapporto stechiometrico di questa configurazione

è: AuCu

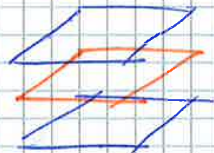


Quindi questo cosa implica? Quindi è possibile avere nelle leghe di diverse tipi di fase al momento in cui la percentuale relativa di un elemento rispetto all'altro sia notevolmente diversa e questo non solo porterà a una distribuzione casuale delle posizioni relative delle due specie chimiche ma in casi particolari mi porterà ad avere anche una struttura ben definita.

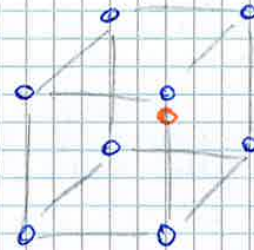
Reticolo cubico a corpo centrato

o zinco
o Rame

→ un piano superiore ed uno inferiore di atomi di Rame ed uno centrale di zinco.

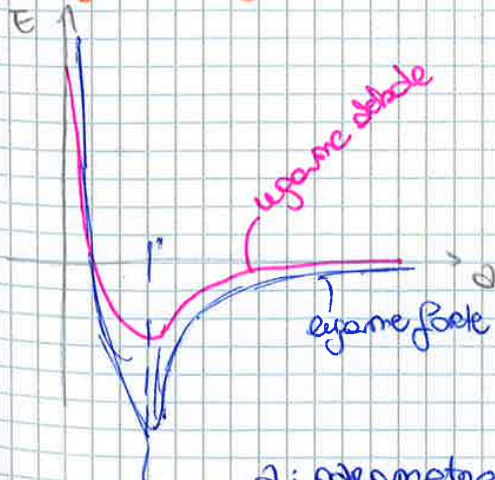


Struttura ordinata



Per il rapporto stechiometrico: $\text{Cu: } \frac{1}{8} \cdot 8 = 1 \quad \text{Zn: } 1 \quad \text{CuZn}$

Energia di legame



d: parametro di cella



Nel caso di legame forte la linea d'onda ha un'inclinazione più elevata un legame debole ha un'inclinazione inferiore e per questo si vede una linea dell'energia molto diversa ovviamente con i picchi inferiori.

Quindi la presenza di vacanze e' utile per giustificare questo fenomeno. La legge della diffusione mi giustifica la mobilita' di queste vacanze.

$$D = D_0 e^{-\frac{Q}{RT}}$$

Q: energia di attivazione

Maggior e' T (temperatura a cui eseguiamo le trattamenti) maggiore e' D, la mobilita' delle specie chimiche.

Cio' che non e' possibile a temperatura ambiente per alcuni materiali lo diventa a temperatura maggiore. Ci sono in vece dei materiali che pur a temperatura ambiente hanno una D elevata tale che con il tempo il materiale vuole, "mucchia" ... si trasforma!

Parlare di ferro e' sbagliato in termini ingegneristici! Si parla di leghe base ferro!

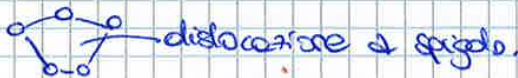
MECCANISMI DI RAFFORZAMENTO

Leghe base	Non rafforzati (MPa)	Rafforzati (MPa)	Max rafforzamento (MPa)
Ferro	100	300	3.000
Alluminio	50	350-450	700
Rame	55	600	1.350

NOTA
1 MPa = $\frac{1 \text{ kg}}{\text{mm}^2}$

- Per:
- deformazione plastica
 - bordi di grano
 - soluzione solida (miscelare un elemento A in un elemento B)
 - presenza di 2° fase.

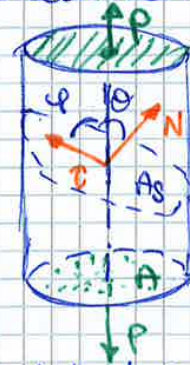
DISLOCAZIONI



Utilizzando un microscopio elettronico a trasmissione (TEM) ad elevatissimi ingrandimenti si puo' notare l'effetto delle dislocazioni in un materiale.

legge di Smith

Nel momento in cui abbiamo un campione da porre in trazione, cio' che il materiale sente come stato trazionale puo' essere rappresentato prendendo in considerazione una generica sezione elettrica comunque orientata dell'angolo e rispetto alla approssimazione del cono. Quindi la forza P applicata dall'esterno viene suddivisa in una componente normale e in una componente che sta sul piano, T.



$$A_s = \frac{A}{\cos \phi}$$

La T mi da' gli scorrimenti dei piani, questo mi porta alla deformazione plastica senza il danneggiamento del materiale. Quindi il materiale si puo' deformare secondo tensioni di taglio, puo' cambiare forma e questa e' la tensione che di fatto agisce sul materiale. Nei materiali metallici e' piu' probabile uno scorrimento dei piani che una decoerzione dei piani (dovuta da N).

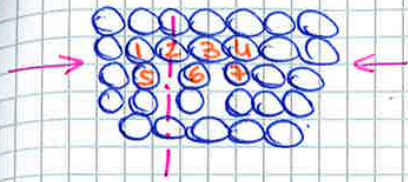
$$\text{da } T = \frac{P}{A_s} \cdot \frac{1}{\cos \phi} = \frac{P}{A \cos \phi \cos \phi}$$

$$\phi = 90 - \theta$$

La T e' massima quando $\theta = \phi = 45^\circ$ e cui $T = \frac{1}{2} \frac{P}{A}$

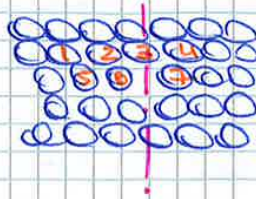
I piani a 45° mi portano il massimo impieccamento e ribentono dello T max.

ANALISI DELLE DISLOCAZIONI



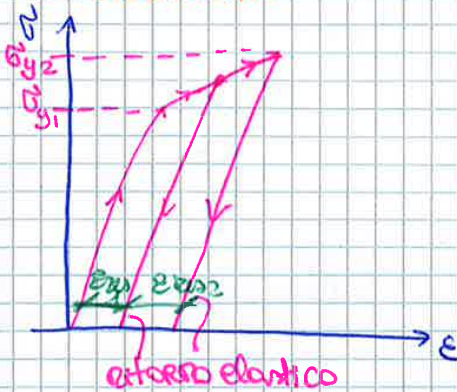
La dislocazione è localizzata in σ_1 .

Applicando un carico che mi genera una tensione σ_1 trazionale, ho uno spostamento della dislocazione da 2 a 3.



Lezione 3

Incrudimento

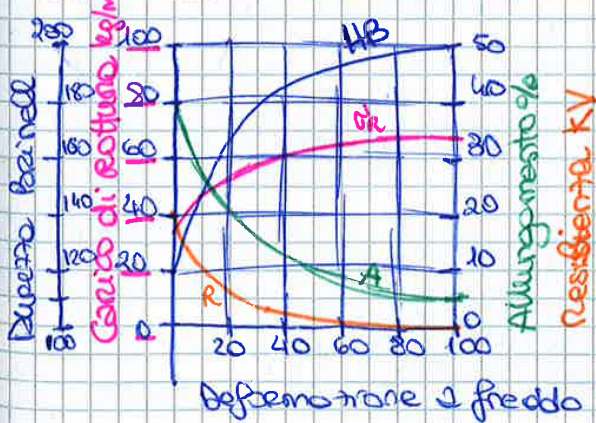


Si può incrudire il materiale più volte andando ad aumentare sempre di più le dislocazioni. E aumentando sempre più σ_1 (o di snervimento). In questo modo il materiale aumenta la propria elasticità, e proprio attorno elastico sempre più.

La somma delle deformazioni sarà data da tutti i carichi tutti di ogni singolo ciclo di incrudimento.

L'incrudimento di carico è associato all'incrudimento del materiale, dovuto al fatto che le dislocazioni si sono mosse aumentando di numero, interferiscono nel relativo movimento, in piano di scorrimento o massimo impaccamento, tra di loro e si ancorano e questo porta ad avere un maggior

carico di snervimento. In un certo materiale metallico:



0% di deformazione: materiale al minimo stato tensionale, minima tensione di dislocazioni, minima densità di dislocazioni. Dal punto di vista di durezza (resistenza che il materiale oppone alla penetrazione), meno il peso e deformato, minore è la sua durezza.

Quindi il materiale indeformato ha durezza di 120 punti Brinell.

L'allungamento totale stima sul 35-38% (scala di destra), carico di rottura 40 kg/mm² (circa 400 MPa).

La Resistenza (è una prova di applicazione di carico piuttosto veloce che ci dà indicazione sul comportamento duttile piuttosto che fragile del materiale e maggiore è il valore

è maggiore è l'energia che bisogna utilizzare per rompere un pezzo. La quantità di lavoro compiuta per rompere un pezzo è la RESILIENZA (Joule). (Nei componenti meccanici la resilienza deve essere almeno 70 J).

La variazione di questi parametri in funzione della deformazione:

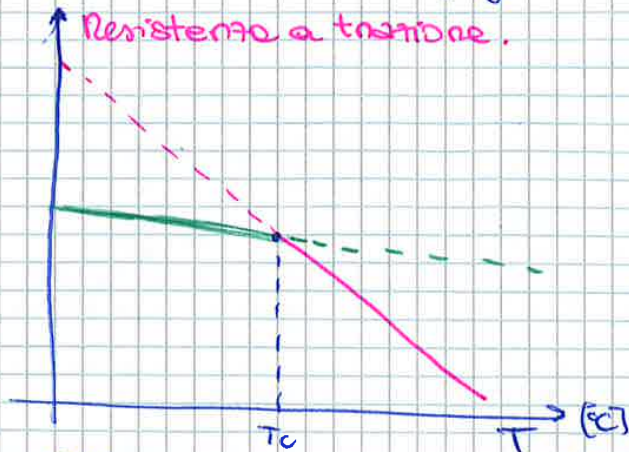
CARICO DI ROTTURA: all'aumentare della deformazione, aumenta il carico di snervimento.

ALLUNGAMENTO A ROTTURA: piuttosto importante all'inizio (circa 37%) appena aumenta il numero di dislocazioni, anche solo diminuendo al 10% della deformazione si ha una repentina diminuzione di questo valore che raggiunge anche valori intorno al 5,6% al termine della deformazione. Quindi si perde la deformabilità residua.

DUREZZA: Analogamente al carico di rottura, aumenta.

RESILIENZA: capacità di assorbire lavoro per essere deformato rapidamente si passa da valori 20 per decrescere velocemente a valori prossimi a 0.

I grani si preferiscono abbastanza fini.
Tuttavia alle volte si preferisce il grano più grosso.



Bisogna stabilire le modalità per cui un componente può cedere e come può procedere la frattura.
Dal momento in cui si ha una frattura questa cui propagazione in modalità INTERGRANULARE, ovvero segue i bordi dei cristalli.
Quando la frattura si manifesta in questo modo la resistenza segue la linea.
Se la frattura si propaga attraverso i cristalli prende il nome di comportamento della propagazione di fratture TRANSGRANULARE. In questo caso le resistenze seguono la linea.

Allora in pratica non è che un materiale debba di rompersi in modo lato transgranulare o intergranulare, cede nella modalità che richiede il meno sforzo come mostrato nel grafico.
Il punto di intersezione indica una **TEMPERATURA EQUIPESIVA** in cui mediamente al di sotto di essa avremo comportamento trans e al di sopra della quale inter.

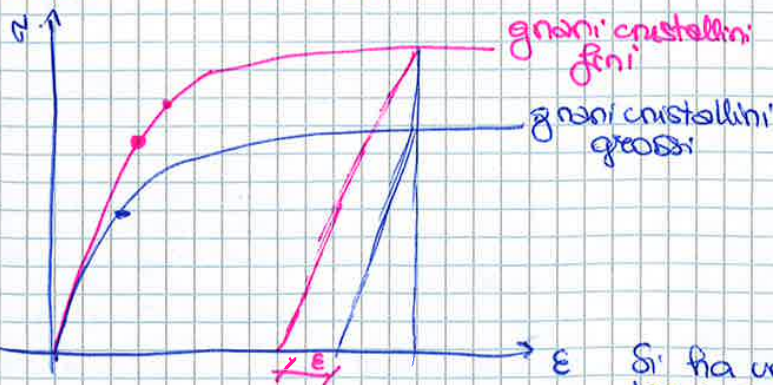
Se noi abbiamo un materiale che lavora ad alte temperature, se dobbiamo il materiale a seguire una rottura transgranulare si riesce ad aumentare la resistenza.
Come fare? Si costruisce un componente senza bordi i grani (cristallo singolo).

In ambiente corrosivo si può manifestare questo andamento intergranulare anche a bassa temperatura, perché si manifestano tendenze della condizionale di corrosione sotto tensione.

A bassa temperatura il ragionamento è inverso: bisogna avere cristalli tendenzialmente più fini. (a dispetto di una cura dell'omogeneità).

PROBLEMA: la tendenza dei cristalli molto piccoli è quella di aggregarsi per creare una grande per diminuire l'energia superficiale.
Bisogna evitare questo meccanismo usando dei materiali che costituiscano dei **TENSIOATTIVI** che paralizzano queste elevate quantità di superficie. Questi tensioattivi sono in genere impurezze che mimano forme di alcune tipologie di proprietà meccaniche.

INFLUENZA SULLA DEFORMABILITÀ



Il comportamento elastico è lo stesso perché dipende dalla composizione chimica del materiale, ma cambia che il materiale a grana grossa ha una certa tensione di snervamento che risulta essere inferiore di quella a grana fine.

LEGGE DI HALL-PETCH

Si fa un ritorno elastico differente di cui tener conto.

Si ritrova negli acciai.

SILICIO: Si ritrova sempre negli acciai, da un incremento importante e maggiore del manganese. Il silicio è anche esso presente nel 55-58% degli acciai e deriva dal metodo di produzione stessa dell'acciaio. Per ottenere la produzione dell'acciaio si parte da ossido di ferro che vengono ridotti con monossido di carbonio CO che si trasforma in CO₂ e quindi assorbe ossigeno dall'ossido di ferro e per permettere una temperatura di formazione del liquido di base viene aggiunto un cosiddetto fondente che contiene dei silicati e quindi parte del silicio passa nel liquido e sarà presente nell'acciaio in tenori di 0,5-0,8%. Deriva quindi dalla metodologia della produzione, parte degli incrementi dal punto di vista di resistenza.

Questi rafforziamenti per soluzione solida sono notevoli in quanto formano zanghiere e ordine delle catene rispetto al materiale base puro di fatto molti di questi elementi, l'Idrogeno (H), Carbonio (C), Nichel (Ni), Cobalto, Titanio (Ti), vengono talvolta aggiunti per soluzione solida ma il motivo non è principalmente il rafforzamento, ma per altre proprietà: TEMPERABILITÀ, TENACITÀ, ...

Tutti gli elementi che formano queste leghe aggiunti in lega in tenore di volume tra 0,5-5% portano comunque dei rafforzamenti perché si hanno nel grafico sempre linee crescenti risultando sempre vantaggiose.

Questo vale per tutte le leghe metalliche e talvolta anche per quelle non metalliche.

Legge di Hume-Rothery

Si fanno soluzioni solide intraduzionali nel caso in cui le specie atomiche che vanno in soluzione solida abbiano raggio atomico molto piccolo come idrogeno, carbonio, boro, berillio, azoto, talvolta ossigeno.

Idrogeno: Nel caso di molte leghe ingegneristiche, l'idrogeno risulta pericoloso perché entra in soluzione solida intraduzionale ed essendo molto piccolo si muove velocemente all'interno del materiale per diffusione e si può concentrare in certe zone del reticolo intraduzionale. La concentrazione di H atomico intraduzionale nel reticolo può portare alla formazione di idrogeno molecolare (H₂) e questo punto genera che può portare a delle pressioni locali elevatissime con pericolo di fratture nel reticolo cristallino proprio che si formano delle lacerazioni e dei micro-pori. Ecco che quindi, l'H non è convenientemente aggiunto, volutamente può arrivare in seguito alle lavorazioni, così per molti materiali sono previsti dei trattamenti di **DEIDROGENAZIONE**, diminuzione del tenore di idrogeno.

Questi processi consistono in stazionamenti in forno a 250-270°C per 6-8 h, con questo permettiamo il movimento dell'idrogeno e l'uscita di esso dal materiale. Nel caso in cui non venga compiuto questo lavoro, i componenti messi al lavoro si rompono in pochi giorni.

Ossigeno: La sua elevatissima affinità per molti elementi metallici, portano molto più facilmente a formare dei composti. La solubilità dell'ossigeno in vari fasi di specie metalliche è modesta, se l'ossigeno è un po' più elevato → si forma il composto. Non viene usato come rafforzante.

Carbonio: Può sciogliersi nella ferrite e a temperature più elevate, in tenore più elevato, nell'austenite.

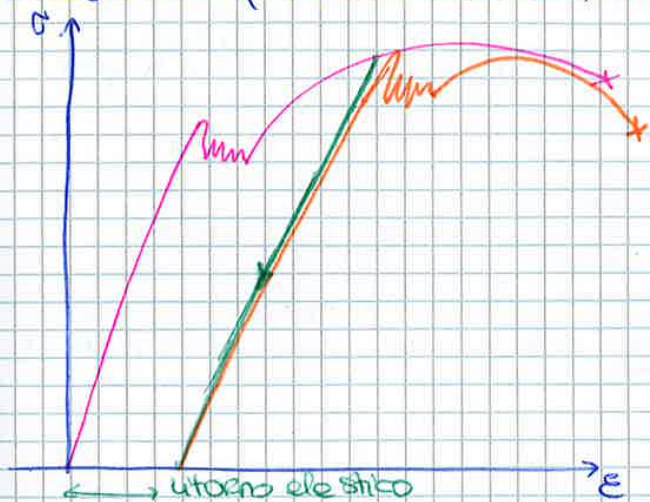
Azoto: Elemento che talvolta può essere utilizzato per rafforzare un materiale.

Boro: Estremamente interessante per gli acciai non tanto per il rafforzamento ma per altre proprietà meccaniche. Il contenuto di Boro è di parti per milione (15-20 ppm).

riale raggiunge un massimo stato tensione σ (che nel materiale si esprime come σ). In alcuni casi, prima o durante le dislocazioni e il loro movimento, però, solo nei grandi di massimo impaccamento avviene il movimento delle dislocazioni orientati tali da paralizzare la max σ , quindi in prossimità di 45° . I grani cristallini cinescenti costituiscono un continuo che blocca il movimento delle dislocazioni nei piani favorevolmente orientati. Questo insieme di movimenti di dislocazioni, mi porta alla forma delle bande di Lüders. Quando le dislocazioni si sganciano dalle zone dei soliti inizia l'incrudimento.

Questo fenomeno lo manifestano solo gli ACCIAI DA STAMPAGGIO.

Atmosfera di Cottrell: Sono proprio le zone alla presenza di soluti che si localizzano in prossimità delle linee delle dislocazioni. Il movimento dei soluti non è funzione dei carichi applicati ma della mobilità, quindi della temperatura. Quindi le dislocazioni si spostano, mentre i soluti si muovono molto più lentamente. Questo fenomeno di movimento dei soluti nel tempo per ritorno nelle dislocazioni prende il nome di **INVECCHIAMENTO** per gli acciai.



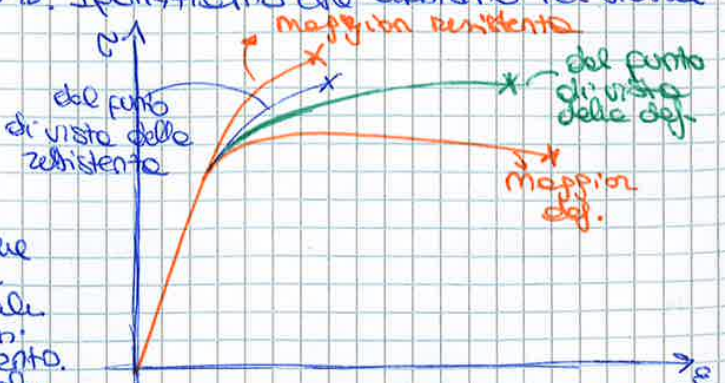
Se si applica il carico subito dopo aver avuto un ritorno elastico si avrà l'andamento del materiale uguale a quello originale. Ma se si lascia il materiale incrudito per 3-6 mesi a riposo dando il tempo di invecchiare, si avrà l'andamento in -.

Si avrà un aumento delle dislocazioni e quindi un incrudimento. Tuttavia dato lo fenomeno di invecchiamento si saranno rigenerate le atmosfere di Cottrell e per tanto si riserverà lo stesso andamento inizialmente osservato.

DISPERSIONE 2° FASE

Ipotizziamo che vengono mischiate 2 diverse materiali con caratteristiche meccaniche differenti: uno un po' più resistente ed un altro più deformabile. La miscela ne è ad esempio al 50-50%. Ipotizziamo che abbiano la stessa deformabilità elastica.

Se mischiamo le due fasi:
 Si avrà per la resistenza, una resistenza teorica media (raffigurata dalla linea /) e per la deformabilità si avrà una deformabilità media (raffigurata da -).



Nella realtà non si avrà nessuno dei due risultati, ma sarà intermedio e da qui si nota il rafforzamento del materiale. La distribuzione relativa delle due fasi influenza notevolmente il comportamento. Se parliamo di fibre di vetro lineari che vengono inserite in un materiale polimerico, la resistenza sarà notevolmente elevata se fatto nella direzione delle fibre, trasversalmente ad esse daranno un contributo modesto, quindi anche come vengono mischiate è importante.

Anche nel caso delle leghe metalliche ha un rafforzamento per 2° fase che però deve controllare la tipologia, la forma e la dimensione con opportune lavorazioni termomeccaniche, cioè riscaldamento e deformazioni plastiche.

④ **Imbutitura, piegatura:** In generale sono operazioni fatte a freddo per ottenere dei profolati.

⑤ **Stiramento**

⑥ **Estensioni:** Si parte da un componente molto grande che potrebbe avere forme complesse, di solito è un processo che si compie ad alta temperatura e funziona come una siringa: un materiale viene spinto attraverso un orifizio di forma opportuna per ottenere un dato profolato.

Quando viene effettuata una deformazione plastica di materiale incrudito. A livello metallografico, cosa succede?

Si osservano dei bordi di grano, ma si osservano ad esempio delle strutture che mi definiscono delle aree, dei domini, tali per cui in quelle zone vi sono striature a 45° ed altre ad esempio a 60° o in altre direzioni. Queste striature non sono il risultato metallografico degli scorrimenti, sono il risultato dei movimenti di migrazione di dislocazioni secondo certi piani a massima imperfezione.

INCRUDIMENTO: si formano correntemente nei materiali a reticolo cubico a facce centrate e FCC si formano nei CCC. Sono interazioni dei cristalli più grandi, con formazione di cristalli a bordi di grano di grano tra di loro paralleli.

TATTAMENTI TERMICI

Recovery (ripulimento)

Un materiale viene posto in un forno ad una certa temperatura per un certo tempo. All'inizio il materiale incrudito è formato da un elevato numero di dislocazioni, nel momento in cui viene lasciato in forno per un po' di tempo quella situazione che era ad elevata energia tende ad abbassarsi cercando di raggiungere basse energie e mettendosi in equilibrio... Alcune dislocazioni si mettono in moto e quelle opposte si annullano, annullandosi.

Quindi aumentando la temperatura del materiale lo sfruttiamo a raggiungere un equilibrio a minor energia.

Risultato: delle zone nel materiale in cui il numero di dislocazioni diminuisce e delle zone del materiale in cui le dislocazioni si accumulano a concentrazione: la formazione delle cosiddette **celle** (iblemi in cui il numero di dislocazioni tende a diminuire e superficie tridimensionali in cui il numero di dislocazioni tende ad accumularsi).

Passa del tempo.

Scomparsa delle dislocazioni nelle celle. Ovviamente il numero delle dislocazioni non è mai zero ma raggiunge un valore minimo quindi all'interno di certe aree abbiamo il numero minimo di dislocazioni, tali e quali a quelle di un materiale che hanno il minimo di energia.

Ma ci sono ancora zone ad elevato quantitativo di dislocazioni per ancora esistente perché sono su piani cristallografici diversi e diversamente orientati.

Passa altro tempo.

Inizio di formazione di sottogranzi: all'interno delle aree bandede minimo numero di dislocazioni, mentre nei punti di concentrazione delle dislocazioni diminuiscono di numero definendo dei bordi di sottogranzi, analoghi ai bordi di grano ma estremamente più piccoli.

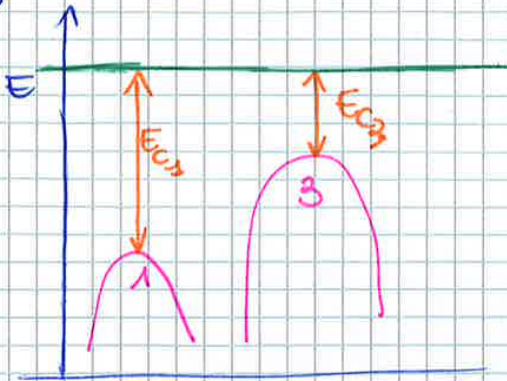
Passa ancora altro tempo.

I bordi di sottogranzi iniziano a crescere, diminuendo la loro energia. Questo è il punto di partenza per avere la nucleazione dei bordi di grano cristallino perché crescendo generano dei nuclei di grani cristallini, con all'interno modesta concentrazione di dislocazioni.

MATERIALE NON PIÙ INCUDITO.

Recovery è funzione della temperatura:
 ↗ alta: tempi corti
 ↘ bassa: tempi lunghi.

Si fanno due dati ed un intervallo di temperature.
 Se il materiale viene deformato a freddo, si ricristallizza se ha energie sufficienti all'operazione.
 La somma dell'energia è data dall'energia meccanica indotta dall'incrudimento che quindi varia in base all'incrudimento del materiale, e dall'energia cinetica data dal moto termico.



Quindi l'intervallo è dettato proprio dalla differenza di incrudimento del ferro, affinché la somma di energie totali sia comunque costante.

La temperatura più bassa ci dà un limite di temperatura sotto il quale il materiale non ricristallizza, mantenendo le proprietà dettate dall'incrudimento.

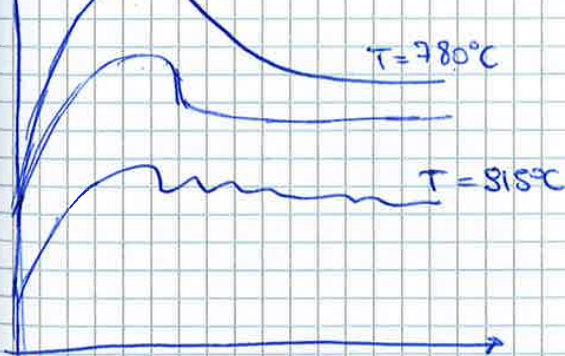
Lezione 8

Ricristallizzazione dinamica

Vi è un componente che viene compresso in tutte le direzioni: subisce una compressione e viene deformato in tutte le direzioni.
 Le condizioni per cui vengono effettuate queste compressioni sono le temperature tra 780°C - 815°C .

Si osserva che aumentando la temperatura a cui viene subita la prova diminuisce un po' il comportamento elastico, ma fa parte delle caratteristiche del materiale, si abbassano i punti di incrudimento del materiale.

Visto che la temperatura è elevata dopo l'incrudimento il materiale ha un tipo di deformazione diversa da quella ~~normale~~ finita.



Si ha un'apparente incrudimento e diminuzione delle caratteristiche meccaniche.

I grani cristallini in cui ho avuto alte dislocazioni in seguito all'incrudimento ad alte temperature inizia a ricristallizzare per cui diminuiscono le caratteristiche meccaniche.

Questo viene definita ricristallizzazione dinamica associata ad un certo materiale ad una certa temperatura.

In questo modo è possibile fare deformazioni molto ampie senza necessariamente creare

troppi dislocazioni, e quindi senza portare il materiale a microdeformamenti e microvuoti che altrimenti si formano.

Ecco che eseguendo delle deformazioni ad opportune temperature, velocità il materiale incrudisce e ricristallizza un'infinita di volte.

QUESTO È UN COMPORTAMENTO SUPERPLASTICO!

Questo vuol dire che il materiale raggiunge fino al 700-800% di allungamento.

Pensiamo di avere un pezzo (dimensioni: $1\text{m} - 0,5\text{m} - 1,5\text{m}$) e si vuole ottenere un nastro di ($1\text{m} / 2\text{mm}$ e lungo di conseguenza).

Non si riesce ad ottenere con un solo passaggio a caldo, a meno che non si lavori in condizioni di superplasticità.

Altre grandezze possono influenzare la ricristallizzazione come la presenza di una 2° fase tipo ossido di silicio o ossido di alluminio.
 La presenza di particelle di 2° fase costituiscono dei rafforzanti ed ~~però~~ abbiamo l'influenza della percentuale di particelle in funzione della temperatura.

Esempio con una lega AA7075. CICLO TERMO-MECCANICO

(Solubilizzazione)

Viene rapidamente riscaldata e mantenuta a temperatura costante di 482°C. Poi viene raffreddato di colpo → temprato.

Poi viene spostato in un forno a temperatura più bassa: sovrainvecchiamento.

Poi si raffredda velocemente. Riscaldato di nuovo a 280°C e portato tra dei zucchi per diminuirne lo spessore, ma più che altro per incedere il materiale ed aumentare le dislocazioni.

La temperatura sale e scende per l'attrito interno del componente. Scende la temperatura.

Infine viene riportato a 400°C con il materiale ricristallizzato e poi si raffredda.

A fine processo il materiale non è menudito ma i grani cristallini hanno la dimensione che ci interessa.

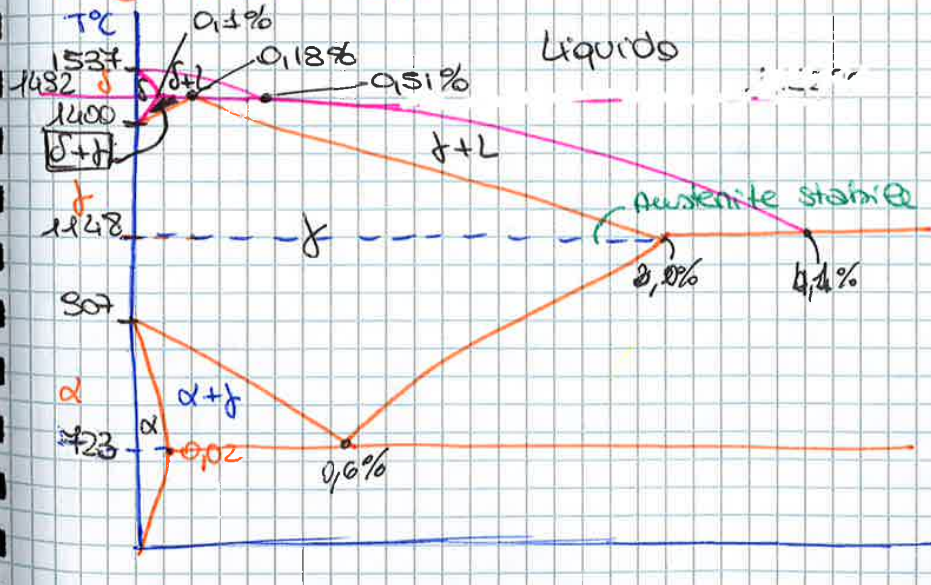
Per aumentare le caratteristiche meccaniche bisogna evitare che il materiale cristallizzi, bisogna aumentare la T di ricristallizzazione e per farlo si usano le impurezze e la tipologia delle impurezze.

Alcuni elementi vengono quindi aggiunti per innalzare la T di ricristallizzazione come il manganese (0,10 / 0,13%) nell'alluminio, così la T è 250°C.

Singoli materiali ingegneristici.

LEGHE BASE FERRO

Diagramma di Stato



- T di fusione del Fe 1534°C
- Ha delle trasformazioni allotropiche
- 1400 < Fe < 1534: Cubico corpo centrato Ferrite δ.
- 907 < Fe < 1400 Cubico facce centrate Austenite γ
- 0 < Fe < 907 Cubico corpo centrato Ferrite α

Elemento principale C.

Partendo da bassa temperatura: la ferrite α è in grado di serbatoio modesti quantitativi di carbonio, stano piccolo che entra in soluzione interstiziale e p intrusionale, e la sua solubilità massima è circa dello 0,02%.

Nell'austenite il carbonio è definito come elemento stabilizzante l'austenite, cioè se aggiungiamo carbonio l'intervallo in cui è austenite è stabile è ampia.

1482°C → temperatura peritettica

in cui esistono le singole fasi Ferro-Carbonio,

Definite α, δ, γ e liquido ci sono degli intervalli di temperatura chiamate **LACUNE DI MISCIABILITÀ**, cioè intervalli di temperature e composizioni tali per cui coesistono 2 fasi contemporaneamente.

$$Cep \% = C \% + \frac{Si \%}{3} + \frac{P \%}{3}$$

Come la lega si comporta come se il $C = Cep$ curando le problematiche di resistenza.

Il silicio rapporta il carbonio entrando in soluzione solida nelle Ferrite, spaven- do sostanzialmente.

Il fosforo dà origine ad un fosfuro di ferro: fase poco resistente e fragile.

Il fosforo ha dei vantaggi a livello liquido ma quando diventa solido è fragile quindi si evita.

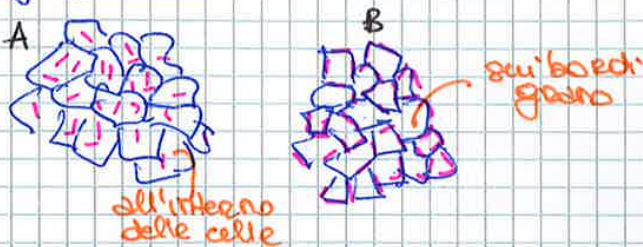
Quindi prima di effettuare una lega si vuole $Cep = 4,2\%$

Ex. $4,2\% \approx 3\%C + \frac{3}{3} Si\%$

Questo però può non essere sufficiente.

$$L \approx f + Cg$$

Infatti il carbonio si può posizionare in 2 modi distinti all'interno della matrice ferritica α .



Ai fini delle resistenze meccaniche è migliore la situazione A.

La situazione B: l'austenite è un materiale dotato di grande duttilità.

Il carbonio grafiteo tutt'altro!

Se tante particelle di materiale duttile sono separate da una fase caratterizzata da modeste caratteristiche meccaniche.

è fragile. Applicando un carico repentino la presenza di questi bordi grano in carbonio mi fa crollare la duttilità del mio materiale portandolo ad un repentino collasso.

Nella situazione A: la matrice fragile è inglobata, risultando la situazione migliore.

Per ottenere la situazione A è necessario che una delle due fasi si ottenga prima. Ovvero è necessario che si formino dei nuclei di carbonio grafiteo che poi vengono circondati dalla matrice prima austenitica poi ferritica.

INOCULAZIONE

processo nel momento in cui si fonde la colata nello stampo: si aggiungono particelle granulari di una polvere contenente Fe-Si (50% e 50%).



Questa particella si scioglie piano piano, cambiando le percentuali delle componenti della particella. Anche il liquido nei pressi della particella che si è sciolta cambia composizione di ferro.

Consideriamo una particella lontana:

Fe: 54%
Si: 3%
C: 3%

Consideriamo ora la particella di liquido nei pressi della particella solida:

$$\begin{matrix} \sim 50\% Fe + 54\% \\ \sim 50\% Si + 3\% \\ \quad 3\% C \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} Fe = 42\% \\ Si = 26,5\% \\ C = 1,5\% \end{matrix}$$

$$\% Cep = 1,5\%C + \frac{26,5\% Si}{3} = 10,5\%$$

Intorno alla particella!

Questo porta alla formazione di $Cg + L$ intorno alla particella di inoculante portandola al risultato voluto.

SFEROIDIZZAZIONE: favorita dalla presenza di Magnesio, boro zolfo, boro tenore di elementi che inibiscono la sferoidizzazione come Arsenico, Antimonio, Stagno, Titanio, Rombio, Rombio).

Le ghise vengono classificate in base alla distribuzione, forma e dimensione che la grafite ha nella matrice.

Distribuzione: più omogenea possibile.

Forma: lamellare e sferoidale.

Dimensioni: piuttosto piccole.

Ghisa 40-20-15 → resistenza a snervamento (kg/mm^2)
 resistenza massima (kg/mm^2) → allungamento a rottura percentuale.

Cementite

Nel momento in cui si formano dei noduli di carbonio attorno a cui si trova una base ferritica fenite che ha avuto le possibilità attorno ai noduli, durante la trasformazione eutettoidica, di trasformarsi in austenite perdendo carbonio, che ha raggiunto i noduli e di conseguenza ha dato origine ad una matrice con basso carbonio, fenite, lontano dai noduli si trova anche perlite, nominalmente allo 0,6% di C, nella trasformazione e scoppia la austenite che ha cercato di perdere carbonio, ma il tragitto che il carbonio aveva da compiere per diffusione era troppo ampio affinché il carbonio potesse raggiungere i noduli di carbonio grafite. Di conseguenza alcuni volumi, cui si sono impoveriti di carbonio e hanno dato origine a **FERRITE**, e il carbonio è stato spinto di lato e ha formato delle zone a più elevato tenore di carbonio, tuttavia non ha formato del carbonio grafite, ma della **CEMENTITE** e quindi tutta la struttura finisca prende il nome di **FERRITE**.

La perlite risulta più resistente della fenite, ma meno allungabile.

Se utilizziamo questa tecnologia, costi di produzione piuttosto modesti, mediamente non utilizziamo processi di deformazione plastica importanti. Le uniche operazioni meccaniche che sono ragionevoli da eseguire sono:

- 1. l'asportazione del truciolo;
- 2. fresatura, per ottenere dei piani di contatto / concentricità rispetto ad altri componenti che siano tra di loro in tolleranza;
- 3. si fanno dei fori / filettature;
- 4. operazioni di tornitura.

Ghisa lamellare di fuso: fastidio di ferro: steadite.

La presenza di fosforo porta a ~~esclusa~~ delle impurità nel materiale. Questa ghisa è perlite e fastidio di ferro, in generale di minor resistenza del materiale che puede deve essere presente in percentuali basse. In questa ghisa la distribuzione di carbonio grafite è meno omogenea.

Punto della situazione

Ghise → costo competitivo

→ percentuale grafite che può arrivare al 3%, ma avendo come proprietà meccaniche e come viene buchi e pori.
 → si manifesta però una variazione di volume, aumento di densità nel passaggio liquido-solido: a pari peso, il kg di liquido messo occupa un metro cubo, questo avviene in quasi tutte le leghe.
 Nelle ghise la Al₂O₃, perché si hanno delle fasi metalliche.
 ma si ha anche la presenza di **CARBONIO GRAFITICO**.

$\rho_{liq} = 7000 \text{ kg/m}^3$ ghisa liquida

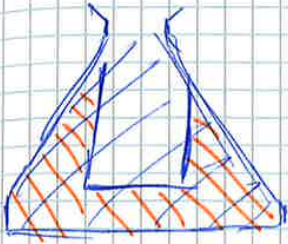
$\rho_{sol} = 7800 \text{ kg/m}^3$ costituenti metallici

$\rho_{graf} = 2000/2500 \text{ kg/m}^3$ " grafici"

Circa 3% in volume → passa da 7000 kg/m^3 a un terzo

Quanto solido?

$$\text{Sólido} = \frac{0,51 - 0,3}{0,51 - 0,18} = \frac{21}{33} \approx 66\%$$



Solidifica piano piano le parti esterne e un po' si va a solidificare all'interno.

Perché nella prima fase si ha formazione di solido S che sarebbe 0,1% di C, mentre dopo la trasformazione bisogna avere $C = 0,18\%$ nella parte solida, allora durante la trasformazione il carbonio migra verso il solido, questo processo necessita di ore perché gli atomi di carbonio si devono diffondere.

④ : fase completamente austenitica. **UNA FASE.**

Il fatto nel componente reale, la temperatura è costante, ma le composizioni (percentuali di carbonio) non sono omogenee e quindi potremo avere dell'austenite con tenore di carbonio differente.

Quel soprattutto lontano dal liquido potremo avere zone a diversa percentuale di carbonio, e la media sarà pari al 0,3%.

Se il raffreddamento è veloce questa situazione è accentuata.

Nei nostri lingotti si può avere grande variazione delle del carbonio, che non va bene.

Perché il carbonio modifica le caratteristiche del materiale, allora bisogna omogeneizzare il lingotto, come?

Si potrebbe forgiare, ma è preferibile un metodo di **RICOTTURA**.

RICOTTURA

Si rimette un materiale in forno dopo che ha raggiunto la temp. ambiente, si riposiziono in forno ad alte temperature e lo si lascia per parecchie ore, si sta in fase austenitica, se vi sono differenze costituzionali - queste saranno delle forze spingenti **DRIVING FORCE** tali per cui alla fine si avrà di avere una certa omogeneità di carbonio.

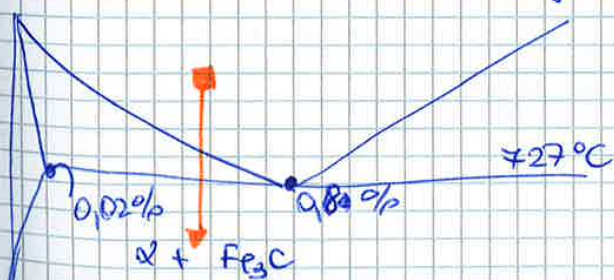
quindi trattamenti a 1300°C circa per 8-10 ore : **RICOTTURA**.

si lascia quindi tempo al carbonio di diffondersi da zone ad alto contenuto di carbonio a quelle a basso contenuto.

Via, via il tenore è alto di carbonio, più il problema è evidente.

PERLITE

A questo punto si ha un materiale omogeneo come composizione chimica. ~~con un~~ lo riscaldiamo fino al campo austenitico.



poi si raffredda, l'austenite al di sotto di 727°C sempre avviene una trasformazione ipoeutettoidica. E quindi alla fine si ottiene una miscela di 2 costituenti metallografici:

Ferrite α + Carbonio di ferro cementite

con una distribuzione lamellare. Siamo parlando del diagramma di stato metastabile Ferro-Cementite.

Fe_3C \rightarrow cementite

Perlite : miscela Ferritica - Cementitica.

Alle temperature prossime e sulle eutettoidica si ha un certo tenore di carbonio, al di sotto l'austenite deve sparire.

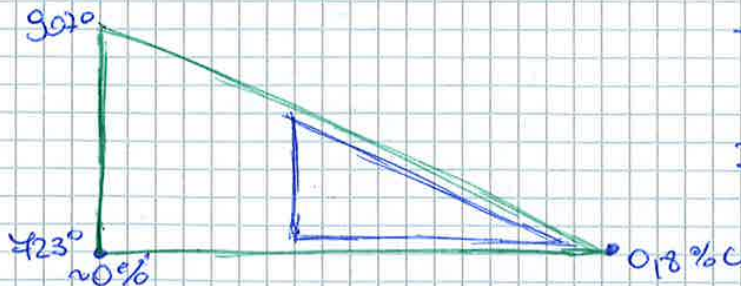
Una delle fasi stabili è la ferrite α che sarebbe circa lo 0,02% di C. quindi si deve formare un'altra fase ad elevato tenore di carbonio cimentite.

2 POSSIBILITÀ

carbonio grafite : diamo tutto il tempo affinché il carbonio si sposti, e la forma dei noduli di carbonio grafite, etc.

TRATTAMENTI TERMICI

- La temperatura eutettoidica viene definita A_1 , dove la γ sta per cooling, perché per innescare la reazione bisogna o raffreddare o surriscaldare.
- La temperatura di Curie: A_c (legato alle caratteristiche magnetiche del pezzo). $A_{c2} = 768^\circ\text{C}$
- La temperatura A_3 descrive un insieme di temperature che descrive la linea che chiude il campo austenitico in base, al di sotto della quale non esiste l'austenite. Quindi è funzione della % di carbonio.



Triangolo di coesistenza di ferrite e austenite alle diverse T e composizioni.

Il triangolo interno è simile a quello esterno \rightarrow ci è utile per sapere A_3 in un certo acciaio con una certa % di C.

EX. C = 0,2%
 $A_1 = 723^\circ$
 $A_2 = 768^\circ$
 $A_3 ?$

$$(907 - 723) : 0,8 = (T - 723) : (0,8 - 0,2)$$

$$T ? = 723 + \frac{907 - 723}{0,8} (0,6) = 861^\circ$$

Per essere all'interno del campo austenitico, inserisco il pezzo ad una temperatura superiore di quella trovate.

Lezione 13

TRATTAMENTI TERMICI SUGLI ACCIAI:

Ricottura: ^{di ferrite} Processo termico: cottura di acciaio effettuato su acciaio con tenore max di 0,25% C servono a distendere il materiale. Si può avere una ricristallizzazione, anche a $T < A_1$

Ricottura completa: Ci indica le temperature di riscaldamento del materiale per ogni % di C in intervalli di T al di sopra comunque di 30-50°C per ottenere fasi di austenite comunque omogenea. Per %C inferiore allo 0,8% $T > A_3$. Per %C superiori allo 0,8% $T > T_{\text{eutettoidica}} (A_1)$ e quindi si ha la coesistenza di austenite e cementite.

In genere il raffreddamento è molto lento in forno, [10/20°C/h], 6/8/10 h.

È importante che il processo sia lento a cavallo delle T di trasformazione (A_3/A_1) quando infatti l'austenite è completamente spenta abbiamo: ferrite e cementite (come strutture metallografiche: ferrite e perlite)

Questo implica dei costi, così per queste operazioni si esegue un raffreddamento forziato di solito:

NORMALIZZAZIONE

Bisogna essere nel campo austenitico ed ottenere il 100% di austenite con omogenea % di C all'interno.

A questo punto si estraggono i pezzi dal forno e si lasciano raffreddare in aria calma. I pezzi si raffreddano più velocemente rispetto quella del forno a T normal. Qui si varia quanto la velocità varia in funzione della grandezza pure del pezzo.

Ricottura di sferridazione: i carburi di ferro (principalmente cementite). In genere la cementite ha struttura lamellare, tuttavia si vede che questi carburi, talvolta, abbiano una struttura sferoidale e non lamellare. Ecco che quindi questo processo si fa per materiale con

Micr costituenti che si possono formare:

velocità di raffredd.

- Ferrite globulare: cementite sferabile (processi lentissimi)
- Ferrite: grossolana fine
- Bainite: struttura metallografica che si forma nell'intervallo 200-500°C
- Martensite: fase (prendo le prove e lo raffreddo in acqua). C 5-10 a 7

DIAGRAMMA TTT (Temperatura Tempo Trasformazione) anche chiamato "di Bain".

Si ha una scala orizzontale in cui sono riportati dei tempi, una scala verticale in cui vengono indicate le temperature proprio a cavallo delle Temperature di trasformazione: ci sono delle curve che mi danno i tempi a cui le trasformazioni avvengono.

Analisi dei cambiamenti nei materiali: si può utilizzare un sistema di dilatazione termica differenziale cioè si valuta se dato un certo range di dilatazione termica si succede qualcosa nel materiale. Nel raffreddamento a temperatura costante si forma prima della ferrite mista di austenite e poi si arriva a una totale ferrite.

Naturalmente si fanno tante prove a diversa temperatura individuando diversi punti di inizio e fine trasformazione, unendo tutti i punti si ottiene la curva di inizio e di fine trasformazione.

DA 500°C

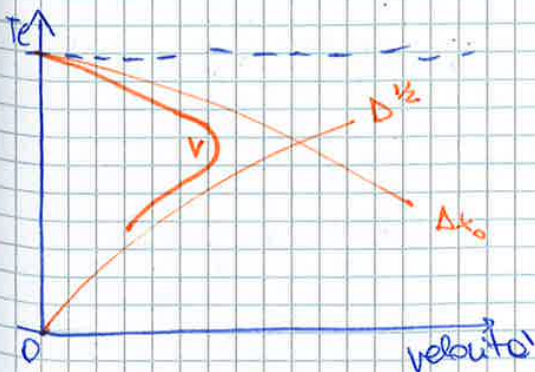
A Temperature basse si ha un det. periodo di tempo e una formazione di ferrite fine, mentre ad alte temperature i tempi sono più lunghi e la ferrite è grossolana.

Al di sotto di 500° si ha la formazione di Bainite invece Ferrite.

Al di sotto di 220° circa si registrano variazioni di parametro fisico e per cui è austenite che era presente in questa fase di temperatura si trasforma definita in una nuova fase: Martensite. Non si ha tempo di incubazione, questa fase è funzione della Temperatura (isoterma) considerata. Quindi non si ha bisogno di tempo di per spartire il carbonio.

Nel diagramma TTT si definisce una zona in cui esiste austenite stabile, sopra A1 (nel caso di trasformazione euteroide A1=A3), una zona in cui ad intervalli di tempi e temperature è sempre austenite (Austenite metastabile), poi vi è un campo di ferrite, di martensite e di Bainite.

La ferrite essendo fatta da fasi stabili una volta formata non si trasforma in Bainite.



Δx_0 : mi tiene conto della sola saturazione del α l'eccesso di B rispetto al quantitativo di B che si può sciogliere in α .

La sovrassaturazione è la forza spingente forte per cui α spinge via B e si impedisce di B che a sua volta si sposta in posti nuovi dando origine a una nuova fase β .

Poiché è necessario che B diffonda si valuta il parametro della diffusione in funzione della temperatura.

La DRIVING FORCE sono quindi la SOVRASSATURAZIONE e la DIFFUSIONE.

Quindi alle temperature intermedie si ha tempo di incubazione minimo perché la velocità è massima.

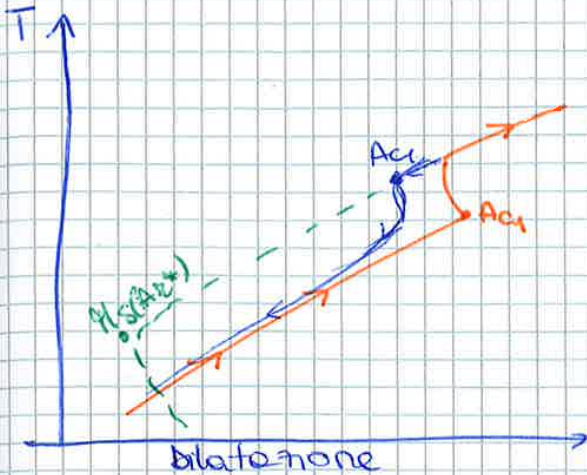


Se il Carbonio occupa la posizione centrale di ogni CFC auremmo il 5% di C. Ha l'austenite maggiore al massimo il 2%, nella composizione eutettoidica 0,8%.

Consideriamo il caso di una lega formata dal 1% di C.
Auremmo un atomo di C ogni 5 cubi.

Rispetto tutto il reticolo auremmo quindi pochi atomi di carbonio e sare' possibile per il reticolo abbassarsi facilmente per ottenere un reticolo non cubico ma tetraedico, con un'alttezza che non sara' uguale al parametro dell'austenite, ma sare' un po' ridotte.

Questo e' il tipo di trasformazione austenite → martensite



Se il carbonio e' molto basso, sotto lo 0,1% non si ha piu' formazione di martensite perche' non si ha la distorsione tetraedica delle celle, ma otteniamo un ecc che e' una ferrite con un leggero stato tensionale.

Anche in seguito a rapido raffreddamento, quindi al di sotto dello 0,1-0,2% di C non si ha la formazione della martensite.

Se invece si ha un tenore maggiore, si ha la formazione della distorsione del reticolo e la trasformazione in **TETRAEDRO A FACCE CENTRATE** mediante la **DISTORSIONE DI SPINE**.

Lezione 15

Acciaio ipoeutettoidico

Riferimenti al diagramma di Fe-Fe₃C.

Consideriamo gli acciai con tenore tra 0,2-0,8%.

Si puo' osservare che aumentando la concentrazione di carbonio, progressivamente in modo continuo e lineare, la temperatura che in dca la formazione di martensite scende progressivamente.

Costruendo il diagramma stabile e metastabile, abbiamo detto che il carbonio stabilizza l'austenite e cio' quindi estendendo questo concetto e' chiaro che l'austenite, raffreddata molto velocemente in modo di un secondo non ha il tempo di trasformarsi, se l'austenite contiene piu' carbonio comincera' a trasformarsi in un'altra fase a temperature progressivamente piu' basse.

Il C stabilizza l'austenite, anche quella metastabile → se il tenore e' piu' elevato, l'austenite metastabile puo' esistere a temperature piu' basse.

C: 0,5%

Raggiunta la temperatura di A3, il diagramma stabile ci dice che parte dell'austenite si trasforma in ferrite.

Tra A3-A1: Austenite → ferrite; questo sul diagramma TTT si traduce con una terza linea che parte da A3 e poi va a chiudere sul naso della curva questo linea rappresenta la trasformazione da austenite a ferrite.

Quindi, nel caso di un raffreddamento istantaneo e poi che si mantiene nell'intervallo critico, si identifica un insieme di temperature e tempi (molto alti) tali per cui la ferrite si trasforma in ferrite. Se il raffreddamento avviene al di sotto di A1 si identificano i tempi di in cui Austenite → ferrite poi ferrite + austenite → ferrite (100% di trasformazione), questa via sta a temperature sempre piu' basse, quindi alla temperatura in cui la miscela di ferrite e cementite genera la bainite, e per fino sul arrivare alla temperatura di **MARTENSITE START**.

Da un diagramma CCT, così come da uno TTT, si capisce se parliamo di un acciaio euteroideico o meno dalla presenza (o assenza) di una linea curva che va al di sopra di $A_1 (=723^\circ\text{C})$

Osservando diverse curve di raffreddamento continuo si osservano due:

ACCIATURA COMPLETA (full anneal) \rightarrow perlite grossolana ($t=10^5\text{s}$)

NORMALIZZAZIONE \rightarrow perlite fine ($t=10^4\text{s}$)

Se ho un raffreddamento un po' più rapido

($t=100\text{s}$) \rightarrow Martensite + perlite

Raffreddamenti in tempi inferiori a 10s \rightarrow Martensite.

IL RAFFREDDAMENTO CRITICO avviene quando la velocità di raffreddamento è tangente al naso della curva.

Questa curva mi stabilisce il limite tra formazione di solo martensite e di martensite + perlite.

ACCIAIO 1080

Normativa statunitense

acciaio contenente
sostanzialmente
carbonio
senza presenza di
altri elementi leganti

percentuale di carbonio
moltiplicata per 100
quindi acciaio con 0,8% di C

SIGNIFICATO DI:

- 1: Acciaio senza elementi leganti
- 0: Altre caratteristiche

All'interno di un diagramma CCT:

- P sta per perlite
- F sta per la trasformazione di austenite in perlite.
- B mi identifica l'insieme di tempi e temperature tali per cui se la trasformazione porta in quell'intervallo, si ha solo la trasformazione di austenite metastabile in BAINITE.
Se prima si erano formate ferrite e perlite, quelle rimangono tali.
- M austenite \rightarrow martensite.

Al di sotto delle curve di raffreddamento possibili di questo materiale sono indicate dei valori di durezza Brinell in base alla velocità e le curve seguenti. Più veloce è il processo, più resistente è il materiale ottenuto.

REGOLA DI DUREZZA:

Valore di durezza Brinell $\times 3 =$ valore della resistenza

Contemporaneamente a questa designazione ve ne è un'altra solo numerica in cui il primo numero vale 1. (ci riferiamo agli acciai), e poi vi sono 4 numeri compresi tra 1000 e 9999 in base all'acciaio.

Acciai non legati < 1.00xx
< 1.30xx

Acciai legati < 1.08xx - 1.18xx
< 1.38xx

Nel caso in cui ce troviamo di fronte ad una sigla 1035 parliamo di nomenclatura americana.

Se invece leggiamo ad esempio 30CrV5 ci riferiamo sempre ad una classificazione europea secondo i 4 gruppi prima citati.

Quindi in Europa si fa una nomenclatura sia di tipo alfanumerica, sia di tipo numerica.

C'è un vantaggio ad utilizzare una classificazione solo numerica, ovvero nel cercare in un database il peso. È più difficile però risalire semplicemente dal numero ai materiali legati.

1° sottogruppo: acciai non legati

C 20 → acciaio non legato con 0,20% C

↓
tenore di carbonio
x 100

2° sottogruppo: acciai debolmente legati

16NiCr4 → tenore di carbonio x 100
↓
Simboli degli elementi legati aggiunti
Nichel di più di 10% perché scritto prima
quantitativo di elementi aggiunti.
Tuttavia è un fattore moltiplicativo. Il 4 si riferisce al Nichel ed indica Ni = 1%.

Per Cr/Ni/Si/Mn il coeff. moltiplicativo è x4.

Per Al/Mo il coeff. moltiplicativo è x10

41Cr4 → 0,41% C e 1% Cr

35NiCrMo35 → 0,35% C, 1,75% Ni, 1,25% Cr, 0,2% Mo

50CrSi8-3 → 0,5% C, 2% Cr, 0,75% Si

3° sottogruppo: acciai legati

Almeno 1 elemento legante è superiore al 5%.

X5CrNiMo18-10-2
↓
Mi dice che sto nel 3° gruppo
↓
tenore di carbonio x 100
↓
Valori nominali in percentuale

0,05% C, 18% Cr, 10% Ni, 2% Mo

È un acciaio inossidabile, quindi non ha problemi di corrosione.

X35Cr13 : 0,35% C e 13% Cr

Lezione 17

• N.B. Tempra = brusco raffredd.

Temprabilità degli acciai

I fattori che influenzano la durezza finale dopo tempra e non solo la durezza superficiale ma tutto il profilo che si ottiene e' funzione:

- della composizione chimica dell'acciaio (influenza tempi e temperature)
- dimensione del componente da temprare, più e' grande più e' difficile temprarlo.
- forma del componente.
- Tipologie del mezzo temprante: olio, acqua, olio.

Questi parametri mi condizionano la possibilità di avere martensite dopo tempra. Cerchiamo di suddividere tutti questi aspetti per studiarli.

TEMPRABILITÀ: proprietà che determina la profondità e la distribuzione della durezza indotta dalla tempra da austenite.

Essa e' funzione di:

- 1 Composizione chimica.
- 2 Dimensione dei grani di austenite, al momento in cui parte il materiale alla temperatura di austenizzazione i grani sono piccoli, facendolo il pezzo in forno, per aumentare la loro stabilità diminuendo l'energia, la dimensione dei grani aumenta. Come la martensite va ad occupare l'intera cella dell'austenite, la dimensione di tale cella influenza il risultato finale.
- 3 Struttura dell'acciaio prima della tempra.

Metodologie per valutare la temprabilità di un pezzo:

- 1 PROVA DI GRAISSMAN
- 2 PROVA DI JOMINY

GLOSSARIO

H: fattore di districato della tempra

E' correlato al mezzo temprante, anche indica come coeff. di Graissman.

$$H = \frac{\text{coeff. di trasferimento termico globale tra mezzo temprante e superf. conduttività termica del materiale metallico}}$$

Il mezzo temprante ideale e' quel mezzo che porta immediatamente il pezzo a temperatura voluta.

finché quindi un coeff. di scambio molto alto $H = \infty$.

Questa condizione e' servida da tutte le problematiche che un componente reale ha permettendoci di considerare solo come il materiale raggiunto la temperatura di tempra eliminando fattori esterni come la tempra stessa.

Nel caso reale va da 0,2 - 0,10 a 0,5 - solo acqua (acqua e olio).

D₀: diametro critico

E' il diametro a cui una barra per un certo mezzo temprante ha un cuore formato dal 50% di martensite.

La relazione tra diametro critico e diametro ideale critico e' correlata alla velocità del mezzo temprante.

Le caratteristiche dell'olio di tempra: elevata capacità di esportazione del calore relativamente bassa viscosità in modo da girare velocemente intorno al mezzo temprante e bassa T di infiammabilità, si allungano dopo che dei fiumi di olio nel momento in cui il pezzo ad alta T, se l'olio raggiunge la T di infiammabilità succede un disastro.

L'agitazione dell'olio o pompaggio del mezzo temprante incrementa lo scambio termico → incremento anche H.

L'acqua e' un mezzo temprante a basso costo e con un potere temprante maggiore di quella dell'olio. L'acqua a 100°C esporta molto calore (calore latente).

Dato che il mezzo temperante mi influenza il diametro critico per cercare di dare una valutazione generale in base solo alla composizione chimica del pezzo bisogna convertire il diametro critico nel diametro critico ideale, che è un caso più generico ed elimina la variabile della velocità di raffreddamento.

Per stabilire il diametro ideale vi è una tabella.
Un p mezzo temperante con $H=2,0$ o $H=5,0$ è molto vicino ad $H=\infty$ quindi $D_0 \approx D_i$

Una barra temperata è principalmente martensitica, eccetto il cuore che è 50% ferritico e 50% martensitico.

Quindi da un grafico CCT ricavare il valore di D_i e dalle tabelle ricavare D_0 .

Effetti della composizione

- $> \% C \rightarrow > \text{temperabilità}$
- Gli elementi leganti aumentano la temperabilità, ma ci sono delle eccezioni:
 - Zolfo S: perché da origine a solfuro di manganese
sposta fin \downarrow come elemento legante
 - Cobalto Co: favorisce l'enucleazione della ferrite
sfavorisce la formazione di martensite
 - Titanio Ti: reagisce con il C formando TiC
abbassa il tenore di C
 \downarrow
sposta le curve a sinistra

Valutazione degli elementi leganti ai fini del valore del D_i critico:

\downarrow Nichel
 \downarrow Silicio
 \downarrow Cromo
 \downarrow Molibdeno (solo fino allo 0,45%)
 \downarrow Manganese

I fattori moltiplicativi aumentano a partire dal nichel.

Come si calcola il diametro D_i critico? In un diagramma che riporta la percentuale di carbonio in peso, che sono gli usuali acciai da trattamento termico, $P_{0.1}$ e $P_{0.5}$ un insieme di curve che fa riferimento alle dimensioni del grano austenitico.

Quindi il tenore di carbonio \rightarrow determina la prima dimensione di D_i

Se ho degli elementi leganti \rightarrow fattori moltiplicativi (che prendo da tabella)

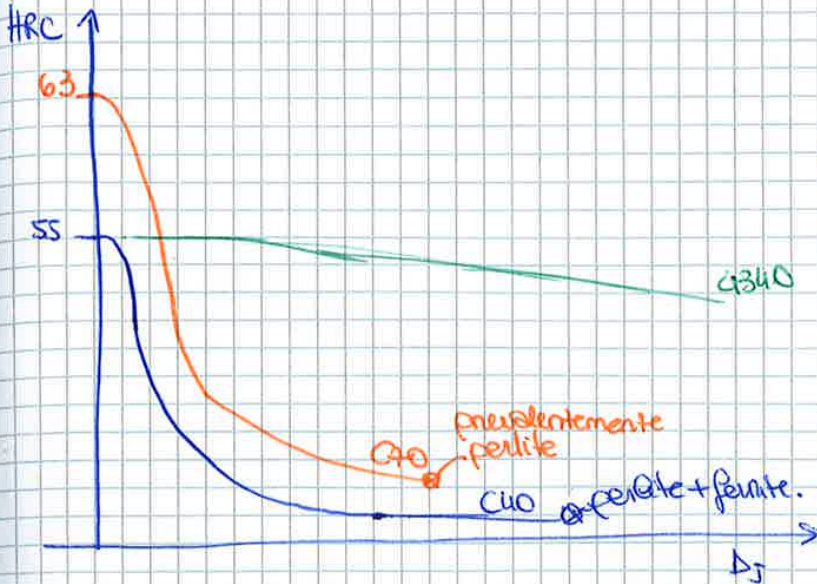
$$D_i \times F.H.$$

$P_{0.1}$ da tabella calcolo D_0 considerando H del mezzo.

Lungo il profilo, la durezza è funzione della temprabilità della barra e quindi degli elementi leganti.

Le diverse sezioni hanno curve di raffreddamento diverse. In base alle microstrutture e alla velocità di raffreddamento si potrà stabilire il grafico CCT.

Salendo si incontrerà via via un diverso tipo di microstruttura fino a giungere alla ferrite grossolana.



Alto carbonio → maggiore distorsione
 ↓
 Maggiore proprietà meccanica

C40 → profondità più alta di C40

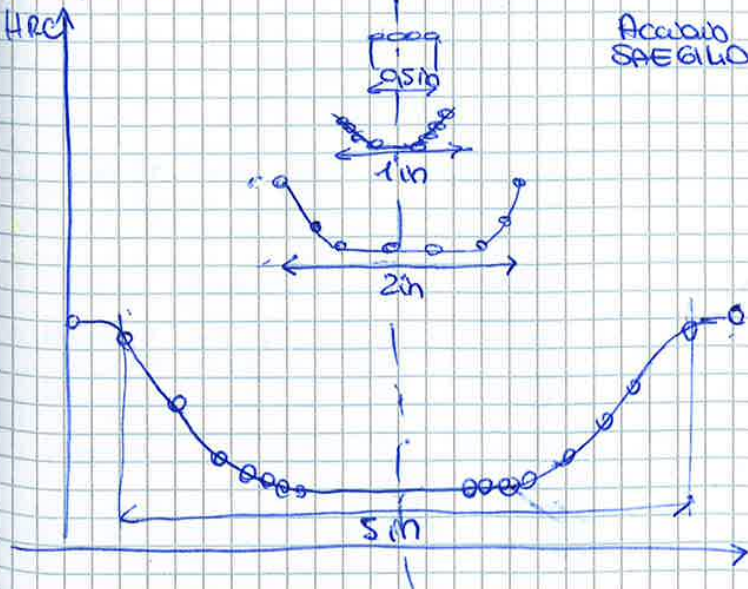
L'andamento del materiale 4340: con molti elementi leganti. È un materiale molto temprabile con strati di martensite a diverse profondità.

In questo modo con le prove Jominy ci si sintonizza sulle proprietà del metallo temprante e delle dimensioni che non sono più vincolanti.

CURVE AD U DI TEMPRABILITÀ:

Abbiamo ottenuto delle curve Jominy [Durezza in funzione della distanza dalla base temprata], ma di fatto abbiamo dei componenti reali messi in forno e poi messi in un metallo temprante di profondità di reattori H, indice di Grossman, e diversi diametri.

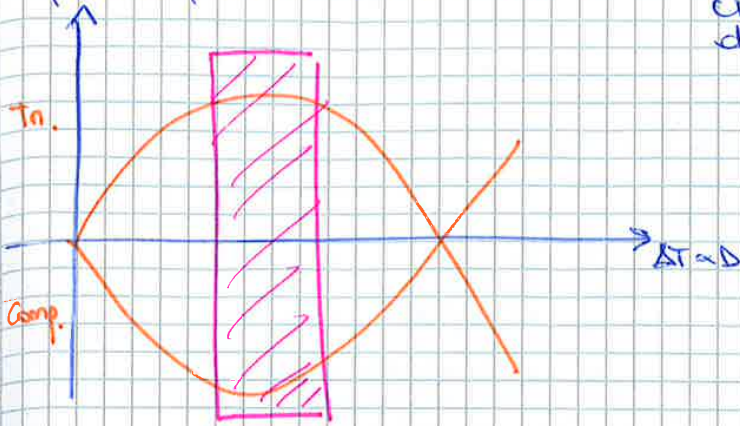
Quindi la variazione di durezza varia dalla superficie verso l'asse del componente.



Le durezze ottenibili diminuiscono progressivamente in base alla dimensione del pezzo reale. Questo è lo schema di un pezzo reale temprato ad H reale.

Andando ad aumentare in un acciaio la % C, all'inizio ho un aumento progressivo della durezza su scala Rockwell poi, quando si arriva al tenore di 0,6% C la durezza si "stabilizza". Quindi la durezza max di martensite di una lega solo Fe-C è intorno ai 62 punti Rockwell per un acciaio con 0,6% C.

Quindi si genereranno pezzi con difetti nel momento in cui avremo pezzi complessi nella zona T_n .
 Ovviamente i AT sono funzioni della temprabilità del materiale.



Ci sono dei casi in cui è pericoloso fare la tempra:
 In generale se il tenore di carbonio è $\leq 0,2\%$ non si forma martensite se è compreso tra $0,2\% C$ e $0,4\%$ visto che la temprabilità è legata al tenore di carbonio bisogna usare un mezzo plastico (acqua) se il tenore di carbonio è maggiore di $0,4\%$, mezzo temprante è olio.
 Il tenore di elementi leganti mi modifica le D.
 Ripetendo un componente con molti elementi leganti, se il pezzo rientra nel range illustrato, si possono avere componenti fratturati in buona percentuale.
 Cosa si fa?

- RAFFREDDARE PIÙ LENTAMENTE, ma la spreca di martensite si riduce.
- SI PUÒ DIMINUIRE IL TENORE DEGLI ELEMENTI LEGANTI, ma stesso problema del raffreddamento a T_n .
- MODIFICARE IL TRATTAMENTO!

TEMPIA ISOTERMA MARTENSITICA (Martempering)

Si può portare il cuore alla stessa temperatura della superficie sopra T_n , così $AT=0$, poi si raffredda non più a gasi, ma a temperatura quasi stabile. Così i gusci interni non spingono su quelli esterni.

↑ TRASFORMAZIONE PASSIVA

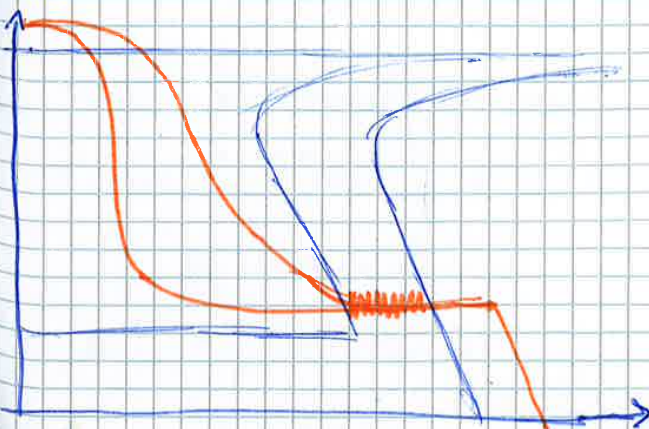
In queste condizioni non si può usare dioperacerebbe, bisogna usare soluzioni di acqua e sale che sono liquide e ottimi scambiatori di calore, ma sono corrosivi quindi vanno lavati bene.

Con questo trattamento la raddenta raddoppia.

NOTA
 resisteria, capace di un materiale di assorbire energia di deformazione elastica (conservare la σ_{res})

AUSTEMPERING

Altro tipo di trattamento termico chiamato anche **TEMPIA ISOTERMA BAINITICA**: consiste nell'aver comunque un raffreddamento rapido del materiale, di curve non devono attraversare la zona della trasformazione (Austenite-Ferrite) e deve essere fermato al di sopra di T_n .



A questo punto il mantenimento nei bagni di tempra avviene in modo più lungo perché la austenite si trasforma in BAINITE, che è una miscela di ferrite e cementite con una struttura molto fine, non lamellare.
 Quando la trasformazione è completamente avvenuta ecco che possiamo raffreddare.
 L'utilizzo dei bagni di tempra impiega tempi molto lunghi, anche un'ora; si pendono dalla $\%$ del C e degli elementi leganti.

IL PROCESSO QUINDI CONSISTE IN:

1. Austenitizzare e acciaio
2. Tenere in un Bagno di sale a $T > T_n$
3. Mantenimento isoterma
4. Raffreddamento a T_{amb} in acqua.

processo di rinvenimento si dà energia al pezzo che va a trasformare l'austenite residua in martensite aumentando la durezza del materiale fino a 5 punti Rockwell.

Per aumentare ancora la temperatura si ha un andamento decrescente delle proprietà meccaniche, mantenendosi comunque superiore rispetto a un acciaio con tenore inferiore.

BONIFICA = TEMPERA + RINVENIMENTO

È il ciclo completo a cui bisogna per forza partire per arrivare a dei tipi di acciai, pena la fortuna astrologica!
Perché?

La resistenza dei materiali partì dal rinvenimento sale vertiginosamente. Un materiale solo temperato si comporta come VETRO! nel caso di un urto violento.

In alcuni casi basta un rinvenimento a basse temperature (200°C) e prende anche il nome di distensione, in altri casi bisogna effettuare un rinvenimento a T più alte (~ 600°C).

In molti degli acciai debitamente legati con cromo, l'allungamento a rottura durante il rinvenimento tra i 250° e i 450° non ha una crescita lineare ma si ha una caduta, di deformabilità, questo fenomeno si chiama:

FRAGILITÀ A RINVENIMENTO.

Questo è fenomeno che può dare problemi, ma si può bypassare questo problema utilizzando un elemento legante che mi attenua il fenomeno: il

MOLIBDENO (0,15-0,25%) che viene aggiunto proprio per questo. Questo perché il cromo è un elemento che forma dei carburi, durante il rinvenimento la martensite riduce il carbonio che si accoppia con il cromo, questi formano particolari forme e dimensioni che portano a quell'andamento, mentre in seguito il molibdeno, esso si accoppia al carbonio che non sono solubili come il cromo.

Dal punto di vista delle microstrutture.

Rinvenimento: stabilimento per del tempo t a una certa T :

4 fasi:

1° fase: 20°C → 200°C: la martensite è piuttosto ricca di carbonio, e ad una fase stabile ma il reticolo è distorto. Se applico calore il reticolo tenderà a diminuire la sua distorsione da tetragonale perdendo carbonio, potrà diventare cubico, fase stabile della ferrite α . La perdita di carbonio coincide con la formazione di carburi metastabili chiamati ϵ .



Non si chiama ferrite perché la solubilità di C alla T eutetoidica è dello 0,02% in questo caso invece C = 0,2%.

MECCANICO: Uve diminuzione di durezza per il cambiamento $M_T \rightarrow M_C$ ma la formazione di carburi ϵ aumentano, quindi sostanzialmente durezza costante.

2° fase: 100°C → 300°C: l'austenite residua diminuisce o scompare. Se l'austenite → martensite: aumento di durezza.



3° fase: 250°C → 500°C: $A \rightarrow M_T$ carburo di Jäck molto fini, uniformemente distribuiti e non stabili. La presenza di questi carburi portano ad una diminuzione proporzionale della durezza di attrimenti siccome crollate nell'intervallo più elevato.



In questa fase è importante la presenza degli elementi leganti, che entrano in questi carburi con una certa periodicità. La microstruttura che si ottiene viene chiamata bainite ed è una miscela di ferrite e cementite, anche se vi è la presenza di altri elementi.

4° fase: Solo per alcuni acciai medio o altolegati con presenza di elementi quindi legati che durante questi intervalli portano aumento di durezza, chiamato durezza secondaria.



Che mi fa?

Queste considerazioni sono state fatte su alcuni Normalizzati.

Se invece si compie la **BONIFICA**:

Sopra lo 0,2% C si ottiene una fase bainitica: i voloni minimi risultano più alti e anche il punto di fermo (transizione duttile-fragile) si è spostato verso le basse temperature, spostato verso lo 0°C. Quindi si è guadagnato in resistenza.

DIFFERENZE TRA RESILIENTE E TENACITÀ

RESILIENTE: misura del lavoro eseguito alla prova Charpy.

TENACITÀ: capacità di bloccare la propagazione di cricche, cioè la tensione per unità di lunghezza necessaria ad una cricca per propagarsi.

Quindi la Bonifica è necessaria per abbassare la temperatura di transizione duttile-fragile, con la Bonifica si raddoppia il prezzo del pezzo, ma è obbligatorio.

L'influenza degli elementi leganti:

Grani più fini portano ad una diminuzione della temperatura di transizione. Per la presenza degli elementi leganti, in particolare uno, il Nichel, ha una serie di vantaggi, non materiale come la temprabilità, ma soprattutto è un **TENACIZZANTE**, aumenta la tenacità spostando in basso la temperatura duttile-fragile. Gli altri elementi leganti danno un contributo modesto, favorendo la formazione di martensite anche a profondità più elevate e per iniezioni di rivestimento e più tenace.

UN COMPONENTE DEVE ESSERE TENACE ANCHE A CALDE E PER ESSERLO DEVE TRASFORMARSI DA MARTENSITE IN BAINITE.

I componenti che mi permettono di lavorare durante ad elevate temperature non sono resistenti. Gli aumenti di durezza vanno quindi un po' a discapito di resistenza.

ATMOSFERE CONTROLLATE

Atmosfera da utilizzare nei forni.

Il materiale a contatto con l'acqua subisce una trasformazione: si ossida. Per produrre ad esempio ruote, prendiamo un materiale recotto, esponiamo il truciolo, bruciaturo, fino ad ottenere la forma definitiva del componente. Se si forma una crosta profonda quando il materiale si ossida, rinfiliamo di perdere la forma prima uscita, quindi bisogna evitarlo. È necessario quindi che nelle fasi finali ci sia un controllo delle atmosfere.

ATMOSFERE PASSIVE: Evitano problemi di ossidazione, ma non vanno ad interferire con il componente.

ATMOSFERE ATTIVE: In cui si possono instaurare reazioni con il componente, reazioni di ossidazione e deossidazione, reazioni di carburazione e decarburazione.

Le atmosfere passive sono quelle formate da GAS NOBILI (Azoto, Argon)

Per utilizzare questi gas bisogna avere dei forni a tenuta. Un'altra tipologia di gas che evita i problemi è il cosiddetto vuoto, bassa pressione.

Impianti anche questi a tenuta e piuttosto costosi (utilizzati per gli

ACCIAI INOSSIDABILI).

Problemi del vuoto: come riscaldano le parti? In genere si usa la combustione (quindi c'è bisogno di O_2) oppure delle resistenze elettriche che scambiano per convezione e quindi anche alla presenza di un gas.

Se il gas non c'è si può bruciare solo per **INDAGLIAMENTO**. Ecco che i pezzi si riscalda solo nel momento in cui "guardano" la resistenza e le parti in ombra si riscaldano poi per conduzione.

In genere quindi in questi tipi di forni si mettono pezzi singoli. La lavorazione così costa di più.

ex. Anelli dei cuscinetti subiscono questi processi.

TECNICA AD INDUZIONE *

TECNICA A CANNELO OSSIACETILENICO: questo viene fatto bruciare con H_2 ossigeno puro raggiungendo $T > 3000^\circ\text{C}$.
 Supponendo di avere un componente a forma di tubo si utilizzano una canna circolare di canneli che si muove in modo relativo rispetto al pezzo del campione stando relativamente poco per evitare di fondere e rovinare il materiale. Questo è seguito da una canna d'acqua che raffredda subito, in modo continuo.

* Si utilizza un materiale conduttore avvolto a spirale in cui passa corrente e crea un campo magnetico. Se si pone all'interno delle spirale un materiale ferromagnetico (acciaio) se si fa muovere in moto relativo il pezzo, il campo magnetico cambia e si creano correnti superficiali quindi queste correnti indotte I , nel campo del pezzo ferromagnetico che ha una resistenza. Veniva dissipata una certa potenza $P = RI$. Se I sono elevate, P è molto grande.

Questo viene chiamato EFFETTO PELLE.

Controllando la frequenza della corrente alternata \rightarrow controllo lo spessore.
 Ovviamente anche il tempo di stazionamento mi controlla lo spessore.

CEMENTAZIONE

In una ruota dentata quali proprietà ideali si vogliono?
 Si possono formare introschi di rottura nelle zone tra i due denti perché i denti sono sottoposti a flessione quindi bisogna avere in quella zona un materiale **TENACE** e soprattutto le curve deve essere **TENACE** per evitare la propagazione della cricca.

Si utilizza un materiale con tenerezza di carbonio 0,1% che è più resistente e tenace. Nelle zone di contatto dove si ha rotolamento - strisciamento e fatica quali sono le caratteristiche? Elevata durezza ed elevata resistenza ad usura. Quando le tenore di carbonio è più elevata e si ha martensite si formano le cospicue cricche volute, in queste zone si vuole quindi 0,1-0,2% di C.

Questo processo per avere queste caratteristiche prende il nome di **CEMENTAZIONE**.

Annicchimento di C in superficie in fase austenitica, perché poi si vuole ottenere **MARTENSITE**.

Quindi il ciclo consiste:

Austenizzazione di tutto il componente ($T = 800-950^\circ\text{C}$)

Cementazione

Tempra

rinvenimento a basse temperature (distensione)

contenuto di C iniziale 0,1-0,2% \rightarrow contenuto finale nei denti **0,8% C**

Se è maggiore dell'1% si ha austenite residua, che non è dura!
austenite residua

MICROSTRUTTURA?

cuore \downarrow
Bainite

superficie \rightarrow
Martensite

Lezione 24

Cementazione

Il carbonio trasferito nella trasformazione $2CO \rightleftharpoons CO_2 + C$ delle emesse assorbite dal materiale, sulla superficie del componente austenitico e che quindi ne incrementa la % . All'inizio partiamo da un materiale con 0,1% di C e l'atmosfera mi fa pensare le carbonio assorbito in superficie a 0,8-0,6% e quindi almeno su una strato superficiale molto sottile, 2µm o meno, carbonio elevato e sotto invece 0,1-0,2%.

C'è una differenza di carbonio quindi che genera nell'acciaio una forza spingente del carbonio verso l'interno. Quindi per cui certi profila. Quindi bisogna prendere in considerazione la relazione di diffusione che è funzione essenzialmente della temperatura T.

$$D = D_0 e^{-\frac{Q}{RT}}$$

Il processo di cementazione viene effettuato intorno ai 800°C e questo trattamento dura un certo n° di ore.

Per ridurre i tempi ed aumentare la produttività bisogna aumentare la temperatura per diminuire i tempi perché così si aumenta D, dalla superficie verso l'interno.

Ma lavorare a temperature maggiori nell'equazione e nel diagramma di Baudouin ci porta a limite tra le rapporti tra CO e CO₂ difficilmente controllabile.

Quindi sarebbe opportuno lavorare a p maggiori in cui il rapporto CO/CO₂ è più facilmente controllabile.

Gli impianti a tutto sono però notevolmente più costosi, però si fa maggiore produttività da 4h a 30min.

Per migliorare la produttività si può se non utilizzati dei trattamenti in corrente vuota, bisogna avere anche in questo caso opportuni filtri a tenuta che evitano l'ingresso dell'ossigeno all'interno. Le temperature di trattamento sono 1000°C e le sostanze cementanti sono metano o propano, in condizioni bassa pressione e T elevata forma dei radicali tipo CH₃ che sono metastabili, ma sono dei punti di partenza per apportare carbonio alla superficie.

Poi vi è il PLASMA: bassa pressione e alta temperatura potenziale tra pareti e superficie del forno, differenza di potenziale che può raggiungere centinaia di Volt. e che genera il 4° stato della materia, lavorando con atmosfere contenenti metano e propano la carburazione del metallo.

I eq. di Fick $J = -D \cdot \frac{dc}{dx}$: differenza di concentrazione tra la superficie e il centro all'interno.

Bisogna anche considerare come varia il flusso nel tempo.

II Eq. di Fick $J = \frac{dc}{dt} = D \cdot \frac{d^2c}{dx^2}$ $\rightarrow \frac{C_s - C_x}{C_s - C_0} = \text{erf} \left(\frac{x}{2 \cdot \sqrt{Dt}} \right)$ funzione degli errori (monotona crescente)

$x = (k) \cdot \sqrt{Dt}$ costante

Se si vuole raddoppiare la profondità dell'arricchimento di carbonio bisogna quadruplicare il tempo.

I parametri in genere sono del tipo:

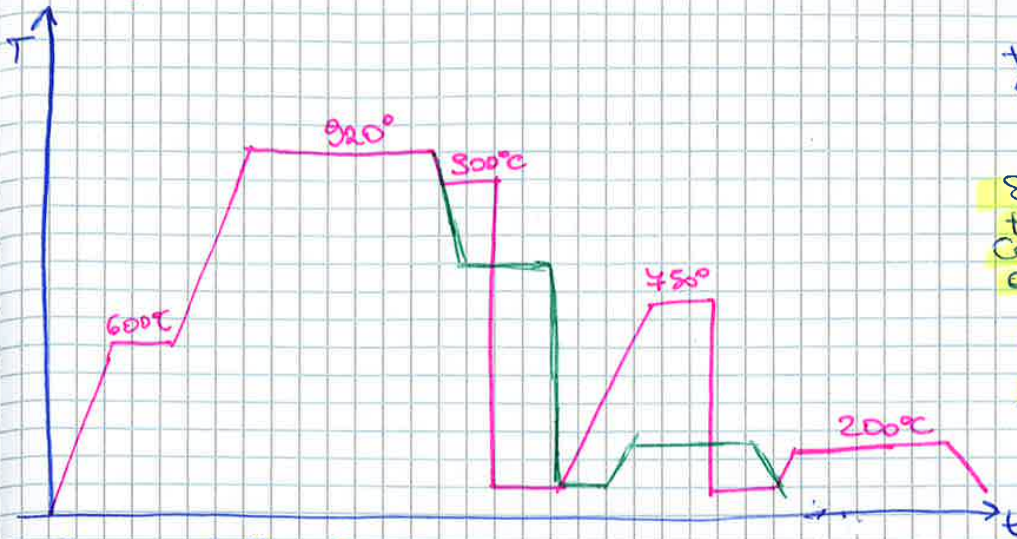
1 mm	→ 4 h
2 mm	→ 16 h
3 mm	→ 64 h

Molto raramente si vogliono spessori dell'ordine di 3mm.

Perché vogliono spessori più duri? In un ingranaggio se si consuma 0,5 mm in un anno a fine un grande pattesca perché non lavora nelle giuste condizioni, quindi si dà spesse per la parte che serve che è più piccola.

Quando invece l'usura è elevata e si vuole maggiore durezza? ex. trivella: ha bisogno di denti spessi induriti.

Modifica



Ancora vi è una doppia tempera. Si può trovare un compromesso per la tempera tra le due si quere: questo trattamento.

Si sceglie una T intermedia tra T_{crit} e T_{sup}. Così si accorcia il ciclo di qualche ora.

Si migliora la produttività e si utilizzano a costi un po' più costosi.

Nel caso della **CEMENTAZIONE** → metodo temperante **OLIO**.

Ma l'olio non è il più elastico o il più economico, ma perché? Perché esternamente il petto ha 1 mm e a C = 0,8% non è necessario un mezzo elastico, perché non si vuole indurire fino al cuore.

Durante il trattamento di tempera si ha una variazione dimensionale, si può andare incontro a qualche difetto?

No, perché? Perché solo lo spessore di 1 mm può portare un aumento di volume.

La base dei denti è dura ed è sottoposta ad un leggero stato tensionale indotto dalla formazione di bainite del cuore. (compensazione), che in parte viene smaltito nella distensione.

NITRURAZIONE

Viene aggiunto azoto al materiale: si utilizza **AMMONIACA**: NH₃, e alla T > 480°C dissociazione spontanea:

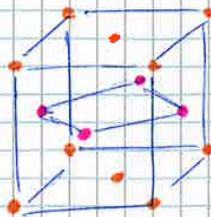


L'azoto che si sta formando non è molecolare → che è inerte, ma è azoto atomico che può essere assimilato dall'acciaio e regerarsi forma di:

NITRURI di ferro



Fe₄N: f' → f perché è tetraedico CFC, f' perché non è austenite.



1 atomo di azoto ogni 4 di Fe.

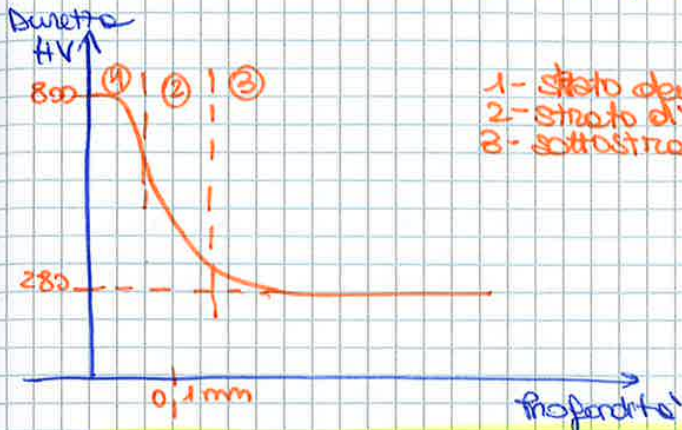
↳ se si usa praticamente NH_3 pura \rightarrow si produce ϵ , caratterizzato da modesta durezza...

Come si opole?

Se si vuole spingere molto dritto bisogna apporcare molto dritto operando con una atmosfera del 50% NH_3 , in questo modo si forma subito N e lo strato più esterno è più duro. Dopo che lo strato è cresciuto potranno scendere con le percentuali perché più piano piano l'atomo scende e penetra. Questo è il diagramma di Leoni che tiene conto delle condizioni operative di utilizzazione per la nitrazione.

500°C è una temperatura più bassa di quella di cementazione \rightarrow presenza più lenta.

Tempi di trattamento dell'ordine delle 50/60 h in forno per ottenere spessori induriti dell'ordine di 200-300 μm .



- 1- strato dei composti
- 2- strato di diffusione
- 3- sottostrato.

I composti sono γ' e ϵ (poco), quindi lo strato più esterno ha durezza elev. Note.

Però si ha una progressiva diminuzione di durezza dove persiste la matrice che si sposta per diffusione, matrice metallica con nitruri. Infine la durezza della matrice che deve essere tracciata, sottoposta precedentemente al BONIFICA.

INOSSIDABILE \rightarrow MASSIMAMENTE RESISTENTE ALLA CORROSIONE.

Nel trattamento di nitrazione avvengono introdotto atomi di azoto N si dice che si formano composti γ' al punto che γ' si può rappresentare come un reticolo CFC con ogni cubo al centro un atomo di azoto. Quindi aggiungiamo degli atomi \rightarrow **COSTRAZIONE ATOMICA ELEVATA**, mentre nel sottostrato si ha una matrice bcc/nitrica.

LA COSTRAZIONE ATOMICA \rightarrow STATI TENSIONALI INTERNI \rightarrow COMPRESIONE \rightarrow AIUTO ALL'AUMENTO DEL LIVELLO DI FATICA.

In sintesi:

TATTAMENTI DI INDURIMENTO SUPERFICIALE:

Tempo ad induzione	Durezza [s]	Durezza [HRC]	Profondità [mm]	Tmax di utilizzo
Cementazione	10^3	55	3	200°C
Nitrazione	10^4	60	1	200°C
	10^5	70	0,2	300°C

si evengono a 200°C sopra

Un inconveniente che è stato nitratato non patisce problemi di surriscaldamento in seguito ad attrito a secco, quindi per questo effetto utile. Nel caso di componente cementato bisogna fare attenzione.

BAKE HARDENING: Basso tenore di carbonio, che ha degli elementi chimici all'interno in bassissima tenore tali per cui se si eseguono delle certe condizioni di preparazione delle lamiere e poi queste lamiere vengono deformate e poi saldate per ottenere parti della scocca e poi vengono verniciate a polvere, in certi forni e poi la vernice viene cotta in forno a $140-160^\circ$ per 20 minuti, l'effetto della cottura delle vernici porta sul materiale una PRECIPITAZIONE SECONDARIA di particelle inorganiche.

BH 130 e BH 220 → G'ener.

MICROLEGATI o MS: acciaio a basso tenore di carbonio ($\leq 0,1\%$) con leganti tipo Vanadio o Niobio (min 0,015% max 0,45%), come origine di nitruri e carburi, più facilmente che re ferro → non si ha cementite. Si fa la formazione di precipitati molto fini a basso grano, si ottiene sempre ferite, ma con cristalli molto più fini → rafforzamento per basso grano → maggior resistenza.

Fe E 855 → G'ener garantito.

DUAL PHASE: Si fanno due fasi contemporaneamente: fase ferritica con almeno il 15% di martensite finemente dispersa, aumenta la resistenza meccanica. Ovviamente diminuisce un po' la deformabilità.

Fe 600DP

→ G'ener: sono tenaci e hanno un'alta resistenza! Utilizzati nel 30% degli impieghi.

TRIP: sono lamiere d'acciaio con struttura ferritica, ma anche con bainite e austenite; perché deformandosi si trasformano in martensite (più resistente). Vengono utilizzati per, ad esempio, i crash-test perché è molto deformabile ed assorbe molta energia.

Fe 800TRIP

→ G'ener.

Quindi sono ottimi per aumentare la resistenza del materiale ed assorbire energia.

MARTENSITICI: caratterizzati quasi dalla totale presenza di martensite ed hanno bassa deformabilità. Oppure si riscalda fino alla A_3 , si deforma e si raffreddano velocemente. Ai fini dell'assorbimento di urto e di energia eorbata e restituita sono modesti, ma sono molto resistenti.

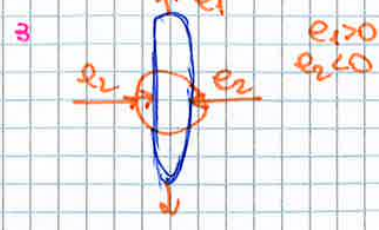
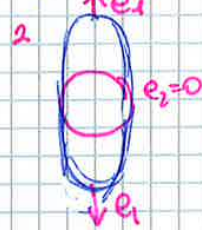
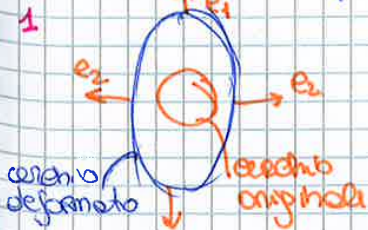
Fe 1300MS

→ di una lega di acciaio bonificato.

STAMPAGGIO DI UNA LAMIERA.

Al momento in cui stampiamo un componente, e secondo della forma finale che può assumere la lamiera esistono diversi tipi di deformazione: **STIRAMENTO**, **DEFORMAZIONE PIANA** o **IMBUITTURA**.

Il modo più semplice per capire come si deforma la lamiera:



STIRAMENTO: incremento di dimensione in entrambe le direzioni x e y prese in considerazione. (e_1 / e_2)

DEFORMAZIONE PIANA: incremento in una direzione e rimanendo costante nell'altra.

IMBUITTURA: Aumento di una dimensione e diminuzione dell'altra dimensione. ($e_1 > 0$ / $e_2 < 0$)

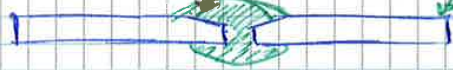
Dato un unico componente, una lamiera può subire vari tipi di deformazione, per evitare di spaccare del materiale creando cricche e' è bisogno di un materiale deformabile. Sono da prevedere dalle PRATTECNOLOGICHE TIRATE, per capire quanto un materiale è imbutibile.

SALDATURA

materiali d'appunto

lamiere di ferro, smuntate

Cos'è una saldatura?



Consiste nel mettere un materiale portato ad elevata temperatura per avere una continuità tra le lamiere, in genere si usa lo stesso materiale della lamina. In genere si va a $T > 1500^\circ\text{C}$ e si usa la corrente elettrica.

Il liquido trasferisce il calore alle lamiere mentre si raffredda.

Indice di
Grossman

$$H = \frac{R}{2a}$$

Il metallo temprante che raffredda la zona liquida e fusa sono le lamiere di acciaio stesso: quindi $R = a \rightarrow H = 0,5$: come se fosse temprato in olio. Questo potrebbe portare alla formazione di martensite. **(PROBLEMA!)**

Lezione 26

SALDATURA e SALDABILITÀ

La zona più critica della saldatura è quella della zona adiacente al liquido, perché il materiale raggiunge una temperatura prossima ad A3 e si potrebbe AUSTENITIZZARE.

La maggior velocità di raffreddamento si ha attraversando una zona che si potrebbe trovare al di sopra di A350 e quindi austenitico a contatto con i corpi freddi. Si ha un salto termico importante paragonabile alla temperatura in due di conseguenza queste zone possono trasformarsi in **MARTENSITE** → **FUGILE** → **POSSIBILE FORMAZIONE DI CRACKS**.

Come si riesce a prevederlo? Si osserva che %C è rilevante perché a bassa percentuale di C è quasi impossibile ottenere martensite. Se $C > 0,2\%$ non c'è possibilità di ottenere martensite, tuttavia anche la presenza di elementi leganti ne favorisce o sfavorisce la formazione. Si riesce a delle formule di C equivalente:

$$\% C_{ep} = \% C_{eff} + \% Mn/6 + \% \frac{(Fe + Mo + V...)}{5} + \% \frac{Ni + Cu}{18}$$

Questi sono i principali elementi leganti che incrementano di un indice moltiplicativo il diametro della zona materiale sottoposta a tempra.

Considerando tutto ciò si può valutare il C_{ep} .

Per la normativa prevede delle classificazioni:

$C_{ep} \leq 0,41$: buona saldabilità del materiale

$0,41 < C_{ep} \leq 0,45$: bisogna fare attenzione al contenuto ad idrogeno.

Il rivestimento degli elettrodi contiene degli ossidi che sono idroscopici, cioè se lo usi in magazzino assorbono umidità. Al momento in cui si forma l'arco elettrico con il pezzo si raggiungono alte temperature → dissociazione dell'acqua con formazione di idrogeno.

$0,45 < C_{ep} \leq 0,60$: la lamiera bisogna preriscaldare, diminuendo il salto termico, utilizzare elettrodi a basso contenuto di H.

A quale T vanno preriscaldate? Sopra 115°C (200°C)

$C_{ep} > 0,6$: Non è facile saldare!

Le ghise non sono facilmente saldabili.

RICRISTALLIZZAZIONE

Lega 5083: lega di alluminio-magnesio ed è l'88° lega che è stata designata.
H18: invecchiamento a freddo e 18 si riferisce alla quantità di deformazione subita.

Se re notabile e solo laminato, i grani sono allungati in orizzontale, durante la ricottura in forno a 250°C dopo 3 h si osservano importanti cambiamenti perché iniziano a formarsi dei grani isotropi, ce n'è qualcuno che inizia a ricristallizzarsi e crescere.
Dopo 8 h si ha la formazione dei bordi grani senza invecchiamento preferenziale.

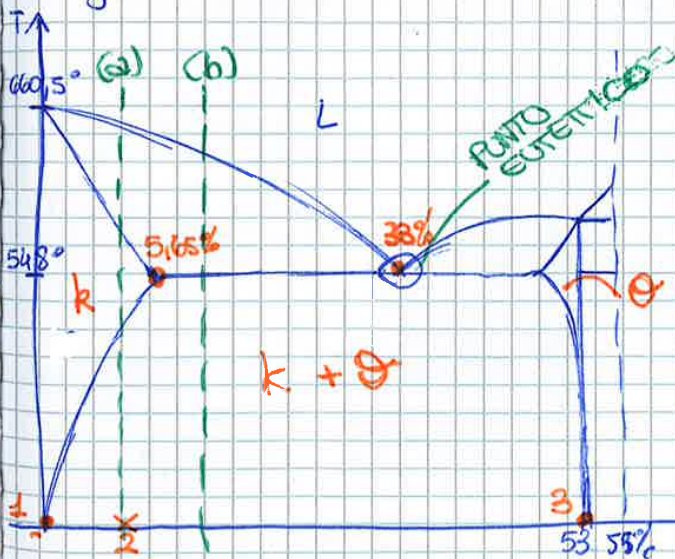
Alclad.

Gli allumi possono essere composti rivestiti di alluminio puro quindi partendo da avere un foglio di alluminio di una certa lega (ex 2014 (alluminio name)) posso pensare al composto come foglio 2014 oppure come foglio 2014/alclad questo è stato rivestito da una pellicola di alluminio puro molto sottile.
Questi prodotti vengono fatti perché mediamente gli elementi puri sono più resistenti alla corrosione.

Se bisogna effettuare una ricottura dei prodotti rivestiti i tempi di ricottura sono modesti perché bisogna evitare che il tratto superficiale che è di alluminio puro si arricchisca per diffusione degli elementi della lega sottostante.
Quindi tempi di ricottura modesti: 10, 15 minuti.

Sublittazione, Tempa ed invecchiamento.

Questo trattamento è quello PRINCIPALE delle leghe di alluminio.
Diagramma di stato Al-Cu.



θ: la sua formula è Al_2Cu
il rame in peso è il 53-54%
il peso atomico invece è del rame 35% (l'alluminio 1 rame)

θ ha una posizione abbastanza ben definita con una variazione appena in torno ai 548°.

Al di sotto di 548°C tra il rame e θ si forma una fase metastabile in cui k e θ coesistono. Per esempio con la regola delle leve si può calcolare la percentuale delle due fasi.

Il reticolo è CUBICO FACCE CENTRATE, in cui per sostituzione il rame entra in soluzione solida.

Alla temperatura eutettica (548°C) il rame ha solubilità massima in k pari al 5,65%.

I trattamenti termici:

- 1. Solubilizzazione:** si trova in un intervallo ristretto (ordine di grandezza 5-10°) poco al di sotto della temperatura eutettica.
Consideriamo una lega (a) con il 4,5% di rame.
Partendo a temperatura ambiente si ha k+θ quanto k? Regola della leva tra i punti 1-2-3 (il 3 si trova al 54%).
Riscaldando alle temperature di solubilizzazione si entra nel campo di esistenza k che è in grado di sciogliere completamente il rame, quindi θ scompare. Quindi si è **SCIOLTI** il rame.
- 2. Ricottura:** 250-400°C al materiale può subire il recovery, ma può anche ricristallizzare.
- 3. Invecchiamento:** 150-240°C dove si riscalda il materiale per far succedere qualcosa.

Lezione 27

INVECCHIAMENTO ARTIFICIALE

Si omette che ad una temperatura di 120°C si ha un picco di σ e di durezza. Si ha una certa situazione nel materiale: soluzione solida α in parte in soluzione sovrasatura perché non ha raggiunto ancora le condizioni di equilibrio $+ GP_2 +$ una certa frazione di θ' queste sono le maggiori caratteristiche ottenibili e sono quelle che ci interessano per utilizzare una lega ed avere maggiori performance. Come si blocca l'invecchiamento?

Se si omette la il trattamento artificiale e si torna a T_{amb} , l'invecchiamento ancora procede, ma con tempi molto più dilatati ecc. che quindi potremo utilizzare atteso ai valori di picco max di durezza un componente a T_{amb} per 5-10 anni. Abbassando la $T \rightarrow$ l'invecchiamento prosegue ma con una cinetica molto più lenta.

Se si usa per tempi più lunghi, le caratteristiche scendono.

Nella pratica si usa unite siccome con le caratteristiche del materiale e cambiate ciclicamente i pezzi.

Leghe da trattamento termico: 2000 | 6000 | 7000

Le altre leghe non mi danno un incremento delle caratteristiche meccaniche durante il tempo invecchiamento.

I componenti θ' sono semicohrenti: si ha una linea in più che non era presente, alcuni grandi cristallografici quindi sono analoghi a quelli del reticolo dell'alluminio K altri No , quindi si ha una differenziazione del reticolo cristallino. Ci danno un rafforzamento, ma mi danno un rafforzamento inferiore a GP_2 .

PARAMETRI DI TRATTAMENTO

Il massimo delle prestazioni meccaniche si hanno scegliendo temperature e tempi, in modo analogo alla tempera degli acciai.

T di solubilizzazione: T più alta possibile affinché si sciolga il maggior tenore di soluto della soluzione solida α in K . In $400/420^\circ\text{C}$ si scioglierebbe solo il 2%, quindi questo è troppo poco. Ci si posiziona in una temperatura prossima all'eutettica, mai superiore perché ci sarebbe pericolo di formazione del liquido anche se nel diagramma di stato non c'è.

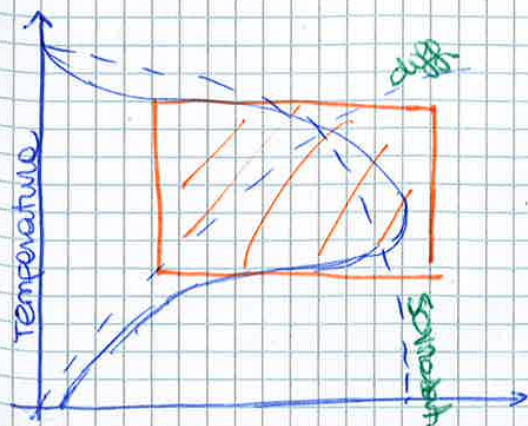
Tempi: Alluminio è un atomo grosso, Cu è un atomo grosso. Ci vogliono tempi molto lunghi, quindi dell'ordine della 8-10h.

Velocità del raffreddamento in tempera: bisogna semplicemente fermare lo stato che si ha ad alta T e portarlo in T_{amb} . Alta T implica un alto numero di vacanze: e bisogna bloccare anche questa situazione molto velocemente perché poi durante l'invecchiamento di fatto si ha una diffusione. Se si ha un maggior numero di vacanze favoriamo una omogenea diffusione. Si può raffreddare in acqua, ma l'effetto non sarà uguale per tutte le leghe ai fini della resistenza finali.

Qual è l'intervallo critico in cui bisogna garantire elevate velocità di raffreddamento?

Si è già parlato di questo aspetto parlando del caso della trasformazione peritica, ed si sposta verso dei minimi di tempo a temperature intermedie due, dovuto a due aspetti:

1. **SOPRASATURAZIONE**: provoca l'espulsione del rame che mi induce la formazione di una fase stabile.
2. **COEFF. DI DIFFUSIONE**: bisogna tener conto anche del coeff. di diffusione che è basso a T bassa ed alto a T alta.



INTERVALLO CRITICO:

Bisogna superare l'intervallo evidenziato perché si ha maggiore tendenza a creare precipitato θ , quindi le salte di temperatura dalla condizione di solubilizzazione a bassa temperatura.

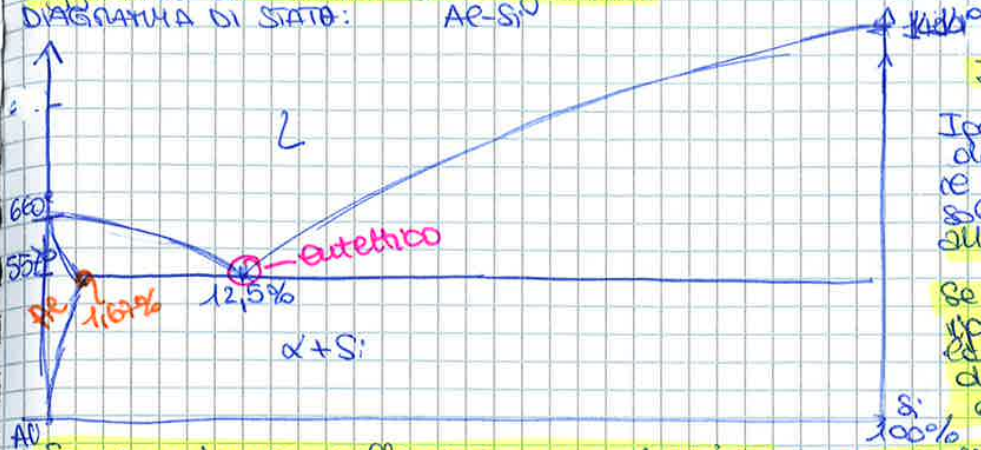
L'intervallo critico è compreso tra 200° e 420° ; in quell'intervallo bisogna raffreddare molto velocemente affinché non precipiti θ e quindi mi fa da tempo avere la soluzione sovrasatura di soluto.

Si accettano 3 numeri:

si riferisce all'elemento legante
 Numeri propemivi in base alla designazione

Le più utilizzate a livello mondiale sono le leghe Al-Si eventualmente con aggiunta di Rame o magnesio.

DIAGRAMMA DI STATO: Al-Si



Il silicio non scioglie Al!

Ipotizziamo di avere il 12% di silicio (composizione eutettica) il liquido si trasforma in Si e soluzione ricca di alluminio alla $T = 557^\circ\text{C}$.

Se si si trova nella zona ipereutettica si forma prima la formazione di cristalli di Si e poi la solidificazione di $\alpha + \beta$.

Se ci si trova nella zona ipoeutettica, i cristalli di Al crescono come rami di albero, che danno origine a strutture ramificate bianche, che prendono il nome di **DENDRITI**.

ATTENZIONE: Nel caso delle leghe da getto: PARTO DA LIQUIDO → OTTENGO SOLIDO → FINE. (Non modifico la microstruttura).

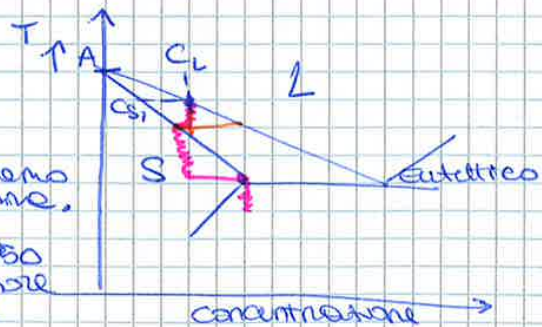
NEI caso delle ^{altre} leghe: PARTO DA LIQUIDO → OTTENGO SOLIDO → LAVORO → LAVORO → ... → FINE. (modifica della microstruttura e conat.).

TATTAMENTO TERZICO DEI LINGOTTI

In pratica la lega non segue il binario. Consideriamo un diagramma di stato generico: abbiamo una soluzione solida e un liquido.

Il liquido ha composizione C_L , raffredda e scende la temperatura, quando raggiungiamo la linea di solidus e il primo cristallo si forma.

Ipotizziamo che abbassando la T si ha 50-50 di solido-liquido. Ora succede che lo spessore del lingotto inizia a diventare importante.



Il primo germe che si forma nasce più fuori in solido fino ad arrivare si procedendo verso l'interno: ma si hanno dei germi non in componente omogenea. Quindi si considera la concentrazione media nel lingotto → si ha ancora un certo tenore di liquido alla composizione eutettica che avrà composizione eutettica (è un po' anche sotto il 10%). Il liquido eutettico darà origine a fasi con concentrazioni eutettiche.

Se si riscalda il componente per avere una solubilità maggiore del medesimo, nell'interno in cui non nominalmente esiste, alcune parti del materiale daranno origine a miscela eutettica e riscalda anche l'eutettico al contrario:

SOLIDO → LIQUIDO
 Ecco perché nei trattamenti termici di solubilizzazione non bisogna superare la T eutettica!

Anche a livello di microstruttura ci sono disomogeneità!

Anche nell'ultimo caso si ha una struttura analogo alla seconda, ma con particelle decisamente più piccole.

AUMENTANDO LA VELOCITA' → CRISTALLI PIU' PICCOLI (INTA MISCELA EUTETTICA)

RESISTENZA A TRAZIONE

1
2
4

**A SNERVIAMENTO
AD AUMENTAMENTO A ROTURA**

①
130 MPa
55 MPa
8%

②
160 MPa
60 MPa
10%

③
230 MPa
110 MPa
9%

Vantaggi

Vantaggi

UTILIZZAMO SEMPRE LEGHE A PRESSOCALATA?

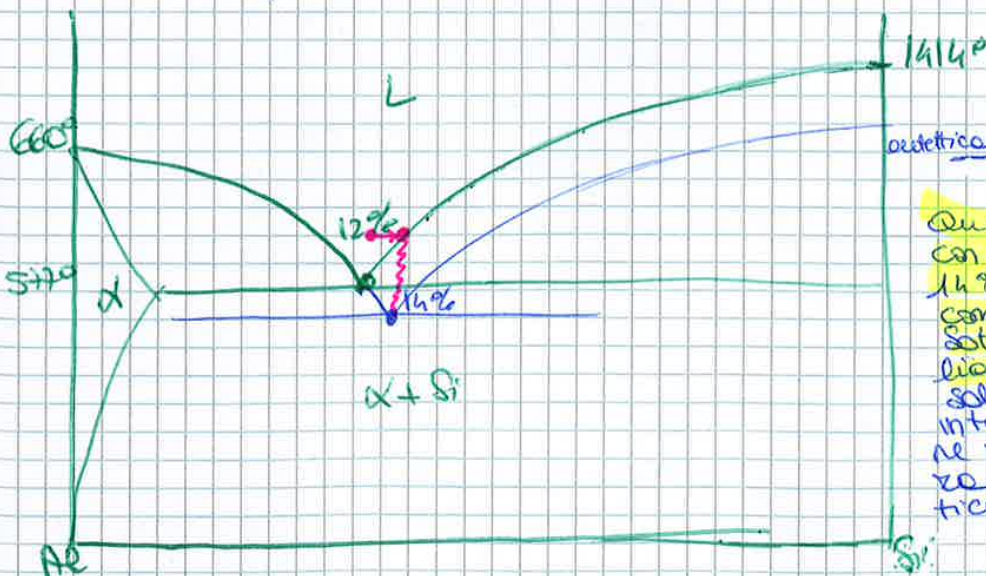
Ci sono delle limitazioni:

- se vogliamo fare un oggetto con una cavita' interna non si ottengono.
- vengono prodotti componenti a parete sottile: vuol dire che non abbiamo componenti minori di 10-12 mm.
- forme troppo complesse non si possono ottenere.
- il liquido utilizzato deve essere deossigenato: minima presenza di gas, perché quando si inserisce il liquido a 200-300 atm si può introdurre gas che può dare porosità, etc.

Pero' dal punto di vista microstruttura ha una morfologia migliore con elevate caratteristiche meccaniche

DOPO QUALSIASI TRATTAMENTO E' PREFERIBILE AVERE MICROSTRUTTURE FINI.

Le leghe da getto AP-Si contengono Si che favorisce la colabilità del liquido che riesce a scorrere bene nello stampo. Tuttavia si può formare del silicio sotto forma di ACICULE e questo dà dei problemi. Nel caso delle leghe alluminio-silicio si può pensare di modificare con alcune quantità di **SODIO (Na)** che ha la capacità di fondere a temperature e capacità di silicio eutettico. Questo sodio va aggiunto con un quantitativo dell'0,01% o anche meno e viene aggiunto come sostanza solida al momento in cui il liquido riempie lo stampo. Non utilizziamo il sodio metallico, ma si utilizza un composto del sodio che a contatto con il liquido espone la sua azione.



Utilizzando il sodio (Na) si modifica l'eutettico abbassando la temperatura di 15° e portando alla percentuale di silicio del 14%.

Quindi si utilizzando leghe con maggior tenore di silicio 14% utilizzando il sodio come agente si ha un sottoraffreddamento del liquido senza avere solidificazione in questo intervallo e la solidificazione si presenterà a temperatura più bassa, ma a eutettico modificato.

Spostando la T di equilibrio vuol dire che le dimensioni dei nuclei con il corretto appostamento termico potranno essere via via più piccoli. Avremo nuclei più piccoli e in maggior numero, uniformemente distribuiti.

AGIAMO SULLA TERMODINAMICA DEL DIAGRAMMA DEL SISTEMA.

Si ha quindi microstrutture fini anche a velocità basse e per componenti grandi non ottenibili dalla pressocalata.

AM608 : Alluminio 6%
 Rame 97,3%

H732A (TS) : Thorio 3,3%
 Zirconio 2,1%
 Zirconio 0,7%

Resistente a creep fino ad 345°C
 saldabile.

scorimento viscoso al
 caldo. Def. permanenti nel tempo.

Le leghe di magnesio hanno caratteristiche meccaniche che sono analoghe a quelle delle leghe di alluminio della serie 6000 ma sono più leggere.

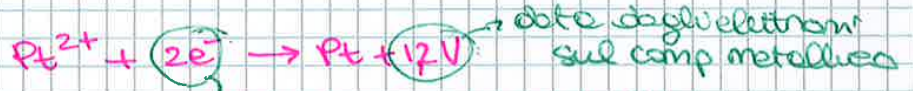
Queste leghe hanno resilienza molto bassa, tra i 7 e i 24 J a Tamb, quindi bisogna fare delle strutture sottili.

Lezione 28

Corrosione dei metalli

Serie elettrochimica: che è stata ottenuta tenendo in considerazione quali sono le condizioni di equilibrio chimico/elettrochimico che si instaura in una cella elettrochimica essa in cui si ha un contenitore, una soluzione, non si ha una concentrazione per ben determinata 1 normale dello ione dell'elemento metallico di cui si vuole determinare il potenziale ad elettrodo e quindi si ha una concentrazione 1 normale di platino e 1 normale di magnesio separati da un setto semipermeabile non permette agli ioni di miscelarsi, mentre si possono miscelare gli ioni negativi in modo tale da non cambiare eccessivamente la soluzione. Poi si ha un circuito chiuso che ha un voltmetro che misura il potenziale.

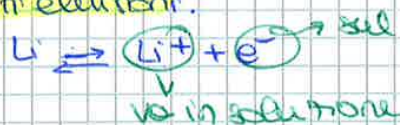
Abbiamo un pezzo di Pt messo in una soluzione Pt²⁺ si instaura una relazione chimica:



Sono sul componente metallico

Nella determinazione del potenziale ad elettrodo dei vari metalli, si vede che nella tabella vi sono diversi valori:

• Valori negativi: il potenziale opposto dell'elettrodo metallico sono negativi, sono tanti elettroni.



Se ΔV < 0: avviene una trasformazione da sinistra a destra

Δ NORMALE: un modo per esprimere la concentrazione della specie chimica legate al numero di cariche.

Via via che il valore si avvicina a 0 vuol dire che diminuisce le quantità di atomi dell'elettrodo che si dissociano si de originari degli ioni.

Ep. elettrico ΔV che si instaura.

Per ottenere questi valori ΔV il materiale analizzato se messo in riferimento ad un altro materiale di riferimento; il cui si assume a potenziale 0.

• Nel caso in cui l'elettrodo assume potenziale positivo vuol dire che la reazione va da destra verso sinistra. Il metallo ossida Li⁺ e assume quindi una carica positiva, in proporzione alla quantità.

Il significato della serie elettrochimica è avere un'indicazione di massima dell'equilibrio elettrochimico che si instaura tra un metallo ed una soluzione contenente ioni di quel metallo ad una certa relazione ben definita.

La tabella della serie elettrochimica ci dà la relazione tra un metallo ed il suo ione.

POTENZIALE MOLTO BASSO (ex Litio) → NON REAGISCE, NON SI DISSOLVE SE MESSO IN EQ. CON UNA SOLUZIONE A PIÙ ELEVATA CONCENTRAZIONE DI Li⁺



↑
 Reazione + comune in
 ambiente acquoso.

In soluzioni neutre o basiche, si ha ancora un elemento che si è caricato negativamente, questi elettroni possono essere sottratti dal componente.

CORROSIONE

Si fanno delle piastre di rame che per chiiodatura vengono unite con un chiodo di lega base ferro → acciaio.
 Si ha una certa soluzione elettrolitica; il chiodo di ferro raggiunge il suo eq. elettrochimico quando ha raggiunto un potenziale di circa $-0,24V$ per avere questo potenziale negativo parte del ferro metallico si dissolve mandandolo in soluzione Fe^{2+} , lasciando gli elettroni sul chiodo che mi aumentano la carica negativa.
 Tra il chiodo di Fe e il rame vi è contatto elettrico e non c'è nessun metallo per cui le potenziali si mantengono sul chiodo, quindi anche le lastre di Cu devono raggiungere potenziale negativo.
 Ma il rame sta in posizione "conservativa" alle sue caratteristiche perché è ineq. con la soluzione quindi cercherà di mandare via gli elettroni.
 Questo dà origine a ION OSSIGENO: O_2 .

Di conseguenza il ferro si dissolve e non riesce a raggiungere il suo potenziale e continuerà a dissolversi, il rame no!

LA CONCENTRAZIONE DELLA DISSOLUZIONE DELLA SOLUZIONE VIENE PROPRIO NELL'ELEMENTO PIÙ ELETTRONEGATIVO: TUTTA LA CORROSIONE SI CONCENTRA QUI.

Perché? Perché ci sono 2 elementi: 1 elettro negativo, l'altro elettro positivo.

Non raggiunge l'equilibrio perché gli ioni se ne vanno in modo continuo. **APRES DEL ANODO → SOSTANZA SACRIFICARE.**

Cosa si fa quando bisogna unire lastre di rame per chiiodatura?
 Il problema che dà origine alla corrosione è il collegamento elettrico tra Fe e Cu quindi si potrebbe mettere dell'isolante.

~~SOLUZIONI~~ SOLUZIONI:

- ① ISOLANTE TRA I 2 METALLI
- ② SI INVERTONO I MATERIALI: l'esterna superficie del Fe contro la esatta superficie del rame se si dubita molto di più.

elettrolitico

Questo tipo di corrosione prende il nome di GALVANICA perché si ricorre al differenza potenziale che 2 leghe possono avere tra di loro per raggiungere la "condizione" di equilibrio.

Una volta che il ferrigno diventa più grande, la soluzione entra all'interno e avrà una concentrazione di ioni differente da quella delle restanti soluzioni.

Ex. Ioni ferro saranno maggiori nella soluzione del cratere.

Quindi si hanno valori di PM diversi delle condizioni di neutralità, questo spiega perché per questo aumentano le forze in modo localizzato.

Incrementando la dissoluzione nuovi elettroni si formano e vanno via, teoricamente in modo omogeneo, ma di fatti generano in due con più elettroni vicino ai siti.

Quindi si rimpiazza un potenziale più elettronegativo e quindi è materiale in quella zona è più attiva e la corrosione procede verso l'interno.

CI SONO DELLE SOLUZIONI CHE MANIFESTANO QUESTO TIPO DI DIFFUSIONE PER VARIATA TUNIA → AMBIENTI CONTENENTI CLORURI.

Corrosione interstiziale (Crevice)

Esempio illustra con due fori grandi e uno piccolo che vengono usati per quintare la piastra. I fori diversi dei buconi in cui venivano usate anche delle rondelle, che generavano delle zone che nominalmente erano del tutto a contatto con la superficie, ma dal punto di vista atomico la soluzione andava tra rondello e superficie.

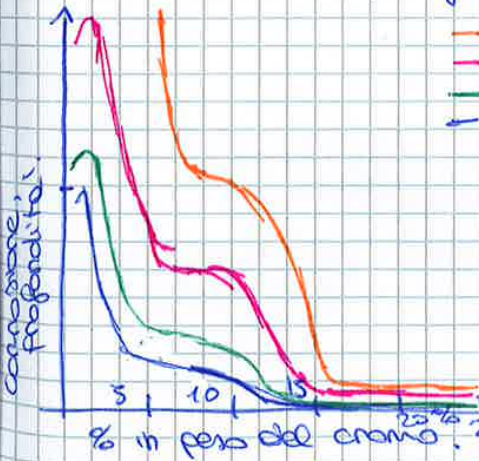
Quindi bisogna stare attenti alla gestione di due lastre per evitare corrosione interstiziale.

ACCIAI INOSSIDABILI

Dal punto di vista impiantistico, ingegneristico vengono utilizzati gli acciai come elementi inossidabili perché comunque sono attualmente più utilizzati a livello mondiale per motivi di lavorabilità, di costo, ... proprio come l'alluminio.

Così sono stati realizzati dei materiali base ferro resistenti alla corrosione: ACCIAI INOSSIDABILI.

Così sono? Quali sono gli elementi che implicano l'inossidazione?



- marino severo
- marino moderato
- semirurali
- industriale

4 curve parametrizzate in zone diverse in cui sono stati collocati i ferri.
 Industriale → dove vivono le industrie.
 Rurali → periferie di qualche città.
 Marino moderato → vicino al mare, ma a qualche km.
 Marino severo → bagno crevice.

Sono stati prodotti vari esperimenti a diversa tenore di cromo e osservati in diversi ambienti per qualche mese e si è valutato il comportamento medio: PROFONDITÀ 15% DIA.

Aumentando la concentrazione di cromo, la profondità diminuisce.

Quindi il cromo mi dà un bel vantaggio. Il cromo si aggiunge ai fini della tenacità!

Valori dell'ordine del 3-7% mi danno valori stabili della corrosione. Ma se penso aggiungere 5%? Radamente No, perché gli stessi vantaggi del 3%, se si vogliono le performance migliori > 12% di Cr.

Tenori più elevati del 12% cambiano ancora poco le funzionalità dell'acciaio a meno che non mi trovo in ambienti aggressivi in cui devo raggiungere valori del 18%.

Quindi il cromo → elemento principe per la corrosione.

Così che distingue un materiale propenso alla corrosione da uno non propenso è la velocità di dissoluzione.

Il Nickel incrementa la resistenza alla corrosione, ma affianca il cromo.

IN ITALIA GLI ACCIAI INOSSIDABILI HANNO ALTENO IL 12% CR

Lazione 31

Leghe di rame

Leghe pesanti, il nome fa una colorazione rosso-brunnea.

Proprietà generali:

- T fusione è di 1083 °C (rame puro)
- reticolo cristallino FCC, non è sostanzialmente influenzato dalla temperatura di prova nei fini delle resistenti, prove Charpy, Tenace, duttilità e resistenti sempre, indipendentemente della T.
- Densità: 8800 kg/m³ (lievemente superiore alla densità dell'acciaio)
- E = 130 GPa
- Buona resistività elettrica: buon conduttore elettrico.
- Buona conduttività termica.
- Queste 2 ultime proprietà fanno sì che sia alto l'impiego del rame.
- Elevata resistenza alla corrosione (ha potenziale positivo, tende ad arricchire della soluzione delle cariche positive, in particolare ioni rame). Questo non vuol dire che non tende ad ossidarsi; se messo a contatto con una soluzione che non ha Cu comunque tende a sciogliere qualcosa, pochi, per andare in equilibrio chimico, la tendenza rimane comunque modesta.
- Elevata duttilità e malleabilità.

DUTTILITÀ: possibilità di essere ridotti in fili sottili.

MALLEABILITÀ: possibilità di essere ridotti in lamina sottili.

Applicazione

- Conduttione di elettricità → trasmissione dati, potenza (corrente elettrica o linee di alta tensione).
- conduttione calore → radiatori.
- Condensatori mini o info mini.
- Monete (centesimi): perché vengono in contatto con le mani sudate.

Una delle maggiori applicazioni è proprio quella dovuta alla conduttività elettrica.

Considerazioni sulle leghe e la conducibilità

Rame puro per convenzione → 100
 Consideriamo aggiunte accidentali di elementi (max 1%): qualunque elemento aggiunto venga aggiunto partendo dall'argento, cadmie (elemento cancerogeno), zinco, ... si fa una diminuzione (talvolta repentina come per il fosforo e il silicio) ferro, manganese e bario) della max capacità della conduttività elettrica.

Per fini di conducibilità elettrica si preferisce quindi materiali al 99,5% di rame.

Essi hanno poca resistenza meccanica decisamente modesta. Da un lato si fa le accortezze di produrre elementi puri, dall'altro si vogliono componenti caratteristiche non costosi.

Se i fini costituenti il metallo sono caratterizzati da una lega non resistente perché pure i fili si potrebbero rompere sotto il loro stesso peso. A grande distanza sono le soluzioni e quella di usare altri conduttori più leggeri (alluminio, ad esempio) di un metallo di acciaio).

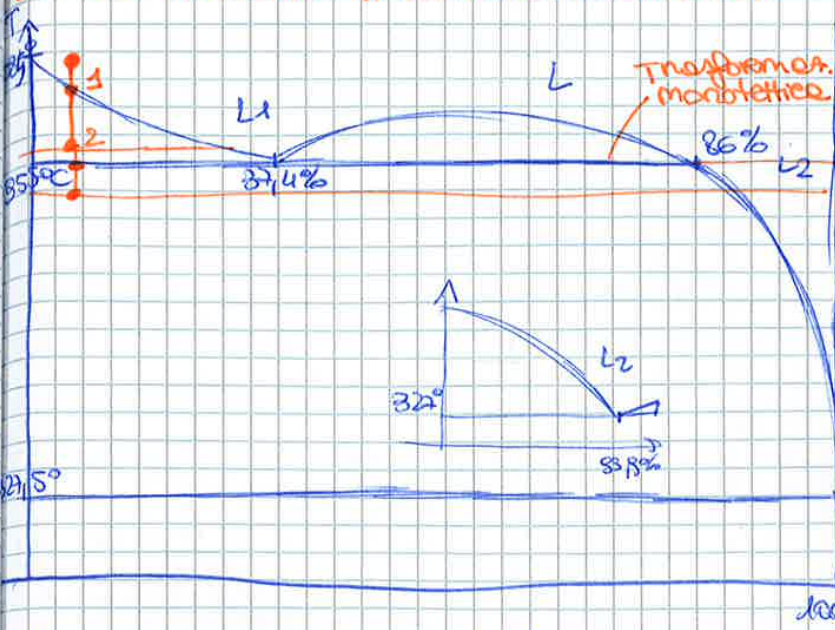
Per incrementare le caratteristiche meccaniche senza modificare le caratteristiche chimiche → si affina il grano. Come? Si induce una ricristallizzazione.

Se si fa un invecchiamento la presenza di dislocazioni migliora la conduttività, quindi si fa:

INVECCHIAMENTO + RECOVERY.

Così si ottiene dei bordi di stragrande incrementando di 2,3 volte le caratteristiche meccaniche.

Cu - Pb (elemento insolubile nel rame).



1084,8°C → T fus. rame.

Nella trasform. monotettica si forma 2 fasi in equilibrio tra loro a due diverse composizioni immiscibili.

$L_1 \rightarrow Cu + Pb$

Si utilizza nelle leghe Cu-Pb solo P₁ - 2% di Pb.

In 1 si formano i primi cristalli di Cu puro.
In 2 avviene Cu + L₁.
 $L_1 = 1\%$ REGOLA DELLA LEVA (Pb)

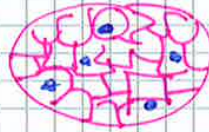
Il liquido sarà strutturato al bordo dei grani, distribuito quasi in forma sferica. Raggiunta la temperatura monotettica questo liquido sempre trasformandosi in un L₂ più ricco in Piombo (L₂): il quantitativo di liquido però in proporzione ancora sotto forma di forma sferica.

Al di sotto della temperatura monotettica il liquido diventa sempre più ricco in Piombo, ma sempre di meno in percentuale. Alla T di 327,5° (si ha una trasformazione eutettica del piombo che può scio gliere lo 0,027% di Cu che mi genera del Pb quasi puro, si avrà Cu puro e Pb puro).

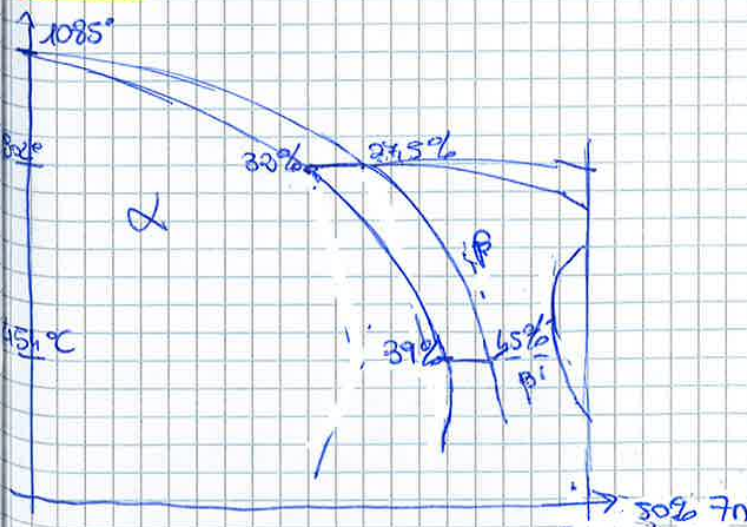
Lezione 82

Perché utilizziamo un componente insolubile?

Il piombo è resistente alla corrosione, ma ha uno svantaggio: cancerogeno. Il rame è un materiale molto duttile, quando si lavora la delle macchine utensili ad asportazione di truciolo (toritura) ed è opportuno che il truciolo non continui a dare forme ad elica, ma piuttosto che si rompa perché quest'elica potrebbe essere pericoloso per l'operario, con un materiale molto duttile si hanno grandi trucioli. La presenza di Piombo nel elemento la **LABORABILITÀ AVE PULCHINE**.



Cu - Zn



Si formano molte fase Cu-Zn caratterizzate da buone proprietà meccaniche e quindi non ci interessano.

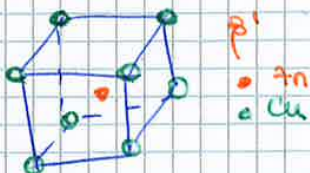
Ampla solubilità di Zn in Cu che raggiunge in peso circa il 35%

La fase α : CFC.

La fase β : CCC: Po una solubilità alta ad alte temperature, diminuendo le temperature $\beta \rightarrow \beta'$ e la solubilità di β diminuisce drasticamente.

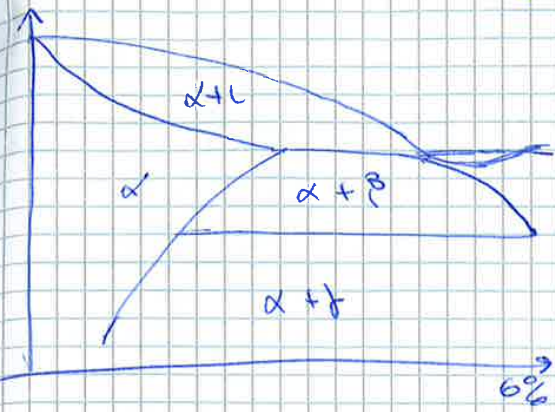
β è una fase soluzione solida chiamata cerniera detta con una distribuzione casuale di Zn nel reticolo cristallino mentre β' ha una distribuzione

Ordinata!



Zinco e rame distribuiti in modo ordinato

Cu-Be Permette di avere buone caratteristiche meccaniche in seguito a SOLIDIFICAZIONE, TEMPERA ed INVECCHIAMENTO → si hanno pure delle metastabilità che coinvolgono le componenti.
 (Non usi nell'esame il diagramma di stato).



Lezione 23

Leghe di Titanio

leghe interessanti dal punto di vista ingegneristico per le loro proprietà.

CARATTERISTICHE GENERALI:

- Sotto a $822,5^\circ C$ il Titanio cristallizza nel sistema esagonale compatto di temperatura superiore ad $822,5^\circ C$ vi è una trasformazione allotropica CCC, stabile fino alla $T_{fusione} = 1668^\circ C$. Questa trasformazione di fase opera la completa distruzione della microstruttura e della struttura termomeccanica precedente, quindi una **RECristallizzazione** che è notevole può subire.
- Massa volumica $4,507 \text{ kg/m}^3$ (via di mezzo tra alluminio ed alluminio).
- $T_{fusione} 1668^\circ C$
- Un ragionevole coeff. di conducibilità termica, quindi può essere utilizzato per gli scambiatori.
- Un coeff. di dilatazione termica $\alpha \approx 11 \mu\text{m/mC}$
- $\epsilon = 103 \text{ GR}$
- Elevata resistenza alla corrosione perché si ossida, ed ossida molto velocemente, ma forma uno strato superficiale di ossido di titanio TiO_2 molto stabile, resistente ed isolante. Il materiale metallico sottostante rispetto all'ambiente e quindi si ossida. In ambiente di cloruri, acqua di mare, il titanio evidenzia le sue qualità anche alla corrosione.

Il titanio ha applicazioni industriali recenti (1950), la produzione del titanio è complessa ma ora più fattibile. Si parte o da scarti di lavorazioni di materiali precedenti o si parte da ossidi.

ossidi \rightarrow ALTITENITE \rightarrow alto tenore di titanio.
 \rightarrow RUTILE

Si mettono porce di questi ossidi in contatto con acido cloridrico:



Si ha cloruro di titanio ad elevato t , questo viene messo in contatto con sodio o magnesio metallico e quindi:



sottoforma di spugna metallica.

Le leghe di titanio considerate sono monofasiche in quanto nei tenori considerati; l'aluminio e nichel, entrano nel reticolo in soluzione solida per questo non si può considerare e privo il Ti-grado 2 come il migliore metallo alla zirconio, come di fatto per noi è.
 La presenza di alluminio e nichel inalterano le caratteristiche di formabilità del che il titanio già di per sé ha.

CLASSIFICAZIONE - LEGHE PIÙ USATE.

Grado 5 lega Al 6% - V 4%

Grado 6 lega Al 5% - Sn 2,5%

Grado 23 lega (Al 6% - V 4%) EU: Extra Low Interstitial

gli elementi interstiziali quali O, C, N, sono mantenuti a tenori decisamente bassi.

Tra tutte le leghe di titanio:

- Ti puro [99.9% Ti] + impurità 0.1%
 non sono considerate leghe, ma titanio puro 35% di utilizzo mondiale
- Ti-6Al-4V Grado 5 e 23 [$\alpha + \beta$] 35%
- α -Ti [5 Al - 2,5 Sn] Grado 6 10%
- β -Ti [13 V - 11 Cr - 3 Al] ecc 1%

Le leghe di titanio non vanno usate al di sopra di 550° perché si ha un cambio delle caratteristiche.

Hanno caratteristiche meccaniche assolutamente paragonabili ad un buon acciaio per uso ingegneristico ed in più è più leggero. Ha costano molto di più.