



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1427A -

ANNO: 2015

A P P U N T I

STUDENTE: Aparo

MATERIA: Tecnologia dei Materiali Metallici. Prof.Scavino

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.**

TECNOLOGIA DEI MATERIALI METALLICI

LEZIONE 1

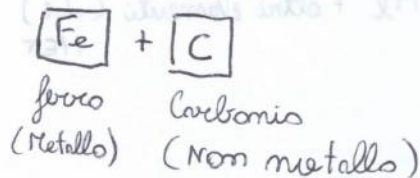
MATERIALI METALLICI - LEGHE

In realtà abbiamo a che fare con LEGHE (materiali con caratteristiche metalliche, ovvero conducibilità elettrica-termica e lucentezza).

Le LEGHE sono composte da una MATRICE METALLICA (METALLO) + un ELEMENTO LEGANTE (METALLO o NON METALLO).

es

ACCIAIO = ferrolega (la matrice metallica è il FERRO)



N.B.

Tutto ciò che chiamiamo ferro in realtà è ACCIAIO. Il ferro ~~meno~~ grezzo non è lavorabile.

FERROLEGHE AL CARBONIO

Ne esistono di 2 tipi

- percentuale carbonio (in peso) < 2% ⇒ ACCIAI
- percentuale carbonio (in peso) > 2% ⇒ GHISE

① ACCIAI

limite tra carbonio combinato. Il carbonio NON È MAI LIBERO e può essere:

- Sciolto nel reticolo del ferro
- Combinato per formare carburi ($\frac{23}{\text{Fe}_3\text{C}}$)

② GHISE

Stessa cosa degli acciai ma con CARBONIO GRAFITICO (libero)

①

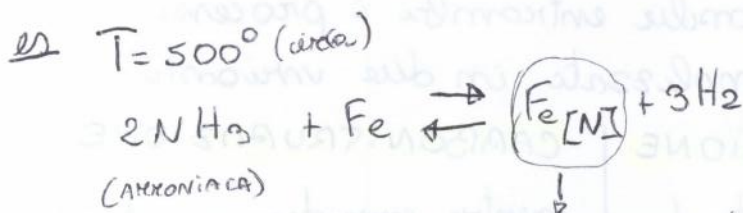
PROCESSI PER FORMAZIONE DI LEGHE

● **N** - azoto \Rightarrow NITRURAZIONE

↓
 { elemento dannoso;
 nelle fasi finali dei
 processi NON VIENE
 USATO

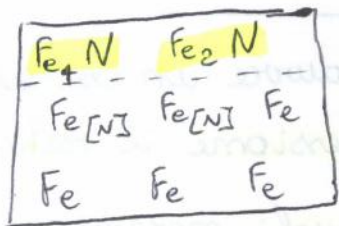
\Rightarrow Consiste nell'immettere azoto (500° circa) in un materiale METALLICO. L'azoto funge da elemento CARATTERIZZANTE (legante).

Affinché il processo avvenga non basta mettere a contatto i materiali ma serve una **pompa d'azoto (AMMONIACA)**



↓
 l'azoto è entrato dentro il reticolo del ferro.

Considerando un pezzo di materiale:



Notiamo che N si unisce con la ferrite e in superficie si formano dei NITRURI

FATICA => se induco uno stato superficiale di tensione, è come se il materiale fosse precompresso e abbiamo l'effetto delle trazioni.

USURA => Si combatte con una superficie dura, che si ottiene con l'introduzione di elementi in superficie.

Definiamo la DUREZZA:

- resistenza alla scalfittura (definizione mineralogica)
- resistenza alla penetrazione (def. meccanica)

N.B.

la resistenza alla penetrazione viene aumentata attraverso l'aggiunta di atomi intrusivi che ostacolano la penetrazione.

N.B.

Nonostante abbiamo detto che cementazione e nitrurazione siano processi analoghi, ci sono delle differenze:

CEMENTAZIONE

[C]

- acciaio + 0,2% C
- dura 6 ore
- 900°C [il materiale deve essere ritrattato]
- in tempi minori abbiamo strati più spessi
- NO trattamento finale

NITRURAZIONE

[N]

- acciaio + 0,4% N
- dura 90 ore
- 500°C
- Si trattamento finale [non con azoto]

● ZOLFO (S)

È un altro tipo di materiale secondario inserito.

Otengo dei solfuri (es. FeS) → NO MATERIALE METALLICO

Lo zolfo interrompe la continuità della matrice metallica e inoltre FeS/Fe forma un eutettico a 900°C (punto più basso in cui si forma liquido)

Praticamente avendo lo zolfo il materiale non ~~avrebbe~~ è utilizzabile perché 900°C sono una T bassa.

Se lo zolfo si lega con il MANGANESE (Mn) avremo MnS che diventa liquido a 1250°C .

In conclusione, il solfuro di Ferro è da evitare poiché in presenza di ferro forma liquido a basse T. Se invece si forma Solfuro di Manganese ho intervallo di lavorabilità molto maggiore. → ACCIAI A LAVORABILITÀ MIGLIORATA (o AUTOMATICI)

ACCIAI AUTOMATICI
Com MnS

L'idrogeno atomico è l'elemento più piccolo che ci sia ed entra molto facilmente nel reticolo. Una volta entrato

RAGGI ATOMICI				
H	O	N	C	B
0,3 Å	0,66 Å	0,71 Å	0,77 Å	0,87 Å

l'idrogeno va in un bordo di grano o dove ci sono mancanze di atomi. In realtà

in molte delle posizioni in cui ci dovrebbe essere Ferro ci sono delle VACANZE. Se manca una fila di atomi allora si ha una DISLOCAZIONE. Questi luoghi vengono anche chiamati TRAPPOLE DI IDROGENO.

A livello atomico l'idrogeno tende a formare H_2 poiché energeticamente più stabile. Ne corrisponde un aumento di volume, per cui la struttura rigida che è all'interno del materiale si gonfia, per cui ho forte tensionamento del materiale che può arrivare alla rottura. Questa si chiama ROTTURA DIFFERITA.

- la rottura non è immediata
- Non possiamo sapere se il pezzo è pieno di H o no.
- I materiali si possono rompere anche per casi inferiori a quelli critici, anche al di sotto del carico di smarcamento
- Solo a posteriori posso sapere se la rottura è stata causata dall'idrogeno.

LEZIONE 3

PROPRIETÀ MECCANICHE

Le proprietà definiscono le categorie dei materiali metallici.

- Conduzione elettrica
- Conduzione termica
- deformabilità, duttilità, tenacità, malleabilità
- deformabilità plastica.

La DEFORMABILITÀ PLASTICA è la proprietà più importante in quanto ciò significa che il materiale metallico ha possibilità di lavorazione che altri materiali non hanno, inoltre ha possibilità di impiego, cosa che non tutti i materiali hanno. Infatti il materiale metallico è di principale utilizzo nell'industria meccanica (acciaio = 95/98 % delle applicazioni industriali).

L'acciaio è il più utilizzato sia per le ~~proprietà~~ sue proprietà che per il suo costo (circa 5-6 cent al kg, l'alluminio costa 5-6 euro al kg).

Altri materiali hanno importanza di nicchia.

MASSA VOLUMICA	
ACCIAIO	7,8
ALLUMINIO	2,7



N.B

Per questioni di BIO-COMPATIBILITÀ (protesi), è preferibile usare il TITANIO (titanio - alluminio - vanadio).

Il costo del titanio è legato al costo di produzione.

MATERIALE NON METALLICO → Comportamento quasi rettilineo, magari il carico di rottura è molto elevato, ma l'area sottesa (energia di rottura) è molto piccola.

MATERIALE METALLICO → Comportamento descritto da una curva. Scelta con carico di rottura inferiore, l'energia che occorre per romperlo però è **molto superiore** a quella che occorre per rompere ~~un~~ un mat. non metallico.

{ DEFORMAZIONE PLASTICA } → LAVORABILITÀ
→ SICUREZZA NELL'IMPIEGO

LUCENTEZZA

Altra caratteristica dei mat. metallici. È la capacità di riflettere la luce. Spesso i metalli non riflettono la luce perché le loro superfici non sono di materiale metallico. (superfici protettive, vernici, ossidate).

Per riflettere la luce è necessaria una superficie metallica piana.

Per analizzare la lucentezza di un materiale ~~oppo~~ e per controllare eventuali rickhe o lesioni si usano diversi processi che spiegheremo nella lezione 4.

● ANALISI VISIVA

È quella più importante (OCCHIO UMANO); serve a togliere le impurità visibili e per vedere dove si possono ricomporre i pezzi (bolle, cricche, lesioni).

Ci sono però due grossi problemi:

- l'occluso deve essere veramente allentato
- si riesce a vedere fino ad una certa misura piccola.

● LIQUIDI PENETRANTI

Questi liquidi, per essere usati, ~~hanno~~ necessitano della presenza di una lesione in superficie.

Si cosparge la superficie con un opportuno liquido, lo si fa restare per un certo periodo di tempo, poi lo si rimuove.

Viene poi aggiunto il DEVELOP (SVILUPPATORE), un altro liquido che, reagendo col primo, ne mette in evidenza la presenza, rendendo possibile la localizzazione di difetti superficiali.

È un metodo economico, veloce e pratico. La parte più delicata del processo è togliere il liquido penetrante, poi bisogna togliere tutto quello superfluo senza però togliere quello che penetra nelle lesioni.

PROBLEMI RX

- L'apparecchiatura non è economica
- L'ambiente deve essere protetto + investimento economico per la "depurazione"
- La cellula investita da RX diventa sovramergetica e questo porta a delle malattie (investimento per controllo salute del personale)

N.B

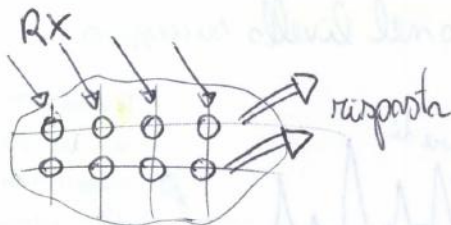
In alternativa ci sarebbero i raggi γ , più pratici e con alto potere penetrante, ma poiché derivano da un processo radiattivo sono molto nocivi e poco utilizzati

N.B.

Nei raggi X è basilare la disposizione del difetto (se è \parallel o \perp) e la localizzazione dello stesso.

- DIFFRAZIONE

Nella diffrazione di raggi X si usa l'interfaccia che c'è quando abbiamo un'onda la cui λ è assimilabile all'apertura di una fessura.



Questo processo consiste nell'interazione tra la radiazione emessa che arriva sul materiale e il materiale stesso.

N.B

Noi trattiamo i raggi X come se venissero riflessi, semplificando molto i calcoli. In realtà la radiazione viene assorbita dagli atomi, rielaborata e in parte emessa con la stessa lunghezza d'onda λ .

LEZIONE 5

se il materiale investito da R-X si trova a pochi cm. dalla fonte, allora i R-X si possono considerare paralleli.

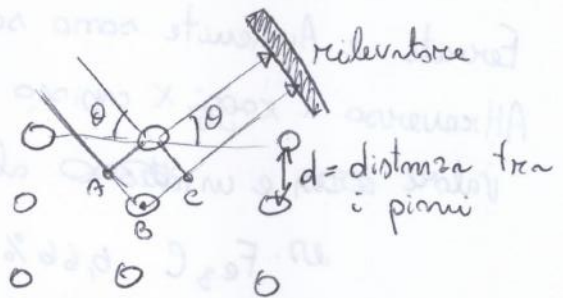
RETICOLO CRISTALLINO

Reticolo nel quale gli atomi seguono delle geometrie ben precise e ripetibili nello spazio.

Nell'analisi dei raggi X il segnale è massimo quando le due radiazioni sono in concordanza

di fase, dunque i segnali si

sommano.



$\overline{ABC} = n\lambda$ se il loro cammino ottico è uguale

il loro cammino ottico si differenzia un numero intero di λ

$\overline{ABC} = 2d \sin \theta \Rightarrow \boxed{n\lambda = 2d \sin \theta}$ relazione di BRAGG

$n\lambda = k$

θ = angolo di incidenza RX

d = distanza interplanare

Segnale massimo \rightarrow picco nel grafico della intensità

N.B.

Se varia λ varia anche θ

La durezza della martensite dipende dalla % di C e viene riconosciuta con l'analisi ai R-X. Al variare della durezza, i picchi si spostano.

Sappiamo che

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

In campo elastico

$$\sigma = E \cdot \epsilon ; \epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \propto \frac{\Delta d}{d}$$

Da qui ricaviamo tramite Δd e la variazione delle distanze misurate con i R-X e $d + \Delta d$

Da qui ricaviamo l e σ (tensioni residue)

Le σ nascono ogni volta che effettuiamo un trattamento meccanico o termico. Misurandole si risale allo stato tensionale del materiale.

Per un C.F.C.

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \Rightarrow \text{sostituendo in } n\lambda = 2d \sin \theta \Rightarrow n\lambda = 2 \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \sin \theta$$

I piani (1,0,0) non danno riflessione perché a metà c'è l'atomo al centro della cella.

1° picco ~~del piano~~ riferito al piano più semplice.

→ Analizzo dunque il piano (1,1,0), l'incognita è a e, quando ottenuta, ricavo il primo picco.

→ Passo al picco ~~del~~ del piano (1,1,1). Se le due a coincidono sono sulla strada giusta.

Continuo così per i successivi (2,0,0) (2,1,0) etc...

LEZIONE 6

ANALISI METALLOGRAFICHE

- MICROSCOPIA OTTICA (microscopio ottico)
- MICROSCOPIA ELETTRONICA (attraverso un fascio di e^-)

MICROSCOPIA OTTICA

Consiste nell'ingrandire (molte $\times 10^3$) di all'incirca $10^2, 5 \cdot 10^2$ volte il campione per analizzarne la struttura, ovvero i cristalli.

PRIMO PASSO

Prelevare il campione.

Lo faccio nel punto meno invasivo, dunque preleva lo spigolo, senza però essere sicuro che la struttura presente nello spigolo sia uguale a quella presente al centro del materiale.

SECONDO PASSO

Rappresentare il campione stesso.

Più è grande il componente, maggiori possono essere le variazioni di struttura tra superficie e "cuore". Ci sono dunque vari metodi di rappresentazione.

N.B

Le differenze tra superficie e cuore massimo giù nella produzione.

DISOMOGENEITÀ

0917°S

1° TIPO - DENDRAIDICA

La cristallizzazione avviene dall'esterno verso l'interno attraverso un flusso termico e meccanico delle dendriti che pian piano rendono il materiale tutto solido. Si crea una struttura a PALIZZATA:

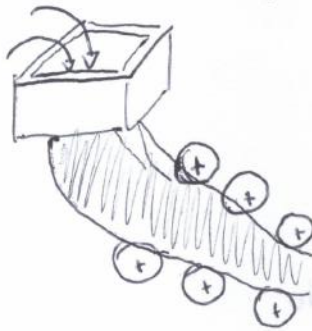


Il materiale che si viene a formare è disuniforme dal punto di vista chimico e morfologico. Per rimediare a questo fenomeno effettua una ricottura dei lingotti,

ovvero prendo i lingotti raffreddati, li metto in un forno e li riscaldo alla temperatura più alta possibile senza che diventino liquidi (omdre per alcuni giorni). Con questa ricottura sparisce ogni spazio intermedio eliminando la struttura a palizzata. Dal punto di vista chimico entrano in atto dei processi DIFFUSIVI in modo da omogeneizzare il tutto

N.B.

Questa tecnica (RICOTTURA) non può essere applicata a tutti i materiali. Per gli altri usiamo la COLATA IN CONTINUO:



Coliamo l'acciaio liquido in un serbatoio dove viene energicamente raffreddato e si forma una pellicola di acciaio solido, che viene laminata da dei rulli e allungata, dunque si evita il problema (DENDRITI) visto in

precedenza. Ciò che esce si chiama BRANCA, prodotto che ha dunque già subito la prima laminazione.

LEZIONE 7

GUIDA ALLA PREPARAZIONE DEI MAT METALLICI

Organizzazione della materia:

- MACRO: visto con i miei occhi
- MICRO: visto al microscopio a luce riflessa (x1000) o al SEM
- ULTRA: micro. a trasmissione di elettroni (x 100000)

Scanning electronic
Microscopy

STRUTTURA CRISTALLINA

ci concentriamo sulla MICROSTRUTTURA (unita di misura 10^{-6} - ordine di grandezza dei cristalli)

La microstruttura influenza e controlla le proprietà e il comportamento del materiale, ma allo stesso tempo è influenzata dalla composizione chimica e dal PROCESSING (Tratt. termici o Meccanici).

Microstrutture sbagliate causano errori nel prodotto.

● REQUISITI ALLA PREPARAZIONE

- tagliare un pezzo e pulire le relative deformazioni (CUTTING)
- Evitare danni di tipo termico (NO T.T.) poiché ne modificano la struttura.

● PREPARAZIONE

- Individuazione del campione (CAMPIONATURA)
- Sezionarlo
- Implantatura (MOUNTING) =>
- Pulizia su carta abrasiva (GRINDING)
- Pulizia su panni (POLISHING)

racchiudere il materiale dentro una capsula di plastica e posizionarlo con la faccia che si vuole analizzare verso il basso, si copre con una polvere di resina termoisolante. Viene messo sotto pressione a $T = 100 - 150^{\circ}C$. Il tutto diventa un cilindretto che imprigiona il campione.

- Attacco (ETCHING)

N.B

Un modo alternativo a tutto questo è quello di usare sin dall'inizio l'ALLUMINA che è in grado di fare i due processi, ma viene poco usata dato che è un vero e proprio LATTE e ~~rotato~~ durante la rotazione su disco scivola ovunque.

Il campione è ora pronto per l'osservazione.

Viene usato un microscopio apposito per i metalli, ~~per~~ chiamato MIC.

A RIFLESSIONE o INVERSO. nel quale la sup. del campione funge da specchio del microscopio e il raggio di luce riflesso arriva a delle lenti di ingrandimento.

Se il materiale è perfetto, vedrà un cerchio BIANCO, se non lo è, non rifletterà tutta la luce e ci saranno zone scure che corrispondono alle zone NON METALLICHE.

es. GIUGA → composta in parte da grafite che non riflette la luce, dunque ci saranno zone scure.

N.B

Altrimenti questo microscopio si possono vedere anche le vicine.

Per vedere i bordi di grano invece bisogna fare un'ulteriore operazione, l'ATTACCO (ETCHING).

N.B

L'ETCHING ci dice anche se ci sono più fasi (es. Zone PERLITE e FERRITE)

~~Perlite~~ \rightarrow Fe₃C \rightarrow oscura
Ferrite \rightarrow chiara

MICROSCOPIO ELETTRONICO (SEM)

• Degli e⁻ finiscono sull'elemento, vengono rimandati verso lo specchio e si vedrà l'immagine ingrandita della superficie.
Il flusso di e⁻ sostituisce il fascio di luce.

Il fascio di luce ha bisogno di una superficie preparata per poter essere analizzata, mentre con gli e⁻ riusciamo ad analizzare anche superfici non ~~pre~~ lavorate.

L'unica caratteristica necessaria è che il campione deve essere conduttore e pulito (sgrossato)

N.B

Se il campione non è metallico si può fare una metallizzazione che ricopre la morfologia del materiale, rendendolo metallico.

Con questo microscopio si possono fare ingrandimenti anche x100.000, il vantaggio principale è la PROFONDITÀ DI CAMPO, attraverso la quale viene riprodotta la perfetta morfologia del materiale.

Quando gli e⁻ colpiscono il materiale, vengono emessi R-X che vengono analizzati in due modi:

- EDS (più usato) \Rightarrow energy dispersion system
- WDS \Rightarrow "Wave" (con lunghezza d'onda) dispersion system
Wavelength

RAMÈ

Il materiale migliore per conducibilità elettrica è il RAMÈ, poiché in rapporto prezzo/qualità è quello che conduce meglio spendendo di meno. Inoltre è molto facile da trovare.

N.B

Per applicazioni elettriche abbiamo bisogno di RAMÈ PURISSIMO, che costa molto poiché il processo di fabbricazione è simile a quello dell'alluminio, ovvero elettrolitico.

⇒ Si parte dal rame grezzo su cui viene poggiate un solenoide che lo scalda; via via il solenoide si sposta e tutto il materiale si scioglie e riscalda; la parte centrale (CUORE) è quella che viene pulita per ultima dalle impurità. Così facendo il rame viene pulito solo parzialmente, dunque si passa all'elettrolisi.

Vi sono casi in cui si potrebbero usare altri metalli come oro (Au) o platino (Pt), ma sono molto pesanti e costosi, dunque si preferisce il RAMÈ (Cu). Oro e Platino sono metalli nobili (NON SI OSSIDANO), in realtà vengono usati (diluiti con rame) specie nelle giunzioni in cui un'ossidazione provocherebbe gravissimi inconvenienti. (es. Pc di controllo di un aereo)

MECCANISMI DI RAFFORZAMENTO

Possiamo avere

- SOLUZIONE SOLIDA $\left\{ \begin{array}{l} \text{sostituzionale} \\ \text{interstiziale} \end{array} \right.$

- PRESENZA DI 2 FASI $\left\{ \begin{array}{l} \text{coerenti (interfaccia comune tra le 2 fasi)} \\ \text{incoerenti (int. non comune tra le 2 fasi)} \end{array} \right.$

① **AFFINAMENTO DEL GRANO** \Rightarrow (TRATTAMENTI TERMICI)

Aumento della tenacità e rafforzamento del materiale; il grano fine ostacola l'avanzamento delle cricche. I trattamenti termici sono gli unici che permettono un rafforzamento senza penalizzare la tenacità. Nei metalli puri però sono poco efficaci e rimangono come ultimo meccanismo da usare.

② **INCRODIMENTO**

Forte deformazione plastica; si ottengono caratteristiche meccaniche buone. Anche questo meccanismo limita il movimento di e^- , ma fra tutti è quello che lo limita di meno.

REGOLA \rightarrow grano fine + ammasso di precipitato a bordo grano = SUPERLEGHE

SALDATURA

Portare a fusione un materiale per farlo consolidificare con un altro che fonde (a differenza della BRASATURA dove è solo uno a fondere)

Esistono diversi tipi di saldatura, ma la più importante è

la SALDATURA A PUNTI o A RESISTENZA (SPOT WELDING) (EFFETTO SOULE)

Le proprietà di saldabilità dipendono dalla conducibilità termica, dalla T di fusione ($Fe = 1537^{\circ}C / Al = 654^{\circ}C$) e dalla resistenza del materiale.

Verrebbe da pensare che (data la T_f) che è più facile da saldare l'Alluminio piuttosto del Ferro: NON È COSÌ.

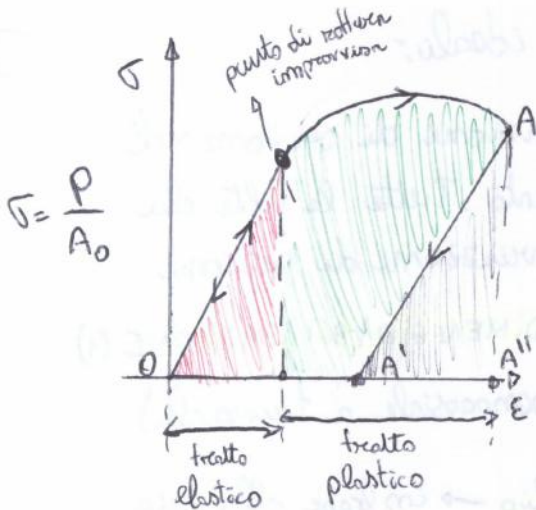
Infatti l'energia per rompere i legami di Fe e Al è più o meno uguale, dunque la capacità termica (quantità di calore da fornire per ~~100~~ aumento di $1^{\circ}C$) dell'Al è molto maggiore di quella del Fe, dunque l'effetto SOULE è ridotto. Sommando tutti questi fattori si capisce che è più faticoso ~~sembrere~~ A saldare Al piuttosto che l'acciaio (e servirebbero anche macchine più potenti). Inoltre se la lega di Al è una lega da trattamento termico, ma come fasi coerenti metastabili che se scaldate a $100 - 150^{\circ}C$ si trasformano in FASI STABILI, dunque perde le caratteristiche meccaniche se le scaldi. [LEGHE NON SALDABILI]

LEZIONE 10

I materiali metallici sono gli unici che possono deformarsi PLASTICAMENTE ovvero oltrepassato il tratto di proporzionalità diretta nel diag $\sigma - \epsilon$, il materiale non si rompe ma si deforma ulteriormente.

Da ciò ne scaturisce la:

- LAVORABILITÀ (laminazione, estrusioni, forgiatura, stampa, piegatura...)
- SICUREZZA (pericolo di rompersi ① ti "arruono" ② richiedono energia ③ richiedono tempo)



Tutti i materiali metallici hanno una componente elastica, ovvero un sottociclo direttamente proporzionale al carico e reversibile.

$\overline{AA'}$ → tratto parallelo a quello elastico
 $AA'A''$ ⇒ zona plastica

OA' → tratto plastico permanente

Se continuiamo ad applicare carico, gli atomi avranno la forza di allontanarsi gli uni dagli altri; si ha dunque la nascita di nuove superfici (IL MATERIALE SI ROMPE)

Un materiale di questo tipo può essere usato solo per carichi statici $\boxed{\frac{P}{A} = \sigma}$

Questo tipo di materiale, arrivati in quel punto, invece che rompersi potrebbe deformarsi in modo differente ma →

MECCANICA DELLA FRATTURA - PROVA DI TRAZIONE

(2 figure fr)

Superare K_{Ic} vuol dire che il materiale si rompe

Superare S_{Ic} vuol dire che il materiale si deforma

Abbiamo detto che la prova di trazione viene effettuata con carico applicato staticamente. Nella parte centrale del campione

posizioniamo un ESTENSIMETRO usando un PONTE DI WHEATSTONE

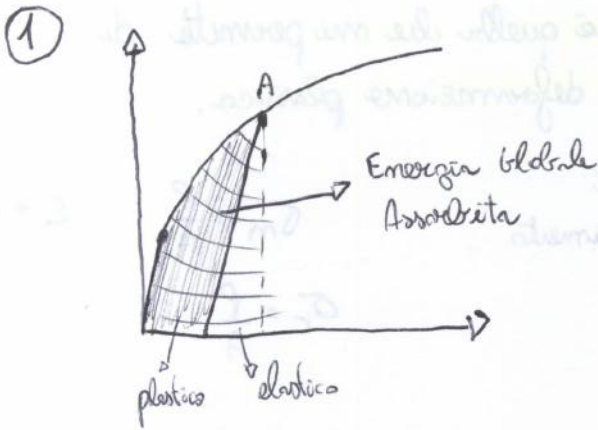
(funge da resistenza $R = \rho \frac{l}{S}$)

La prova avviene su una macchina di trazione (idraulica o meccanica) e può essere eseguita in 3 modi:

- 1) CONTROLLO DI CARICO → si applica un carico con una certa legge che cresce indipendentemente da tutto.
- 2) CONTROLLO DI DEFORMAZIONE → la macchina deforma il pezzo secondo una determinata legge.
- 3) CONTROLLO DI SPOSTAMENTO → imponiamo alla traversa mobile di muoversi secondo una certa legge.

N.B

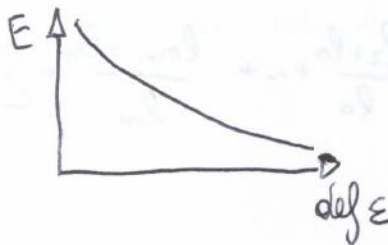
Lo spostamento della traversa non coincide con la deformazione del campione.



Quando arrivo ad A e tolgo il carico, il materiale torna indietro secondo una retta // alla prima (ritorno ELASTICO)
 Anche se ci sono dei dubbi riguardo a ciò

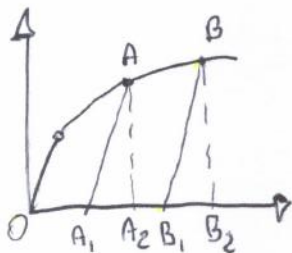
②

Nella rappresentazione devo mettere E reale, non E teorica



• il modulo elastico diminuisce

⇒ Gli acciai sono dei materiali ELASTOPLASTICI, per i quali la deformabilità ha sempre un tratto plastico e uno elastico.



OBB' = energia necessaria per deformare fino al punto B.

I triangoli AA₁A₂ e BB₁B₂ sono simili e rappresentano l'energia elastica necessaria alla deformazione.

NB

Aumentando la parte PLASTICA aumenta anche la parte ELASTICA, per questo si parla di materiale ELASTOPLASTICO

$$\sigma_r = k \epsilon^m$$

$\sigma_r = \text{reale}$

$m = \text{coeff. di INCAUDIMENTO}$

INCAUDIMENTO → fenomeno di dislocazioni che possono intralciare il movimento (INGOMBRO)
 Il coeff. "m" ci dice in che quantità avviene questo fenomeno.

$$0 \leq m \leq 1$$

se $m = 1 \Rightarrow$ legge di HOOKE (tratto lineare elastico) $\Rightarrow \sigma_r = k \epsilon$

se $m = 0 \Rightarrow \sigma = \text{cost} \Rightarrow \sigma_r = k$ (materiale perfettamente PLASTICO)

Nel tratto tra 0 e 1 abbiamo i materiali che ci servono



Tutti i "triangolini" sono uguali, non c'è componente elastica.

Però un materiale plastico non ci serve perché si comporterebbe come un materiale non metallico e non è utilizzabile negli elastoplastici. Si deve per forza usare la parte elastica, quindi della parte plastica non ce ne facciamo niente.

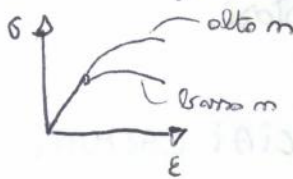
IMPORTANTE

ci conviene avere un materiale con modulo elastico (di Young) elevato, un basso carico di snervamento e un alto coeff. di incrudimento (m).

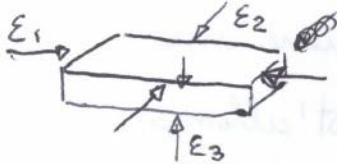
LEZIONE 11

- Basso carico di smorzamento → minimizzare la W delle presse
 ↓ minimizzare il ritorno elastico

- elevato coeff. di inacidimento n → così la curva è più ripida



anisotropia



Quando deformiamo un materiale vogliamo che la deformazione non sia uniforme, ma che il materiale venga preso dallo spessore; in questo caso scegliamo

la direzione lungo lo spessore ϵ_3

Anisotropia → $\gamma = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_3}$ (coeff. di anis.)

N.B

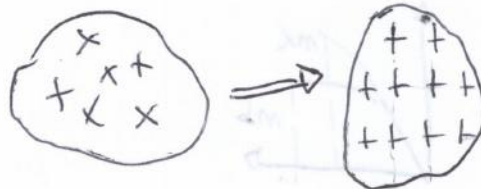
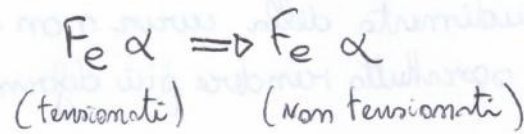
Per funzionare il materiale deve avere $\gamma > 1$

ACCIAI DAL PROFONDO STAMPATO

Hanno la caratteristica di essere stampati anche a freddo (laminazione a freddo).

Nel corso della produzione dell'acciaio si caricano gli ossidi di ferro nell'altoforno che reagiscono col fondente, da ciò esce una ghisa (4,3% di C); questa viene trasformata in acciaio → (47)

Questa ricottura avviene scaldando il materiale a $710-720^{\circ}\text{C}$ e dalla stessa fase si genera una fase con cristalli non più tensionati



[si generano dei SUBGRANI che non hanno dimensione]

In questa fase si genera AlN che si va a posizionare sui bordi dei subgrani, provocando un'inibizione nel senso dello scorrimento nella crescita di quei piani nei quali avviene lo scorrimento. In pratica le dislocazioni hanno più difficoltà a muoversi nella spessoro rispetto a lunghezza e larghezza (MAT. ANISOTROPO).

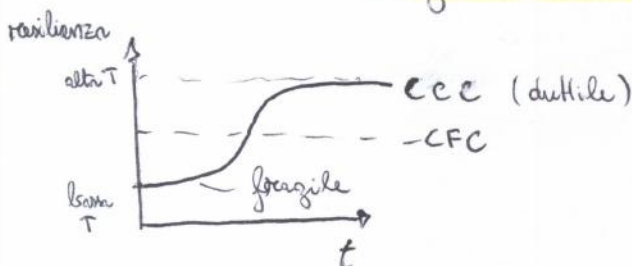
C.F.C → Struttura tenace che si deforma senza rompersi

C.C.C → esiste una direzione preferita $[1,1,1]$ (piani di scorrimento)

Ad alte temperature si attivano.

Duttile → alte T

Fragile → basse T

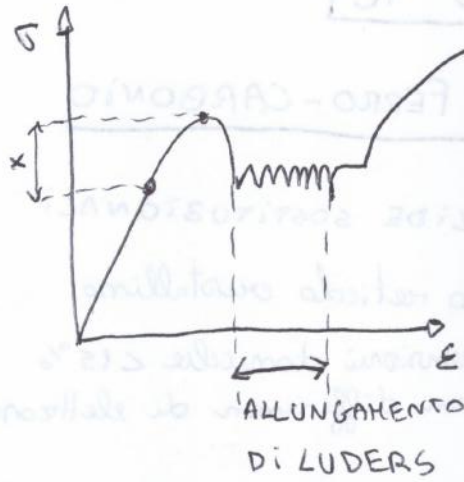
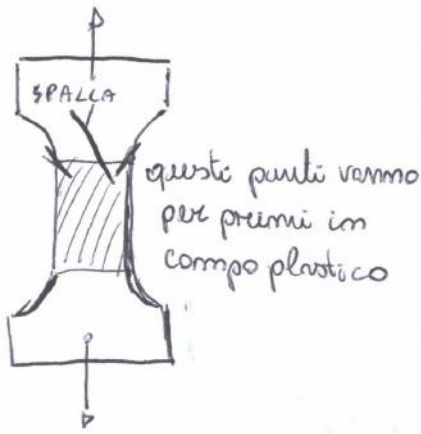


La cosa negativa è che tutti questi sistemi di rafforzamento diminuiscono la tenacità, tutti tranne l'AFFINAMENTO DEL GRANO.

2 ECCEZIONI al fatto che nel grano piccolo c'è assenza di precipitati:

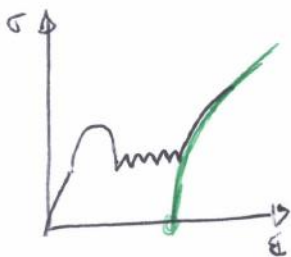
1) Avere un grano grosso significa avere un grano carico di inclusionsi e avere precipitati.

2) Aumentare il coeff di inclusionsi (ci sono precipitati)



Deformando elasticamente ed un certo punto arrivo in campo plastico. il surplus di carico x ci serve per strappare le dislocazioni dalle atmosfere di COPPER e quindi ho una deformazione plastica seguita da una spalla che via via si propaga in tutta la zona ristretta di materiale. Il problema degli allungamenti (strutture) di LUDERS è che rimangono e non posso permettermi di avere un materiale con delle strutture sopra.

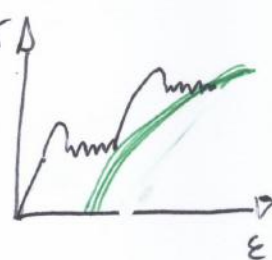
Ecco allora che si usa lo SKIN PASS, lieve laminazione con cui si supera l'effetto del Luders, in modo che quando poi vado a stampare il materiale segue la curva del disegno sottostante



N.B

Lo SKINPASS deve essere effettuato quanto prima possibile (MAX 2 SETT) altrimenti il materiale è INVECCHIATO, poiché il carbonio ricopre nuovamente il materiale e

si rappresenterebbe lo stesso problema ma ad un carico maggiore



① FASI INTERMEDIE INTERSTIZIALI

legame covalente - il carbonio può formare carburi

- Carburi di Hägg $\left\{ \begin{array}{l} \frac{r_x}{r_m} < 0,59 \begin{cases} MeX \\ Me_2X \end{cases} \\ \frac{r_x}{r_m} > 0,59 \rightarrow \text{complesse } (Fe_3C) \end{array} \right.$

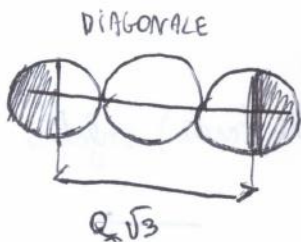
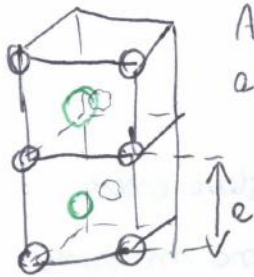
② SOLUZIONE SOLIDA INTERSTIZIALE (intrasiva)

Il soluto non va a sostituire il solvente, ma va a posizionarsi dentro il reticolo senza sostituirsi in dei posti vuoti

- Fe \rightarrow 2 forme allotropiche $\left\{ \begin{array}{l} \text{C.C.C. Fimo a } 907^\circ\text{C} \rightarrow \text{Ferrite } \alpha (Fe_\alpha) \\ \text{C.F.C. Da } 907 \text{ a } 1400^\circ\text{C} \rightarrow \text{Austenite } \gamma (Fe_\gamma) \end{array} \right.$

- Dopo 1400°C Fe forma C.C.C. fino alla T di fusione $T_f = 1537^\circ\text{C} \rightarrow$ Ferrite $\delta (Fe_\delta)$

C.C.C.



Al centro delle facce (spigoli) vi è uno spazio vuoto, dove va a posizionarsi un atomo di C di dimensioni a .

Dobbiamo dunque togliere mezzo atomo superiore e mezzo inferiore.

Ipotesendo che lungo la diagonale del cubo gli atomi siano tangenti, l'effettivo spazio a disposizione è di $a - \frac{a\sqrt{3}}{2}$ e il raggio sarà $r = \frac{1}{2} \left(a - \frac{a\sqrt{3}}{2} \right) = 0,067a$ (Å)

la solubilità max. del C nel:

- $Fe\alpha = 0,02$ ($723^{\circ}C$)
- $Fe\gamma \approx 2$ ($1140^{\circ}C$)
- $Fe\delta \approx 0,1 \rightarrow e^- > di \alpha$ per la dilatazione termica che permette un ($1492^{\circ}C$) maggiore ingresso nel reticolo

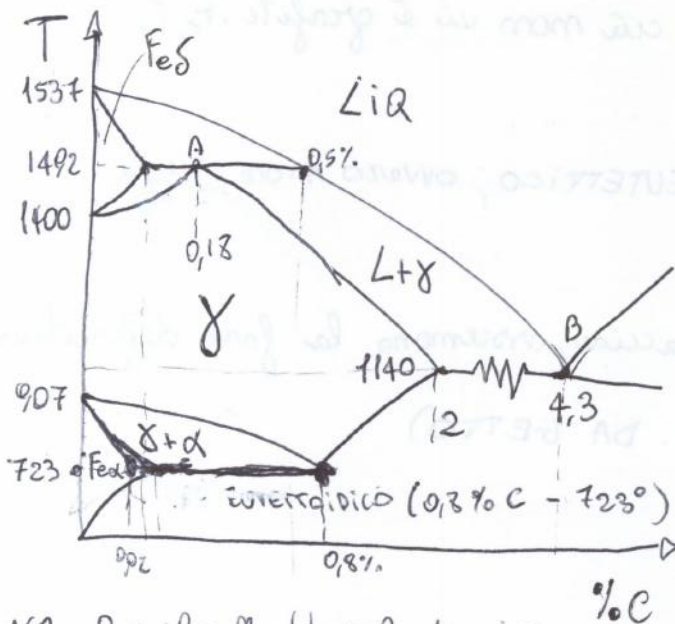
N.B

Se si superano questi valori il carbonio sarà presente sotto forma di cementite Fe_3C (6,66% in peso)

N.B

Praticamente a T ambiente di carbonio se ne scioglie pochissimo ed è quasi tutto sotto forma di cementite.

Quando passiamo da austenite (C.F.C) a ferrite (C.C.C.) il carbonio è presente in quantità molto maggiore che nel C.C.C. Dunque passando da γ ad α il C deve MIGRARE (FENOMENI DIFFUSIVI)



- Esistono 3 soluzioni solide ($Fe\alpha, \gamma, Fe_3C$)

- 3 punti notevoli con 3 fasi solide

- A - peritettico ($0,18\%, 1492^{\circ}C, L \rightarrow 0,5, \delta = 0,1$)

- B eutettico (gliese) $> 2\%$ interviene l'eutettico $< 2\%$ NO eutettico

- Con l'eutettico può formarsi

$L \rightarrow \begin{cases} \gamma + Fe_3C \text{ LEDEBURITE} \\ \gamma + C \text{ GRAFITE} \end{cases}$

(55)

NB Più il raffredd. è lento più c'è possibilità di formazione di grafite

I vantaggi delle ghise:

- T di solidificazione più bassa possibile
- Nell'eutettico abbiamo del liquido e solidificandolo diventa tutto solido senza l'intervallo di solidificazione (NIENTE COESISTENZA DI 2 FASI). Questo è molto importante perché il liquido ha viscosità più bassa rispetto al solido e riempie più facilmente gli interstizi. La condizione di COLABILITÀ DI UNA LEGA si trova dunque solo nell'EUTETTICO.

N.B

Questo discorso non vale solo per le ghise, ma anche per le leghe di alluminio.

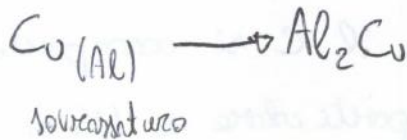
Se la lega di Al non ha caratt. di colabilità, allora avrò leghe al 2-3% di Cu con un massimo di solubilità a ~~1000~~

T inferiore rispetto alla $T_{EUTETTICA}$, dato che scivola all'eutettico "BAUCIO" il materiale; dopodiché raffreddo velocemente per evitare che il Cu precipiti sotto forma di composto. Avrò dunque, a

$T_{AMB.}$ una soluzione sovrasaturata di Cu in Al ($Cu_{(Al)}$),

avendo così INVECCHIAMENTO

- NATURALE (dura qualche settimana)
- ARTIFICIALE (Scaldando il mat. a 100-120°C, dura qualche ora)



Se la lega al momento della colata è ipoeutettica, è un problema. Noi vogliamo che sia **IPEAEUTETTICA** e lo otteniamo attraverso l'**INOCULAZIONE**:

aggiungendo **0,1% di Si** sotto forma di $FeSi$ in fase di solidificazione si rendono alcune zone fortemente ipereutettiche; in queste zone si forma la **GRAFITE** sotto forma lamellare. ~~Si~~ Invece la grafite **SFEROIDALE** si ottiene aggiungendo **0,1% di Mg** e per questo viene usata nelle costruzioni.

A seconda delle condizioni possiamo avere una

matrice: $\left\{ \begin{array}{l} \text{GRIGIA PERLITICA} \\ \text{FERRITICA} \end{array} \right.$

N.B

GHISA BIANCA \rightarrow si ottiene limitando il Si e raffreddando velocemente

- Bisogna però evitare che durante il raffredd. cade la cementite, altrimenti si ottiene

una **GHISA TRATTATA (GRAFITE + CEMENTITE)**.

- Arrivati allo **0,8%** si forma **PERLITE (GHISA GRIGIA)**

- Se il tenore di Si è sufficiente e il raffreddamento è lento, verrà espulso tutto il C ~~dal~~ dall'austenite, ottenendo Ferrite.

● CRESCITA

~~È~~ È influenzata dalla diffusione (in funzione del t);
tanto più raffreddato velocemente, tanti più nuclei ho, aventi
però una crescita minore (GRAN: PICCOLI)

Posso arrivare ad una velocità tale da bloccare la diffusione,
avendo così due fenomeni possibili:

- 1) Austenite a T ambiente (voluto) → ACCIAI AUSTENITICI
- 2) Formazione di nuove fasi: MARTENSITE (non presente nel D.D.S)

CASO 1

Acciai austenitici (es. Ni e Mn), sono inossidabili e per resistere
alla corrosione devono essere MONOFASICI (austenite, ferrite, -
martensite).

Gli acciai normali si corrodono perché hanno ossidi che, non formando
uno strato compatto, non isolano il metallo dall'ambiente.

Ci viene in aiuto il CROMO (C_{Cr}):

Se abbiamo il 13% di C_{Cr} in superficie, si forma uno strato
chiamato SPINELLO; occorre però, attraverso un processo chimico,
avere un metallo monofasico.

NB.

La presenza di Carburo di Cromo va evitata (nociva) poiché
crea una 2^a fase. Per superare il problema si usa

lo 0,2% di Titanio [Ti] o Vanadio [Vn] o Niobio che
reagendo con il C, impedisce la formazione del
Carburo di Cromo

CASO 2

Formazione di nuove fasi.

La struttura C.F.C diventa C.C.C.; ciò non comporta diffusione ma solo lievi spostamenti, poiché all'interno della C.F.C. vi è già un "abbozzo" di C.C.C.

C.F.C.	→	C.C.C.
$3,6 \frac{\%}{2}$	→	2,86

Per portare il 3,6 a 2,86 si SCHIACCIA e si ALLARGA, senza diffusione di C. L'austenite diventa MARTENSITE.

N.B

Questo processo può essere incompleto, avremo dunque MARTENSITE con austenite residua.

- La velocità di raffr. è molto lenta; dopo l'austenizzazione il raffr. avviene in forno e, alla fine, si ottiene una struttura grossolana lamellare. Alternativamente posso raffr. dopo NORMALIZZAZIONE: ciò che ottengo dipende dalla composizione chimica e dalle dimensioni del pezzo (ACCIAI AUTOTEMPRATI).

La dimensione del pezzo è fondamentale.

Gli altri raffreddamenti sono più veloci → TEMPRE

N.B

Più sono veloci, più sono pericolosi (il pezzo si può spezzare).

Il trucco sta nell'ottenere TEMpra, ovvero una trasformazione martensitica, ma con raffr. più lenti possibili, poiché più sono veloci più cricche ottengo. (CASO IDEALE)

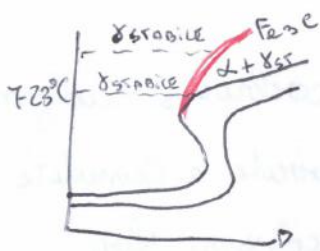
- CONSIDERAZIONE

Per ottenere martensite devo raffreddare ad una velocità per cui non intercelto le curve di transf. martensitica, ovvero la velocità deve essere tale da essere tangente al "gomito" del grafico; Infatti per velocità alte entro nel campo martensitico, per velocità inferiori scendiamo nel campo perlitico. Per un acciaio eutettoide la T del "gomito" è di 550°C e il $t = 1\text{s}$ (vedi grafico). Ciò vuol dire che devo portare la T a 550°C in meno di un secondo, altrimenti incontro la perlite.

Dunque ho bisogno di energici raffreddamenti e ho 3 possibilità: raff. ad H_2O , ad olio o a gas.

- H_2O → poco costosa, ha dei problemi poiché ad alte T avviene la CALEFAZIONE, ovvero il pezzo immerso in H_2O viene avvolto dal calore, come se lo isolassimo. A basse T (300°C) rompe le bolle e porta via il calore energeticamente. Ciò è molto rischioso perché il "cuore" dell'oggetto e ad alta T rispetto alla superficie, mandando in trazione i pezzi. (rottura). Attualmente non si usa H_2O pura, ma AQUA QUENCH, mezzo a base di H_2O nel quale vengono aggiunti alcoli per rallentare la calefazione e ottenere il trasporto di calore a basse T.

Se abbiamo un'altra composizione dobbiamo aggiungere un'altra curva



CURVE ISOTERME



Esistono altre curve (C.C.T), "continuous cooling transformation" ~~in cui le~~ non isoterme che si ottengono con raffredd. continuo. Sono simili alle TTT ma spostate più in basso a destra.

NB.

Abbiamo ottenuto martensite, ma non la usiamo con gli acciai perché dura ma fragile. Devo dunque fare una seconda operazione:

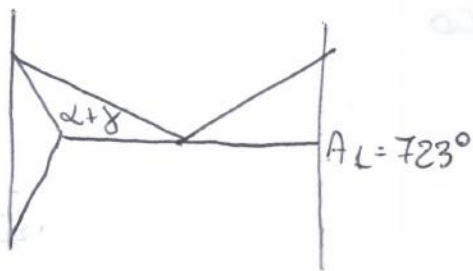
⇒ RINVENIMENTO

(Tempering)

Tempra + Rinvenimento = bonifica

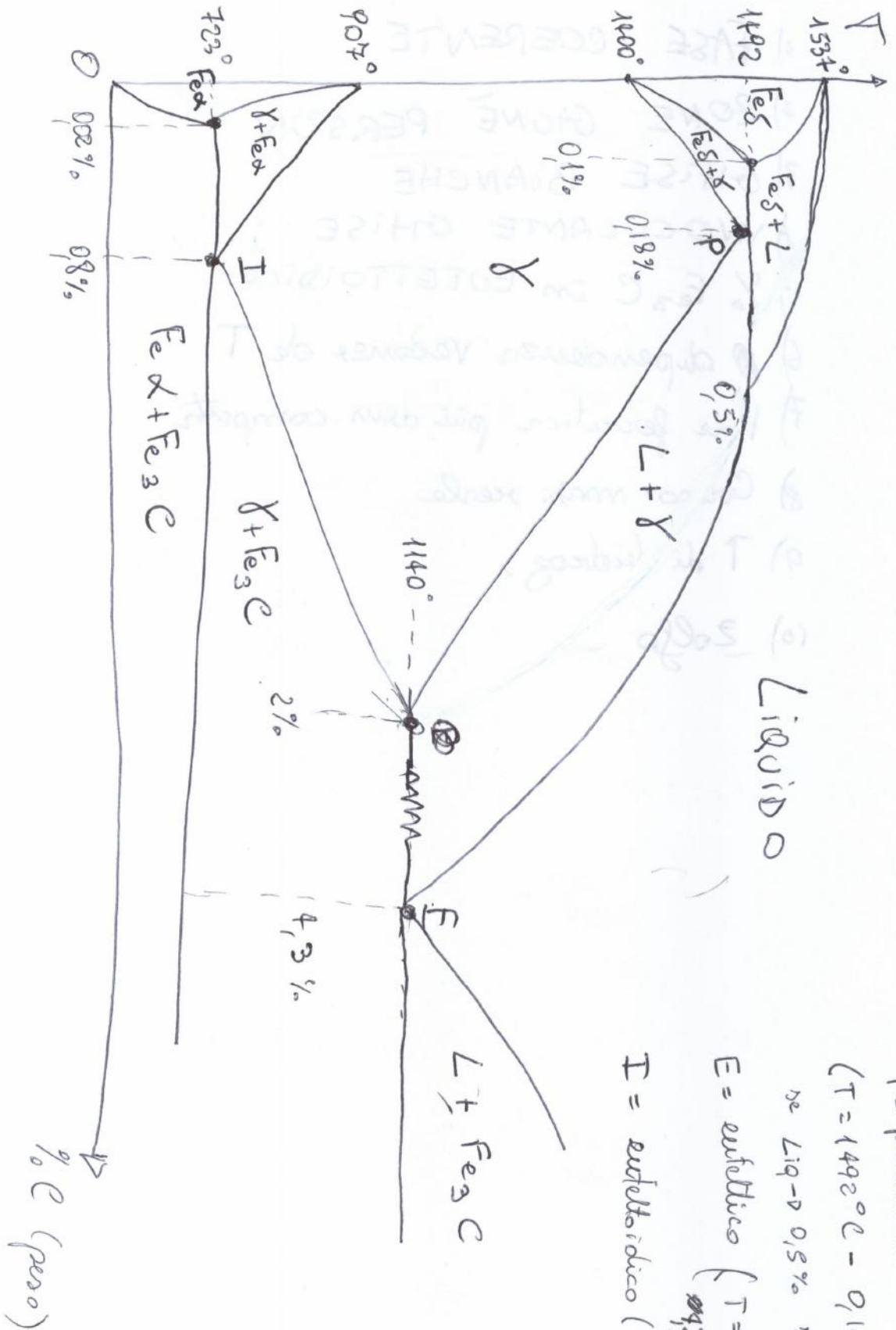
(Quench) + (tempering) = temperate steel (acciaio bonificato)

⇒ Il rinvenimento è un trattamento che toglie la fragilità della martensite.



- Se scaldi a $T < A_1$ (circa 500-550°C) per un'ora
- Se abbiamo austenite residua, a 100-150°C si trasforma in martensite

La martensite perde carbonio sotto forma di carburi X e E → (67)



$P =$ peritettico
 $(T = 1492^\circ C - 0,18\% C)$
 ne $Liq \rightarrow 0,5\%$ solido ($Fe_S \rightarrow 0,1\%$)
 $E =$ eutettico ($T = 1440^\circ C$)
 $4,3\%$: m.c.)
 $I =$ eutettoidico ($T = 723^\circ - 0,8\%$)