



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 981

DATA: 26/05/2014

A P P U N T I

STUDENTE: Cocomazzi

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.**

08-03-13

MATERIALI METALLICI

AULA MAGNA
MERCOLEDÌ 13 MARZO
14:30 ILVA.

LIBRO: Walter Nicodemi
Zanichelli

Proprietà dei materiali Metallici esclusive

- Legame metallico
- Reticoli
- Difetti
 - punto Vacanze
 - linea Dislocazione
 - Volume

Effetto dei difetti, comportamento meccanico dei materiali metallici

Analisi sistemistica degli acciai

Failur analysis

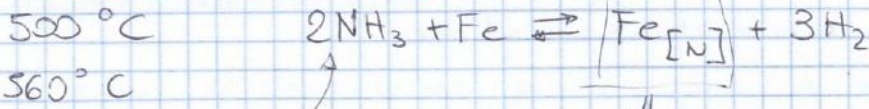
Analisi del danno

Nitriding

Nitrurazione = immissione di Azoto all'interno di materiali.

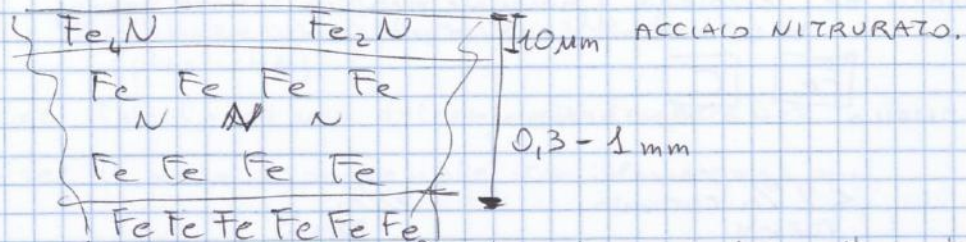
(arricchimento del materiale in azoto) → MIGLIORA LE PROPRIETÀ DEL MATERIALE.

TRATTAMENTO SUPERFICIALE



POMPA DI AZOTO AMMONIACO

AZOTO ENTRATO NEL RETICOLO DEL FERRO.



Carburing

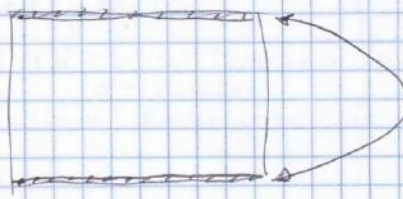
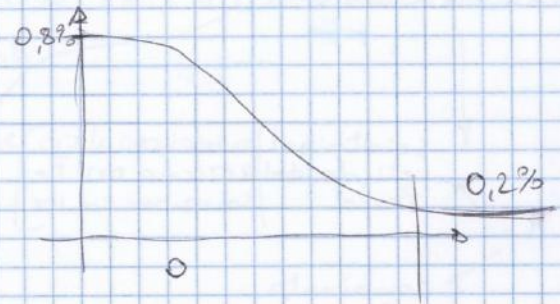
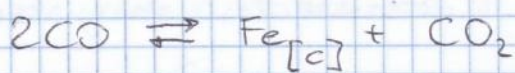
Cementazione = trattamento superficiale che arricchisce il materiale

in carbonio. Sdò qualche decimo solitamente 3 decimi.

Porta un acciaio 0,2% ad un acciaio 0,8% in superficie.

Si utilizza il CO. 900 °C

POMPA DI CARBONIO CO



MATERIALE NITRURATO O CEMENTATO.

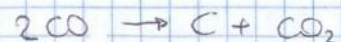
Nitrurazione morbida

560 °C 5/6 ore N
C

Carbonitrurazione

880 °C CO
NH₃

ARRICCHIMENTI COMBINATI



POTENZIALE

$$\phi_C = \frac{P_{CO}^2}{P_{CO_2}}$$

← PRESSIONI

$$\phi_{N_2} = \frac{P_{N_2}^2}{P_{H_2}^3 + P_{NH_3}^2}$$

25-03-13

MATERIALI METALLICI

Leghe → materiali con caratteri metalliche

↓
raggiunte con dei
metalli o con elementi non metallici.

Negli acciai il carbonio e l'azoto entrando nel reticolo del Fe ne determinano migliori qualità metalliche e meccaniche.

Zolfo è molto nocivo, perché crea il solfuro di ferro che in presenza di ferro forma un liquido a basse temperature.

Il tenore di zolfo negli acciai deve essere all'incirca 0,01% non maggiore.

Lo zolfo rende più morbido l'acciaio, si usa per le lavorazioni con asportazione di truciolo. La presenza di zolfo riduce la lunghezza dei trucioli. 0,01% di zolfo e manganese > 1%. Il manganese si trova sempre nel Fe, perché è un elemento molto vicino al Fe nella tavola periodica.

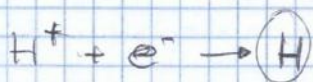
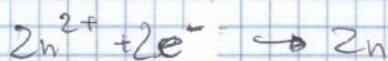
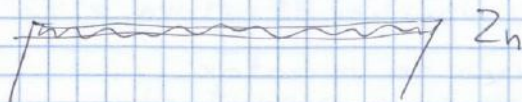
La presenza di manganese di circa 0,04 - 0,06% viene considerato normale in un acciaio non tecnico.

Gli acciai automatici hanno una presenza di manganese all'incirca dell'1% faceva sì che si rompesse la [continuità] metallica.

Truciolo si rompe e non impasta l'^{MATRICE} utensile.

L'idrogeno è pericoloso perché è molto piccolo. Molto pericoloso l'H non atomico. Entra nei processi elettrolitici

Nelle galvanature [ES. ZINCATURA] spessori di 1-10 μm di uno strato di zinco.



Hanno una maggiore elasticità e resistono meglio alla presenza di idrogeno.

DISCORSI AUTOMOBILISTICI

CARROZZERIE → erano realizzate con acciai a profondo stampaggio.

→ Con elevato allungamento.

→ Basse caratteristiche meccaniche, 250 ÷ 350 MPa

1) Riduzione dei consumi

↳ minor inquinamento
↳ minor peso

2) Maggiore sicurezza in caso di urto.

Elevato assorbimento di energia per rompersi

DEIDROGENAZIONE

Tutte le volte che si ha il sospetto della presenza di H, bisogna agire tempestivamente per eliminarlo. Esce facilmente ma prima che si trasformi da H monoatomico a molecolare.

Immediatamente bisogna scaldare il materiale. Per piccoli pezzi 180-200 °C da un minimo di 3-4 ore ad un massimo di 48 h.

Per grandi pezzi intorno ai 600 °C per periodi lunghi anche 1 settimana.



Quando c'è una variazione di sezione uno sforzo monoassiale diventa triassiale e quindi viene sottoposto a degli stress più elevati.

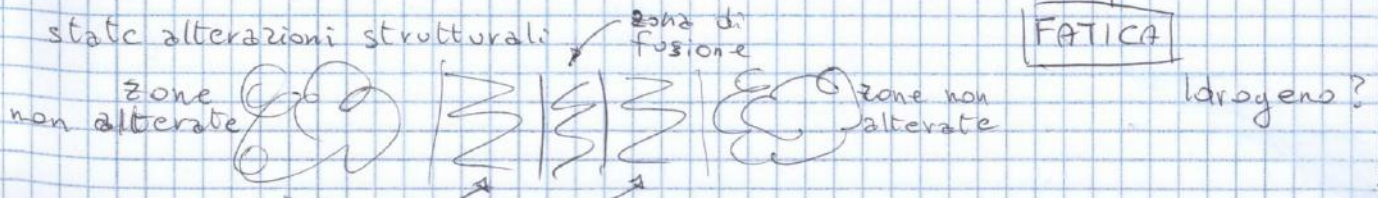
Saldatura

- INNALZAMENTO DI TEMPERATURA
- TRATTAMENTO TERMICO.

[fusione localizzata del materiale]

- ZONA DI FUSIONE
- ZTA (zona termicamente alterata)

Zona in cui si ha avuto fusione e le due adiacenti che sono state scaldate ma non sono arrivate a fusione. In tali zone ci possono essere state alterazioni strutturali.



15-04-13

MATERIALI METALLICI

Quantometro → strumento x l'analisi chimica del materiale

funziona come un elettrodo, una scarica elettrica fa evaporare una piccolissima parte di materiale che viene immediatamente analizzato da alcuni sensori in tempo reale. [ANALISI IMMEDIATA ED ECONOMICA]

Tecnica degli ultrasuoni: una sorgente che emette delle onde che attraversano il materiale. Due meccanismi, TRASMISSIONE (onda attraversa tutto il materiale), RIFLESSIONE (l'onda attraversa il materiale e poi torna indietro).

ANALISI NON DISTRUTTIVE

Resident engineering = ingegnere di un'azienda che collabora con un'altra per la realizzazione di un componente.

Controllo non distruttivo sul materiale può essere standardizzato nella produzione. L'apparecchiatura è accessibile economicamente, non è pericolosa ed esistono apparecchiature trasportabili. Tali apparecchiature rivelano difetti interni del materiale, non tutti i difetti vengono visti a causa della posizione relativa rispetto alle onde.

ANALISI VISIVA: analisi fatta dall'occhio umano su un pezzo pulito, da fare però in determinate parti del pezzo, conoscendo le parti sensibili alla rottura. (lesioni visibili nell'ordine del decimo di millimetro)

ANALISI DEI LIQUIDI PENEETRANTI: Cospargere la superficie di un opportuno liquido. Far sostare il liquido per un certo tempo. Rinnovare il liquido ed aggiungere un altro liquido (Sviluppatore) che reagisce alla presenza del liquido precedente. [SI UTILIZZA PER I DIFETTI/CRICCHE CHE PARTONO DALLA SUPERFICIE]

La parte più delicata è togliere tutto il velo di liquido del primo trattamento. Ma non in maniera così energica da togliere anche quello penetrato.



Apparecchiatura non propriamente economica, necessita di un ambiente protetto per via delle radiazioni.

17-04-13

MATERIALI METALLICI

I raggi X con lunghezza d'onda di 10^{-10} m riescono a penetrare i materiali metallici. Permette di indagare per spessori limitati. E' basilare la DISPOSIZIONE del difetto (\parallel ai raggi)



Si può conoscere la profondità per comprendere la gravità del difetto riscontrato

RAGGI X ANALISI NON DISTRUTTIVA

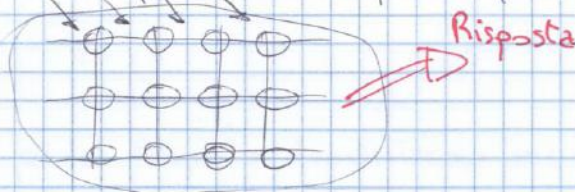
UTILIZZABILE X CONTROLLI AL 100% (CAMPO AEROSPAZIALE)

SVANTAGGI:

- Apparecchiatura costosa
- Uso di operatori specializzati
- Utilizzo in luoghi protetti.
- Interpretazione dell'analisi non banale

Onda con lunghezza d'onda assimilabile all'apertura di una fessura, lunghezza d'onda simile alle distanze interatomiche.

MATERIALE CRISTALLINO: atomi disposti in un modo geometricamente ben definito e ripetibile nello spazio (RETICOLO)



^ ^ AMORFO: non esiste un reticolo cristallino, atomi disposti in modo casuale (NO DIFFRAZIONE).

19-04-13

MATERIALI METALLICI

Forza di attrazione gravitazionale bilanciata dalla forza centrifuga.

Il modello atomico di Rutherford non è accettabile perché una carica elettrica in movimento consuma energia e dopo un po' cade nel nucleo.

Fotoni = quantità di energia.

pattern
ghost

} spettro

powder
dust

} polvere

1 s 1 (K) 1 s
3 p 2 (L) 5 p
5 d 3 (M) 5 p d

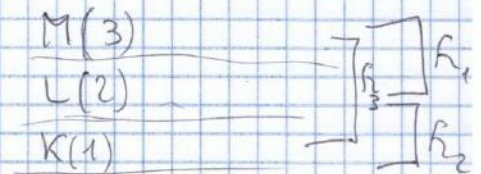
Cr $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1 4p^5$

ENTROPIA misura del disordine

aumento entropia \Rightarrow diminuzione energia

300.000 km/s

$3 \cdot 10^8$ m/s



Gli e^- del filamento trasferiscono energia a quelli dell'anticatodo. Gli e^- passano ad un livello di energia superiore. Gli e^- dal livello sup. tornano indietro e cedono l'energia che hanno acquisito (sottoforma di radiazioni) RAGGI X

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

29-04-13

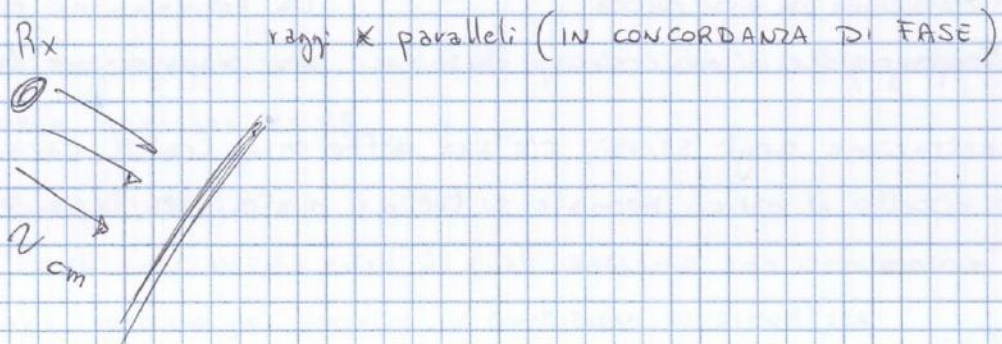
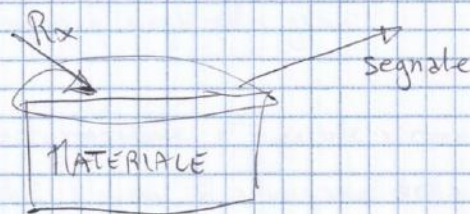
MATERIALI METALLICI

Raggi X radiazione elettromagnetica con λ 10^{-10} m, ordine di grandezza delle distanze interatomiche. (Ispezione interna di un materiale senza aprirlo, in modo non invasivo).

Diffrazione, i raggi X vengono riflessi dalla superficie.

↓
Interazione tra i raggi X ed il materiale investito dalla radiazione.

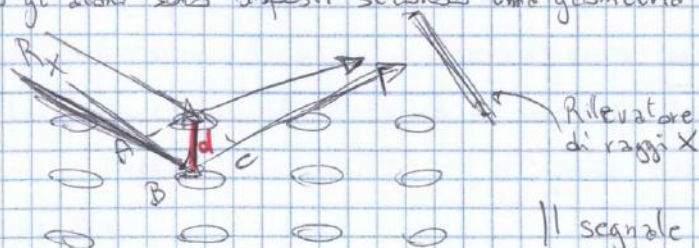
Necessitiamo di una radiazione monocromatica (stessa lunghezza d'onda).
Esiste una relazione tra la radiazione, il materiale ed il risultato in uscita.



• **RETICOLO CRISTALLINO:** reticolo in cui gli atomi sono disposti secondo geometrie ripetibili nello spazio.

Se non si è in presenza di un reticolo cristallino il materiale si dice amorfo (VETRI)
LIQUIDI RAFFREDDATI

Nel solido cristallino gli atomi sono disposti secondo una geometria



Il segnale è massimo quando le 2 radiazioni sono in concordanza di fase.

Ferrite:

COSTITUENTI PRINCIPALI
DEGLI ACCIAI

Austenite:

SOLUZIONI SOLIDE

Fasi ⇒ Soluzioni solide con composizione variabile

FASE = porzione di materia chimicamente e fisicamente omogenea

Se la composizione è fissa si parla di composto.

FASI →

- composto: % fisse
es. Fe_3C 6,66% C
(carburo di ferro)
- soluzioni solide: % variabili
es. Austenite $0,8 < C < 2\%$
Ferrite $0\% < C < 0,2\%$

Il reticolo cristallino viene deformato con l'ingresso del C, quindi cambia lo spettro, in base allo spostamento dei picchi sono in grado di valutare la quantità di C in un acciaio

DUREZZA
↑ % C

MARTENSITE

SOLUZIONE SOVRASATURA DI CARBONIO in una struttura C.C.C. che per l'effetto del C è diventata **TETRAGONALE**.

(fase di non equilibrio **METASTABILE**)

Si forma in condizioni particolari nelle quali si impongono al materiale dall'esterno certe trasformazioni (es. non dare il tempo al sistema di trasformarsi)

PRESENZA
DIPENDE DALLA % di C

RAFFREDDAMENTI VELOCI

Se un sistema è libero evolve verso posizioni di minima energia.

SISTEMI IN EQUILIBRIO.

ANDAMENTO DEI DIAGRAMMI DI STATO è l'evoluzione di sistemi in equilibrio.

$$n \cdot h = 2d \sin \theta$$

d = distanza interplanare.

$$\sigma = E \epsilon$$

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} \propto \frac{\Delta d}{d}$$

$d \neq \Delta d$ in base ad una compressione o ad una dilatazione.

06-05-13

MATERIALI METALLICI

PROPRIETÀ MATER. METALL.:

- conducibilità $\left\{ \begin{array}{l} \text{elettrica} \\ \text{termica} \end{array} \right.$

- deformabilità plastica

- lucentezza (esame istologico)

- lucente $\left\{ \begin{array}{l} \text{MATER. METALL.} \\ \text{superficie piana} \end{array} \right.$

(se superf. non metallica, la luce non viene riflessa ~~perché~~ ^{sup.})

Analisi Metallografiche

Microscopia ottica (analisi al microscopio ottico) $\left(\begin{array}{l} \text{ingrandire } < 10^3 \\ 10^2 - 5 \cdot 10^2 \text{ RANGE PIÙ USATO} \end{array} \right.$

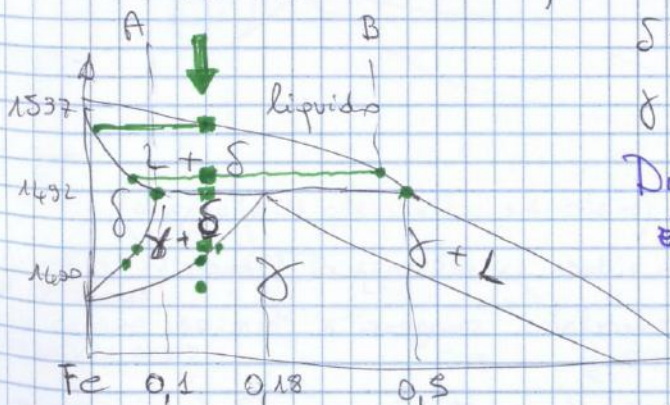
elettronica

SI OSSERVA LA STRUTTURA CRISTALLINA DEL MATER. METALLICO

1) Possibilità di prelevare un campione

2) Rappresentatività del campione prelevato

Prelevo materiale da uno spigolo, sorgono dubbi però sulla rappresent. del campione prelevato. È molto più semplice però prelevare materiale su uno spigolo rispetto che all'interno. Più un pezzo è grande, maggiore sarà la differenza tra superficie e cuore.



δ = ferrite C.C.C.

γ = austenite C.F.C.

DIAGRAMMA DI STATO

È in condizioni di equilibrio.

Sistema libero di evolvere attraverso

percorsi di minima energia.

(Avere il tempo di far evolvere ^{tutto} il materiale verso minima energia)

NON SI PARLA MAI DI TEMPO

Acciai speciali e di grande dimensione si usa la lingottiera, invece la colata continua è quella più diffusa.

(utilizzo per utensili ~~PER~~ ^{95%} DI TRAPANO)

ACCIAI RAPIDI ⇒ mantengono la durezza ad elevata temperatura, avendo dei carburi che non si deteriorano ad alta temp.

Poiché si mantenga la durezza i carburi devono essere uniformemente distribuiti.

Per distribuire uniformemente bisogna frantumare gli aggregati di carburi per distribuirli in modo uniforme non basta la temperatura ma serve anche la manipolazione meccanica.

GRADIENTE DI TEMP. TRA SUPERFICIE E CUORE

T.T. [Trattamenti termici] FONTE DI DISOMOGENEITÀ (poiché la superf. si riscalda e si raffredda più velocemente del resto del materiale)

Scaldare il materiale ad una certa temperatura e farlo stazionare a tale temp. e farlo raffreddare più o meno velocemente.

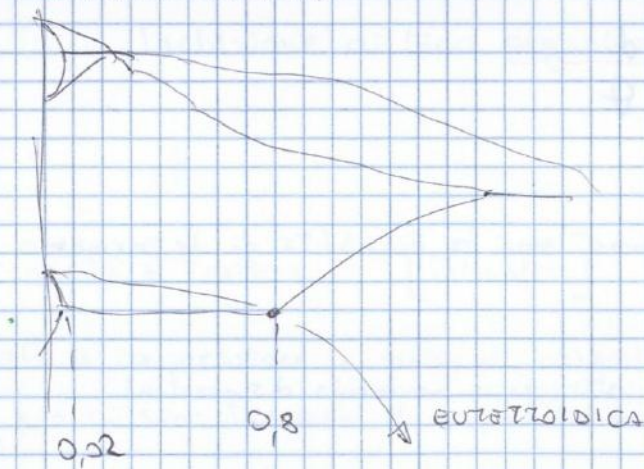
Raffreddamenti lenti in forno: **RICOTTURE**

Raffreddamenti veloci (GAS, ACQUA, METALLI LIQUIDI): **TEMPRE**

Raffreddamento in aria calma: **NORMALIZZAZIONE**

IL GRADIENTE DI TEMPERATURA:

- fa nascere delle tensioni.
- differente morfologia per differenze nel modo di scaldarsi e di raffreddarsi.



11% Fe₃C Ferrite 89% Fe_d CEMENTITE
PERLITE

Formazione di diverse fasi a seconda della distanza dal cuore.

Morfologia della fase può avere dimensioni e forme differenti.

Solitamente all'aumentare della velocità di raffreddamento diminuiscono le dimensioni della fase. Maggior numero di cristalli di piccole dimensioni.

Se si raffredda più lentamente meno cristalli più grossi.

La creazione di una nuova fase dipende dal fattore di nucleazione e crescita.

La crescita dipende dalla diffusione che a sua volta dipende dal tempo.

Piccoli cristalli in superficie, grandi cristalli al centro.

Tali difformità provoca delle tensioni.

Riscaldamento del materiale a step graduali x dare il tempo di ridurre il gradiente termico x evitare tensioni che possono portare a rottura.

Gli acciai legati vengono raffreddati con olio o gas, acciai al carbonio invece con acqua.

Oltre ai fenomeni di dilatazione geometrica ci sono anche dei cambi di fase.

C.F.C. più compatto della C.C.C.

PERLITE volume maggiore dell'AUSTENITE.

I cambiamenti di fase riducono lo squilibrio tensionale.

Grosse dimensioni e raffreddamenti veloci sono molto pericolosi.

La fase di CUTTING (prelevamento di un campione da analizzare) è molto delicata e affidata al buon senso.

- Evitare danni termici
- ~~Prelevamento~~ (Mounting) **INGLOBATURA**
- Grinding (Pulizia con carta abrasiva)
- Polishing (Pulizia con panni)

Inserire il pezzo da visionare in un cilindretto di materiale plastico

Si utilizza invece un microscopio a riflessione o inverso, in cui il campione funge da specchio.

Se vedo un cerchio bianco il materiale è perfetto, cioè superficie metallica.

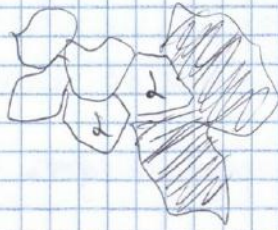
Se il materiale contiene fasi non metalliche vedo tali parti scure.

Si possono vedere le dimensioni e le forme delle fasi non metalliche.

Si possono vedere anche fasi non metalliche, le inclusioni.

Gli ossidi hanno una forma condeggiate.

ferrite



perlite

11% Fe_3C cementite

CATODICA

89% ferrite

ANODICA



Dopo l'attacco metallografico la perlite diventa scura. Le zone multifasiche sono scure.

SI CREA UNA PILA DI CORROSIONE.

Un buon microscopio metallografico costa decine di migliaia di euro.

SEM (Scan electro microscop)

Gli elettroni sostituiscono il fascio di luce.

La superficie non deve essere lucidata, si può vedere la morfologia della superficie.

Il materiale però deve essere conduttivo, il campione deve essere pulito poiché viene messo sottovuoto.

Per pulirlo si mette in macchine ad ultrasuoni con acetone.

Se il materiale non è conduttivo può essere ricoperto con un leggero strato di oro o di grafite.

Il microscopio elettronico permette di ingrandire molto di più e da la profondità.

E D S

(energy dispersion sistem)

W D S

(wave dispersion sistem)

LUNGERZA D'ONDA DEI RAGGI X.

Non si analizzano gli elementi più leggeri del boro.

Si vedono molto bene quelli più pesanti.

ANALISI CHIMICA PUNTUALE.

Il materiale migliore per la conducibilità elettrica è il RAME.

Il primo materiale ad essere utilizzato: 5'000/6'000 A.C.

- facile da reperire
- facile da lavorare

Cu → Fe
5000/6000 A.C. 1200 A.C.

Per le applicazioni elettriche si ha bisogno di rame purissimo, che costa molto caro a causa del processo di purificazione [VIA ELETTROLITICA]

BARRA RAME GREZZO



La barra viene scaldata e si sposta il solenoide.

La maggior parte delle imperfezioni si concentra nel fondo e nel cuore. Si taglia la parte finale.

Poi elettrolisi

Con il rame si ~~lavora~~ fa la maggior parte dei conduttori

Per una minima parte si usa l'oro ed il platino.

Oro e platino metalli nobili, inerzia a reagire con l'ossigeno, quindi non si ossidano o lo fanno molto poco.

Utilizzati nelle giunzione, dove se si verificasse un'ossidazione che potrebbe portare gravissime conseguenze. Si utilizzano i metalli rari se una ossidazione può creare dei gravi danni.

L'alluminio puro, serie 1000 è un ottimo conduttore di corrente, più del ferro ma meno del rame. A parità di sezione il Cu ha una conducibilità maggiore. A parità di peso la conducibilità è migliore nell'alluminio.

Elettrodotta [dispositivo che permette di trasmettere un'elevata potenza elettrica]

$V \cdot I$ — elevata tensione — bassa corrente

Le perdite termiche (effetto Joule = $R \cdot I^2$)

La deformazione aumenta all'aumentare del carico.

Con il fenomeno del CREEP il materiale si deforma a carico costante, poiché c'è lo scorrimento di un grano sull'altro.

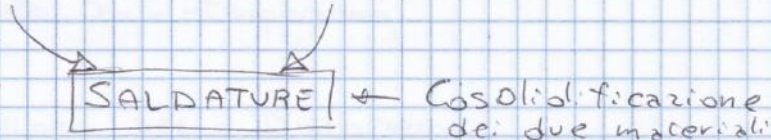
Per fermare il movimento dei grani si aumentano le dimensioni dei grani e con dei precipitati a bordo grano che ancorano il materiale.

Se non c'è il problema delle corrosioni che implica l'utilizzo di Inox si utilizzano acciai e ghise, a volte alluminio.

TERMOSEZIONI

- Acciai ← case moderne (ELEVATA CONDUCEBILITÀ TERMICA)
- ghise ← case vecchie (ALTA INERZIA TERMICA)
- Alluminio ← case moderne (ELEVATA CONDUCEBILITÀ TERMICA)

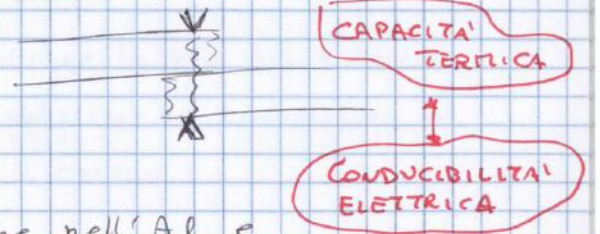
conducibilità elettrica termica



BRASATURA non c'è fusione dei due materiali. C'è un terzo elemento che fonde e unisce i due materiali.

**SALDATURA A PUNTI O
SALDATURA PER RESISTENZA
SPOT WELDING**

TEMP. FUSIONE	
Fe	Al
1537°C	654°C



L'energia che serve per rompere un legame nell'Al e nel Fe è dello stesso ordine di grandezza.

Capacità termica dell'Al maggiore del Fe.

Più difficile a scaldare l'Al perché tende a cederlo molto facilmente

EFFETTO JOULE ridotto nell'Al. meno RESISTENZA

Se sommiamo tutti questi fattori si comprende che è molto più difficile saldare l'Al che il Fe. Si può saldare l'Al con il SPOT WELDING ma con macchine più potenti, quindi più costoso.

Al-Cu 2000

Al-Mg-Si 6000

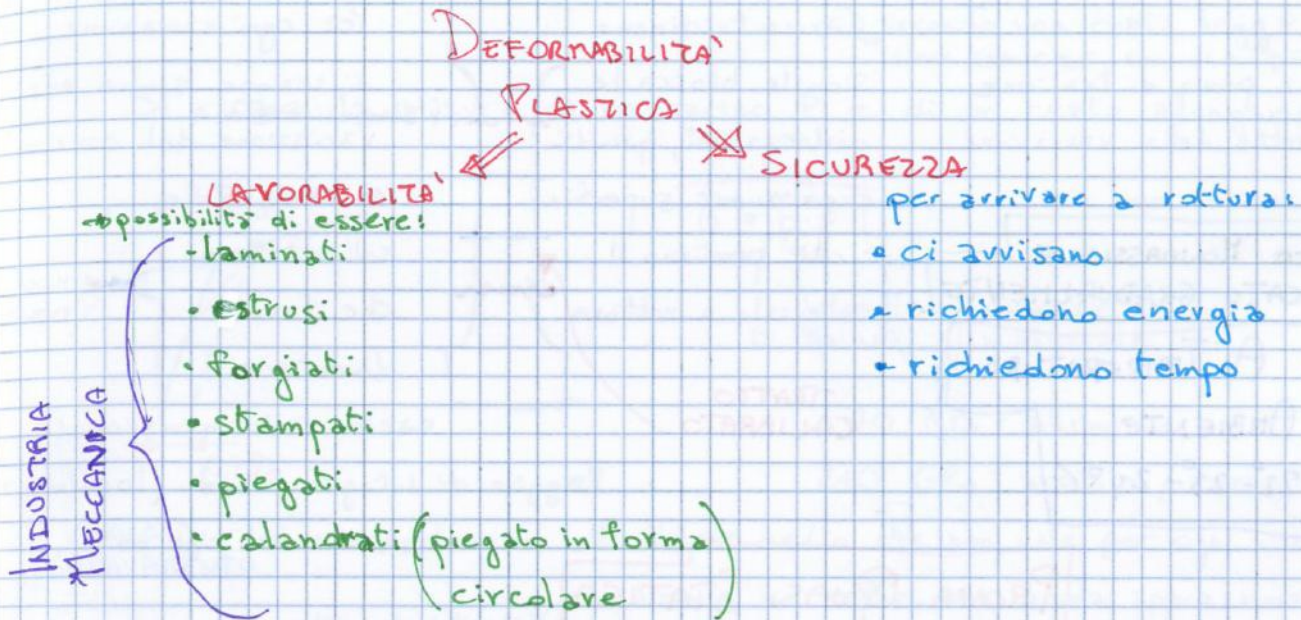
Al-Zn 7000

DURANTE IL RISCALDAMENTO formazioni di fasi metastabili, (a 100-150°C queste fasi) spariscono le caratteristiche meccaniche crollano.

27-05-13

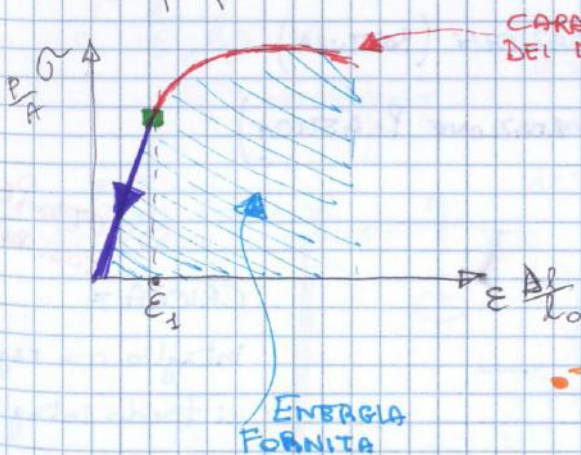
MATERIALI METALLICI

DEFORMAZIONE PLASTICA: I materiali metallici sono gli unici materiali ad avere questa proprietà.



Il vetro arriva a rottura velocissimamente a bassa energia ed istantaneamente.

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



CARATTERISTICO DEI MATERIALI METALLICI

L'energia fornita crea nuova superficie.

Il carico non aumenta più in modo lineare, aumenta fino ad un max poi diminuisce ed arriva a rottura

• TRATTO ELASTICO

- TRATTO ELASTICO
- AUMENTO NON LINEARE
- DECRESCIMENTO

$$\frac{P}{A} = \sigma$$

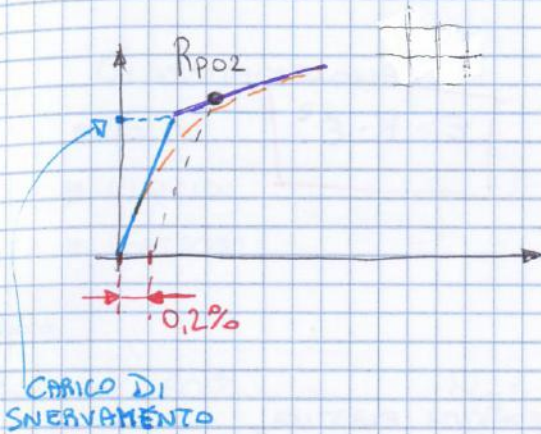
$$\frac{\Delta l}{l_0} = \epsilon$$

Viene applicato l'estensimetro per misurare l'allungamento del provino.

Si può eseguire la prova in 3 differenti modi:

- ▣ lavorare in controllo di carico [legge per l'incremento di carico]
- ▣ lavorare in controllo di deformazione [legge per l'incremento dell'estensione]
- ▣ lavorare in controllo di spostamento [la traversa mobile si muove]
 - ↳ secondo una certa legge
 - ↳ **NON COINCIDE CON LA DEFORMAZ.**

Si ricava la misura di un carico P e di un certo allungamento Δl .



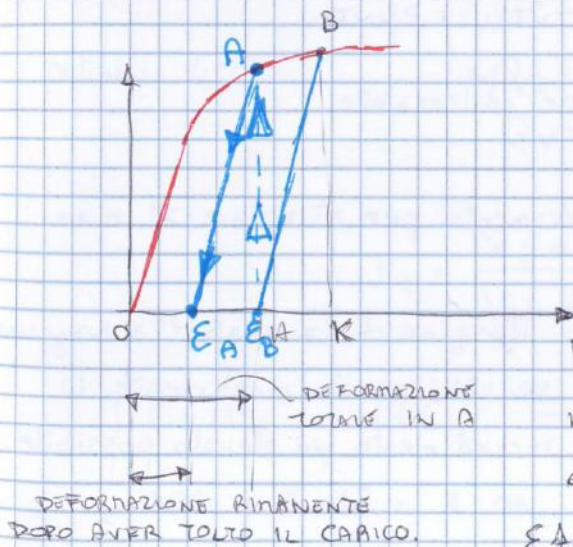
$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

MODULO DI YOUNG [dipende dal materiale]

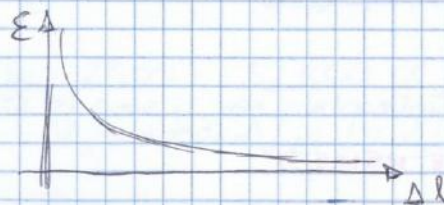
70 GPa = alluminio

210 GPa = acciaio / ferro

Valore medio che non vale per ogni tipo di acciaio, ne offre una buona approssimazione.



Il modulo elastico (E) varia da materiale a materiale e varia anche in base alla deformazione.



MATERIALI ELASTOPLASTICI: Materiali in cui la deformazione ha sempre una componente elastica ed una plastica.

I triangoli $\triangle OAB$ e $\triangle EAB$ rappresentano l'energia di deformazione elastica

Per deformare in campo plastico devo aumentare la deformazione elastica.

03-06-13

MATERIALI METALLICI

CARATTERISTICHE ACCIAIO PROFONDO STAMPAGGIO: [FACILMENTE DEFORMABILI A FREDDO]

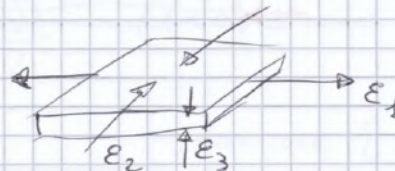
- basso carico di sovraccarico $\left\{ \begin{array}{l} \text{minor potenza delle presse} \\ \text{minimizzare il ritorno elastico.} \end{array} \right.$

- elevato coefficiente di incrudimento \rightarrow curva $\bar{\sigma}-\bar{\epsilon}$ in campo plastico più ripida

(n)
(per evitare di superare il carico massimo)



- coeff. di anisotropia (lamiera da stampaggio a freddo spessore $0,8 \div 1,2 \text{ mm}$)
- [evitare che durante la deformazione il materiale venga preso nel senso dello spessore]



Se la E_3 è eccessiva si riduce la sezione del materiale e non resiste più.

STONE SHIPPING (pietre sparate sul serpatolo, che potrebbe essere bucato)

coeff. di anisotropia $\gamma = \frac{E_2}{E_3} > 1$ per evitare il troppo indebolimento del materiale.
acciai laminati a: La lamiera si deforma sotto il suo peso.

	Fe P	0,1 0,2 0,3 0,4 0,6		Fe P	11 12 13
■	Freddo		■	Caldo	

CALMATI

DECAPPAGGIO = toglia la ruggine

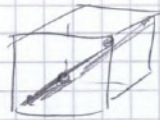
ALTOFORNO produce la ghisa

CONVERTITORI pentoloni in cui viene insufflato ossigeno puro
(l'ossigeno brucia gli elementi tipo N, S, C; si arresta il processo)
(quando inizia a bruciare il ferro)

Acciai effervescenti perché pieni di ossigeno \rightarrow costi minori degli altri

(superfici estremamente pulite di qualità inferiore) FeP 0,1 o FeP 11

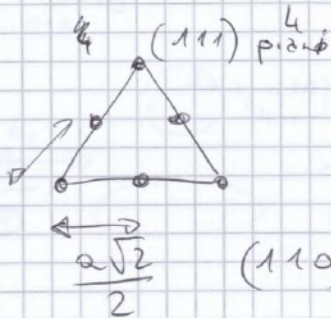
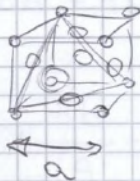
per il c.c.c. $[111]$ e piani di scorrimento con tale direzione.
 $[110]$



Il nitrato di alluminio inibisce la crescita di tali piani nel senso dello spessore. \Rightarrow il materiale è anisotropo

ACCIAIO CALZATO ALL' ALLUMINIO $n \approx 1,2; 1,4; 1,6$

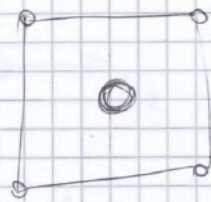
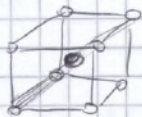
c.f.c.



12 sistemi di scorrimento.

3
 $\frac{a\sqrt{2}}{2}$ (110) direzione

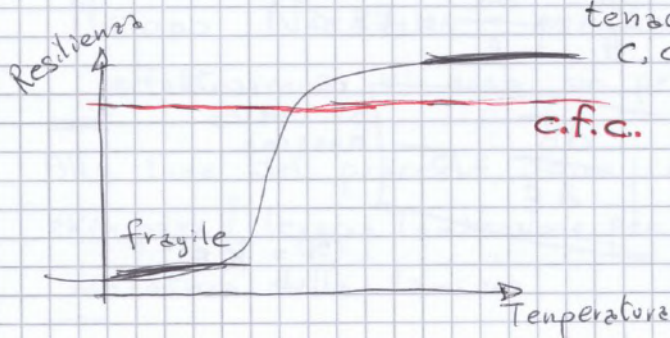
c.c.c.



direzione $[1; 1; 1]$
 è un piano di scorrimento

tenace
 c.c.c.

c.f.c.



L'unico sistema di rafforzamento a non diminuire la tenacità è l'affinamento del grano, poiché i grani piccoli inibiscono lo scorrimento delle dislocazioni e hanno buona tenacità e aumentano le caratteristiche meccaniche.

Avere un grano grosso significa avere un basso coeff. di incrudimento, e per gli acciai da profondo stampaggio i grani devono essere grossi fino a che non ci siano effetti estetici esterni [EFFETTO BUCCIA DI ARANCIA].

Il grano grosso serve anche per utilizzo ad elevate temperature,

LEGHE ad alta temperatura grani grossi e precipitati perché riducano lo scorrimento dei piani.

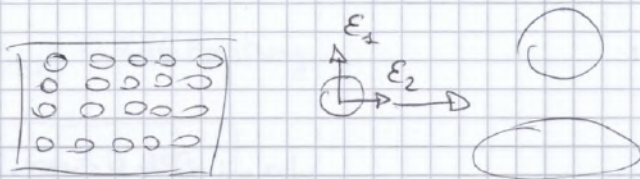
INBUZITURA → deformazione plastica

PROVA ERICSEN = prova di deformabilità. Questo un punzone deforma un materiale fino a rottura

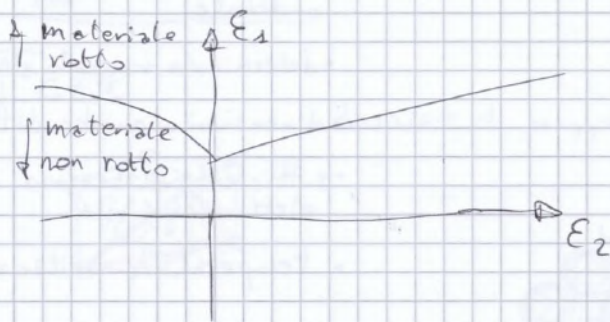
PROVA FUKUY = prova di deformazione di un materiale dentro un foro.

CURVE LIMITE DI FORMABILITA'

Su una lamiera formare un reticolo, per incisione, di tanti circolini. Poi si deforma la lamiera.



Misuro la deformazione dei circolini e creo un diagramma $E_1 - E_2$.



METODO NAGAZIMA = prendere provette di diversa larghezza ed effettuare su di essa un prova simile alla ERICSEN (~~perforazione~~ INBUZITURA)

Alla fine del processo, dopo la laminazione e la ricottura e lo skin pass [leggera laminazione per evitare difetti di forma] avviene una zincatura della lamiera.

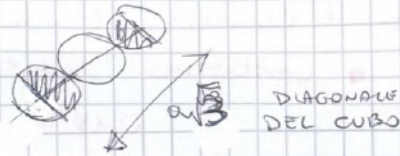
→ Quando ho un acciaio non calmato

PRIMI PUNTI IN CUI AVVIENE DEF. PLASTICA

Allungamento o tratto di LÜDERS

Formazione di bande di scorrimento in una zona limitata. STRIATURE DI LÜDERS

SURPLUS DI CARICO PER DISANCORARE LE DISLOCAZIONI DALLA ATMOSPHERE DI COITRELL (C_{1/2} vicino alle dislocazioni)



diametro dell'atomo = $a \frac{\sqrt{3}}{2}$

spazio a disposizione = $a - a \frac{\sqrt{3}}{2}$

$r = \frac{1}{2} \left(a - \frac{a\sqrt{3}}{2} \right)$

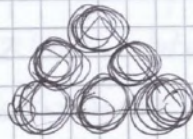
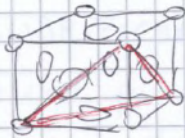
RAGGIO $\rightarrow r = 0,067 a$
 RAZZO DELL'ATOMO INTERSTIZIALE

$a_{Fe} = 0,286$ Armstrong

$r_{max} = 0,187$
 Fe

Nel C.F.C

direzione di maggior inieccamento (110) diagonali delle facce



$r_{max} = \frac{1}{2} \left(a - a \frac{\sqrt{2}}{2} \right) = 0,142 a$

$a_{\delta} = 3,6$

$r_{max} = 0,53$
 δ

Il raggio atomico del carbonio C è maggiore dei siti interstiziali del ferro. Entrare nel reticolo fa deformare il reticolo cristallino del ferro. L'elemento interstiziale genera uno stato di compressione che va a interferire con i campi tensionali generati dalle dislocazioni.

Si disciolgono più C nell C.F.C. rispetto al C.C.C., 100 volte tanto. solubilità max del C a temp. in:

Fe α $0,02$ 723°C

Fe γ $\sim 2,00$ 1100°C

Fe δ $0,11432$ 1492°C

Se si superano questi valori il C è presente sottoforma di Fe₃C. 6,66% in peso
 CEMENTITE

si spiega tale differenza a causa della dilatazione termica.

A Temp. ambiente quasi tutto il C è sottoforma di Fe₃C cementite.

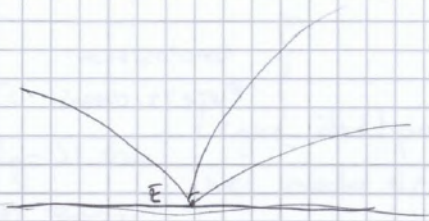
10-06-13

MATERIALI METALLICI

EUTETTICO Fe-C un liquido solidificando crea 2 fasi solide differenti.

1147-1150°

La al 4,3% origina austenite ($C \cong 2\%$)
e grafite (100%) oppure cementite (6,66%)



Eutettica solo x tenori di carbonio $> 2\%$, sotto il 2% formano solo austenite, quindi no eutettica

2% percentuale discriminatoria tra ACCIAI e GHISE

Si potrebbero definire acciai quelle leghe in cui nella solidificazione non compare l'eutettica

La presenza di GRAFITE è strettamente connessa al liquido. Da una fase solida metallica "austenite" si genera solo cementite e non GRAFITE.

Nel raffreddamento dell'austenite perde del C che dà origine alla cementite. Sono acciai quelle leghe in cui non c'è grafite.

Il C è presente in soluzione solida Fe₃C oppure nella cementite Fe₃C.

Ghise } cast iron

MATERIA DA GETTO

→ Gli oggetti in ghisa possono essere fusi.

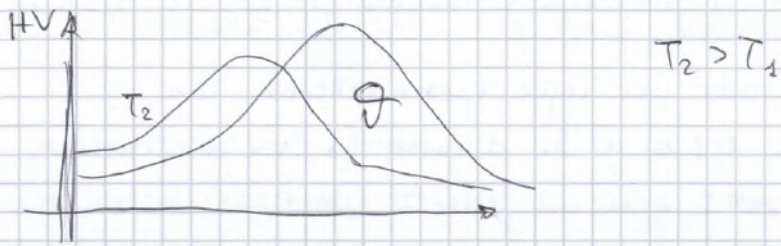
Temperatura di solidificazione più bassa possibile, per risparmiare sui forni.

→ Eutettico punto a più basse T a cui si può ancora trovare del liquido. Sotto l'eutettico solo solido. Enormi vantaggi per la colatura.

→ Nel punto eutettico si ha del liquido che quando solidifica diventa tutto solido, no intervallo di solidificazione (intervallo di coesistenza liquido - solido).

↳ Una soluzione solido-liquido è come un fango. Viscosità elevate

naturale e anche quello artificiale a patto con non si abbia un sovra RAGING che formerebbe Al_2Cu .



Al — Cu 2000
 — Mg-Si 6000
 — Zn 7000
 — Li 8000

Leghe che permettano l'invecchiamento nel modo descritto.

Al 4000
 Al-Mn 3000
 colata (Al-Si 4000)
 Al-Mg 5000

→ Incrudimento

Utilizzo di leghe leggermente iperottetiche.

Ghise al 4,3% C molto fragile, se cade a terra si rompe, non deve sopportare carichi eccessivi. [STUFE e ZAVORRE] Utilizzo in applicazioni in cui non è prevista una resistenza meccanica.

Per recuperare caratti meccaniche bisogna avvicinarsi al 2% di C, ma si creano dei problemi in colata e la strutt. finale è estremamente pericolosa. Presenza di austenite e liquido e l'eventuale formazione di GRAFITE si forma sui bordi grano dell'austenite.

Si crea una rete di GRAFITE posta a maglie (VIA PREFERENZIALE PER LA FORMAZIONE DELLE CRICCHE)

Solo con il diagramma di stato Fe-C non si può risolvere il problema. GHISA da AUTOFORNO 4,3% C.

Il problema si risolve aggiungendo un altro elemento il Si (grafitizzante) poiché aumenta l'attività del C. La presenza di Si fa sì che il C si comporti come se ce ne fosse di più del suo valore. Ogni 1% di Si fa sì che il C si comporti come se ce ne fosse lo 0,33% in più.

Giocando sui parametri di t e T si può influenzare il mecc. della diffusione

TRATTAMENTI TERMICI \rightarrow scaldare rimanere in T per un certo tempo e si raffredda più o meno velocemente

RICOTTURE \rightarrow forno

NORMALIZZAZIONI \rightarrow raff. in aria calma.

TEMPRE \rightarrow raff. veloce con liquidi

NUCLEAZIONE = formazione di nuclei di Fe_d e Fe_3C

CRESCITA

La NUCLEAZIONE entro certi limiti avviene sempre, necessita di poca materia (GERNI). La CRESCITA è fortemente condizionata dalla materia.

La NUCLEAZIONE viene creata dalla spinta termodinamica.



Spinta termodinamica fa sì che γ sia invogliata a trasformarsi.

ISTERESI = comportamento anomalo

(in proporzione alla) la T di trasformazione si abbassa progressivamente (velocità di raffreddamento) (non avviene a $203^\circ C$). Continua ad avere austenite metastabile anche al di sotto dell'eutettoideico. ISTERESI

Nucleazione maggiore tanto più si è lontani dal punto di equilibrio.

Più veloce il raffreddamento maggiore nucleazione ma poca crescita (GRANI PICCOLI)

Si può arrivare ad una velocità tale da bloccare ogni diffusione o ottenere austenite a T ambiente, fenomeno voluto, oppure avviene un altro fenomeno, formazione di nuove fasi MARTENSITE.

Acciai con elevato tenore di elementi che stabilizzano l'austenite, sono il C, un altro è N, il Ni e Mn ACCIAI INOSSIDABILI senza ruggine. Acciai monofasici, fase unica, AUSTENITE, FERRITE, MARTENSITE.

Dal punto di vista della corrosione: acciai normali

OSSIDI	MAGNETITE	AUSTENITE
Fe_2O_3	Fe	FeO
EMATITE		

non isdano il materiale, corrosione continua fino all'esaurimento del materiale.

Parte dell'Fe γ non si trasforma e si ha presenza di Austenite rimanente.

Operazione gestita della velocità di raffreddamento

RAFFREDDAMENTO IN FORNO, più lento che ci sia. (ci si avvicina di più al comportamento del D.D.S. Poca nucleazione e molta crescita

STRUTTURA GROSSOLANA. Lamelle di PERLITE grossolane, molto lavorabile per asportazione di truciolo.

NORMALIZZAZIONE

RAFFREDDAMENTO in aria calma (meno costoso) Pezzo normalizzato.

DIPENDE dalla composizione chimica e dalla composizione del pezzo.

ACCIAI autotemprati, tempra dopo normalizzazione

A parità di comp. chimica fortemente influenzata dalla dimensione

TEMPE

I raffreddamenti sono tanto più pericolosi quanto più sono veloci. Gradiente di T tra esterno e cuore, tanto maggiore, maggior facilità di rottura.

MARTENSITE con raffreddamento veloce ma non troppo per evitare la ROTTURA. Qui intervengono gli acciai LEGATI.

12-06-13

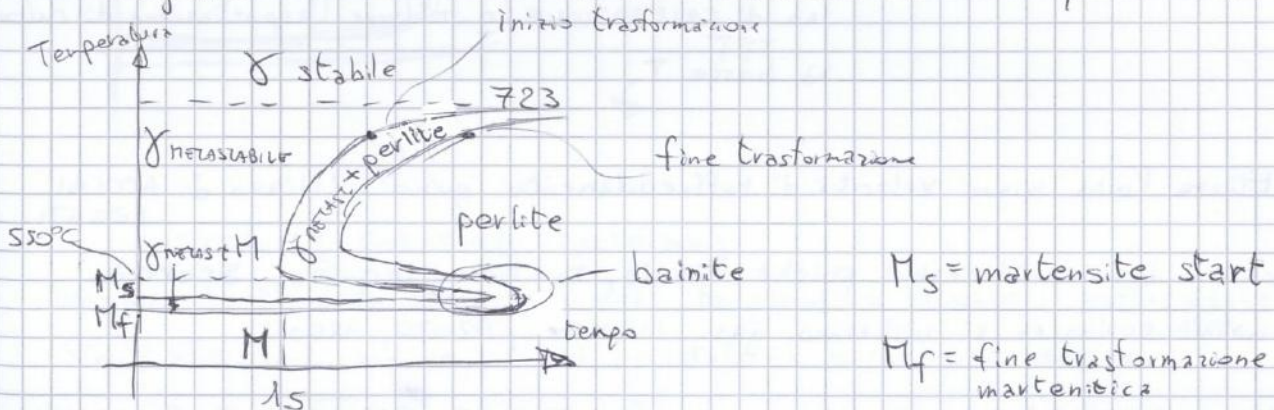
MATERIALI METALLICI

T.T.T (tempo-Temperatura-trasformazione)

A seconda della tecnica di raffreddamento:

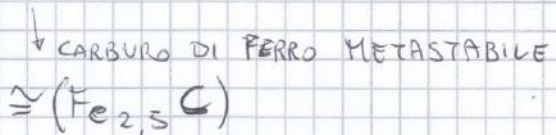
(X ACCIAI EUTETTOIDICI 0,8% C) - RICOTTURA
(BAIN) - NORMALIZZAZIONE
- TEMpra

Diagrammi T-t che da delle informazioni sul tipo di tratt. termica



bainite superiore = ferrite + cementite (molto fine e strutture a piuma)

bainite inferiore = ferrite d + carburo E



2° metodo proteggere la superficie con gas ARGON, AZOTO (gas inerti) gas costosi, spesso si usano le ATMOSFERE ENDO, scopo di mantenere il carbonio per diminuire la decarburazione.

3° SISTEMA (VUOTO) problema dei tempi e di utilizzo di apparecchiature molto resistenti, quindi costose.

Bisogna avere elementi leganti poiché spostano a destra le curve di BAIN in modo da avere velocità di raffreddamento più basse. Quindi possibilità di usare olio oppure gas.

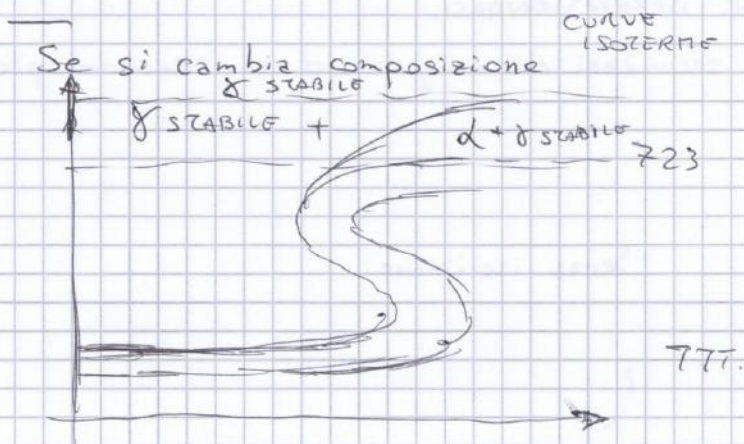
Gli elementi leganti perché spostano a destra le curve di BAIN?

LEGANTI:

➤ AUSLENIZZANTI: Ni, Mn Rallentano la trasformazione

➤ FERRITIZZANTI o ALFOGENI: Cr, Po, W, V, Nb, Ti e formano carburi

Per creare carburi di questi elementi ci vuole tempo per diffondere ed è il motivo per cui si rallentano le trasformazioni e si spostano le curve.



c.c.t (curve non isoterme)

tenendo conto della variazione della temperatura durante il raffreddamento continuo.

Simili alle TTT. ma un po' più spostate in basso e a destra.

La martensite è una fase molto dura e fragile in funzione del tenore di C.

Bisogna effettuare una seconda fase. RINVENIMENTO (tempering)

L'acciaio bonificato = TEMpra + RINVENIMENTO
(quenching)