



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1792A -

ANNO: 2015

A P P U N T I

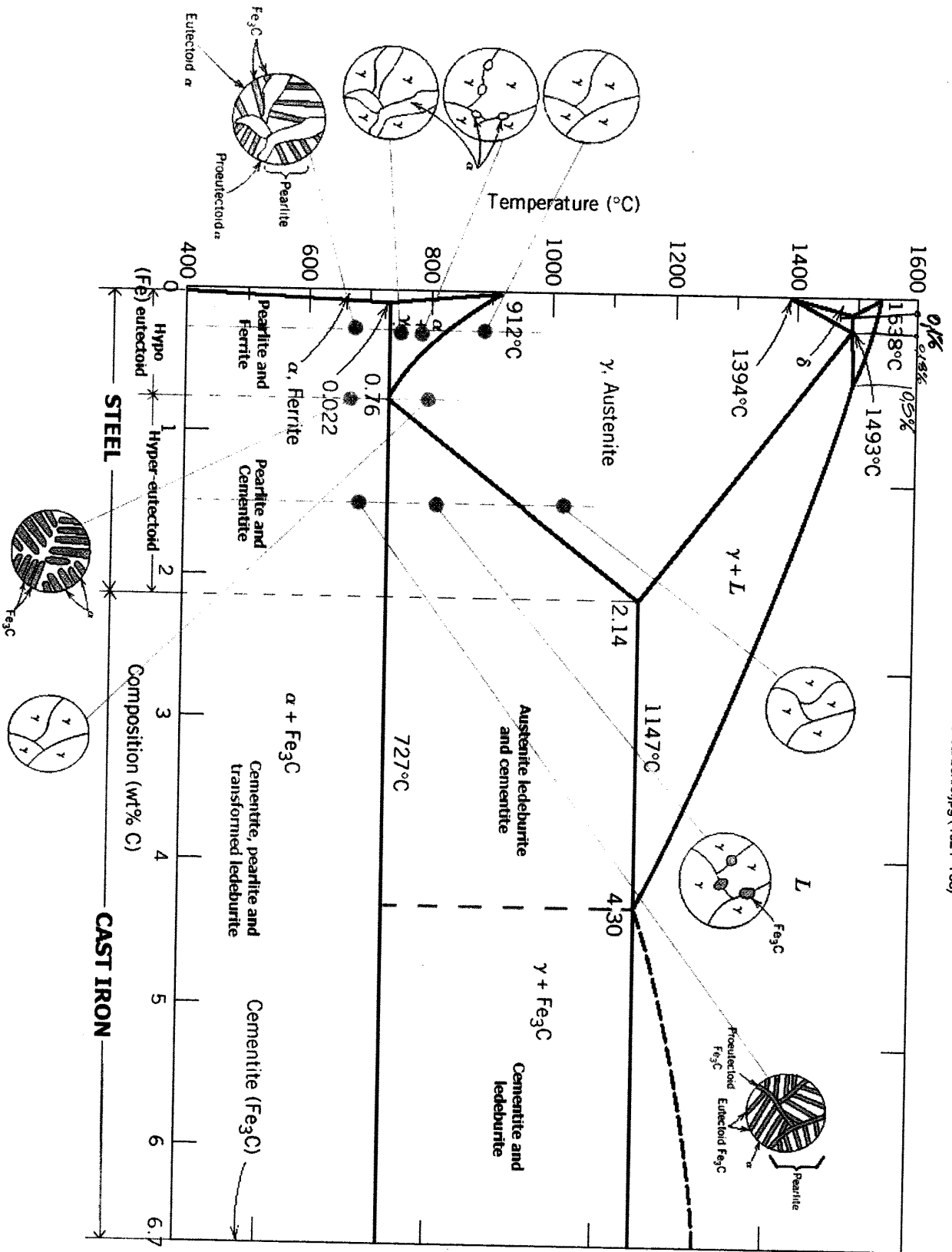
STUDENTE: Lucenti Alessio

MATERIA: Tecnologia dei materiali + database - 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.**



FASE: Porzione di materia fisicamente e chimicamente OMOGENEA

In metallurgia considero solamente le fasi SOLIDE

Una fase può esistere:

in un INTERVALLO di composizione → SOLUZIONE
 ex. [a circa 1130° il Fe che si trova in CFC e può sciogliere da
 AUSTENITE 0 a 2% di Carbonio → definiamo l'austenite SOLUZIONE SOLIDA

con un PRECISO RAPPORTO STECHIOMETRICO (una precisa % di Fe e C nel
 e non un intervallo

ex. CEMENTITE [Fe_3C è un COMPOSTO poiché esiste in singola fase solo se
 si ha 6,67% di C in peso → N.B. 6,67% è il LIMITE di

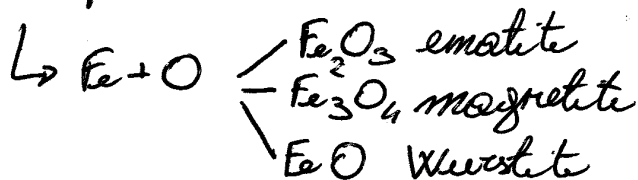
se ho 6% di C → SATURAZIONE del C
 significa che ho due nel Fe
 fasi insieme
 (6% di C) → quello in più è C puro

LEGA: MATERIALE con PROPRIETÀ METALLICHE

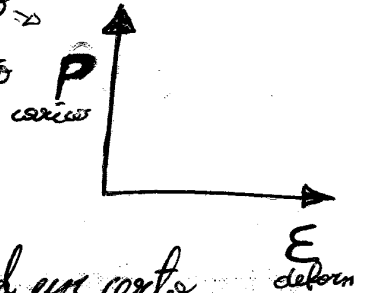
Può essere formata da una soluzione di 2 o più metalli o come più
 spesso accade una base metallica + Non metalli

(composti di soli metalli che non rispettano le diverse regole delle valenze
 sono detti INTERMETALLICI)

N.B. Non tutti i Non MET uniti ad un MET formano delle leghe
 caso più importante è MET + O₂ che forma OSSIDI
 che portano alla corrosione dell'acciaio



⇒ Per tutti i materiali facendo un grafico → vedo che ad un iniziale fase o comportamento ELASTICO → $[P = E \epsilon]$ segue poi uno specifico comportamento:



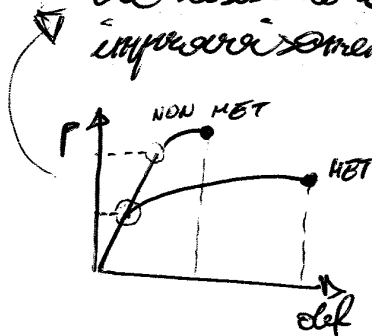
- i non metalli, non essendo deformabili, ad un certo carico critico raggiungono la ROTTURA

↳ N.B. aumentare il carico significa aumentare l'ENERGIA a cui un materiale è sottoposto; (nel grafico $E_D = \text{AREA}$ sottostante alla curva) $E_D = F \cdot x$
 la rottura avviene per la formazione di NUOVA AREA, necessaria per disperdere l'energia crescente applicata → la nuova area è quella delle due facce prima unita



- i METALLI DUTTILI prima di arrivare a rottura hanno una fase di allungamento NON LINEARE; questo comporta un MAGGIOR ASSORBIMENTO di ENERGIA prima della rottura e quindi migliore utilizzo sotto sforzo

↳ N.B. a parità di P non è detto che la resistenza di un NON MET sia inferiore a quella di un metallo (comport. elastico potrebbe cessare ad un livello minore di P per un metallo MA la rottura non sarebbe comunque repentina; cosa che avviene per non m che resistono a carichi maggiori ma si rompono improvvisamente



N.B.

SOLITAMENTE MAGGIORE DEFORM. PLASTICA e MINORE CARICO sopportato → se aumenta la resistenza diminuisce deform (meno E_D assorbita) \hookrightarrow si cerca di avere $> def$ per $+ assorb$ di energia e $> resistenza$ per ridurre vibrazioni e quindi peso e costi

CONDUCEBILITÀ ELETTRICA

la conduzione può essere di tipo:

- IONICO → se mettiamo in un liquido una sostanza in grado di liberare ioni e applichiamo un ΔV otteniamo un conduttore di corrente (soli si dissolvono per idrolisi liberando ioni; gli ioni metallici conducono carica)

- ELETTRONICO → alcuni Elettroni si possono allontanare dall'atomo e si muovono all'interno del reticolo metallico

e^- possono stare in zone energeticamente concesse (considerazione probabilistica legata alla teoria degli orbitali); quando per ogni atomo le zone concesse [ZONE BRILLOUIN] sono adiacenti gli e^- possono spostarsi facilmente da una zona all'altra (partiamo sempre dagli ELETTRONI di VALENZA [più energetici, più esterni, costituiscono la CLOUD ELETTRONICA])

tenendo presente il principio per cui se non ci sono barriere o vincoli ogni sistema tende ad un MINIMO ENERGETICO

se applichiamo quindi un ΔV anche nel conduttore elettronico gli e^- si muovono cercando di minimizzare l'energia (si crea corrente)

i metalli dal punto di vista pratico che vengono utilizzati per conduzione di e^- sono pochi in quanto devono:

- costare poco
- avere determinate caratteristiche meccaniche (dove ad esempio resistere anche a T alte grazie per effetto Joule)
- non essere tossico
- non essere ossidabile

metallo principale utilizzato al fine di condurre e^- è il RAME (Cu) poiché è abbondante e facilmente reperibile dalle impurità (facilmente prodotta)

↓ PRODUZIONE RAME

- si parte dai SALI che vengono RISCALDATI e in presenza di O_2 formano Ossidi (+ fumi di NON metalli)
- la fase vera e propria di produzione consiste nella RIDUZIONE dei METALLI (separare i metalli dall'ossigeno consiste nell'avere reazioni di ossidazione di O e riduzione dei metalli)

↳ il Cu è il metallo che si ottiene a T più basse quindi facilmente ottenibile (riscaldando a 80° le pirite cupifera ottengo Cu; per il Fe servono T di circa $800^\circ-900^\circ$)

per l'utilizzo in elettronica non basta del rame grezzo ma serve Cu PURO poiché la presenza di impurità distacca le zone Brillouin e fa crollare la conducibilità

N.B. ↑ raffinazione del Cu

Principio CORTO CIRCUITO

ρ è una funzione della composizione chimica e della TEMPERATURA (se T sale lo ρ anche ρ e quindi anche R),
 anche le VACANZE dipendono dalla T ma la loro crescita è esponenziale; maggiore è il n. di vacanze e minori i CONTATTI tra le ZONE di BRILLOVIN \rightarrow questo porta ad un aumento della Resistenza dovuto all'impossibilità di passaggio di e^- dove non sono più in contatto le zone di B.
 \hookrightarrow aumentando R aumenta di nuovo la T poiché aumenta ρ e quindi aumentano di nuovo le vacanze ecc... fino a raggiungere la ROTTURA per fusione del metallo e quindi CORTO CIRCUITO

La BASSA TEMP è una condizione necessaria nei SUPERCONDUTTORI poiché ipotizza che a bassa T le vacanze siano approssimativamente nelle

CONDUCIBILITÀ TERMICA / FORMAZIONE OSSIDI

I metalli sono ottimi scambiatori di CALORE ma maggiore è la Temperatura a cui li utilizza e maggiori le complicazioni dovute alle PROPRIETÀ MECCANICHE (ad alte T decadono) ma soprattutto a livello chimico:

aumento della T porta aumento della CINETICA di REAZIONE e quindi aumento FORMAZIONE di OSSIDI

gli OSSIDI sono termodinamicamente MENO STABILI (più energia) quindi tendono una volta formati (per effetto della cinetica favorita dalla T) a dissolversi in Metallo + GAS (più stabile) \rightarrow $\text{MeO}_{\text{solido}} \rightleftharpoons \text{Me}_{\text{solido}} + \frac{1}{2} \text{O}_{2\text{gas}}$

il fatto che si dissolvono gli ossidi porta alla formazione di nuovi ossidi e così via fino alla totale ossidazione del metallo \rightarrow CORROSIONE

\uparrow Temp \rightarrow \uparrow CINETICA di REAZIONE \rightarrow \uparrow ossidi \rightarrow \uparrow INSTABILITÀ \rightarrow \uparrow FORMAZIONE di GAS \rightarrow \uparrow CORROSIONE

Temperature maggiori favoriscono corrosione

nella lega ogni metallo può potenzialmente formare, nel caso presente, con del C dei CARBURI (composti che rappresentano una nuova fase

negli acciai INOX la formazione di CARBURI sarebbe doppiamente SVANTAGGIOSA:

- presenza di carboni in soluzione solida porta a reazioni di ossidazione per via della doppia fase
- effetto per cui si è inseriti in lega un metallo (es Cr) viene sfruttato poiché parte ha formato carboni; nel caso ad esempio del Cr, la zona intorno al carbonio è soggetta a ossidazione del Fe per l'assenza degli ossidi di Cromo

si cerca quindi di NON superare precise quantità di C e nel caso fosse troppo presente si può aggiungere V, Ti, Mo che formano carboni prima del Cr così da non attenuare l'effetto necessario all'inossidabilità (acciai STABILIZZATI)

Sono sempre presenti in alte piccole quantità di SILICIO e MANGANESE dovuti all'estrazione del minerale naturale Ferro e questi formano anch'essi carboni

TEMPO

Analizzando il DIAGRAMMA di STATO si parla di CONDIZIONI di EQUILIBRIO termodinamico SENZA TENER CONTO del TEMPO che viene considerato infinitamente lungo

in realtà se il cambiamento di fase avviene per tempi diversi dalla normale velocità di reazione possiamo avere FASI INTERMEDIE note a temperature normalmente NON concesse ma generate da un particolare processo termico (esempio raffredd. veloci) che non permette il normale riordinamento degli atomi nella cella

Per lavorare in presenza di ACIDI dobbiamo utilizzare materiali a base di Cu, (RAME ha notevole inerzia chimica rispetto agli ACIDI NON OSSIDANTI mentre si corrode in ambienti ossidanti)

GHISE se siamo con ACIDI OSSIDANTI poiché l'alto tenore di silicio ~~non~~ permette la reazione

SALDABILITÀ

SALDARE: portare a fusione due pezzi e consolidarli insieme

Saldatura può avvenire:

- con METALLO D'APPORTO (fondono insieme met 1, met 2, met A)
- tramite BRAZATURA (fonde solo met A), è una saldatura che raggi solo a sollecitazione mec. basse
- SALDOBRAZATURA (fonde met 1 e met A)

↓
 per effettuare tali processi si portano a fusione sfruttando il riscaldamento del metallo per effetto Joule dovuto al passaggio di corrente tra due elettrodi (di tungsteno) sfruttando il fatto che il punto di contatto tra due lembi di met è il punto a più alta Resistenza (maggiore riscaldamento)

Fe (acciaio) Vs Alluminio [✓ fattore favorevole alla saldabilità]

T fusione
1500° X

✓ T fusione
654°

BASSA
Cond. Termica ✓

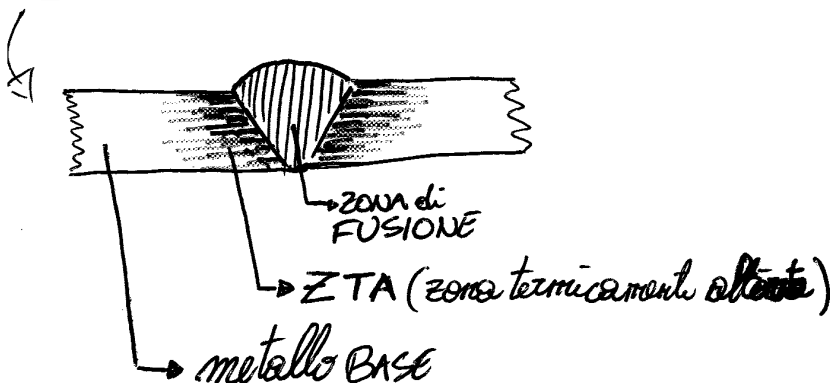
X ALTA
Cond. Termica

BASSA
Cond. Elettrica ✓

X ALTA
Cond. Elettrica

⇒ l'alta conduttività E-T fa sì che anche se la T di fusione è nettamente più bassa l'energia da somministrare risulta molto maggiore per l'alluminio rispetto che per il ferro motivo per cui Al risulta difficile da saldare se non tramite apparecchiature molto più potenti del normale

ZONA SALDATA



CRITERI e PRECAUZIONI di SALDABILITÀ

Per effettuare una buona saldatura e limitare le tensioni deve minimizzare il gradiente termico e non potendo abbassare la T di fusione deve INNALZARE la T del metallo BASE facendo PRERISCALDAMENTO alla massima temp. possibile che garantisca il mantenimento delle proprietà meccaniche (solitamente $300/400^\circ$);
 può inoltre intervenire sulla VELOCITÀ di raffreddamento ricoprendo il pezzo con materiale che trattiene il calore limitando la dispersione all'esterno (es. sabbia), questo procedimento è adottato per componenti di grandi dimensioni

Afferché sia possibile effettuare la saldatura deve considerare:

① COMPOSIZIONE CHIMICA

Più un acciaio è ricco di Carbonio ed Elementi leganti e minore è la saldabilità (fino ad essere anche nulla)
 questo accade poiché il processo di saldatura agisce come una TEMPERA che forma MARTENSITE (molto dura ma fragile), alti tenori di C aumentano la fragilità e lo stesso fanno i CARBURI formati dagli elementi leganti

↳ deve utilizzare la formula del CARBONIO EQUIVALENTE che mi dà come risultato della Σ dei vari contributi relativi alle % di elementi leganti, una stima dell'ATTITUDINE dell'acciaio a subire tempera quindi Saldatura

↳ Più un acciaio è temprabile e meno è saldabile in quanto aumenta la durezza quindi la fragilità e aumenta anche il volume, quindi più tensioni su una zona (ZTA) che è anche diventata più fragile

Leghe di ALLUMINIO sono soggette ad INVECCHIAMENTO (si formano particelle di precipitati che aumentano la resistenza meccanica bloccando le dislocazioni ma la presenza di precipitati genera STRESS CORROSION),
 poiché in saldatura si generano tensioni ~~però~~ possono CRICCHE quindi NON sono Saldabili

② ACCIAIO deve essere PULITO

La presenza di ZOLFO e FOSFORO come impurezze non permette la saldabilità dell'acciaio se non in % $< 0,01/0,02$ poiché lo zolfo forma dei solfuri allungati che interrompono la matrice metallica e la indeboliscono; inoltre con il Fe forma un EUTETTICO (costanza che fonde prima dei suoi singoli elementi) zolfo solfuro ferrico che fonde già a 900°

PROPRIETÀ LUCENTEZZA

Metalli che hanno una superficie METALLICA e PIANA (si intende ripulita dall'ossido spesso presente in superficie) possono RIFLETTERE la LUCE

PROVE NON DISTRUTTIVE (PND)

Sono tutte le prove fatte sul pezzo senza alterare la struttura o la funzionalità del componente; permettono di stabilire un limite di accettabilità dei singoli pezzi ed effettuare un controllo qualità.

Il TIPO di prova da effettuare dipende dal tipo di DIFETTO che si sospetta di riscontrare (dalla sua forma, posizione, orientamento); dalla condizione operativa ad esempio le radiografie necessitano di poter mettere una lastra fotosensibile dietro; materiale da controllare (a che trattamenti o rivestimenti è stato sottoposto o alla sua comp. chimica e caratteristiche metalliche); Dimensioni; Spessori.

TIPICI di PND

- ULTRASUONI → materiale viene investito da un'onda e si verifica la presenza di imperfezioni
- MAGNETICA → dispongo una polvere e genero un campo magnetico, se non ho discontinuità nel materiale vedo che la polvere si dispone uniformemente
- LIQUIDI PENETRANTI → ripulisco la superficie e copro con un liquido, rimuovo il liquido e metto un secondo liquido che reagisce con il primo nel caso questo fosse rimasto in qualche creva rendendola visibile
- RAGGI X → prova che permette di imprimere su una lastra fotosensibile aspetto INTERNO del materiale
- QUANTOMETRI (fotofotometri) → si crea mediante un arco di corrente due fumi ^{di un certo materiale} e per ne classificano i materiali che lo compongono tramite gli IONI riscontrati

⇓
più che PND è un esame
per dare composizione
CHIMICA

- MACROENTEROGRAFIA :

si mette il materiale che vogliamo analizzare internamente tra i raggi \times e una lastra fotosensibile, quando attraverso i raggi che colpiscono la lastra non si interpone nulla questa diventa nera altrimenti tende ad essere più bianca proporzionalmente a quanto radiazione è stata assorbita in quel punto. Per capire a che profondità si trova il difetto si mette un cuneo che faccia da "metro" per identificare la giusta profondità. Dobbiamo considerare l'ORIENTAMENTO dei difetti poiché se il difetto è parallelo ai raggi potrebbe apparire come un punto e non come una linea più lunga indice di un difetto più marcato.

vantaggio dell'uso di raggi \times rispetto che raggi generati da elementi radioattivi è che spegnendo la corrente si interrompe il flusso di radiazione \times

- MICROENTEROGRAFIA (DIFFRAZIONE)

Utilizzo solo i picchi di λ ripuliti dal rumore di fondo. Considerando che i solidi possono essere AMORFI o CRISTALLINI (reticolo geom. ben definito con precise distanze interatomiche) per stabilire se in materiale è amorfo o cristallino posso usare raggi \times

quando un onda (raggi \times con $\lambda \approx 10^{-10} \text{ m} = \text{\AA}$) collide con uno spazio dello stesso ORDINE di GRANDEZZA abbiamo fenomeno della DIFFRAZIONE, poiché gli spazi interatomici hanno stesso λ dei raggi \times possiamo determinare se c'è o no diffrazione quindi se è o no cristallino

tramite la legge di BRAGG che mi dice che onde in concordanza di fase si intensificano posso trovare un valore MAX di λ per un determinato θ

$$\lambda_{\text{max}} = 2d \sin \theta$$

costante materiale dipendente dal tipo di reticolo
angolo incidenza

note θ_{max} e la costante d trovo λ e posso identificare di che materiale è fatto l'anticatodo

note λ (mediante un MONOCROMATORE escludo tutte le altre) e tramite un catodo che ruota ottengo tutti i picchi di intensità (registrati su uno scintillatore che ruota insieme al catodo \rightarrow per ogni θ del catodo l'oscillatore gira di 2θ) relativi a un preciso angolo di incidenza. Poiché picchi di catodo 1 in certe posizioni (θ) sono tipici di ogni elemento possiamo capire quanto θ è variato e in particolare quindi quanto C è presente \rightarrow proporzionalità meccaniche mediante la conoscenza della composizione della soluzione solida

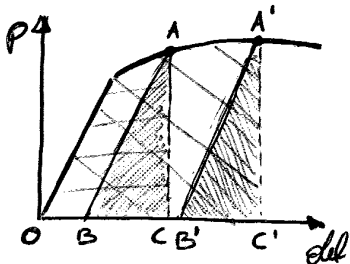
PREPARAZIONE di un CAMPIONE e OSSERVAZIONE

- modalità di scelta:
conoscendo i trattamenti termici subiti e la composizione chimica più rappresentativa, cercare se il manufatto lo permette di prendere un campione più centrale poiché più critico (dentro) quindi più rappresentativo della condizione critica (meno uniforme) del manufatto
- modalità di taglio:
devo poter inalterare il materiale durante il taglio stando attento a non produrre ulteriori trattamenti termici; devo operare il taglio molto lentamente così da non generare riscaldamento ed alterazioni meccaniche ma poiché in officina risulta praticamente difficile richiede un pezzo di dimensioni comunque maggiori di quelle necessari per un campione (analisi al centro meno modificato dal taglio)
- INGLOBATURA
prendo il campione e con una lamina all'inghiù lo ricopro di una resina termoisolante (130/140°); così facendo miglioro la morfologia del campione, proteggo i bordi e posso scrivere sul retro del cilindro di resina per la classificazione
- LUCIDATURA
mediante carta abrasiva sempre più fina (il numero indica il quantitativo di particelle di silicio presenti per unità di superficie → maggiore il numero e più fine [µm] sono le particelle) abrodo la superficie; dopo le carte passo all'utilizzo di Panni con PASTI (polveri di diamante) e lubrifico con alcool dietilico
- INGRANDIMENTO
posso al microscopio (ingrandimento max a lente 500 volte, ulteriori zoom avvengono sull'immagine ma perdono in definizione)
facendo riflettere la luce, dove non ho difetti vedo bianco, e sui bordi o dove ho inclusioni o comunque fasi non metalliche vedo più scuro; posso vedere le CRICCHE poiché anch'esse non riflettono
- ATTACCO METALLOGRAFICO
metto un debole reattivo (Nital) per tempo breve sufficiente giusto a reagire con le zone più energetiche come i bordi di grano mettendoli bene in evidenza; se presenti zone zifere per effetto anodico reagiscono e si alterano anzichè più scure delle zone metalliche

DEFORNABILITÀ PLASTICA (2)

• TUTTI i materiali sono soggetti a una deformazione elastica: seguono quindi una legge lineare di proporzionalità tra lo sforzo applicato e la deformazione; se toglie il carico l'energia accumulata viene rilasciata (elettroni sotto l'azione di un carico vibrano con ampiezza diversa rispetto alla loro standard ma rimangono comunque nella loro posizione) e il materiale ritorna alla sua condizione iniziale di lunghezza ed energia. Quando il carico applicato risulta eccessivo l'energia accumulata negli elettroni gli permette di spostarsi per creare nuove superfici per diminuire l'energia nuove superfici sono sinonimo di **ROTTURA** che è istantanea e non controllabile. Graficamente la DEFORMAZIONE è bassa rispetto al carico sottoposto (generalmente) quindi la retta è più inclinata in alto, ciò indica un'ENERGIA assorbita prima della rottura **BASSA**

• METALLI da comportamento elastico passano a comportamento plastico che permette al metallo di compiere prima della rottura una deformazione (composta sempre dalla componente elastica, + se si è passato il carico di snervamento, anche dalla componente plastica). Importante la deformazione in campo plastico sotto il punto di vista ENERGETICO: l'energia complessiva immagazzinata si divide in plastica + elastica; facendo riferimento al grafico, per via della parabola del tratto plastico si nota come all'AUMENTARE dell'EN PLASTICA.. AUMENTA anche la EN ELASTICA che poi in fase di rilascio del carico verrà liberata dal materiale (SPRINGBACK → ritorno elastico aumenta)



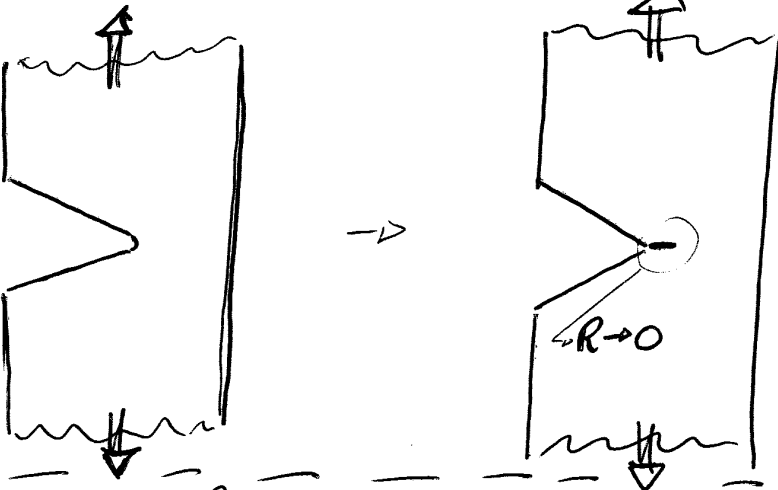
$$|ABC| < |A'B'C'|$$

ENERGIA elastica cresce all'aumento della deformazione

- Considero per ottenere un valore MINIMO di resistenza il caso in cui sul provino sia stato fatto già un INTAGLIO questo perché una variazione di sezione è il difetto che più facilmente porta a rottura poiché a una VARIAZIONE di SEZIONE corrisponde un CARICO TRIDIMENSIONALE che inibisce la deformazione plastica e inoltre più è acuto l'angolo dell'intaglio e maggiore è l'INTENSIFICAZIONE degli sforzi

Per determinare quindi K_{Ic} [TENACITÀ a FRATTURA]

dopo aver creato un intaglio (normato) sollecito a trazione quanto basta per far nascere una CRACK poiché questa è considerata come un intaglio con RAGGIO di FONDO INTAGLIO tendente a ZERO (più acuto \rightarrow più sforzi amplificati) così fatto continuo la trazione e trovo il valore K_{Ic} che mi assicura che per trazioni (sforzi) minori non posso sicuramente avere rottura



N.B. K_{Ic} è considerato su uno SPESORE tale da dare un effetto massimo (maggiore è lo spessore e minore la deformazione \rightarrow + fragile, \rightarrow dopo vari provi con spessore crescente si comincia a vedere che il K_{Ic} ottenuto si stabilizza anche all'aumentare ulteriore del spessore \rightarrow quello è il K_{Ic} che tiene quindi conto SPESORE e CARICO TRIASSIALE

- Per materiali DUTTI introduco il parametro CRITICO S_{Ic} che considerando un fattore ENERGETICO stabilisce un LIMITE sopra il quale la cricca si propaga in modo stabile (se tolgo il carico però la cricca si ferma e difforma del valore K_{Ic} che mi garantisce una rottura, anche togliendo il carico, immediata)

INCRODIMENTO

È il fenomeno per cui un metallo diventa più resistente alle sollecitazioni (aumenta il carico richiesto per muovere le dislocazioni che si moltiplicano in fase di incrudimento [meccanismo di Frank-Read o OROWAN] per via della striscione [diminuisce l'area e aumenta densità di dislocazioni che quindi favorisce meccanismo Frank-Read e aumentano ancora le dislocazioni])

Il materiale in seguito a incrudimento (non sempre voluto) diventa meno duttile (quindi meno tenace) in seguito a deformazione plastica eseguita a "basse" Temp. (basse rispetto a T di fusione)

La tensione richiesta dal materiale per iniziare la def. plastica

$$\sigma = 0,8 \cdot G \cdot b \cdot \sqrt{\rho} \rightarrow \text{densità delle dislocazioni}$$

$\underbrace{\quad}_{\text{modulo elastico a taglio}} \cdot \underbrace{\quad}_{\text{vettore BURGERS}}$

→ movimento delle dislocazioni è BLOCCATO dalle nuove dislocazioni generate dall'applicazione di forte carico applicato (deformazione meccanica come trafilatura, laminazione...)

- es:
- acciai inox austenitici (da 700 MPa → 1200 MPa dopo incrudimento)
 - acciai DUAL-PHASE favoriscono molto incrudimento poiché quando subiscono rapido raffreddamento, da campo Austenite + ferrite si forma ferrite + Martensite che non essendo deformabile aumenta molto le dislocazioni e quindi incrudimento
 - potentemente: una sorta di trafilatura per cui i fili che tramite incrudimento porta resistenza meccanica da 1200 a 1300 MPa

COEFFICIENTE di ANISOTROPIA

Con ANISOTROPIA si intende che NON sono le stesse le proprietà di deformabilità

Materiale Perfettamente Isotropo in seguito a una sollecitazione si deforma allo stesso modo in tutte le direzioni

Per determinare R (coeff. di anisotropia) si effettuano due prove a 45°: una parallela e una trasversale rispetto alla direzione di laminazione

$$\hookrightarrow R = \frac{E_{0^\circ} + E_{90^\circ} + 2E_{45^\circ}}{4} \quad \rightarrow \neq 1 \text{ è anisotropo}$$

ACCIAI da PROFONDO STAMPAGGIO

Sono gli acciai usati normalmente per viti e comunque componenti sottoposti a carichi bassi (non sono usati nelle strutture portanti dove si usano acciai alto-resistenziali)

- BASSO $R_{p0.2}$ (coefficienti di snervamento)
- ELEVATA RIGIDITÀ (E)
- ELEVATO C. INCRUDIMENTO (M)
- ELEVATO C. ANISOTROPIA (R)

Basso $R_{p0.2}$ si ottiene favorendo il movimento delle DISLOCAZIONI quindi (unico caso insieme alle superfici) si vuole la grana GROBE oltre a un bassissimo tenore di Carbonio e altri elementi d'all. Questo porta a un voluto indebolimento dell'acciaio per favorir l'utilizzo di prove meno potenti quindi meno energia necessaria inoltre maggiore $R_{p0.2}$ e maggiore effetto SPRING BACK a parità di def

PRODUZIONE ACCIAI

- acciaio ELETTRICA (si ricicla l'acciaio correggendo opportunamente la composizione)

- acciaio a CICLO INTEGRALE (si produce acciaio dal minerale,



• il Minerale è fondamentalmente OSSIDO di FERRO al quale viene aggiunta CALCE VIVA con lo scopo di reagire con le impurezze (Silicio, Zolfo, Fosforo) e, nel bagno di acciaio fuso rimuoverle dalla superficie; ha anche lo scopo di ridurre la corrente elettrica del bagno oltre al principale di FUIDIFICARE in seguito alla purificazione. Fondamentale è anche l'utilizzo del COKE che tramite la combustione permette l'OSSIDORIDUZIONE ~~del minerale~~ e quindi la formazione di GHISA

• Per ottenere acciaio la fase successiva è l'impoverimento di carbonio (AFFINAZIONE al CONVERTITORE) che viene fatta in un bagno di OSSIGENO ad alta pressione (pura) nel bagno a 1600° che brucia quasi totalmente il carbonio e gli elementi residui; ottengo così un bagno di Fe e Ossigeno (parte di quello soffocato rimane nel bagno stesso)

↳ ora seguono due strade a seconda della qualità di acciaio che devo produrre:

• aggiungo elementi necessari, faccio rotare e solidifico (acciaio EFFERVESCENTE) sarà di bassa qualità perché al centro rimane l'Ossigeno

• operazione di CILLAGGIO dell'Acciaio (tolgo Ossigeno)

↳ si può fare o:
• metto sotto vuoto il bagno e così l'O₂ bolle
• aggiungo sostanze DISOSSIDANTI (Al o ferroleghe) che avendo maggiore affinità con l'O₂ reagiscono formando la scoria in superficie (AL Killed Steel) colmate all'Alluminio



DIFETTI nei CRISTALLI

• Difetti di PUNTO:

- atomi SOSTITUZIONALI — rispetto all'atomo originale
prendono il posto di un atomo del cristallo deformandone la struttura
 - ↳ + grande tende ad allontanare gli atomi circostanti
 - ↳ - grande tende a comprimere intorno a se gli atomi vicini

- atomi INTERSTIZIALI sono molto piccoli e tendono ad inserirsi negli interstizi tra gli atomi base (C-H-B-N)

- atomi AUTOINTERSTIZIALI → difetto raro poiché un atomo del reticolo base va in spazi interstiziali
 - ↳ capita se ci sono grandi energie in gioco (reazioni nucleari)

- VACANZA → al posto di un atomo si ha uno spazio VUOTO, questo influisce molto sul moto delle dislocazioni. Sono create perché gli atomi tendono ad andare dall'interno alla superficie poiché sono più liberi di muoversi; le vacanze vanno in direzione contraria → vacanze da esterno a interno

↓
SONO UN DIFETTO di EQUILIBRIO TERMODINAMICO
cioè sono soggette al raggiungimento del minimo energetico in FUNZIONE della TEMPERATURA

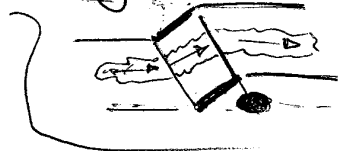
↳ vacanze dipendono ESPONENZIALMENTE dalla T_{temp} e dalla $\sqrt{T_{temp}}$ e permettono fenomeni DIFFUSIVI dipendenti anch'essi da ciò

- vacanza + autointerstiziale → difetto di FRENKEL
- vacanza di un catione e un anione → difetto SCHOTTKY

Vettore di BURGERS (b) \rightarrow GIACE SEMPRE sul PIANO di SCORRIMENTI

- se dislocazione è a SPIGOLO, b è PERPENDICOLARE quindi possono scorrere solo se un preciso piano individuato da d e b
- se dislocazione è a VITE, b è PARALLELO alla dislocazione quindi ogni piano che sia parallelo al piano di scorrimento può contenere b e quindi significa che possono scorrere in tali piani le dislocazioni \rightarrow permette quindi di oltrepassare l'ostacolo e proseguire

N.B. maggiore è il b e maggiore energia è richiesta dalla dislocazione per muoversi \rightarrow maggiore difficoltà a muoversi



N.B. le dislocazioni a SPIGOLO possono cambiare piano di scorrimento SOLO a patto che entrino a contatto con una VACANZA

\rightarrow poiché a T MAGGIORE ho più vacanze le dislocazioni possono scorrere con facilità questo è il motivo principale per cui ad alte T è favorita la deformazione plastica

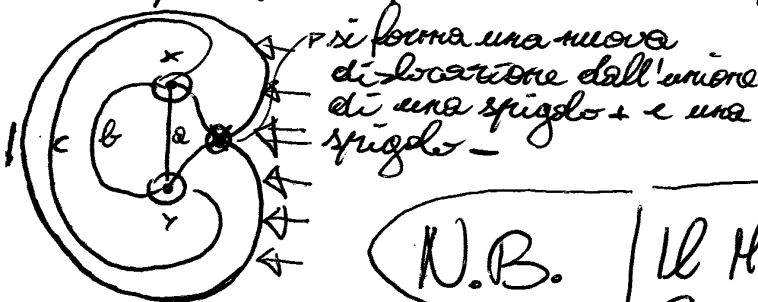
Mecanismo FRANK-READ

(se a bloccare sono le dislocazioni)

di OROWAN

(se a bloccare sono altri atomi)

spiega come da una dislocazione bloccata che viene in contatto con altre dislocazioni formate ad oltrepassare, si generano sempre più dislocazioni quindi sempre maggiori ostacoli e sempre più sforzo necessario per mettere in moto le disloc.



si forma una nuova dislocazione dall'unione di una spigolo + e una spigolo -

N.B.

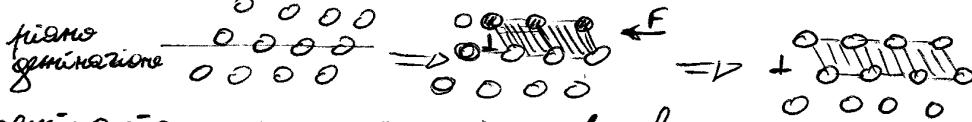
Il Movimento delle dislocazioni GENERA altre dislocazioni
 \downarrow
 sempre più carico per muovere le disloc che si ostacolano e vicenda

ACCIAI ALTORESISTENZIALI

MECCANISMI RAFFORZAMENTO

- Acciai TWIP [Twinning Induced Plasticity (plasticità indotta per geminazione)] sono costituiti da strutture FCC contenenti GEMINATI quindi permettono una deformazione plastica non dovuta alle dislocazioni ma ai geminati

La GEMINAZIONE permette di superare il reticolo di una distanza INFERIORE ad una interatomica (come accade per le dislocazioni) sopra il PUNTO di GEMINAZIONE in modo da spostare una parte della struttura (parte geminata) fino a renderla speculare alla parte indeformata rispetto al piano di geminazione in seguito all'applicazione di una tensione



Geminazione si avvia quando ho un alto incrudimento o se non do tempo alle dislocazioni di muoversi (esempio esplosioni)
 È un fenomeno tipico dei FCC e non riguarda i CCC poiché non sono soggetti a incrudimento ma hanno comunque più fragilità poiché non consentono moto delle dislocazioni

- Acciai DUAL PHASE → ferrite + Martensite
 si parte dalla fase ferrite + austenite e mediante un RAPIDO raffreddamento l'austenite diventa Martensite (fase molto dura e INDEFORMABILE) che blocca lo scorrimento delle dislocazioni quindi aumenta incrudimento
- Acciai PATENTATI → processo che aumenta notevolmente la resistenza di fili, funi per via di un forte incrudimento

Rafforzamento per AFFINAMENTO del GRANO

È l'unico modo che permette di rafforzare senza diminuire la TENACITÀ, questo poiché grano piccolo porta molti BORDI di grano quindi ostacolo alle dislocazioni [resistenza] e alla propagazione delle CRICCHE (tenacità)

! tanto più il grano è piccolo e maggiore il carico di snervamento (maggiore tensione da applicare) → RELAZIONE HALL-PATCH

$$\sigma_s = \sigma_0 + K/\sqrt{d} \quad \left| \quad \sigma_s = \text{tensione di snervamento}, \sigma_0 \text{ e } K \text{ funzioni del materiale}, d = \text{dimensione grano}$$

- Possiamo anche scaldare a una T bassa tale da non permettere la dissoluzione di tutti gli elementi così che quelli non scelti limitino la crescita dei grani austenitici
- Rafforzamento per INTRODUZIONE in soluzione solida di:
 - SOLUTO SOSTITUZIONALE o INTERSTIZIALE così da creare una tensione interna che ostacola il moto delle dislocazioni
 - atomo SOSTITUZIONALE: a un atomo Base sostituisce un altro elemento; se questo è più grande dell'atomo originale va dove sono le DISLOCAZIONI perché mancano dei semipiani quindi ha più spazio, se più piccoli dove c'è semipiano aggiunto ossia le zone in compressione
Atomi sostituzionali interagiscono solo con dislocazioni e SPIGOLO
 - atomo INTERSTIZIALE: $[C - B - N]$ atomi molto piccoli che si mettono tra gli interstizi del cristallo portando ad una simmetria tetragonale (da cubica)
Interagiscono sia con le dislocazioni e SPIGOLO che VITE
Questo fa sì che siano molto più efficaci nel rafforzare per blocco di dislocazioni, rispetto che i sostituzionali (variazione di %C è quindi molto più significativa e rilevante rispetto a % sostituzionali)
- N.B. il rafforzamento per aumento di C comporta una notevole diminuzione della TENACITÀ quindi se è passato al rafforz. per atomi sostituzionali di Mn poiché facilmente reperibile e a maggior tenacità



FRATTURA

Un materiale deve essere il più possibile:

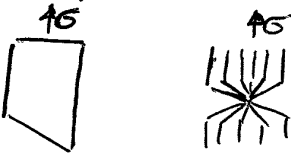
- RESISTENTE - elevato carico di rottura
- TENACE → elevata energia di rottura misurata con prova di resilienza con presenza di SEVERI DEFETTI (K_{IC} , J_{IC})

La ROTTURA dipende da: → può avvenire una rottura

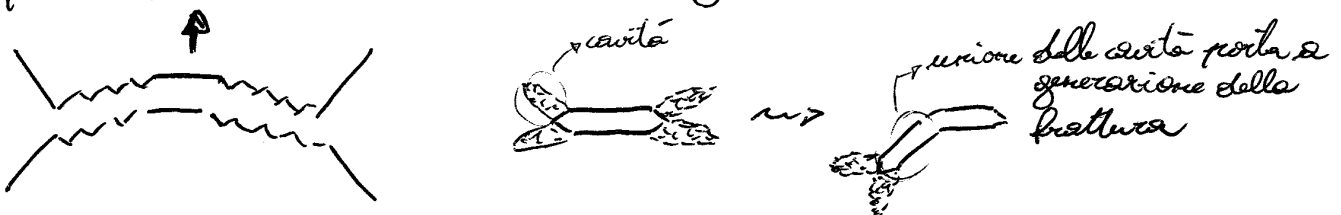
- Materiale
- Temperatura
- tipo di Sollecitazione
- Velocità di applicazione del carico
- DUTTILE (deformazione plastica, assorbimento di energia)
- FRAGILE (bassa energia assorbita)
 - ↳ intergranulare (spaccatura tra grani)
 - ↳ intragranulare (spaccatura del grano)

Frattura duttile nei MONOCRISTALLI:

si attiva SOLO un piano di scorrimento, senza incedimento e ad alte T (ipotesi fatta per massimizzare l'effetto), si ha la frattura a 45° poiché la forza di TAGLIO (che provoca le dislocazioni) in quel piano è massima. Se si attivano più piani di scorrimento si ha una striscione lungo e vari piani a 45°



Nei materiali POLICRISTALLINI si ha una rottura orientata macroscopicamente secondo il piano \perp alla trazione, la presenza poi di eventuali seconde fasi (PARTICELLE) che in trazione si distaccano favorisce una rottura di tipo COPPA-CONO; il distacco delle particelle crea delle CAVITÀ che unendosi danno delle fratture mentre ai bordi avviene il fenomeno dello scorrimento sotto l'azione delle forze di taglio. Solitamente il DISTACCO è favorito per le particelle INCOERENTI che gli sono staccate dalla matrice



FRATTURA FRAGILE (rottura di lacerazione → movimento di piani cristallini)

avviene prevalentemente nei sistemi CCC in particolare a BASSE TEMPERATURE poiché NON si riescono ad attivare Piani di Scorrimento perciò l'energia fornita al materiale viene utilizzata per creare nuove SUPERFICI.

Poiché nei CFC ci sono 12 sistemi di scorrimento avviene SEMPRE un utilizzo dell'energia per DEFORMARE (deformazione plastica) e non per creare superfici (rompere); questo anche a basse T, unica eccezione si ha quando abbiamo uno SFORZO IDROSTATICO che agendo contemporaneamente sulle tre dimensioni non permette di generare sforzi di taglio quindi di dislocazioni

↳ PER BASSE T preferisco CFC (ad eccezioni di componenti soggette a fatica)

Non posso utilizzare solo materiali CFC poiché essendo spesso composti da Nickel sono molto costosi, inoltre

CCC sono FRAGILI SOLO a T più basse della T di TRANSIZIONE VETROSA quindi si cerca di ABBASSARE T_g il più possibile permettendo impiego di acciai CCC (ferritici), meno costosi e più resistenti a fatica

CARICO TEORICO di FRATTURA

ipotizzando che le dislocazioni non possono muoversi energia elastica viene utilizzata per rompere i legami e creare nuove superfici

$$\sigma_{TEO} = \sqrt{\frac{2E}{a}} \rightarrow \sigma_{TEO} \text{ è un valore che risulta essere circa 1000 volte superiore al carico reale che porta a frattura (analogo alla teorizzazione delle dita)}$$

\rightarrow distanza interatomica
 \rightarrow energia elastica

TEORIA di GRIFFIT (teoria della frattura fragile)

Poiché i materiali non sono perfetti all'interno troviamo delle FESSURE prevalentemente a forma ELLITTICA caratterizzate da una concentrazione di carico alle estremità

$$\sigma_{est.} = 20 \sqrt{\frac{C}{S}}$$


\rightarrow semiasse
 \rightarrow raggio di fondo ellisse



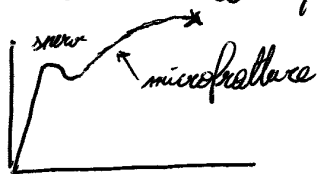
→

La dimensione del grano interessa anche la propagazione della Frattura

- ↳ diminuire il grano significa aumentare i bordi grano e quindi ostacolare la CRACK che cerca di propagarsi (aumento quindi tenacità)
 - Se il grano è grosso il carico necessario ad espandere la frattura è minore di quello per nucleare nuove cricche quindi la frattura attraversa facilmente il materiale
- $\sigma_{rott} < \sigma_{nucleazione} \rightarrow$ FRATTURA a Nucleazione controllata (grano grosso)

$$\sigma_r \approx \sigma_{nuc} \approx \sigma_{max}$$


- Se il grano è piccolo per propagare le cricche tendono a nucleare nuove cricche ad ogni attraversamento del grano; l'unione progressiva di tante cricche porta a una frattura (non più fragile)



FRATTURA a PROPAGAZIONE LIMITATA

Per limitare frattura fragile deve avere più torsioni possibile TANGENZIALI piuttosto che σ poiché le τ generano deformazioni

\downarrow
 CARICHI TRIASSIALI UGUALI non danno la componente τ perciò rendono il comportamento del materiale FRAGILE (diverso valido anche per i CFC)

↳ deve ridurze al massimo i carichi tridimensionali quindi evitare geometrie che li favoriscano (intagli)

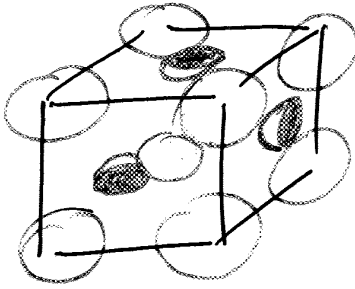
FATTORI CAUSA DI FRATTURA FRAGILE

- TIPO MATERIALE (struttura, grano e particelle coerenti/incoerenti)
- BASSA TEMP (poche vacanze \rightarrow stop delle disloc \rightarrow rottura fragile)
- ELEVATA VELOCITÀ APPLICAZIONE CARICO (stop disloc \rightarrow rott. fragile)
- TRIASSIALITÀ (intagli \rightarrow solo forze σ \rightarrow debole forma \rightarrow rott. fragile)
 - ↳ ANCHE CFC

RAGGI MASSIMI per ATOMI INTERSTIZIALI

• C.C.C.

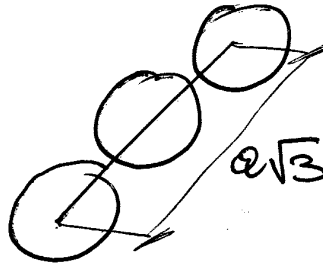
il carbonio
(gli atomi interstiziali)
si possono inserire
solo sulla faccia (meta atomo al centro della faccia)



lo spazio MAX consentito da CCC per interstiziale è

$$r = \frac{1}{2} \left(a - \frac{a\sqrt{3}}{2} \right) \rightarrow \text{con } a_{\text{CCC}} = 2,87 \text{ \AA} \rightarrow V_{\text{CCC}} = 0,187 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3$$

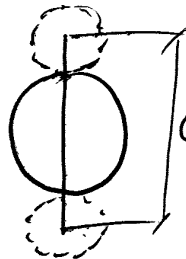
trovo il diametro di un atomo di Fe considerando che lungo la diagonale del cubo nei CCC ho la direzione a maggiore compattazione atomica



$$a\sqrt{3} = \frac{d}{2} + d + \frac{d}{2}$$

$$d = \frac{a\sqrt{3}}{2}$$

ora considero che gli interstiziali possono stare al centro di una faccia quindi, due interstiziali sono distanti una distanza atomica a (lato della cella)



$$a = r + r + d$$

$$2r = (a - d)$$

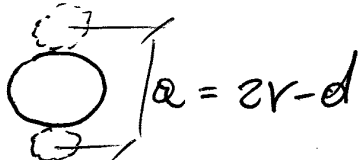
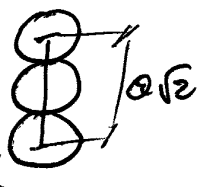
il r_{MAX} è la massima misura dell'atomo interstiziale nel CCC avendo considerato gli atomi come sfere tangenti

$$r_{\text{MAX CCC}} = \frac{1}{2} \left(a - \frac{a\sqrt{3}}{2} \right)$$

• CFC faccio ragionamento analogo ma considero che interstiziali vanno al CENTRO del CUBO

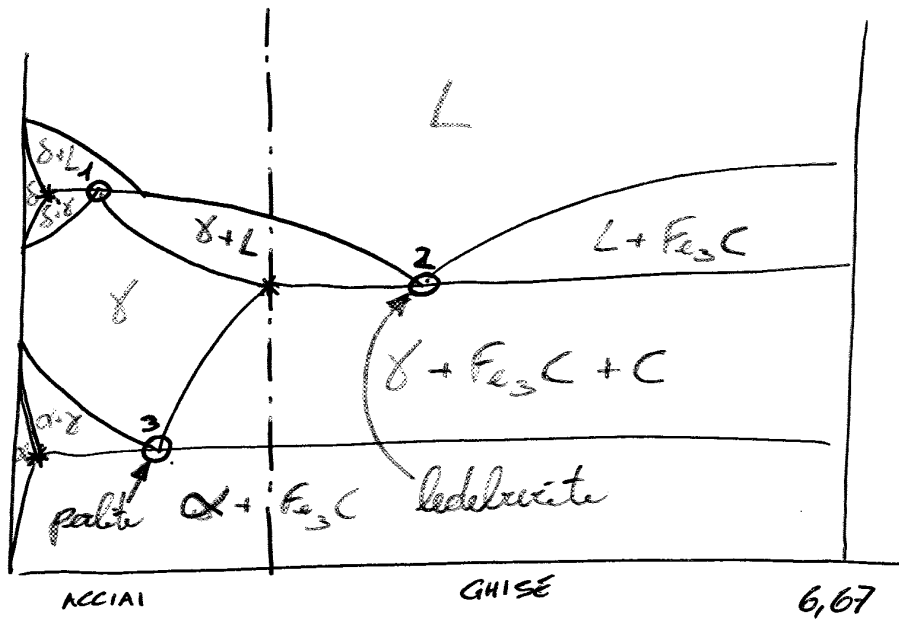
$$r = \frac{1}{2} \left(a - \frac{\sqrt{2}a}{2} \right) \rightarrow \text{con } a_{\text{CFC}} = 3,61$$

$$r_{\text{CFC}} = 0,53 \text{ \AA}$$



$$a\sqrt{2} = 2d \quad \rightarrow \quad a = 2r - \frac{a\sqrt{2}}{2} \rightarrow r_{\text{MAX CFC}} = \frac{1}{2} \left(a - \frac{\sqrt{2}a}{2} \right)$$

DIAGRAMMA di STATO Fe - C



- 1 PERITETTICO
1492° con 0,18% C
- 2 EUTETTICO
1147° con 4,3% C
- 3 EUTETTOIDE
730° con 0,8% C

- * MAX Fe δ a 1492° con 0,1% C
- * MAX Fe γ a 1147° con 2% C
- * MAX Fe α a 730° con 0,02% C
- Fe₃C cementite 6,67% C fisso

Prima dell'EUTETTICO → ACCIAI
 Con EUTETTICO → GHISE

EUTETTOIDE [0,8% a 723°]

da una soluzione in fase solida (γ) nel raffreddamento ottengo
2 fasi solide \rightarrow ($\text{Fe}\alpha$ con 0,02% C + Fe_3C con 6,67% C)



↳ Perlite

questo composto di ($\text{Fe}\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) prende il nome di PERLITE [11% Fe_3C + 89% $\text{Fe}\alpha$]
quando siamo a sinistra dell'eutettoide (^{abbiamo} ipoeutettoide) avremo quindi
composto solido $\text{Fe}\alpha + \text{PERLITE}$; quando siamo a destra (iper-eutettoide)
abbiamo $\text{PERLITE} + \text{Fe}_3\text{C} + \text{C}$

↳ grafite

Per la formazione di Perlite, poiché $\text{Fe}\alpha$ è praticamente esente da C mentre Fe_3C ne
ha in elevata quantità, è massiccio il fenomeno della DIFFUSIONE con
conseguenti nucleazione e crescita di nuove fasi; fenomeni sono
legati a Temperatura (exp) e al tempo (\sqrt{t})

Se non da il tempo necessario non ho più la formazione di Perlite
ma ho la formazione di una fase METASTABILE (MARTENSITE)
che non avviene per processi diffusivi ma per deformazione
meccanica (schiacciamento delle cell.); Martensite è dovuta
a un rapido RAPPREDDAMENTO (deve avere almeno 0,2% di C
per formare martensite [e sopra 0,6% la martensite ottenuta è lamellare
e non a cuneo (ad aghi)])

↳ N.B. quando mi allontano (sotto parli di raffreddando) dalla $T = 723^\circ$, il sistema
tende sempre più a formare spontaneamente $\text{Fe}\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ poiché risultano
termodinamicamente meno energetiche (favore); la velocità di nucleazione di
queste nuove fasi è tanto maggiore a T minore da rendere ininfluente (solo a
BASSE Temperature) l'effetto del tempo \rightarrow tanti nuclei, struttura fine

tempo influisce sulla nucleazione SOLO ad ALTE T ($> 680^\circ \approx$)

↓
oltre alla durezza (comp. eutettica) voglio che la grafite sia ben distribuita e non a bordo grano quindi non potendo lavorare in condizioni ipereutettiche per non aumentare il ricorso alla tecnica dell'INOCULAZIONE

↓
aggiungo Si (0,1%) al momento della solidificazione alla lega già corretta con un 3% di Si e 3% di C, questo fa sì che LOCALMENTE aumenti l'attività di C come se avessimo in quei punti dove è presente il Si aggiunto una lega IPEREUTETTICA che forma quindi uniformemente e non più a bordo grano

GRAFITE LAMELLARE (non si forma più perché è come se fosse in ipereutetico)
↳ Ghisa non raffreddata gli si è già costituita da lamelle (difetto + severo)
Se la velocità di raffreddamento è lenta forma meglio la GRAFITE se invece ho poca Si, la velocità di raff. è elevata e ho elementi carboniferi (grano coesivo) si forma CEMENTITE (Fe_3C)

↓
all'Eutettico si forma (perlite + cementite) chiamato LEDEBURITE

Le ghise sono divise in due gruppi a seconda della presenza o meno di carbonio GRAFITICO (quindi secondo la v di raff.)

↳ BIANCHE: sono prive di grafite ma C poiché raffreddato velocemente è sotto forma di CEMENTITE, perciò sono legh. molto dure ma fragili

↳ VERDE: costituite da (PERLITE + GRAFITE lamellare) ottenuta mediante uso di Si e raff. lento e, allo scopo di trasformare le lamelle di grafite in SPEROIDI per maggiori prop. meccaniche si aggiunge MAGNESIO

J.B.
ghisa con grafite sferoidale ottima per la colata e ha buone prop. meccaniche MA

il magnesio inserito dopo inoculazione (0,1% Mg) permette di tensionare la superficie della grafite incurvandola in fase di crescita
NON deve essere presente anche Fe_3C (la ghisa deve essere o bianca o grigia) altrimenti la ghisa è da buttare (TROTATA)

- ↳ controindicazioni per l'utilizzo di gas di città è dovuto a
 - tossicità di CO
 - esplosività delle atmosfere di CO e CO₂ che quindi necessita di lavorare a pressione maggiore di un atm così da creare zone di fuga dell'atmosfera che viene bruciata per evitare esplosioni.
- Per acciai molto pregiati si usano trattamenti in VUOTO
 - ↳ processo molto costoso perché prevede l'uso di speciali forni capaci di supportare elevate pressioni dovute al vuoto e necessità di N₂ purissimo per portare in temperatura il vuoto che poi viene tolto per operare in vuoto.
 - Inoltre ad ~~alte~~^{basse} pressioni potrai avere il problema dell'evaporazione di alcuni metalli, e anche del raffreddamento che prevede adozione di una seconda camera per passare a pressione ambiente per evitare evaporazione dell'olio di raffreddamento

favoriti i materiali capaci di raffreddarsi con gas sottoraffreddati (AUTOTEMPERANTI)

↳ materiali altolegati quindi costosi

↳ la tecnologia del vuoto viene adottata quando ho bisogno di superfici estremamente perfette come nel caso degli STAMPI (il costo del processo vale la spesa)

Rischi del Riscaldamento

- se la T è leggermente più elevata il GRANO diventa più GROSSO (q. Austenite grande porta a grani ferritici grandi)
 - ↳ possiamo correggere ricominciando il processo a T giusta
- se la T è troppo alta e si va a LIEVITAZIONE anche di un solo punto il pezzo è da gettare, stesso se ossido il pezzo

CRESITA

Processo che determina la dimensione finale dei grani formati nella precedente fase di ricristallizzazione.

↓
Dimensioni Finali dipendono da: $\frac{\text{Velocità di nucleazione}}{\text{Velocità di crescita}}$

La crescita dipende da quanto diminuisce l'energia del sistema e quindi quanto diminuisce l'energia dei bordi di grano \rightarrow meno bordi significa meno energia quindi è favorita la crescita

↓
fattori che influenzano la velocità di crescita:

T] \rightarrow poiché favoriscono diffusione favoriscono la crescita
 t]
impurità, seconde fasi
sensature, pori, bolle] \rightarrow ostacolano

La nucleazione è favorita da:
predeformazione
grani piccoli] \rightarrow Energia accumulata maggiore
atomi estranei]

Dimensioni finali dipendono quindi da
Predeformazione $\rightarrow + \epsilon_n \rightarrow +$ bordi \rightarrow grano fine
dimensione iniziale \rightarrow grano iniziale fine \rightarrow grano finale fine
atomi estranei $\rightarrow +$ nucleazione $\rightarrow -$ crescita (ostacolo)
Tale quale è avvenuta la DEFORMAZIONE $\rightarrow T_{def}$ magg significa più movimenti delle dislo $\rightarrow - \epsilon_n$ immagini grani grosse
 $\rightarrow T_{def}$ bassa per grano fine

▲ NORMALIZZAZIONE

Altro tipo di raffreddamento che consiste nel raffreddare in aria calma; lo scopo è quello di ottenere una struttura simile a un acciaio ricotto (detensionato) ma con una grana più fine per maggiore durezza e resistenza; dovuto a un raffreddamento più veloce rispetto che in forno.

Per alcuni leghe ad alto tenore di elementi leganti (AUTOTEMPAN) già con la normalizzazione si induce un processo di tempera

▲ TEMPERA

Consiste in un raffreddamento molto veloce, tanto da permettere la formazione di fasi metastabili come MARTENSITE che permette di aumentare moltissimo la resistenza e la durezza poiché con forte sottoraffreddamento per via della spinta termodinamica ha una totale inibizione della diffusione e quindi una grana FINE.

N.B. il tempo e quindi la velocità sono determinati dalle curve TTT e meglio ancora CCT → più è ampio il tempo che posso impiegare per sottoraffreddare e meno tensionato sarà il metallo.
La T influenza solo in fase di riscaldamento poiché attivando la diffusione riduce effetto della nucleazione (equilibrio tra le due) quindi meno quantità di austenite che può trasformare in martensite.

UB. MARTENSITE è formata non per diffusione ma per DEFORMAZIONE MECCANICA con un meccanismo simile alla geminazione.

Mezzi Temperanti

H₂O: raff. più energico ma seri problemi per CREPACZIONE (evaporazione sulla zona di contatto che a 700° proprio la T in cui necessita di maggior raffreddamento non lo permette); mentre a T di 300° raffredda molto velocemente inducendo tensioni se un metal già soggetto a trazione in superficie e comp. nel cuore → possibili CRACK

BONIFICA (TEMPRA + RINVENIMENTO)

quando il materiale temprato è TROPPO FRAGILE, spesso un processo detto RINVENIMENTO

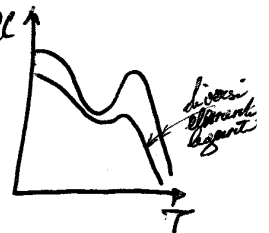
↓
 Scaldare a un T inferiore ad A1 (per tempi generalmente di 1h per ottenere una miglior combinazione di durezza e resistenza e tenacità) \rightarrow (500°)

Rinvenimento varia il suo effetto a seconda di acciai:

- solo Carbonio - la durezza diminuisce all'aumentare della T (cala anche quanto più è alto tenore di C)
- con Elementi leganti si ha il fenomeno dell'INDURIMENTO SECONDARIO per via della formazione di carburi dei leganti



NB. all'inizio può esserci un indurimento dovuto alla trasformazione in Martensite dell'austenite residua



• alle T di 250/450° circa c'è lo stesso fenomeno dell'infievolimento da rinvenimento da estere

RINVENIMENTO avviene per diversi stadi (il IV SOLO per acci LEGATI)

I (200/400°) la Martensite perde C che inizia a diffondere formando carburi χ_1 e χ_2 che essendo COERENTI mantengono alta la durezza
 ↳ la Martensite perde tetragonalità (perde di C)

II (230/280°) Se ha Austenite Residua questa si trasforma in martensite e questa si divide in Martensite pura di C + Carb E
 ↳ aumenta la durezza

III (260/350°) i Carburi E si ridissolvono e formano Fe_3C e la martensite rimasta pura in C se ne libera e diventa Fe α

↓
 Ho raggiunto fase di EQUILIBRIO ma devo tenacità (altro residuo) però ora ho Fe α e Fe_3C piccoli e sferoidali (non come in struttura da struttura lamellare) (55)

LEGHE di ALLUMINIO

Con meccanismi simili all'acciaio, tendo conto che la solubilità si abbassa con la diminuzione della T (elemento solubile Cu, Zn, Mg

↓
o alio la T con da portare tutto in soluzione (solida) e raffreddato velocemente in H_2O ; lascio ora riposare la lega lasciandola operare un processo detto di INVECCHIAMENTO che consiste nel dare il tempo al materiale di formare fasi METASTABILI e COERENTI che conferiscono un grande rafforzamento. Anche non si fanno (troppo tempo di invecchiamento) il processo e si ritrova la lega originaria in fase di equilibrio con grani grossi e incoerenti.

Per le leghe d'alluminio da getto ho bisogno come per acc. di una composizione EUTETTICA per solubilità ~~con~~ per favorire allo stesso tempo una grana fine quindi poter abbassare $T_{critica}$ mette 0,1% SODIO (garantisce spinto termodi

DATA BASE SCANNING

- Materiali

L'energia libera di formazione di un ossido metallico	aumenta all'aumentare della temperatura
L'energia libera di un sistema liquido e minore di quello dello stesso sistema allo stato solido	Sempre
L'ingfrangimento da idrogeno	è causato dal raffreddamento in acqua
L'ingfrangimento da idrogeno	si può evitare con una ricottura a 180° C per alcune ore
L'ingfrangimento da idrogeno:	è causato da processi galvanici
La bonifica serve per aumentare	durezza e tenacità
la ferrite delta a 1492°C ha una solubilità massima di carbonio di	0,1%
la fragilità da invecchiamento è dovuta a	prematura precipitazione di carburi
La normalizzazione	è per acciai dolci ed è meno costosa della ricottura
La normalizzazione	fornisce strutture essenzialmente perlitiche
La normalizzazione consiste in austenizzazione seguita da:	raffreddamento in aria calma
La normalizzazione è:	meno costosa
La perlitte è	una miscela meccanica
La presenza di AlN in un acciaio da profondo stampaggio influenza	il coefficiente di anisotropia
La presenza di elementi leganti negli acciai da bonifica	stabilizza la martensite rallenta la trasformazione eutettoidea
La ricottura consiste in austenizzazione seguita da:	raffreddamento lento in forno
La struttura finale della bonifica è	ferrite e cementite fini e globulari
La trasformazione eutettoidea dipende dai:	tenore di carbonio

La trasformazione eutettoidea nel diagramma di stato Fe-C avviene a:	723°C 0,8% C
La trasformazione peritettica avviene quando:	una fase solida origina al riscaldamento una fase liquida ed una fase solida
La trasformazione peritettica non interessa leghe Fe-C con tenore di carbonio	superiore allo 0,5%
Laminati a freddo destinati a ricottura statica	devono essere avvolti a temp più bassa possibile
Le inclusioni che non riflettono luce sono	fasi non metalliche
Le soluzioni solide ordinate si trovano	sotto una temperatura critica
Leghe di alluminio	il prezzo elevato è dovuto al processo di fabbricazione
Leghe di alluminio	contengono rame non si saldano
Leghe di alluminio	migliorano le caratteristiche meccaniche
Leghe di alluminio	non sono saldabili
Martensite è	Metastabile
Martensite è:	Una soluzione solida di carbonio in ferrite metastabile a temperatura ambiente
Materiali dolci:	ripercorrono le caratteristiche
Materiali duri:	non ripercorrono le caratteristiche
Mediante l'altotomo si produce:	ghisa
Microscopio a riflessione:	il campione fa da specchio, il raggio di luce non attraversa il campione
Microscopio elettronico	permette l'analisi della sup di frattura
Microscopio elettronico	permette un'analisi chimica puntuale
Microscopio elettronico:	usa un fascio di elettroni che colpisce il campione che poi viene analizzato su un dispositivo
Microscopio metallografico	funziona per riflessione
Microscopio ottico:	serve per vedere la struttura metallografica