



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 787

DATA: 16/12/2013

A P P U N T I

STUDENTE: Quarata

MATERIA: Materiali e Metallurgia + Eserc.

Prof. Lombardi

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.**

6 CFU MATERIALI → LUNEDÌ E MERCOLEDÌ
4 CFU METALLURGIA → VENERDÌ

"METALLURGIA" NICOLETTI, ZANICHELLI

RESISTENZA MECCANICA → PRIMA CHE SI ROMPA
DUREZZA → RESISTENZA ALLA DEFORMAZIONE PERMANENTE
RIGIDEZZA → CAPACITÀ DI OPPORSI ALLA DEFORMAZIONE ELASTICA

- La temperatura di fusione è molto variabile
- Densità variabili (g/cm^3), nella maggior parte dei casi medio-alte
- Facilmente soggetti alla corrosione
- Formatura prevalentemente da fuso: si usa molto la fusione

MATERIALI CERAMICI

Materiali che contengono atomi metallici e atomi non metallici (rispetto certe stechiometrie), caratterizzati dalla presenza di legami ionici, covalenti. Sono materiali inorganici non metallici.

Possono essere costituite da strutture ordinate, i cristalli, o strutture caotiche, i vetri, che sono costituiti da silicio e ossigeno che hanno un reticolo ordinato ma a piccolo raggio (struttura amorfa \rightarrow trasparente). Per questo motivo cambiano le proprietà ad esempio vetri trasparenti cristalli opachi.

A seconda che ci sia o meno l'atomo metallico i ceramici si dividono in ossidici e non ossidici.

PROPRIETÀ

La presenza del legame covalente-ionico influenza le proprietà

- Isolanti termici ed elettrici
- Fondono a temperature molto alte
- I processi produttivi sono ^{prevalentemente} quelli che prevedono una polvere (vetri \rightarrow fusione)
- Altissime resistenze meccaniche e durezza
- Refrattarietà: mantengono le proprietà fisiche, chimiche e meccaniche anche ad alte temperature
- Fragilità: non subisce deformazioni irreversibili ma superato un certo limite si rompono direttamente

MATERIE PLASTICHE: POLIMERI

Sono materiali essenzialmente a base di carbonio e di idrogeno, alcuni contengono anche fluoro, azoto, idrogeno.

Carbonio e idrogeno sono tra gli elementi più leggeri!

La matrice è il materiale più presente, il rinforzo quello meno presente. Dagli anni '70 si sono sviluppati tantissimi compositi.

CMC → Composito matrice ceramica

MMC → Composito matrice metallica

PMC → Composito matrice polimerica

GFRP → polimero rinforzato da fibre di vetro

CFRP → polimero rinforzato da fibre di carbonio

È possibile fare compositi anche con materiali della stessa famiglia si atterranno fibre aramidiche.

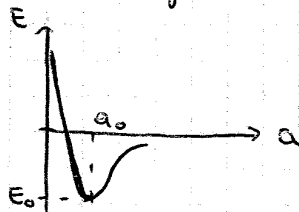
LEGAMI

Quando due atomi entrano in contatto agiscono due forze: una attrattiva e una repulsiva, entrambe dipendenti dalla distanza. In un primo momento è predominante quella attrattiva, man mano che si avvicinano invece prevarrà quella repulsiva.

Le curve che rappresentano l'energia in funzione della distanza tra gli atomi sono dette curve di Lennard-Jones.

A distanza infinita l'interazione è nulla.

Alla diminuzione della distanza diminuisce l'energia. A partire da una certa distanza l'energia aumenta mentre la distanza diminuisce ulteriormente. La posizione in cui l'energia è minima (MASSIMA STABILITÀ) è di distanza di legame.



I legami chimici tengono uniti atomi e molecole. Legami forti sono: ionico, covalente e metallico; legami deboli si basano sulla formazione dei dipoli.

LEGAME METALICO

L'atomo mette in condivisione con tutti quelli vicini gli elettroni di valenza, visti come una nube elettronica libera nel reticolo. Gli ato

KISPOSTA MECCANICA DEI MATERIALI

L'energia imposta alla materia provoca una reazione da parte di quest'ultima → PRINCIPIO AZIONE - REAZIONE

2 tipi di deformazioni:

ELASTICA, quando il materiale cambia forma con la sollecitazione ma a seguito di essa torna nella situazione iniziale, REVERSIBILE. (Tutti i materiali subiscono deformazione elastica perché avviene microscopicamente)

PLASTICA, quando la deformazione resta pur cessando la sollecitazione, IRREVERSIBILE.

La deformazione elastica determina la differenza tra fragilità e duttilità. I materiali fragili possono essere sottoposti solo a deformazioni elastiche fino a rottura; i materiali duttili invece a deformazioni sia elastiche che plastiche prima di rompersi.

FRAGILE: materiale che si rompe a causa di azioni esterne contenute però resistente

BRITTLE: materiale che si rompe avendo sperimentato solo deformazioni elastiche, reversibili.

Il diamante è brittle perché subisce solo deformazioni elastiche ma è certo però resistente, il vetro è sia brittle che fragile.

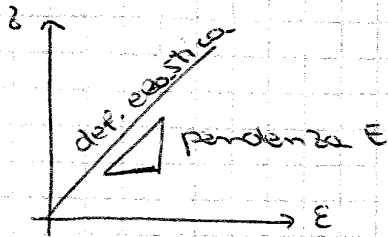
Sollecitazione meccanica → deformazione elastica
→ deformazione plastica

8/10/2012

La proprietà che viene influenzata dalla sollecitazione meccanica è la rigidità e la resistenza: varia a seconda dell'energia di legame.

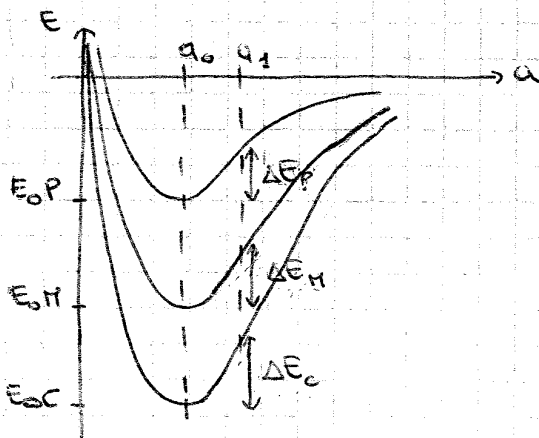
Quando un materiale non è sottoposto ad alcuna sollecitazione tra gli atomi n e la distanza di legame n è energia minima che fa sì che gli atomi siano stabili e legati tra loro a distanza a_0 , se invece vi è una trazione esterna i due atomi si allontanano e saranno a distanza $a_1 > a_0$. Per allontanare i 2 atomi servono energia, così si ha una

Il modulo elastico E quantifica la rigidità, che va a misurare la resistenza che il materiale oppone ad un'azione esterna elastica.

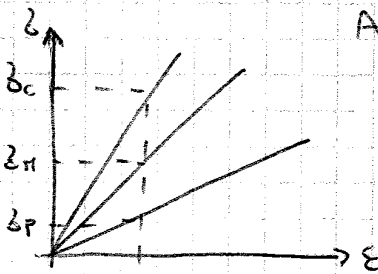


Qualsiasi sollecitazione imprimiamo ad un materiale la prima deformazione è elastica cioè sul grafico è una retta (z direttamente proporzionale a E). Maggiore è la sollecitazione, maggiore è lo spostamento dei due atomi.

A seconda del materiale la deformazione dovuta a una sollecitazione varia. Più è profonda la valle di Coulomb-Morse, più è forte il legame



$$\Delta E_C > \Delta E_M > \Delta E_P$$



A parità di deformazione $z_c > z_m > z_p$
I suoni energetici rappresentano la quantità di energia necessaria a rompere il legame.

Per ottenere la stessa deformazione su diversi materiali abbiamo bisogno di applicare una maggiore sollecitazione nelle ceramiche che nei polimeri, a parità di tensione applicata la deformazione sarà maggiore in un polimero che in un ceramico.

RELAZIONE LIVELLO MICROSCOPICO - LIVELLO MACROSCOPICO

$$E = S/a_0$$

(GPa)

$$S = \text{rigidità (N/m)}$$

$$a_0 = \text{distanza di equilibrio}$$

I ceramici avranno modulo elastico più alto dei metalli e dei polimeri

In realtà ciò che accade realmente non corrisponde a pieno a quello che abbiamo appena detto. Se poniamo a trazione un corpo questo si allunga, come abbiamo già osservato, ma subisce anche una variazione di area e per tener conto di questo comportamento si introduce un coefficiente, detto coefficiente di Poisson.

$$\nu = - \frac{\text{deformazione trasversale}}{\text{deformazione longitudinale}} \quad \begin{array}{l} \text{sezione} \\ \text{lunghezza} \end{array}$$

$$\nu = - \frac{-\delta e'/e'}{\delta e/e}$$

La deformazione è uguale su tutte le direzioni quando si considera un materiale isotropo, quindi il valore della proprietà è uguale su qualsiasi direzione si misuri. Esistono invece materiali che non hanno la stessa risposta a seconda della direzione considerata e si dice in tal caso che hanno comportamento anisotropo.

Se il materiale è isotropo: $\epsilon_x = \epsilon_y$

Compressione = deformazione trasversale positiva, allungamento negativo

Trazione = deformazione trasversale negativa, allungamento positivo

$$\nu = - \frac{\epsilon_x}{\epsilon} = - \frac{\epsilon_y}{\epsilon}$$

Se $\nu = 0,5$

$$-\frac{\epsilon_x}{\epsilon} = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon} = 0,5 \Rightarrow \begin{cases} |\epsilon_x| = \frac{1}{2} |\epsilon| \\ |\epsilon_y| = \frac{1}{2} |\epsilon| \end{cases} \quad |\epsilon_x| + |\epsilon_y| = |\epsilon| \Rightarrow \underline{\Delta V = 0}$$

Sommando le due variazioni trasversali otteniamo quella longitudinale quindi il materiale non subisce variazione di volume, sta semplicemente cambiando forma lungo i 3 assi.

Se $\nu < 0,5$ ad esempio $\nu = 0,25$

$$\begin{cases} |\epsilon_x| = \frac{1}{4} |\epsilon| \\ |\epsilon_y| = \frac{1}{4} |\epsilon| \end{cases} \Rightarrow |\epsilon_x| + |\epsilon_y| = \frac{1}{2} |\epsilon| \Rightarrow \underline{\Delta V > 0}$$

Selezionando il materiale, subisce una variazione longitudinale e trasversale ma anche in tutte le direzioni quindi otteniamo una variazione di volume

CELLE ELEMENTARI E RETICOLI

15/10/2012

Nei solidi cristallini la struttura si ripete, in quelli amorfi si ripete solo a breve raggio (legame)

Silicio e ossigeno danno vita a 2 materiali diversi: quarzo, cristallino vetro, amorfo. Il quarzo è monocristallo, la ripetizione vale per tutto il materiale, è anisotropo. Per i vetri non n è una direzione preferendo quindi è isotropo, le differenze vanno ad equilibrarsi e si avranno prop. costanti sul solido macroscopicamente.

Struttura a impaccamento compatto: gli atomi (o molecole) devono occupare il minor spazio possibile quindi ognuno va ad inserirsi nell'incavellamento tra 2 delle righe precedenti, il secondo piano si costituisce allo stesso modo posizionando gli atomi tra gli incavellamenti anche del primo piano. Nel caso del terzo piano gli atomi possono occupare o le posizioni occupate nel primo piano o ^{essere} in posizioni traslate.

La disposizione può essere o A-B, A-B, ... o A-B-C, A-B-C, ..., rispettivamente impaccamento esagonale o impaccamento cubico centrato.

Neella definizione dei piani si può riconoscere la cella elementare.

La cella elementare EC ha sei atomi attorno ad uno, quella CFC ha un atomo ad ogni vertice del cubo e uno al centro di ogni faccia, quella CCC è meno compatta, un atomo ad ogni vertice del cubo e un al centro di esso.

7 sistemi cristallini:

cubica $\Rightarrow a=b=c \quad \alpha=\beta=\gamma=90^\circ$

tetragonale $\Rightarrow a=b \neq c \quad \alpha=\beta=\gamma=90^\circ$

ortorombica $\Rightarrow a \neq b \neq c \quad \alpha=\beta=\gamma=90^\circ$

romboedrica $\Rightarrow a=b=c \quad \alpha=\beta=\gamma \neq 90^\circ$

esagonale $\Rightarrow a=b \neq c \quad \alpha=\beta=90^\circ \quad \gamma=120^\circ$

monoclinico $\Rightarrow a \neq b \neq c \quad \alpha=\gamma=90^\circ \neq \beta$

triclinico $\Rightarrow a \neq b \neq c \quad \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$

17/10/2012

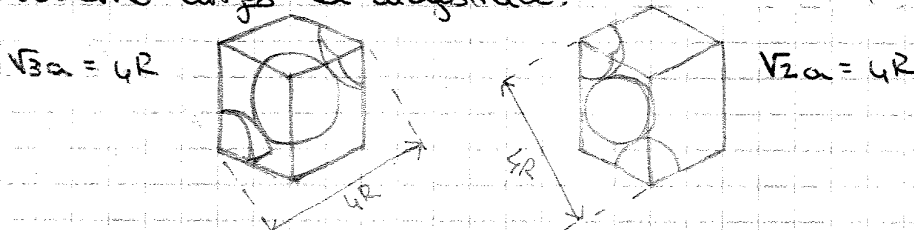
Le deformazioni e i punti di debolezza dei materiali sono collegati a determinate orientazioni. Il 90% dei materiali cristallizza nelle forme cubica a corpo centrato, cubica a facce centrate e esagonale compatta, con un semipiano intermedio tra le due facce esagonali, semipiano composto da 3 atomi che vanno ad insidiarsi nelle zone di maggior vuoto. Esiste un grado di vuoto all'interno della cella.

CELLA CCC :

$$\text{atomi} = 1 + \frac{1}{2} \cdot 8 = 2$$

Volume occupato è 2 volte il volume dell'atomo.

relazione tra raggio atomico e lato della cella $\sqrt{3} a = 4R$, gli atomi si toccano lungo la diagonale.



CELLA CFC :

$$\text{atomi} = \frac{1}{8} \cdot 8 + \frac{1}{2} \cdot 6 = 1 + 3 = 4$$

relazione tra raggio atomico e lato della cella $\sqrt{2} a = 4R$

CELLA EC :

simile alla struttura CFC ruotata, quindi stesso fattore di impacchettamento atomico.

È più facile far scivolare gli atomi di piani contigui per le strutture EC e CFC che per la struttura CCC perché sono più incastrati in quest'ultima.

↓ FIA minore

Un sistema di indicizzazione permette di localizzare gli atomi, gli assi y e z sono quelli rispettivamente orizzontale e verticale, l'asse x è quello uscente dal piano. La posizione viene indicata scrivendo le coordinate all'interno di parentesi tonde separandole da virgole.

Le direzioni si indicano tracciando una retta tra il punto di partenza e il punto di arrivo, se il punto di partenza non è nell'origine degli

M. 1

DIREZIONI

A $\rightarrow \frac{1}{3} \ 1 \ 0 \quad [1 \ 3 \ 0]$

punto finale - punto iniziale

B $\rightarrow (1-1) \ (1-0) \ (0-0) \quad [0 \ 1 \ 0]$

C $\rightarrow (1-1) \ (1-0) \ (1-0) \quad [0 \ 1 \ 1]$

D $\rightarrow (0-0) \ (\frac{2}{3}-1) \ (0-1) \quad [0 \ \bar{1} \ \bar{3}]$

A $\rightarrow -1 \ \frac{1}{3} \ 1 \quad [\bar{3} \ 1 \ 3]$

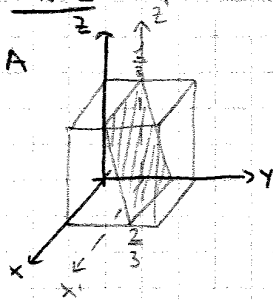
B $\rightarrow [0 \ 1 \ \bar{1}]$

C $\rightarrow [0 \ 1 \ 1]$

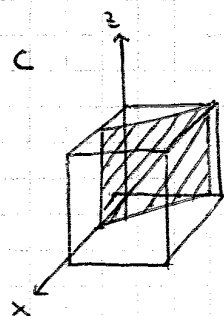
D $\rightarrow [\frac{1}{2} \ 0 \ \bar{1}] \rightarrow [1 \ 0 \ \bar{2}]$

M. 2

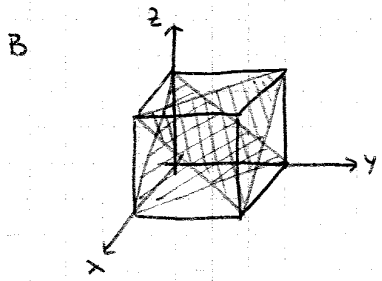
PIANI



$\infty \ \frac{1}{3} \ 1$
 $(0 \ 3 \ 1)$ reciproci



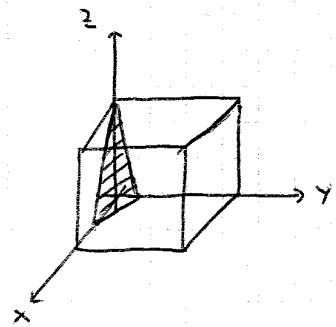
$\frac{1}{2} \ \frac{1}{5} \ 0$
 $2 \ \frac{3}{5} \ 0$
 $(8 \ 5 \ 0)$



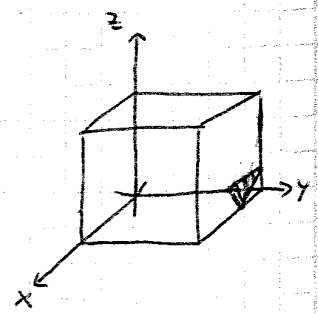
$(1 \ 1 \ 1)$

M. 3

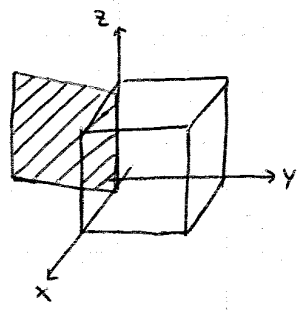
A $(2 \ 3 \ 1)$
 $\frac{1}{2} \ \frac{1}{3} \ 1$



C $(3 \ \bar{3} \ 4)$
 $\frac{1}{3} \ -\frac{1}{3} \ \frac{1}{4}$



B $(5 \ \bar{1} \ 0)$
 $\frac{1}{5} \ -1 \ \infty$



proprietà composito: $\rho_c = f_m \cdot \rho_m + f_f \cdot \rho_f = f_f \cdot \rho_f + (1-f_f) \rho_m$

fibre e matrice contribuiscono con lo stesso peso alle proprietà

densità composito: $\rho_c = f_f \rho_f + f_m \rho_m = f_f \rho_f + (1-f_f) \rho_m$

SOLLECITAZIONE IN DIREZIONE PARALLELA ALE FIBRE

La deformazione subita dalle fibre e dalla matrice è la stessa

In tal caso si dice ISODEFORMAZIONE

$$\delta = f_f \delta_f + f_m \delta_m$$

$$\delta = f_f E_f \epsilon + (1-f_f) E_m \epsilon$$

$$E_f = E_m = E$$

$$E_{\text{composito}} = \frac{\delta}{\epsilon} = f_f E_f + (1-f_f) E_m$$

SOLLECITAZIONE IN DIREZIONE PERPENDICOLARE ALE FIBRE

Fibre e matrice non subiscono la stessa deformazione. Siamo nel

caso dell'ISOSOLLECITAZIONE

$$E_{\text{composito}} = f_f E_f + (1-f_f) E_m = f_f \frac{\delta}{\epsilon_f} + \frac{(1-f_f) \delta}{\epsilon_m}$$

$$E_{\text{composito}} = \frac{\delta}{\epsilon_{\text{composito}}} = \frac{1}{\frac{f_f}{E_f} + \frac{1-f_f}{E_m}}$$

È molto più utile considerare le proprietà specifiche ossia rapporto tra valore assoluto della proprietà e la densità.

$$\text{PROPRIETÀ SPECIFICA} = \frac{|\text{PROPRIETÀ}|}{\rho}$$

METALLI / TERMOPLASTICI

CERAMICI / TERMOINDURENTI

ELASTOMERI

La presenza di difetti puntuali può creare soluzioni solide o diffuse allo stato solido.

DIMENSIONE

Le soluzioni solide sono costituite da solente, presente per la maggior parte, e soluto, presente in maniera minoritaria.

Un atomo di soluto può andare a sostituire uno di solente e si ha soluzione solida SOSTITUZIONALE, quando sono confrontabili le dimensioni dei due atomi, se invece l'atomo va ad inserirsi in un piccolo vuoto si ha soluzione solida INTERSTIZIALE quindi gli atomi del solente mantengono la loro posizione mentre quello di soluto più piccolo si posiziona in una zona meno densa.

Una seconda caratteristica richiesta agli atomi per ottenere soluzione solida sostituzionale è di cristallizzare nella stessa struttura del solente, poi ancora è necessaria una elettonegatività simile tra i due atomi, altra caratteristica che deve essere simile tra gli ^{atomi} è la valenza, infine la differenza di dimensione tra i raggi atomici deve essere minore del 15%. In relazione a quanto tali parametri vengono rispettati si ha miscibilità totale (parametri molto soddisfatti), miscibilità parziale oppure immiscibilità. Sono le regole di Hume-Rothery.

Per le soluzioni solide interstiziali la situazione è un po' diversa, le soluzioni non formano un reticolo quindi si avrà sempre miscibilità parziale.

È interessante studiare i processi che portano gli atomi di soluto in quello di solente. Nel liquido moto browniano, nel solido la differenza sta nella temperatura.

Se atomi A sono depositati su un blocco di atomi B e il tutto viene riscaldato, gli atomi interdiffondono con velocità data dalla legge di Fick.

Esiste una forza spingente: grado di concentrazione.

PRIMA LEGGE DI FICK:
$$J_x = -D \frac{dC}{dx}$$

J_x = flusso atomico che si muove all'interno di un reticolo

D = diffusività $\frac{dC}{dx}$ = differenza di concentrazione

Dissecazione a vite: scorrimento parallelo all'inserimento del piano
Prima dell'inserimento del piano gli atomi erano tutti alla stessa ^{massima} distanza / ^{stabilità}
dopo sono in una situazione di compressione.

Nella parte del reticolo non interessata dall'inserimento, gli atomi entrano in
trazione a causa dei legami con gli atomi che si spostano per l'inserimento.
Questa influenza diminuisce man mano che ci allontaniamo dalla linea
dissecazione.

Le dissecazioni spiegano il comportamento dei metalli per quanto riguarda
la duttilità (non duttilità dei metalli non dei polimeri).

In tutti i materiali reali ci saranno dissecazioni. Il materiale sollecitato
risponde attraverso la duttilità. Immaginiamo di applicare uno sforzo
topico che impinge al piano di sopra di spostarsi verso destra e quello di
verso sinistra assisteremo al modo delle dissecazioni, piano piano si ha la
trascrizione completa perché i legami tra gli atomi si rompono e si ricreano
con gli atomi non mano accanto. L'energia necessaria è minima perché il
tutto è dovuto ai fenomeni di attrazione e repulsione che si creano quando
2 atomi entrano in contatto.

Come influiscono le dissecazioni in un materiale in cui è presente un atomo
interstiziale? La presenza di un atomo estraneo nel reticolo porta gli atomi
in compressione, gli atomi estranei possono diffondere, ad esempio mediato
dalla temperatura, ma visto che vi è una zona perturbata per la dissecazione
l'atomo tenderà ad andare in quella zona, si colloca subito sotto il piano og-
tivo perché lì gli atomi sono in trazione, esso comporta compressione
quindi i due difetti si compensano. L'atomo non si muove più da quella
posizione anche se vi è ancora l'azione della temperatura.

Quando invece vi è un atomo sostituzionale, l'effetto dipende dalla dimen-
sione dell'atomo estraneo. Se è maggiore di quelli del reticolo induce
compressione e muovendosi a causa della diffusione va a bilanciarsi

legami e avere una traslazione completa ma a quel punto si ha rotta
 Nel caso di legame ionico impendendo uno scarrinamento lungo piani in cui
 si avvicinando cariche positive e cariche negative si avrebbero a contatto
 cariche di ugual segno, impendendo invece lungo un'altra direzione in
 cui invece non si avvicinano le due cariche sarebbe possibile ma si ha
 una densità atomica troppo bassa, gli atomi sono troppo lontani.

I materiali cristallini si dividono in monocristalli, materiali che hanno
 unico ordine (reticolo sempre uguale), sono difficilmente realizzabili in
 natura esistono alcuni materiali e policristallini, che hanno come dette
grani tra le quali cambia la direzione del reticolo, non vi è un unico
 ordine quindi nel materiale ma un unico ordine nel grano.

Il difetto tridimensionale è detto bordo di grano, le zone di contatto in
 devono incastrarsi gli atomi e perciò si perde leggermente l'ordine ma
 non è paragonabile al materiale amorfo che è totalmente disordinato.

Alcune proprietà dipendono dalla direzione perciò vengono meno nei
 monocristallini → anisotropi.

Altro difetto tridimensionale è la presenza di pori, zone vuote.

La porosità rappresenta il volume vuoto, influisce sulla densità e sul mod
 elastico, sulla resistenza

$$P = \frac{V_p}{V_{tot}}$$

$$E = E_0(1 - 1,9P - 0,9P^2)$$

$$\delta_r = \delta_0 e^{-mP}$$

Ulteriore difetto sono i precipitati di una seconda fase. Soluto in eccesso
 forma un nuovo composto, possono avere forme notevoli ed essere concentrati
 o dimensioni minori ma più diffusi.

Precipitato coerente: il precipitato non condiziona significativamente la
 geometria del solente.

Precipitato incoerente: il precipitato ha un reticolo cristallino che rompe l'ord
 del reticolo del solente.

05/11/2012

LE CURVE MECCANICHE

Le prove meccaniche sono dei test per acquisire informazioni.

Nelle prove statiche aumentiamo gradualmente la sollecitazione fino a rottura, in quelle dinamiche la sollecitazione viene applicata bruscamente sotto forma di impulso, ^{in quelle} da fatica invece la sollecitazione è applicata ciclicamente per un gran numero di volte fino a produrre la rottura.

Le prove statiche possono essere a trazione, compressione e flessione e poi di durezza, che sono a se stessi in quanto non si aumenta gradualmente.

Gli apparecchi, zone estreme dei provini, possono essere filettati o avere la forma ad osso di cane: la sezione del provino è costante, le estremità servono per inserire il provino nella macchina.

La trazione provoca deformazione plastica dovuta al movimento delle dislocazioni, vi è allungamento irreversibile.

Il meccanismo è collegato ad un computer che registra la variazione, in base alla velocità con la quale il braccio mobile si sposta possiamo conoscere la forza, conoscendo la lunghezza iniziale possiamo calcolare e tracciare la curva sforzo - deformazione.

La curva varia per i materiali polimerici e in particolare consideriamo i termoplastici, fragili quindi si rompe subito a rottura.

Sono duttili, sottoposti a deformazioni irreversibili ma il loro grafico dipende dalla temperatura.

La curva per i ceramici evidenzia basso sforzo per trazione e sforzi molto maggiori per la compressione.

Il meccanismo misura la forza, noi dobbiamo inserire la sezione.

METALLI

Dopo il campo elastico vi è il campo plastico. Il passaggio non è così netto, vi sono fluttuazioni e non è facile capire precisamente in che punto finisce il tratto elastico.

Quando si parla di rigidezza si fa riferimento al modulo elastico.

CERAMICI → METALLI → POLIMERI (ordine di grandezza decrescente)

Quando si parla di resistenza ci si riferisce a $\sigma_{e0}, \sigma_y, \sigma_{0.2}, \sigma_R$.

Per la ductilità invece il riferimento è ϵ_R, ϵ_g , più un materiale è duttile più ϵ_R sarà maggiore, la deformazione a rottura di un ceramico è 0 perché il limite di snervamento = rottura.

TENACITÀ: più è tenace maggiore energia bisogna fornire.

Tenace non implica duttile. È legata all'area sottesa.

PROVE DI COMPRESSIONE E DUREZZA 07/11/2022

È importante che le superfici siano ben levigate.

Nelle prove di compressione è fondamentale la preparazione del provino, le due superfici superiore e inferiore devono essere perfettamente piatte perché vanno a combaciare con la macchina e, per una distribuzione uniforme, parallele altrimenti non si avrebbe perfettamente compressione in quanto non tutta l'area sarebbe perpendicolare alla forza.

Esistono anche le prove a flessione che si effettuano a 3 o 4 punti di carico.

A seconda delle geometrie che si usano ci sono prove diverse. È una selecitazione un po' più complessa.

Nelle prove di durezza non si misura tanto come il materiale risponde ad una selecitazione crescente ma come risponde alla penetrazione di una punta, non sono test distruttivi.

Applica un certo carico con uno strumento detto penetratore, il materiale risponderà facendo penetrare o meno, si avrà l'impronta che è quella del penetratore. È importante che la superficie sia ben levigata.

Il materiale può essere ancora utilizzato perché la prova non va ad influire le proprietà del materiale.

La punta del penetratore può avere diverse forme ed essere di diversi materiali quindi si hanno prove diverse.

DIAGRAMMI DI STATO

Diagramma di stato di una sostanza pura.

I diagrammi di stato indicano temperature e pressioni alle quali si ha la stabilità di una fase.

Le linee rappresentate contengono i punti in cui due fasi coesistono.

Nei punti tripli coesistono tutte e 3 le fasi.

Fase: uniformità di composizione chimica e di stato fisico.

REGOLA DELLE FASI O DI GIBBS

Indica in qualsiasi zona quali sono i gradi di libertà che caratterizzano il sistema.

$$V = m - \Phi + F$$

V è la varianza, m il numero di componenti del sistema, Φ il numero di fasi ^{indicate} compresenti nella zona e f i fattori fisici attivi

Per una sostanza pura si può variare a piacere T e P (all'interno della zona)

Per l'acqua in una fase: $V = 1 - 1 + 2 = 2$

m = 1 $\Phi = 1$ F = 2

Suona linea: $V = 1 - 2 + 2 = 1$

In una sola fase si possono variare sia T che P senza alterare il numero di fasi presenti, in due fasi si può variare un solo parametro, mentre tre fasi non si possono variare parametri.

Punto triplo: $V = 1 - 3 + 2 = 0$

Diagramma di stato di una sostanza a due componenti

Analizziamo solo i diagrammi a pressione atmosferica quindi consideriamo

la pressione costante e $F = 1$.

m = 2

Trasformazione di fase liquido \rightarrow solido

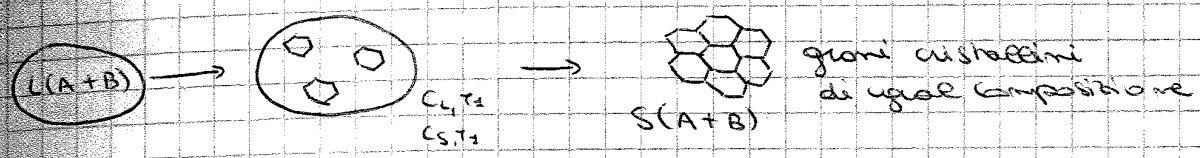
ci sono 3 casi!

Si ha quasi 80% di B (infatti solidifica prima) e 10% di A di solido e
circa 25% di B e 75% di A di liquido.

Sono percentuali negative, non appropriate rispetto ai 50% di A e 50% di B iniziali.

Per estendere al di sopra della temperatura di fusione di A, si ha già un
10% di A solido perché sono completamente miscolabili.

Se scendiamo al di sotto della temperatura di fusione di A il sistema è
tutto solido quindi si riottiene 50% di A e 50% di B ma in questo caso di solido.



grani cristallini
di uguale composizione

REGOLA DELLA LEVA

$$C_0 = m_s C_s + m_l C_l$$

$$m_s + m_l = 1$$

FRAZIONI IN PESO

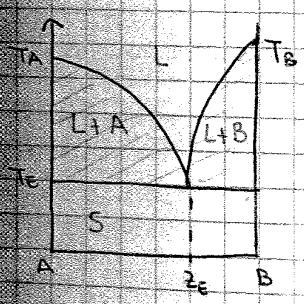
$$\Rightarrow C_0 = m_s C_s + (1 - m_s) C_l$$

$$m_s = \frac{(C_0 - C_l)}{(C_s - C_l)} = \frac{ec}{dc}$$

TRATTO DEL LIQUIDO
TOTALE

$$m_l = 1 - m_s$$

2° IMMISCIBILITÀ TOTALE ALLO STATO SOLIDO



Nelle due zone tratteggiate ci sono liquidi puri
A puro e liquido + B puro.

A puro e liquido + B puro.

La temperatura diminuisce fino ad un valore
definito temperatura eutettica, che resta costante

quindi siamo in una condizione di varianza nulla

perciò si avrà un punto, detto EUTETTICO, in cui si hanno le 3 fasi.

Si passa da una fase liquida in cui A e B sono completamente miscolabili
ad una solida in cui A e B sono completamente separati.

Le 3 fasi sono: una fase liquida e 2 solide.

Nel punto eutettico la varianza è nulla perciò la temperatura deve essere
costante. Il sistema passa direttamente da fase liquida a fase
solida, senza intervalli di solidificazione, si ottiene una struttura

soluzione solida β . Scendendo al di sotto della composizione eutettica si formano le lamelle non più di A e B puri, come il caso precedente, ma di α e β .

Per parte percentuali di A in B e per parte di B in A si ha miscibilità, superato il limite si ha immiscibilità ma tra α e β .

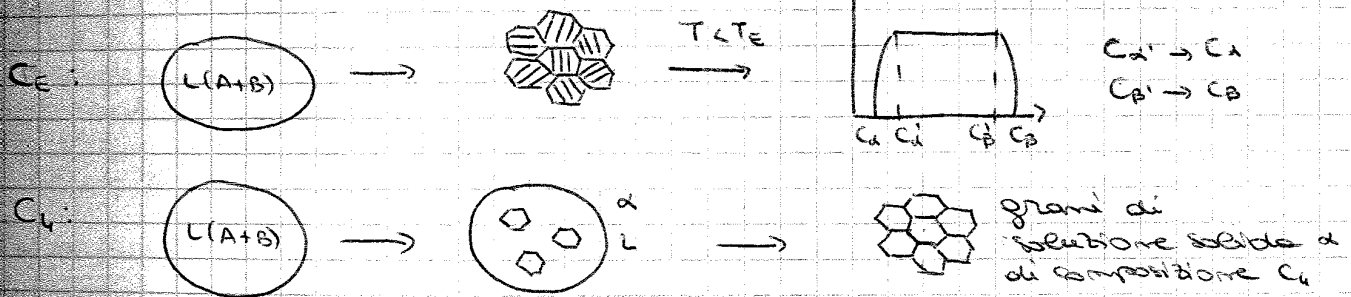
Alle composizione eutettica il sistema è solido con microstruttura a grani con lamelle alternate di α e di β .

Se siamo a temperatura $T_1 < T_e$ avremo una composizione di β e una di α . La struttura a lamelle resta invariata ma la composizione varia diminuendo la temperatura.

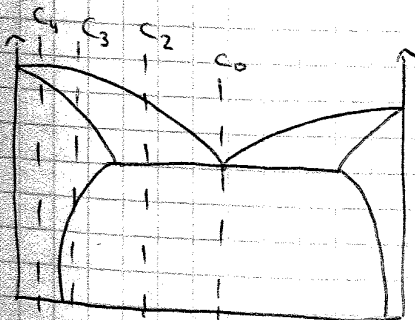
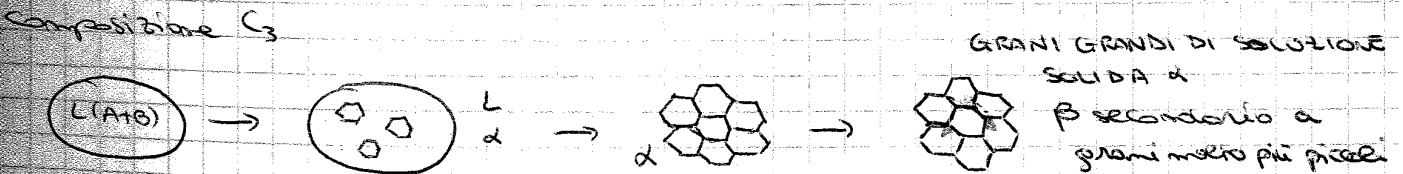
$$C_{\alpha_1}(B) > C_{\alpha_2}(B) \quad \text{con} \quad T_1 > T_2$$

Raffreddando una lega a composizione C_4 inferiore al limite di solubilità di B in A si formano i cristalli di α .

evoluzione composizionale

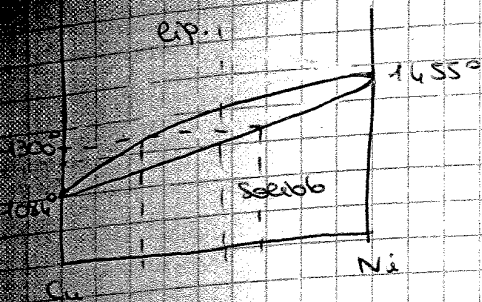


Se la curva di raffreddamento interseca quella di solubilità:



diminuisce, una volta superata la curva di solubilità, il numero di atomi di B che posso mettere in A fino ad annullarsi.

DIAGRAMMA CU - Ni



Leggo a base di nome e vice.

Non è importante la forma delle due curve ma bisogna intersecarle con la T per trovare la composizione.

Composizione di partenza: 53% Ni, 47% Cu

Sopra a 1400°C sono nella regione dell'equilibrio

a ~ 1330°C incrocio la curva di liquidus e si crea il primo cristallo costituito sia da Ni che da Cu.

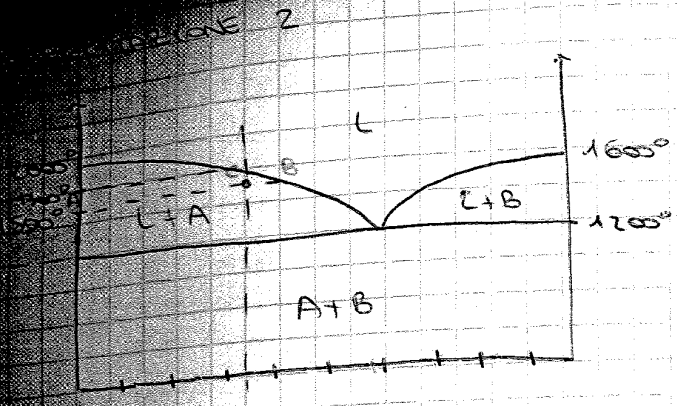
a 1300°C $C_d = 53\% \text{ Ni}$ (47% Cu)

$C_l = 45\% \text{ Ni}$ (55% Cu)

percentuali relative, la percentuale assoluta è sempre quella iniziale che varia nelle 2 fasi.

Continuando a raffreddare il solido continuerà ad arricchirsi di Cu e lo stesso avviene per il liquido perché entrambi scendono verso sinistra.

a ~ 1288°C incrocio la linea di solidus e il sistema diventa completamente solido, si ha soluzione solida α \Rightarrow essendoci completamente miscibili il sistema è tornato ad essere composto come quello di partenza 53% Ni, 47% Cu



$T_{FA} = 2000^\circ$ $T_{FB} = 1600^\circ$
 $T_E = 1200^\circ$ $C_E = 30\% A$

Sopra i $1100^\circ C$ il sistema è completamente liquido con composizione $60\% A$ e $40\% B$.

A $1700^\circ C$ incontriamo la linea di liquidus: si forma il primo germe di solido A.

A $1500^\circ C$ liquido + granelli di solido A. Sulla curva di liquidus leggiamo la

composizione del liquido: $40\% A$, $60\% B$. Sulla curva di solidus la compo-

sizione del solido: non abbiamo una vera e propria linea di solidus.

Solido $100\% A$.

Man mano che si raffredda (sopra i $1200^\circ C$) la composizione del solido

rimane $100\% A$, nel liquido diminuisce la percentuale relativa di A.

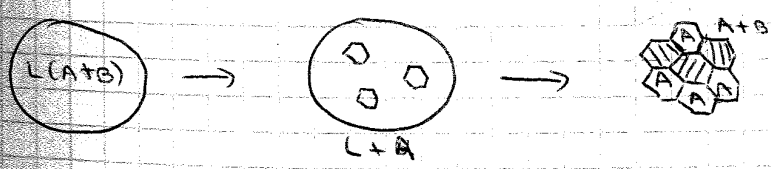
A $1200^\circ C$ avremo un liquido $30\% A$ e $70\% B$ che si trasforma in solido

completamente: avremo grani di A puro e grani eutettici A+B.

Nell'intero solido si ha come all'inizio $60\% A$ e $40\% B$.

$\% \text{ massa fase liquida} = \frac{AC}{AB}$

$\% \text{ massa fase solida} = \frac{BC}{AB}$



B è solido nelle lamelle, A sia nelle lamelle che nei grani.

$C_L = C_E = 35\% B$

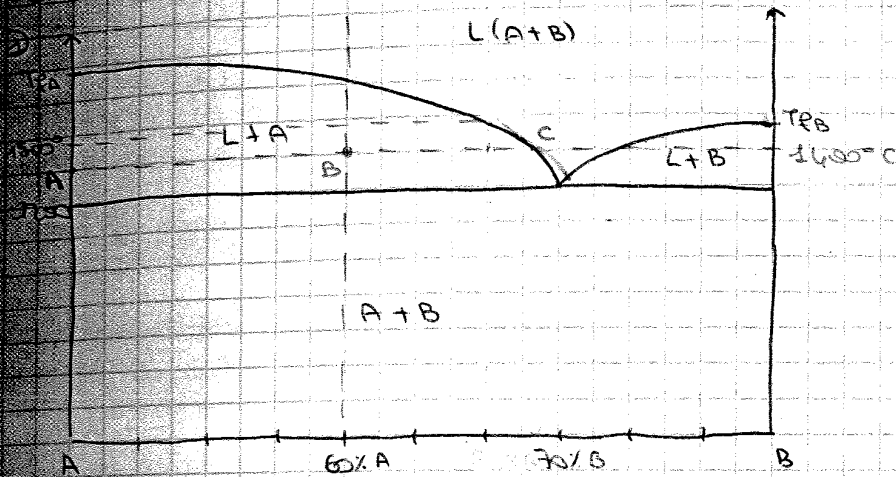
$C_B = 40\% A$



$C_B = 6\% A$

$C_A = 12\% B$

ESERCITAZIONE 4



$T \geq 1750^\circ C$

L(A+B)



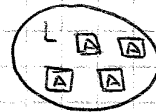
$T = 1700^\circ C$

primo grammo di A

$T = 1500^\circ C$

L + A solido

$C_s = 100\% A \quad C_l = 53\% B$



Raffreddando il liquido si impoverisce in A e si avvicina alla C_E .

$T = T_E = 1200^\circ C$

A+B solido

$C_s = 60\% A$



2) $m_L = \frac{AB}{AC} = \frac{1}{4}$

$m_S = \frac{BC}{AC} = \frac{3}{4}$

È tale energia che entra in gioco quando vi sono altri difetti che ostacolano il moto.

Le reticole si oppone al moto delle dislocazioni, si parla di resistenza intrinseca f_i della struttura cristallina allo scorrimento plastico.

I metalli puri sono teneri in quanto i legami metallici adirezionali si oppongono debolmente al moto dislocativo, mentre i ceramici sono duri perché i più localizzati legami covalenti/ionici bloccano le dislocazioni.

I ceramici non sono duttili ma ciò non vuol dire che non ci siano dislocazioni, la differenza è nel moto delle dislocazioni.

Per i metalli una deformazione ci indica che stiamo sollecitando troppo il materiale, per i ceramici invece si giunge direttamente a rottura.

La duttilità non è sempre un vantaggio perché se le dislocazioni si muovono velocemente basta una piccola sollecitazione per far cambiare forma al materiale.

Per intervenire sul comportamento meccanico di un metallo per diminuire la duttilità e quindi aumentare la resistenza si può agire in 4 modi sfruttando gli altri difetti:

- aggiungere elementi in lega per rafforzare la soluzione solida (f_{ss}),
- aggiungere precipitati o particelle disperse per rafforzamento per precipitazione o dispersione (f_{pp})
- aggiungere altre dislocazioni per indurre incrudimento (f_{wh})
- aggiungere bordi di grano per ottenere rafforzamento per taglia di grano (f_{gb}).

Nel momento in cui il difetto ostacola le dislocazioni non fa altro che aumentare la forza di attrito con cui il cristallo si oppone al moto delle dislocazioni. Gli ostacoli dati dai difetti dipendono dalla distanza di questi dalla dislocazione e dalla loro resistenza.

Definita l la distanza che li separa sul piano di scorrimento, il numero di ostacoli N_l per una lunghezza unitaria è: $N_l = \frac{1}{l}$.

Ogni ostacolo esercita una forza di bloccaggio p tale che il contributo degli

all'interno del metallo fuso, il procedimento si ottiene dal diagramma di stato, raffreddando si ha β secondario.

Raffreddando si ha prima α , poi superando la linea di solidus si ha il composto intermedio.

A temperatura ambiente la linea di solidus deve essere prossima al 100% del componente per avere i precipitati.

I requisiti quindi sono 2:

- composto intermedio
- solubilità a temperatura ambiente limitatissima

Se raffreddiamo velocemente gli atomi non hanno tempo di organizzarsi e si ha quindi materiale amorfo, raffreddando più lentamente si ha invece la struttura cristallina.

Anche per i precipitati raffreddando lentamente si ha separazione della seconda fase a bordo di grano, velocemente invece si forma una soluzione soprassaturata

Per raffreddare velocemente o si soffiava aria fredda o si immerge in acqua.

Si abbassa tantissimo la proprietà della diffusione allo stato solido perciò si formano precipitati di composto intermedio fini, grani piccoli e diffusi a differenza del raffreddamento lento grazie al quale i precipitati costituiscono pochi grani grandi.

Tempra = raffreddare velocemente

tempra + invecchiamento: precipitato coerente con la soluzione solida

sovra invecchiamento = precipitato incoerente, crea un reticolo diverso.

Particelle troppo resistenti per permettere alla dislocazione di attraversare:

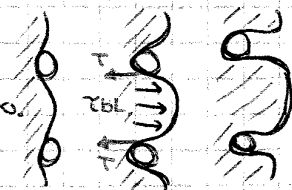
La dislocazione viene spinta in mezzo ad esse e

va via si flette creando un raggio sempre più stretto.

Il raggio raggiunge il valore minimo quando

diventa pari a metà della distanza tra le particelle L , dopo può espandersi sotto una sollecitazione inferiore.

La forza totale T_{bl} è contrastata dalla forza $2T$ dovuta alla



31/12/2012

INCRUDIMENTO PER DEFORMAZIONE PLASTICA A FREDDO

La laminazione serve per ridurre la sezione della barra metallica. Può essere fatta a freddo o a caldo: a freddo vuol dire che è eseguita ad una temperatura inferiore a quella di ricristallizzazione (0,3 o 0,5 volte T_F).

I grani fin di fabrico attraverso i due cilindri si orientano nella stessa direzione e si allungano, ciò porta ad un'anisotropia del materiale. Questa lavorazione porta alla formazione di nuove dislocazioni, che vanno ad ostacolare il moto principale delle dislocazioni che da la deformazione plastica.

Il materiale ha dei grani e delle dislocazioni, attraverso la laminazione a freddo i grani risultano orientati e creano dislocazioni.

Il reticolo cristallino è costretto a modificarsi.

Un metallo non laminato ha una densità di dislocazioni di 10^{10} m/m^3 ossia 1 cm^3 contiene circa 10 km di linea di dislocazione, metallo laminato invece 10^{17} m/m^3 circa 100 milioni di km per cm^3 . $\rho_d = \text{lunghezza linea dislocazione per } V \text{ unitario}$.

È come se stessimo creando una "foresta" di dislocazioni, la dislocazione principale nel suo cammino incontrerà altre dislocazioni che sono ostacoli. Il numero di difetti che induciamo è molto importante per il rallentamento e quindi per la modifica delle proprietà meccaniche.

Si crea un aumento di energia in casi tanti atomi che questi si oppongono al movimento quindi diminuisce la duttilità e aumenta la resistenza.

Ciascuna dislocazione è un ostacolo per tutte quelle perpendicolari ad essa. Quando esercita una forza di bloccaggio $p = \frac{Eb^2}{2}$ sulla dislocazione.

in un momento, si crea un $\Delta\tau = p/bl$

$$L = \frac{1}{\sqrt{\rho_d}} \Rightarrow \tau_{wh} = Eb\sqrt{\rho_d}/2$$

Maggiore è la densità delle dislocazioni, minore la distanza che le separa, maggiore il contributo a τ_{wh} .

Il vertice del semi piano aggiuntivo è il punto maggiormente deformato del

eseguite a temperatura maggiore di quella di ricristallizzazione. Il materiale può essere migliorato attraverso trattamenti termici. Quindi con queste a caldo nel punto lavorato si ha incrudimento, mentre parte già lavorata si ha automaticamente ricottura e ricristallizzazione grazie alla temperatura elevata.

L'aumento di resistenza è quasi sempre associato ad una perdita di duttilità, per cui si riduce la deformazione ϵ . Il materiale è più resistente ma non può più essere deformato in modo esteso senza indurre rottura.

5/12/2012

LA TENACITA'

La tenacità è legata ad un concetto energetico.

Resistenza: limite elastico di smarrimento, capacità di opporsi alla deformazione plastica. Tenacità: quantità di energia per unità di volume assorbita dal materiale per pervenire a rottura.

L'area sottesa alla curva $\sigma - \epsilon$ è proporzionale all'energia che è servita per romperlo. Il lavoro necessario per portare a rottura il materiale o sia lavoro di frattura quantifica la capacità del materiale di opporsi alla propagazione della frattura. L'utilizzo della curva permette solo una

stima, prove sperimentali per la tenacità si basano una sul calcolo dell'energia assorbita dal provino ^{intagliato sottoposto a trazione} prima di rompersi, l'altra è una prova di resilienza. La resilienza è la capacità di resistere a sollecitazioni impulsive, è l'energia per unità di superficie assorbita da un materiale portato a rottura, tramite deformazione elastica (tenute deformazione plastica)

Si usa un pendolo con una massa definite, dotato di un'energia potenziale. L'energia assorbita si trasforma in un abbassamento del punto di arrivo del pendolo.

La prima tipologia di misura è adatta sia ^{per} materiali duttili che fragili, la seconda invece presenta problemi per materiali troppo duttili e materiali troppo fragili. $U = mgh$

TENACITÀ A FRATTURA: $K_{Ic} = \delta^* \sqrt{\pi c}$

(3)

È una proprietà del materiale dipendente dal modulo elastico E e dalla tenacità G_c , proprietà di un materiale che contiene una fessura, un difetto. Descrive la capacità di resistere alla propagazione, la tolleranza al difetto. Tanto più K_{Ic} è elevato, tanto più il materiale è tollerante alla presenza di un difetto microscopico, ossia resiste alla sua propagazione.

$K_{IcA} > K_{IcB}$ e $c_A = c_B$ (pari taglia del difetto)

$\Rightarrow \delta^*_A > \delta^*_B$

LA CRICCA INTERROMPE I LEGAMI E LA δ SARÀ TRASMESSA AI LEGAMI ADIACENTI CHE DOVRANNO SOSTENERE UN CARICO MAGGIORE.

$K_{IcA} > K_{IcB}$ e $\delta^*_A = \delta^*_B$

$\Rightarrow c_A > c_B$

$c_A > c'_A$ a pari sollecitazione remota: $\delta_{c_{max}} > \delta'_{c_{max}}$

$\Rightarrow \delta^* < \delta'^*$

CASO DEI MATERIALI FRAGILI

La frattura genera 2 nuove superfici. Ogni superficie è associata ad un surplus di energia.

Tensione superficiale γ : il lavoro che occorre spendere per aumentare unitariamente l'estensione superficiale di una fase ($J/m^2 = N/m$)

Nei materiali fragili per crescere una cricca costa l'energia necessaria a creare le due nuove superfici di frattura.

$G_c = 2\gamma = \text{TENACITÀ}$

$G_c = \text{VELOCITÀ DI RIVA} = \text{SCIO DELL'ENERGIA}$

Lavoro per unità di volume: $dW = \delta d\epsilon$

$W = \int_0^{\delta^*} \delta d\epsilon = \int_0^{\delta^*} \delta \cdot \frac{d\delta}{E} = \frac{(\delta^*)^2}{2E}$

Se si considera ora un componente in cui è presente una fessura di lunghezza c , la presenza della cricca induce un rilassamento in una zona

semi-cilindrica di raggio c , il che induce la liberazione dell'energia elastica

$W_c = \frac{1}{2} \frac{\delta^2}{E} \cdot \frac{1}{2} \pi c^2$

Se si considera la propagazione della cricca di un'entità pari a δc , l'energia elastica liberata deve compensare il lavoro per creare nuove

Per una superficie già rovinata, bastano meno energie per deformarla ulteriormente. Le fessure, le cricche, i difetti microscopici concentrano la sollecitazione. ②

In un provino intagliato le linee di forza si accumulano in prossimità delle punte intagliate, più una zona è ricca di linee di forza più è sollecitata quindi è facile che si rompa.

Non è necessario applicare uno sforzo pari a σ_{max} per avere rottura ma un valore tanto più inferiore a σ_r quanto più è appuntito.

Fori, fessure, filettature e variazioni di sezione del componente concentrano localmente le sollecitazioni.

Meglio più difetti piccoli che uno solo grande.

Per effetto di concentrazione dello stress: $\sigma_{max} \text{ reale} = \sigma_{nom} \left[1 + d \left(\frac{c}{p} \right)^{1/2} \right]$

σ_{nom} = carico / sezione resistente trascurando la presenza di difetti

$d \rightarrow$ fattore pari a una 2 a trazione, a una 0,5 a flessione.

FATTORE DI CONCENTRAZIONE DI SOLLECITAZIONE: $K_{sc} = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{nom}} = 1 + d \left(\frac{c}{p} \right)^{1/2}$ * RAGGIO DI CURVATURA FINITO

Modo I di propagazione della cricca: a trazione semplice \downarrow

Lontano dalla cricca dove $p \gg c$ la sollecitazione locale scende al valore σ , in prossimità del vertice, dove $p \ll c$ essa cresce proporzionalmente a $\frac{1}{\sqrt{p}}$

$\sigma_{reale} = \sigma_{nom} \left(1 + Y \sqrt{\frac{\pi c}{2\pi p}} \right)$ con $Y \approx 1$

vicino al vertice diventa: $\sigma_{reale} = \sigma_{nom} Y \frac{\sqrt{\pi c}}{\sqrt{2\pi p}}$

La σ_{reale} varia secondo un fattore: $\sigma_{reale} \propto \sigma_{nom} \sqrt{\pi c}$

Si definisce il fattore di intensità di sollecitazione di modo I K_I :

$K_I = Y \sigma \sqrt{\pi c}$ che si misura in MPa $\cdot\sqrt{m}$

Quando la σ_{reale} eguaglia la resistenza del materiale a rottura σ_r , la fessura propaga. Si definisce sollecitazione critica σ^* la sollecitazione nominale applicata all'intero componente che induce localmente una concentrazione di sollecitazione tale per cui $\sigma_{reale} = \sigma_r$.

Le fessure propagano quando K_I eccede un valore critico, detto fattore critico di intensità di sollecitazione di modo I K_{Ic} : $K_{Ic} = Y \sigma^* \sqrt{\pi c} \approx \sigma^* \sqrt{\pi c}$

ma salite e presentano caratteristiche dipendenti dalla temperatura.

Il moto di tali spezzoni dissipa energia.

Se $T < T_g$ (temperatura di transizione vetrosa) i legami secondari sono presenti, modulo elastico è più elevato $\rightarrow \eta$ è contenuto

Se $T > T_g$ i legami secondari scompaiono, modulo elastico è più basso, catene mobili $\rightarrow \eta$ è elevato.

Circa l'80% delle rotture di componenti metallici è dovuto a fenomeni di fatica.

Fatica ad alto numero di cicli quando gli sforzi sono inferiori alla σ_y di smezzamento, fatica a basso numero di cicli quando gli sforzi sono compresi tra σ_y e σ_{max} .

Per l'alto numero di cicli vediamo solo deformazioni plastiche, per il basso numero di cicli le dislocazioni comportano altri difetti.

La fatica ad alto numero di cicli fornisce un'indicazione reale in quanto le strutture vengono fatte lavorare in campo elastico a valori di stress inferiori a σ_y . Tuttavia, sebbene $\sigma < \sigma_y$ si possono produrre danneggiamenti che si propagano fino a rottura.

Gli errori spesso sono legati alla presenza accidentale di difetti all'interno del materiale. Bisogna analizzare la resistenza a fatica del materiale in presenza di difetti, si pre-cicca a posto il materiale e si valuta la proprietà per vedere se lo sforzo che deve essere sostenuto sta nel campo del materiale.

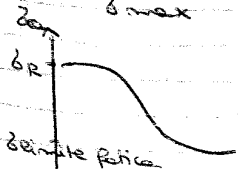
Componenti non danneggiati \rightarrow vita a fatica consumata nel generare frattura

Componenti danneggiati \rightarrow fatica controllata dalla propagazione di cricca

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad \text{sforzo medio}$$

$$S = \sigma_a = \frac{\Delta \sigma}{2} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad \text{ampiezza di sollecitazione}$$

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$$



La curva di Wohler mette in relazione la componente alternata di un ciclo di fatica con il numero di cicli che un provino sopporta prima della rottura ad una prefissata probabilità.

Fori per rivetti, variazioni di sezione brusche, flettature, intagli, ...

ampliano i difetti e immedesimano le cricche, anche imperfezioni superficiali.

Si danneggia in prossimità del punto in cui si ha il massimo sforzo reale quindi all'apice della cricca, anche se $\delta < \delta_y$ e δ è collettivamente moltiplicata al vertice della cricca porta a deformazione plastica.

Costo di sbalzo limitato al piccolo volume in prossimità del vertice.

Per fatica ad alto numero di cicli, una volta che la cricca è presente, propaga.

La fatica e la tenacità a rottura si influenzano molto e un'altra.

In uno sforzo di tipo ciclico la fase più critica è la trazione, anche la compressione però fa il suo ruolo: è vero che avvicina le parti ma ripiega la superficie e rimodifica la situazione indecendo allungamento graduale della cricca. I difetti sono acceleratori di fatica.

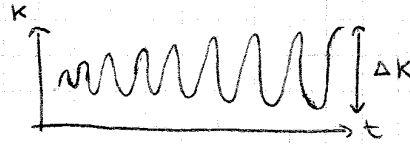
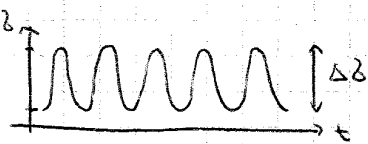
Per superfici curve vi è la comparsa di coniugamenti.

Ogni striatura è la separazione progressiva dovuta ad ogni ciclo finché la superficie non è più sufficiente e si rompe di schianto.

Per componenti fessurati o strutture ad alto rischio si effettua un

pre-screening con tecniche di indagine non distruttive ma se la fessura è al di sotto del limite di detezione si considera una fessura "teorica" e ^{si proietta la struttura} effettiva sopravvive.

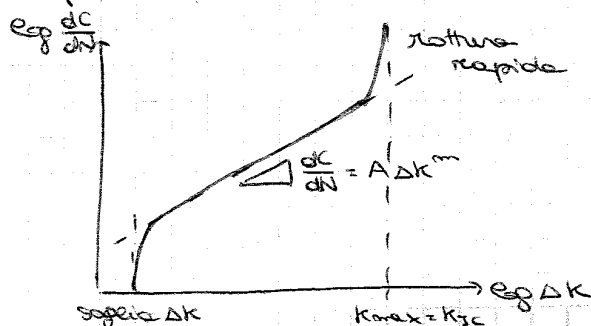
Si introducono difetti a geometria controllata e si valuta la fatica; si confronta un provino modificato ed uno no, per quello modificato ^{resistenza a} la fatica sarà ovviamente più bassa ma bisogna capire di quanto.



Formiamo una δ costante nel tempo, in prossimità della cricca invece l'intensità di sollecitazione percepita aumenta man mano che la cricca propaga.

$$K_{IC} = \delta \cdot \sqrt{\pi c}$$

$$\Delta K = K_{max} - K_{min} = \Delta \delta \sqrt{\pi c}$$



$\frac{dc}{dN}$ velocità di crescita della cricca ciclo per ciclo.

POLIMERI

17/12/2022

Costituiti da macromolecole con ripetizione del gruppo funzionale di carbonio e idrogeno. L'unità ripetitiva rende riconoscibile il polimero stesso. Le proprietà dei polimeri sono influenzate dai legami che si creano tra le varie macromolecole o tra le proprie della stessa macromolecola.

Se il polimero è debolmente reticolato è un termoplastico, se ci sono pochi legami trasversali ma forti si parla di elastomeri se invece sono molto e forti si parla di termoindurenti.

TERMOPLASTICI → flessibili e resistenti a T ambiente, rammolliscono ad alte temperature, non possiamo agire sui legami forti tra C e H ma possiamo cambiare forma. Sono riciclabili, sono duttili.

TERMOINDURENTI → non si differenziano i legami intramolecolari da quelli trasversali quindi riscaldando si rompono i legami, sono fragili.

Per azione della T durante la sintesi, diventano più rigidi e resistenti dei TP. Non sono riciclabili.

ELASTOMERI → le macromolecole può muoversi parzialmente ma ci sono i legami trasversali forti che segnano dei punti fermi.

Subiscono grandi allungamenti (anche fino a 10 volte la lunghezza iniziale) recuperando la forma iniziale.

La polimerizzazione permette la creazione dei legami.

A seconda della natura del monomero si può avere:

- addizione, aggiunta di un monomero alla volta o seguito,
- condensazione, in cui i monomeri di partenza hanno due gruppi funzionali e in grado di reagire fra loro con l'eliminazione di un sottoprodotto (generalmente acqua).

POLIMERIZZAZIONE PER ADDIZIONE

C'è bisogno delle unità monomeriche, affinché queste sia in grado di reagire con le altre unità c'è bisogno di un inibitore e si ha poi la propagazione perché l'unità è attiva e può allungare la catena.

catene, si ha disordine.

Creamo i legami trasversali tra le macromolecole.

Se la polimerizzazione procede lungo una direzione preferenziale o si hanno ramificazioni ma solo nella struttura principale si hanno i TP, se invece la struttura è ramificata, con nodi tra i vari rami si hanno per elastomeri, i TI invece hanno una struttura a rete.

Altra caratteristica importante è la disposizione nello spazio delle macromolecole: a spagetti, disordine; le catene cercano di ordinarsi e il modo più semplice per farlo è ripiegarsi su se stesse; le ramificazioni rendono difficile tale ripiegamento quindi si ha la distribuzione a frange la più diffusa è quella a spagetti.

Il processo di reticolazione per i termoindurenti avviene tramite legame tra le macromolecole per mezzo di calore o γ , ^{calore e pressione} è una struttura che resta così per tutta la vita del polimero, non può essere modificata.

I TI non sono modificabili a livello di struttura, possiamo romperli meccanicamente o decomporli termicamente.

Il processo di reticolazione degli elastomeri prevede che si prenda la struttura a spagetti e si sottoponga alla meccanizzazione che ^{inscrive} ~~crea~~ legami trasversali tra le catene come fossero punti di ricambio. Gli elastomeri sono polimeri amorfi con bassa T_g , che hanno subito una buona reticolazione.

Grazie alla meccanizzazione le molecole vengono unite da punti di reticolazione in molecole più grandi per limitare i movimenti molecolari.

I polimeri sono amorfi o parzialmente cristallini. Si può definire per ogni polimero la percentuale di cristallinità che dipende dalla linearità o ramificazione della catena.

CRISTALLINITÀ: rapporto % tra peso del polimero cristallino e peso totale.

La propensione a cristallizzare diminuisce con:

presenza nella catena di sostituenti ingombranti, presenza di ramificazioni, velocità di raffreddamento.

Il sistema non diventa flessibile ma plastico dopo T_g perché c'è una parte cristallina

FASE AMORFA	vetro	gomme - fluido	fluido
FASE CRISTALLINA	cristallo	cristallo	fluido
		T_g	T_f

A seconda della temperatura il polimero ha quindi un comportamento diverso perciò è utile conoscere la T_g in relazione alla T a cui deve lavorare.

$T_a < T_g$ rigidi

$T_a > T_g$: gomme, facilmente deformabili e con scarse proprietà meccaniche per gli amorfici;

rigidi e tenaci con parte amorfa gommosa e parte cristallina rigida e resistente per i semicristallini.

La temperatura di transizione vetrosa di un polimero dipende dalla struttura della macromolecola perché arrivate a T_g , le catene scivolano, quindi catene lineari scivolano più facilmente delle ramificate. I gruppi laterali respingono le catene vicine: maggior mobilità interna minor T_g .

Dipende ancora dalla presenza di gruppi polari, legami a idrogeno e ioni metallici: > forze intermolecolari minor mobilità > T_g .

Infine dipende dalla cristallinità e la massa molecolare. La cristallinità riduce la mobilità delle zone amorphe, la massa molecolare aumenta e fa aumentare la T_g .

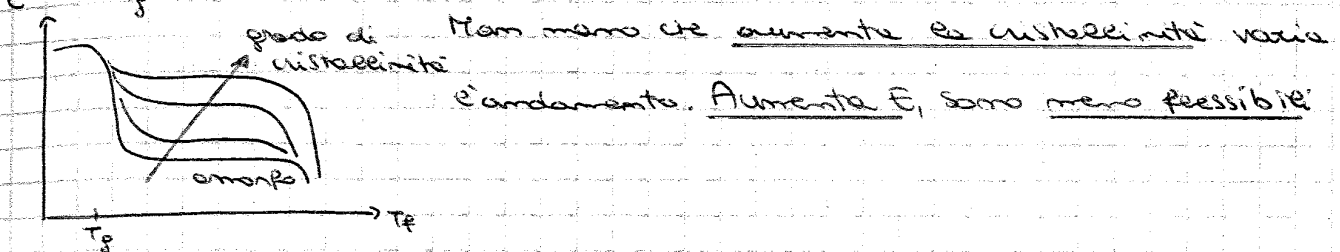
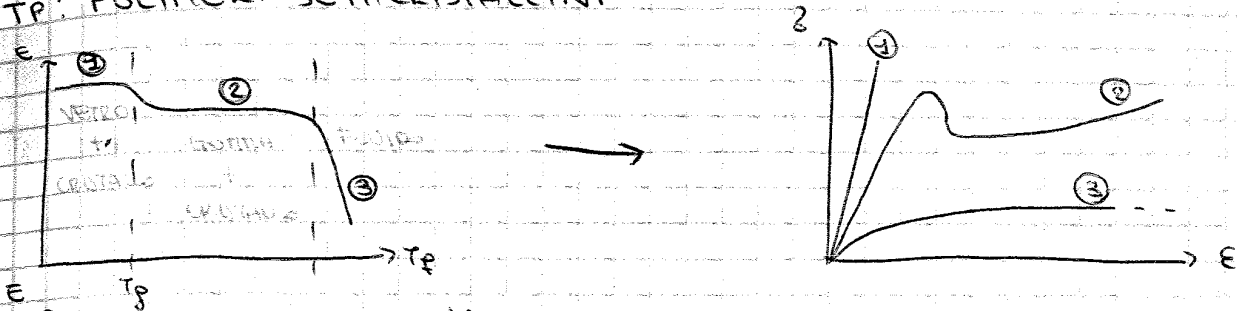
Se la densità influisce la presenza di ramificazioni perché varia il volume maggiore densità minore scivolamento perché meno volume vuoto.

Polimeri amorfici sono trasparenti, più diventano opachi più aumenta la cristallinità.

Sollecitando termicamente un polimero se è un termoadurente brucia se è un termoplastico cambia forma.

subine deformazioni più grandi per $T > T_g$ i polimeri termoplastici possono essere utilizzati solo in applicazioni non strutturali perché non mantengono la propria forma sotto l'applicazione di un carico.

TP: POLIMERI SEMICRISTALLINI



Man mano che aumenta la cristallinità varia l'andamento. Aumenta T_g , sono meno possibili.

La struzione per i TP si verifica subito dopo il punto di smarrimento.

Possono subire deformazioni molto più grandi dei metalli.

Il primo continua ad assottigliarsi, le catene si orientano e alla fine della prova avremo il tratto utile completamente affinato con macromolecole allineate lungo la direzione di selecitazione e aumento della resistenza.

Nei semicristallini la zona cristallina resta inalterata finché non si siano allineate tutte le catene della zona amorfa perché in quest'ultima ci sono meno legami trasversali (nella zona cristallina molti e deboli).

A $T < 0,75 T_g$ i polimeri TP sono fragili, a $T > 0,75 T_g$ diventano plastici.

Traffettura: le catene subiscono le une sulle altre allineandosi nella direzione di trazione.

Appena compare la struzione il fenomeno procede poi molto velocemente.

È più difficile avviare questo processo che mantenerlo attivo.

Le materie stirate e più resistenti e rigide di punto fosse in precedenza, di un fattore di circa 8, le che impartisce ai polimeri stirati proprietà proprie ma poiché si possono stirare solo in fibre o lastre le prestazioni sono limitate.

RISPOSTA MECCANICHE DELLE RESINE TI

In genere utilizzate al di sotto della loro T_g che è mediamente più elevate di quelle dei TP.

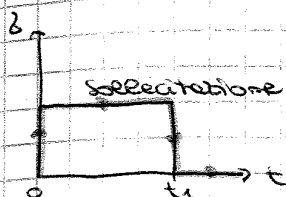
Resine epossidiche con $T_g = 150^\circ\text{C}$

$T < 30^\circ\text{C}$ fragile, segue la legge di Hooke

$30^\circ\text{C} < T < 100^\circ\text{C}$ fragile, con deboli deviazioni da linearità

$100^\circ\text{C} < T$ duttilità molto contenuta

VISCOELASTICITÀ E VISCOPLASTICITÀ

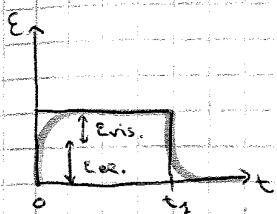


δ costante $\Rightarrow E$ costante materiali

viscoelasticità $\delta \ll \delta_y$

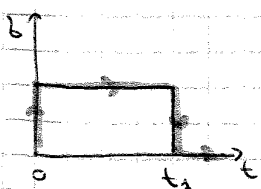
Nei polimeri invece a costante δ non segue costante E

(l'aggruppamento delle macromolecole permette loro di adeguarsi alla sollecitazione).



Dopo una deformazione istantanea iniziale, il materiale continua a deformarsi nel tempo per il riassetto delle molecole.

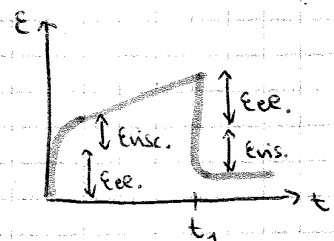
Recupera subito E_{ee} invece ci mette un po' a recuperare E_{vis} , risulta deformato momentaneamente.



viscoplasticità $\delta \sim \delta_y$

In campo plastico la deformazione continua finché non annulliamo lo sforzo.

Resta una deformazione plastica.



RAFFORZAMENTO DEI POLIMERI

Non essendo cristallini non si parla di moto dislocativo, bisogna far scivolare 2 segmenti di una catena polimerica. I polimeri sono rafforzati impedendo lo scivolare tra: per miscelazione, combinando due o più polimeri e la resistenza e il modulo della miscela corrisponderanno al valore medio dei singoli componenti in funzione delle frazioni volumetriche; per trafilatura, deliberato allineamento delle molecole sotto trazione per aumentare rigidità e trazione; per formazione dei legami trasversali (cross-linking) e da legami deboli forze di Van der Waals; dispersione di particelle di filler di basso costo: sabbia talco o segatura o con fibre - generalmente di vetro o di carbonio.

Sono i materiali che meglio soddisfano le preobiettività, ossia trasformano energia meccanica in energia elettrica e viceversa.

Gran parte delle utilizzazioni dei ceramici è sempre stata legata a proprietà chimiche e biologiche: non reagiscono con le sostanze e mantengono le proprietà anche ad alte temperature.

Come si producono dei componenti utilizzando materiali ceramici?

Non si possono utilizzare i processi di fusione da fuso, è scomodamente economicamente; non possono essere deformati plasticamente quindi si escludono anche i processi che si basano su esse.

Non resta che partire dalla preparazione di una polvere.

Polveri con composizione omogenea e purezza costante.

Due aspetti fondamentali: distribuzione granulometrica e area della superficie specifica. Granelli di forma sferica, è difficile ottenere sempre lo stesso diametro quindi si definisce un range di diametri con una distribuzione gaussiana dei diametri intorno al diametro medio.

L'area superficiale della polvere è data dalla somma delle aree superficiali delle particelle.

Le particelle non riescono a tenersi compatte in modo da dare una forma, il processo che lo consente è detto sinterizzazione.

È possibile sinterizzare anche un materiale metallico, in tale campo tale processo è meno diffuso per questioni economiche.

La formazione consente di ottenere il cuadro, compatto di particelle tenute insieme da deboli interazioni, che si trasformerà in oggetto con forti legami chimici tra i grani attraverso un trattamento termico. In funzione della geometria, caratteristiche finali, numerosità dei pezzi e costo vi sono diverse tecnologie di formazione.

3 grandi famiglie: pressatura, estrusione, colaggio.

Nei 3 processi varia la quantità di acqua da aggiungere ed esemplificando nella pressatura non si aggiunge affatto acqua o se ne aggiunge pochissime, aggiungendo acqua con tenore del 15-20% si ottiene una

La ceramica non ha ancora subito modifiche.
Il primo vuoto eliminato perché si avrebbe resistenza bassa: particelle ceramiche non legate, è il primo che resiste.

Si passa alla sinterizzazione, sotto l'azione del calore il volume si riduce.
Il sistema energeticamente più favorito è quello in cui riusciamo a legare le particelle e quindi il contatto tra gas e pori delle particelle è minore.
Per diminuire l'energia superficiale dell'interfaccia tra particelle e gas le particelle possono unirsi portando una crescita dei grani oppure possono creare interfacce solido-solido, processo che è detto appunto sinterizzazione. Viene sfruttata la diffusione allo stato solido.

La sinterizzazione produce una diminuzione di volume perché il materiale si sposta verso i vuoti, aumenta la densità infatti tale processo è detto anche densificazione.

Dilatometria: si segue la variazione di lunghezza di un campione per vedere a quale temperatura inizia la sinterizzazione.

Misuriamo volume e massa del campione conoscendo la densità, rapportando queste alla densità teorica si ottiene una densità relativa.

Man mano che si formano i colli ^{tra gli atomi} e ne questi si allungano la densità aumenta ma il materiale ha ancora porosità aperta ossia i vuoti sono connessi tra di loro continuando si passa ad un materiale a porosità chiusa (circa 92% densità teorica) fino all'eliminazione della porosità.

La propensione a sinterizzare dipende dall'area superficiale.

La polvere finissima tende a far crescere i grani quindi si perde la nanostruttura e non si ha la sinterizzazione.

Anche la distribuzione granulometrica è importante perché con particelle con diametri diversi è più probabile riempire i vuoti.

Che si applichi una sollecitazione meccanica o termica non fa differenza, effetto è lo stesso.

Ipotizzando che subisca la stessa deformazione lungo le 3 direzioni quindi il materiale sia isotropo si può considerare solo la lunghezza.

La variazione di lunghezza è direttamente proporzionale alla variazione di T che subisce il materiale attraverso un coefficiente α detto coefficiente di dilatazione termica lineare:
$$\frac{\Delta L}{L_0} = \alpha \Delta T$$

Per conoscere il coefficiente α faccio un'analisi dilatometrica, dalla quale si può analizzare sia l'espansione termica che la contrazione perché riguardano range di T molto diversi.

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot \frac{1}{\Delta T} \quad \text{si misura in } ^\circ\text{C}^{-1}$$

α ci dà informazioni di deformazione subita per una variazione di T di 1°C .

CALORE SPECIFICO: quantità di calore che dobbiamo fornire ad un materiale di massa unitaria affinché la sua T aumenti di 1°C .

Per i materiali solidi la quantità di energia termica si riferisce di solito a misure fatte a pressione costante quindi il simbolo del calore specifico è c_p .

Si misura in J/kgK

Due materiali diversi con stessa massa richiedono diversa energia per raggiungere la stessa temperatura.

Calorimetria: si fornisce energia termica al materiale, conoscendo la massa misuriamo ΔT .

CONDUTTIVITÀ TERMICA indica il flusso di calore che attraversa il materiale di spessore x con una superficie a temperatura T_1 e l'altra a T_2

$$q = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \text{1}^\circ \text{ LEGGE DI FICK}$$

Valore in condizioni stazionarie: si ipotizza che q e T della superficie resti costante nel tempo.

Il flusso termico è la quantità di calore che fluisce nell'unità di tempo attraverso una superficie unitaria.

$$q = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \cdot \frac{1}{A} \quad \left[\frac{\text{J/s/m}^2}{\text{A}} = \text{W/m}^2 \right]$$

16/01/2013

MATERIALI ED ALTE TEMPERATURE OPERATIVE

Le proprietà di un materiale si modificano al variare della temperatura. Alcune proprietà variano linearmente altre in maniera molto più rapida.

Dipendenza lineare:

- densità
- modulo elastico

La temperatura massima riportata sul grafico ρ, T o E, T è T_f di fusione, si considerano i materiali cristallini, perché oltre non c'è più elasticità.

Modo repentino:

- limite di snervamento

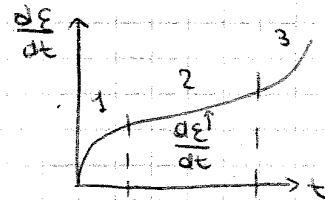
Se sollecitiamo un materiale a T ambiente, esso si deforma indipendentemente dal tempo di carico, ^{o è sia} un metallo o un ceramico.

Ad alte T invece gli stessi carichi che il materiale poteva sopportare a T ambiente non sono più sopportabili a causa dello scorrimento viscoso e la deformazione dipende dal tempo.

Deformazione lenta e continua nel tempo fino a rottura: FENOMENO DEL CREEP

$T_{per} \sim 0,35 \rightarrow 0,5 T_f$ per i metalli

$T_{per} \sim 0,45 \rightarrow 0,7 T_f$ per i ceramici



I ceramici riescono a mantenere le loro proprietà a T elevate ma ciò non è assoluto, è in riferimento alle altre classi di materiali.

Prove di creep: prove di sollecitazione con carico costante a T costante (trazione o compressione) per vedere la risposta del materiale nel tempo.

Il materiale subirà immediatamente una deformazione elastica

iniziale e si verificherà il creep primario. Ci sarà poi un tratto di

creep in stato stazionario in cui ci sarà una continua deformazione

Nell'ultimo tratto si avrà creep terziario, in cui il materiale si deformerà ancora rapidamente in tempi brevissimi fino a giungere a rottura.

Nello stato stazionario la velocità di deformazione è circa costante.

Nei materiali policristallini se una vacanza arriva nella regione del bordo di grano, un atomo deve abbandonare il bordo di grano, se ciò si verifica diverse volte su quel bordo di grano il lato del bordo di grano tende a scomparire. Al contrario se una vacanza lascia il bordo di grano entra un atomo a sostituirlo e verificandosi molte volte il cristallo tende a crescere.

I bordi di grano sono sottoposti a differenti sollecitazioni quando il materiale subisce dei carichi ad alte T , quelli perpendicolari alla direzione delle sollecitazioni ne risentiranno gli altri avranno invece sollecitazioni nulle e tenderanno a scomparire. Varietà la forma e il cristallo tende ad allungarsi nella direzione di σ .

Le variazioni avvengono quindi in corrispondenza dei bordi di grano perciò un materiale con grani di piccole dimensioni favorisce il creep in quanto la superficie tra i bordi di grano è maggiore.

Grani equiasici (sferoidali) promuovono il creep.

lungo i bordi di grano perpendicolari alla direzione di sollecitazione si creano delle cavità che aumentano pian piano e portano a rottura.

METALLURGIA

Un materiale metallico ha caratteristiche ben definite.

Quasi mai è costituito da un metallo puro, è di solito una lega di due metalli o da un metallo e un non metallo.

Non sempre la presenza di un non metallo permette di avere lega metallica, ad esempio gli ossidi (metallo + ossigeno) non sono leghe, né metalli.

I materiali metallici hanno una struttura cristallina: gli atomi sono disposti secondo geometrie precise e si ripetono nello spazio, ma non è da essa che dipendono le caratteristiche dei metalli, bensì dal legame.

- Conduttività elettrica e termica;
- opacità.

I metalli riflettono la luce solo se hanno superficie metallica, ossidanti arrugginiscono e per avere superficie metallica lo strato d'ossido deve essere rimosso meccanicamente. Per la riflessione inoltre la superficie deve essere piana, levigata ed ossidata.

Per analizzare il materiale per quanto riguarda la composizione chimica si può fare con due metodi:

- chimica analitica, processo lungo e costoso;
- planchometro, rilascia una scarica elettrica detta arco elettrico che fa evaporare il materiale e i vapori vengono analizzati. È un'analisi poco costosa, immediata e non-distruttiva.

Per analizzare la struttura del materiale si usano i raggi X, radiazioni con $\lambda \sim 10^{-10}$ m.

I raggi vengono originati in un tubo vuoto contenente un filamento di tungsteno. Esso percorso da corrente si riscalda ed emette e che sono accelerati da un campo magnetico (differenza di potenziale tra catodo e anodo) e vanno a colpire sull'anticatodo. Acquisiscono energia e vanno ad occupare orbitali superiori a loro non concessi, retrocederanno cedendo energie sottoforma di radiazioni con λ caratteristica del materiale.

I raggi X si dividono in:

- MACRO-ROENTGENGRAFIA, capacità dei raggi X di penetrare i corpi e
- DIFFRATTOGRAFIA, interazione dell'onda con un materiale che ha una periodicità della stessa lunghezza d'onda (raggi X bassa λ).

La legge di Bragg esprime la diffrazione del cammino ottico:

SALDATORA

La saldatura consiste nella giunzione di due pezzi metallici.

Se sono di stessa composizione si parla di saldatura autogena, se il pezzo appostato è di un metallo diverso si ha la brasatura, che ha tenuta meccanica minore e viene utilizzata molto in elettricità perché non si hanno altri stress meccanici.

La giunzione avviene tramite fusione, si ha una zona termicamente modificata ^{in cui} si creano tensioni: tale zona vorrebbe dilatarsi ma è frenata dal restante materiale non interessato dall'operazione.

Vi è gradiente termico tra zona saldata e non, per eliminarlo possiamo riscaldare il materiale e raffreddarlo lentamente in modo da uniformare la T ed eliminare le tensioni locali residue che sommandosi a quelle dovute al carico possono facilitare la rottura.

Nelle leghe di alluminio ad elevata resistenza sopra i 100°C c'è un calo delle caratteristiche meccaniche, quindi non si possono saldare.

L'alluminio fonde a 654°C , le leghe di alluminio a 600°C .

Anche per gli acciai ultraperformanti superando un limite di T si ha il calo e non si possono saldare.

Per sostituire la saldatura si utilizzano l'incollaggio e soprattutto la rivettatura, che per l'alluminio è fatta a freddo, per l'acciaio a caldo invece perché esso è troppo duro.

L'alluminio è più difficile da lavorare rispetto all'acciaio, si tende a non saldare; se contiene rame non si salda.

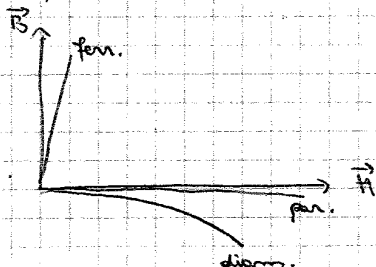
Acciaio: 0,50 €/kg

Alluminio: 6/5 €/kg

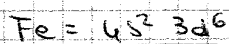
PROPRIETÀ MAGNETICHE

Un materiale sottoposto a campo magnetico esterno può rispondere in 3 modi:

- opposizione al campo magnetico, riduzione intensità DIAMAGNETISMO;
- incremento del campo, FERRIMAGNETISMO;
- nessi neutralità, PARAMAGNETISMO.



Il ferro ha 26 elettroni.



L'orbitale $4s$ ha energia minore, è il più esterno e forma i legami.

Nei orbitali d ci sono elettroni spaiati che

CONDUCIBILITÀ ELETTRICA

La migrazione di e^- fornisce conduzione. Nel ferro gli e^- del $4s^2$ si possono muovere. Orbitale s è detto BANDA DI CONDUZIONE.

Dal punto di vista economico il rame è il conduttore più vantaggioso.

Alta conducibilità si ha solo se è puro ma bisogna obblimare le conducibilità alle caratteristiche meccaniche quindi si utilizzano le leghe.

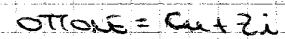
Ostacoli come la presenza di atomi estranei riducono la conducibilità.

L'elemento più dannoso per il rame è l'ossigeno che ha bassa solubilità nel rame, si crea l'ossido che non conduce.

L'elemento costo proviene dal rendere l'elemento puro, l'unico metallo puro che si trova in natura è l'oro. Viene utilizzato in micro elettronica perché è un buon conduttore, è inerte e non si ossida ma ha un peso specifico elevato.

Ande le vacanze costituiscono interruzione al passaggio di e^- , per misurare la quantità di vacanze si può misurare la resistività. Aumentando la T aumentano le vibrazioni e c'è più probabilità che l'atomo esca dal reticolo:

$$\frac{n_v}{n_{tot}} = e^{-Q/KT}$$



n_v = numero vacanze per m^3 del metallo

n_{tot} = numero siti atomici per m^3 del metallo

Q = energia di attivazione delle vacanze

K = costante di Boltzmann

Per ridurre le perdite elettroniche servono conduttori di sezione elevata.

Se necessario di grandi sezioni serve un conduttore leggero: Aluminio.

LEGHE DI ALLUMINIO

serie 1000 (Al puro)

serie 2000 (Al + Cu) → elevate caratteristiche meccaniche

serie 3000 (Al + Manganese) → edilizia

serie 4000 (Al + Si) → pistoni, bacchette di saldatura

serie 5000 (Al + Mg)

serie 6000 (Al + Mg + Si)

serie 7000 (Al + Zn) → campo aeronautico

serie 8000 (Al + Li / leghe miste)

Le leghe vengono utilizzate per aumentare la resistenza a scapito della conducibilità.

Incrudimento → deformazione a freddo: aumentano le dislocazioni, diventano esse stesse ostacoli. Maggiore resistenza e durezza.

A bassa T i difetti tendono a moltiplicarsi ed accumularsi, finendo

Dopo il punto di rottura il materiale resta deformato.

Allungamento totale Δl : togliendo il carico viene restituita la componente elastica $B''B'$ ma rimane quella plastica $\Delta l''$.

L'area sottesa alla curva è l'energia di deformazione.

Per passare da B a C bisogna fornire ulteriore energia e aumentare il carico.

In campo plastico esiste una parte di energia che viene immagazzinata ed utilizzata in maniera elastica.

Il MODULO ELASTICO per gli acciai vale 210 GPa , è un valore di riferimento.

Per uno stesso acciaio il modulo elastico varia durante la deformazione anche in relazione alla temperatura.

Anche nel tratto elastico vi sono fenomeni di deformazione plastica, microfenomeni che alterano il modulo elastico.

quindi per i materiali metallici il comportamento è sempre elastico-plastico, il primo tratto sarà anch'esso una curva piuttosto che una retta.

Il modulo è il modulo elastico, minore è la componente di ritorno elastica quindi è più facile stampare materiali ripidi.

$E_{\text{alluminio}} = 75 \text{ GPa}$.

COEFFICIENTE DI INCREDIMENTO

$$\epsilon_m = \frac{P}{A_0} \quad e = \frac{\Delta l}{l_0}$$

P varia nel corso della prova, la sezione nominale resta costante.

Quando c'è una variazione di sezione il carico da massimale diventa trasferibile.

I valori reali si riferiscono invece al valore che si ha nel momento

considerato: $\epsilon_R = \frac{P}{A} \quad \epsilon_R = \frac{\Delta l}{l}$

Dopo il massimo della curva si verifica la strizione: la deformazione non si distribuisce uniformemente ma si concentra sul tratto centrale.

Nel tratto elastico usare tensioni nominali o reali comporta errori trascurabili:

$$\epsilon_R = \frac{P}{A} = \frac{P}{A_0} \cdot \frac{A_0}{A}$$

$$A \cdot l = A_0 \cdot l_0 \Rightarrow \frac{A_0}{A} = \frac{l}{l_0} = e + 1$$

$$\Rightarrow \epsilon_R = \epsilon_m (e + 1)$$

$$\epsilon = \frac{\epsilon_1 \cdot l_0}{l_0} + \frac{\epsilon_2 \cdot l_1}{l_1} + \frac{\epsilon_3 \cdot l_2}{l_2} + \dots + \frac{\epsilon_n \cdot l_{n-1}}{l_{n-1}}$$

$$\epsilon = \int \frac{\Delta l}{l_0} = \int \frac{dl}{l} = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right) = \ln(e + 1)$$

dissipa maggior calore perciò bisogna forgiare di più.

L'alluminio è più difficile da saldare.

Ha massa volumica più bassa dell'acciaio.

Consideriamo P_{max} .

$$dP = 0 \Rightarrow A db + b dA = 0$$

$$-\frac{dA}{A} = \frac{db}{b} = dE$$

$$d(AE) = 0 \quad Ade + e dA = 0$$

$$-\frac{dA}{A} = \frac{de}{e} = dE$$

$$\Rightarrow \frac{db}{de} = 2 \text{ in } P_{max} \Rightarrow nKE^{n-1} = KE^n \quad E_{P_{max}} = m$$

ACCIAIO

lega Fe-C.

3 distanze interplanari nei solidi cristallini: a_1, a_2, a_3

3 angoli: α, β, γ

Strutture cristalline, di cui la più comune è quella cubica.

Il ferro cristallizza in CCC e CFC.

CCC → ogni cella ha 2 atomi. Minor impaccamento atomico. Maggiore addensamento sulla diagonale del cubo.

CFC → ogni cella ha 4 atomi. Maggiore impaccamento. Maggiore addensamento sulla diagonale della faccia.

Nella CFC il piano che passa per 3 vertici seguendo le diagonali delle facce rappresenta il piano più compatto, le dislocazioni si muovono in tali piani perché è minore il vettore di Burgers.

4 piani, 3 direzioni: 12 possibilità di movimento

Nella CCC non ci sono piani e maggior impaccamento quindi il materiale è più fragile perché le dislocazioni si muovono meno.

Il carbonio nel ferro crea soluzione solida interstiziale.

a = lunghezza diagonale

Nelle direzioni di maggior impaccamento gli atomi di Fe occupano

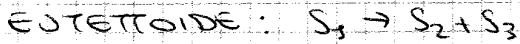
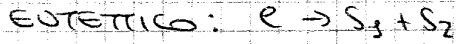
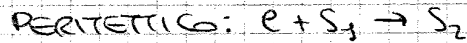
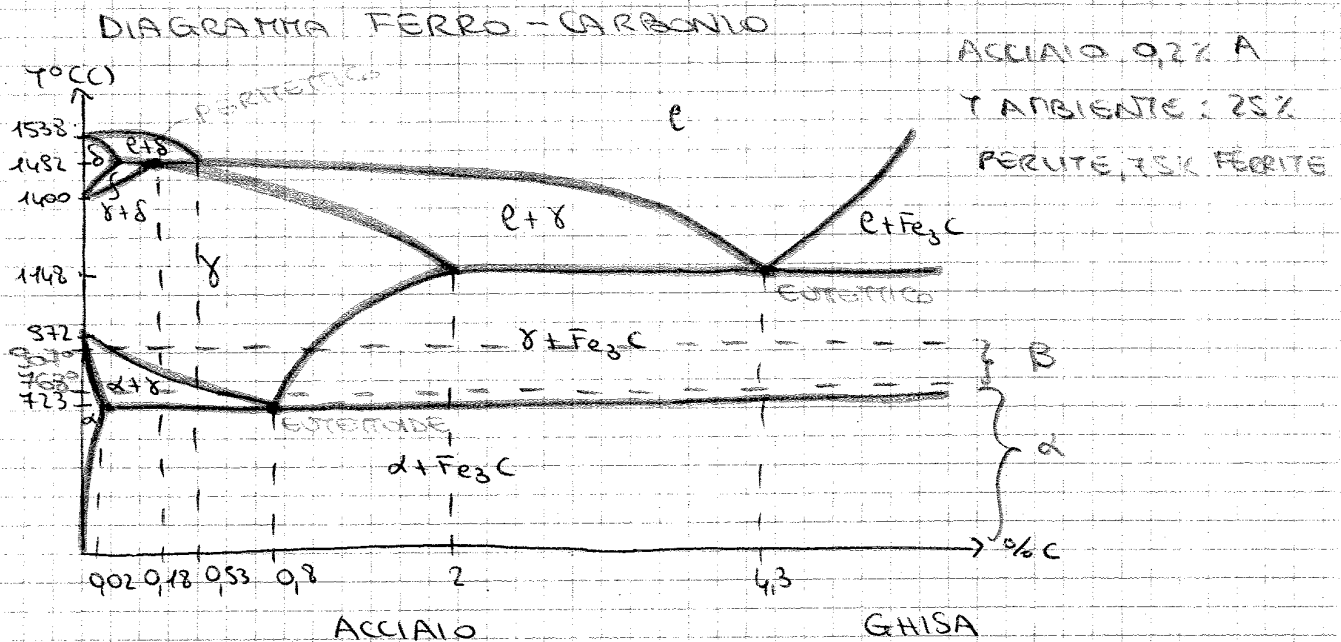
$\frac{\sqrt{3}}{2}a$ nella CCC e $\frac{\sqrt{2}}{2}a$ nella CFC, lo spazio a disposizione del carbonio è rispettivamente $a - \frac{\sqrt{3}}{2}a$ e $a - \frac{\sqrt{2}}{2}a$.

$$r_{ccc} = 0,187$$

$$r_{cfc} = 0,53$$

Nella CFC si sono meno interstizi ma più grandi, si scioglie più carbonio.

atomo	H	O	N	C	B
raggio atomico (Å)	0,30	0,60	0,71	0,77	0,87



• Peritettico si ha a 1492°C per un tenore di 0,18% di Carbonio.

Liquido con 0,5% carbonio con ferrite δ 0,9% carbonio raffreddando da austenite 0,18% di carbonio. E' importante perché da esso dipendono i fenomeni di solidificazione. Nella realtà il sistema non ha il tempo di reagire e si solidificano 2 fasi.

Alla fine della solidificazione si ha materiale fortemente disomogeneo sia chimicamente che cristalograficamente.

L'acciaio liquido entra in tubi di rame fortemente raffreddati, cristallizza con FORMAZIONE DI BENDITI, se i cristalli si spaccano passano danneggiare i cilindri di laminazione perché la superficie dell'acciaio a contatto con i tubi solidifica e prendo spessore sufficiente inibita anche la LAMINAZIONE.

Per avere uniformità si procede alla RICOTTURA che sfrutta la diffusione i lingotti si mettono in pezzi riscaldati alla T più alta possibile prima di arrivare alla T_f e si lasciano per una settimana o anche meno a seconda delle dimensioni.

I blocchi vengono laminati a caldo fino ad arrivare alla forma e spessore voluti.

Il materiale si è ossidato in superficie quindi si fa il DECAPAGGIO:

Es si immerge in acido solforico o cloridrico per rimuovere l'ossido.

La superficie viene luata, ossata e passa alla laminazione a

Dalle austenite si formano nuclei di ferrite e cementite che poi crescono. Tale punto permette i trattamenti termici, ossia permette di influenzare sua velocità di raffreddamento.

ISTERESI: la trasformazione si sposta verso il basso, aumenta la velocità di raffreddamento e il punto non sarà più a 723°C .

Ad alta T : equilibrio, diffusione elevata \rightarrow pochi nuclei crescono molto quindi cristalli grossi.

A bassa T : tendenza a trasformarsi: molti nuclei crescono poco, struttura molto fine.

Come modulare la velocità di raffreddamento?

- RICOTTURA, riscaldando il pezzo in campo austenitico con velocità gradue, la di T e raffreddamento in forno spento quindi lento.

Struttura grossolana \rightarrow fragile, poco resistente

- NORMALIZZAZIONE: RICOTTURA + RAFFREDDAMENTO IN ARIA APERTA, meno costo perché impegna i forni solo per il riscaldamento, più veloce.

Struttura fine \rightarrow caratteristiche meccaniche migliori.

Se il pezzo è più grande il processo è più simile alla ricottura, se è più piccolo è più simile alla TEMPERA.

Fluidi che aumentano la velocità di raffreddamento: acqua, olio, gas.

ACCIAI AUTOTEMPERANTI \rightarrow in normalizzazione assumono struttura tipica del trattamento veloce

ACCIAI AUSTENITICI \rightarrow austenite a T ambiente, non resistono bene a corrosione e fatica sotto sforzo

ACCIAI INOSSIDABILI \rightarrow 13% Cr. Wustite, magnetite e ematite (FeO , Fe_3O_4 , Fe_2O_3) sono ossidi che comodano il forno, il cromo crea FeCr_2O_4 , detto SPINELLO, che avvolge il materiale e impedisce la penetrazione dell'ossigeno nel cuore.

ACCIAI INOSSIDABILI AUSTENITICI \rightarrow 18% Cr, 8% Ni

ACCIAI FERRITICI \rightarrow costa meno perché non c'è Nichel, resistono meglio alla stress corrosion, 20-25% Cr.

Per generare le atmosfere protettive si utilizzano i generatori eso/endotermici, reattori in cui si brucia gas metano.

Più c'è ossigeno più c'è CO₂.

$$C \propto \frac{P_{CO}}{P_{O_2}}$$

Giocando sui rapporti si possono ottenere atmosfere ossidanti, riducenti e neutre.

Usando tali atmosfere è necessaria leggera sovrappressione in modo che l'aria non entri in forno e si ricopra di fiamme che bruciano i gas nocivi.

TEMPRA

Raffreddamento veloce in acqua, olio o gas.

Il mezzo più utilizzato è l'acqua perché costa poco e non inquina ma spacca i pezzi. Il segreto è raffreddare velocemente all'inizio e lentamente alla fine.

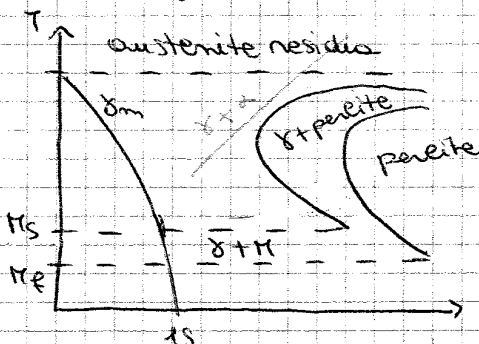
Il materiale viene avvolto dal vapore, per evitare si usa acqua quench (acqua + glicole) e per evitare aggraffatura di calore a basse T si usano acidi o sali.

L'olio è più "dolce" quindi si ha velocità minore, nesso rischio di rotture. Gli acciai a maggior temprabilità sono in olio o gas ma l'olio è sporco, infiammabile, idrofobo e inquinante.

Per evitare la trasformazione eutettoidica quindi formazione di perlite avviene cuore caldo e superficie fredda oppure si utilizzano gli acciai legati.

Gli elementi legati rallentano la trasformazione:

- ELEMENTI AUSTENITIZZANTI (C, N, Ni, Mn) stabilizzano l'austenite;
- ELEMENTI ALFOGENI (W, V, Cr, Mo) stabilizzano la fase α e sono carburi, cioè creano carboni.



M_s = martensite start, T inizio trasformazione

M_f = martensite finish, T fine trasformazione

Temprando non deve avvenire trasformazione eutettoidica, quindi non deve toccare il "gomito".

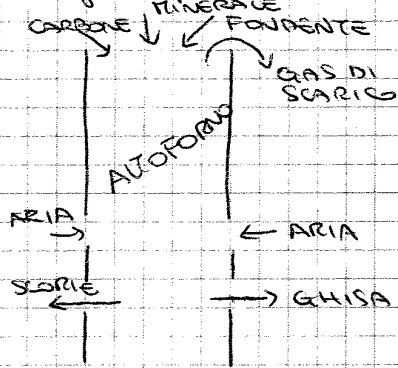
DIAGRAMMI TTT: temperatura, tempo, trasformazione, mostrano dove l'acciaio può essere temprato (a sinistra del gomito).

PRODUZIONE DI ACCIAIO

Il carbone alimenta le cokerie dove viene distillato (maggior fonte di inquinamento), il minerale di ferro deve contenere almeno 50% di ferro e il calcare che è carbonato di calcio ha lo scopo di fluidizzare la carica.

Questi elementi vengono pre-sinterizzati per avere maggior scambio con i gas e quindi maggior efficienza.

Vengono poi caricati dall'alto nell'alto forno (h 45 m, d 10 m) 10000 t al giorno.



La carica crea monossido di carbonio che è il riducente. Le scorie sono costituite da calcare e residui di minerale.

I gas di scarico contengono CO , vengono puliti e mandati in 2 toni dette COOPER dove vengono

bruciati e diventano incandescenti. Poi passano ad altre

2 toni e nelle prime viene immessa aria che si riscalda e viene fatta entrare nell'alto forno.

$2t \text{ minerale} + 4t \text{ aria riscaldata} + \frac{1}{2}t \text{ calcare} + 1t \text{ Coke} \rightarrow 1t \text{ ghisa}$

Area ghisa che esce si aggiunge solfo che reagisce con Co zolfo e Co elimina.

La ghisa è trasformata in acciaio nei convertitori, pentoloni (100-200 t) nei quali c'è un refrattario basico e viene insufflato ossigeno puro.

Manganese, silicio e fosforo vengono eliminati perché danno ossidi acidi.

È pieno di ossigeno quindi si procede al DEGASAGGIO si aggiunge Al che reagisce con l'ossigeno e crea ossido di Al.

La ghisa senza ossigeno va infine in COLLAGGIO.

