



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO : 200

DATA : 07/02/2012

A P P U N T I

STUDENTE : Buffa

MATERIA : Scienza dei Materiali
Prof. Salvo

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.**

Scienza e tecnologia dei Materiali

5 cfa

→ Risorse

Corso prof. Milena Solino
milena.solino@polito.it

Corso di Laurea:
ing. Energetica

- Testo consigliato: W.D. Callister - Scienza e ingegneria dei Materiali, Una introduzione (2° edizione) - EDISES
- Lezioni (slide) protette a meno disponibili sul portale dell'adattatore (senza: materiale)
- Esame: scritto; esercizi e domande teoriche, alcune domande/esercizi sono facoltativi (segnate da *) e perché si possa passare l'esame ridere avere almeno 8/15 di quelle.

INDICE:

Argomento	Pag.
Struttura solida Metallici	1
Allotropia - polimorfismo	2
Sistemi cristallini	3
Solidi non cristallini (metallici)	5
Defetti nei solidi	5
Difusione	8
Proprietà Meccaniche Metalli	10
Sfuso - Refinazione	10

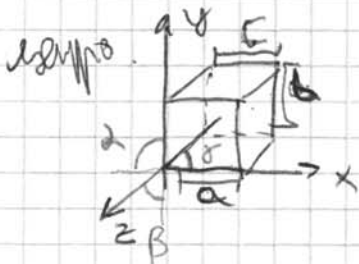
(A)

Argomento	Pagina
Proprietà Meccaniche dei ceramici	52
Definizione plastica dei ceramici	53
Vetri - Vetro-ceramici - Cristalli appollari	55
Reflettori	56
Abrasi - Proprietà dei vetri	58
Formazione delle polveri	59
Polimeri	60
Cristallinità dei polimeri	61
Definizione Viscoelastica	61
Fessura nei polimeri	62
Fatica - rottura a strappo - Durometro	63
Proprietà Meccaniche dei polimeri	64
Vulcanazione - Elastomeri - Polimeri comuni	65
Compositi	66
" rinforzati da particelle	67
" rinforzati con fibre	67
Matrici dei compositi	68
Compositi strutturali	69
Proprietà elettriche dei materiali	69
Conduttore	70
Eccubi combustione	71
Proprietà elettriche Proprietà elettriche	75
Semiconduttori Semiconduttori	78

Systemi cristallini

Problema di tutte le cristalline: Numerose \Rightarrow conviene addibberle in vari gruppi, ma delle pochi caratteristiche la riferimento alla cella unitaria, senza tener conto delle paroni che gli atomi hanno al suo interno.

Definire un sistema x, y, z con origine in un vertice del poliedro e gli assi \equiv ai 3 spigoli del poliedro stesso.



\Rightarrow necessitano 6 parametri per definire la geometria della cella: α, β, γ = angoli tra gli assi x, y, z .
 a, b, c = dimensioni degli spigoli del parallelepipedo

\Rightarrow 7 differenze cristalline di $\alpha, \beta, \gamma, a, b, c \Rightarrow$ "SISTEMI CRISTALLINI".

N.B.: la stessa cristallina è formata da 3 poliedri a corpo centrato se solo la rotazione al centro.
 la differenza usata qui...

Monocristalli: Solidi cristallini in cui gli atomi sono perfettamente ordinati secondo una ripetizione periodica per tutto il solido. Le celle unitarie hanno lo stesso orientamento.

Esistono in natura ma è anche possibile sintetizzarli \Rightarrow difficile osservarli, cristalli integrati \Rightarrow monocristalli di silicio.

Policristalli: Materiali costituiti da cristalli molto piccoli (microelettronica) detti GRAINI, i grani si formano solidificando un fuso, quello sono grani a superficie che si toccano, si formano: BORDI DI GRAINO come i confini tra i vari monocristalli (grani).
 [E' un difetto di accoppiato tra atomi di superficie]

Solidi Non cristallini: sono solidi dove forse anche alcuni liquidi raffreddati molto sono allo stato solido ($T < T_{ferita}$) ma hanno le strutture tipica dei liquidi, sono chiamati Amorfi (senza forma) per il fatto che le loro molecole non hanno un ordine preciso.

Esempio: ceramica: SiO_2 → cristallino = quarzo
 → Amorfo = vetro (simile a vetro usato nei bicchieri...)

Il modo di solidificare dipende dal raffreddamento e dalle dimensioni delle particelle (o ~~dimensioni~~ ordine (tolleranza volumi se l'ordine messo a certe linee). se le strutture delle particelle sono complesse → difficile che si cristallino; oppure più cresce che il liquido solidifica prima che si solidifichi non cresce il tipo delle particelle per vedere come densità.

Metalli: in genere cristallini

Alcuni ceramici e vetri: Amorfi (idrocarbonti) e qualche cristallino

Alcuni: possibili cristallini o amorfi... dipende dal processo in cui sono.

DIFETTI NEI SOLIDI

Puntuali, di superficie, volumetrici, difetti cristallini in genere...

Vacanza: è un difetto ~~strutturale~~ puntuale e consiste nella mancanza di un atomo del reticolo cristallino, non esiste metallo che non abbia

la loro densità dipende da $T \Rightarrow N_v = N \exp\left(\frac{-Q_v}{kT}\right)$ $T = T_{equilibrio}$ in kelvin

N_v = numero vacanze N = numero di siti atomici Q_v = energia necessaria perché si formi una vacanza
 k = costante di Boltzmann = $1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{atom \cdot K}$ oppure $8,62 \cdot 10^{-5} \frac{eV}{atom \cdot K}$

Autocentrato: un atomo del reticolo che è in una posizione in genere non occupata → nelle ceramiche perché in genere le posizioni interstiziali e più piccole degli spazi del reticolo

Montante costante.

Gradiente di concentrazione: curva che mette le concentrazioni del metallo che studiamo all'interno del solido, in funzione della posizione = "gradiente" = $\frac{d(\text{Concentrazione})}{dx (\text{distanza})}$

La Diffusione stazionaria ha un'espressione Analitica

$$J = -D \frac{dc}{dx} \Rightarrow D \text{ è il coefficiente di Diffusione } [m^2/s]$$

↳ 1° Legge di Fick \Rightarrow la flussa gradiente è il gradiente di Concentrazione.

Diffusione Non Stazionaria

Gradiente di diffusione non è stazionario $J = J(t)$ e "gradiente" = "gradiente" (t), significa che avviene un accumulo o un impoverimento delle specie che diffondono

$$\frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) \Rightarrow \text{II} \text{ Legge di Fick} \quad \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad \text{diff. II ordine}$$

si può risolvere solo se si conosce la condizione al contorno.

Fattori che influenzano la diffusione.

Il coefficiente di diffusione varia da specie a specie (spiega e diffonde), e dipende sempre dalla temperatura.

La temperatura influenza fortemente D, ad alta temperatura (tra 500 e 900°C),

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q_d}{RT}\right)$$

$D_0 = D$ che moltiplica da T

$Q_d = E$ di attivazione della diffusione

T = temp. assoluta (K)

R = costante dei Gas (Boltzmann) = 8,31 J/mole = $8,62 \cdot 10^{-5} \frac{eV}{atomo \cdot K}$

Altri fattori: dimensioni di atomi che diffondono

reattività chimica del metallo

spazio interstiziale

Forza dei legami tra le Molecole/atomini del metallo

- ecc -

Così facendo, si riduce così la probabilità di rottura agli estremi in quanto sono più protetti dalle prove da eseguire.

L'allungamento (a v costante) \Rightarrow calcolo della duttilità, si misura l'incremento carico e allungamento.

Prova Abitativa \Rightarrow è deformazione e permanentemente e spesso si arriva alle fratture.

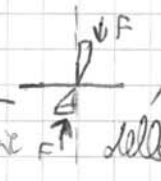
SFORZO e DEFORMAZIONE, da cui si ottiene molti risultati soprattutto delle

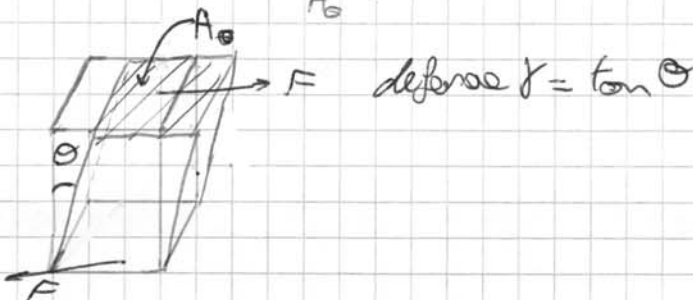
geometria della prova, si usa quindi spesso nominale $\sigma = \frac{F}{A_0}$ e deformazione nominale $\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \rightarrow \frac{L-L_0}{L_0}$ costante minima, a volte $A_0 \Rightarrow$ sezione della provetta

si usa anche l'allungamento (deformazione) percentuale $= 100 * \epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} * 100 \dots$

Prova di Compressione: Analoga a quella di trazione solo che la forza non si comprime, le equazioni di σ e ϵ sono le stesse, solo che per convenzione F di compressione è < 0 , e di conseguenza $\sigma < 0$... così pure le deformazioni in quanto $L < L_0 \Rightarrow \Delta L < 0 \Rightarrow \epsilon < 0$. Generalmente bisogna la prova trazione perché quella a compressione da molte informazioni aggiuntive, si usa per ceramiche e materiali fragili o per materiali sottoposti a sforzi interni \Rightarrow generale è molto a compressione per i materiali fragili è migliore di quella a trazione quindi i risultati sono più precisi.

Prova di taglio e Torsione

Nel caso in cui le sforzi applicati e prova di taglio  $\sigma = \frac{F}{A_0}$, F è la forza e A_0 è l'area della faccia come in figura:



Anisotropia

Ideale che una deformazione elastica è reversibile in entrambi i sensi, nella realtà invece le deformazioni vengono in un certo tempo Δt per essere complete, questo fatto è dovuto a fenomeni di anisotropia, ed è dovuto a processi interni e all'effetto interno, i materiali e i corpi non rispondono elasticamente da per essere trattati per un periodo Δt è piccolo (vale a dire finito...) nei polimeri invece, generalmente provengono una risposta elastica non lineare, quella in cui si è più evidente, viscoelastica. \rightarrow allungo tempo.

Coefficiente di Poisson

Se sottoposto a sforzo di trazione, in caso di comportamento elastico, la parte presa un addizionale lungo x e y (ipotesi di Poisson) z . Se il materiale è isotropo le deformazioni laterali (\perp alla direzione) E_x e E_y sono uguali e il coefficiente di Poisson prende la forma $\nu = -\frac{E_y}{E_x} = \frac{E_x}{E_z}$ (significato $0,25 + 0,35$)
 Nel caso di materiali isotropi: $E = 2G(1 + \nu) \Rightarrow$ moduli elastici e di Poisson sono correlati...
 Se un materiale è anisotropo in una direzione z lungo tutte le direzioni.
 I materiali di uso comune sono polivalenti \Rightarrow conduttori isotropi...

Deformazione Plastica

Quando il carico applicato supera un certo limite (carico di snervamento), la deformazione del materiale non segue più la legge di Hooke e compare una deformazione non recuperabile. La tensione ha carattere elastico e plastica è sostanzialmente graduale e il diagramma mostra una andamento che segue all'aumentare del carico.

Def. Plastica \Rightarrow rottura e creazione di nuovi legami tra atomi \neq dai precedenti
 solidi cristallini \Rightarrow scorrimento \Rightarrow moto di dislocazioni
 solidi non cristallini \Rightarrow Flusso viscoso (come se fosse liquidi molto densi).

Duttilità

La duttilità rappresenta la "misura" della deformazione plastica che il materiale può subire senza rompersi, un materiale che presenta scarsa def. Plastica è definito Fragile. Si può esprimere in due modi: allungamento percentuale o riduzione percentuale di sezione. $[A\% = \frac{L-L_0}{L_0} \cdot 100, 5\% = \frac{A_0-A}{A_0} \cdot 100]$.

Al di sotto di una certa temperatura alcuni materiali diventano fragili.

Materiale compatto = Materiale duttile che è in grado di sopportare deformazioni

bedi oltre grandi senza rompersi \Rightarrow piccoli carichi di calore non fanno cadere la struttura.

La duttilità dipende dalla presenza di impurezze e dalla T (per uno stesso materiale), e con l'aumentare della duttilità cresce (entro la T di ramollimento) la resistenza di carico di trazione e di rottura.

Resilienza

"Capacità di un materiale di assorbire energia se sottoposto a def. elastica e una volta rimosso il carico rilasciarla". La grandezza associata si chiama modulo di resilienza $U_c = \int_0^{\epsilon_n} \sigma d\epsilon \Rightarrow$ "Energia per unità di volume necessaria a causare una deformazione elastica reversibile fino allo snervamento".

Se il comportamento è lineare: $U_c = \frac{1}{2} \sigma_n \epsilon_n = \frac{\sigma_n^2}{2E}$. \Rightarrow Materiale Resiliente o quindi caratterizzato da basso Modulo elastico e elevato carico di snervamento.

Un materiale resiliente è anche resistente a fatica (degli altri delle proprietà di un materiale duce l'uso anche al di sotto dei limiti).

Quindi la def. elastica e la capacità di assorbire energia si chiama TENACITÀ, un materiale tenace è resistente e duttile \Rightarrow duttile più tenace di Fragile

Diurese

"Misura della resistenza offerta da un materiale alla deformazione plastica (o alla penetrazione / incisione)."

Le prime prove di durezza (Mohr) consistevano nel vedere se un materiale poteva penetrare un altro (scalda 1 (telata) 10 (diamante)). \Rightarrow Misure di durezza sono valori relativi. Quelle prove sono molto più comuni di quelle σ - ϵ .

Vantaggi delle prove di durezza:

- 1) Semplici, veloci, poco costose \rightarrow apparecchi edili robusti precisi e il materiale non necessita di eccessive preparazioni, sono veloci (pochi secondi...).
- 2) Non distruttiva \rightarrow unica traccia = piccola impronta, non capiente il materiale e può essere usata per un controllo qualità di un materiale.
- 3) Si possono dedurre da esso altre proprietà meccaniche che altrimenti si potrebbero conoscere solo con prove distruttive.

Prova Rockwell

- Indentatore = sfera di acciaio o ~~pietra~~ indente conico.

2 cerchi \Rightarrow durezza e lo spessore delle impronte

Esistono di fatto le scale (ce ne sono alcune e dipendono dai cerchi) ed il tipo-forma del penetratore) max 130, ma scala 20 e oltre 100 essere calcolate solo in luce del fatto che le scale si ~~si~~ sovrapposono all'altro, quindi sono gli estranei i valori non sono molto ~~affidabili~~ affidabili.

\rightarrow Strumenti: Atlantici e prove due pochi secondi \Rightarrow risultato subito pronto.

Prova Brinell

Penetratore sferico di acciaio $d = 10 \text{ mm}$ \Rightarrow tipo Rockwell 10 cerchi molto migliori che solo scale di prova \rightarrow l'ipotesi nasce al momento stesso \Rightarrow possibile anche in atlantici ma il campione deve essere preparato con più cura che per le misure manuali.

Scorrimento nei monocristalli

Anche da sollecitazioni di pura compressione/tensione, generano degli sfacchi di taglio indotti, che dipendono, oltre che ~~dalla~~ dalla sollecitazione, ~~con~~ anche dall'orientazione del piano di scorrimento e della direzione di scorrimento interna al piano.

Generalmente un sistema di scorrimento è orientato nel modo più favorevole (spesso di taglio indotta τ più elevato). Lo sfacchio di taglio indotta, dipende da ϕ (angolo tra \perp al piano di scorrimento e direzione delle sollecitazioni applicate) e λ (angolo tra direzione di sollecitazione e quella di scorrimento) secondo la relazione:

$$\tau_R = \sigma \cos \phi \cos \lambda$$

↳ valore di scorrimento più possibile: $(\cos \phi \cos \lambda)_{max} \dots$

Quando, sottoposto il materiale a sollecitazione, il valore ^{di} minimo a scorrere è quello orientato nel modo più favorevole ovvero quello che ha lo sfacchio di taglio indotta maggiore, che è anche detto: sfacchio di taglio indotta critica, \Rightarrow sfacchio minimo richiesto per fare scivolare lo scorrimento.

Sforzo critico $\tau_{critico}$ ovvero quello: $\tau_{critico} = \tau_{critico} \Rightarrow \sigma_0 = \frac{\tau_{critico}}{(\cos \phi \cos \lambda)_{max}}$

σ_0 minimo si ha quando $\phi = \lambda = 45^\circ \Rightarrow \sigma_0 = \frac{\tau_{critico}}{\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}} = \frac{\tau_{critico}}{1/2} = 2\tau_{critico}$

nel caso di un cristallo con piano di scorrimento più favorevole in cui fosse \perp la direzione di scorrimento ($\lambda = 90$) oppure sfacchio \parallel al piano di scorrimento ($\phi = 90^\circ$), sfacchio di taglio indotta critica è nullo \Rightarrow se $\phi = 90$ $\lambda = 0$ e viceversa $\Rightarrow \cos 90 = 0 \dots$

Stare nelle condizioni di materiali fighi \Rightarrow sollecitazioni più difformanti.

Soluzione solida - aumento della resistenza

Se per interazione o sostituzione ~~solida~~ mescolando in un metallo puro, esso migliora le sue proprietà meccaniche.

Gli atomi di soluto solido tendono a diffondersi e segregare intorno alle dislocazioni e quindi tendono a formare \Rightarrow ostacoli alla deformazione. Inoltre per il loro effetto di deformazione ostacoli la deformazione avviene in modo più difficile a causa delle impurezze.

La lega è più resistente del metallo puro per questo motivo (aumento di durezza).

Incradimento

Esistono in cui un metallo duttile diventa più resistente a causa della deformazione, è chiamato anche indurimento da lavorazione o lavorazione a freddo perché la deformazione plastica ottenuta non è reversibile e lavorazioni con $T \ll T_{critica}$.

Grado di def. plastica si può esprimere come $\% LF = \frac{A_0 - A_d}{A_0} \cdot 100$ area deformata

L'incrudimento avviene perché le densità delle dislocazioni cresce con la deformazione, tutte dislocazioni ~~si accumulano~~ tendono a raggrupparsi e quindi il materiale che ne è formato è più duro proprio a causa delle disloc. che impediscono il movimento delle stesse. Gli effetti dell'incrudimento si possono invertire con ricottura.

RECOVERY E RICRISTALLIZZAZIONE

Nelle proprietà chimiche e fisiche di un metallo possono essere modificate da una deformazione plastica, ma possono tornare con loro prima della lavorazione con un processo di ricottura \rightarrow Recovery e ricristallizzazione.

Recovery è la dislocazioni raggrupparsi in parte mobile e in parte indurimento secondo configurazioni a energia più bassa.

Le impurezze sono "immuni" da questo processo.

FRATTURA

Rotture di un materiale per effetto di diverse cause, dal punto di vista ingegneristico è sempre raggruppate in quanto coprono la frattura e la rottura, gli stessi "fratture" non sono più utilizzabili. Sono solo le cause dei cedimenti ma la previsione della rottura è difficile da garantire → in progettazione occorre un ampio margine di sicurezza.

La frattura può essere definita come la separazione di un corpo in ~~due~~ più elementi a causa di un carico statico applicato e a una T inferiore alla T di fusione (ordine di molto). Può essere duttile e fragile a seconda della deformazione plastica che la precede.

Mecanismi di Frattura

~~La frattura omogenea~~ La frattura omogenea in due stadi:

- Formazione di una cricca (non accade se la cricca è già presente)
- Propagazione di essa

Fratture duttili: definite statiche perché l'evoluzione della cricca è relativamente lenta e si ottiene solo aumentando il carico applicato, è tipico della lega Metallica.

Fratture fragili: definite instabile perché la cricca si estende ~~in~~ velocemente e una volta innescata continua a estendersi anche senza carico il carico, a differenza della frattura duttile non ha un tratto di def. plastica che la precede, avviene di subitanea. È tipico dei ceramici e di leghe metalliche al di sotto di una certa temperatura.

Nei metalli e nei materiali plastici duttili e fragili, i fenomeni possono presentarsi entrambi, dipende dalla loro struttura.

Frottura a impatto

Metodo di Charpy, consiste nell'uso di un pendolo che colpisce la provetta, la nave è in fase a quarto modo in cui l'energia ceduta dalla rotazione, si agita a impatto, della sola tensione ~~del~~ dell'intaglio, è un modo per misurare la resistenza nei punti in cui la prova è carente, dalla parte opposta a quella dove si pratica un'incisione a V nel materiale con la scopo di concentrare lo sforzo.

La prova a impatto, è utile per determinare quale sia il Tenitore duttile-fragile (temperatura alla quale la prova si rompe).

Se Frotto duttile: Filoso e speso

Se Frotto fragile: Brillante e grossolano

Fatica

Un materiale, sottoposto a sforzi variabili e periodici, anche se minori di molto del carico di snervamento, può degradare e alla fine rompersi di colpo, questo fenomeno è detto Fatica. La rottura avviene dopo un certo numero di cicli di utilizzo e ad esso è dovuto il 90% circa delle rotture improvvisamente avvenute o strutturali. Si capisce che anche la fatica fragile esiste nei materiali duttili. La prova di fatica, consiste in uno sforzo ciclico, con l'applicazione di sforzi di compressione e trazione alternata a un provino. La prova è effettuata con tre tipi di carichi:

- Carico ripetuto \Rightarrow carico tra 0 e F scelta alternata
 - Carico intermittente \Rightarrow carico tra $-F$ e F alternato
 - Carico variabile tra $-F$ e F \Rightarrow il carico applicato è costante
- } Variabili in ampiezza e in frequenza

Alcuni materiali \Rightarrow spesso sotto il quale non si verifica la rottura a fatica, questo carico si chiama Limite di fatica \Rightarrow Max carico possibile che non "stacca" il materiale.

DIAGRAMMI DI FASE

Limite di solubilità: Menziona perentore di soluto in un solvente perche ci sia un sistema a una fase. Generalmente dipende dalla temperatura e ovviamente dal soluto e dal solvente in esame

Fase: porzione omogenea di un sistema che presenta caratteristiche chimiche e fisiche uniformi. Sono fasi i solidi, liquidi, aerosol di gas. Se sono presenti due o più fasi (cioè due o più componenti chimicamente o fisicamente, anche se non entrano indipendentemente due o più fasi = sistema eterogeneo o miscela)

Equilibrio: Determinati valori di T e P per i quali l'energia libera di un sistema è minima.
 // difese: Le fasi presenti in un sistema sono in equilibrio se le loro caratteristiche sono costanti nel tempo. Un sistema solido, che non raggiunge l'equilibrio \Rightarrow sistema metastabile, ovvero un sistema che non è all'energia minima libera ma per raggiungerla ci mette un Δt infinita (non si mai il minimo), è il caso delle maggior parte dei solidi reali (ex solidi ionici).

Diagrammi a 1 componente

variabili usate: T , P (non è opportuno parlare di 100% soluto), ϕ (è spesso un solo legittimo).

In questo diagramma si distinguono 3 fasi: solido, liquido, vapore in equilibrio tra loro, il punto in cui sono in equilibrio tutte e tre si definisce punto triplo che è il punto dove si incontrano le linee di equilibrio solido-liquido, solido-vapore, liquido-vapore. Se ci si allontana dal punto triplo o punto invariante, si passa da una fase, ~~ma~~ a quella superiore (ovvero la fase costabile). [27]

Regole delle leve

utile per calcolare le frasi in massa di fase liquida e solida.

richiesto con C_0 la composizione di P (vedi schema pag precedente), $R = C_0 - C_L$ e $S = C_S - C_0$

$\Rightarrow R = |C_0 - C_L|$ $S = |C_0 - C_S|$ per uno segni partiri ed essere con C_0 come riferimento.

$$W_L = \frac{S}{R+S} \Rightarrow \text{frase di liquido} \Rightarrow W_L = \frac{C_S - C_0}{C_S - C_L}$$

$$W_S = \frac{R}{R+S} \Rightarrow W_S = \frac{C_0 - C_L}{C_S - C_L} \Rightarrow \text{frase di } \alpha \text{ (solido)}$$

se calcoli percentuale in peso di B invece che di A, ottieni risultati analoghi.

È se uso B o A getta valore è diverso (a meno che non ~~non~~ siano sempre
50 e 50 ma niente nelle frasi unice...)

~~non è~~ $W_L \cdot 100$ e $W_S \cdot 100$ sono le frasi percentuali di liquido e solido
(indipendente da come sono frasi liquido e solido)

Tuttavia, calcoli non è detto che siano uguali per ogni, anzi, ad ogni temperatura
ma è istante che si ritrova con ogni delle curve di equilibrio di fase per cui
raffreddando (o riscaldando) espone di L e α e le loro quantità cambiano di
continuo.

Raffreddamento

Se è di equilibrio la microstruttura del solido che a fase è piena di composizione
rate, se il raffreddamento è di non equilibrio, il solido si forma nelle curve di
solidus ma c'è ovvero un po' di liquido o di solido (la composizione è difficile da calcolare),
solidifica per onde come ha il solido che a fase è multifase e ha me a
a diverse composizioni \Rightarrow raffreddando ovvero le microstrutture non hanno tempo di
riassorbire quindi restano in uno stato di solido metastabile...

\Rightarrow La struttura che si forma si adatta a curve e le proprietà inferiori a quelle teoriche... [29]

Ritornando al punto X (vedi schema) di composizione C, i costituenti si sviluppano nel modo seguente:

$$W_L = W_L = \frac{P}{P+Q} = \frac{C'_B - C'_A}{(C'_B - C'_A) + (C'_C - C'_B)} \Rightarrow \text{miscela di metallo e liquido}$$

$$W_A (\text{liquido}) = \frac{Q}{P+Q} = \frac{C'_C - C'_B}{(C'_B - C'_A) + (C'_C - C'_B)} = \frac{C'_C - C'_B}{C'_C - C'_A} \Rightarrow \text{solo A presente}$$

$$W_A (\text{metallo + metallo + liquido}) \quad W_2 = \frac{Q+R}{P+Q+R} = \frac{(C'_C - C'_B) + (C'_B - C'_A)}{(C'_B - C'_A) + (C'_C - C'_B) + (C'_B - C'_A)} =$$

$$= \frac{C'_C - C'_B}{C'_B - C'_A} \Rightarrow \text{A presente + metallo (sempre A e...)}$$

$$W_B = \frac{P}{P+Q+R} = \frac{C'_B - C'_A}{(C'_B - C'_A) + (C'_C - C'_B) + (C'_B - C'_A)} = \frac{C'_B - C'_A}{C'_B - C'_A} \Rightarrow \text{Fusione in fase B delle fasi B.}$$

Diagrammi di fase binari con fasi o composti intermedi

In questo tipo di diagrammi non compare solo le fasi solide α e β delle soluzioni solide terminali, ma anche alle estreme del diagramma; vi sono infatti delle esportazioni solide intermedie che hanno composizioni diverse da quelle estreme, nel caso di una soluzione metallo-metallo vengono chiamati composti intermetallici, i composti intermedi sono in fase solida ma che possono essere solo in un determinato campo di composizione (sul diagramma sono rappresentati da una linea verticale della parte di fusione congrua). Questi composti (o fasi) possono avere un range di composizioni) sono caratteristiche delle streghe dei componenti.

In un diagramma di questo tipo, conviene ragionare come se si avesse un che fase con i diagrammi "ottetti", ma invece dare l'altro inizio (nel punto $C = (M\%A \text{ e } M\%B) \Rightarrow C \text{ e } \text{il capote } S \times O \times \dots \text{ vedi schemi pag dopo}$

Reazione Eutettica \Rightarrow come l'eutettico e la perlettica è invariante

Ad un determinato temperamento in rapporto può dare luogo a 2 cristalli solidi solubili entrambi, in rapporto che le così e per esempio Zn 74% wt e Cu 26% wt, raffreddata la fase solida si divide in 2 fasi solide $L + E$, la linea di trasformazione e' della sistema eutettico, e il punto invariante eutettico. (senza equilibrio :3)

Reazione Peritettica \Rightarrow come eutettico e eutettico è invariante

Come l'eutettico e' una reazione invariante con 3 fasi in equilibrio; con questa reazione, raffreddando una fase solida, essa si trasforma in una fase liquida e una solida (difficile da le fase di partenza), la soluzione solida di partenza può essere una soluzione solida intermedia o terminale. Come la reazione eutettica e/o eutettico, la peritettica è una trasformazione di fase incoerente.

Regole delle fasi [Gibbs]

Le costanze dei diagrammi di fase e i principi che ne governano gli equilibri, sono governati dalle leggi della termodinamica, tra queste, è utile la regola delle fasi di Gibbs, che stabilisce il numero per conoscere il numero di fasi in un sistema in equilibrio. $P + F = C + N$

$P = n^{\circ}$ fasi presenti, $F =$ gradi di libertà / variabili controllate dell'esterno (T, P, C%, ...), $C = n^{\circ}$ di componenti indipendenti / nuclei stabili della sostanza dell'asse stesso $\Rightarrow C = 2$ (non variabili di fase), $N = n^{\circ}$ di variabili termodinamiche (Temperatura e pressione).

Esempio: Diagrammi di fase Bi-Pb: $P =$ costante $\Rightarrow N = 1$, 2 componenti $\Rightarrow C = 2$

$P + F = 3$ o $F = 3 - P$ ecc.

- nelle regioni monofasiche (a, B, liquido puro): $P = 1 \Rightarrow F = 3 - 1 = 2$ quindi per specificare la fase si necessita di 2 parametri (composizione e temperatura)
- nelle regioni bifasiche: $P = 2 \Rightarrow F = 3 - 2 = 1$ quindi rispetto a T o la composizione ho definito completamente il sistema.

Leghe Ferro - Carbonio \Rightarrow analisi di $Fe - Fe_3C$...

Ferro puro \Rightarrow quasi tutto ferro α .

Ferro + Carbonio :

- Acciaio : max C : 2,14% wt (generalmente circa 1%...)
- Ghisa : C fra 2,14% wt e 6,7% wt (generalmente meno di 4,5%)

Raffreddando una lega eutettica $\alpha + Fe_3C$, alla temperatura eutettica, solidifica e forma un solido fatto da α e Fe_3C ma sono presenti anche le particelle di Fe_3C originate in α (libro p. 294), questo composto si chiama perlite. N.B.: la Fe_3C è formata partendo da tutto ferro α e un po' di Fe_3C , altri ferri (ex austenite) non ci sono. Per le proprietà meccaniche fra Fe e Fe_3C , intanto questi Fe : durezza e tenacia - duro e fragile...

Trasformazioni di fase nei Metalli

Insieme le trasformazioni, le microstrutture dei materiali: tutto a cambiare, quindi, processi di cambiamento trasformazioni di fase e sono essenzialmente di 3 tipi:

- 1) Trasformazioni con diffusione: non tenace nuove e componenti della lega di un sistema; ne sono esempio la solidificazione dei metalli puri, la crescita del grano, ricristallizzazione, distensione.
- 2) Trasformazioni con diffusione che coinvolgono nuove e componenti delle fasi (e/o) ... esempio: eutettico, eutettico...
- 3) Trasformazioni senza diffusione che avvengono per fasi metastabili, esempio: Fasi Martensitiche (ex bcc di ferro \Rightarrow austenite...)

Tornando, la nucleazione omogenea richiederebbe un grande raffreddamento, ma nella realtà è sufficiente un raffreddamento di soli pochi gradi, il motivo è che la barriera energetica ΔG^* è più bassa, e ciò che le rende più basse sono imperfezioni preesistenti o interfacce, quindi, questo tipo di nucleazione della eterogenea è più probabile dato che necessita di un ΔG^* più piccolo $\Rightarrow r^*$ più piccolo. Questa nucleazione avviene per esempio sui bordi del recipiente contenente il materiale che solidifica oppure con impurezze solide presenti nel liquido.

in generale $\Delta G^*_{omog} < \Delta G^*_{eterogena}$

Crescita

Il senso parola di crescita quando la dimensione dei nuclei ha una dimensione superiore a quella critica (r^*) e diventano quindi nuclei stabili (non più embrioni).

La nucleazione continua anche durante la crescita delle particelle della nuova fase e fanno solo grande i nuclei della nuova fase a toccare l'incan l'altro/aiformare i bordi di grano) perché la nuova fase c'è non più più nessuno delle vecchio inke che non c'è più.

Stati metastabili

Tornando alla trasformazione di fase procede attraverso tutti stati di equilibrio, ma come si sa la trasformazione richiede un intervallo di tempo finito, e consente la scelta con cui si ripete l'equilibrio, si se il tempo necessario, il raffreddamento / riscaldamento / di quello di equilibrio, ossia in caso di raffreddamento o riscaldamento / tiene più stabile delle scelte / nessuno, in questi casi la trasformazione non avviene

⇒ Una lega austenitica in Bainite o Bainite è stabile e non si può trasformare in altri costituenti senza riscaldarla e ritrasformarla in Austenite. (può essere evoluta ma se un riscaldamento anche nelle volte ma non "leggero", $T \approx 700^\circ\text{C}$ e tempi forse ≈ 6 sferoidite)

- Sferoidite: Un acciaio con struttura perlite o bainitica, se riscaldato a da perlite e/o bainite con riscaldato a circa 700°C per 20 ore circa. una temperatura di poco inferiore all'eutettico, o sia a circa 700°C , e la temperatura è mantenuta pressoché costante per circa 18/24 ore, si forma una microstruttura diversa detta appunto sferoidite che è costituita, invece che da alternanza di lamelle (Perlite) o da alternanza tra aghi o placche (Bainite), da particelle sferiche disperse in una matrice di fase a continuità ⇒ Il carbonio senza perdere nessuno di fase può di perdere (la espansione di Ferrite e cementite non sembra)

- Martensite: Austenite, se portata a una T bassa (vicina a quella subitica), gli atomi di carbonio restano come ripresi interstiziali ⇒ se riscaldato si modifica perché è ancora costituito di carbonio ⇒ si evolve in un'altra microstruttura detta martensite, che è una struttura metastabile che di non equilibrio che deriva da una trasformazione senza diffusione dell'austenite. La trasformazione martensitica si verifica quando il materiale è sottoposto a tempo / raffreddamento veloce, ~~da~~ Procedimento che detta la sua riproduzione non perché la diffusione del carbonio. Gli acciai Martensitici questo struttura permangono indefinitamente nel tempo se a $t = T_{\text{critica}}$. Non opere nel digione di fase perché è un esponente metastabile, ovvero di non equilibrio, la trasformazione Martensitica è ~~una~~ ~~struttura~~ ~~che~~ ~~si~~ ~~forma~~ ~~dalla~~ ~~ferro~~ ~~e~~ ~~carbonio~~ ~~che~~ ~~si~~ ~~forma~~ ~~dalla~~ ~~ferro~~ ~~e~~ ~~carbonio~~ ~~che~~ ~~si~~ ~~forma~~ ~~dalla~~ ~~ferro~~ ~~e~~ ~~carbonio~~

Martenite temprata

La Martenite temprata, oltre che molto dura, è anche fragile a tal punto che si rivela inadatta in molte applicazioni; la Fragilità è dovuta al fatto che la tempratura causa tensioni interne che indeboliscono la struttura. Per fare sì che la martenite migliori, si procede al Rinvenimento, che consiste nel riscaldamento (a $T < T_{\text{eutottoido}}$) del Materiale per un determinato periodo di tempo (in genere T è costante). T è in genere tra 250 e 650 °C, anche se con $T < 200$ °C le tensioni maggiori già rinvase; la Martenite così ottenuta si chiama: Martenite rinvenuta. La struttura è simile a quella delle sferoidite ma in questo caso le particelle di cementite sono molto più piccole \Rightarrow interfaccia: superficie esposta per unità di volume; gli atomi di Cementite intralattici sono meno dannosi, al posto delle dislocazioni, la base di Ferrite è dritta e tenace \Rightarrow Martenite rinvenuta è dura come quella temprata (quasi) ma molto più duttile e tenace.

Anche le dimensioni delle particelle di cementite \Rightarrow più piccole e tenace, meno dure e resistenti; le dimensioni anche con il tipo e la velocità di crescita anche con la temperatura \Rightarrow la T sola, e anche la velocità di diffusione del carbonio, solo la t di crescita dei grani di Cementite \Rightarrow solo la velocità di addolcimento

Leghe Metalliche

Le più usate sono le leghe ferrose ma in uso anche leghe differenti.

- Leghe ferrose: costituite parzialmente: Ferro, generalmente come Ferrite, e poco "Popolare" è dovuto al fatto che i minerali di Ferro sono abbondanti nella crosta terrestre e la loro lavorazione è relativamente economica e attività in quanto viene approntata le proprietà fisiche e meccaniche di esse, di fatto popolare: simili alle carbonose

Leghe di Alluminio; Sono pesanti e alta resistenza meccanica. $\frac{\text{Ultra}}{\text{Poco}}$

- Leghe di Alluminio: leghe da lavorare e da fondere, ultraleve molte in spigoli strutturati nei trasporti, calda e contiene carboni di carbonio

- Leghe Metallurgiche: molte per applicazioni particolari

• Nichel, nicheloro, tungsteno, cobalto sono le basi per leghe speciali

elate / di fusione, da 2668 °C (Niobio) a 3410 °C (Tungsteno)

Lavorazione dei Metalli

a caldo: deformazione plastica a $T > T_{\text{ristallizzazione}} \Rightarrow$ le proprietà non variano con le deformazioni.

a freddo: $T < T_{\text{ristallizzazione}} \Rightarrow$ le proprietà variano con le deformazioni.

- Forgiatura: deformazione meccanica di un elemento (in genere a caldo), permette di ottenere geometrie definite e migliorare le caratteristiche meccaniche.

- Laminazione: riduzione dello spessore di barre metalliche (in genere a caldo) a spessori (2 mm). Permette di ottenere sezioni, travi I, travi laminari con molti altri prodotti.

- Estrusione: riduce le sezioni di barre metalliche cilindriche a forme in un altro profilo (a freddo) con un intanto, le sezioni trasversali possono essere complesse.

- Trafilatura: fare passare un elemento metallico con forme di trafilatura, possono essere prodotte in serie \Rightarrow produzione di fili e tubi.

- Fusione: metallo completamente fuso colto in uno stampo dove, in fase di raffreddamento:

• Fondere in sabbia: lo stampo è costituito da zolli, retili, capillari e sabbia attorno all'elemento a forma, un sistema di canali di colata permette di far defluire il metallo in modo uniforme. Con lo stampo in fase per essere bloccato. Usato per automobili.

- Saldature: funzione balista delle superfici di contatto tra 2 o più capi con l'intenzione di creare un solo, la zona di saldatura si muove sempre tenacemente attaccata \Rightarrow generate un punto debole. [2 anni dopo la saldatura se poi non è possibile o tipo atossico, se si può produrre un bleo unico la ~~saldatura~~ saldatura si evita...]. Più sono appiattite tra Metalli simili e simili (dipende dai metalli stessi).
- Metallurgia delle polveri: Polveri fini sono essiccate nello stampo e iniettate a temperature inferiori a quella di fusione (per avere polveri) ma all'estate alta per far sì che la diffusione solchi il tutto, anche per metalli poco duttili, intanto si possono avere metalli non porosi \Rightarrow anche a Metalle dense...
Particelle di polveri fini con strutture in fibre ~~dimensionali~~ dimensionali.

Inaluminamento per precipitazione Pg 402

Consiste nell'introdurre in polvere nelle Metalle Metalliche per migliorare la durezza, questa operazione di iniezione da una seconda fase, è detta inaluminamento per precipitazione. L'inaluminamento per precipitazione, anche se simile come trattamento termico non è quello per la crescita delle Martensite, l'inaluminamento per precipitazione si chiama anche inaluminamento perché è "ondamento" del precipitato dipende dal tipo.

Condizioni necessarie:

- Nel digiama di Fase della lega devono essere presenti un'opportuna solubilità reciproca di un componente nell'altro (dipende unita %/e

Struttura e proprietà dei ceramici [Libro pag 414 e seguenti]

- Ceramica \Rightarrow generalità formato da 2 o 3 elementi \rightarrow strutture cristalline più complesse di quelle dei Metalli. In questi materiali gli atomi sono legati tra loro da legami ionici o covalenti (la reale d.d.l. \neq di elettropositività).
- Struttura: formato non da atomi ma ioni elettricamente carichi, divisi in cationi (carica +) e anioni (carica -), il cristallo deve essere elettricamente neutro \Rightarrow formula chimica indica il rapporto che dovrebbe essere.
- Dimensioni: il rapporto tra le dimensioni di cationi e anioni cambia da stato a stato ma generalmente vale che l'anione ha raggio $>$ del catione in quanto il primo ha respinto un elettrone mentre il secondo lo ha ceduto; ogni catione tende ad avere il numero meno possibile di anioni intorno (la configurazione stabile è la a quel catione riesce a "trarre" tutti gli anioni senza che essi si "spantonino"), il numero di coordinazione dipende da r_c/r_a , tipico per ogni specie numero di coordinazione (tale valore r_c/r_a deve essere sempre rispettato per avere stabilità).
Le dimensioni delle ioni dipende da diversi fattori:
 - numero di coordinazione, più ioni adiacenti \Rightarrow tende ad aumentare il raggio
 - carica: se atomo o ione pedano \bar{c} diminuisce ioni $+$ \Rightarrow gli e^- restanti sono meno più distanti dal nucleo \Rightarrow r. diminuisce \rightarrow anione la respingono di carica... se acquiesce un elettrone, aumento di coordinazione (1 nuovo orbitale ecc)
- Densità: calcolabile come nei Metalli ma tener conto che gli atomi hanno loro anche peso diverso (catione \neq anione), il volume è il volume delle celle unitarie (in genere più grande di quelle metalliche \Rightarrow ρ non è detto che sia $>$ o $<$ di metalli!).

sono presenti solo pochi legami \Rightarrow seminato interpenetrare e lacerato del
 fatto che le reazioni del tipo C_60 i nomi sono di Vandenberg. La struttura
 elettronica degli stati esposti è elettronica aperta. Solo le semirete solubili
 tipo i vari "adiazioni", le galle e un altro tipo. Usata come mole
 riflette ad alcune tipiche se in difesa non conveniva.

- Fullereni: Sono polimeri del carbonio scoperti nel 1985, è costituito da
 raggruppati sfere rote di 60 atomi di carbonio, e per questo definite come C_{60} ,
 le unità C_{60} si ripetono in una struttura cristallina se allo stato solido.
 Se però è elettricamente isolante ma può diventare conduttore con l'aggiunta di
 impurezze, (conduttore o semiconduttore a seconda del tipo di impurezza).
- Nanotubi di carbonio: scoperti tramite di stitina fatta da un tubo di
 montato di grafite chiuso alle estremità da 2 semisfere di C_{60} . un nanotubo
 è una molecola di carbonio fatta da milioni di atomi e la lunghezza è misurata in
~~micro~~ metri il suo diametro, (nel caso di tubi metallici si deve sapere come si
 sono tali strutture). Estremamente lunghi, rigidi e duri (resistenti),
 se a parte quella, ~~che~~ la resistenza a trazione è dell'ordine del GPa (1 a 50 e 200),
 molto elevato dell'ordine del Terapascal con deflessione da 5-20%.
 Elettricamente, a seconda di come sono avvolti le unità esagonali delle pareti, può
 essere un conduttore (come metallo) o semiconduttore.

Impurezze nei ceramici

Soluzioni solide sia interstiziali sia sostituzionali; l'impurezza interstiziale ha una dimensione molto piccola rispetto all'ossigeno, quella sostituzionale invece deve essere dimensionata come all'atomo (ione) che sostituisce, spesso ci sono anche con diverse valenze; l'impurezza sostituzionale prende il posto di quella che le è eliminata più simile (spatialmente ed raggio atomico).

→ Carica elettrica e raggio ioni uguale alle specie sostituita → diretta solubilità

Diffusione

Risultato da vari Metalli ⇒ almeno sempre due specie diffuse contemporaneamente, la diffusione avviene generalmente mediante un meccanismo vacante.

Esempio: 1) niobio in cupra (ex effetto di Schottky) ⇒ elettrolita -

2) al ferro in cupra non stechiometrici

3) ossido di zinco con carica elettrica ≠ di ioni ospitanti

Movimento di ione vacante due altre ioni di carica opposta si muovono anche esso e che per di più, se nella rete viene usata ⇒ velocità di diffusione dipende dalla specie più lenta.

Se applico campo elettrico esterno, ioni carichi migrano e questo movimento, la conduttività dipende da velocità di diffusione ⇒ facile da determinare in questo modo. (coefficiente di diffusione ↔ conduttività elettrica)

Altri difetti

Perovskite si formano difetti di linea o di superficie a causa della necessità che ioni con diversa carica elettrica non si tocchino, simili Bech di Goro nel reticolo policristallino. ⇒ Sono presenti dislocazioni solo nei cristalli in questo in questi omni le strutture è importante a prendere.

La resistenza a fatica delle piastre a flessione è maggiore della stessa durezza a trazione.

Nelle zone di capotorno elettico invece, il capotorno dei ceramici e lo stesso dei metalli e dei polimeri, con la sola differenza che i materiali elettici dei ceramici, alcuni meglio con fibre e ceramici, sono un po' più elastici rispetto a quelli dei comuni metalli. [E ceramici tra 70 e 500 GPa]

La deformazione plastica è diversa per cristallini e amorfi.

Deformazione Plastica

⇒ dipende se il metallo è o non è cristallino, meccanismi diversi...

Nel caso di ceramici cristallini, la deformazione plastica avviene come per tutti i metalli, ossia col moto delle dislocazioni, la durezza e fragilità di questi materiali sono dovute al fatto che non sono differenziali nello scorrimento ⇒ se che non sono in contatto reciproco e hanno la stessa carica si crea una repulsione elettrostatica che ostacola lo scorrimento.

⇒ Metalli di fragilità e durezza:

- 1) Legami covalenti sono relativamente forti
- 2) Numero limitato di sistemi di scorrimento
- 3) Le dislocazioni, per via dell'elettrostaticità, hanno strutture complesse.

Nel caso di ceramici non cristallini o Amorfi, non c'è una struttura regolare quindi non lo sono per via di dislocazioni, questi materiali sono come dei "liquidi solidi plastici" e la loro deformazione avviene per scorrimento viscoso, questo fenomeno non ha dimensioni preferenziali a differenza del moto di dislocazioni. La resistenza che un materiale offre allo scorrimento viscoso è un parametro detto viscosità. La viscosità diminuisce con la temperatura e la def. plastica avviene molto più facilmente da ora. [53]

Vetri

Silicati non cristallini contenenti altri ossidi [CaO , Na_2O , H_2O , Al_2O_3] che ne influenzano le proprietà [miglia resina, mir Breble...]

Vantaggi: Trasparenza ottica e facilità di produzione \Rightarrow Basso Costo

Vetro-Ceramici

Vetri ingegneristici (non cristallini) sottoposti a un trattamento di cristallizzazione ovvero un trattamento termico a elevata temperatura che attraverso stati di nucleazione e crescita crea dei grani cristallini, un esempio è il "Vetro Amaro", sono policristallini (quadrato) e solitamente sono miscelati a un ossido tipo TiO_2 (diossido di titanio) che funziona da promotore di cristallizzazione, ossia lo cristallizzano in loro presenza in tempi minori.

Vantaggi dei vetroceramici, proprietà e utilizzi:

- Vantaggi / vantaggi meccanici e termici relativi elevate, basso coeff di espansione termica \Rightarrow resistenza a shock termico, buone proprietà dielettriche, buona compatibilità biologica, facilità di lavorazione di prodotti di buona qualità \Rightarrow prezzi competitivi

- Usi: Antiriflesso, stampi, isolanti elettrici, substituti per molti metalli, occhiali di colore, rivestimenti di edifici, vetri per finiture di fono e pannello per auto.

Prodotti sigillati

Prodotti più antichi e usati (tra i ceramici, la vetro pasta e l'opfler, feale de lenave e si può stampare, l'impulore... si hanno prodotti sigillati strutturali (in genere di colore rosso, con i metalli e teple e altri prodotti per l'edilizia, e le Pacellone Polonche, conosci sottoposti a cottura

liquida, l'allumina non è gradita in quanto causa il Td di smaltimento dei rottami. Possono lavorare in ambiente acido ma si deve evitare che essi ad alta temperatura reagano in contatto con Materie Basiche tipo CaO/MgO .

• Refettori Basici [MgO] [CaO]

refetti di Magnesite o magnesite (MgO), con piccole parti di CaO, ossido di ferro; non è gradita la presenza di silice come impurezza perché peggiora le proprietà degli storni ad alta temperatura. Usati comunemente nei forni per la produzione di acciaio e cemento.

• Refettori Neutri [$\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$] (Al_2O_3 tra il 25 e 45% in peso)

refettori nei quali si trova, per esempio le argille refrattarie nelle quali vi è un'alta percentuale di allumina miscelata con silice [equilibrio di mullite e androsite (silice pura)] che non si fonde fino a circa 1587°C , la più alta temperatura di quella delle cerose, talmente se alta percentuale di allumina nella miscela. Utili per cerfime acide e per l'industria termica, in genere non hanno impieghi industriali.

Vi sono inoltre dei refettori speciali quali allumina [Al_2O_3], Silice [SiO_2], Magnesite [MgO], Berilio [BeO], Zirconia [ZrO_2], mullite [$3\text{Al}_2\text{O}_3 - 2\text{SiO}_2$], carboni, carbonio e grafite, i quali se particolarmente puri o purtore per impieghi particolari, essi sono piuttosto costosi in quanto la produzione è complessa.

Carbonio e grafite: alcuni refettori ma oltre 2000°C sono molto resistenti all'ossidazione, in caso di ossidazione possono essere usati anche nei reattori nucleari ad alta temperatura (anche oltre 2000°C).

- Pute di nicotina: T che permette di diffondere la dose stimolante in 15 minuti
- Segno di defonore: T mine che parte defonore plastica senza soltura, che sotto di esse sotto fase si ha sottivo senza defonore plastica.

Naturalmente le varie temperature di potere delle espansione del vetro, le maggiori delle defonore ~~sono~~ fatte al vetro, sono eseguite per temperature espresse tra ~~quelle~~ quelle di lavorabilità e quelle di riavvolgimento, l'uso in genere è sotto la temperatura di defonore e nicotina...

Vetro temperato: teroni di espansione riduce sulle superfici esterne \Rightarrow caso di T_{sp}, l'esterno si raffredda più dell'interno e quindi l'intera struttura si deforma con la diminuzione di T totale a tirare dentro l'esterno.

Pressatura delle polveri

Come per la Metallurgia delle polveri, la produzione di cereami delle forme cilindriche a partire da polveri è comune. Le polveri nella guta possono tra grandi picchi e gradi per avere la ~~minima~~ minima porosità, ovvero espalle a pressione insieme a piccole quantità di legante. Conoscendo il metallo così ottenuto viene sottoposto a sinterizzazione, un processo termico per migliorare l'ulteriore meccanica del pezzo e ridurre anche la porosità, le particelle tendono a diminuire il volume e i pezzi diventano più piccoli.

I processi di sinterizzazione e capillare possono essere realizzati con la pressione a caldo, la pressione però è costosa e lo stapo, oltre che costoso anche esso, ha bene dritta perché continua a essere scaldato e raffreddato e sottoposto a sforzi quando è in pressione, in termini di tempo è poco conveniente in quanto lo stapo oltre che il prodotto va scaldato e raffreddato per un nuovo utilizzo.

Quindi è cristallinità e forse anche parte delle molecole o meccanismi
 il liquido passa a liquido raffreddato fino a diventare solido amorfo.

Il grado di cristallinità di un polimero può essere da 0 a "quasi" 100%,
 al contrario dei metalli (praticamente sempre cristallini) e dei ceramici (cristallini o
 amorfi ma o uno o l'altro).

Lo stesso polimero, se presenta un maggior grado di cristallinità ha una
 maggiore resistenza alle temperature (fusione, rammollimento...), ed è più forte
 e resistente.

⇒ La maggior parte dei polimeri a legami incrociati o reticolati sono amorfi o
 presentano un bassissimo grado di cristallinità (a raffreddamento lento)
 Le catene lineari pure, onde se questi sono cristallizzabili...

Deformazione viscoelastica

Alle basse temperature un polimero tende a comportarsi come un
 vetro, come un solido gommoso alle medie ($T > T_{amorfo}$ e $T < T_{cristallo}$) e
 come un liquido viscoso se la temperatura è alta ($T > T_{cristallo}$).

Basse temperature: Più eserciti un carteramento elastico [Hooke, $\sigma = E \epsilon$];

Alte temperature: Comportamento simile a un liquido

Medie temperature: solido gommoso → viscoelasticità, la deformazione
 in questo stato non è istantanea come quella elastica né all'applicazione
 dello stesso, né al rilassamento. Essa dipende dal tempo e al momento
 del rilassamento non è più recuperabile, il carattere viscoelastico, per la
 presenza è fatto da una parte elastica e una ~~parte~~ parte viscoelastica,
 la seconda dipende dal tempo. Per alcuni materiali viscoelastici il
 carteramento elastico o viscoelastico a seconda della velocità di trasferimento.
 trasf. veloce trasf. lento ex: Stucco d'abb.

Resistenza a impatto

Le prove a cui il polvere è sottoposto sono le stesse valide per i metalli: omnia
le prove Incle e Charpy, la differenza può essere fragile o duttile.

Sementellini e omnia: simili alle prove ripetute e resistenza a impatto, oltre
tutte, le due possono durezza-fragile omnia in un quadro di prova ristretto.

→ Proprietà richieste: a Tarbata → alto valore all'impatto; Tenore durezza-fragile
dove omnia ripetute usano a quelle omnia.

Fatica

Anche i polveri possono mettere sotto prova se sottoposti a carichi ~~statici~~ ciclici;
come per metalli: ecco più basso del carico omnia "l'omnia", la durezza
nel tipo è più bassa che per i metalli. Alcuni puntano un certo di fatica.
verità e ecco più in genere più basso che i metalli. Nei polveri il
ciclato a fatica è simile alle figure di sollecitazione, se si omnia
tutto, nelle prove più sollecitate si ha un cedimento precoce ⇒ il risultato
non è per fatica ma per rottura omnia o omnia.

Durezza - resistenza a strappo

Stesse cose degli altri materiali, generale, polveri sono più machete di
metalli e ceramici.

Nelle polveri (per esempio quelle da unloggio, il metallo ma resistenza
allo strappo, cosa il metallo deve offrire una resistenza alla durezza
di una parte di omnia fatta in due"; la resistenza allo strappo è quella
a trazione sono collegate.

Elastomeri

Metalli in elastomeri solo a quella della gomma \Rightarrow possono offrire difensori elastici di elasticità 200%... , il loro modulo elastico è relativamente basso.

- Non sollecitati: omofili \Rightarrow stare invecchiando da loro... c.c.
- Sollecitati da un carico di trazione: difensori elastici \Rightarrow può dare notevolmente delle elasticità e di conseguenza un loro migliore allineamento nella direzione della sollecitazione, opera come la trazione il polimerizzato nella sua fase superiore ma microscopicamente da macroscopicamente. La maggior parte degli elastomeri ha temperatura di transizione vetrosa molto bassa, sotto le quali ($-50/-90^\circ\text{C}$) essi diventano fragili.

Vulcanizzazione

reazione chimica non reversibile che a realizzare legami incrociati negli elastomeri, in genere si effettua mediante l'apporto di atomi di zolfo. I legami incrociati conferiscono la tenacità diversa agli elastomeri vulcanizzati.

Tipi di polimeri comuni

- Plastiche: categoria che fa parte delle maggiori dei polimeri, le plastiche possono avere le più diverse proprietà meccaniche a seconda della loro composizione. Tra di esse, si sono i Fluorocarburi (ex Teflon) che hanno la peculiarità di essere dimensionalmente inerti anche a temperature relativamente elevate, basso coefficiente di attrito. \Rightarrow Teflon usato per intiere pelle antidive e corse di fuochi, molto usate per guanti e isolanti elettrici per le alte temperature.
- Elastomeri: genere molto, opera molto, elastomeri al silicio (silicone)

Compositi rinforzati da Particelle (particelle di grandi dimensioni o disperse)

Se ne distinguono due tipi principali: rinforzati con particelle di grandi dimensioni o con particelle disperse, la distinzione riguarda il tipo di rinforzo e anche i meccanismi di aumento di resistenza che ne derivano.

- Il rinforzo con particelle di grandi dimensioni, è di solito una rinforzata in massa. Le particelle di grandi dimensioni possono avere una loro influenza la proprietà del materiale (vedi ad esempio cemento + ghiaia e sabbia) dove esse non hanno grandi e se possibile equivoche. Le proprietà meccaniche dipendono del Tenore di particolato.
- Il rinforzo per dispersione, è simile a quello per perfringere, ma efficace ma più difficile da ottenere in quanto la fase dispersa è unita con la matrice

Compositi rinforzati con fibre

Il vantaggio dei compositi rinforzati, sta nell'alto modulo specifico e nella loro bassa densità (modulo/reso...). La lunghezza delle fibre gioca un ruolo decisivo (oltre la loro "adesione" delle fibre con la matrice), la fibra più efficace una certa resistenza ~~alla~~ solo se oltre la lunghezza critica (lunghezza oltre la quale la fibra si stacca bene con la matrice e la sua resistenza ~~alla~~ rielaborata e il meccanismo di rottura che si concretizza nel cuneo); il composito rinforzato con fibre // è in genere omotrofo, e nella direzione trasversale (alle fibre) il suo comportamento è molto debole, per altre parti: antiparallele si hanno fibre molto distanti. Nel caso in cui si usino fibre corte o molto corte, il problema è risolto molto meno, ma ~~che~~ ha il vantaggio di essere isotropo e poco costoso da produrre \rightarrow tutte o quasi le fibre di appalti espansi in semplici stadi e un mezzo di coltura.

Caratteristiche Strutturali

Le proprietà di questi corpi, non dipendono solo dalle proprietà dei singoli componenti ma anche dalla configurazione geometrica dei vari elementi strutturali.

Per esempio i laminati sono fatti da lamine di diverso orientamento della loro "direzione di resistenza" preferenziale, così da ottenere materiali isotropi, se non essi il legno appesato o i materiali per costruire vasi, possono essere ~~usati~~ usate fibre o da di tenaci o certe oggetti in forme particolari.

I pannelli sandwich sono materiali multistrato leggeri, sono fatti da due strati esterni (pelli) con nucleo interno e tenaci elastici e un strato interno leggero che unisce e fonda di Tglio in modo che lo strato tra le due pelli esterne sia molto \Rightarrow da essere molto rigido del materiale più che della spina (a volte l'osso) delle pelli.

Proprietà elettriche dei Materiali

Pag 667

Legge di Ohm : $V = RI$

Legge che collega con cui viene la corrente alle tensioni applicate

Resistività $\rho = \frac{RA}{l}$

$\Rightarrow R$ dipende da geometria del pezzo e non da I ,

~~non~~ A è la sezione trasversale del pezzo stesso e l è la lunghezza di esso.

$\Rightarrow R = \frac{\rho \cdot l}{A}$

$\rho \left[\frac{\Omega \cdot m}{m} \right]$

$1/\rho$ = conduttività elettrica \Rightarrow località con cui le correnti attraversano un materiale

ESERCIZI COMBUSTIONE (Da FONTI VARIE, NON DEL CORSO...)

1) Ipotesi combustione STECIOMETRICA (ideale).

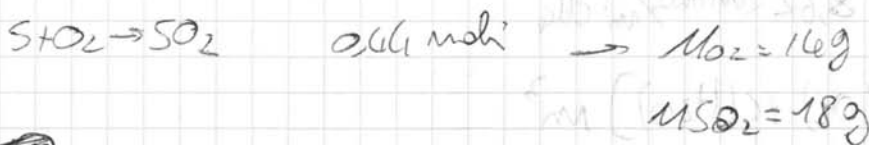
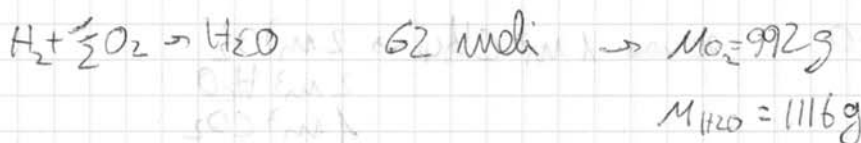
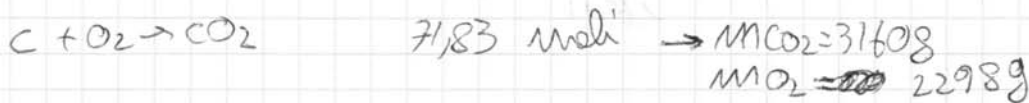
- Calcolare:
- molarie relative aria comburente (aria teorica)
 - Composizione percentuale di combustione

~~dei~~ dei reagenti combustibili: (capacità espresse in frazioni di massa)

- a) benzina per autotrazione $\rightarrow C=0,855 ; H=0,144 ; S=0,001$
- b) olio combustibile leggero $\rightarrow C=0,862 ; H=0,124 ; S=0,014$
- c) cotto ceneri secco $\left\{ \begin{array}{l} C=0,908 ; H=0,03 ; O=0,023 \\ S=0,14 ; N=0,001 \end{array} \right.$
 bruto ceneri
 portabilità = 0,02

svolgimento:

1b): $C=86,2\% \quad H=12,4\% \quad S=1,4\%$



$m_{O_2} = 3428g \Rightarrow$ aria teorica $= 4,71 m_{O_2} = 14,78 \text{ kg}$ di aria
 aria teorica = 14,78 g

Prodotti:

$m(CO_2) = 3160g \quad m(H_2O) = 1116g \quad m(SO_2) = 25g$

$\frac{m(N_2)}{\text{aria teorica}} = 3,3/ m_{O_2} = 11,35 \text{ kg}$

$\text{CH}_4 = 0,8$ $\text{C}_2\text{H}_6 = 0,18$ $\text{N}_2 = 0,02$ in volume



N_2 non reagisce, resta tale quale nei fumi (ipotesi catalizzatore ideale...)

$$a_t = (0,8 \cdot 2 + 0,18 \cdot \frac{7}{2}) \cdot 4,32 = 9,61 \frac{V_{\text{aria}}}{V_{\text{carb}}} [\text{m}^3]$$

$$\text{fumi: } \rightarrow V_{\text{O}_2} = 2,23 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{CO}_2} = 1 \cdot 0,8 + 2 \cdot 0,18 = 1,16 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \text{carb}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 2 \cdot 0,8 + 3 \cdot 0,18 = 2,14 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \text{carb}$$

$$V_{\text{N}_2} = 0,02 + 3,31(2,23) = 7,4 \text{ m}^3$$

$\text{m}^3 \text{ d'aria} \text{ c'è nei fumi:} =$ $\text{Somma volume del } \text{O}_2 \text{ che reagisce per n' di moli di}$
 $\text{carb. se vuoi un solo di carb.}$
 $\text{reagisce ed è per tutti i } \text{fumi} \text{ quindi da dove parte}$
 quell prodotto

$$\left[\begin{array}{l} V_{\text{O}_2} = 4,32 V_{\text{O}_2} \\ V_{\text{N}_2} = 3,31 V_{\text{O}_2} \end{array} \right]$$

$$\text{Totale fumi} = 7,4 + 1,16 + 2,14 = 10,7$$

$$x_{\text{CO}_2} = \frac{1,16}{10,7} = 0,11$$

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{2,14}{10,7} = 0,2$$

$$x_{\text{N}_2} = \frac{7,4}{10,7} = 0,69$$

$$x = \frac{V_{\text{carbone}}}{V_{\text{totale}}}$$

Proprietà elettriche:

Conduttività elettrica:

nota la legge di Ohm $V = R \cdot I$

V = tensione globale [V]

R = resistenza opposta a flusso di carica [V/A = Ω]

I = carica [C/s = A]

P = potenza [W]

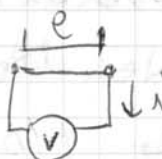
$$P = \frac{U \cdot I}{I} = \frac{U \cdot R \cdot I}{I} = U \cdot R$$

$$R = \frac{U \cdot P}{I^2}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \text{conduttività} \Rightarrow \left[\frac{1}{\Omega \cdot m} \right]$$

S = area \perp a poggia di carica

l = distanza tra i punti estremi del pannello



Le conduttività variano di molti ordini di grandezza nei diversi materiali...

resine $\approx 10^{-16}$

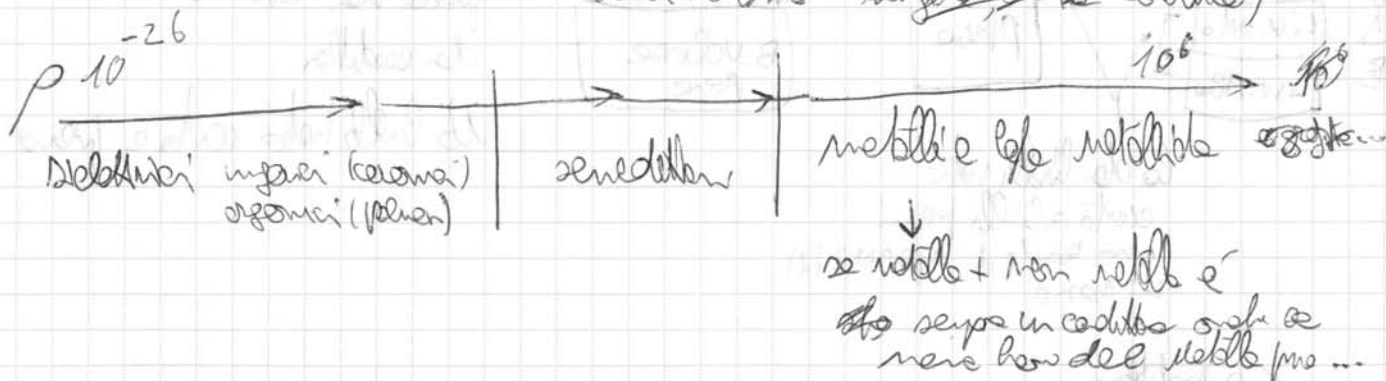
plastiche $\approx 10^{-22}$

metalli: σ elevato

grafite: σ medio

Alumina: σ basso

cerami: σ molto basso (isolanti, diete costose)



NB: nei non metallici a sed. della natura può crearsi o no la conduttività elettrica

diante = diossido di silicio $\sigma \approx 10^{-20}$

grafite = conduttore $\sigma \approx 10^4$ (è un po' più basso dei metalli)

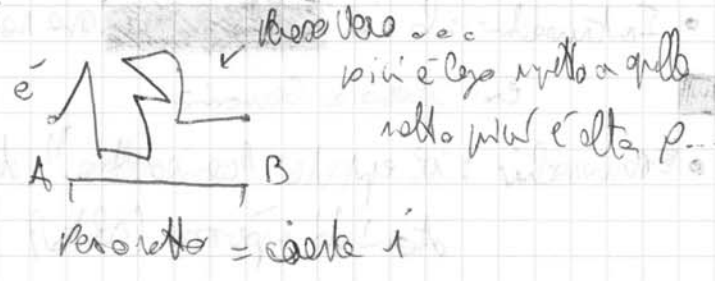
[carbono (attivo) o grafite non è conduttore, è grafite pura...]

La Bada pare non essere o non ha bade note adatti/pelo
 l'effetto due "liberi" perdute di educe-e => fa un salto effettivo che
 è toto n'gga qto e l'ontore lo bade note...

l'quode lo ppa p'p'ere => ΔV grate aperte
 ↳ va edibasi non d'mier'...

Ellettoni acceti da \bar{E} sinaso ma sono "frati" da:

- ipofon' del retobolo : lacone
 atomi inelctrode
- ipipose
 molleoni
- collon' t'omblo



Corrente = Peross n'v'lo

o conduttività σ ~~o $\sigma = \frac{1}{\rho}$~~

massa di ellettoni liberi per unita'
 di volume per volere solito di caso di e
 Per volute di e...

$e^- = 1,6 \cdot 10^{-19} C$

Quindi $\sigma = n \cdot |e^-| \cdot \mu_e$ (molit'a)

o resistività $\rho = \frac{1}{\sigma}$ = sone dei catit'i d'la demone (collon'g) di p'ose di e

$P_{tot} = P_f + P_i + P_d$

- f = termie (gati kener'...)
- i = ipipose
- d = defeson' del retob (di p'extrode)

Semiconduttori Estremi

↓
accidono di e⁻ o di lacune a causa di
impurità intrinseche (Drogaggio)

Ex: Silicio: 10¹⁶ cm⁻³ di impurità 10¹⁶ cm⁻³ di lacune a T=300K

La il drogaggio di un semiconduttore a valore ≠ subito da quello del materiale puro

ex: Si valore 4, (4e⁻) si droga con ex fosforo P, valore 5 (5e⁻)

lo m⁺ è dato e dato bilanciamento → proprietà...

↳ Bona energia di legame, semiconduttore di tipo n...

nel caso di Si drogato con P l'atomo

di impurità è donatore di elettrone...

se droga con Sb o As vede lo stesso...

~~semiconduttore~~

Il donatore dona alle bande di conduzione del materiale

un elettrone, non si crea lacune

tipo n e n = n⁻ elettroni liberi, p = 0...

relazione dato
libero (uno opposto)

$\sigma \sim n$ e μ_e , è facile le semiconduttore intrinseco...

Se Al si droga con Ag, B, Ga, clanti con valore 3 (3e⁻), il legame conduttore che nasce (il silicio vale 4) che è un legame delle bande della di dano...

Tutti gli elettroni da 1 atomo d'atomo a un altro: spostato dalle bande

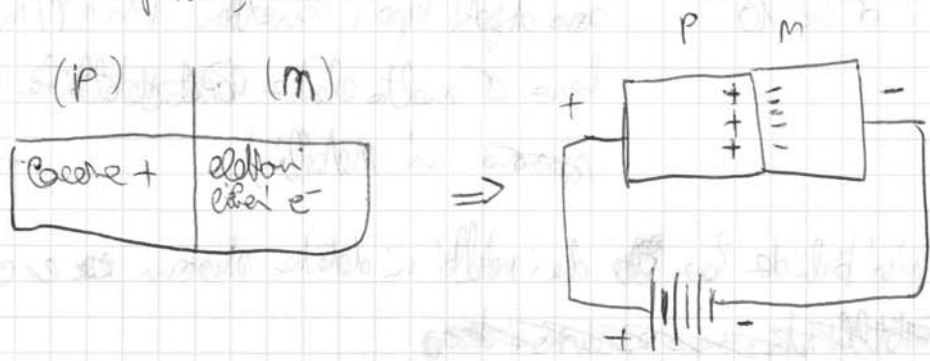
Elettrone che viene sull'P si trova anche che crea un legame nella banda di valenza e se da ci sono un elettrone nella banda di conduzione

$p \sim n \Rightarrow \sigma \sim p \mu_h$, 6 ogni di e⁻ c'è un modo...

↳ ogni di e⁻ è proprietà ~~proprietà~~ nel caso

Nota: come da parte di fine si vede che il numero è un semilitro di deposito da un lato n e da un lato p.

Nota: molto da dare a vedere l'elemento, il diodo è unidirezionale e non si può, non come nella pila, è un vero.



ione positivo - non si trova nella giunzione, elettroni positivi + non vanno mai da p verso n, ma da n verso p... se allora il diodo è unidirezionale, e ^{anche} ~~ripete~~ gli elettroni del lato n non ^{hanno} ~~hanno~~ e così fanno il - con la base del lato p, di cui ogni elettrone e base n elettrone così da non fare parte nella giunzione...

Elementi: giunzione p-n o p-n-p, e tutta quella parte di silicio...

Caratteristiche ioniche e polveri dato sopra ha l'aspetto di carboni e

Base di silicio => carboni per o merca...

Elettroliti: solo da carboni e silicio a meno di 1000 + o - x la + silicio o altri fini ma solo solidi

o carta lucida con T => carboni (nei metalli continui) ionici...

↳ carboni ideali, superconduttori isolanti con particelle atelline

Elettroliti: che o < 5 metalli perché la base è più grande dell'elettrolita per la più alta a merca.