



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1019

DATA: 14/07/2014

A P P U N T I

STUDENTE: Bettale

MATERIA: Scienza e Tecnologia dei Materiali + Eserc.

Prof. Vernè

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

ENRICA
VERNE

Correlazione
STRUTTURA /
PROPRIETÀ -

Slide + appunti
esercitazioni
possibili domande + risposte
Schemi finali

MIO APPUNTO 25/6

- esercizio Dds sul diagramma Mg-Pb a fusione congruente
fare la tabella x 4 temperature (una eutettica)
- esercizio svolto su dilatazione termica
- modello di Maxwell. descrizione e grafico E-t
- Conduttività termica: definizione, meccanismi e fattori che la influenzano
- Difetti di punto e loro ruolo nelle proprietà.
- microstruttura di un acciaio ipereutettoideico a TAMB.

CLASSIFICAZIONE PER PROPRIETÀ

MATERIALI METALLICI

= sostanze inorganiche composte da
1 o + elementi metallici (Fe, Cu, Al, Ni, Ti)
che possono però contenere elementi non metallici
(C, N, O)

si suddividono in:

- metalli puri: solo 1 elemento metallico
- leghe: più elementi metallici, con anche elementi non metallici

a loro volta suddivisi in 2 classi:

- metalli e leghe ferrose, che contengono una elevata % di Fe, come acciai e ghise
- metalli e leghe non ferrose, che non contengono Fe, o ne contengono poco, come titanio, cobalto-cromo e alluminio

⚠ acciaio = Fe + C (lega)

ci sono poi le superleghe (Ni, Fe-Ni-Co) che hanno elevati livelli di sforzo ed elevate prestazioni ad alte temperature

Le principali proprietà sono:

- Opacità = non sono trasparenti alla luce visibile (è errato dire che non sono vuoti)
- Luce propria = riflettono la luce (si può ottenere modificando la superficie)
- elevata resistenza meccanica (solo x materiali di interesse ingegneristico, non quelli usati d'ambier no Hg)

assorbire
tutto
e la
rifletta
tutta

⚠ ci sono tantissimi tipi di metalli, con tante caratteristiche diverse, xk ci sono tante configurazioni elettroniche diverse.

- **REFRATTARIETÀ** = mantengono le loro caratteristiche meccaniche, resistono alle alte temperature (una classe particolare sono i ceramici refrattari, che ad esempio compongono i forni per fondere i metalli)
- **Inerzia chimica** anche in ambienti aggressivi = non si degradano facilmente a contatto con ambienti aggressivi, come ossidanti, acidi, alcali (infatti i metalli si ossidano, le ceramiche no)
- **STRUTTURA cristallina** (e amorfa, varia)...
- **Densità variabile tra $3-5 \text{ g/cm}^3$** (non è variabile come i metalli)

in particolare, i vetri:

si ottengono x fusione di ossidi / ceramiche

(SiO_2 , Na_2O , Al_2O_3 , K_2O ...)

Hanno diverse proprietà come:

- **FRAGILITÀ**
- **Durezza** (anche molto elevata)
- **Rigidità**
- **scarsa conducibilità termica ed elettrica**
- **lavorabili solo a caldo**
- **STRUTTURA amorfa** ✓
- **Densità di circa 2.5 g/cm^3**

MATERIALI POLIMERICI

- Sono materiali costituiti da lunghe catene o reticoli di molecole tutte organiche (contengono C , tranne gli ossidi e i sali). Derivano dal petrolio, silicone a parte.

Le principali proprietà sono:

- non sopportano alte T (si sciolgono prima rispetto a metalli e ceramiche)
- **ISOLANTE termico ed elettrico** (le guarnizioni per cavi elettrici sono fatte in plastica).
- **HA MOLTA RESISTENZA MECCANICA**: dipende!
 il polietilene a \downarrow densità, cioè peso molecolare, si spezza (sacchetti), invece a \uparrow densità, cioè PM, si fanno protesti di anche.

● ↓ il peso dei componenti, con una matrice polimerica

esempio: rinforzo di una ceramica con fibre dello stesso materiale ceramico (C, C)

le fibre sono orientate! così ↑ la resistenza meccanica in una precisa direzione!

Si possono classificare,

- a seconda della matrice in:

- compositi a matrice metallica
- " " polimerica
- " " ceramica
- " " vetrosa o vetroceramica

ex: vetroresine, calcestruzzo armato

- a seconda della fase dispersa in:

- compositi rinforzati con fibre (unghe o corte) orientate o disordinate
- compositi rinforzati con le particelle

} a seconda della geometria =

in più la seconda fase può appartenere ad ognuna delle classi principali dei materiali

CLASSIFICAZIONE PER LEGAME CHIMICO

Solidi metallici

= atomi legati insieme da legame metallico, non direzionale

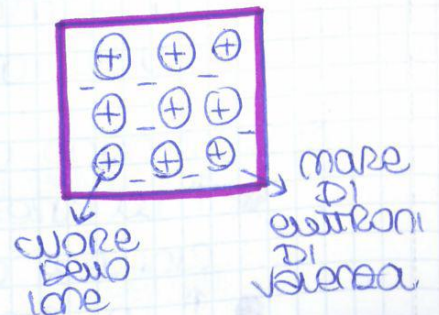
esempi: metalli puri, leghe metalliche...

Gli atomi sono disposti in modo ordinato.

il legame non è individuato tra atomi particolari, ma è dato dagli elettroni di valenza che sono a disposizione di tutti gli atomi appartenenti al solido = mare di e⁻ che circonda tutti gli atomi

di metallo (cationi)

abbiamo una sequenza di cationi con attorno cariche negative che bilanciano la carica positiva e non fanno



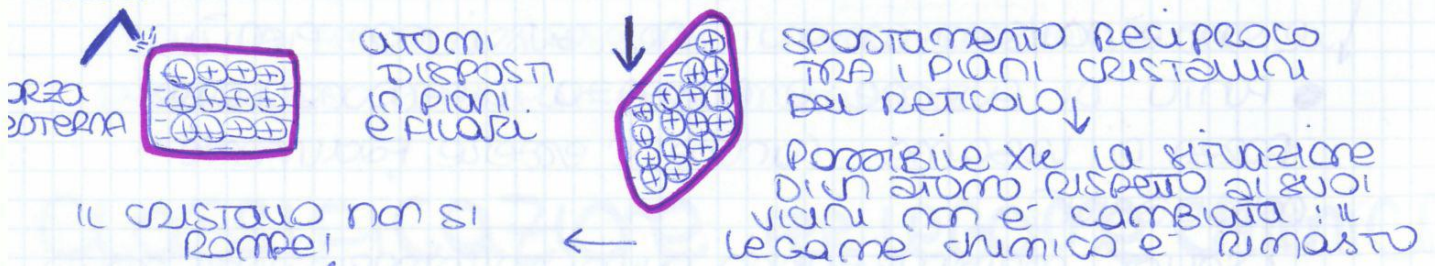
interagiscono con qualunque radiazione nel visibile, passando da un livello energetico all'altro, e la radiazione viene assorbita, cioè l'energia non viene restituita dal materiale, determinando opacità.

Proprietà elettriche:

• ↑ conducibilità; perché gli e^- delocalizzati non sono molto attratti e possono quindi essere messi in movimento anche da un potenziale blando, permettendo alla corrente di passare (anche ↑ conducibilità termica)

Proprietà meccaniche: (Grossolane)

• ↑ plasticità = facile scorrimento reciproco dei piani cristallini: i solidi vengono deformati in modo irreversibile prima di rompersi, grazie alla non direzionalità del legame chimico ed al fatto che gli atomi sono tutti uguali, poiché non si deve garantire elettroneutralità.



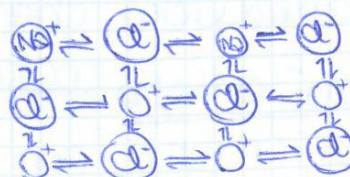
Solidi ionici

= ioni, cioè elementi che:

- cedono e^- di valenza (cationi)
- acquistano e^- (anioni)

si legano tra di loro con il legame ionico, dato da forze coulombiane, non direzionale, perché si incontrano in tutte le direzioni e solo se la distanza è giusta si forma il legame.

Rispetto ai solidi metallici, gli e^- non sono più delocalizzati, ma impegnati in un legame chimico vero e proprio



ex: cloruro di sodio anche saie ceramiche

LE CONFIGURAZIONI POSSIBILI:

Numero di coordinazione	r_c/r_A	Geometria
2	$< 0,155$	Lineare
3	$0,155 - 0,225$	TRIANGOLARE
4	$0,225 - 0,414$	TETRAEDRICA
6	$0,414 - 0,732$	OTTAEDRICA
8	$0,732 - 1$	CUBICA

} poco comuni
 } più comuni
 x i
 } ceramici

abbiamo quindi detto che il grado di impacchettamento dipende dalle dimensioni reciproche degli ioni e dalla necessità di assicurare l'elettroneutralità del solido.

Proprietà fisiche:

- ↑ Punti di fusione, dovuta a ↑ forza di legame
 un forte legame dipende dall'elevato numero di e- scambiati e dall'elevata vicinanza dei nuclei (L'H₂O può però sciogliere quest legame)
- Densità moderate: la disposizione degli ioni nello spazio non raggiunge il massimo impacchettamento possibile perché, a garantire l'elettroneutralità (e minimizzare la repulsione tra gli ioni dello stesso segno), gli ioni si posizionano secondo una serie discreta, non finita, di possibili disposizioni geometriche, che dipendono dal rapporto dei raggi degli ioni (le loro dimensioni reciproche)

Proprietà elettriche:

- Buoni isolanti allo stato solido, ^{legame chimico} x e g⁻ sono impegnati in un Y
- Conduttori allo stato liquido o in soluzione acquosa, x⁺ le cariche sono in movimento e il legame è stato sciolto dall'H₂O

Proprietà ottiche:

- in genere non sono trasparenti, e sono dotati di colore proprio, perché alcune frequenze della luce visibile possono interagire con gli e⁻ di legame e venire

SOLIDI COVALENTI

= costituiti da atomi tenuti insieme da forti legami covalenti

esempi: C elementare, come grafite o diamante, e lo zaffiro (SiO_2)

Il diamante è formato da tetraedri interconnessi sia nel centro che ai vertici con legami in cui vengono condivisi 2 e^- .

Il legame nei solidi covalenti è un legame fortemente direzionale ed è possibile solo grazie alla giusta sovrapposizione degli orbitali.

Il diamante è caratterizzato da:

- orbitali ibridi sp^3
- interazioni π forti
- pessima conducibilità elettrica
- estrema durezza
- elevatissimo punto di fusione

La grafite è una forma allotropica del diamante.

Ha un'organizzazione in strati sovrapposti, tenuti insieme da interazioni di Van der Waals.

Ha orbitali ibridi sp^2 con 3 e^- condivisi nel piano orizzontale (a formare esagoni) e 1 e^- nell'orbitale non ibrido p (π) nel piano verticale, dove un e^- delocalizzato. Questi e^- delocalizzati si muovono nel cristallo della grafite, si ha una debole interazione tra i vari piani, che vengono così rotati facilmente, spiegando la facile sfaldabilità della grafite e il suo uso come lubrificante. Gli e^- π delocalizzati fanno anche sì che sia un buon conduttore di corrente.

La grafite è caratterizzata da:

- orbitali ibridi sp^2
- conducibilità
- sfaldabilità
- uso come lubrificante

Le proprietà dei solidi covalenti dipendono quindi dalla direzionalità del legame e dall'elevata energia di legame.

La percentuale di carattere ionico aumenta con la differenza di elettronegatività:

- leg. ionico: 2 elementi lontani nella tavola periodica (CaF₂)
- leg. covalente: 2 elementi vicini (SiC)

In particolare \exists un diagramma Δ piramidale che riporta le differenze di elettronegatività



SOLIDI MOLECOLARI

= costituiti da molecole

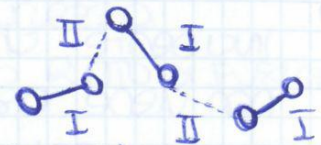
nel cristallo ci sono 2 tipi di legami:

- il legame primario intramolecolare (forte)
 - il legame secondario intermolecolare (debole)
- che tiene insieme il solido

esempi: i polimeri;

lo iodio I₂ (che a T ambiente non è solido)

è costituito da molecole biatomiche che rappresentano l'unità fondamentale



Proprietà fisiche:

- \downarrow Punt di fusione o di sublimazione, x è bassa la forza di legame, l'energia che serve per rompere il solido molecolare (cioè per rompere il legame secondario)

(se scaldi un polimero, questo scorge, x ha solo pochi legami secondari)

- \uparrow calore di dissociazione, che serve a dissociare le molecole in 2 o + atomi, unite precedentemente da un forte legame chimico

Proprietà elettriche e ottiche:

non dipendono dai legami intermolecolari, ma da quelli intramolecolari, gli unici con energia abbastanza elevata da poter interagire con quelle esterne

Proprietà meccaniche

- molto \downarrow durezza = sono teneri, x la forza di legame debole

Δ ordine a:

- ↳ CORTO RAGGIO = SOLO DENTRO L'UNITÀ STRUTTURALE, POI SI PERDE
- ↳ LUNGO RAGGIO = LO STESSO ORDINE E GLI STESSI PARAMETRI SI RIPETONO A LUNGHE DISTANZE

ECCEZIONI

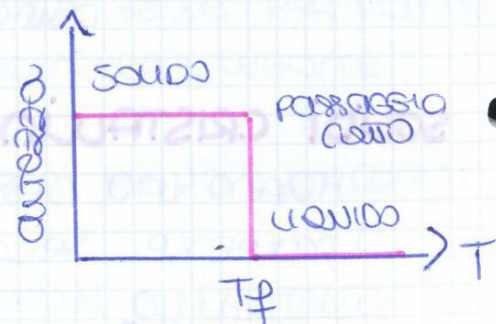
= HANNO CARATTERISTICHE INTERMEDIE TRA AMORFO E CRISTALLINO, A SECONDA DELLE ZONE

- Esempi: vetroceramiche, polimeri, composti hanno
- REGIONI CRISTALLINE (DA CUI PUÒ PRODURSI UN CRISTALLO)
 - REGIONI AMORFE, COMPLETAMENTE DISORDINATE

TEMPERATURA DI FUSIONE: T_f

= È LA TEMPERATURA DI PASSAGGIO TRA SOLIDO E LIQUIDO È DIRETTAMENTE COLTA ALLA FORZA DEL LEGAME CHIMICO PRESENTE NEL MATERIALE (SI FONDE O RAMMOLISCE A T_f PIÙ O MENO ELEVATE, A SECONDA DEL MATERIALE), LIMITA IL CAMPO DI IMPIEGO DEI MATERIALI (AD ESEMPIO I SOLIDI AMORFI SI POSSONO INIZIARE A LAVORARE UN PO' PRIMA), È DIVERSA X SOLIDI AMORFI O CRISTALLINI.

- X I SOLIDI CRISTALLINI: È UNA BEN PRECISA TEMPERATURA, SE SI SUPERA SI HA UN PASSAGGIO DISCONTINUO DA SOLIDO A LIQUIDO, CIOÈ UNA NETTA VARIAZIONE DI PROPRIETÀ FISICHE



- X I SOLIDI AMORFI: È UN INTERVALLO DI TEMPERATURE, IN CUI SI PASSA GRADUALMENTE DA SOLIDO A LIQUIDO. SI HA UNA GRADUALE VARIAZIONE DELLE PROPRIETÀ, COME LA VISCOSITÀ CHE ↓ GRADUALMENTE ALL'↑ DI T .



→ IL VETRO NON FONDE, MA RAMMOLISCE!

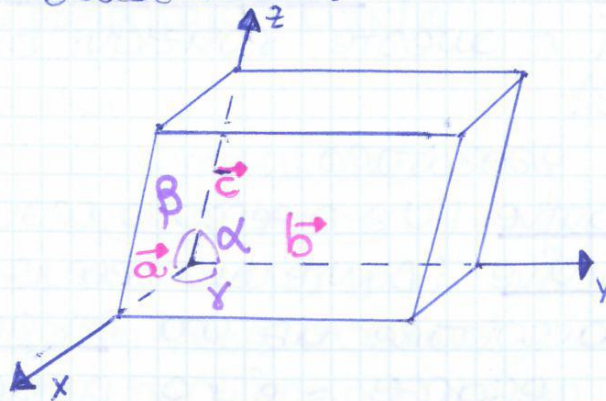
RAPPRESENTAZIONE GRAFICA

Il reticolo tridimensionale è formato da un insieme di solidi identici a forma di PARALLELEPIPEDO, delimitati da facce piane e // a forma di PARALLELOGRAMMA (cambiano le Distanze e gli angoli).

Ognuno di questi solidi contiene atomi solo ai vertici e costituisce una cella primitiva, che rappresenta il reticolo cristallino del solido, raggruppando il minor numero di atomi possibile.

Per comodità di rappresentazione gli atomi non vengono descritti come entità a stretto contatto tra di loro, ma come punti di un reticolo tridimensionale ottenuto dividendo lo spazio con 3 serie di piani. I piani di ogni serie sono tra loro // ed equidistanti. La distanza fra 2 piani può variare da una serie all'altra ed inoltre l'angolo di intersezione fra una serie e l'altra può essere uguale o \neq da 90° .

Ogni punto in cui si individua un atomo o nodo particolare che si trova su un vertice della cella, è circondato da punti distribuiti con identica regolarità e può quindi essere assunto come origine di un sistema di 3 coordinate (x, y, z) le cui direzioni sono // a quelle delle 3 serie di piani. \rightarrow una cella primitiva può ora essere definita da 3 vettori a, b, c , le cui direzioni coincidono con quelle delle 3 coordinate che costituiscono gli assi cristallografici della cella.



Inche in posizioni differenti dai vertici, come:

- nel mezzo della cella
- in mezzo a una faccia

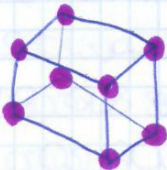
14 reticoli totali sono chiamati RETICOLI DI BRAVAIS.

esempi:

CUBICO SEMPLICE	CS
CUBICO A CORPO CENTRATO	CCC
CUBICO A FACCE CENTRATE	CFC

ATOMI e VOTI nelle celle (cubiche)


Ogni cella semplice o primitiva è delimitata da 8 atomi. Ognuno di essi è però condiviso da altre 7 celle x cui ogni cella ha mediamente un solo atomo:


CS  8 atomi RAPPRESENTATI come sfere rigide, ma ogni sfera è divisa in 8 spicchi condivisi tra celle nella cella cubica, solo 1 parte degli atomi fa parte del volume della cella

$\frac{1}{8} \cdot 8 = 1$ atomo = quantità di materia della cella

⚠ è im- possibile individuare le direzioni in cui gli atomi sono a contatto

Le celle composte contengono un numero maggiore di atomi. Così, le 2 celle CCC e CFC contengono rispettivamente 2 e 4 atomi x cella.

CCC  $\frac{1}{8} \cdot 8 + 1 = 2$ si aggiunge l'atomo centrale

CFC  $\frac{1}{8} \cdot 8 + \frac{1}{2} \cdot 6 = 4$ si aggiunge metà dei sei atomi sulle facce

La CFC contiene quindi più materiale della CCC e dà informazioni su quanto sono compatte.

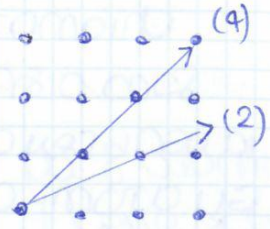
Ogni atomo è in un sito reticolare.

Siti interstiziali invece sono gli spazi voti presenti nelle strutture cristalline, cioè dentro alle celle. Su di essi si possono dare delle informazioni di tipo geometrico, che derivano dalla posizione degli atomi.

Sono molto importanti i siti presenti nelle strutture CFC, che sono di 2 tipi:

Ogni atomo può far parte di più piani, ciascuno dei quali si differenzia dagli altri per una diversa direzione ed eventualmente per una differente densità atomica. Possò trovare atomi a maggiore o minore distanza a seconda della direzione in cui guardo i piani.

Una direzione cristalografica (o un piano) può essere precisata considerando una linea // alla direzione e passante per l'origine degli assi cristalografici, stabilendo quali sono le coordinate



corrispondenti a un atomo qualunque toccato da tale linea e trasformando i valori delle

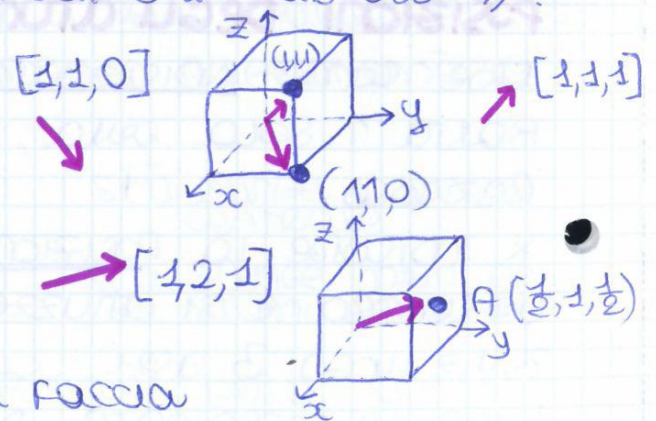
coordinate nei 3 più piccoli numeri interi, chiamati

indici di Miller della direzione, e genericamente indicati con le lettere $[u, v, w]$ tra parentesi quadre.

Essi indicano di quante volte le componenti del vettore (che unisce l'origine delle coordinate con l'atomo qualunque prescelto) sono più lunghe degli spigoli della cella di riferimento ad esse //.

gli indici di Miller per le direzioni corrispondenti agli assi x, y, z sono:

- asse x : $[1, 0, 0]$
- asse y : $[0, 1, 0]$
- asse z : $[0, 0, 1]$



e coordinate di un punto su una faccia

come A valgono $(\frac{1}{2}, 1, \frac{1}{2})$ quindi gli indici di Miller della relativa direzione valgono $[1, 2, 1]$, perché i devono avere i più piccoli numeri interi.

per ciascuno dei 3 assi possono esistere coordinate sia positive che negative. quindi è possibile avere anche indici negativi, rappresentati mediante una barra posta sopra l'indice stesso.

inche qui, ci sono sei piani equivalenti, ad esempio quelli corrispondenti alle facce di una struttura cubica dove gli atomi hanno lo stesso addeamento. I loro indici sono $(100), (010), (001), (\bar{1}00), (0\bar{1}0), (00\bar{1})$. Questi 6 piani sono cristalograficamente equivalenti e costituiscono una famiglia di piani, complessivamente indicata come $\{100\}$.

[ESEMPIO = ESAMI x RETICOLO CUBICO]

NUMERO DI COORDINAZIONE

= numero di atomi più vicini che un atomo possiede in un determinato reticolo

DAI INFORMAZIONI SULLA GEOMETRIA CHE GLI ATOMI HANNO NELLA CELLA

ESEMPLO: CCC \rightarrow NC = 8

L'atomo centrale è circondato da 8 atomi (rappresentati da sfere rigide tangenti)

DIAGONALE DEL CUBO: $D = a\sqrt{3}$

SE $R =$ RAGGIO ATOMICO (IN F.L.A.)

ALLORA $D = a\sqrt{3} = 4R$ (1 atomo e 2 mezzi)

TUTTI GLI ATOMI DISTANO $2R = a\frac{\sqrt{3}}{2}$



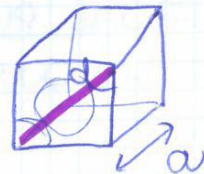
ESEMPLO: CFC \rightarrow NC = 12 (anche CE)

UN ATOMO È A CONTATTO CON 12 ATOMI (SE GUARDO FUOR CELLA)

DIAGONALE DI UNA FACCEA: $d = a\sqrt{2}$

MA ANCHE $d = 4R = a\sqrt{2}$

TUTTI GLI ATOMI DISTANO $2R = a\frac{\sqrt{2}}{2}$

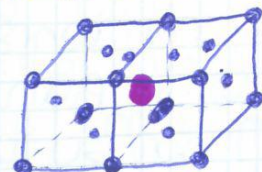


CONSIDERO 2 CFC, CON L'ATOMO DI RIFERIMENTO IN COMUNE NEI 2 FACCE ADIACENTI.

RISPETTO AD ESSO, NC = 12.

L'ATOMO DI RIFERIMENTO È A CONTATTO:

- con 3 atomi + vicini all'osservatore (A)
- con 6 atomi complanari (B)
- con 3 atomi + lontani dall'osservatore (C)



esempio: **CFC**

contiene 4 atomi, di raggio r ,
di costante reticolare a

$$FCA = \frac{4 \cdot \frac{4}{3} \pi r^3}{a^3} = \frac{16 \pi r^3}{3 a^3}$$

avevamo detto $4r = a\sqrt{2} \rightarrow a = \frac{4r}{\sqrt{2}}$

$$FCA = \frac{16 \pi r^3}{3 a^3} = \frac{16 \pi r^3}{3 \left(\frac{4r}{\sqrt{2}}\right)^3} = \frac{\pi}{12} (\sqrt{2})^3 = 0,74$$

il 74% del volume della cella è occupato da materia.
e il 26% da siti vuoti.

$NC = 12 \rightarrow FCA = 0,74$ questo è il massimo
addensarsi degli atomi possibile!

\triangle **$NC \propto FCA$** sono direttamente proporzionali!

esempio: EC, simmetria esagonale

$$NC = 12$$

si può ricondurre a una cella ancora più
semplice, un prisma ripetuto 4 volte



IMPILAGGIO DEI PIANI

PRIMO PIANO DI UNO STRATO COMPATTO: ogni sfera è
a contatto con altre 6 sfere. Per ogni gruppo di 3 sfere a contatto si forma



in interstizio planare al centro del \triangle costituito dai
centri delle 3 sfere che si toccano, cioè B o C,
mentre A indica il centro della sfera. ognuno degli
interstizi può accogliere una sfera di un successivo
strato compatto (\parallel al precedente), ma soltanto gli
interstizi di un solo tipo (B o C) vengono occupati se
si sistemano tutte le sfere dello strato successivo.

\rightarrow cioè \times mettere un secondo piano, o tutto tutte
le sfere in C o tutte in B, con una scelta
TOTALMENTE ARBITRARIA.

si ha un BI-STRATO CHIAMATO AB (=AC)

$$\rho = \frac{nA}{V_c N_A}$$

$$= \left[\frac{g}{cm^3} \right]$$

nA = quanto pesa la cella unitaria

$V_c N_A$ = volume

ρ = densità teorica $[g/cm^3]$

n = numero di atomi associati alla cella unitaria [atomi]

A = peso atomico $[g/mol]$

V_c = volume cella unitaria $[cm^3]$

N_A = numero di Avogadro = $6,023 \cdot 10^{23}$ [atomi/mole]

ρ dipende da:

- topologia della cella elementare $\leftarrow n, V_c, a, r$
- valori delle costanti reticolari $\leftarrow V_c, a, r$
- peso atomico (o molecolare) $\leftarrow A$

esempio: Cu, FCC,

$A = 63,54$, $n = 4$, $r = 1,28 \text{ \AA}$

$V = a^3 = \left(\frac{4r}{\sqrt{2}} \right)^3$ perché $4r = a\sqrt{2}$

$\rho = 8,94 \text{ g/cm}^3$

STRUTTURA CRISTALLINA nei ceramici

solidi ionici: NaCl, BaTiO₃

solidi covalenti: C (diamante), ZnS

I ceramici sono strutture più complesse di quelle dei metalli.

Il grado di impacchettamento dipende dalla direzionalità dei legami.

Ci sono diverse classi / strutture tipo:

● Strutture AX (A = catione, X = anione)

- NaCl ● Na⁺ ● Cl⁻ ioni di carica opposta NC = 6

Gli ioni Cl⁻ sono disposti a FCC, mentre i Na⁺ sono disposti dove c'è spazio: o al centro del cubo, o a metà di ogni lato del cubo, cioè negli interstizi.

(salgemma = cloruro di sodio)

- CsCl ● Cs⁺ ● Cl⁻ ioni di carica opposta NC = 8

uno ione Cs⁺ al centro con i Cl⁻ attorno, in disposizione CCC

anche in questo caso si calcola la densità teorica, partendo da dati relativi alla cella elementare, e tenendo conto dei vari ioni che la costituiscono.

$$\rho = \frac{n' (\sum A_c + \sum A_a)}{V_c N_A}$$

UNITÀ DI FORMULA =
TUTTI GLI IONI PRESENTI
NELLA FORMULA
CHIMICA ELEMENTARE

n' = numero di unità di formula nella cella unitaria
 $\sum A_c$ = somma dei pesi atomici dei cationi " "
 $\sum A_a$ = somma dei pesi atomici degli anioni " "

POLIMORFISMO

Normalmente il riscaldamento di un solido cristallino provoca la fusione. Durante il riscaldamento, è possibile che il solido cambi la sua struttura cristallina:

- anisotropia, se riguarda gli elementi
- polimorfismo, se riguarda i composti, come ad esempio Ti, Fe, C, SiO₂ silice, ZrO₂ zirconia

Il polimorfismo provoca variazioni nelle proprietà del materiale, di volume V , di coefficiente di dilatazione termica α , di modulo elastico E ...

TITENIO Ti: titanio α esagonale, titanio β cubica, liquido
 Il Ti allungato (mescolato) con altro materiale, ha grani sia cubici sia esagonali

FERRO Fe: ferro α CCC, ferro γ CFC, ferro δ CCC, liquido

SILICE SiO₂: quarzo α HEP, quarzo β tetragonale, tridimite ortorombica, cristobalite tetragonale

I forni refrattari silicei sono preparati infatti in tridimite grazie a trasformazioni irreversibili

In quest caso sono passaggi irreversibili! non posso tornare indietro raffreddando

I RAGGI X

= Sono RADIAZIONI elettromagnetiche ad alta energia (alta f) con λ di dimensioni confrontabili con quelle delle distanze tra i piani reticolari all'interno dei solidi cristallini.

vencono generati bombardando la materia con particelle ad alta energia, come gli elettroni e^- .

Quando un atomo viene bombardato, viene emesso un e^- da un guscio interno. Il vuoto così prodotto viene subito riempito da uno degli e^- del guscio a + alta energia, che decade con un salto di energia discreta, creando a sua volta un vuoto che verrà riempito da un e^- di un guscio più elevato. Queste transizioni elettroniche

sono accompagnate da:

- emissione di un'energia ben determinata, \propto ai salti dei livelli energetici
- emissione di una riga spettrale di raggi X caratteristica

così facendo, l'atomo eccitato ritorna nel suo stato fondamentale stabile.

Ogni riga spettrale ha un'energia $h\nu = E$, che è = alla differenza tra le energie di legame dei 2 e^- che prendono parte alla transizione.

Le righe spettrali hanno una propria nomenclatura:

$X K \alpha_1$

ex: CuK α_1 , FeK β_2

- X = elemento chimico o materiale che produce la transizione
- K = guscio dal quale si è spostato il 1° e^- (K, L, M, N...)
- α = lettere greche che indicano il sotto-guscio di provenienza del e^- esterno che prende parte alla transizione (α, β, \dots)
- 1 = pedice che indica l'intensità relativa di ciascuna riga di una serie (1, 2...)

→ Tutti gli elementi interessati alla transizione!

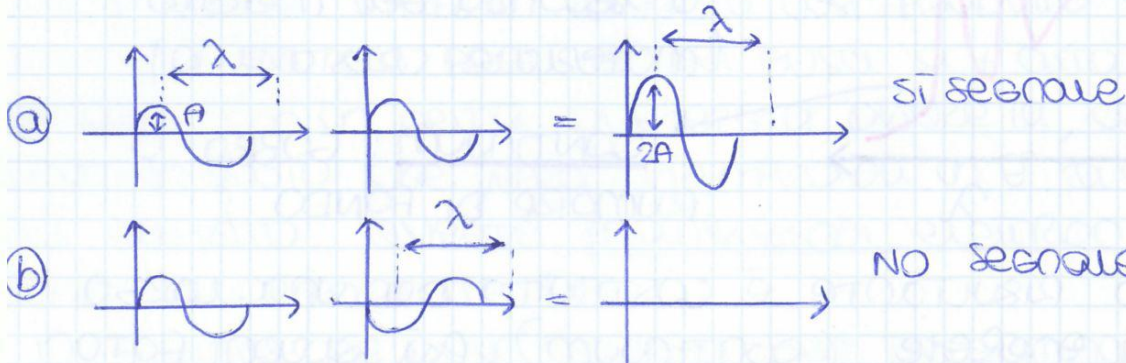
Se bombardo un materiale con un fascio di onde che arrivano alla superficie in fase, possono succedere 2 cose: il fascio può essere DIFFRATTO:

1) - con interferenza costruttiva:

si ha in risposta un'onda in fase, di ampiezza pari alla somma di tutte le onde incidenti;

2) - con interferenza distruttiva:

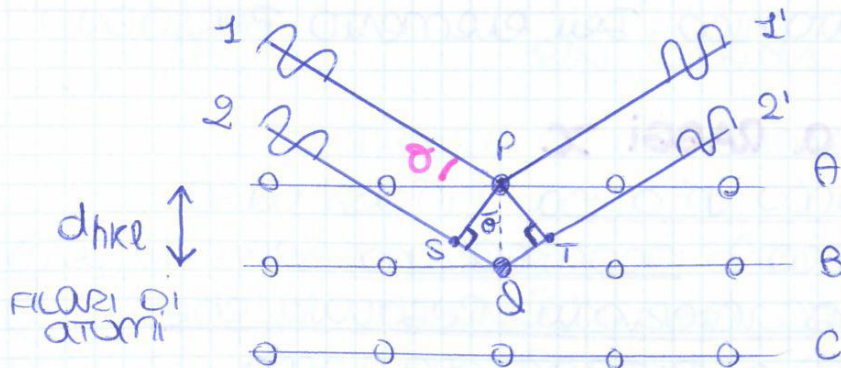
non si ha un segnale in risposta, le onde si sfasano e si elidono a vicenda.



si seleziona un fascio χ :

- fatto tutto di onde //
- monocromatico
- coerente (con onde π in fase)
- di lunghezza d'onda λ

e si bombardano la superficie di un materiale rappresentato con filari di atomi: il raggio incide sui piani A e B con un angolo θ di incidenza, in particolare colpiscono P e Q, 2 atomi di 2 piani successivi.



ci sono anche onde che non toccheranno atomi o piani

Possiamo avere:

- un'interferenza costruttiva: se la differenza di distanza tra i 2 raggi (cammino) è un multiplo di λ

ESISTONO RELAZIONI CHE COLLEGANO LE COSTANTI RETICOLARI DELLA CELLA CRISTALLINA CON GLI INDICI DI MILLER DI UNA DETERMINATA FAMIGLIA DI PIANI CRISTALLOGRAFICI E CON LA DISTANZA TRA I PIANI.

X LE STRUTTURE CRISTALLINE a simmetria cubica: CS
CCC
CFC

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

[nm]

a = b = c = SPIGOLO DI CELLA

- a = costante reticolare
- (h, k, l) = indici di miller di una famiglia di piani
- d_{hkl} = distanza tra i piani cristalografici

CONIUGANDO LE 2 FORMULE:

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad + \quad d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (n=1)$$

$$\lambda = 2 \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \sin\theta$$

$$\sin\theta = \frac{\lambda \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}{2a} \quad \rightarrow \quad \sin^2\theta = \frac{\lambda^2}{4a^2} (h^2 + k^2 + l^2)$$

SI OTTIENE ANCHE PER L'ANGOLO DI INCIDENZA [°]

esempi:

Piano (010) → $d = \frac{a}{\sqrt{0+1+0}} = a$

Piano (110) → $d = \frac{a}{\sqrt{2}} = a \frac{\sqrt{2}}{2} = a \cdot 0,71$

Piano (210) → $d = \frac{a}{\sqrt{5}} = a \frac{\sqrt{5}}{5} = a \cdot 0,45$

Piano (100) → $d = a$

Piano (111) → $d = \frac{a}{\sqrt{3}} = a \frac{\sqrt{3}}{3} =$

TECNICHE DI DIFFRAZIONE

UNA TECNICA DI ANALISI DI DIFFRAZIONE A RAGGI X

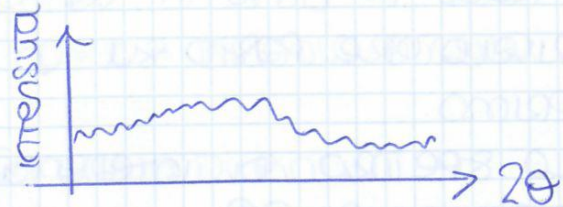
PREVEDE L'IMPIEGO DI UN CAMPIONE IN POLVERE:

COMPATTANDO LA POLVERE, HO GRANI IN TUTTE LE DIREZIONI

E COSÌ DO' AI RAGGI X TUTTI I POSSIBILI PIANI

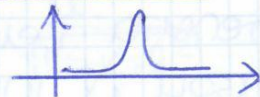
(ORIENTAMENTI CASUALI DEI GRANI CRISTALLINI)

LA DIFFRAZIONE DEI RAGGI X TIPICA DI UN SOLIDO CRISTALLINO, come quella di un vetro, non presenta picchi di diffrazione, ma un alone dovuto all'assenza di ordine a lungo raggio: gli atomi del vetro sono disordinati, disposti in modo casuale, non hanno piani che si sovrappongono. Perciò non c'è mai un θ angolo di incidenza preciso, in cui vedo un'interferenza costruttiva. Si vede solo un'interferenza non molto costruttiva, un rumore di fondo con una gobba / un alone ampio.

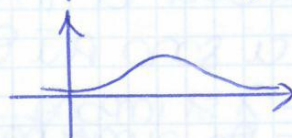


LA LARGHEZZA DEL PICCO DI DIFFRAZIONE È DETERMINATA DALLE DIMENSIONI DEI CRISTALLI

CRISTALLO GRANDE $> 1 \mu\text{m}$



CRISTALLO PICCOLO $\approx 5 \text{nm}$



⚠ IL CRISTALLO PICCOLO HA LO STESSO SPETTRO DEL CRISTALLO AMORFO! QST PERCHÉ HA UN ORDINE A CORTO RAGGIO (COME IL VETRO), UN ORDINE LIMITATO.

GRAZIE ALLO SPETTRO SI POSSONO INOLTRE VANTARE:

- EVOLUZIONE DELLE REAZIONI AL VARIARE DELLA T E DEL t
- PRESENZA DI STATI TENSIONALI RESIDUI (AD ESEMPIO IN RIVESTIMENTI DI PLASMA SPRAY): SI OSSERVANO LE VARIAZIONI DEI PARAMETRI DELLA CELLA ELEMENTARE.
- LA CINETICA DELLA PRECIPITAZIONE DI HA (IDROSSIAPATITE) DEI MATERIALI BIOATTIVI:

IL VETRO IMMERSO IN UNA SOLUZIONE FISIOLOGICA SIMULATA (SIMILE AL PLASMA) MODIFICA LA PROPRIA SUPERFICIE CON REAZIONI CHIMICHE: SI FORMANO COSÌ NUOVE FASI E PUÒ CRESCERE UN STRATO DI CRISTALLI DI HA (UN MATERIALE CERAMICO CHE È PRESENTE NEL CORPO UMANO, NELLE OSSA). IN QUESTO MODO NASCONO I VETRI BIOATTIVI DA USARE IN CAMPO BIOMEDICO

esempi: deformabilità a freddo
conduttività elettronica dei semiconduttori
corrosione

controllando le imperfezioni reticolari si ottengono materiali con proprietà che essi non possedevano originariamente.

DIFETTI PUNTUALI

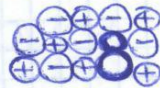
I principali sono 3:

- ① VACANZA = mancanza di un atomo da un sito reticolare
- ② DIFETTO INTERSTIZIALE = presenza di un atomo più piccolo in posizione interstiziale (cioè in un sito int.)
- ③ DIFETTO SOSTITUZIONALE = presenza di un atomo diverso che sostituisce un atomo proprio del reticolo (in un sito reticolare)



ci sono poi diversi tipi di vacanze:

- vacanze anioniche
 - vacanze cationiche
- } nei cristalli ionici dipende cosa manca
- DIFETTI DI SCHOTTKY: si hanno 2 vacanze opposte anionica + cationica adiacenti (così mantengono l'elettronutralità)



- DIFETTI DI FRENKEL: in un sito interstiziale vuoto si ha un atomo uguale a quello che c'è nel reticolo = vacanza cationica adiacente ad un difetto autointerstiziale cationico



La presenza dei difetti produce una DISTORSIONE DEL RETICOLO CRISTALLINO in prossimità del difetto:

- nel caso di una vacanza, gli atomi intorno al vuoto cercano di "riempirlo", avvicinandosi ad esso. Le costanti reticolari in quel punto sono diverse da quelle teoriche (stesse distanze che gli angoli).

Utilità delle vacanze:

Le vacanze permettono il movimento degli atomi da un sito reticolare ad un altro, cioè permettono i

Utilità dei difetti puntuali:

- la presenza di impurezze sostituzionali adatte, provoca variazioni rilevanti nella conduttività elettrica dei semiconduttori.
- la sostituzione di un atomo con un altro di carica e dimensioni simili è una condizione favorevole x la formazione di soluzioni solide come le leghe metalliche (dove il solvente è solido anziché liquido).
x ottenere leghe metalliche, è essenziale la possibilità di avere atomi in posizione interstiziale o sostituzionale: si ottiene una nuova fase fatta di atomi di diversa natura.

DIFETTI LINEARI

sono anche chiamate dislocazioni, e sono molto importanti x i processi tecnologici.

si generano nei materiali durante la solidificazione di solidi cristallini (dipende come si impilano i filari degli atomi), o durante la deformazione plastica dei solidi cristallini, o durante l'adsorbimento di vacanze.

sono essenziali x la deformazione plastica dei materiali

sono di 2 tipi:

- ① a spigolo ② a vite

il simbolo delle dislocazioni è \perp

① Dislocazioni a spigolo =

sono difetti di linea che si manifestano quando in una parte del cristallo è presente un semipiano cristallino in + o in - rispetto al reticolo perfetto.

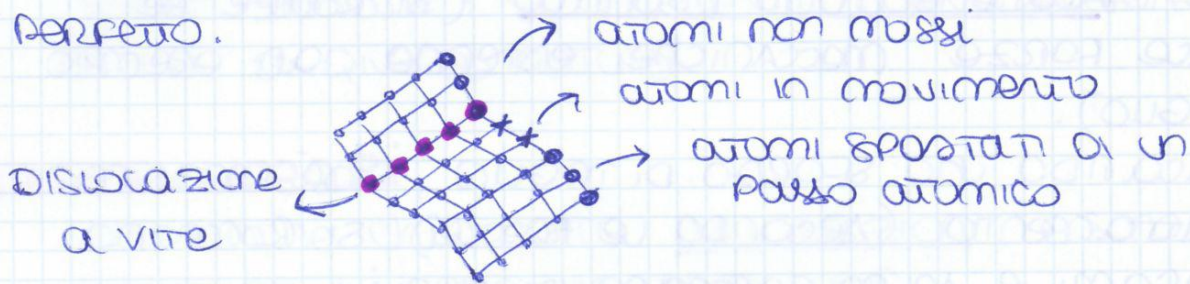
vediamo ora come sono rappresentate e come si muovono.

2) Dislocazioni a vite =

si crea una rampa a spirale, attorno ad un asse (che è la linea della dislocazione), di atomi spostati rispetto alla posizione ideale del reticolo perfetto.

è dovuta all'applicazione di sforzi di taglio (tipo strappo)

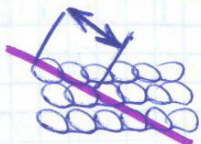
Linea di dislocazione a vite = asse che attraversa il cristallo, sta sul filare di atomi dove lo strappo finisce e si formano diverse zone in cui il reticolo è / non è perfetto.



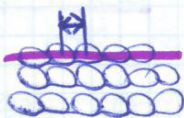
I 2 tipi di dislocazione hanno, come risultato del loro moto, lo stesso effetto: viene prodotto un gradino, cioè una deformazione plastica irreversibile

quando una dislocazione si muove, esse scorre lungo piani di scorrimento preferenziali: non va bene qualunque piano, ma si scelgono i piani con massima densità atomica, perché così il passo da fare è più piccolo.

La deformazione inizia sui piani, tra questi favoriti cristalograficamente, il cui orientamento è più vicino a 45° rispetto alla direzione del carico.



↓ densità atomica



↑ densità atomica

La freccia indica la distanza di scorrimento ovvero il passo che deve fare la dislocazione x muoversi

↑ passo

↓ passo

più si procede nella deformazione, più diventa difficile deformarlo, secondo la legge del "fil di ferro" (si piega / si blocca / si spezza.)

In materiale indebitato può essere successivamente addolcito liberando alcune dislocazioni.

Difetti di superficie

sono di 2 tipi:

- La superficie è di x se un difetto poiché gli atomi che ne fanno parte hanno un numero di coordinazione inferiore agli altri, sono più reattivi, non sono legati quindi ci sono elettroni liberi (esempi: i fenomeni di ossidazione e corrosione sono superficiali)

- I bordi di grano (BDG)

sono superfici di confine tra i grani cristallini di un materiale policristallino. Qui gli atomi sono legati tra loro da legami distorti e presentano differenti orientazioni cristalografiche.

Ciascun cristallo ha:

- dentro come cristalline π orientate uguali
- sul bordo come cristalline orientate diversamente

I 2 grani vicini sono identici, ma sono orientati diversamente \rightarrow qui interfaccia sul BDG non trova la regolarità, anzi è molto difettiva.

I materiali allo stato cristallino possono essere trovati allo stato di monocristallo, dove gli atomi sono ordinati secondo una ripetizione periodica x tutto il solido senza interruzione. Si parla di anisotropia x le case cristalline sono orientate π allo stesso modo x formare un monocristallo. \rightarrow le proprietà dipendono dalla direzione di solido x i materiali cristallini sono policristallini, cioè costituiti da moltissimi grani cristallini di piccole dimensioni (circa $1\mu m$, x una grossolana approssimazione)

esempio: si taglia un blocco di metallo x evidenziare i grani cristallini e i loro bordi, che si vedono anche ad occhio nudo. I grani sono orientati ed allungati in posizioni diverse. In * c'è un avvallamento chiamato cono di solidificazione o cono di ritiro, che si crea quando un liquido solidifica, e diventa più denso e si ritira, anche se poi il ritiro è vincolato alle pareti.



esempio: si vede bene la sezione di un lingotto di Pb in cui i singoli grani cristallini sono stati messi in evidenza.

processi sul BDG x renderli visibili:

● lucidatura: la superficie del materiale viene lucidata a specchio con carte e paste abrasive a granulometrico sempre più fine. Su ogni grano osservato riceve la luce e la riflette in una direzione diversa, perché ha le cune orientate diversamente.








● Attacco acido: serve x evidenziare la microstruttura. La reattività dei grani cristallini dipende dalla loro orientazione cristallografica. Ogni grano viene attaccato superficialmente in modo diverso dagli altri, ed ha una rugosità differente, che riflette diversamente la luce (↑) e ha una diversa gradazione della colorazione al microscopio. In un materiale policristallino la luce incidente viene quindi riflessa in direzioni diverse dalla superficie di ciascun grano (che non sono perfettamente lisci). Siccome gli atomi adiacenti al BDG sono più reattivi possono venire dissolti preferenzialmente dall'attacco acido e si genera un avvallamento lungo il BDG (corrosione più evidente). Parte la corrosione intragranulare che può arrivare fino in profondità. Gli avvallamenti riflettono la luce incidente e si vedono a microscopio ottico.



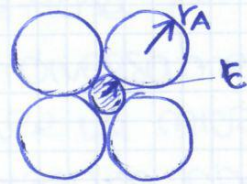
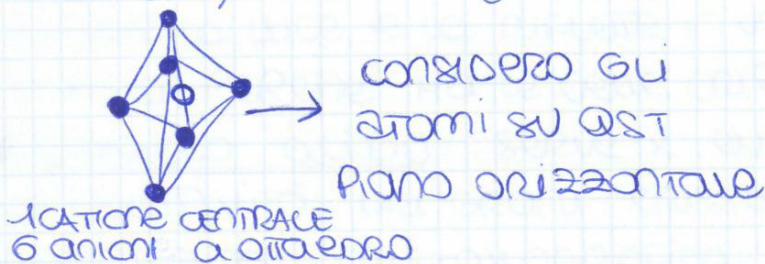
ESERCITAZIONE, PARTE 1:

CRISTALLOGRAFIA ED ANALISI DELLA STRUTTURA DEI MATERIALI MEDIANTE TECNICHE DIFFRATTOMETRICHE

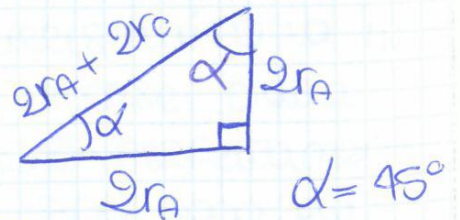
COORDINAZIONI DEI SOLIDI IONICI

CONFIGURAZIONE LINEARE	$NC=2$	
CONFIGURAZIONE TRIANGOLARE	$NC=3$	
CONFIGURAZIONE TETRAEDRICA	$NC=4$	
CONFIGURAZIONE OTTAEDRICA	$NC=6$	
CONFIGURAZIONE CUBICA	$NC=8$	

① CALCOLARE IL MINIMO RAPPORTO DEI RAGGI CATIONE/ANIONE (r_c/r_a) x LA COORDINAZIONE OTTAEDRICA



SFRUITO LE RELAZIONI GEOMETRICHE
 USO DISTANZE = RAGGI / DIAMETRI
 UNISCO I CENTRI DI 3 ANIONI
 OTTENDO UN Δ RETTANGOLO ISOSCELE
 SFRUITO LE RELAZIONI DEL Δ



O di metà \square

\square : $d = l\sqrt{2}$

$2r_a + 2r_c = 2r_a\sqrt{2}$

$2r_c = 2r_a(\sqrt{2}-1)$

$\frac{r_c}{r_a} = \sqrt{2}-1 = 0,414$

Δ : $\sin\alpha = \frac{2r_a}{2r_a + 2r_c}$

$\sin 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{2r_a}{2r_a + 2r_c}$

$\sqrt{2}r_a + \sqrt{2}r_c = 2r_a$

$\sqrt{2}r_c = r_a(2-\sqrt{2})$

$\frac{r_c}{r_a} = \frac{2-\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = \frac{2}{\sqrt{2}} - 1 = \sqrt{2}-1 = 0,414$

③ Fe con struttura cc, raggio atomico $r = 0,124 \text{ nm}$ e peso atomico $55,85 \text{ g/mole}$. calcolo la densità.
(1 mole = $1 N_A$ pesa tot g)

$$\rho = \frac{nW}{V_c N_A}$$

cc $\rightarrow n = 2$ atomi

$$W = 55,85 \text{ g/mole}$$

$$N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ atomi/mole}$$

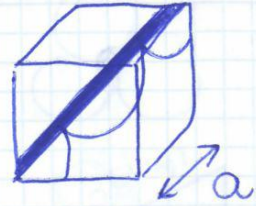
$$V_c = a^3, \quad r = 0,124 \text{ nm} = 0,124 \cdot 10^{-7} \text{ cm}$$

$$D = a\sqrt{3} = 4r \rightarrow a = \frac{4r}{\sqrt{3}} = 0,286 \cdot 10^{-7} \text{ cm}$$

$$V_c = 0,02348 \cdot 10^{-21} \text{ cm}^3$$

$$\rho = \frac{2 \cdot 55,85}{0,02348 \cdot 10^{-21} \cdot 6,023 \cdot 10^{23}} = 789,84 \cdot 10^{-2}$$

$$\rho = 7,89 \text{ g/cm}^3$$



④ Cu cristallizza in FCC con peso atomico $63,54 \text{ g/mole}$ e raggio atomico $1,28 \text{ \AA}$. calcolo la densità.

$$\rho = \frac{nW}{V_c N_A}$$

FCC $\rightarrow n = 4$ atomi

$$W = 63,54 \text{ g/mole}$$

$$N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ atomi/mole}$$

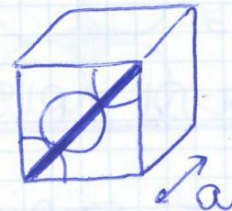
$$V_c = a^3 \quad r = 1,28 \text{ \AA}$$

$$d = \sqrt{2}a = 4r \rightarrow a = \frac{4r}{\sqrt{2}} = 3,62 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$$

$$r = 1,28 \text{ \AA} = 1,28 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$$

$$V_c = 47,4531 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^3$$

$$\rho = \frac{4 \cdot 63,54}{47,4531 \cdot 10^{-24} \cdot 6,023 \cdot 10^{23}} = 0,889 \cdot 10 = 8,89 \text{ g/cm}^3$$



⑥ Calcolare la distanza tra i piani (221) nell'Al, sapendo che ha una struttura CFC e il suo raggio atomico vale 0,1431 nm.

$$d_{hkl} = d_{221} = \frac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}}$$

CFC:
 $d = \frac{a}{\sqrt{2}} = 4r$

$$a = \frac{4r}{\sqrt{2}} = 0,40748 \text{ nm}$$

$$d = \frac{4r/\sqrt{2}}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}} = \frac{0,40748}{\sqrt{4+4+1}} = \frac{0,40748}{3} = 0,1349 \text{ nm}$$

⑦ Il Pt ha una cella elementare CFC ed un raggio atomico di 0,1387 nm. Calcolare l'angolo di diffrazione 2θ x l'insieme dei piani (413) e la corrispondente distanza reticolare, supponendo di usare una radiazione monocromatica di $\lambda = 0,1542 \text{ nm}$.

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}}$$

CFC
 $d = \frac{a}{\sqrt{2}} = 4r$

$$a = \frac{4r}{\sqrt{2}} = 0,3923 \text{ nm}$$

$$d = \frac{0,3923}{\sqrt{2+9}} = 0,1183 \text{ nm}$$

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

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{2d} = 0,6517$$

$$\theta = \arcsin(0,6517) = 40,6698^\circ$$

$$2\theta = 81,34^\circ$$

È più complicato se usi la formula $\sin^2\theta = \frac{\lambda^2}{4a^2}(h^2+k^2+l^2)$

⑧ L'Iridio ha una struttura CFC e presenta un angolo di diffrazione x i piani (220) di $69,22^\circ$ (2θ), onde si usa una $\lambda = 0,1542 \text{ nm}$. Calcolare la distanza interplanare x questo insieme di piani e il raggio atomico nell'Iridio.

DIFUSIONE

- SI PARLA DELLA DIFUSIONE allo STATO SOLIDO,)
 . non attraverso fluidi o membrane
 = è un fenomeno di trasporto di materia mediante movimento di atomi

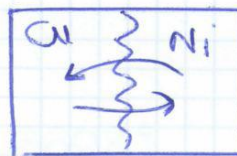
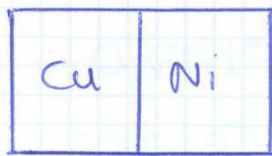
I materiali spesso subiscono dei trattamenti termici x migliorare le loro proprietà attraverso fenomeni che coinvolgono la difusione atomica.

[ad esempio x modificare la composizione chimica al fine di migliorare le proprietà meccaniche]

In molti casi le temperature e i tempi dei trattamenti termici e/o le velocità di raffreddamento si possono determinare utilizzando le appropriate costanti di diffusione.

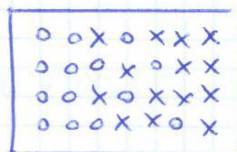
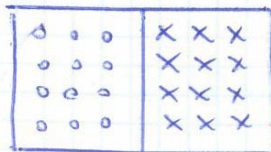
esempio: 2 lingotti di materiale metallico, chimicamente simili, come Cu e Ni, (= raggi atomici, = struttura cristallina) vengono posti in intimo contatto, poi le 2 parti si premono e si riscaldano con un trattamento termico a T elevata, ma minore di quella di fusione.

Rappresentazione dei blocchetti



atomi di Cu e di Ni diffondono nei lingotti opposti in modo reciproco:

Rappresentazione degli atomi



modo reciproco:

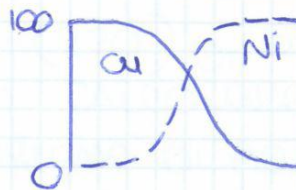
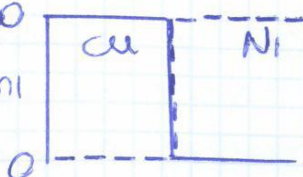
Grazie ai materiali scelti abbiamo

un fenomeno di interdiffusione.

Gli atomi si sono scambiati le loro posizioni

reticolari

Rappresentazione delle concentrazioni secondo la posizione



Possono avvenire:

- AUTODIFFUSIONE: Diffusione di atomi di un reticolo dentro lo stesso reticolo, con spostamento di atomi e vacanze
- INTERDIFFUSIONE: avviene tra specie simili chimicamente, con scambio di atomi, gli atomi del secondo elemento vanno a sostituire gli atomi del metallo base (sostituzionali)
(Se coinvolge metalli \rightarrow ottengo una lega metallica, cioè una soluzione solida sostituzionale)

ricordiamo che, se $\uparrow T$, \uparrow la concentrazione di vacanze:

$$N_V = N e^{\left(\frac{-Q_V}{RT}\right)} = \text{numero di vacanze}$$

Quando i difetti, come le vacanze, sono creati dai movimenti atomici, a ogni T esiste una concentrazione di vacanze di equilibrio.

L'introduzione di un difetto nel cristallo cambia l'aspetto energetico di un solido:

- \uparrow la sua energia interna U (o la sua entalpia H) siccome nel mettere o spostare un difetto gli atomi vengono perturbati rispetto alla posizione di equilibrio
- \uparrow l'entropia S , il disordine, siccome la creazione di un difetto introduce disordine configurazionale

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

Fino ad una determinata concentrazione di vacanze, la formazione di difetti è accompagnata da una diminuzione dell'energia libera G del sistema.

Si tracciano sul grafico i contributi dell'equazione precedente, e si nota che l'equilibrio termodinamico è raggiunto quando l'energia libera G è minima oppure quando la variazione di G è nulla al variare della concentrazione delle vacanze.

- avviene senza spostare - permanentemente nessuno degli atomi del reticolo cristallino
- Esistono molte più posizioni interstiziali libere che non vacanze: c'è quindi maggiore possibilità di movimenti atomici interstiziali

ENERGIA DI ATTIVAZIONE

= energia che bisogna fornire sotto forma di calore x attivare la diffusione = E_J

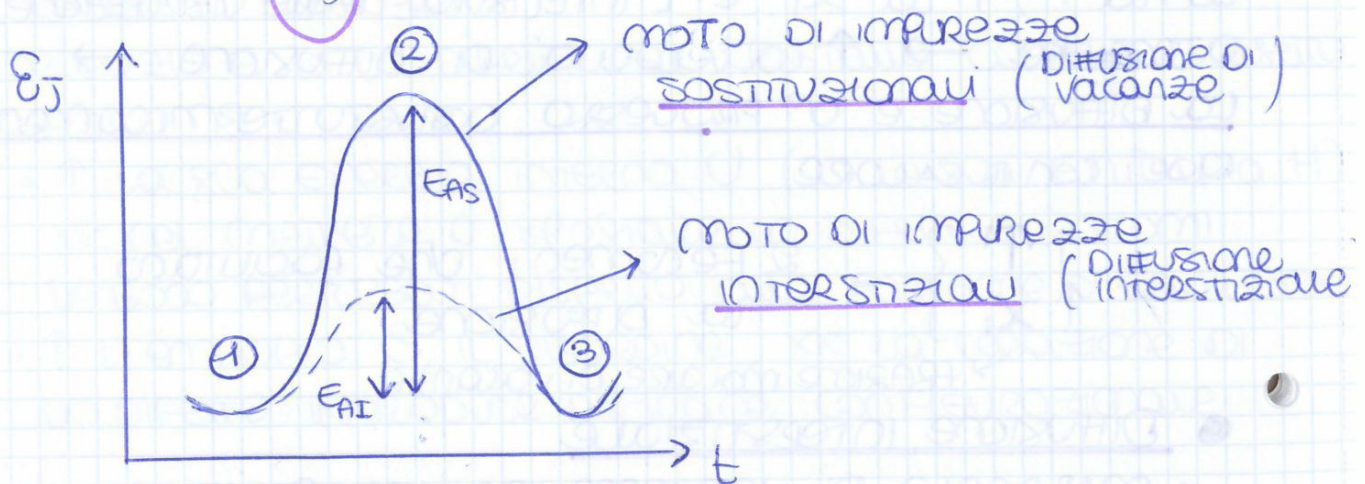
La probabilità che l'impurezza disponga dell'energia sufficiente dipende dalla temperatura come:

$$p = e^{\left(\frac{-E_J}{k_B T}\right)}$$

• E_J = ENERGIA DI ATTIVAZIONE x IL MOTO DELL'IMPUREZZA

• k_B = COSTANTE DI BOLTZMANN
 = $1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$

Differenza di E_J tra i 2 meccanismi di diffusione:



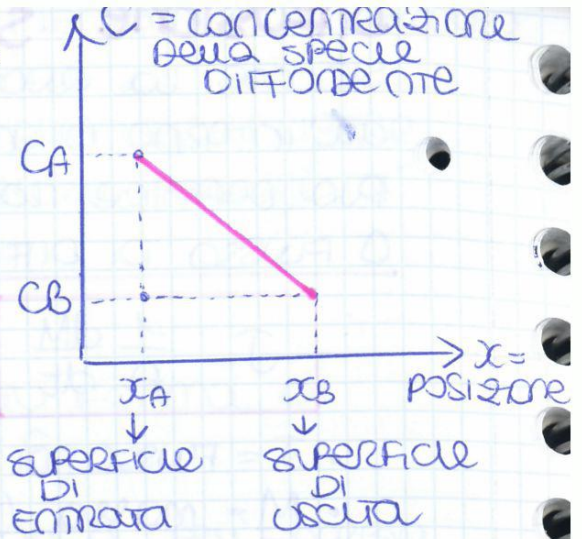
- ① POSIZIONE INIZIALE: L'atomo, in equilibrio, trova un sito vuoto (ret. o inter.)
- ② DURANTE LO SPOSTAMENTO, L'EQUILIBRIO NON È ELEVATO, PERCHÉ MENTRE L'ATOMO SI SPORTE DISTORRE IL RETICOLO, E LO SFORZA DEFORMANDOLO → siamo nello stato di massima perturbazione → il sistema è distorto e si ha un surplus di energia E_{AI} e E_{AS}
 $E_{AS} > E_{AI}$, il moto di impurezze interstiziali è il meccanismo più probabile
- ③ POSIZIONE FINALE: L'atomo raggiunge un'altra posizione di equilibrio

ai due lati si hanno 2 concentrazioni diverse ma costanti

7) x_A



si impone il gradiente di concentrazione costante



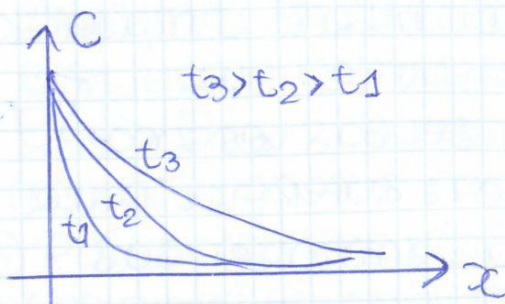
come si vede dal grafico, la concentrazione varia linearmente, e il flusso può continuare ad avvenire ed essere costante

esempio pratico: Purificazione del gas H_2 idrogeno (ovvero separarlo da altri gas)

una faccia di una lastrina di Palladio metallico viene esposta ad una miscela costituita da H_2 ed altre specie gassose (N , O_2 , H_2O vapore d'acqua). A causa delle sue piccole dimensioni, l' H_2 diffonde preferenzialmente e selettivamente attraverso la lastrina di Palladio, fino a raggiungere la faccia opposta. Per mantenere attivo il processo è necessario regolare le pressioni parziali di H_2 in modo da conservare un opportuno gradiente di concentrazione tra le 2 facce della piastrina.

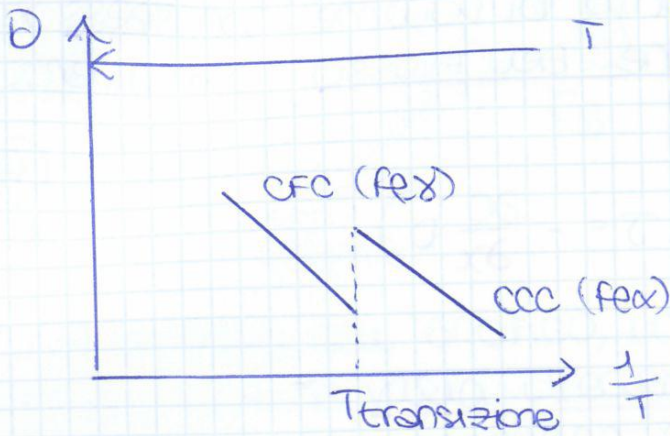
Diffusione non stazionaria e II legge di Fick

Di solito la diffusione avviene in condizioni non stazionarie, cioè il flusso di diffusione ed il gradiente di concentrazione in un certo punto di un solido variano con il tempo → tutta la maggior parte dei processi tecnologici non è governata dalla 1° legge di Fick, non è stazionaria.



Profili di concentrazione relativi alla diffusione non stazionaria, presi in 3 tempi diversi: t_1, t_2, t_3

GRAFICO DI D IN FUNZIONE DELL'INVERSO DELLA TEMPERATURA



Per alcuni solidi, es: Fe.
 La retta presenta una DISCONTINUITÀ quando si incontra la T di transizione dalla struttura CCC a quella FCC.
 La struttura CCC è meno compatta della FCC, e con il movimento degli atomi è favorito e D è maggiore (alla stessa T)

→ la diffusione è più facile nella struttura meno compatta
 → a parità di T, il punto di D nel reticolo meno compatto è più grande, mentre diminuisce nella strutture più compatte

↑ E_A = processo difficile ; ↓ E_A = processo semplice
 La pendenza delle rette è legata all'energia di attivazione = $-\frac{Q_d}{R}$ Q_d = E_J
 L' intercetta delle rette è $\ln(D_0)$

nell'auto-diffusione di alcuni metalli, si nota una certa proporzionalità tra l'energia di attivazione e la loro temperatura di fusione. La T_f è indice della forza del legame chimico (↑ T_f = ↑ forza legame). Quindi quando un legame interatomico è più intenso, l'energia necessaria a spostare un atomo è più elevata.

ALTRI PERCORSI DI DIFFUSIONE

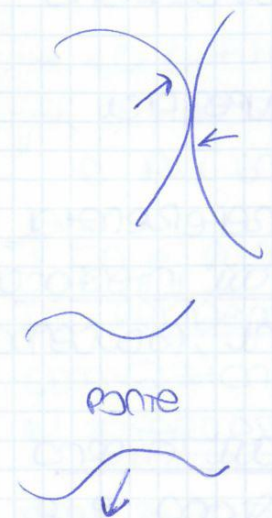
non solo fenomeni di "bulk" ma la migrazione atomica può seguire percorsi preferenziali come:

- dislocazioni
- bordi di grano
- superfici esterne

(dove c'è maggiore concentrazione di difetti interstiziali)
 Le zone di difettosità, dove i reticoli sono distorti, sono parti dove avviene diffusione particolare: velocità di diffusione maggiori, ma quasi sempre trascurabili, perché le sezioni di materiale coinvolte sono esigue (numero limitato di atomi). non è detto che avvengano massicciamente se non esistono abbastanza difettosità: n. difettosità =

● Sinterizzazione (ceramica)

serve x creare manufatti ceramici da polveri pressate e sottoposte a trattamenti termici. I ceramici richiedono trattamenti ad alta T x salvare le particelle. Il processo è complesso e coinvolge uno stadio in cui la diffusione gioca un ruolo essenziale. Questo processo è usato anche x compattare forme, anche molto complesse, costituite da polveri metalliche fini (metallurgia delle polveri).



2 particelle in intimo contatto, rappresentate per semplicità come due sfere. Gli atomi si incontrano in posizioni casuali e in questi punti di contatto si sono possibilità di promuovere la diffusione.

IL punto di contatto si allarga x le particelle si fondono assieme, anche se ci sono molte difettosità. I cavi di sinterizzazione tendono a ingrandirsi, facendo avvicinare le particelle si arriva al sodo quando i vuoti scompaiono e la porosità tende a zero.

ponte

cavi di sinterizzazione

● Segregazione (soluzioni solide)

Esistono limiti di solubilità di soluto in solvente.

esempio: Sale NaCl + H_2O

Dopo un po' il sale non si scioglie più ma rimane come corpo di fondo e la soluzione è saturata. ma se

$\uparrow T$, il solvente scioglie + soluto

$\downarrow T$, " " " - soluto

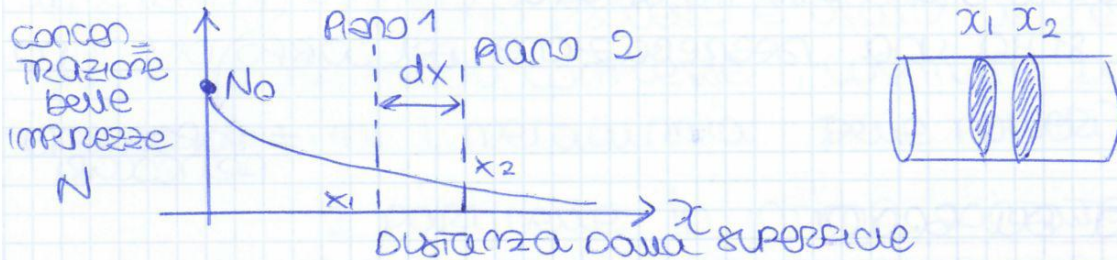
quando diminuisce la solubilità, abbassando la T , il soluto precipita e lo stesso accade nelle soluzioni solide.

→ Quando in una soluzione solida la concentrazione del soluto eccede un certo valore limite, il soluto in eccesso tende a formare una fase separata (segregazione) detta precipitato. anche questo processo è controllato dalla diffusione degli atomi del soluto.

superficie verso l'interno con l'aumento della profondità. Il profilo segue bene la seconda legge di Fick e si può applicarla per determinare:

- il tempo di diffusione
- la profondità cui si ottiene una determinata concentrazione

il profilo che segue è del tipo:



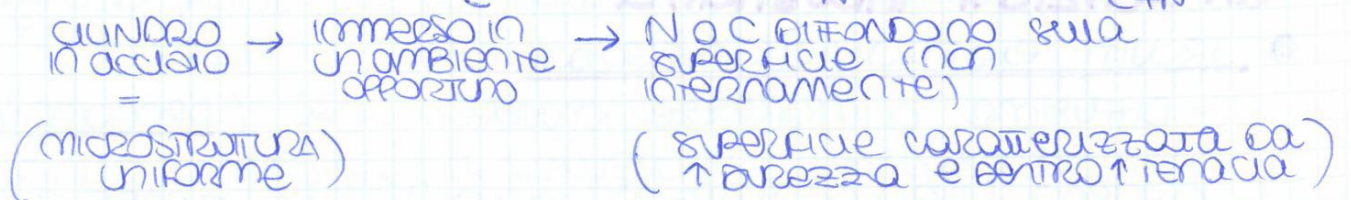
● acciaio

Componenti in acciaio che operano in condizioni di rotazione o scorrimento (come ingranaggi e alberi di motori) devono essere modificati e presentare:

- tenacia in profondità x resistere all'usura
- durezza in superficie

→ si vuole avere uno strato superficiale importante (da frazioni di 0,5mm a 1mm circa) indurito e resistente all'usura e contemporaneamente un interno tenace x resistere alle sollecitazioni statiche e dinamiche.

Entrambe queste caratteristiche si ottengono introducendo x diffusione ad alta T , C , N o entrambi questi elementi → cementazione, nitruurazione, carbonitruurazione.



● cementazione gassosa avviene con un pezzo prima lavorato alle macchine utensili, poi posto in un forno (900°C) a contatto con un'atmosfera contenente metano CH_4 ed altri idrocarburi gassosi. Il C dall'atmosfera diffonde attraverso la superficie nei pezzi, ↑ così la durezza superficiale. L'utilizzo della 2^a legge di Fick

PROPRIETÀ MECCANICHE DEI METALLI

I materiali presentano 3 tipi di comportamento;

- elastico
- plastico
- viscoelastico

COMPORTEMENTO ELASTICO

Lo presentano tutti i materiali x livelli di deformazione molto piccoli, poi solo dopo i materiali si differenziano nei 3 comportamenti possibili o alla rottura $|\epsilon| < 0,01$

L'applicazione di una forza ad una qualunque struttura, crea uno stato di sollecitazione meccanica che causa deformazione.

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

- σ = sforzo, rapporto tra
- F = forza applicata
- A = superficie su cui la forza agisce

Esistono 3 tipi di sollecitazione statica, a seconda della direzione della forza applicata:

- a) — trazione : sollecitazione \perp alla superficie
- b) — compressione : " \perp "
- c) — taglio : " \parallel "

Unità di misura : $\text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$, $\text{MPa} = 10^6 \text{Pa}$, $\text{GPa} = 10^9 \text{Pa}$

3b) Se la sollecitazione è di trazione o di compressione, la deformazione è data da:

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

- ϵ = deformazione = rapporto di lunghezze
- l_0 = dimensione del pezzo, nella direzione della forza, prima della sollecitazione
- l = dimensione del pezzo, " " , dopo la sollecitazione
- Δl = variazione dimensionale generata da σ

J, in caso di deformazione piccola, una diretta proporzionalità tra sforzo e deformazione (lo sforzo è \propto alla deformazione unitaria)

b) in termini di volume si può descrivere la compressione \times effetto di una pressione idrostatica come:

$$P = -K \frac{V - V_0}{V_0} = -K \frac{\Delta V}{V_0}$$

- V = volume finale
- V_0 = volume iniziale
- K = coefficiente di comprimibilità (costante elastica)
- P = pressione idrostatica

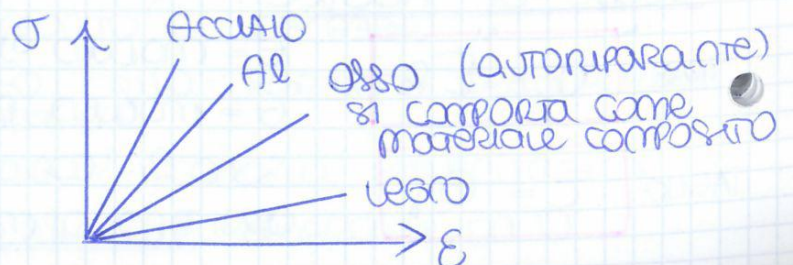
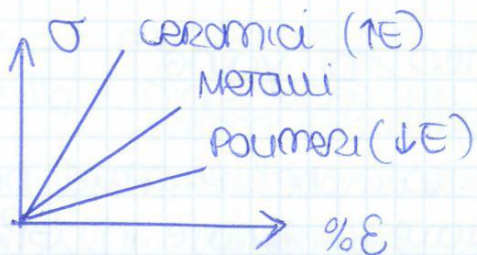
\times convenzione, il segno " $-$ " di fronte a K è dovuto al fatto che si considerano positive le deformazioni che causano contrazione di volume.

materiali rigidi: $\left\{ \begin{array}{l} \uparrow K \\ \uparrow E \\ \text{Poco deformabili} \\ \text{Bisogna applicare più sforzo } \times \\ \text{osservare una piccola deformazione} \end{array} \right.$

La legge di Hooke così espressa è una semplificazione.

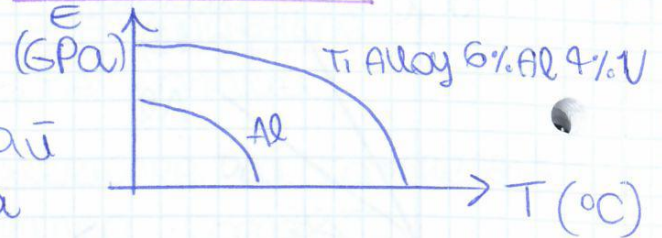
Nei materiali anisotropi \exists 6 componenti indipendenti dello sforzo, 3 di trazione e 3 di taglio, dalle quali si ricavano 6 equazioni e 36 costanti elastiche

\times materiali diversi abbiamo diversi E : nei solidi variano da frazioni 10^{-3} GPa (polimeri espansi) a centinaia 10^3 GPa (diamante). si possono riconoscere gruppi di valori relativi alle diverse classi di materiali (ceramica, polimeri, metalli).



E cambia anche con la Temperatura in modo inversamente proporzionale.

Con l'aumentare della T le oscillazioni tra gli atomi sono più frequenti, la lunghezza media dei legami si allunga e la forza del legame diminuisce con il modo elastico.



RIASSUNTO:

$$E \text{ dipende da } = \propto \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$\left[\frac{\text{GPa}}{10^{-3}/10^3} \right]$$

\propto RIGIDEZZA

\propto MATERIALE

\propto T FUSIONE

\propto ENERGIA DI LEGAME

\propto STRUTTURA SOLIDA

\propto NATURA LEGAME CHIMICO

(covalent \rightarrow metal \rightarrow ionic \rightarrow second)

$\propto \frac{1}{T}$ ambiente

Nei deformazioni elastiche in trazione, ad un allungamento assiale Δl corrispondono 2 deformazioni, di minore entità e di segno opposto, lungo i 2 assi ortogonali. Quando un materiale elastico Hookiano è soggetto a uno sforzo σ_1 , diretto lungo un certo asse si verificherà naturalmente una deformazione ϵ_1 lungo quest'asse (allungamento assiale)

$$\epsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E} = \text{allungamento assiale}$$

Risson ha dimostrato che lo sforzo causa anche deformazioni ϵ_2 e ϵ_3 lungo gli assi \perp alla direzione dello sforzo e che queste deformazioni secondarie (allungamento laterale) sono legate alla defo.

Lo sforzo primario dalla relazione:

$$\epsilon_2 = \epsilon_3 = -\nu \epsilon_1 = -\nu \frac{\sigma_1}{E} = \text{allungamento laterale}$$

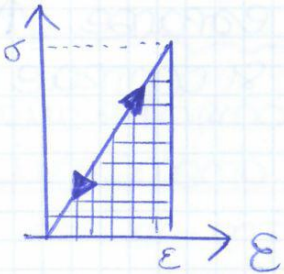
(esempio, come possiamo verificare tastando i muscoli del braccio, che si ingrossano considerevolmente quando vengono contratti, μ può essere $\gg 0,5$, quasi $\frac{1}{2}$).

Relazioni tra le costanti elastiche.

$$\begin{aligned} G &\approx 0,4E \\ K &\approx E \\ E &= 2G(1+\mu) \\ E &= 3K(1-2\mu) \\ \frac{1}{E} &= \frac{1}{9K} + \frac{1}{3G} \end{aligned}$$

La relazione tra σ e ϵ si può rappresentare con le curve sforzo/deformazione.

Il comportamento elastico lineare si presenta come una retta: nel corso della deformazione il materiale immagazzina energia di tipo elastico E_{el} corrispondente all'area trapezoidale in figura ($\frac{J}{m^3}$)



Energia immagazzinata x unità di volume

$$E_{el} = \frac{1}{2} \sigma \epsilon = \frac{1}{2} \frac{\sigma^2}{E} \quad \text{area di un } \Delta$$

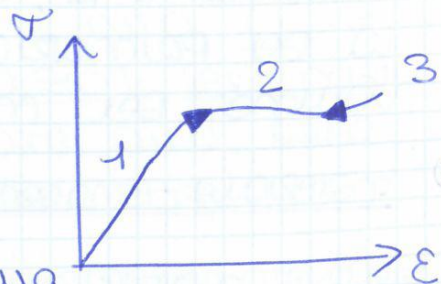
La progressiva riduzione dello sforzo applicato causa una diminuzione della deformazione, fino al suo annullamento:

tutta l'energia elastica viene restituita quando si scarica il materiale. La deformazione è completamente reversibile.

Questo comportamento elastico lineare vale x π ceramiche e metalli per $Def. \epsilon < 0,001$ ($|\epsilon|$)

esempio: elastomeri (gomma)

- 1) piccolo tratto lineare x piccole deformazioni (elastico lineare)
- 2) σ quasi costante
- 3) rottura



L'area sottesa alla curva è $>$ di quella dei materiali con comportamento elastico lineare!

nel punto A:

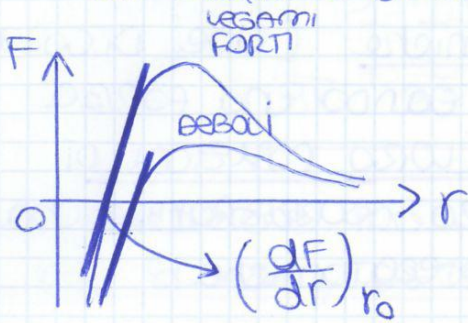
$$F = 0$$

$$\frac{dF}{dr} = \text{cost} \rightarrow E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ (Hooke)}$$

$r = r_0 =$ distanza interatomica di equilibrio

in una curva della somma con l'asse x rappresenta r_0 , la distanza di legame, in quel punto $dF/dr = 0$ e si può ricavare con Hooke

→ per piccole variazioni di distanza interatomica la variazione della forza da applicare x separare gli atomi è descrivibile con una correlazione lineare.



curve diverse hanno pendenze diverse nell'intorno di $F=0$

$$E = \left(\frac{dF}{dr} \right)_{r_0}$$

E è la tangente alle curve dF/dr nel punto $r=r_0$

legame debole
- forza - pendenza
→ deformazione + facile e più piccola

la pendenza indica quanto è difficile deformare il legame atomico / cioè misura E

superato il limite di linearità si hanno diversi comportamenti (- rottura)

- sempre deformazioni elastiche (ma non più d'alle forze) (come gli elastomeri)
- le deformazioni diventano plastiche, ossia permanenti, che non scompaiono al cessare della forza che le ha prodotte → dopo c'è la rottura

Comportamento dei vari materiali:

- VETRI e CERAMICI: NO deformazione plastica
frattura fragile che avviene nella zona di deformazione elastica
- METALLI: limite elasticità = limite linearità ed è minore del carico di rottura → poi plasticità
- POLIMERI: termoplastici: bassi carichi di snervamento e di rottura allungamenti a rottura superiori
- COMPOSITI: si usa la regola delle miscele
E è una media pesata rispetto ai rapporti in volume dei moduli dei componenti

IL PRINCIPIO:

La f del suono prodotto colpendo un oggetto dipende.

- Dal materiale di cui esso è costituito, dalla sua forma
- e dalle sue dimensioni.

Esempi:

- uno xilofono
- La differenza di suono prodotto dall'urto di un martello su oggetti di vari materiali di pari forma e dimensioni (appoggiato su 2 nodi e colpito al centro)

Come impulso meccanico si utilizzano dei materiali di proporzioni adeguate alle dimensioni dei campioni (richiesta poca energia). L'impulso deve essere istantaneo ed il campione deve essere lasciato libero di vibrare dopo l'urto.

non vi è nessuna influenza della forza con cui viene applicato l'impulso. In più il risultato ha una buona riproducibilità.

Termini matematici:

$$E = 0,9405 \left(\frac{\Gamma \nu^2 L^4 \rho}{t^2} \right)$$

- ν = frequenza dell'onda sonora
- L = lunghezza del campione
- ρ = densità del materiale
- t = indica lo spessore del campione
- Γ = costante che dipende dall'oggetto in esame (fattore di forma)

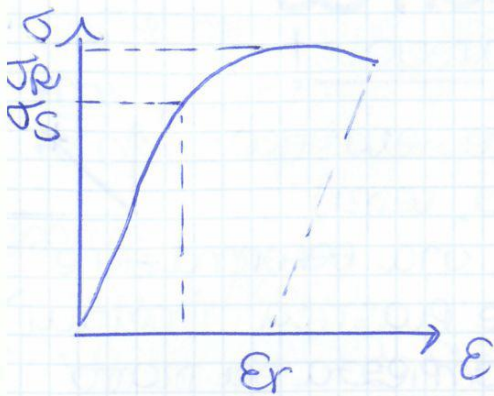
tabele calcolabili

Di solito le vibrazioni sono catturate da un rivelatore piezoelettrico che le converte in un segnale elettrico \rightarrow il risultato è quasi istantaneamente osservabile su display del dispositivo e il prova è subito pronto x un'altra prova.

Date le dimensioni del campione, la sua densità (o noto peso e volume), il fattore di forma che gli compete, misurata la f di propagazione dell'onda \rightarrow si può conoscere E dei vari materiali.

Limite elastico dei vari metalli [σ_e in MPa] e massiore x i materiali metallici e minore x materiali dumerici.

la curva sforzo/def.:



σ_s = CARICO DI SNERVAMENTO
 PASSAGGIO DA CAMPO ELASTICO
 A PLASTICO

σ_R = CARICO MASSIMO DI ROTTURA

ϵ_R = ALLUNGAMENTO A ROTTURA, CHE
 TIENE CONTO SOLO DEL TRATTO DI
 DEFORMAZIONE PLASTICA

sulla curva σ - ϵ la def. inizia in corrispondenza di σ_s ,
 in cui la pendenza della curva si discosta dal modulo elastico

spesso è difficile ricavare con precisione σ_s , perché in
 alcuni materiali il passaggio non è evidente. allora
per convenzione, si definisce come σ_s il carico che
corrisponde a una deformazione permanente dello 0,2%

$$\rightarrow \sigma_s = \sigma_s(0,2)$$

il valore si ottiene tracciando sul grafico di
 trazione una retta del valore di allungamento dello
0,2%, // al tratto elastico: il punto di tale retta
 interseca la curva di trazione nel corrispondente carico
 $\sigma(0,2)$.

DEFORMAZIONE PERMANENTE nei materiali POLICRISTALLINI

se ad un provino di sezione A si applica una forza di
 trazione F , che si può scomporre in varie componenti,
 tra cui una di TAGLIO, che agisce sulla direzione individuata
 a θ , / essa genera, su un piano cristallino inclinato
 di un θ angolo rispetto ad A , una componente di TAGLIO
 $T = F \sin \theta$, che agisce sull'area $A / \cos \theta$, generando
 lo sforzo di TAGLIO

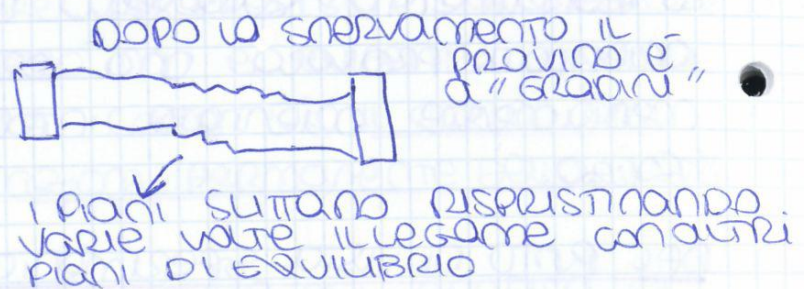
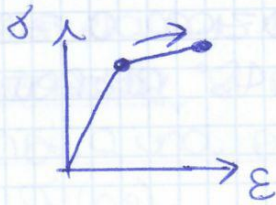
$$\tau = \frac{F}{A} \sin \theta \cos \theta = \sigma \sin \theta \cos \theta$$

τ è massimo quando $\theta = 45^\circ$, quindi i piani che si
 muovono per primi sotto l'azione della forza F dovrebbero
 essere quelli orientati a 45° rispetto alla direzione dello
 sforzo.

Le Bande di deformazione sono dette Bande di Lüders.
 Queste iniziano ad apparire quando il campione sta snervando. ciascuna Banda rappresenta la traccia superficiale di una serie di piani di scorrimento ad alta densità atomica sul quale sono risultati attivi arichi di taglio di intensità sufficiente a provocare il movimento delle dislocazioni.

Le bande sono orientate a 45° wrto i piani dove la deformazione ha inizio.

Inclusasi la fase di snervamento a carico circa costante, < poter procedere nella deformazione occorre \uparrow la sollecitazione.



NOTO DELLE DISLOCAZIONI

► Deformazione di un cristallo perfetto (senza dislocazioni):
 scorrimento di 1 piano atomico rispetto all'altro con rottura di molti legami forti.

La resistenza di un cristallo perfetto è circa $1000 / 10000$ volte + grande di quella osservata in un cristallo reale

► Deformazione di un cristallo reale

Rottura di un minore numero di legami forti x la presenza delle dislocazioni.

In ogni istante solo un piccolo numero di atomi scorie sugli altri, quelli sul bordo della dislocazione, con il risultato della scorrimento di un passo atomico alla volta.

Le dislocazioni permettono di lavorare plasticamente i metalli.

[Resistenza meccanica ideale \neq da quella teorica]

DI ROTTURA DEL MATERIALE.

A NOI BASTA LA CURVA INGEGNERISTICA PERCHÉ:

- È DIFFICILE MISURARE QUELVA REALE
- QUANDO SI USA IL MATERIALE, ESSO SI DEFORMA SOLO IN CAMPO ELASTICO: σ_s È IL LIMITE DI UTILIZZO DEI MATERIALI!
- SERVE CONOSCERE IL RATIO DI DEFORMAZIONE PLASTICA μ CHE AIUTO PER LA LAVORAZIONE DEL MATERIALE

IN PARTICOLARE, NELLA CURVA INGEGNERISTICA, DOPO IL MASSIMO FINEZZO SI HA IL FENOMENO DELLA STRUZIONE: CAMBIA LA MORFOLOGIA CENTRALE DEL PROVA E SERVE UNA FORZA F_u ELEVATA MA SU UNA SEZIONE A_u PICCOLA.

RESISTENZA DEI VARI MATERIALI

σ_s È UNA DELLE PRINCIPALI CARATTERISTICHE DI CUI BISOGNA TENER CONTO NELLA SCELTA DEI COMPONENTI DI UN QUALSIASI GETTO CHE DEVE RESISTERE A DELLE SOLLECITAZIONI. PERMETTE DI CALCOLARE QUAL È LO SFORZO MASSIMO CHE PU' ESSERE APPLICATO SENZA PRODURRE DEFORMAZIONI PERMANENTI.

QUANDO SI VUOLE CHE UN ELEMENTO DI MACCHINA NON SI DEFORMI ECCESSIVAMENTE, SI PRENDE IL CARICO DI SNEZVAMENTO COME GRANDEZZA DI RIFERIMENTO E SI DIMENSIONA IL PEZZO IN MODO CHE GLI SFORZI AGENTI SIANO AD ESSI INFERIORE.

L'UTILIZZO DI MATERIALI CON σ_s ELEVATO PERMETTE LA COSTRUZIONE DI ELEMENTI A SEZIONE A_u PICCOLA E QUINDI PIÙ LEGGERA.

X CONFRONTARE TRA LORO I MATERIALI, SI PRENDE

— σ_s x I METALLI ; — σ_r x I CERAMICI ($\sigma_r = \sigma_s$)



SI SCEGLIE IL MATERIALE X L'IMPIEGO CHE SI VUOLE FARE, POI SI SCEGLIE LA TECNICA DI LAVORAZIONE

* IL POLIETILENE È UN PU' VISCOSO (SOPRATTI QUELLO AD ELEVATO PESO MOLECOLARE)

SI UTILIZZERANNO MATERIALI CON σ_s BASSO QUANDO, X IL LORO UTILIZZO, DURANTE LO STAMPAGGIO, DEVONO SUBIRE UNA FORTE DEFORMAZIONE PLASTICA.

* MATERIALE FRAGILE

non c'è def. plastica e quindi non si vede la STRIZIONE

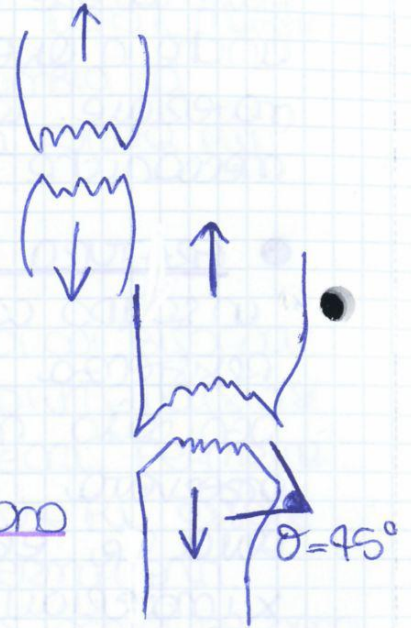
PROCESSO: MICROCRACKA → alta tensione →
PROPAGAZIONE CRACKA → ROTTURA

1/2 manconi si possono rimettere assieme perché i 2 bordi coincidono esattamente



* MATERIALE MODERATAMENTE DUTTILE

si forma una leggera strizione e cavità e Bolle su di essa, prima micro, poi si uniscono fino alla formazione della cricca ed alla sua propagazione con una rottura di TAGLIO FINALE $\theta = 45^\circ$ RISPETTO ALLA DIREZIONE DI TRAZIONE. Si ottengono 2 manconi uno concavo e uno convesso → FRATTURA CAPPAC/CONO



[Vedi immagini varie]

MATERIALI METALLICI e MECCANISMI DI RAFFORZAMENTO

metalli puri hanno un σ_s molto basso (rispetto alle leghe o agli acciai), ma una grande capacità di def.

plastica. Il ferro inerbuito ha $\sigma_s >$ ferro: l'inerbimento rende più difficile lo scorrimento dei piani e la def.

plastica.

I meccanismi di rafforzamento dei metalli sono:

- Deformazione
- affinamento del grano
- soluzioni solide
- fasi secondarie

durante la def. plastica dei metalli si osserva generalmente un inerbimento spontaneo che determina un \uparrow dellaurezza e di $\uparrow \sigma_s$.

Il processo di def. plastica non tiene conto del fatto che il materiale deformato plasticamente diventa più resistente e - duttile; ciò significa che il materiale,

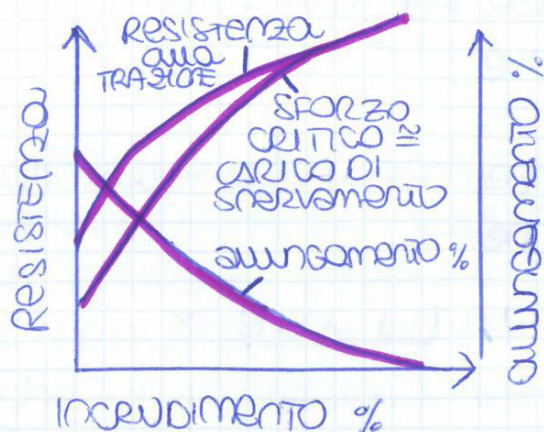
L'incrudimento avviene spontaneamente durante la def. plastica. I meccanismi alla base dell'incrudimento sono la moltiplicazione delle dislocazioni e l'interazione tra le dislocazioni. Prima della deformazione plastica un metallo può contenere un numero relativamente piccolo di dislocazioni, dell'ordine di 10^6 cm di lunghezza complessiva di dislocazioni in 1 cm^3 . La deformazione plastica provoca il moto delle dislocazioni lungo i piani di scorrimento, ma il moto può incontrare ostacoli che lo arrestano.

Sotto lo sforzo applicato, forzando le dislocazioni, può provocare la formazione di nuove dislocazioni attraverso un meccanismo noto come meccanismo di Frank-Read. Il numero di dislocazioni cresce e può raggiungere un limite di $10^{12} \text{ cm} \times \text{cm}^3$.

Se ne sono molte disl., queste interferiscono l'una con l'altra in modo tale da impedire lo scorrimento. Il metallo perde così duttilità e diventa più resistente. Spesso la densità di dislocazioni è indicata dal numero di disl che attraversano una superficie di 1 cm^2 .

Il processo di incrudimento è ben noto fin dall'antichità, quando i primi fabbri lavoravano con incudine e martello i primi metalli, a dare loro la forma voluta e maggiore resistenza.

Nella metallurgia contemporanea l'incrudimento accompagna i processi di trafilazione e di laminazione a freddo.



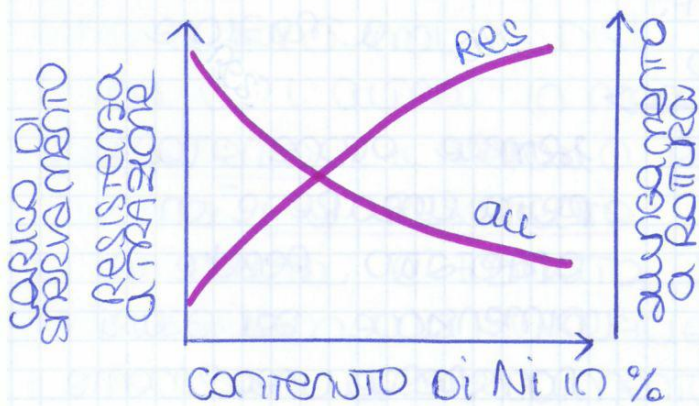
↑ Incrudimento
 = ↑ Resistenza
 = ↑ snervamento
 = ↓ allungamento

BRONZO. L'INCREDIMENTO HA LUOGO QUANDO SI PARTE DA UN MATERIALE DUTILE, QUINDI È IMPORTANTE NEI METALLI E NEI LEGHE. IN ALTRI CLASSI DI MATERIALI, IN PARTICOLARE NEI MATERIALI CERAMICI, NON SI VERIFICA PERCHÉ PRIMA CHE INIZI LA DEF. PLASTICA SI HA LA FRATTURA.

SI HA UN EFFETTO OSTACOLANTE DETERMINATO DALL'INTERAZIONE DELLE DISLOCAZIONI CON I CAMPI TENSIONALI GENERATI DAGLI ATOMI ESTRANEI IN SOLUZIONE.

LA PRESENZA DI DIFETTI CONTRASTA LE TENSIONI DI TRAZIONE E COMPRESIONE (LE PUÒ GENERARE). IL DIFETTO RITARDARE E TRAVA VICINO ALLE DISLOCAZIONI (X DIFFUSIONE VENGONO PORTATI QUI).

LEGA Cu-Ni



↑ LE IMPUREZZE =
 ↑ LA RESISTENZA A TRAZIONE =
 ↑ IL CARICO DI SNEVERAMENTO =
 ↓ L'ALLUNGAMENTO A ROTTURA =
 ↓ LA CAPACITÀ DEL MATERIALE DI DEFORMARSI PLASTICAMENTE

PROVA DI COMPRESIONE X CERAMICI

LA PROVA DI COMPRESIONE È UTILE X PREVEDERE LA RESISTENZA A CARICHI STRUTTURALI.

SI USA PER I MATERIALI FRAGILI, COME I CERAMICI, IDONEI A CARICHI COMPRESSIVI: NON VI È ESTENSIONE DEI MACRO O MICRO DIFETTI PRESENTI (DIVERSAMENTE BAI METALLI E DALLA LORO PROVA DI TRAZIONE DOVE I DIFETTI SUPERFICIALI VENGONO MOLTO SOLLECITATI AD AUMENTARE). SI HA IN QUESTA PROVA RESISTENZA E DEFORMAZIONE MAGGIORE CHE NON A TRAZIONE.

TEORIA DELLA FRATTURA FRAGILE

Sviluppata per prima da GRIFITH, nel 1921. Lo sforzamento applicato, in prossimità del vertice di una microfessura / crecca, agisce in modo intensificato, così da amplificare ed estendere la crecca stessa, innescando la frattura. L'energia che si spende nel processo è allora quella necessaria per estendere le 2 superfici del solido che si separa in 2 parti, ma questa è compensata dalla diminuzione dell'energia elastica che si è accumulata nel materiale prima della frattura.

Per ottenere materiali più resistenti alla frattura è necessario ridurre la lunghezza delle crecche (minimizzare le crecche di taglio critica) ed arrestare la propagazione della fessura introducendo qualche tipo di barriera. Nel filo sottile di vetro la lunghezza delle crecche è inferiore a quella che si ha in campioni a sezione maggiore. Griffith, a conferma del suo modello, trovò che la resistenza (x unità di sezione) di una fibra di vetro del $d = 25 \mu\text{m}$ è quasi 2 ordini di grandezza superiore a quella di un cilindretto. Anche un attacco chimico superficiale, che elimina lo strato di materiale e con esso le crecche superficiali, \uparrow la resistenza alla frattura, questo si ottiene ad esempio attaccando il vetro con HF (acido fluoridrico).

→ Bisogna minimizzare la propagazione di difetti che sono punti di propagazione di crecche, migliorando la preparazione delle materie prime e la lavorazione dei ceramici.

PROVA A FLESSIONE E MATERIALI POLIMERICI

Nella prova a flessione si ha un cilindro (o una sbarra) appoggiato su 2 appoggi inferiori e sollecitato in mezzo con una flessione a 3 o 4 punti cioè con 1 solo o 2 punti di applicazione della forza.