

ESERCIZIO 2.1

Per il comportamento tecnologico dei materiali sono molto importanti i piani compatti e le linee compatte nelle strutture cristalline. Utilizzando gli indici di Miller rispondere ai seguenti quesiti:

1. Quali sono i piani compatti della struttura CFC e della struttura EC?

CFC {111}

EC {0001}

I piani compatti sono quelli ove si riscontra la maggior densità planare atomica.

2. Quali sono le direzioni compatte della struttura CFC e della struttura EC?

CFC [011], [110], [101]

EC [1000], [0100], [0010].

Le direzioni compatte sono quelle ove si riscontra la maggior densità lineare atomica.

3. Quanti sistemi di scorrimento sono presenti nella struttura CCC, CFC e EC?

I sistemi di scorrimento sono definiti da una linea compatta, che rappresenta la direzione compatta, in un piano compatto. Come visto nella precedente risposta ogni piano compatto contiene tre linee compatte.

Il reticolo EC ha solamente un piano compatto mentre, il CCC ha 4 piani compatti, la famiglia {111} che sono perpendicolari sulle diagonali di corpo.

Nel reticolo EC abbiamo dunque 3 sistemi di scorrimento, mentre in quello CFC i sistemi sono 12.

Struttura	Piano di scorrimento	Direzione di scorrimento	Numero di sistemi di scorrimento	
CFC: Cu, Al, Ni, Pb, Au, Ag, γ Fe, ...	{111}	$\langle \bar{1}\bar{1}0 \rangle$	$4 \times 3 = 12$	
CCC: α Fe, W, Mo, β brass	{110}	$\langle \bar{1}11 \rangle$	$6 \times 2 = 12$	
EC: Cd, Zn, Mg, Ti, Be, ...	{0001}	$\langle 11\bar{2}0 \rangle$	$1 \times 3 = 3$	

ESERCIZIO 2.2

Utilizzando i dati nella tabella prevedere il grado relativo di solubilità atomica allo stato solido nel rame. Usare, per il grado di solubilità, la scala seguente: molto alta 70 - 100%; alta 30 - 70 %, media 10- 30%, bassa 1 -10 %, molto bassa < 1%.

Elemento	Raggio atomico [nm]	Struttura cristallografica	Elettronegatività	Valenza
Rame Cu	0.128	CFC	1.8	+2
Zinco Zn	0.133	EC	1.7	+2
Piombo Pb	0.175	CFC	1.6	+2, +4
Silicio Si	0.117	Cubico	1.8	+4
Nichel Ni	0.125	CFC	1.8	+2
Alluminio Al	0.143	CFC	1.5	+3

Berillio Be	0.114	EC	1.5	+2
-------------	-------	----	-----	----

I fattori che influenzano la solubilità sono diversi. Nell'ordine della loro importanza sono:

- 1. Differenza di raggio atomico. Ciò incide sulla solubilità per $\pm 15\%$.*
- 2. Reticolo cristallografico. La solubilità sarà favorita e i cristalli dei materiali candidati a miscelarsi sono identici.*
- 3. Differenza di elettronegatività. Stessa elettronegatività comporta una più facile miscelazione.*
- 4. Differenza della valenza, al diminuire di essa viene favorita la solubilità.*

Per dare, in prima approssimazione, una ragionevole previsione del grado di solubilità è sufficiente concentrarsi sul fattore più importante, ovvero la differenza del raggio atomico di due atomi da miscelare. Molto semplicemente, il calcolo della differenza di raggio atomico si esegue con la formula seguente:

$$\Delta R_{\%} = \frac{R_{\text{soluto}} - R_{\text{matrice}}}{R_{\text{matrice}}} \cdot 100\%$$

I risultati sono riportati in ordine crescente (in valore assoluto) nella seguente tabella:

<i>Sistema</i>	<i>Cu-Ni</i>	<i>Cu-Zn</i>	<i>Cu-Si</i>	<i>Cu-Be</i>	<i>Cu-Al</i>	<i>Cu-Pb</i>
$\Delta R_{\%}$	-2.3%	+3.9%	-8.6%	-10.9%	+11.7%	+36.7%

La tabella riporta l'ordine approssimato dei sistemi che saranno più solubili siano ai sistemi meno solubili.

<i>Sistema</i>	<i>Cu-Ni</i>	<i>Cu-Zn</i>	<i>Cu-Si</i>	<i>Cu-Be</i>	<i>Cu-Al</i>	<i>Cu-Pb</i>
$\Delta R_{\%}$	-2.3%	+3.9%	-8.6%	-10.9%	+11.7%	+36.7%
<i>Reticoli</i>	<i>CFC-CFC</i>	<i>CFC-EC</i>	<i>CFC-Cubico</i>	<i>CFC-EC</i>	<i>CFC-CFC</i>	<i>CFC-CFC</i>
<i>Differenza di elettronegatività</i>	<i>0</i>	<i>0.1</i>	<i>0</i>	<i>0.3</i>	<i>0.3</i>	<i>0.2</i>
<i>Grado di solubilità previsto</i>	<i>Molto alto</i>	<i>Alto</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Molto basso</i>
<i>Grado di solubilità osservato*</i>	<i>100%</i>	<i>38.3%</i>	<i>11.2%</i>	<i>16.4%</i>	<i>19.6%</i>	<i>0.1%</i>

**Dati sperimentali. Temperatura di massima solubilità diversa.*

ESERCIZIO 2.3

Calcolare lo sforzo di taglio che agisce sul sistema di scorrimento (111) [0-11] in una cella unitaria di un monocristallo di nichel di tipo CFC, cui è applicato uno sforzo di 13,7 [MPa] nella direzione [001] della cella unitaria.

Lo sforzo richiesto è calcolabile con la formula:

$$\tau = \sigma \cos(\lambda) \cos(\varphi)$$

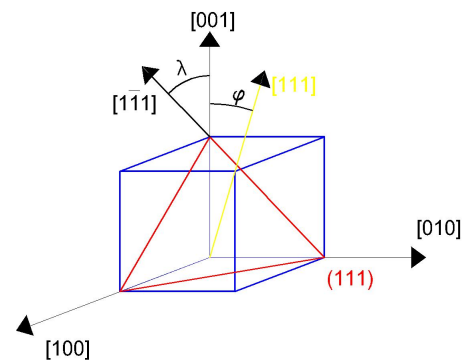
Dove λ rappresenta l'angolo tra la direzione dello sforzo σ e la direzione [0-11], mentre l'angolo φ è quello tra σ e la normale al piano (111).

$$\lambda = 45^\circ$$

Il calcolo del valore dell'angolo φ è dato dall'analisi della cella in figura 1. Con semplici calcoli geometrici si ottiene $\cos(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{3}}$

$$\varphi = 54.74^\circ$$

$$\tau = \sigma \cos(\lambda) \cos(\varphi) = 5.6 \text{ [MPa]}$$



ESERCIZIO 2.4

La densità dei materiali metallici misurata a temperature elevate è sempre inferiore a quella teorica. Come si spiega questa differenza?

Questo fatto si spiega con l'aumento esponenziale del numero di vacanze con la temperatura. A tal proposito, l'equazione di Arrhenius mette in relazione il numero di vacanze con la temperatura del materiale:

$$n_v = n e^{-\frac{Q}{RT}}$$

Dove n_v rappresenta il numero di vacanze, n il numero di atomi nel reticolo, Q l'energia necessaria per creare una vacanza, chiamata anche energia di attivazione, R è la costante molare dei gas e T è la temperatura misurata in gradi Kelvin.

Risulta essere fondamentale fare attenzione alle unità di misura!!!

ESERCIZIO 2.5

Il ferro è un metallo polimorfo, subisce cioè un cambio di struttura dal ferro- α al ferro- γ alla

temperatura di 912 [°C]. I valori delle costanti reticolari, alla temperatura di trasformazione sono:

ferro- α struttura cristallina CCC $a_{\text{Fe-}\alpha}=2,863$ [Å]

ferro- γ struttura cristallina CFC $a_{\text{Fe-}\gamma}=3,591$ [Å]

Con i dati forniti rispondere ai seguenti quesiti:

1. Calcolare la differenza percentuale di volume associato al cambio della struttura.

Ragionando indipendentemente dai dati del problema, è intuitivo sapere che all'aumentare della temperatura un pezzo di ferro si espande in modo continuo. Questo però non avviene nella realtà perché il ferro ha la proprietà di cambiare la propria struttura cristallina all'aumentare della temperatura.

Alla temperatura di 912 [°C], a titolo di esempio, il ferro cambia composizione da CCC a CFC. Considerando che il lato del cubo CCC è di 2,863 [Å] e il lato del cubo CFC è di 3,591 [Å] calcoliamo i volumi delle due celle:

$$V_{\text{CCC}} = (2,863)^3 [\text{Å}^3] = 23,467 [\text{Å}^3]$$

$$V_{\text{CFC}} = (3,591)^3 [\text{Å}^3] = 46,307 [\text{Å}^3]$$

Bisogna tenere conto che per operare un confronto tra i due volumi dobbiamo riferirci allo stesso numero di atomi. Quindi poiché la cella CCC possiede 2 atomi e la cella CFC 4 sarà necessario raddoppiare il volume della cella CCC (il numero di atomi non cambia al variare della temperatura):

$$2V_{\text{CCC}} = 46,934 [\text{Å}^3]$$

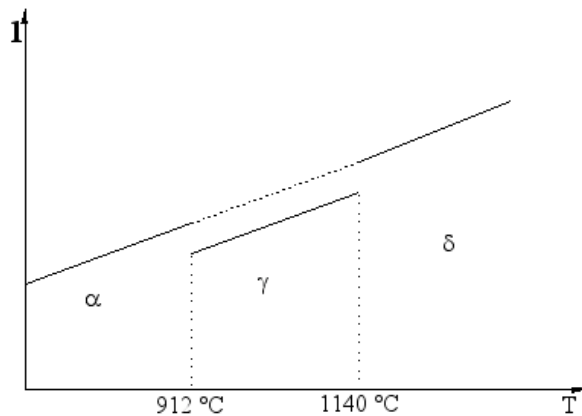
Dunque, essendo il volume occupato dal materiale con struttura CFC diverso rispetto a quello occupato quando il materiale stesso ha struttura CCC possiamo calcolare la differenza di volume:

$$\Delta V = (46,934 - 46,307) [\text{Å}^3] = 0,627 [\text{Å}^3]$$

La deformazione volumetrica sarà data dalla formula:

$$\Delta V_{\%} = \frac{V_{\text{CFC}} - 2V_{\text{CCC}}}{2V_{\text{CCC}}} 100\% = -1,34\%$$

Per quanto detto a 912 [°C] il filo si restringerà bruscamente. E' intuitivo affermare che a 1140 [°C] il filo assumendo una diversa struttura cristallina subirà nuovamente dei bruschi cambiamenti di volume, come meglio mostrato in Figura.



2. Cosa si osserva quando un filo di ferro di lunghezza 1000 [m] passa dalla temperatura ambiente a 1000 [°C]?

Per un filo di ferro che passa da temperatura ambiente a 1000 [°C], superati i 912 [°C] si avrà un restringimento dell'1,34 %.

Se non si considerasse la dilatazione termica si passerebbe cioè da 1000 [m] a 986,6 [m].

3. Qual è il significato di polimorfia? Quali sono i principali vantaggi e svantaggi per un'applicazione tecnologica di questi materiali?

Il significato di polimorfia è intrinseco alla cristallizzazione dei metalli: si dicono metalli polimorfi quelli che cristallizzano in sistemi differenti in relazione alle condizioni di temperatura e di pressione. Svantaggio: essendo il polimorfismo accompagnato da un brusco cambio di volume al variare della temperatura, vi è il rischio di fissazione. Vantaggio: i materiali polimorfi possono essere utilizzati come sensori di temperatura di "emergenza" perché superando la temperatura di cambio di fase si nota un cambio di volume misurabile.

ESERCIZIO 2.6

La deformazione plastica dei metalli e delle leghe può avvenire solamente quando le dislocazioni si possono muovere facilmente.

- a) spiegare perché il loro movimento è più facile nei reticoli CFC

Il reticolo CFC contiene piani compatti (dove gli atomi sono più vicini possibile). Il movimento delle dislocazioni (aprire e chiudere un legame metallico) è molto più

facile quando la distanza interatomica è piccola.

b) Quali difetti cristallini possono ostacolare il movimento delle dislocazioni ?

Tutti i difetti cristallini ostacolano il movimento delle dislocazioni. Essendo imperfezioni nel reticolo, il reticolo viene distorto e così i sistemi di scorrimento per le dislocazioni sono meno agibili.

c) Quali sono gli ostacoli più efficaci ?

Gli ostacoli più efficaci sono i bordi di grano, che hanno una struttura disordinata e i sistemi di scorrimento non continuano da un grano all'altro. Inoltre, la diversa orientazione dei grani fa sì che la tensione tangenziale diventa minore di quella critica. Altri ostacoli per il movimento delle dislocazioni sono le dislocazioni stesse ("foresta delle dislocazioni").