Università di Pisa

Corso di Scienza e Ingegneria dei Materiali -Anno Accademico 2014-2015

12 crediti

Corso di laurea in Ingegneria Chimica – **prima prova parziale** – 04 febbraio 2015 – B33

Informazioni: questo è un esame senza consultazione di libri, appunti o altro materiale relativo al programma del corso. I calcolatori **sono** permessi ad esclusione di quelli preprogrammati a risolvere esercizi. Non è assolutamente consentito l'uso di telefoni cellulari, computer palmari ecc., né scambiare suggerimenti o opinioni con i propri colleghi. Per i calcoli e la brutta copia sono distribuiti dal docente appositi fogli da riconsegnare alla fine della prova: non utilizzare fogli di altra provenienza. Ai trasgressori sarà immediatamente ***ritirato e annullato*** il compito in qualunque momento della prova.

Il tempo a disposizione per la prova è di 3 ore. È consentito uscire per andare in bagno solo all'interno della seconda ora della prova.

Verrà valutato un punteggio parziale per risposte numericamente errate ma supportate da un ragionamento corretto. Il punteggio assegnato alle domande ed esercizi è riportato in fondo al testo. Per l'ammissione alla prova orale occorre ottenere un punteggio pari o superiore a 18, così distribuito: almeno 12 punti nella parte numerica (esercizi) ed almeno 6 in quella teorica (quesiti a risposta aperta e chiusa).

Esercizi:

OK 1. Un grafico di diffrazione ai raggi X per un elemento che può avere struttura CCC o CFC mostra dei picchi di diffrazione ai seguenti angoli 2θ: 38.60°, 55.71°, 69.70°, 82.55°, 95.00°, 107.67°.
(La lunghezza d'onda della radiazione incidente è 0.15405 nm).

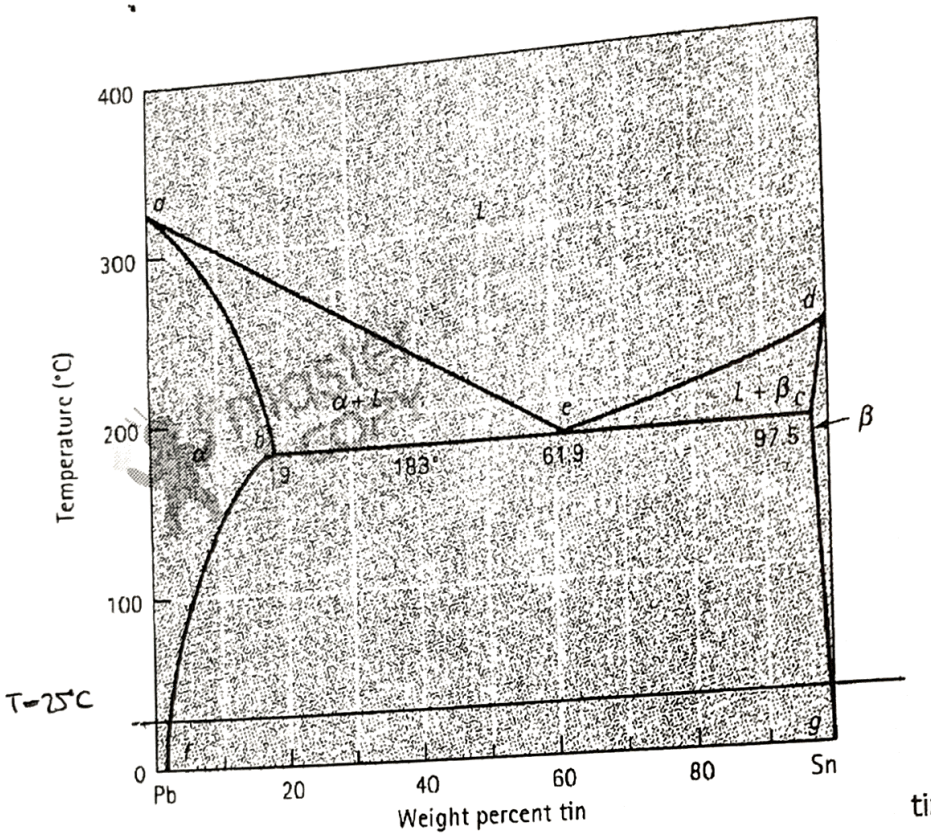
   a. Determinare la struttura cristallina dell'elemento.
   b. Determinare la costante reticolare dell'elemento.

OK 2. Confrontare lo sforzo e la deformazione nominali con lo sforzo e la deformazione reali per una prova di trazione di un acciaio a basso tenore di carbonio che ha fornito i risultati qui di seguito esposti:
–carico applicato al provino = 8500 kg;
–diametro iniziale del provino = 13 mm;
- diametro del provino sotto il carico di 8500 kg = 12 mm

OK 3. Un componente costituito da una piastra deve sostenere un carico di trazione di 207 MPa. Se per questa applicazione si utilizza una lega di alluminio avente K_{IC} di 26.4 MPa$(m)^{1/2}$ e carico di snervamento di 455 MPa, qual è la la massima dimensione di un difetto interno che questo componente può sostenere? (utilizzare Y = 1)

OK 4. In una lega Stagno/Piombo l'osservazione metallografica a temperatura ambiente (25°C) mostra la presenza del 60% di eutettico. Valutate quale sia:
- la composizione della lega
- le quantità e composizione delle fasi α e β.

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745



tin= stagno

Domande a risposta aperta:

OK 1. Spiegare sinteticamente l'incrudimento dei metalli.

OK 2. Descrivere a cosa serve e come si effettua la determinazione della durezza.

OK 3. Descrivere come si ricavano sperimentalmente i diagrammi di stato di leghe metalliche.

OK 4. Confrontare il legame ionico con il legame covalente; confrontare quindi i solidi ionici con i solidi covalenti.

Quesiti a risposta chiusa:

OK 1. Il sistema cristallino tetragonale è caratterizzato da :

- ☒ $a = b \neq c$, $a = b = g = 90°C$
- ☐ $a \neq b \neq c$, $a = b = 90°C \neq g$
- ☐ $a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma \neq 90°C$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

ccc cfc ccc

2. Il ferro puro a pressione 1 atm:

- ☐ Subisce trasformazione da Fe avente struttura CCC a Ferro avente struttura CFC a 1538 °C
- ☐ Subisce trasformazione da Fe avente struttura CCC a Ferro avente struttura CFC a 1394 °C

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

☒ Subisce trasformazione da Fe gamma a Ferro delta a 1394 °C

3. Il fattore di compattazione atomica (FCA) è :

- ☐ Il volume occupato dalla cella diviso per il volume degli atomi in essa presenti
- ☐ il numero degli atomi di una determinata cella diviso per il volume della cella
- ☒ il volume degli atomi di una determinata cella elementare diviso per il volume della cella

4. Il carico di snervamento di un metallo si determina normalmente :

- ☐ considerando lo sforzo al punto di rottura del provino
- ☐ al 20% di deformazione
- ☒ allo 0,2% di deformazione

Allieva/o:

e-mail:

Punteggio:

	N°1		N°2		N°3		N°4	
Esercizi	5		5		5		5	
Quesiti teorici	2		2		2		3	
Quesiti a risposta chiusa	1		1		1		1	
totale	_____ su 33							

master COPY
MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

I COMPITINO - 04/02/2015

1. 2θ : 38,6° , 55.71° , 69.70°

$\lambda = 0{,}15405$ nm

$$\begin{cases} d_{hkl} = \dfrac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}} \\ n\lambda = 2 \sin\theta \, d_{hkl} \end{cases} \longrightarrow \frac{\lambda}{2\sin\theta} = \frac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}}$$

Considerati due angoli successivi e il loro rapporto:

$$\frac{\sin^2\theta_A}{\sin^2\theta_B} = \frac{h_A^2+k_A^2+l_A^2}{h_B^2+k_B^2+l_B^2}$$

2θ	θ	$\sin^2\theta$
38.6°	19.3°	0,109
55.71	29.885°	0,218

$$\frac{\sin^2\theta_A}{\sin^2\theta_B} = \frac{0{,}109}{0{,}218} = 0{,}5 \Rightarrow \text{struttura CCC}$$

ho considerato un piano principale per CCC

$$a = \frac{\lambda\sqrt{}}{2\sin\theta} = \frac{0{,}15405\cdot 10^{-9}\left(\sqrt{1^2+1^2+0^2}\right)}{2\sin(19.8)} = 0{,}329\cdot 10^{-9} \text{ cm.}$$

2. Calcolare sforzi e deformazioni nominali e reali dati:

$m = 8500$ Kg $\rightarrow F = 83385$ N

$d_0 = 13$ mm $= 1{,}3\cdot 10^{-2}$ cm

$d = 1{,}2\cdot 10^{-2}$ cm

$A_0 = (d_0/2)^2\pi = 5{,}3\cdot 10^{-4}$

$A = (d/2)^2\pi = 4{,}52\cdot 10^{-4}$

se il volume non cambia $A_0 l_0 = A l \rightarrow \frac{l}{l_0} = \frac{A_0}{A}$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{83385}{5{,}3\cdot 10^{-4}} = 157 \text{ MPa} \qquad \sigma_r = \frac{F}{A} = \frac{83385}{4{,}52\cdot 10^{-4}} = 187 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0} = \frac{l}{l_0} - 1 = \frac{A_0}{A} - 1 = 0{,}19$$

$$\varepsilon_r = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right) = \ln\left(\frac{A_0}{A}\right) = 0{,}159$$

master copy

3. DATI richieste

$\sigma = 207$ MPa $\qquad a_{max} = ?$

$K_{IC} = 26,4$ MPa$\sqrt{m}$

$\sigma_s = 455$ MPa

$Y = 1$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

cricca intera $= 2a = 10.35$ mm

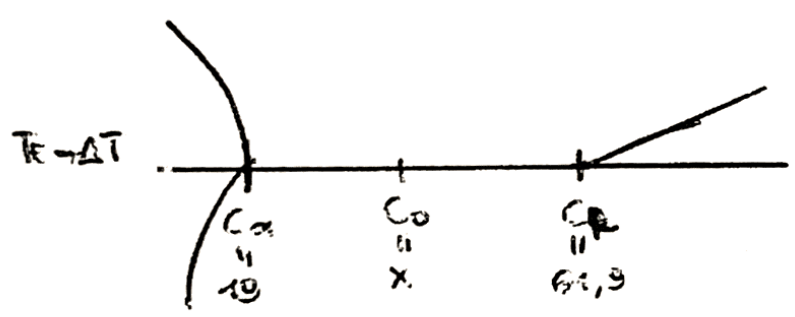
$K_{IC} = \sigma Y \sqrt{a\pi}$

$$\Rightarrow a = \frac{1}{\pi}\left(\frac{K_{IC}^2}{\sigma^2 Y^2}\right) = \frac{1}{\pi}\left(\frac{(26,4 \text{ MPa}\sqrt{m})^2}{(207 \text{ MPa})^2}\right) = 5,18 \text{ mm}$$ dimensione cricca superficiale

per cui la dim max della cricca $= 2a = 2(5,18 \text{ mm})$.

4. a una lega $C_0 = x$ si ha 60% eutettico $(\alpha + \beta)$ e 40% proeutettico a una temperatura di 25°C

Considero $T_E + \Delta T$ la percentuale di eutettico si può avere sia nella solidificazione di α che β. Considero il raffreddamento passante per α, quindi ho:



α primario + α eutettico $\alpha + \beta$

% q.tà fase α = α proeutettico / α primario = 40%, quindi

$$0,4 = \frac{C_L - C_0}{C_L - C_\alpha}$$

$$0,4 = \frac{61,9 - x}{61,9 - 19}$$

$$-x = -61,9 + 0,4(42,9)$$

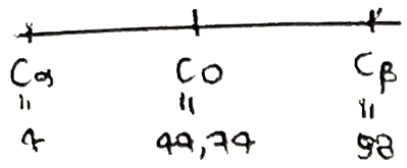
$$x = 44,74 = C_0 = \% \text{ di stagno}$$

a) composizione lega 44,74 % di Sn e 55,26 % di Pb. nel punto a T = 25°C si ha

- fasi presenti α e β
- % α = 4% di Sn

% β = 98 % di Sn

• q.tà delle fasi :



% q.te fase $\alpha = \frac{C_\beta - C_0}{C_\beta - C_\alpha} = \frac{98 - 44,74}{98 - 4} = 0,57\,(100) = 57\%$

% q.te fase $\beta = 43\%$

quesiti a risposta aperta:

1. l'incrudimento nei metalli è un processo che permette l'aumento delle proprietà meccaniche di resistenza di un metallo.
Sul metallo viene fatta avvenire una prima deformazione plastica e poi rimosso il carico. Durante lo scarico viene recuperata anche la componente elastica la quale se la curva è lineare avrà la stessa pendenza del tratto elastico, ma a una deformazione maggiore. Pertanto applicando un secondo carico il punto di snervamento corrisponderà a un σs maggiore rispetto a quello precedente, quindi il materiale risulta essere più resistente.
Questo avviene a livello interatomico, perchè durante la prima def plastica aumenta il numero di dislocazioni. Aumentando le dislocazioni aumentano le deformazioni reticolari, le quali possono interagire tra loro. L'interazione fra le deformazioni è generalmente di repulsione e, quindi il movimento delle dislocazioni è bloccato dalle altre dislocazioni

lavorazione a freddo $LF\% = \left(\frac{A_0 - A_d}{A_0}\right) 100$

2. La duttilità è una proprietà meccanica del metallo che denota la capacità di un metallo di resistere a una deformazione plastica permanente. Una prova di duttilità serve per determinare alcune caratteristiche della resistenza di un materiale ed essendo poco costosa è molto utilizzata.
Esistono varie prove un esempio è la prova di Rockwell in cui con un

penetratore di acciaio indurito viene compresso sulla superficie del materiale con forze differenti. Registrando l'impronta per ogni carico effettuato possiamo raggiungere un valore di durezza del materiale

3 I diagrammi di fase si ricavano sperimentalmente dalle curve di raffreddamento (←)

4 (←) Il legame ionico è tipico dei materiali ceramici i quali sono duri, ma piuttosto fragili; mentre il legame covalente è tipico dei materiali polimerici i quali sono materiali poco resistenti, ma duttili.

master COPY

master COPY

Università di Pisa

Corso di Scienza e Ingegneria dei Materiali – Anno Accademico 2013-2014

Corso di laurea in Ingegneria Chimica - I prova scritta - 5 febbraio 2014

Informazioni: questo è un esame senza consultazione di libri, appunti o altro materiale relativo al programma del corso. Ai trasgressori sarà immediatamente ***ritirato e annullato*** il compito in qualunque momento della prova.
I calcolatori **sono** permessi ad esclusione di quelli preprogrammati a risolvere esercizi. Verrà valutato un punteggio parziale per risposte numericamente errate ma supportate da un ragionamento corretto. Il punteggio assegnato alle prime tre domande (esercizi) è di 5 punti ciascuna, per le successive quattro domande il punteggio è di 3 punti per ognuna, per i sei quesiti a risposta chiusa infine il punteggio è di 1 punto ciascuna.

Esercizi:

OK 1. Il titanio durante il raffreddamento subisce alla temperatura di 882°C una trasformazione polimorfica da struttura cristallina CCC e struttura cristallina EC.
Calcolare la variazione percentuale in volume quando la struttura cristallina cambia da CCC e EC, sapendo che la costante reticolare *a* della cella elementare a 882°C è 0,332 nm, mentre per la cella elementare EC si ha *a* pari a 0,2950 nm e *c* pari a 0,4683 nm.

OK 2. Uno sforzo di 95 MPa è applicato nella direzione [001] ad un monocristallo di tipo CFC. Calcolare:

controlla metodo grafico

a) La componente di sforzo di taglio che agisce nel sistema di scorrimento (1,1,1) $[\bar{1}01]$
b) La componente di sforzo di taglio che agisce nel sistema di scorrimento (1,1,1) $[\bar{1}10]$

3. Si consideri il diagramma di stato peritettico binario iridio-osmio in Figura 1.
Fare l'analisi delle fasi di una lega 80% Ir – 20% Os alle temperature: (a) 2600 °C, (b) 2665 °C + ΔT, (c) 2665 °C - ΔT. Per ogni analisi delle fasi indicare:

a) Le fasi presenti
b) La composizione chimica di ogni fase
c) La quantità di ogni fase
d) Schematizzare la microstruttura utilizzando campi circolari.

master COPY

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

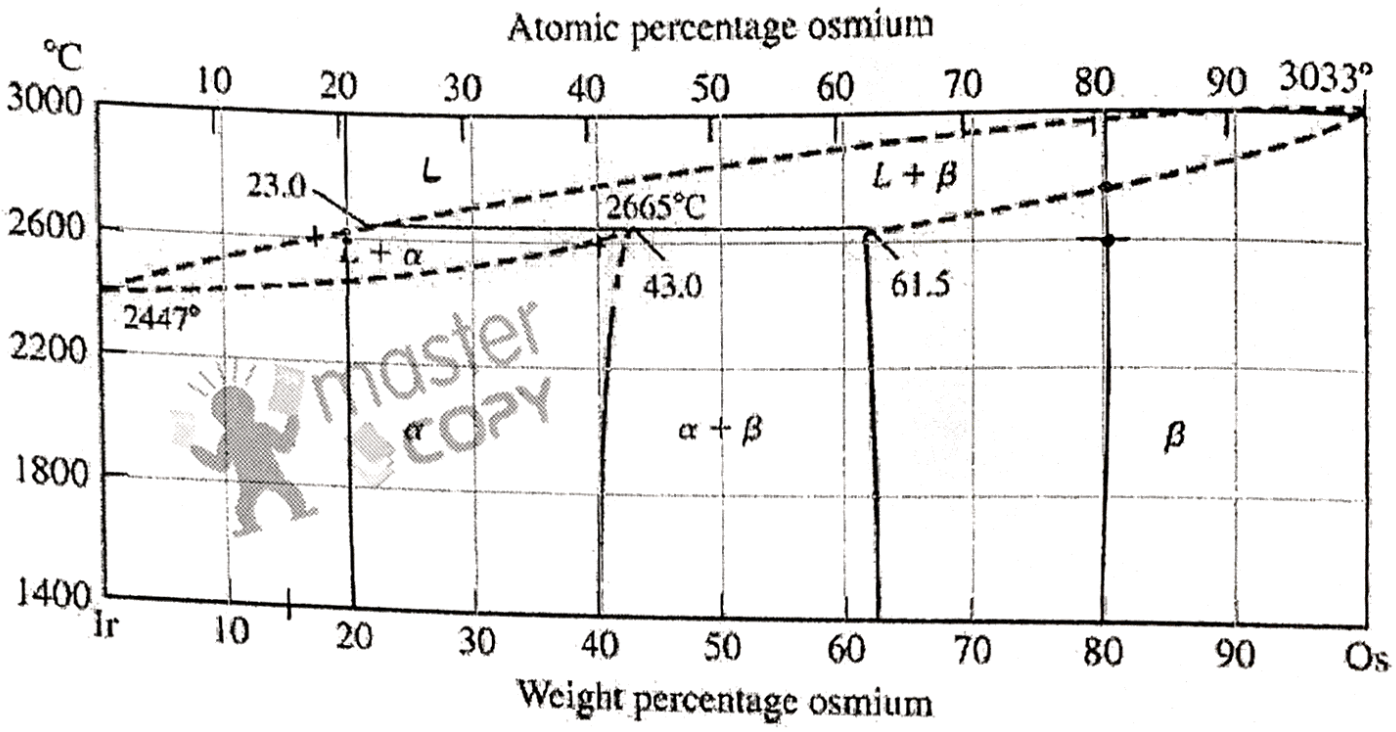


Figura 1 – Diagramma di stato iridio – osmio

Domande a risposta aperta:

1. Descrivere brevemente i seguenti tipi di legami primari (a) ionico, (b) covalente e (c) metallico.

2. Nella solidificazione di un metallo puro, quali sono le due energie coinvolte nella trasformazione?

   - Scrivere l'equazione per la trasformazione totale di energia libera coinvolta nella trasformazione per enucleazione omogenea di un liquido in un nucleo solido privo di deformazioni.
   - Illustrare graficamente i cambiamenti di energia associati alla formazione di un nucleo durante la solidificazione.

3. Descrivere la struttura di un bordo di grano.
   Perché i bordi di grano sono posizioni che favoriscono la enucleazione e la crescita di precipitati?

4. Cosa sono le bande di scorrimento e le linee di scorrimento?
   Che cosa provoca la formazione delle bande di scorrimento sulla superficie di un metallo?
   Perché normalmente lo scorrimento nei metalli avviene lungo i piani compatti?

Quesiti a risposta chiusa:

OK 1. Quanti atomi per cella unitaria sono presenti nella struttura cristallina CCC?

- ☐ Un atomo in ogni cella unitaria
- ☒ Due atomi in ogni cella unitaria
- ☐ Quattro atomi in ogni cella unitaria

OK 2. Cos'è una lega metallica?

- ☐ Una miscela di due o più metalli
- ☐ Una miscela di un metallo (metalli) e un non metallo (o non metalli)
- ☒ Una miscela costituita da due o più elementi atomicamente dispersi in una singola struttura di fase

OK 3. Qual è la definizione di difetto di Frenkel?

- ☐ Coppia vacanza-atomo interstiziale
- SCHOTTY ☐ Doppia vacanza catione-anione
- FRENKEL ☒ Coppia vacanza catione-anione

OK 4. Qual è il numero di coordinazione per gli atomi in una struttura cristallina CCC?

- ☐ Sei
- ☒ Otto
- ☐ Quattro

n
8
12

OK 5. Il niobio a 20 °C è CCC ed ha un raggio atomico di 0.143 nm. Calcolare il valore della sua costante reticolare a in nanometri.

- ☐ 0,251
- ☒ 0,330
- ☐ 0,404

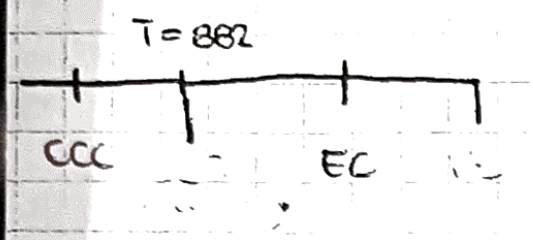
$a = \frac{4}{\sqrt{3}}$ $\frac{4R}{\sqrt{3}} = a\sqrt{3}$

OK 6. Per il reticolo cristallino di tipo CFC, quali sono i quattro principali piani di scorrimento e le tre principali direzioni di scorrimento?

- ☐ I quattro principali piani di scorrimento sono: $(\bar{1},1,1)$; $(1,\bar{1},1)$; $(1,1,\bar{1})$
- ☒ I quattro principali piani di scorrimento sono: $(1,1,1)$; $(1,\bar{1},1)$; $(1,1,\bar{1})$
- ☐ Le tre direzioni di scorrimento sono: $[\bar{1}10]$;$[01\bar{1}]$;$[\bar{1}01]$
- ☒ Le tre direzioni di scorrimento sono: $[1\bar{1}0]$;$[\bar{1}10]$;$[\bar{1}01]$

I COMPITINO - 5/02/2014

1. trasformazione polifomica del titanio



passaggio CCC → es.c

calcolare la variazione percentuale in volume, sapendo

a = 0,332 nm per CCC

a = 0,295 nm
c = 0,4683 nm per ec

per determinare la variazione di volume bisogna calcolare i singoli volumi per atomi per le due strutture (1) e dopo $\Delta V/V$ (2).

$$\Delta V/V = \frac{V_f - V_i}{V_i}$$

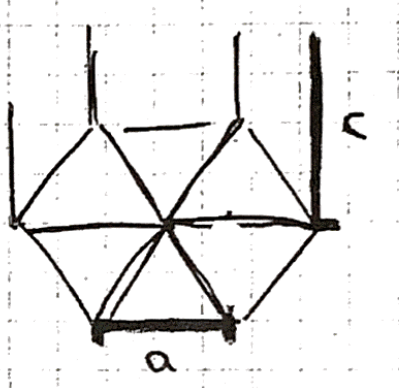
n° atomi CCC = 2

n° atomi ec = 6

$V_{CCC} = a^3 = 3.6 \cdot 10^{-29}/2 = 1,83 \cdot 10^{-29}\ nm^3/atomi$

$V_{ES} = 3a^2 \sin 60^\circ c = 1.059 \cdot 10^{-28}/6 =$

$= 1.765 \cdot 10^{-29}\ m^3/atomi$



variazione volume $= \frac{V_{ES} - V_{CCC}}{V_{CCC}} =$

$= \frac{V_{ES}}{V_{CCC}} - 1 =$

$= \frac{1.765 \cdot 10^{-29}}{1.83 \cdot 10^{-29}} - 1 =$

$= -0.04 = -0.04(100) = -4\%$

A triangolo $= \frac{a(a)\sin 60^\circ}{2}$

A base $= \frac{3}{2} a^2 \sin 60^\circ$

V_{ES} = A base (h)

2. DATI

direzione sollecitazione [001]

a) piano di scorrimento (111) manuale → [111] perché struttura cubica

direzione di scorrimento $[\bar{1}01]$

richiesta

$\tau = ?$

$$\tau = \sigma_s \cdot (\cos\lambda \cos\phi)$$

$$\cos^{-1}\lambda = \frac{uu' + vv' + ww'}{\sqrt{(u^2+v^2+w^2)(u'^2+v'^2+w'^2)}} = \frac{1}{\sqrt{1(3)}} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 54,3^\circ$$

$$\cos^{-1}\phi = \frac{\quad}{\quad} = \frac{1}{\sqrt{1(2)}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 45^\circ$$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

$$\tau = \sigma\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right) = \frac{95}{\sqrt{6}} = 38,78 \text{ MPa}$$

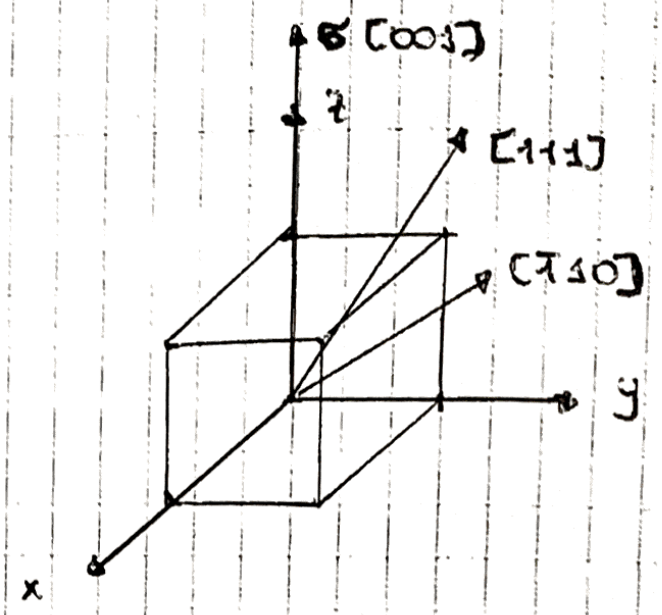
- direzione di scorrimento [001]

b) piano di scorrimento (1 1 1) → normale [1 1 1] perché struttura cubica

direzione scorrimento (1̄ 1 0)

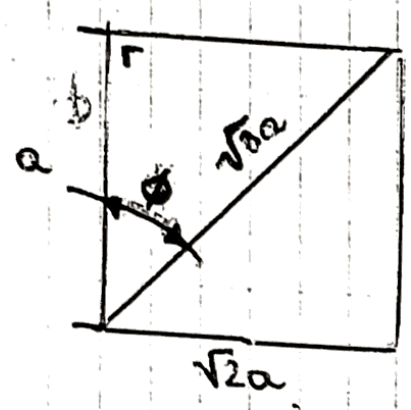
$$\tau = \sigma(\cos\phi \cos\lambda)$$

$$\cos^{-1}\phi = \frac{1}{\sqrt{3}}$$



graficamente

$\lambda = 90°$



diagonale quadrato

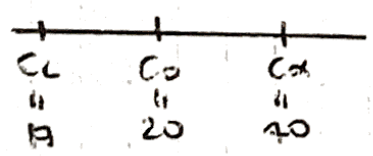
$$\sqrt{3}\,\cancel{a}\cos\phi = \frac{\cancel{a}}{\sqrt{3}} \rightarrow \cos\phi = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$\tau = \sigma\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right) = \frac{95}{\sqrt{6}} = 0,38 \text{ MPa}$$

3. considerata la lega binaria Ir - Os a 80% Ir e 20% Os.

a) T = 2600 °C

- fasi presenti 2 : liquido + α
- % L = 17% di Os
- % α = 40% di Os
- q.tà di fase



$$\% \text{ fase } \alpha = \frac{C_0 - C_L}{C_\alpha - C_L} = \frac{20 - A}{40 - A} = \frac{3}{13} = 0,23(100) = 23\%$$

master COPY
MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

% fase liquido = 100 - 23 = 77 %

- % α = 40 %

b) 2665° C + ΔT

- fase presenti :

- ERRORE -

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

Domande a risposta aperta.

1. legame ionico: il legame ionico è un legame che si forma tra un metallo e un non metallo, i quali in forma ionica, ma con segno opposto, si legano tra loro ottenendo una maggiore stabilità. Le forze di legame sono di tipo coulombiano. Consideriamo NaCl, il cloruro di sodio è formato da Na^+ e Cl^-, il cloro cede un elettrone al sodio dte ottenendo stabilità. Il legame è di tipo adirezionale.

È tipico dei materiali ionici.

legame covalente: il legame covalente è un particolare legame che si forma quando due elementi condividono una serie di elettroni. Si tratta di un legame direzionale e il numero massimo di elettroni che un elemento può condividere è uguale a 8 - N', dove N' è il numero di elettroni di valenza dell'elemento. Ogni elemento che partecipa al legame condividendo degli elettroni completa l'ottetto e raggiunge stabilità.

È tipico dei materiali polimerici

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

legame metallico è il legame dei metalli puri o delle leghe.

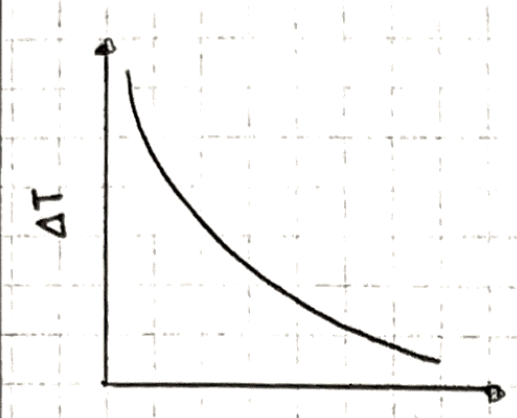
In generale un elemento metallico ha al massimo tre elettroni di valenza. Il metallo deve essere considerato immaginato come un centro ionico e una "nuvola elettrica". Il centro ionico di carica netta positiva è formato dal nucleo e dagli elettroni non di valenza, mentre gli elettroni di valenza costituiscono la "nuvola elettrica". Tali elettroni permettono che i vari centri ionici (dello stesso tipo) non si respingano e agisce, quindi da collante fra i nuclei dell'elemento metallico. Il legame è adirezionale

2. Durante la solidificazione di un metallo puro durante la nucleazione omogenea ci sono due energie coinvolte: (1) energia libera di volume (o di massa) ΔG_V che viene rilasciata durante il passaggio dallo stato liquido allo stato solido e (2) energia libera di superficie ΔG_S, cioè l'energia necessaria per formare la superficie del nuovo metallo.

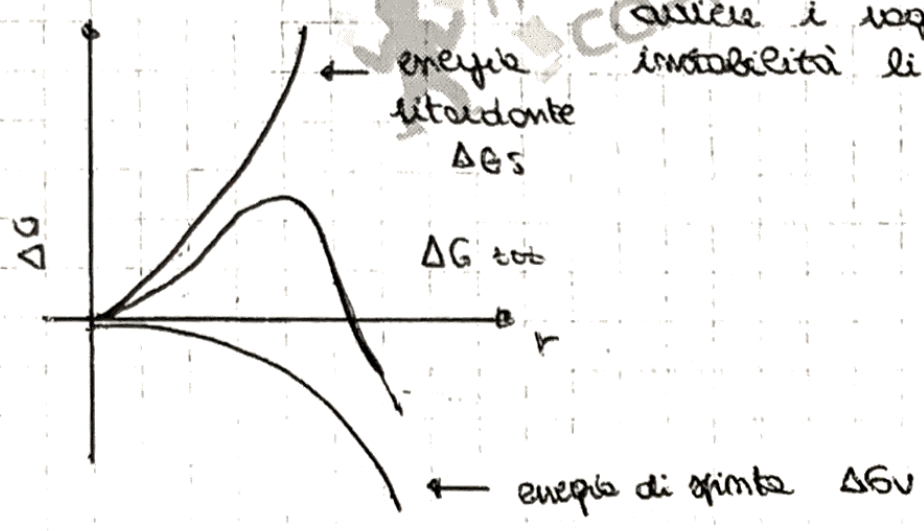
l'equazione è la seguente

$$\Delta G_T = \frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_v + 2\pi r^2 \gamma$$

energia libera specifica di superficie



durante la nucleazione omogenea il metallo stesso permette la formazione dei nuclei. I nuclei, che si formano in seguito al legame tra più atomi per essere stabili devono possedere una dimensione superiore alla dimensione critica e, quindi un raggio superiore al raggio critico. Se questo non avviene i raggi sono chiamati embrioni e la loro instabilità li porta a formarsi per poi dissociarsi.



MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

4. Le bande di scorrimento e le linee di scorrimento sono quei piani e le direzioni all'interno del piano per cui le dislocazioni sottoposte a uno sforzo di taglio, che può provenire anche da una prova di trazione o compressione, si muovono più facilmente. Il movimento delle dislocazioni chiamato scorrimento determina una deformazione plastica, cioè una deformazione permanente per cui non vale più la legge di Hooke e una volta rimosso il carico il materiale non torna alla forma iniziale.

I piani e le direzioni di scorrimento sono differenti a seconda della struttura cristallina, tuttavia all'interno di un piano possono esistere più direzioni di scorrimento per cui la combinazione piano - direzione formano i cosiddetti sistemi di scorrimento. La distorsione atomica del cristallo causato dal movimento delle dislocazioni deve essere minima pertanto lo scorrimento avverrà nei piani con maggiore densità planare e nelle direzioni a maggiore densità lineare

3. Il bordo di grano è un difetto interfacciale ed è definito come la zona di confine tra un grano e un grano altro con differente orientazione cristallografica. Gli atomi all'interno del bordo del grano assumono orientazioni intermedie fra le due differenti orientazioni cristallografiche, pertanto è presente un alto grado di disordine. Questa particolare struttura determina un'energia dei bordi di grano rispetto ai grani stessi e a causa della disposizione atomica casuale essi hanno anche una densità inferiore rispetto ai grani. Queste caratteristiche favoriscono la emulsazione e la possibilità di precipitati all'interno dei bordi di grano.

Si formano durante la solidificazione del cristallo, quando i vari grani entrano fra loro.

master COPY

CELESTE

Università di Pisa

Corso di Scienza e Ingegneria dei Materiali -Anno Accademico 2013-2014

12 crediti

Corso di laurea in Ingegneria Chimica –II prova parziale – 18 giugno 2014

Informazioni: questo è un esame senza consultazione di libri, appunti o altro materiale relativo al programma del corso. I calcolatori **sono** permessi ad esclusione di quelli preprogrammati a risolvere esercizi. Non è assolutamente consentito l'uso di telefoni cellulari, computer palmari ecc., né scambiare suggerimenti o opinioni con i propri colleghi. Per i calcoli e la brutta copia sono distribuiti dal docente appositi fogli da riconsegnare alla fine della prova: non utilizzare fogli di altra provenienza. Ai trasgressori sarà immediatamente ***ritirato e annullato*** il compito in qualunque momento della prova.

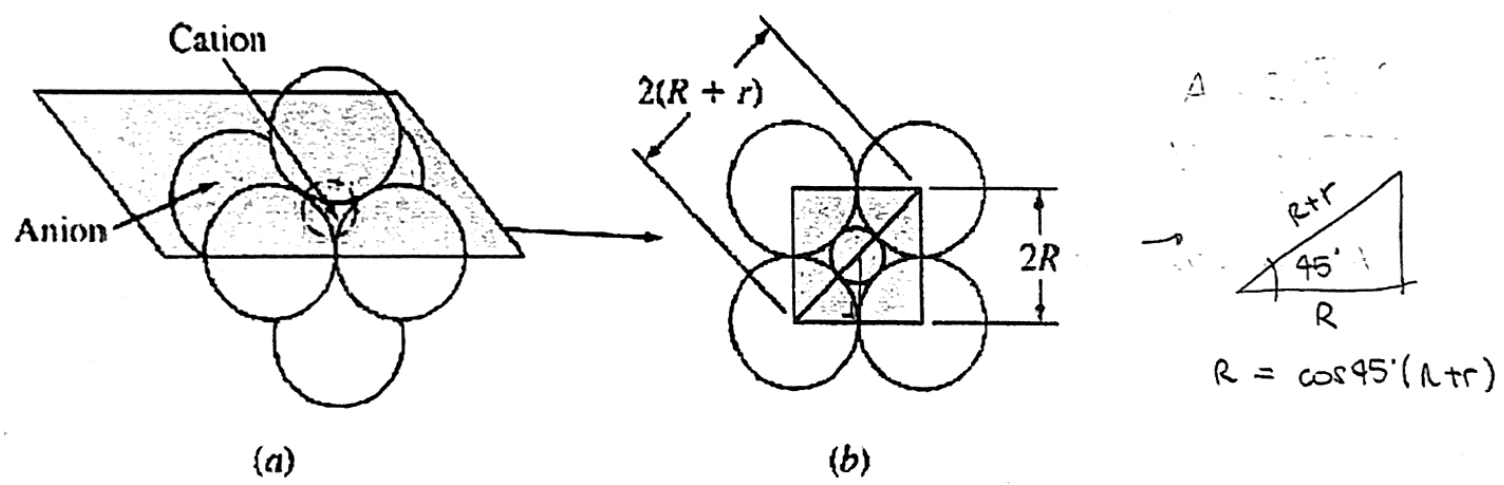
Il tempo a disposizione per la prova è di 3 ore. È consentito uscire per andare in bagno solo all'interno della seconda ora della prova.

Verrà valutato un punteggio parziale per risposte numericamente errate ma supportate da un ragionamento corretto. Il punteggio assegnato alle domande ed esercizi è riportato in fondo al testo. Per l'ammissione alla prova orale occorre ottenere un punteggio pari o superiore a 18, così distribuito: almeno 12 punti nella parte numerica (esercizi) ed almeno 6 in quella teorica (quesiti a risposta aperta e chiusa).

Esercizi:

ok 1. Definire per la disposizione degli ioni nei solidi:

- Il numero di coordinazione
- Il rapporto di raggio ionico critico
- Utilizzando la figura calcolare il rapporto di raggio ionico critico per la coordinazione ottaedrica.



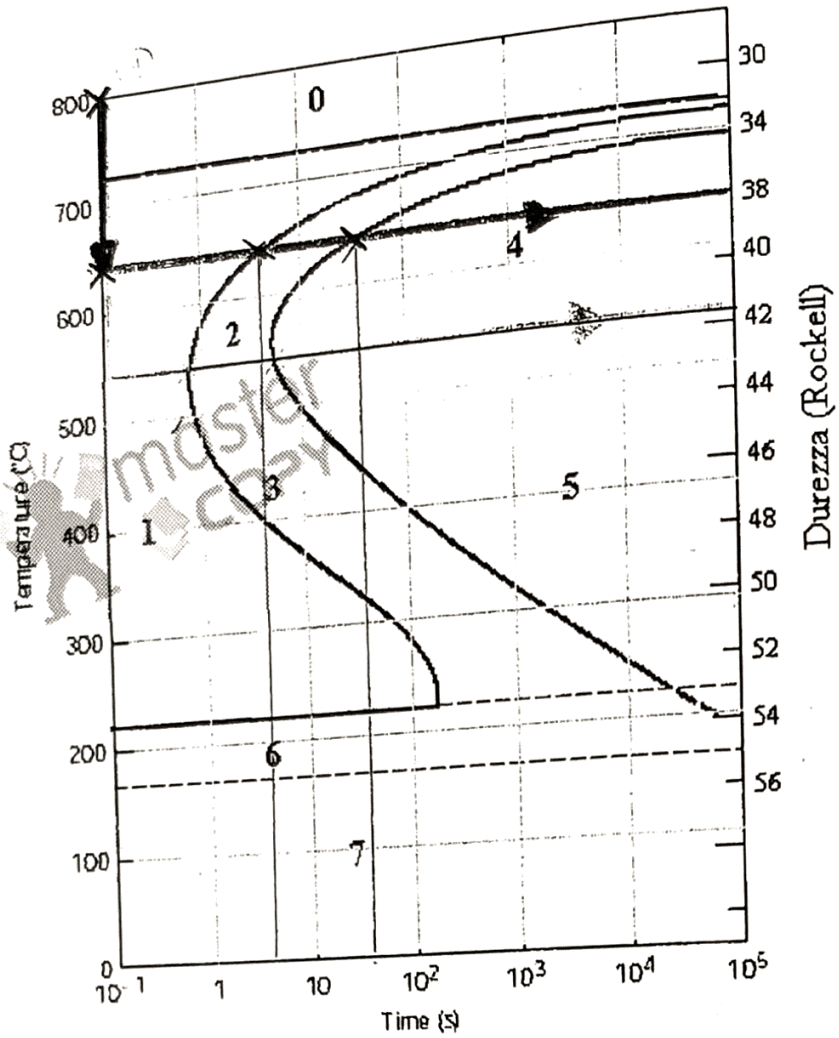
(a) Coordinazione ottaedrica di sei anioni (raggio = R) attorno ad un catione centrale di raggio r

(b) Sezione orizzontale passante per il centro di (a)

ok 2. Un acciaio eutotettoidico presenta il seguente diagramma TTT:

master COPY
MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

CELESTE



MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

a) Completare il grafico indicando le varie strutture che si ottengono in ciascuna zona del grafico.

b) Descrivere il trattamento termico e la microstruttura ottenuta dopo ciascuno step richiesto per produrre isotermicamente una lega di acciaio eutettoidico con durezza pari a 38 gradi Rockell.

OK

3. Si desidera produrre il seguente materiale composito: matrice in resina poliestere rinforzata con fibre di vetro orientate nella direzione di trazione avente un carico di rottura σ_c di almeno 1400 MPa in direzione longitudinale. Il massimo peso specifico ammissibile è di 1,65. Sulla base dei dati riportati in tabella, determinare se ciò è possibile e motivare la risposta.
Assumere un valore di 15 MPa per il σ^*_m in corrispondenza della rottura delle fibre.

	Peso specifico	σ [MPa]
Fibre di vetro	2,50	3500
Poliestere	1,35	50

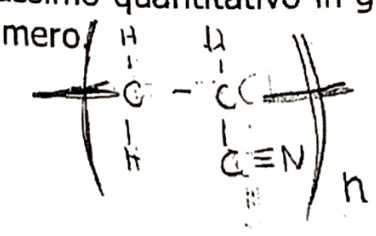
OK

4. Il poliacrilonitrile (PAN), se sottoposto a riscaldamento sopra i 300°C, si degrada emettendo HCN, molto velenoso. Tenendo conto della struttura dell'unità ripetente $-(CH(CN)-CH_2)_n-$ e considerando di avere 1 Kg di PAN, calcolare quale è il massimo quantitativo in grammi di HCN che si può liberare dalla degradazione termica del polimero.

MM unità ripetitiva = 12(3) + 3 + 14 = 53 g/mol

n unità ripetitive = $\frac{1000}{53}$ = 18.86 mol

MM HCN = 27 g/mol



CELESTE

Domande a risposta aperta:

OK 1. Che influenza ha la presenza di elementi di lega sull'andamento della curva di temprabilità? Spiegare.

OK 2. Descrivere il funzionamento dell'altoforno.

OK 3. Descrivere le temperature caratteristiche di un polimero semicristallino temperatura transizione vetrosa

OK 4. Come influisce (a) la porosità e (b) la dimensione dei grani sulla resistenza meccanica a trazione dei materiali ceramici?

master COPY

Quesiti a risposta chiusa:

1. Qual è la percentuale in peso di zolfo impiegato nel processo di vulcanizzazione?
   - ☐ 20%
   - ☒ 3%
   - ☐ 0,8%

2. Il polistirene (PS) commerciale, che è atattico:

   - ☒ Ha una transizione vetrosa a circa 100°C
   - ☐ Ha una transizione vetrosa a circa 100°C ed una temperatura di fusione a 190°C;
   - ☐ Ha solo una temperatura di fusione a 190°C

Punteggio:

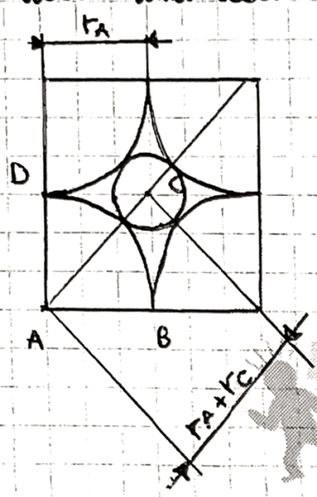
	N°1		N°2		N°3		N°4	
Esercizi	5		5		5		5	20
Quesiti teorici	3		3		3		2	
Quesiti a risposta chiusa	1		1					
totale	_____ su 33							

master COPY

II COMPITINO 18/06/2014

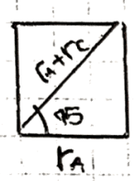
1 struttura materiale ceramico, definire:
- numero di coordinazione
- r_c/r_A

data una coordinazione ottaedrica



Na^+ Cl^-
catione anione
ceduto e^- acquistato e^-
⇓ ⇓
raggio ionico r R

considero ABCD:



vale la relazione:

$r_A = (r_A + r_C)\cos 45°$ triangolo rettangolo

$r_A = r_A \cos 45° + r_C \cos 45°$

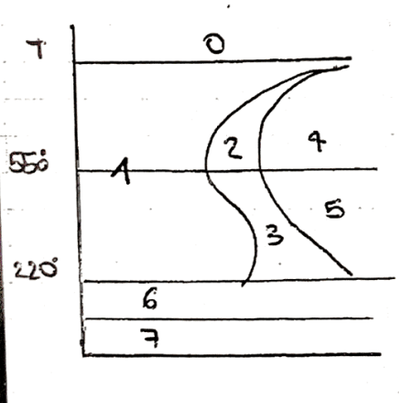
$\frac{r_A(1-\cos 45°)}{\cos 45°} = \frac{r_C}{r_A}\cos 45°$

$\Rightarrow \frac{r_C}{r_A} = \frac{1-\cos 45°}{\cos 45°} = 0.4142$

CN = 6

$\frac{r_C}{r_A} = 0.4142.$

2 diagramma TTT - diagramma di trasformazione isoterma



0 = austenite stabile
1 = austenite fino γ instabile
2 = austenite + perlite
3 = austenite + bainite
4 = perlite
5 = bainite
6 = austenite + martensite
7 = martensite

trattamenti termici per ottenere una microstruttura con resistenza tenacità 38 gradi → perlite
① austenitizzazione fino a una T = 750°C per 1h
② a T = 640°C a Δt_2 = 75 si forma una microstruttura austenite + perlite
③ a T = 640°C a t3 = 605 si ha una microstruttura interamente di perlite 100%
④ raffreddamento ad aria a temperatura ambiente

master COPY
MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

3 materiale composto:

resina poliestere
$\sigma_m^* = 15\,MPa$
$\sigma = 50\,MPa$
$\rho = 1.35$

fibre di vetro
$\sigma = 3500\,MPa$
$\rho = 2.5$

longitudinale

legge di Hooke: $\sigma = E\varepsilon$

composito
$\sigma_c = 1900\,MPa$ min
$\rho = 1.35$ max

condizione di isodeformazione
$\varepsilon = \varepsilon_f = \varepsilon_m = \varepsilon_c$

devo trovare se esiste un materiale composito che abbia tali caratteristiche date. Considerando V_f e V_m la frazione in volume rispettivamente delle fibre e della matrice

$$\rho_c = V_m \rho_m + V_c \rho_c = 1.35 = V_m\, 1.35 + V_f\, 2.5 \quad (1) \quad \times(37.05)$$

$$\begin{cases} F_c = F_m + F_f \\ F = \sigma(A) \end{cases} \rightarrow \sigma_c = \sigma_m V_m + \sigma_f V_f =$$

$$= 1900 = 50\, V_m + 3500\, V_f \quad (2)$$

$$\begin{cases} -50 = -50 V_m - 92.62\, V_f \\ +1900 = 50\, V_m + 3500\, V_f \end{cases}$$

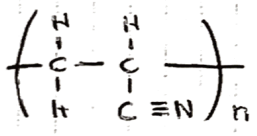
$$\frac{1350}{3407.38} = \cancel{V_m} + 3407.38\, V_f \Rightarrow \begin{cases} V_f = 0.39 \\ V_m = 0.60 \end{cases}$$

è impossibile, tuttavia lo sforzo della matrice che bisogna considerare è $\sigma_m^* = 15\,MPa$

esiste un composito con tali caratteristiche.

4. PAN precursore per le fibre di carbonio

$m_{PAN} = 1\,kg$



$MM_{PAN} = 12(3) + 3 + 14 = 53\,g/mol$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

ad alte temperature libera HCN

$$[CH(CN)-CH_2]_n \rightarrow HCN$$

$$n_{PAN} = \frac{1000\,g}{53\,g/mol} = 18.87\,mol = n_{HCN}$$

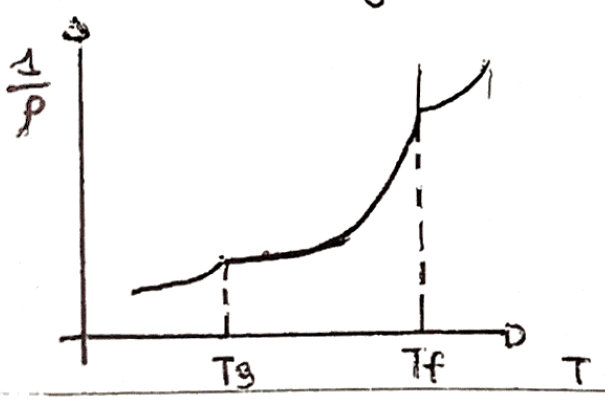
$$m_{HCN} = n(PM) = 18.87(\underbrace{1+12+14}_{27\,g/mol}) = 508.99\,g$$

Quesiti teorici

1. La curva di temprabilità è una curva che si costruisce analizzando la durezza Rockwell su una striscia di provino di un materiale raffreddato mediante tempra in funzione della distanza con l'estremità temprata.

Se consideriamo la curva di temprabilità per un acciaio austenitico all'estremità otteniamo una interfaccia costituita completamente da martensite allontanandosi dall'estremità la percentuale di martensite diminuisce come la resistenza meccanica. Aumentando il tenore del carbonio aumenta anche la resistenza, mentre elementi di lega, come atomi di impurezze come nichel e cromo vanno a ritardare la trasformazione dell'austenite in bainite o perlite a seconda della temperatura a cui avviene la trasformazione e, quindi facendo avvenire ~~la~~ il raffreddamento abbastanza veloce permette di formare maggiore martensite a partire dall'austenite e, quindi aumentare la resistenza meccanica del campione.

3. Il raffreddamento per un polimero termoplastico semicristallino e amorfo è differente. Raggiunta la Tf temp di fusione e facendo raffreddare il campione osserviamo una netta diminuzione del volume specifico in funzione della diminuzione della temperatura. Ciò avviene a causa dell'efficiente impacchettamento delle catene polimeriche che assumono una disposizione atomica ordinata. Inoltre continuando nel raffreddamento osserviamo un cambiamento di pendenza a una data Tg temp di transizione vetrosa, al di sotto il mat plastico si comporta come un vetro fragile con alcune regioni cristalline, mentre al di sopra si comporta come un fluido viscoso con regioni cristalline



1. Durante i processi di produzione di materiali ceramici si formano dei vuoti di forma circolare chiamati pori. I pori sono intensificatori di sforzo, pertanto se il materiale è sollecitato è maggiore la probabilità che in tale zona si innesti una cricca, favorendo una frattura fragile. Quindi la porosità all'interno del materiale ceramico diminuisce la resistenza meccanica del campione considerato. Ottenendo alcuni trattamenti termici possono ridurre la porosità, ma non può essere eliminata. A parità di porosità un ceramico cristallino come ogni materiale cristallino aumenta la resistenza meccanica e tenacità se avrà una struttura omogenea a grani fini.

2. L'altoforno è un impianto che viene utilizzato per produrre ghisa grigia, cioè la lega binaria ferro-carbonio a partire dal minerale ferroso. Nell'altoforno avvengono la combustione di carbonio coke, la fusione di metalli e la riduzione di ossidi metallici

Università di Pisa

Corso di Scienza e Ingegneria dei Materiali -Anno Accademico 2014-2015

12 crediti

Corso di laurea in Ingegneria Chimica –II prova parziale – 05 giugno 2015

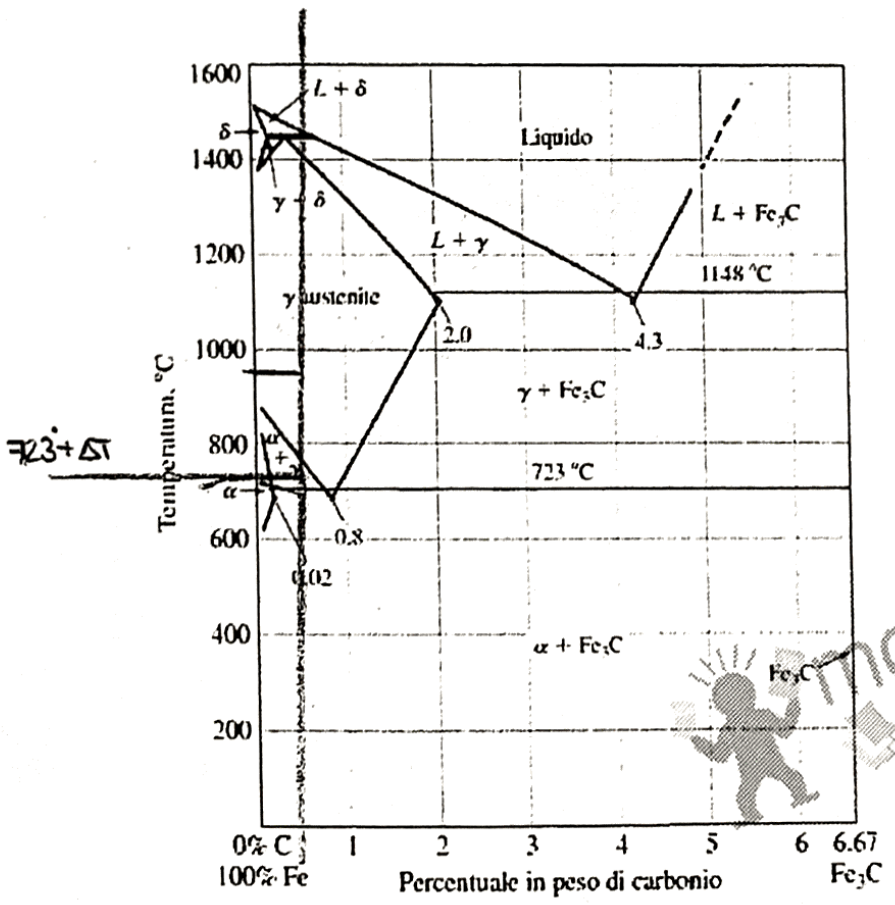
Informazioni: questo è un esame senza consultazione di libri, appunti o altro materiale relativo al programma del corso. I calcolatori **sono** permessi ad esclusione di quelli preprogrammati a risolvere esercizi. Non è assolutamente consentito l'uso di telefoni cellulari, computer palmari ecc., né scambiare suggerimenti o opinioni con i propri colleghi. Per i calcoli e la brutta copia sono distribuiti dal docente appositi fogli da riconsegnare alla fine della prova: non utilizzare fogli di altra provenienza. Ai trasgressori sarà immediatamente ***ritirato e annullato*** il compito in qualunque momento della prova.

Il tempo a disposizione per la prova è di 3 ore. È consentito uscire per andare in bagno solo all'interno della seconda ora della prova.

Verrà valutato un punteggio parziale per risposte numericamente errate ma supportate da un ragionamento corretto. Il punteggio assegnato alle domande ed esercizi è riportato in fondo al testo. Per l'ammissione alla prova orale occorre ottenere un punteggio pari o superiore a 18, così distribuito: almeno 12 punti nella parte numerica (esercizi) ed almeno 6 in quella teorica (quesiti a risposta aperta e chiusa).

Esercizi:

1. Un acciaio al carbonio ipoeutettoidico con 0,4% di C viene raffreddato lentamente da 940°C ad una temperatura appena sopra i 723°C. Calcolare:
   (a) la percentuale in peso dell'austenite presente nell'acciaio;
   (b) la percentuale in peso della ferrite proeutettoidica presente nell'acciaio
   (c) la percentuale in peso della ferrite eutettoidica e la percentuale in peso della cementite eutettoidica presente nell'acciaio.



2. (a) Calcolare il fattore di compattazione ionica del CsCl sapendo che il raggio di Cs^+ è 0,170 nm e il raggio di Cl^- è 0,181 nm. (b) Sapendo che la resistenza del CsCl è 200 MPa e la tenacità alla frattura è 0,25 MPa $\sqrt{m}$, qual è la cricca interna di maggior dimensione che questo materiale può sopportare senza rompersi? (Utilizzare Y=1).

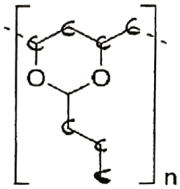
MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

OK 3. Calcolare (a) la densità, (b) il modulo di elasticità, (c) lo sforzo a trazione e (d) la frazione di carico sopportato dalle fibre per un composito stratificato a matrice epossidica contenente il 45% in peso di fibre di vetro continue sottoposto ad un carico parallelo alla direzione delle fibre.

	Resistenza a trazione (MPa)	**E [GPa]**	**Densità (g/cm^3)**
Fibre di vetro	2410	72,3	2,54
Resina epossidica reticolata	62	3,1	1,2

OK 4. Calcolare il grado di polimerizzazione del polivinilbutirrale (PVB) usato nella produzione di vetri di sicurezza sapendo che l'analisi del peso molecolare ha fornito un valore di 120000 e la sua formula chimica è riportata di seguito



$\overline{DP} = \frac{\overline{M_n}}{m}$

dove m = MM dell'unità ripetitiva

Domande a risposta aperta:

OK 1. Differenza tra polimeri termoplastici e termoindurenti
OK 2. Significato del diagramma TTT di un acciaio
OK 3. Tecniche di lavorazione dei materiali ceramici tradizionali
4. Descrivere brevemente quali sono le leghe del rame

Quesiti a risposta chiusa:

1. Gli acciai inossidabili ferritici sono?
   - ☐ Leghe binarie ferro-carbonio contenenti il 4-10% di carbonio
   - ☒ Leghe binarie ferro-cromo contenenti il 12-30% di cromo
   - ☐ Leghe binarie ferro-nichel contenenti il 2-3% di Nichel

2. Il polietilene ad alta densità:
   - ☐ Ha una transizione vetrosa a circa 100°C
   - ☐ Ha una transizione vetrosa a circa -100°C ed una temperatura di fusione a 135°C;
   - ☒ Ha solo una temperatura di fusione a 135°C

3. Lo sforzo a compressione del cemento dipende principalmente da:
   - ☐ Il contenuto di C_3A
   - ☐ Il contenuto di C_4AF
   - ☒ Il contenuto di C_3S

master COPY

4. Il vetro float è:
   - ❑ vetro che è stato riscaldato fino ad una temperatura prossima a quelle di rammollimento
   - ☒ vetro piano prodotto con un nastro di vetro fuso raffreddato allo stato vetroso-fragile mentre scorre sulla parte superiore di un bagno piano di stagno fuso e sotto atmosfera riducente.
   - ❑ vetro che è stato sottoposto ad un trattamento chimico introducendo ioni grandi nella superficie per generare sforzi di trazione sulla superficie

master COPY

Punteggio:

	N°1		N°2		N°3		N°4	
Esercizi	5		5		5		5	
Quesiti teorici	2		3		2		2	
Quesiti a risposta chiusa	1		1		1		1	
totale	_____ su 33							

master COPY

II COMPITINO 5/06/2015

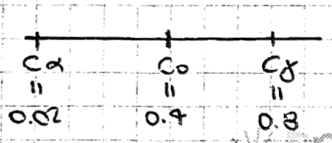
1 diagramma di stato 0.4% di C

$T = 723°C + \Delta T$

regioni : ferro γ e ferro α

% γ = 0.8% austenite

% α = 0.02% ferrite proeutettoidica



q.tà fase $\gamma = \frac{C_0 - C_\alpha}{C_\gamma - C_\alpha} = \frac{0.4 - 0.02}{0.8 - 0.02} = 0.48$

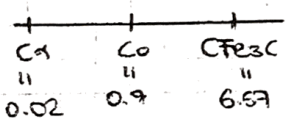
(a) 48% in peso di austenite

q.tà fase $\alpha = \frac{C_\gamma - C_0}{C_\gamma - C_\alpha} = \frac{0.8 - 0.4}{0.8 - 0.02} = 0.52$

(b) 52% in peso di ferro α proeutettoidico

per calcolare la ferrite eutettoidica devo considerare $T = 723°C - \Delta T$

regioni: ferrite ferro γ e cementite Fe_3C



(c) q.tà fase $\alpha = \frac{C_{Fe_3C} - C_0}{C_{Fe_3C} - C_\alpha} = \frac{6.67 - 0.4}{6.67 - 0.02} = 0.94$

94% in peso di ferro α, di cui

0.94 − 0.52 = 0.42 = 42% in peso di ferro eutettoidico

q.tà fase $Fe_3C = \frac{C_0 - C_\alpha}{C_{Fe_3C} - C_0} = \frac{0.4 - 0.02}{6.67 - 0.02} = 0.06$

6% in peso di Fe_3C.

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

2. materiali ceramici

(a) calcolo FCA

$Cs^+ = 0.170\ nm = r_c$

$Cl^- = 0.181\ nm = r_A$

(b) calcolo cricca interna

$\sigma = 200\ MPa$

$K_{Ic} = 0.25\ MPa\sqrt{m}$

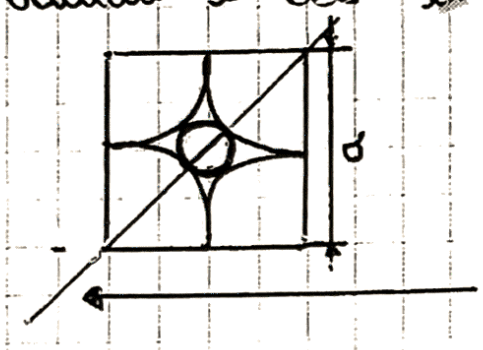
$Y = 1$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

(a) non so la struttura calcolo CN:

$\frac{r_c}{r_A} = 0.93 \Rightarrow CN = 8$ 8 più vicini

struttura è CCC in cui al centro è posto il cloruro



diagonale cubo : $d = a\sqrt{3}$

$\frac{2(r_c + r_A)}{\sqrt{3}} = a$

1 atomo Cs^+ & 1 atomi Cl^-

$$FCA = \frac{V_{ioni}}{V_{cella}} = \frac{\frac{4}{3}\pi\left(r_c^3 + r_A^3\right)}{\frac{8}{9\sqrt{3}}(r_c + r_A)^3} = \frac{0.04541\ \cancel{nm^3}}{0.06657\ \cancel{nm^3}} = 0.68$$

(b) $K_{Ic} = Y\sigma\sqrt{\pi a}$

$$\left(\frac{K_{Ic}}{Y\sigma}\right)^2 = \pi a \Rightarrow a = \frac{1}{\pi}\left(\frac{K_{Ic}^2}{\sigma^2}\right) =$$

$$= \frac{1}{\pi}\left(\frac{(0.25)^2}{(200)^2}\right) = 4.97 \cdot 10^{-7}\ m$$

$\Rightarrow$ dimensione cricca interna $= 2(4.97 \cdot 10^{-7})\ m = 9.94 \cdot 10^{-7}\ m = 0.994\ \mu m$

master COPY

3 materiale compositico

calcolo :

(a) d = ?

(b) modulo elastico = ?

(c) sforzo a trazione = ?

(d) frazione di carico sopportato dalle fibre = ?

dati

tabella

75% in peso fibre di vetro

25% in peso resina epossidica

condizione di sollecitazione longitudinale ⇒ isodeformazione

(b) $P_c = P_f + P_c$

$$\begin{cases} \sigma = \frac{F}{A} \rightarrow F = \sigma A \\ \sigma = \varepsilon E \end{cases} \rightarrow \begin{cases} F = E\varepsilon A \\ \text{dove } \varepsilon_c = \varepsilon_m = \varepsilon_f \end{cases}$$

$$E_c A_c = E_f A_f + E_m A_m$$

$$E_c = E_f V_f + E_m V_m = 72.3(0.75) + 3.1(0.75) = 56.45 \text{ GPa}$$

(c) $\sigma_c A_c = \sigma_f A_f + \sigma_m A_m =$

$$\sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma_m V_m = 2410(0.25) + 62(0.75) = 649 \text{ MPa}$$

IMPORTANTE

conosciamo la frazione in peso e la densità

$\frac{1}{\rho}$ = volume specifico, cioè il volume per unità di peso

si ha $V = \frac{0.75}{\rho_f} + \frac{0.25}{\rho_m} = 0.718$ volume composito per unità di peso

$\frac{0.75}{\rho_f} : 0.718 = x : 1 \rightarrow x = 0.25 = V_f$

$\frac{0.25}{\rho_m} : 0.718 = x : 1 \rightarrow x = 0.75 = V_m$

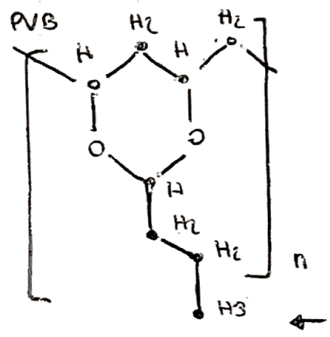
(a) $\rho_c = V_f \rho_f + V_m \rho_m = 0.25(2.54) + 0.75(1.2) = 1.535 \text{ g/cm}^3$

regola delle miscele cioè la media pesata dei componenti

(d) $\frac{F_f}{F_c} = \frac{\sigma_f V_f}{\sigma_c (1)} = \frac{2410(0.25)}{649} = 0.92$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

4. materiali polimerici polimero omopolimero.



← ha considerato

$$\overline{DP} = \frac{\overline{M_n}}{m} = \frac{120000}{142} = 845$$

dove m è la massa molare unità ripetitiva

$\overline{M_n} = 120000$ dato

$m = 8(12) + 2(16) + 14 = 142 \text{ g/mol}$

Quesiti teorici:

1 I polimeri plastici si dividono in polimeri termoplastici e termoindurenti.
I materiali termoplastici sono molto duttili e malleabili hanno la caratteristica che se vengono scaldati rammolliscono e raffreddandosi si induriscono.
Questo processo è reversibile, quindi teoricamente può avvenire fino all'infinito. Tuttavia se la mat plastica raggiunge temperature troppo elevate il materiale si deteriora in modo irreparabile.
Sono polimeri termoplastici polimeri lineari e ramificati ad esempio polietilene, polivinil cloruro PVC
I polimeri termoindurenti una volta formati raffreddandosi si induriscono, se riscaldati non rammolliscono perché le catene di tali polimeri sono legate da legami di tipo covalente. Se invece raggiungono temperature abbastanza elevate non si rammolliscono e induriscono come i termoplastici ma degradano subiscono dei danni tali da non poter essere più utilizzati. Questo è il motivo per cui i termoplastici non posso essere riciclati.
Avendo i legami covalenti i termoindurenti risultano essere più duri e resistenti dei termoplastici.
Sono termoplastici i polimeri incrociati e reticolati come le gomme vulcanizzate.

2 Il diagramma TTT è definito diagramma a trasformazione isotermica e viene costruito a partire dal raffreddamento di un ferro austenitico a una certa temperatura, quindi trasformazione isotermica. Viene registrato il tempo in cui si conclude la trasformazione e questo processo è effettuato a varie temperature al di sotto della temperatura eutettoidica. La prima curva a forma di "S" data una temperatura è l'intervallo di tempo necessario all'inizio della trasformazione, cioè quando l'austenite inizia a formarsi perlite o bainite. Mentre la seconda curva indica la fine della trasformazione cioè il tempo per avere una configurazione finale interamente di bainite o perlite. Dal diagramma TTT possiamo anche calcolare la durezza del materiale dopo la trasformazione

3. I materiali ceramici si dividono in diverse categorie.

I più utilizzati a livello commerciale e per la loro facilità di fabbricazione sono i vetri e i prodotti argillosi. I vetri che sono silicati calce - soda sono costituiti da SiO_2 in percentuale maggiore e MgO e Na_2O. Le tecniche di produzione dei vetri sono la filmatura che avviene in vari metodi come: filatura, fusione, trafilatura una tecnica molto utilizzata e poco costosa è il vetro "float". Dopo la filmatura il vetro viene ricotto per eliminare le tensioni interne e la porosità.

I prodotti argillosi sono alluminosilicati e chimicamente formano un complesso chiamato caolina. La caolina mescolata nelle corrette proporzioni con l'acqua forma la barbotina, la quale prima di diventare prodotto finito deve essere formato, essiccato e cotto. Un'alternativa alla formatura per colaggio, o fusione idroplastica è utilizzata la pressatura delle polveri, che nel caso in cui avvenga a caldo non è necessaria la cottura.

master COPY

E-LEARNING 2015/2016

Università di Pisa

Corso di Scienza e Ingegneria dei Materiali -Anno Accademico 2013-2014

12 crediti

Corso di laurea in Ingegneria Chimica – prova scritta – 03 Luglio 2015 – F09

Informazioni: questo è un esame senza consultazione di libri, appunti o altro materiale relativo al programma del corso. I calcolatori **sono** permessi ad esclusione di quelli preprogrammati a risolvere esercizi. Non è assolutamente consentito l'uso di telefoni cellulari, computer palmari ecc., né scambiare suggerimenti o opinioni con i propri colleghi. Per i calcoli e la brutta copia sono distribuiti dal docente appositi fogli da riconsegnare alla fine della prova: non utilizzare fogli di altra provenienza. Ai trasgressori sarà immediatamente ***ritirato e annullato*** il compito in qualunque momento della prova. Il tempo a disposizione per la prova è di 3 ore. È consentito uscire per andare in bagno solo all'interno della seconda ora della prova.

Verrà valutato un punteggio parziale per risposte numericamente errate ma supportate da un ragionamento corretto. Il punteggio assegnato alle domande ed esercizi è riportato in fondo al testo. Per l'ammissione alla prova orale occorre ottenere un punteggio pari o superiore a 18, così distribuito: almeno 12 punti nella parte numerica (esercizi) ed almeno 6 in quella teorica (quesiti a risposta aperta e chiusa).

Esercizi:

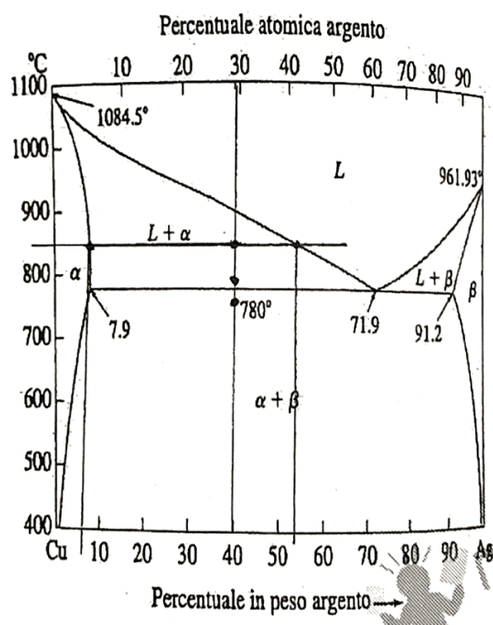
OK 1. Se 500 g di una lega 40% Ag- 60% Cu (percentuali in peso) sono raffreddati lentamente da 1000 °C a una temperatura appena sotto 780°C:

(a) Quanti grammi di liquido e di proeutettico a sono presenti a 850°C?

(b) Quanti grammi di liquido e di proeutettico a sono presenti a 780°C + ΔT?

(c) Quanti grammi di α sono presenti nella struttura eutettica a 780°C – ΔT?

(d) Quanti grammi di β sono presenti nella struttura eutettica a 780°C – ΔT?



OK 2. Una lega presenta carico di snervamento pari a 320 MPa e coefficiente di tenacità a frattura pari a 35 MPa·$\sqrt{m}$. Diagrammare la sollecitazione a rottura (MPa) in funzione della dimensione della cricca per valori della cricca compresi tra 800 μm e 7 mm. Qual è la dimensione minima della cricca interna che provocherà rottura di schianto?
(Utilizzare Y = 1).

OK 3. Si desidera produrre il seguente materiale composito: matrice in resina poliestere rinforzata con fibre di vetro orientate nella direzione di trazione avente un carico di rottura σ_c di almeno 1400 MPa in direzione longitudinale. Il massimo peso specifico ammissibile è di 1,65. Sulla base dei dati riportati in tabella, determinare se ciò è possibile e motivare la risposta.

Assumere un valore di 15 MPa per il σ^*_m in corrispondenza della rottura delle fibre.

	Peso specifico	σ [MPa]
Fibre di vetro	2,50	3500
Poliestere	1,35	50

4. Un polistirene ha un grado di polimerizzazione medio di 1080. Calcolare il peso macromolecolare medio. Tale polistirene viene usato per produrre un espanso. Tale espanso ha una massa volumica di 30 kg/m³. Si calcoli la porosità del materiale (ϕ=Volume vuoto/Volume totale) sapendo che la massa volumica del polistirolo è di 1,05 g/cm³. Si calcoli inoltre il numero di macromolecole presenti in 1 cm³ di (a) polistirene puro; (b) polistirene espanso.

Domande a risposta aperta:

OK 1. Composizione e struttura dei vetri
OK 2. Descrivere a cosa serve e come si effettua una prova di fatica
3. Che cosa è ed a cosa serve un diagramma TTT?
OK 4. Descrivere come si ricavano sperimentalmente i diagrammi di stato di leghe metalliche con trasformazione eutettica.

Quesiti a risposta chiusa:

OK 1. Il fattore di compattazione atomica (FCA) è :
- ☐ Il volume occupato dalla cella diviso per il volume degli atomi in essa presenti
- ☐ il numero degli atomi di una determinata cella diviso per il volume della cella
- ☒ il volume degli atomi di una determinata cella elementare diviso per il volume della cella

OK 2. Il sistema cristallino monoclino è caratterizzato da :
- ☐ $a \neq b \neq c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90°C$
- ☒ $a \neq b \neq c$, $\alpha = \gamma = 90° \neq \beta$
- ☐ $a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma \neq 90°C$

OK 3. Il polietilene ad alta densità (HDPE) commerciale :
- ☐ Ha solo una transizione vetrosa a circa -100°C
- ☐ Ha una transizione vetrosa a circa -100°C ed una temperatura di fusione a 140°C;
- ☒ Ha solo una temperatura di fusione a 140°C

OK 4. Il vetro float è:
- ☐ vetro che è stato riscaldato fino ad una temperatura prossima a quelle di rammollimento
- ☒ vetro piano prodotto con un nastro di vetro fuso raffreddato allo stato vetroso-fragile mentre scorre sulla parte superiore di un bagno piano di stagno fuso e sotto atmosfera riducente.
- ☐ vetro che è stato sottoposto ad un trattamento chimico introducendo ioni grandi nella superficie per generare sforzi di trazione sulla superficie

Allieva/o: _____ e-mail: _____

Punteggio:

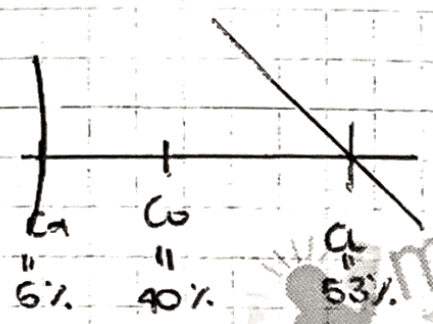
	N°1		N°2		N°3		N°4	
Esercizi	5		5		5		5	
Quesiti teorici	2		2		2		3	
Quesiti a risposta chiusa	1		1		1		1	
totale								

PROVA SCRITTA 03/09/2015

1. Lega Ag - Cu con 500 g della lega

a) % $C\alpha$ = 6% di Ag

% L = 53% di Ag



calcolo q.tà di fase con regola della leva:

q.ta fase $\alpha = \frac{C_L - C_o}{C_L - C_\alpha} = \frac{53-40}{53-6} = \frac{13}{47} = 0{,}30\,(100) = 30\%$

q.ta fase L = 70%

quindi:

m fase liquida = 0,7(500) = 350 g

m fase α proeutettica = 0,3(500) = 150 g

b) % α = 7,9% di Ag

% L = 71,9% di Ag

q.tà fase $\alpha = \frac{71{,}9 - 40}{71{,}9 - 7{,}9} = 0{,}5\,(100) = 50\%$

q.ta fase L = 50%

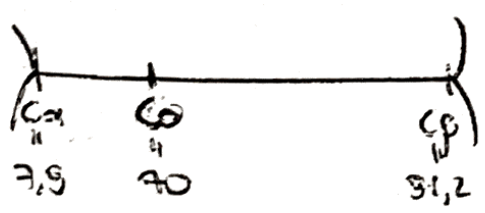
quindi:

m fase liquida = 250 g

m fase solida = 250 g

c) % α = 7,9% di Ag

% β = 91,2% di Ag



q.ta fase $\alpha = \frac{C_\beta - C_o}{C_\beta - C_\alpha} = \frac{91{,}2 - 40}{91{,}2 - 7{,}9} = 0{,}61\,(100) = 61\%$

master COPY
MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

q.tà fase β = 100 - 61 = 39 %

quindi

d) m fase β eutettica = 0,39(500) = 195 g

m fase α eutettica = 0,61(500) - m fase α pseudoeutettica =

= 305 - 150 =

= 155 g

2. DATI

richiesta

σ_s = 320 MPa

dimensione minima = ?

K_{Ic} = 35 MPa $\sqrt{m}$

Y = 1

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

dalla seguente equazione:

$$K_{Ic} = Y \sigma_s \sqrt{\pi a}$$

$$\frac{1}{\pi}\left(\frac{K}{Y\sigma_s}\right)^2 = \cancel{\pi} a$$

$$\Rightarrow a = \frac{1}{\pi}\left(\frac{35^2}{1^2(320^2)}\right)$$

$$= 3{,}8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$ dimensione cricca superficiale.

cricca interna = $2a = 2(3.8 \cdot 10^{-3}) = 7.6 \cdot 10^{-3}$ m

3. materiale composito

composito	fibra	matrice
σ_c = 1900 MPa	σ_f = 3500	σ_m = 50
ρ_c = 1.65 g/cm³	ρ_f = 2.5	ρ_m = 1.35

condizione indeformazione $\Leftrightarrow$ velocità longitudinale

devo verificare se esiste un composito con tali caratteristiche, definisco V_m e V_f come la frazione in volume rispettivamente della matrice e della fibra

$$\rho_c = V_m \rho_m + V_f \rho_f \Rightarrow 1.65 = V_m(1.35) + V_f(2.5) \quad \times(-37.05)$$

$$\begin{cases} F_c = F_m + F_f \\ F = \sigma(A) \end{cases} \rightarrow \sigma_c(A) = \sigma_m V_m + \sigma_f V_f \Rightarrow 50 V_m + 3500 V_f = 1900$$

$$\begin{cases} -61.1 = -V_m(50) - 92.6 V_f \\ 1900 = V_m(50) + 3500 V_f \end{cases}$$

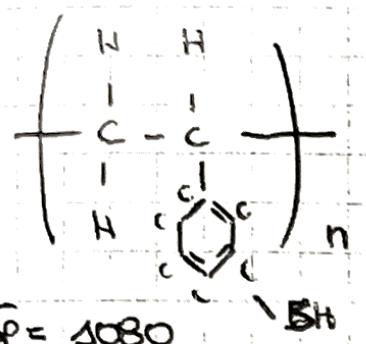
$$\frac{1338.9}{3407} = \cancel{V_m} + \frac{3407 V_f}{3407} \Rightarrow V_f = 0.39, \quad V_m = 0.61$$

esiste un composito con tali caratteristiche

4. materiali polimerici

polistirene

C_8H_8



$m = 8(12) + 8 = 104\ g/mol$

$\overline{DP} = 1080$

$\overline{M_n} = ?$

il volume del materiale cavato è maggiore, quindi è minore la sua densità.

$\overline{DP} = \frac{\overline{M_n}}{m} \rightarrow \overline{M_n} = m(\overline{DP}) = 104(1080) = 112320\ g/mol$

$\rho' = \boxed{30\ kg/m^3} = 30 \cdot 10^{+3} / 10^{+6}\ m^3 = \boxed{0.03\ g/cm^3}$ considerato in parte vuoto

$\rho_{ann} = \boxed{1.05\ g/cm^3} = 1.05 \cdot 10^{-3} / 10^{-6}\ m^3 = \boxed{1050\ Kg/m^3}$ considerato tutto pieno

$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V = \frac{m}{\rho} \rightarrow V' = 0.033\ m^3$ volume in parte vuoto

considero $m = 1\ kg$ $\quad V = \frac{1}{1050} = 9.52 \cdot 10^{-4}\ m^3$ volume pieno

$\phi = \frac{\text{volume vuoto}}{\text{volume totale}} = \frac{V' - V}{V' + V_{vuoto}} = \frac{0.0320}{0.0339} = 0.93(100) = 93\%$

dato $V = 1\ cm^3 \rightarrow m_{pieno} = \rho(V) = 1.05\ g$

$m_{espanso} = \rho(V) = 0.03\ g$

$n_{pieno} = \frac{1.05}{104} = 0.010\ mol$

$n_{espanso} = \frac{0.03}{104} = 2.88 \cdot 10^{-4}\ mol$

$n(N_A)$ = n° molecole

n° particelle di unità ripetitiva $= 9.61 \cdot 10^{-3}\ mol\ (N_A) = 5.79 \cdot 10^{21}$

n° molecole $_{pieno} = 6.022 \cdot 10^{21}$

n° molecole $_{espanso} = 1.73 \cdot 10^{20}$

sapendo che $\overline{DP} = 1080$ = n° macromolecole / mol

$\Rightarrow$ n° macromolecole $= \overline{DP}\ n$ quindi n° macromolecole $_{pieno} = 0.10(1080) = 10.8$

n° macromolecole $_{espanso} = 2.88 \cdot 10^{-4}(1080) = 0.31$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

Quesiti teorici

1. I vetri sono dei materiali ceramici provenienti dai silicati (SiO_4^{4-}) in particolare i vetri sono formati da silice (SiO_2) e altri ossidi.
I vetri, a differenza degli altri silicati che sono cristallini, non lo sono ma infatti hanno un elevato disordine atomico. I vetri vengono molto utilizzati per la loro capacità di essere resi trasparenti o opachi e la facilità di produzione, oltre a buone caratteristiche meccaniche.
La composizione dei vetri varia a seconda dell'applicazione che deve essere fatta. Un vetro commerciale solitamente è costituito dal 70% di silice (SiO_2) e il restante 30% è costituito da (Na_2O) soda e (CaO) calce tale vetro prende il nome di vetro calce-soda per la sua composizione.
Attraverso un processo di cristallizzazione il vetro può diventare un vetro-ceramico cioè un solido cristallino.

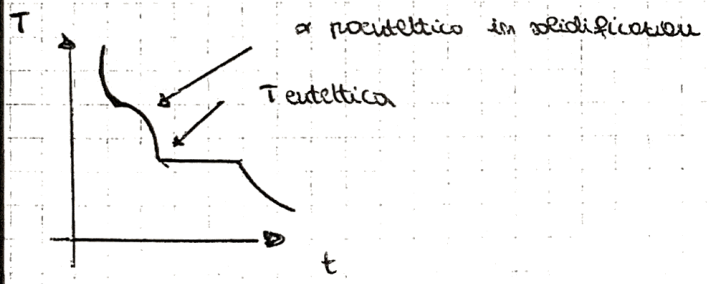
2. La fatica è definita come il cedimento strutturale di un materiale sottoposto a sforzi dinamici. In particolare una frattura per fatica è una frattura che avviene dopo la ripetizione di un certo numero di carichi sul campione. Lo sforzo a cui avviene la frattura per fatica è inferiore allo sforzo di snervamento, quindi conoscere la fatica di un materiale è fondamentale per certe applicazioni. Utilizzando un'apparecchiatura a flessione rotante, costituita da un motore che induce il movimento e due cuscinetti che trasmettono l'energia il provino viene compresso e allungato / sollecitato a compressione e trazione dato un certo sforzo. A partire da tale sforzo si registra i cicli per portare alla rottura del materiale. Tale procedimento viene utilizzato per vari sforzi e permette di costruire la curva S-N, cioè una curva che descrive l'andamento dello sforzo in funzione del logaritmo del numero dei cicli. Dal tale grafico possiamo conoscere la vita a fatica del campione cioè dato lo sforzo il numero di cicli prima di giungere a rottura e la resistenza a fatica del campione cioè il [illegible] lo sforzo che può sostenere il materiale senza rompersi dati il numero dei cicli.

Quesiti teorici

4. I diagrammi di stato di leghe metalliche con trasformazioni eutettiche si ricavano sperimentalmente dalle curve di raffreddamento.

Le curve di raffreddamento si ottengono facendo raffreddare da una temperatura superiore alla fusione fino a temperatura ambiente la lega registrando la temperatura in funzione del tempo a pressione costante. Nella curva di raffreddamento osserviamo che alla temperatura eutettica si ha un arresto della curva da cui inizia la il tratto a temperatura costante in cui avviene la solidificazione.

La registrazione di più esperimenti di raffreddamento a pressioni variabili differenti valori di pressione permette di costruire il diagramma di fase.



3 già fatto

master COPY
MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

Università di Pisa

Corso di Scienza e Ingegneria dei Materiali – Anno Accademico 2012-2013

Corso di laurea in Ingegneria Chimica - II prova scritta – 8 luglio 2013

Informazioni: questo è un esame senza consultazione di libri, appunti o altro materiale relativo al programma del corso. I calcolatori **sono** permessi ad esclusione di quelli preprogrammati a risolvere esercizi. Non è assolutamente consentito l'uso di telefoni cellulari, computer palmari ecc., né scambiare suggerimenti o opinioni con i propri colleghi. Per i calcoli e la brutta copia sono distribuiti dal docente appositi fogli da riconsegnare alla fine della prova: non utilizzare fogli di altra provenienza. Ai trasgressori sarà immediatamente ***ritirato e annullato*** il compito in qualunque momento della prova.

Il tempo a disposizione per la prova è di 3 ore. È consentito uscire per andare in bagno solo all'interno della seconda ora della prova.

Verrà valutato un punteggio parziale per risposte numericamente errate ma supportate da un ragionamento corretto. Il punteggio assegnato alle domande ed esercizi è riportato in fondo al testo. Per il superamento del test occorre ottenere un punteggio pari o superiore a 18, così distribuito: almeno 12 punti nella parte numerica (esercizi) ed almeno 6 in quella teorica (quesiti a risposta aperta e chiusa).

Esercizi:

10/ **1.** Raggi x di lunghezza d'onda incognita sono diffratti da un campione di oro. L'angolo 2θ è di 64,582° per i piani (220). Qual è la lunghezza d'onda dei raggi x impiegata? La costante reticolare dell'oro è di 0,40788 nm. Assumere diffrazione del primo ordine n=1.

La distanza interplanare è

$$d_{220} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} = \frac{0.40788\,\text{nm}}{\sqrt{2^2 + 2^2 + 0^2}} = \mathbf{0.1442\ nm}$$

La lunghezza d'onda dei raggi X, λ, è quindi

$$\lambda = 2d_{220}\sin\theta = 2(0.1442\,\text{nm})\sin(32.291°) = \mathbf{0.154\ nm}$$

10/ **2.** Calcolare la dimensione (raggio) del nucleo di dimensione critica in caso di nucleazione omogenea del ferro puro. Calcolare il numero di atomi del nucleo di dimensione critica in caso di nucleazione omogenea del ferro puro. Considerare un valore di sottoraffreddamento pari a $\Delta T = 0{,}2T_m$. Per il ferro, γ = 204 × 10^{-7} J/cm^2, ΔH_f = -2098 J/cm^3, T_m = 1808 K.

Il valore di sottoraffreddamento è quindi $\Delta T = 0.2T_m = 0.2\ (1808\ \text{K}) = 361.6\ \text{K}$ ed il raggio critico diventa:

$$r^* = \frac{-2\gamma T_m}{\Delta H_f \Delta T} = \frac{-2(204\times10^{-7}\ \text{J/cm}^2)(1808\ \text{K})}{(-2098\ \text{J/cm}^3)(361.6\ \text{K})} = \mathbf{9.72 \times 10^{-8}\ cm}$$

I volumi necessari, basandosi sulla soluzione del Problema 4.4, sono:

$$\text{Volume del nucleo di dimensione critica} = \frac{4}{3}\pi r^{*3} = \frac{4}{3}\pi(9.72\times10^{-8}\ \text{cm})^3 = 3.85\times10^{-21}\ \text{cm}^3$$

$$\text{Volume della cella unitaria di Fe} = a^3 = (0.28664\times10^{-9}\ \text{m})^3 = 2.355\times10^{-29}\ \text{m}^3 = 2.355\times10^{-23}\ \text{cm}^3$$

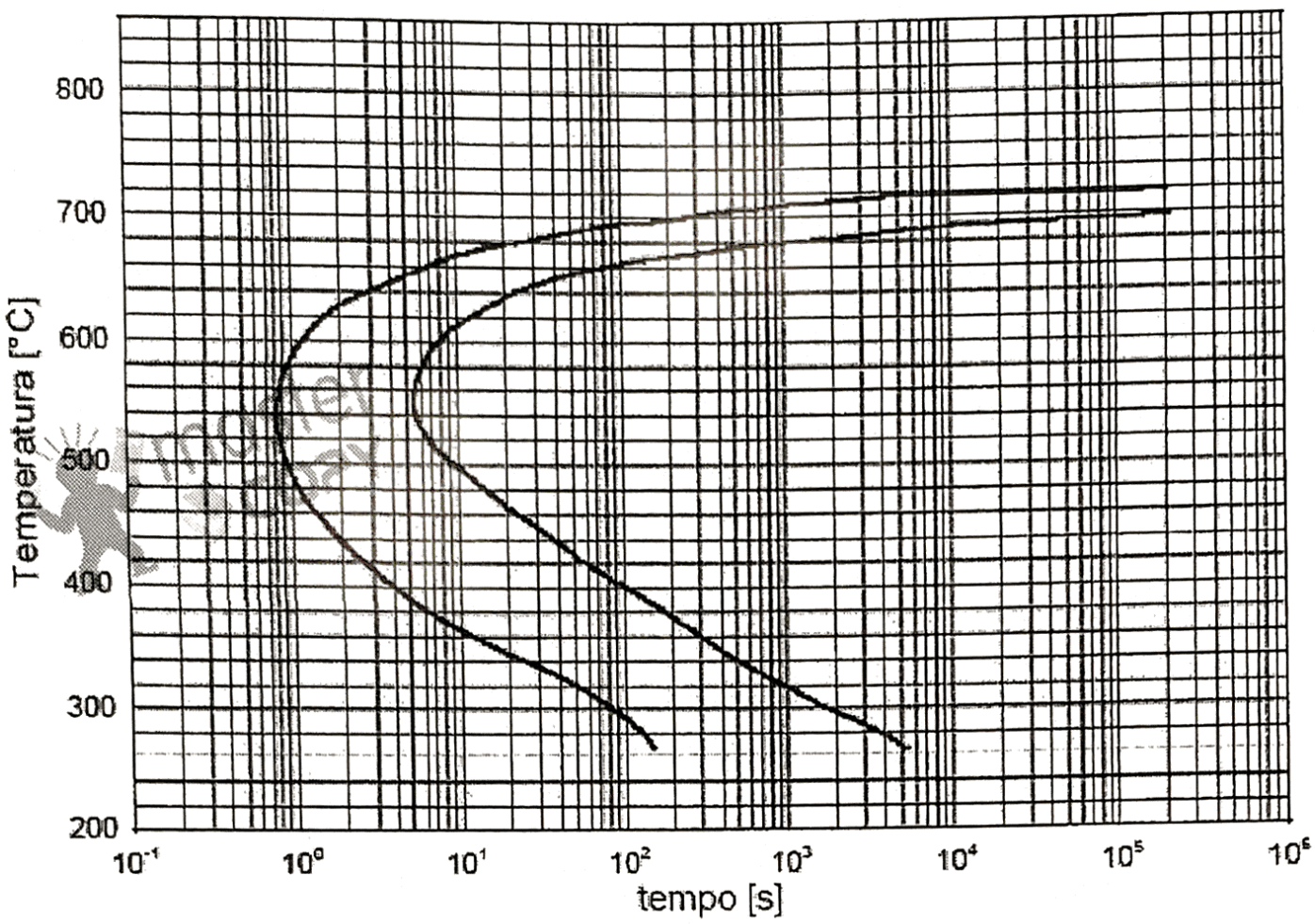
$$\text{Volume per atomo} = \frac{2.355\times10^{-23}\ \text{cm}^3}{2\ \text{atomi/cella unitaria CCC}} = 1.178\times10^{-23}\ \text{cm}^3/\text{atomo}$$

Quindi il numero di atomi in un nucleo di dimensione critica è:

$$\frac{\text{Volume del nucleo}}{\text{Volume per atomo}} = \frac{3.85\times10^{-21}\ \text{cm}^3}{1.178\times10^{-23}\ \text{cm}^3/\text{atomo}} = \mathbf{327\ atomi}$$

③ Un'austenite eutettoide viene raffreddata alla velocità di 25°C/s dalla temperatura di 750°C.
(a) Disegnare la curva di raffreddamento sul diagramma TTT qui sotto riportato e stabilire quale sarà la composizione della microstruttura dell'acciaio a temperatura ambiente.
(b) Si consideri invece il caso in cui la velocità sia pari a 300°C/s e, dopo un secondo dall'inizio, venga introdotta una pausa isoterma di 10s e poi ripreso il raffreddamento. Disegnare sullo stesso diagramma la nuova curva di raffreddamento e stabilire la microstruttura risultante a T ambiente.
Discutere le differenze nelle proprietà meccaniche con il caso (a).

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745
master COPY

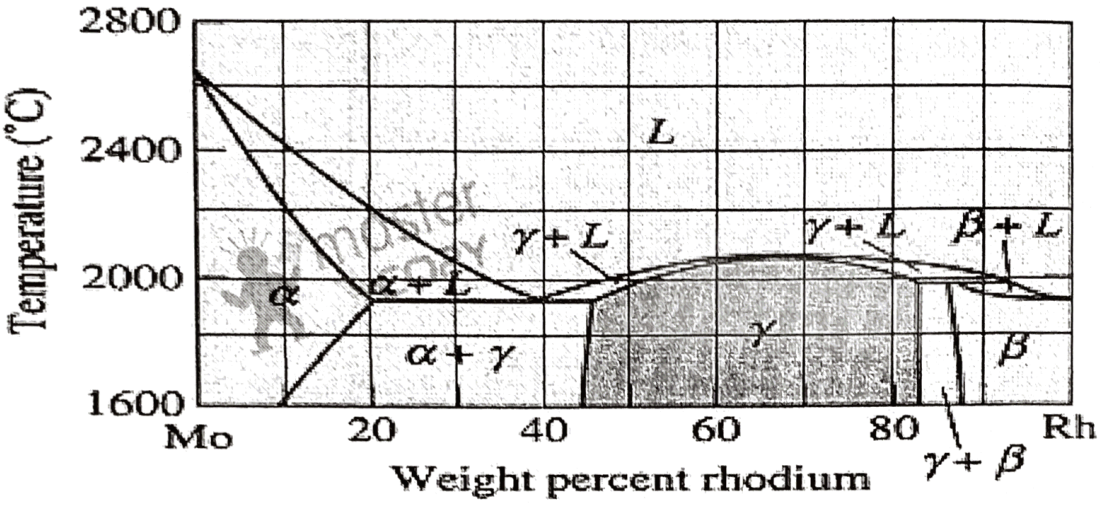


MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

④ Indicare nel diagramma di fase riportato in figura:

- i punti invarianti e relative reazioni invarianti e coordinate di composizione e temperatura
- Considerare una lega costituita dal 30% in peso di Rh alla temperatura di 2400°C. Si raffreddi in stadi successivi fino alle seguenti temperature:
  1) 2000°C
  2) 1800°C
- Indicare per ciascun stadio:
  a) la composizione di ogni fase presente a quella temperatura

b) le quantità relative di ogni fase presente a quella temperatura
c) il numero di fasi presenti



Domande a risposta aperta:

1. Spiegare come può essere rafforzata con trattamento termico una lega induribile per precipitazione. Quale tipo di diagramma di stato è necessario perché una lega possa essere indurita per precipitazione? Qual è la differenza tra un precipitato coerente ed uno incoerente?
2. Quali sono i tre principali tipi di fibre sintetiche utilizzate per produrre materiali compositi a matrice polimerica rinforzati con fibre?
3. A quale scopo industriale servono le curve di temprabilità Jominy?
4. Alla luce del modello a catena ripiegata, spiegare l'esistenza di un gran numero di regioni cristalline casualmente orientate e l'esistenza di una zona amorfa all'interno del polimero solido.

Nome allievo/a:

Email:

Punteggio:

	N°1		N°2		N°3		N°4	
Esercizi	4		4		4		4	
Quesiti a risposta aperta	3		3		3		3	

PROVA SCRITTA 8/7/2013

3. diagramma TTT da spiegare la microstruttura ottenuta raffreddando alla velocità di 25°C/s, cioè ogni secondo scendere di 25°C (caso a) oppure con un'isoterma per un'intervallo di tempo (caso b)

4. diagramma di fase

Quesiti teorici

1 La durezza e la resistenza di alcune leghe metalliche può essere aumentata utilizzando un processo chiamato indurimento per precipitazione che consiste nel disperdere nella matrice metallica una serie di particelle estremamente piccole di una seconda fase. Si parla anche di indurimento per invecchiamento perché la lega aumenta la sua resistenza nel tempo. Affinché una lega possa essere indurita per precipitazione deve possedere un tipo di diagramma di stato. Questo, infatti deve avere una solubilità massima di un componente nell'altro abbastanza apprezzabile e un limite di solubilità ... di un componente che diminuisce con la temperatura. Esistono due tipi di precipitati: precipitato coerente e incoerente. Il precipitato coerente è il precipitato che ha la stessa struttura cristallina della matrice e, quindi si inserisce in quest'ultima andando a creare una distorsione ~~nel reticolo~~ e una resistenza maggiore. Il precipitato incoerente non ha la stessa struttura cristallina della matrice

2 I materiali compositi possono essere rinforzati con tre fibre differenti:

- fibre di vetro – vetro E e vetro S
- fibre di carbonio
- fibre aramidiche – fibre poliamidiche aromatiche commercialmente Kevlar

le fibre di vetro sono utilizzate perché hanno una buona facilità di fabbricazione e hanno il valore dell'allungamento più alto rispetto le altre le fibre Kevlar son la un'elevata resistenza e un valore di densità basso, quindi sono le migliori nel rapporto peso-resistenza. le fibre di carbonio sono le fibre più resistenti e rigide

master COPY
MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

3. in prova Jominy (←) permette di costruire per ogni acciaio mantenuto costante la temperatura, fissa a diversioni del cilindro permette un grafico della durezza rockwell in funzione . . . . . della distanza dall'estremità temprata per materiali a cui si fa variare la composizione della lega. A partire da una certa durezza la curva di temprabilità mi permette di conoscere a quale distanza massima dall'estremità posso trovare tale durezza, sapendo che la durezza della lega diminuisce allontanandosi dall'estremità temprata, a causa del ritardo di formazione di martensite

4 I polimeri termoplastici possono avere un grado di cristallinità, cioè alcune regioni in cui le catene polimeriche hanno una certa disposizione atomica ordinata all'interno di una matrice amorfa e, quindi in cui le catene sono disposte in modo disordinato. Generalmente copoli, attorcigliamenti riducono il grado di cristallinità del termoplastico che può essere un valore compreso tra 0 e 95%

Esistono diversi modelli che cercano di spiegare la disposizione della regione cristallina, costituita da cristalliti e la matrice amorfa. Un modello è il modello a catena ripiegata, I cristalliti fanno della struttura multistrato in cui la catena molecolare si ripiega su se stessa e tale piegatura compare sulla superficie esterna. In questo modello si ha un ricordo tra le regioni cristalline e non cristalline.

master COPY

Università di Pisa

Corso di Scienza e Ingegneria dei Materiali – Anno Accademico 2012-2013

Corso di laurea in Ingegneria Chimica - IV prova scritta – 18 settembre 2013

Informazioni: questo è un esame senza consultazione di libri, appunti o altro materiale relativo al programma del corso. I calcolatori **sono** permessi ad esclusione di quelli preprogrammati a risolvere esercizi. Non è assolutamente consentito l'uso di telefoni cellulari, computer palmari ecc., né scambiare suggerimenti o opinioni con i propri colleghi. Per i calcoli e la brutta copia sono distribuiti dal docente appositi fogli da riconsegnare alla fine della prova: non utilizzare fogli di altra provenienza. Ai trasgressori sarà immediatamente ***ritirato e annullato*** il compito in qualunque momento della prova.

Il tempo a disposizione per la prova è di 3 ore. È consentito uscire per andare in bagno solo all'interno della seconda ora della prova.

Verrà valutato un punteggio parziale per risposte numericamente errate ma supportate da un ragionamento corretto. Il punteggio assegnato alle domande ed esercizi è riportato in fondo al testo. Per il superamento del test occorre ottenere un punteggio pari o superiore a 18, così distribuito: almeno 12 punti nella parte numerica (esercizi) ed almeno 6 in quella teorica (quesiti a risposta aperta e chiusa).

Esercizi:

1. Dal seguente diagramma sforzo deformazione di un campione di ottone determinare:

a) il modulo di elasticità

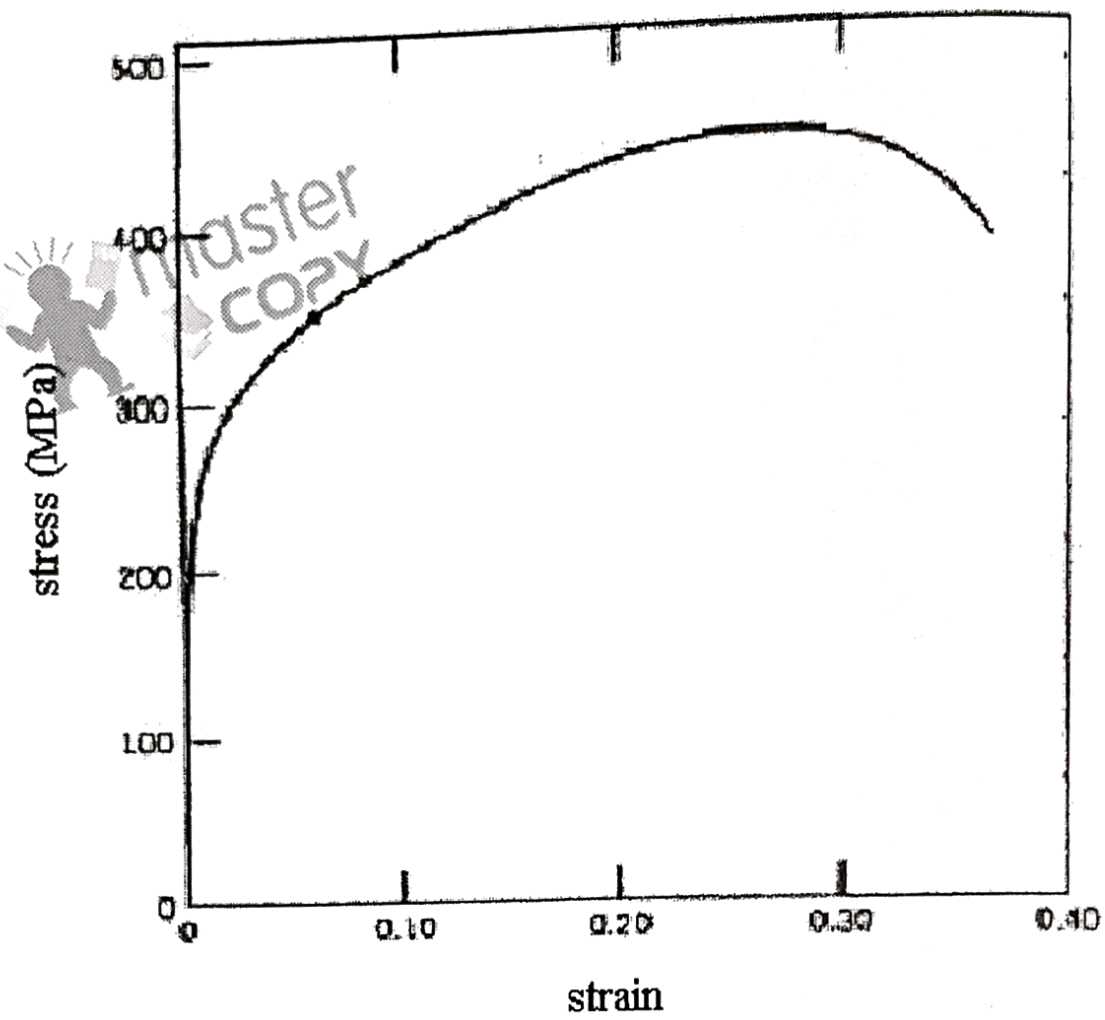
b) lo sforzo di snervamento ad una deformazione permanente di 0.002 (0.2%)

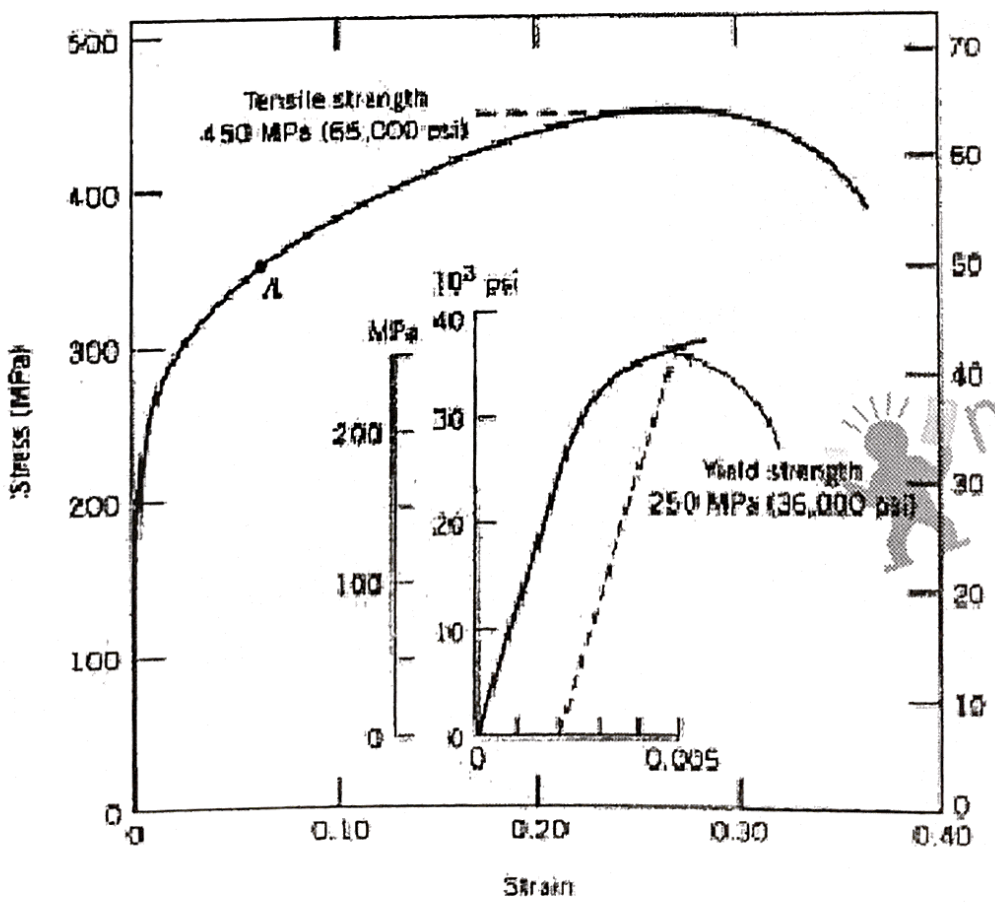
c) il massimo carico che può essere applicato ad un campione cilindrico avente un diametro iniziale di 12.8 mm

d) la variazione in lunghezza di un campione inizialmente lungo 250 mm soggetto ad un carico di trazione di 345 MPa

master COPY

a. considerando un campione cilindrico di questa lega di diametro 20 mm e lunghezza 200 mm, calcolare la forza di trazione necessaria a causare una riduzione in diametro di 9x10-3 mm. Assumere un valore di 0.35 per il modulo di Poisson.





a) Il modulo di elasticità è la pendenza della curva nella parte lineare (ossia la parte iniziale). Essa si ottiene quindi dal rapporto tra la variazione dello sforzo e quella della corrispondente deformazione

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} = \frac{(150-0)}{(0.0016-0)} = 93.8\ \text{GPa}$$

b) É convenzione per determinare con precisione il punto di snervamento costruire una linea retta parallela alla parte elastica della curva σ-ε ad una specifica deformazione di 0.2%. Il carico σ_y corrispondente all'intersezione di questa linea con la curva σ-ε è definito carico di snervamento. In questo caso

$$\sigma_y \approx 250\ \text{MPa}$$

c) Il carico massimo applicabile, ossia la resistenza a trazione, è il carico massimo cui arriva la curva σ-ε (per deformazioni maggiori si forma il collo di strizione e si arriva a rottura). Dalla σ=F/A (F=forza applicata, A=sezione del provino) e assumendo dalla figura σ=450MPa si ha:

$$F = \sigma \cdot A = \sigma \cdot \left(\frac{d_0}{2}\right)^2 \cdot \pi = \left(\frac{12.8 \cdot 10^{-3}}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot 450 \cdot 10^6 = 57900\ \text{N}$$

d) Dalla figura si ricava la deformazione per σ = 345 MPa (punto A in figura):
ε = 0.06
Quindi, da $\Delta l/l_0$ = e si ha $\Delta l = \varepsilon \cdot l_0 = 0.06 \cdot 250$ mm = 15 mm

e) In seguito all'allungamento elastico dovuto al carico di trazione si ha un restringimento nelle direzioni x, y laterali perpendicolari al carico applicato (lungo z). Si hanno quindi le deformazioni ε_x e ε_y che, nel caso in cui lo sforzo applicato sia uniassiale, sono uguali ($\varepsilon_x = \varepsilon_y$).
Si definisce rapporto di Poisson

$$\nu = -\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_z} = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z}$$

Si ha quindi:

$$\varepsilon_z = -\frac{\varepsilon_x}{\nu} = \frac{\Delta d / d_0}{\nu} = -\frac{-9 \cdot 10^{-3} / 20}{0.35} = 1.29 \cdot 10^{-3}$$

Dal grafico a $\varepsilon_z = 1.29 \cdot 10^{-3}$ corrisponde un σ=115 MPa da cui la forza da applicare alla sezione A necessaria a causare la riduzione di diametro voluta è:

$$F = \sigma \cdot A = 115 \cdot 10^6\ \text{N/m}^2 \cdot \pi\ (10 \cdot 10^{-3})^2\ \text{m}^2 = 36100\ \text{N}$$

→ ② Fibre di allumina di 20mm sono incorporate in una matrice di alluminio. Assumendo che vi sia un buon legame tra le fibre e la matrice stimare lo stress termico agente sulle fibre quando la temperatura del composito aumenta da 25 °C a 250 °C. Dire se lo sforzo cui sono soggette è di trazione o compressione, sapendo che il coefficiente di dilatazione dell'Al è α_{Al} =2.5 x 10^{-5} °C^{-1} e quello delle fibre di allumina α_{fibra} = 6.7 x 10^{-6} °C^{-1}. Il modulo elastico delle fibre è E_{fibra} = 386 GPa.

$\varepsilon = \alpha(\Delta T)$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

Dalla $\varepsilon=\alpha\Delta T$ si ha che la deformazione della matrice di alluminio è

$$\varepsilon_{Al} = 2.5\text{x}10^{-5}\ °C^{-1}\cdot(250\text{-}25)°C = 0.005625$$

Poiché la deformazione delle fibre sarebbe invece pari a

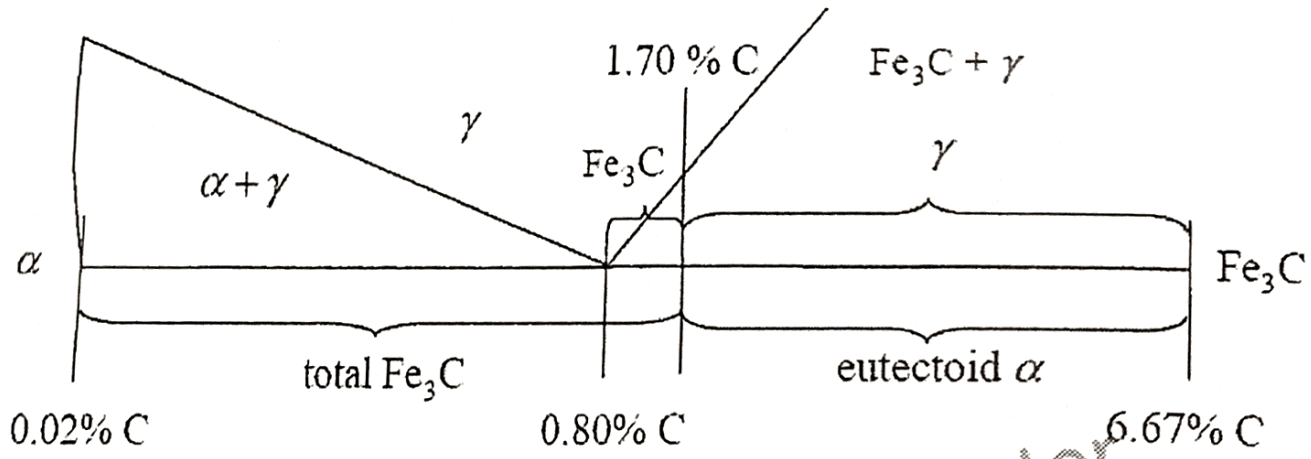
$$\varepsilon_{fibra} = 6.7\text{x}10^{-6}\ °C^{-1}\cdot(250\text{-}25)\ °C = 0.00151$$

e quindi inferiore, esse sono sottoposte ad uno sforzo di trazione dato dalla

$$\sigma = E_{fibra}\,\Delta\varepsilon = E_{fibra}\,(\varepsilon_{Al}-\varepsilon_{fibra}) = E_{fibra}\,(\alpha_{Al}-\alpha_{fibra})\,\Delta T =$$

$$= 386\text{x}10^{9}N/m^{2}\cdot(2.5\text{x}10^{-5}-6.7\text{x}10^{-6})\ °C^{-1}\cdot(250\text{-}25)\ °C = 1.6GPa$$

3. Un acciaio ipereutettoidico contenente 1,70% di carbonio viene lentamente raffreddato da circa 900°C fino ad una temperatura leggermente al di sotto di 723°C.
(a) Calcolare la percentuale in peso di cementite proeutettoidica presente nell'acciaio
(b) Calcolare la percentuale in peso di cementite eutettoidica e la percentuale in peso di ferrite presente nell'acciaio.



(a) The weight percent proeutectoid cementite will be:

$$\text{Wt \% proeutectoid cementite} = \frac{1.70-0.80}{6.67-0.80}\times 100\% = \frac{0.9}{5.87}\times 100\% = \mathbf{15.3\%}$$

(b) As depicted by the tie lines above, the eutectoid reaction will produce:

$$\text{Wt \% eutectoid ferrite} = \frac{6.67-1.70}{6.67-0.02}\times 100\% = \frac{4.97}{6.65} = \mathbf{74.7\%}$$

$$\text{Wt \% eutectoid cementite} = \text{Wt \% total cementite} - \text{Wt \% proeutectoid cementite}$$

$$= \left[\frac{1.70-0.02}{6.67-0.02}\times 100\%\right] - 15.3\%$$

$$= \mathbf{9.96\%}$$

4. Uno sforzo di 85 MPa è applicato nella direzione [001] ad una cella unitaria di un monocristallo di ferro di tipo CCC. Calcolare la componente di sforzo di taglio per i seguenti sistemi di scorrimento:

$$(0\ \ 1\ \ 1)\ \left[1\ \ \bar{1}\ \ 1\right]$$

$$(1\ \ 1\ \ 0)\ \left[1\ \ \bar{1}\ \ 1\right]$$

$$\left(0\ \ \bar{1}\ \ 1\right)\ \left[1\ \ 1\ \ 1\right]$$

Applicare il metodo del prodotto scalare e verificarlo per via grafica.

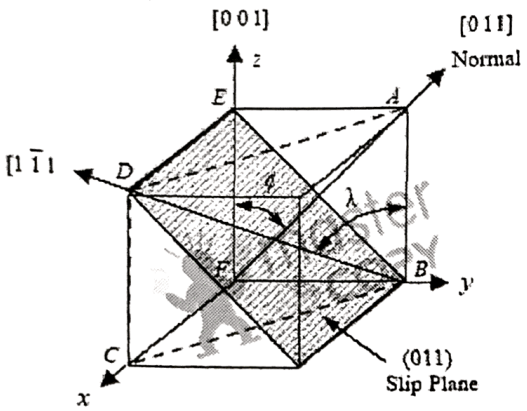
(a) Per il sistema di scorrimento $(011)\left[1\bar{1}1\right]$, λ può essere calcolato basandosi sulla geometria all'interno del rettangolo ABCD di Fig. (b):

$\cos\lambda = \cos a/\left[\sqrt{3}a\right] = 0.5774$, $\phi = 54.7°$. Dalla geometria mostrata in Fig. (c) come quadrato ABFE, ϕ è uguale a 45°. Quindi, lo sforzo di taglio è:

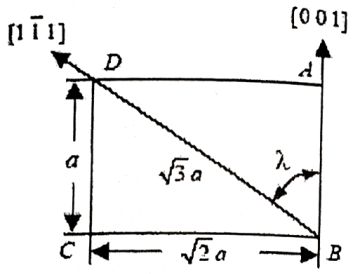
$\tau_r = \sigma\cos\lambda\cos\phi = (85\text{ MPa})(\cos 54.7°)(\cos 45°) = \mathbf{34.7\ MPa}$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

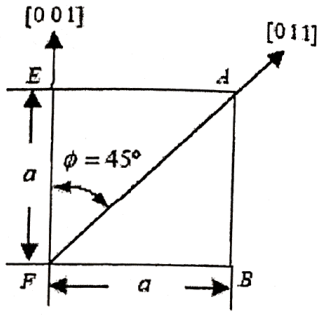
(a)



(b)



(c)

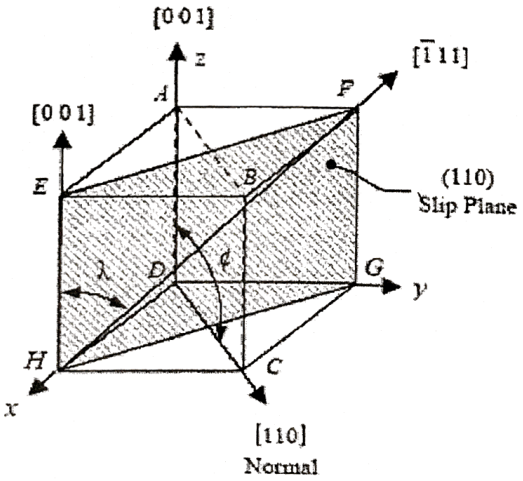


(b) Per il sistema di scorrimento $(110)\left[\bar{1}11\right]$, λ può essere calcolato basandosi sulla geometria del rettangolo EFGH rappresentato in Fig. (e):

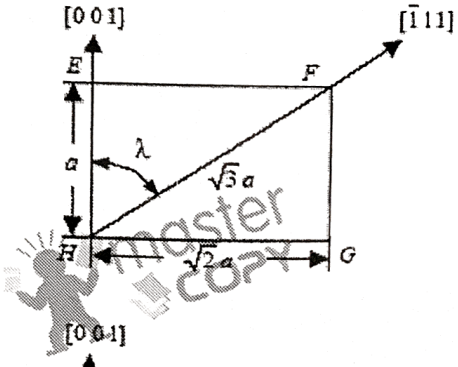
$\cos\lambda = \cos a/\left[\sqrt{3}a\right] = 0.5774$, $\phi = 54.7°$. Dalla geometria del quadrato ABCD in Fig. (f). ϕ è uguale a 90°. Quindi,

$$\tau_r = \sigma\cos\lambda\cos\phi = (4.75\text{ MPa})(\cos 54.7°)(\cos 90°) = 0$$

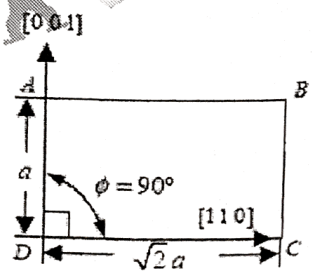
(d)



(e)



(f)



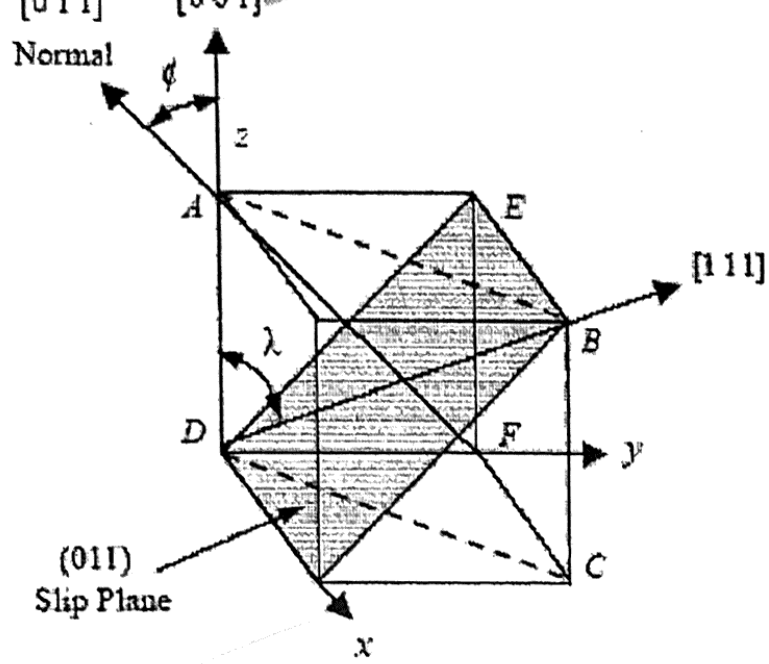
(c) Per il sistema di scorrimento $\left(0\bar{1}1\right)[111]$, λ può essere calcolato basandosi sulla geometria del rettangolo ABCD come rappresentato in Fig. (h):

$\cos\lambda = \cos a/\left[\sqrt{3}a\right] = 0.5774$, $\phi = 54.7°$. Dalla geometria del quadrato AEFD in Fig. (i), ϕ è uguale a 45°. Quindi,

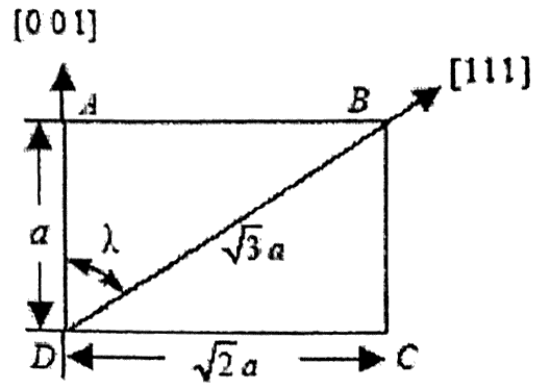
$\tau_r = \sigma\cos\lambda\cos\phi = (85\text{ MPa})(\cos 54.7°)(\cos 45°) = \mathbf{34.7\text{ MPa}}$

master COPY

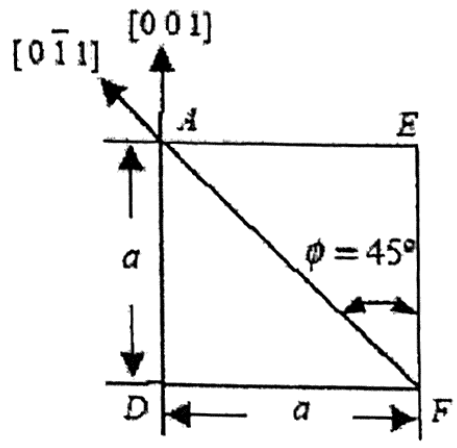
(g)



(h)



(i)



Domande a risposta aperta:

1. Rappresentare il fenomeno della transizione vetrosa riportando in un grafico la variazione del volume specifico in funzione della temperatura.
2. Quali sono le caratteristiche della superficie di frattura duttile di un metallo e quelle della superficie di frattura fragile di un metallo?
3. Descrivere la reazione chimica tra una molecola di diacido e una di diammina a formare un legame ammidico. Chi è il sottoprodotto di questa reazione? Introducendo altre molecole di reagenti quale polimero si ottiene e quali sono le sue principali caratteristiche? Fare un esempio di monomeri di particolare interesse applicativo.
4. Rafforzamento per incrudimento e per precipitazione di metalli e leghe: discuterne i meccanismi di azione a livello microscopico (struttura), conseguenze a livello macroscopico (proprietà), modalità di attuazione.

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

PROVA SCRITTA 18/9/2013

2 materiale composito

dati	richiesta
$l_{fibra} = 20\,mm$	stress termico = ?
$T_1 = 25°C$	
$T_2 = 250°C$	
$\alpha_m = 2.5 \cdot 10^{-5}\,°C^{-1}$	
$\alpha_f = 6.7 \cdot 10^{-6}\,°C^{-1}$	
$E_f = 386\,GPa$	

$\varepsilon_m = \alpha_m(\Delta T) = 2.5 \cdot 10^{-5}(225) = 5.63 \cdot 10^{-3}$

$\varepsilon_f = \alpha_f(\Delta T) = 6.7 \cdot 10^{-6}(225) = 1.5 \cdot 10^{-3}$

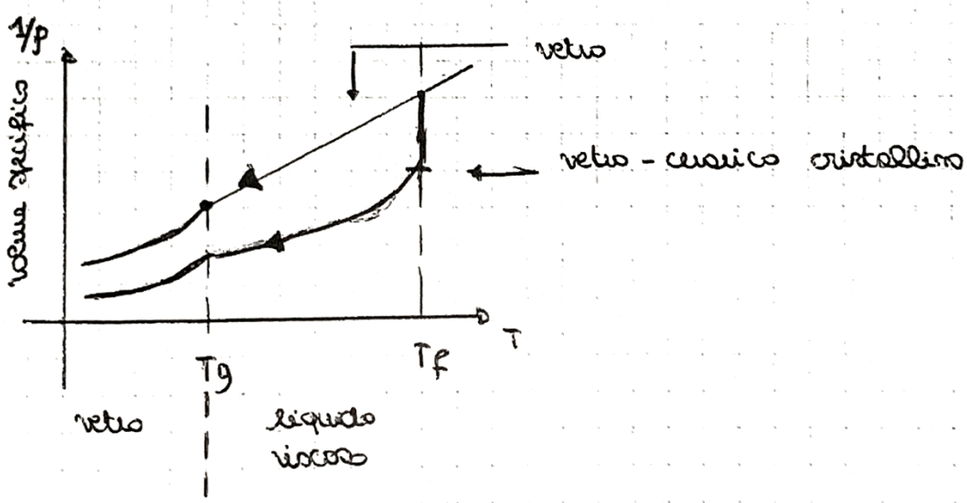
poiché la deformazione della fibra è inferiore a quella della matrice lo sforzo è di trazione

legge di Hooke ridotta: $\sigma_f = E_f \Delta\varepsilon \Rightarrow \sigma_f = 386(5.63 \cdot 10^{-3} - 1.5 \cdot 10^{-3}) = 1.6\,GPa$

3 diagramma di fase

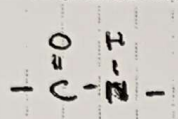
quesiti teorici:

1.



2. Quando su un materiale avviene la frattura possiamo stabilire osservando le due superfici il tipo di frattura che è avvenuta: duttile o fragile. Una frattura duttile è visibile e riconoscibile, perché sulla superficie su cui è avvenuta una è a forma di cono e una di coppa. Questo fenomeno è dato da un avvicinamento della cricca dell'inizio stabile. Un campione che ha subito una frattura fragile non ha su entrambe le superfici alcun segno di deformazione plastica, ma sono visibili delle impronte come strutture che si irradiano dalla zona di innesco della cricca che si è propagata in modo cosiddetto instabile

3. Il legame amidico è un legame che si forma dalla reazione di condensazione tra un'ammina e un acido carbossilico, ~~[illegible]~~ unito



la come sottoprodotto l'acqua.

I legami amidici sono caratteristici dei nylon che sebbene non abbiano una struttura chimica identica ma contengono tutti il legame amidico.

Un esempio di nylon è il nylon 6.6 molto utilizzato per la sua facilità di fabbricazione, una buona resistenza meccanica e tenacità ad alte temperature

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

1

Università di Pisa

Corso di Scienza e Tecnologia dei Materiali – Anno Accademico 2007-2008

Corso di laurea in Ingegneria Chimica – compito – 25 giugno 2008

Informazioni: questo è un esame senza consultazione di libri, appunti o altro materiale relativo al programma del corso. Ai trasgressori sarà immediatamente ***ritirato e annullato*** il compito in qualunque momento della prova.

I calcolatori **sono** permessi ad esclusione di quelli preprogrammati a risolvere esercizi. Verrà valutato un punteggio parziale per risposte numericamente errate ma supportate da un ragionamento corretto. Il punteggio assegnato alle domande ed esercizi è riportato in fondo al testo.

OK

Esercizio 1 ✓

Quanto zolfo deve essere aggiunto a 150 g di butadiene per reticolare il 3,25% delle unità monomeriche?

(Assumere che tutto lo zolfo sia impiegato per reticolare le unità monomeriche e che un solo un atomo di zolfo sia coinvolto in ciascun legame di reticolazione).

Dati:

$PM_{butadiene}$ = 54 g/mol (per unità monomerica)

PM_{zolfo} = 32 g/mol

OK

Esercizio 2 ✓

Un serbatoio di acciaio con 0,95% di carbonio, riscaldato e contenente acqua, si corrode ad una velocità di 90 mg/(dm^2 giorno). Se la corrosione è uniforme, quanto impiegherà la parete del serbatoio a corrodersi di 0,30 mm?

Assumere la densità dell'acciaio pari a quella del ferro (7,87 g/cm^3). In quali condizioni l'acciaio è più resistente alla corrosione:

(a) martensitico

(b) martensitico rinvenuto con carburo ε e Fe3C formatisi nell'intervallo 200-500 °C?

Fornire una spiegazione.

OK

Esercizio 3 ✓

Un composito a matrice ceramica è composto da una matrice metallica di ossido di alluminio (Al_2O_3) e da un rinforzo in fibre continue di carburo di silicio con tutte le fibre di SiC in una sola direzione. Il composito è formato dal 30 % in volume di fibre di SiC. Se si è in condizioni di isodeformazione, calcolare il modulo a trazione del composito nella direzione delle fibre. Se viene applicato un carico di 10 MN al composito nella direzione delle fibre, qual è la deformazione elastica nel composito, se l'area superficiale sulla quale è applicato il carico è pari a 55 cm^2? I dati sono i seguenti: E (Al_2O_3) = 350 GPa e E (SiC) = 340 GPa.

Esercizio 4

Provando un acciaio con 0.2 % di carbonio, sono stati ottenuti, nella fase iniziale di una prova di trazione,

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

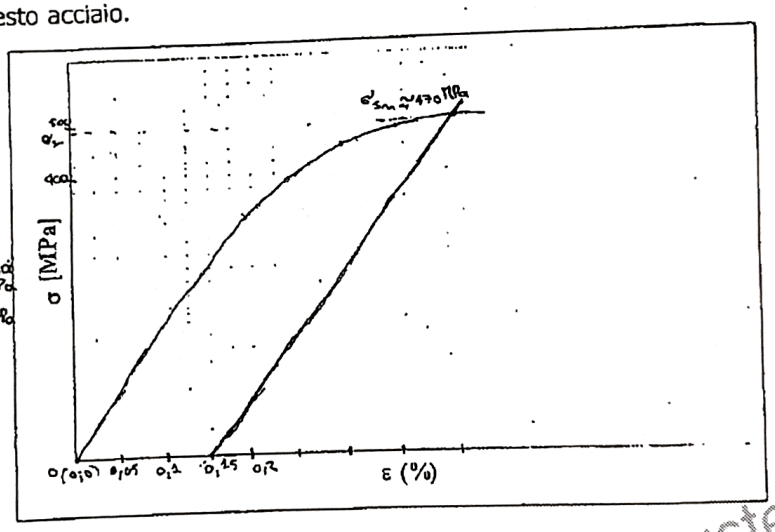
i valori di sforzo e deformazione nominali riportati nella tabella seguente.

Deformazione nominale ε (mm/mm)	*Sforzo nominale σ (MPa)*
0.0000	0.0
0.0005	103.4
0.0010	206.7
0.0015	275.6
0.0020	344.5
0.0035	413.4
0.0040	454.7
0.0060	482.3
0.0080	496.1

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745
master copy

(a) Tracciare il grafico sforzo-deformazione nominale usando il tracciato seguente e i dati in tabella e determinare il modulo elastico E ed il carico di snervamento σ_R per questo acciaio.

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{206{,}7 - 103{,}3}{0{,}0010 - 0{,}0005} = \frac{103{,}4}{0{,}0005} = 206800\ \text{MPa} = 206{,}8\ \text{GPa}$$



(b) Stimare l'energia (in J/m^3) necessaria per innescare la deformazione plastica del materiale e spiegare il criterio adottato.

master copy

Quesiti teorici:

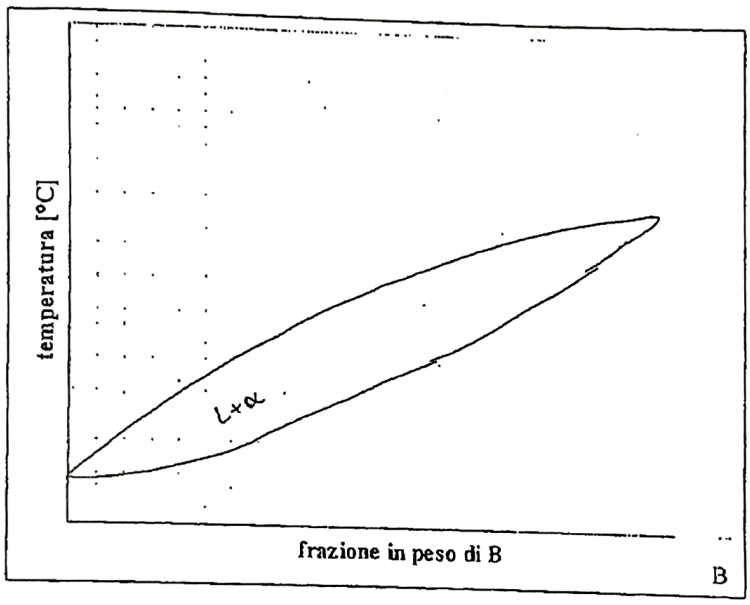
1. Descrivere e disegnare i modelli di struttura per i seguenti stereoisomeri del polipropilene:

- atattico
- isotattico
- sindiotattico

Spiegare inoltre l'importanza della stereoisomeria nel polipropilene e il metodo di polimerizzazione stereospecifico.

2. Cos'è il processo di sinterizzazione? Cosa avviene alle particelle di materiale ceramico durante la sinterizzazione? Quali sono i parametri che possono influenzare durante il processo di sinterizzazione le caratteristiche finali del prodotto ceramico?

3. Che cos'è una lega binaria isomorfa? Disegnare il diagramma Temperatura-Composizione per una lega binaria isomorfa costituita dai generici componenti A e B.



Nome studente: _____

Data: _____

Punteggio:

	N°1		N°2		N°3		N°4	
esercizi	5		5		5		6	
Quesiti teorici	4		4		4			
totale								su 33

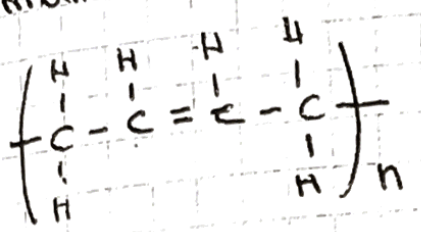
3

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

PROVA SCRITTA 25/6/2008

1 materiali polimerici - reticolazione con zolfo

monomero butadiene



% reticolazione = 3.25%

m butadiene = 150g
MM = 4(12) + 6 = 54 g/mol
PA zolfo = 32 g/mol

n butadiene = $\frac{150}{54}$ = 2.778 mol

2.778 : 150 = x : 100 → x = 1.852

se avessi 2.778 mol di zolfo avrei reticolazione del 100% in 150 g

ms = ns(PA) = 59.284 g per 100% reticolazione in 150g

59.284 (0.0325) = 1.926 g di zolfo per 3.25% reticolazione

3. materiale composito

matrice ceramica
V_m = 70%
E_m = 350 GPa

fibra SiC
V_f = 30%
E_f = 340 GPa

NB percentuale in volume è uguale alla frazione molare

condizioni di isodeformazione $\varepsilon_f = \varepsilon_m = \varepsilon_c$
A = 55 cm^2 = $5.5 \cdot 10^{-3}$ m^2
F_c = 10 MN = $10 \cdot 10^6$ N

calcolare:
E_c = ?
ε al carico considerato = ?

$$\begin{cases} F_c = F_f + F_m \\ F = \sigma(A) \end{cases} \rightarrow (1)E_c \cancel{\varepsilon} = \cancel{\varepsilon} V_m E_m + \cancel{\varepsilon} V_f E_f = 0.7(350) + 0.3(340) = 347 \text{ GPa}$$

$$\begin{cases} \sigma = E\varepsilon \quad \text{dove } \varepsilon_f = \varepsilon_m = \varepsilon_c = \varepsilon \\ \frac{F_c}{A_c} = E_c \varepsilon_c \rightarrow \varepsilon = \frac{F_c}{A_c E_c} = \frac{10 \cdot \cancel{10^6} \cancel{N}}{5{,}5 \cdot \cancel{10^{-3}} \cancel{m^2} \; 347 \; \cancel{10^9} \frac{\cancel{N}}{\cancel{m^2}}} = 5.24 \cdot 10^{-3} \end{cases}$$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

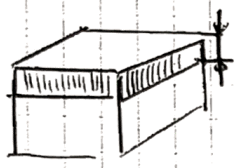
2 corrosione metalli

$V = 90\ mg / dm^2\ day = 90 \cdot 10^{-3} g / 10^{+2}\ cm^2\ day = 9 \cdot 10^{-4}\ g / cm^2\ day$

0.95% di C

corrosione di 0.30 mm

$\rho = 7.39\ g / cm^3$



0.3 mm = 0.03

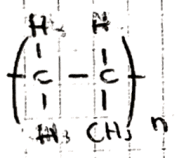
Considero una area di $1\ cm^2 \Rightarrow V = 1(0.03) = 0.03\ cm^3$

$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = (0.03)(7.39) = 0.2361\ g$ di metallo corroso

$9 \cdot 10^{-4} g : 1 = 262.33\ g : x \rightarrow t_{corrosione} = \frac{0.2361}{9 \cdot 10^{-4}} = 262$ giorni

quesiti teorici

1 polipropilene :



stereomeri composti con stessa formula chimica, ma con una disposizione strutturale differente / disposizione spaziale differente, cioè i modi in cui i gruppi si dispongono. Per il polipropilene il gruppo R è CH_3 esistono tre configurazioni:

- isotattica
- sindiotattica
- atattica

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

La scoperta di un catalizzatore capace di favorire la polimerizzazione di polimeri isotattici ha permesso di produrre polipropilene isotattico che ha un grado di cristallinità maggiore e quindi resistenza maggiore del polipropilene atattico

2. sinterizzazione delle polveri è il processo alternativo alla fusione di prodotti ceramici i quali macinati e ridotti in polvere vengono pressati con acqua. Possono avvenire tre tipi di pressioni: uniassiale, isostatica e a caldo. La massa sottopressione diventa densa e anche le strutture che si formano dal reciproco contatto delle polveri si riducono e diventano più. Questo anche perché c'è un abbassamento dell'energia del sistema.

2

Università di Pisa

Corso di Scienza e Tecnologia dei Materiali – Anno Accademico 2007-2008

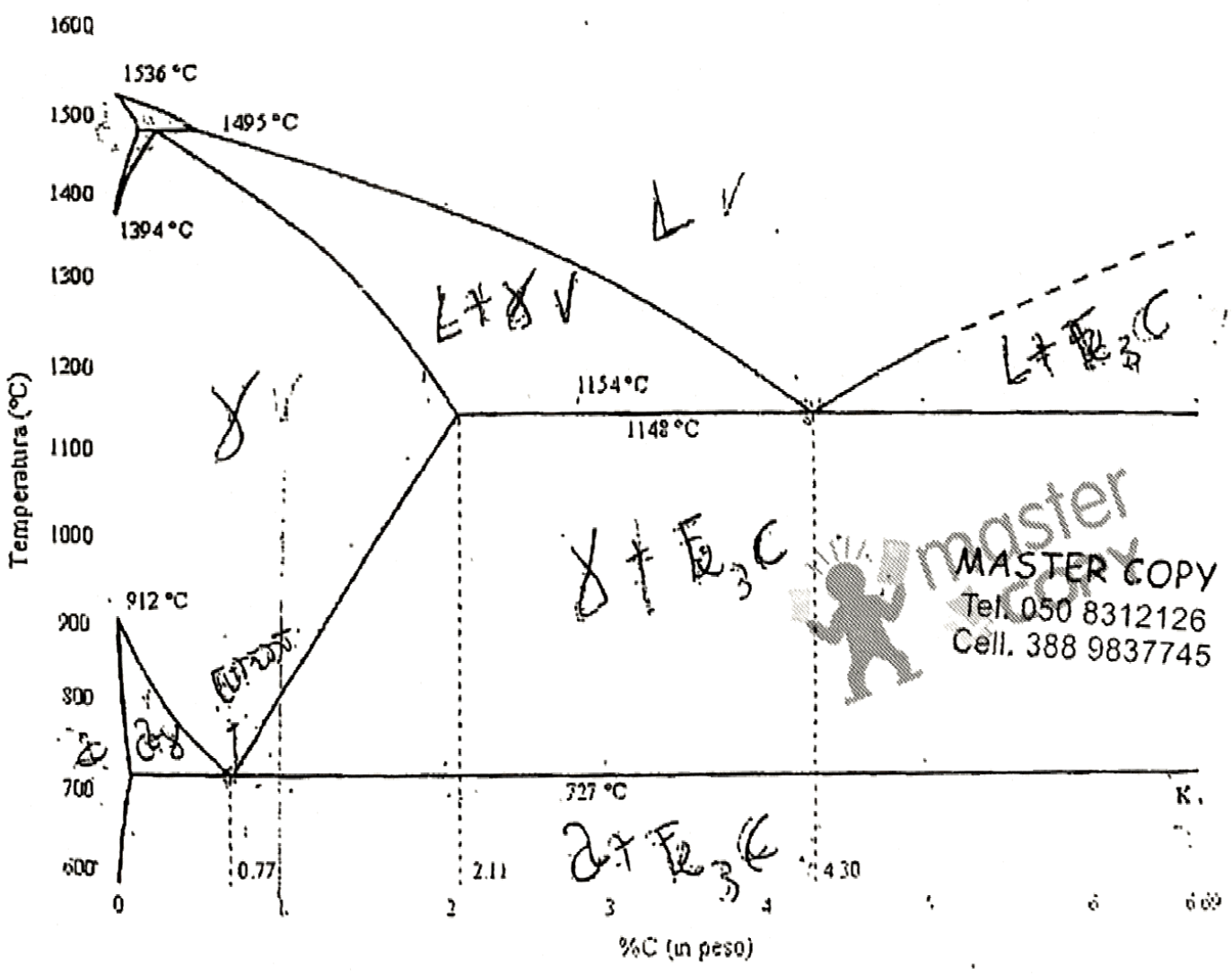
Corso di laurea in Ingegneria Chimica – compitino – 7 aprile 2008

Informazioni: questo è un esame senza consultazione di libri, appunti o altro materiale relativo al programma del corso. Ai trasgressori sarà immediatamente ***ritirato e annullato*** il compito in qualunque momento della prova.
I calcolatori **sono** permessi ad esclusione di quelli preprogrammati a risolvere esercizi. Verrà valutato un punteggio parziale per risposte numericamente errate ma supportate da un ragionamento corretto. Il punteggio assegnato alle domande ed esercizi è riportato in fondo al testo.

0/ **Esercizio 1**

Un acciaio ipereutettoidico contentente 1% in peso di C è lentamente raffreddato da una temperatura di 1000°C a una temperatura appena al di sotto dei 723°C.

(a) Calcolare la percentuale in peso di cementite proeutettoidica presente nell'acciaio **(2 punti)**.
(b) Calcolare la percentuale in peso di cementite eutettoidica e di ferrite eutettoidica presente nell'acciaio **(2 punti)**.
(c) Completare il diagramma di fase indicando per ogni regione le soluzioni solide e/o i composti intermetallici che sono presenti **(2 punti)**.



3

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

Esercizio 2

Un grafico di diffrazione ai raggi X per un elemento che può avere struttura CCC o CFC mostra dei picchi di diffrazione ai seguenti angoli 2θ: 36.191°, 51.974°, 64.982° e 76.663°. (La lunghezza d'onda della radiazione incidente è 0.15405 nm).

(a) Determinare la struttura cristallina dell'elemento **(2 punti)**.
(b) Determinare la costante reticolare dell'elemento **(2 punti)**.
(c) Identificare l'elemento **(1 punto)**.

Esercizio 3

Determinare il numero di vacanze per unità di cella presenti in un cristallo di Cesio CCC avente densità reale pari a 1,87 g/cm3 **(2 punti)**. Calcolare inoltre la densità teorica del Cesio **(2 punti)**. Il raggio atomico del cesio è di 0,190 nm, mentre la sua massa atomica è di 132,9 g/mol.

Esercizio 4

In un composito di polipropilene rinforzato con fibre di carbonio continue ed allineate, le fibre portano il 93% del carico applicato nella direzione longitudinale.

a) Determinare la frazione volumetrica di fibra necessaria **(2 punti)**
b) Quale sarà la resistenza a trazione di questo composito? **(2 punto)**
c) Determinare il modulo di Young di questo composito **(2 punto)**

I dati relativi alla matrice e alle fibre si ricavano dai seguenti grafici:

Esercizio 2

Porto i singoli valori 2θ fino a $sen^2\theta$ così che posso det. la sua struttura cristallina, ovvero: $\frac{sen^2\theta_1}{sen^2\theta_2} = \frac{0,08647}{0,19199} = 0,5 \rightarrow CCC$.

master COPY

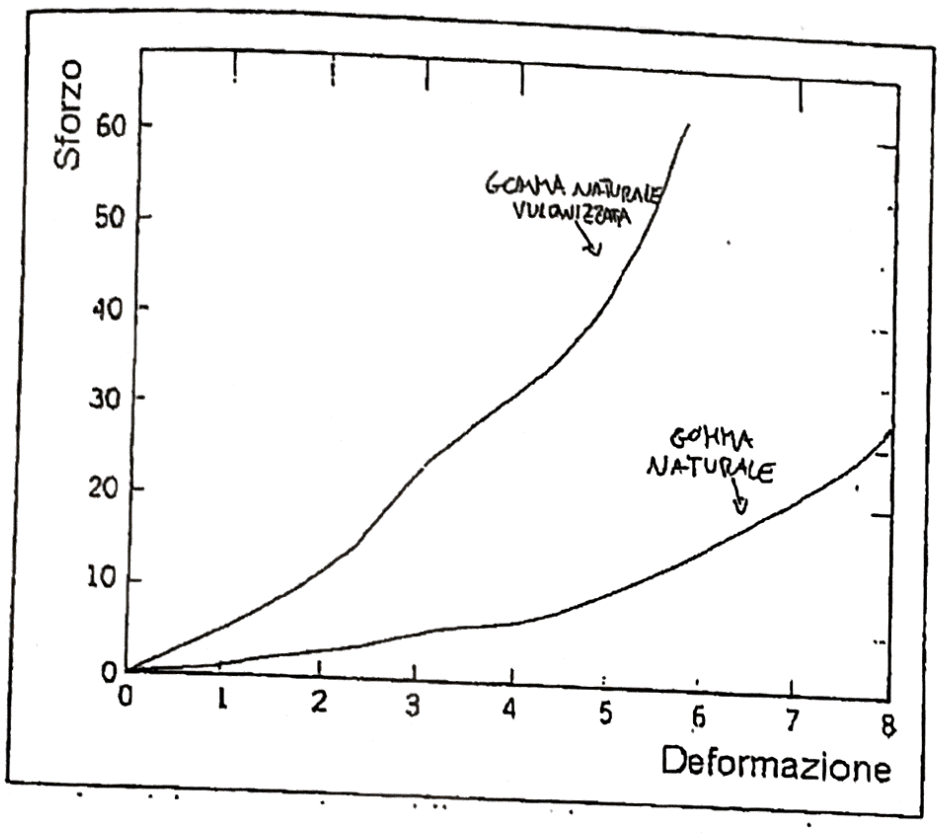
9

Quesiti teorici:

1. Che cos'è la martensite? Qual è la struttura cristallina di un acciaio martensitico? Come si ottiene e da che cosa è caratterizzata la trasformazione martensitica? **(4 punti)**

2. Nella solidificazione di un metallo puro, quali sono le due energie coinvolte nella trasformazione? Scrivere l'equazione per la trasformazione totale di energia libera coinvolta nella trasformazione per enucleazione omogenea di un liquido in un nucleo solido privo di deformazioni. Illustrare graficamente i cambiamenti di energia associati alla formazione di un nucleo durante la solidificazione **(6 punti)**.

3. Tracciare il diagramma sforzo-deformazione per una gomma naturale tal quale e per una vulcanizzata **(2 punti)**.



Nome studente: _____

Data: _____

Punteggio:

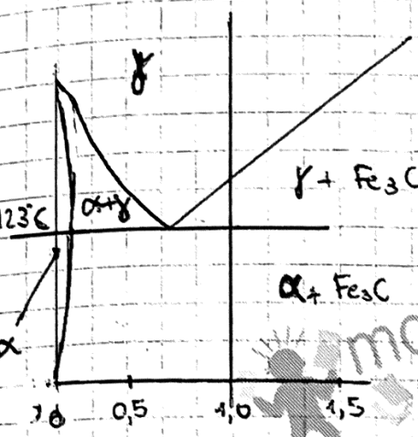
	N°1		N°2		N°3		N°4	
esercizi	6		5		4		6	
Quesiti teorici	4		6		2			
totale								su 33

master COPY

I. COMPITINO – 7/04/2008

1. lega ferro - carbonio

1% di C



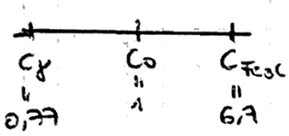
γ (0,77% di C) $\rightarrow$ α + Fe_3C

lega ipoeutettoidi

a) calcolare percentuale cementite proeutettoidica, considero T = 723°C + ΔT, da cui ho una regola leftorica γ e Fe_3C :

% γ = 0,77 % di C

% Fe_3C = 6,70% di C



q.to di fase Fe_3C proeutettoidica : $\frac{C_0 - C_\gamma}{C_{Fe_3C} - C_\gamma} = \frac{1 - 0,77}{6,7 - 0,77} = \frac{0,23}{5,93} =$

$= 0,038 (100)$

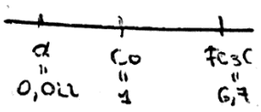
$= 3,8\%$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

b) calcolare percentuale eutettoidica e cementite eutettoidica: considero T = 723°C ± Δt, da lui ho una regola leftorica α e Fe_3C.

% α = 0,022% di C

% Fe_3C = 6,7% di C



q.to di fase eutettoidica = 14,6 - 3,8 = 10,8%

q.tà di fase Fe_3C = $\frac{1 - 0,022}{6,7 - 0,022}$ = 0,146 (100) = 14,6%

q.tà di fase α = 1 - 14,6 = 85,4%

c) completa diagramma di fase

2. diffrazione 2θ: 36,191°, 51.974°, 64,982°

$\lambda = 0,15405$ nm

$$\begin{cases} d_{hkl} = \dfrac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}} \\ n\lambda = 2 d_{hkl} \sin\theta \end{cases} \longrightarrow \frac{\lambda}{2\sin\theta} = \frac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}}$$

$n = 1$

considero due angoli successivi e faccio il rapporto ottenendo:

$$\frac{\sin^2\theta_A}{\sin^2\theta_B} = \frac{h_A^2+k_A^2+l_A^2}{h_B^2+k_B^2+l_B^2}$$

master COPY
MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

2θ	θ	$\sin\theta$	$\sin^2\theta$
36,191	18.095	0,3106	0,0964
51.974	25,989	—	0,1949

$$\frac{\sin^2\theta_A}{\sin^2\theta_B} = \frac{0,0964}{0,1949} = 0,50 \longrightarrow \text{struttura CCC}$$

considero un piano preferenziale per la struttura CCC come (110) posto $n=1$:

$$\sqrt{2}\,\frac{0,15405}{2(\sin(\theta))} = \frac{a}{\sqrt{1^2+1^2+0^2}}$$

$\Rightarrow a = 0,35$ nm $\Rightarrow$ Litio

3. DATI

$\rho_{reale} = 1,87\ g/cm^3$

$r = 0,190$ nm $= 1,9\cdot10^{-10}$ m $= 1,9\cdot10^{-8}$

$A = 132,9\ g/mol$

struttura CCC $\Rightarrow a = \dfrac{4r}{\sqrt{3}}$

richiesta

$N_v = ?$

$\rho = ?$

$$N_v = N e^{-Q_v/KT}$$

$$\rho = \frac{A \cdot n\ \text{atomi}}{V \cdot N_A}$$

$$V_{cella} = a^3 = \left(\frac{4r}{\sqrt{3}}\right)^3 = 8,44\cdot10^{-23}\ cm^3$$

calcolo n° atomi effettivi:

$$n^\circ\ \text{atomi} = \frac{\rho V N_A}{A} = \frac{1,87(8,44\cdot10^{-23})(6,011\cdot10^{23})}{133} = 0,720$$

master COPY

n° atomi teorici = 2

$$\rho_{teorica} = \frac{n^\circ atomi\ (A)}{N_A\ (V)} = \frac{2\ (132)}{6.022 \cdot 10^{23}\ (8.99 \cdot 10^{-23})} = 5,194\ g/cm^3$$

$$\%\ vacanze = \frac{n^\circ atomi\ teorica - n^\circ atomi\ eff}{2} =$$

$$= \frac{2 - 0.720}{2} = 0,64\,(100) = 64\%$$

n° vacanze = 2 - 0.72 = 1.28

4 materiale composito

dal grafico deduciamo:

legge di Hooke:

$\sigma = E\varepsilon \rightarrow E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$

$\sigma_f = 2500$ MPa

$\varepsilon_f = 0.01$

$\Rightarrow \frac{2500}{0.01} = 250$ GPa $= E_f$

$\varepsilon_m = 0.01$

$\sigma_m = 17.5$

$\Rightarrow \frac{17.5}{0.01} = 1.75$ GPa $= E_m$

sollecitazione longitudinale $\Leftrightarrow$ condizioni isosforzo $\varepsilon_f = \varepsilon_m = \varepsilon_m$

$$\frac{F_f}{F_c} = 0.93 = \frac{V_f(\sigma_f)}{(1)\sigma_c} \quad (1)$$

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

$$(1)\sigma_c = V_f(\sigma_f) + V_m(\sigma_m) \quad (2)$$

$$1 - V_f = + V_m \quad (3)$$

$$0.93 = \frac{V_f(\sigma_f)}{(\sigma_f(1))(V_f) + \sigma_m(1 - V_f)}$$

$$0.93 = \frac{2500\,V_f}{V_f\,2500 + 17.5 - 17.5\,V_f}$$

$$V_f\,2308 + 16.275 = 2500\,V_f$$

$$V_f\,\frac{192}{192} = \frac{16.275}{192} = \begin{cases} 0.08 = V_f \\ V_m = 1 - 0.08 = 0.92 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V_f = 0.08 \\ V_m = 0.92 \end{cases}$$

$$E_c = V_f E_f + V_m E_m = 0.08(250) + 1.75(0.92) = 21.61\ GPa$$

$$\sigma_c = V_f \sigma_f + V_m \sigma_m = 0.08(2500) + 0.92(17.5) = 216.1\ MPa$$

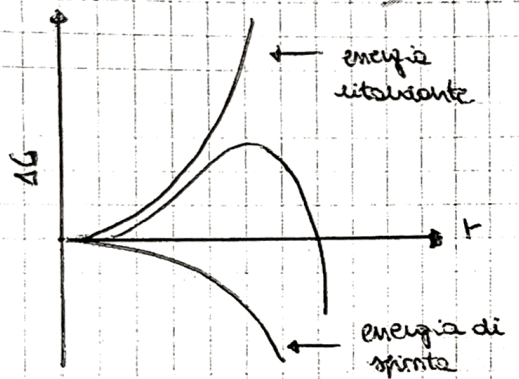
MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

quesiti teorici

2. Durante la solidificazione di un metallo le energie coinvolte sono due:

- energia libera di volume (o di massa) ΔG_v che è l'energia che viene liberata durante il passaggio dallo stato liquido a quello solido.
- energia di superficie, energia necessaria alla formazione della superficie del solido ΔG_s

grafico

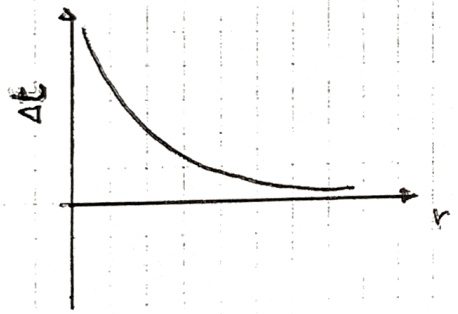


equazione

$$\Delta G_t = \frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_v + 4\pi r^2 \gamma$$

energia libera specifica per superficie

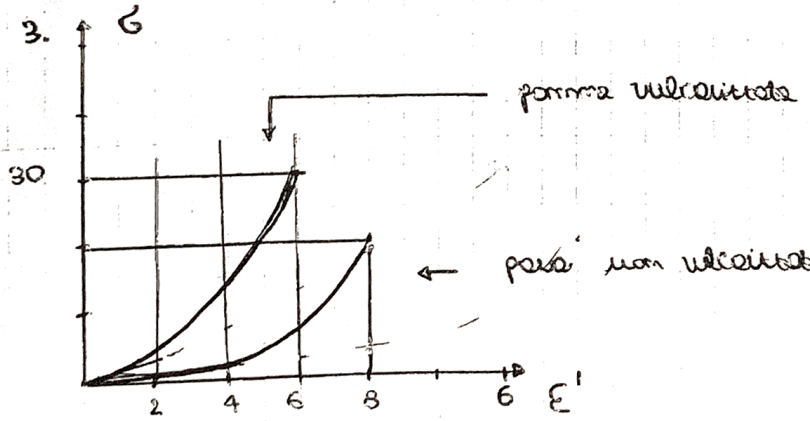
MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745



al di sotto della curva non si raggiunge la dimensione critica e, quindi i nuclei non sono stabili e vengono chiamati embrioni, i quali si legano per poi sciogliersi. Se, invece si supera la dimensione critica i vari atomi prima aggiunti i nuclei che sono stabili e possono formare i cristalli e conseguentemente i grani.

1. (—o)

3.



SOLUZIONE 1 (3)

Università di Pisa

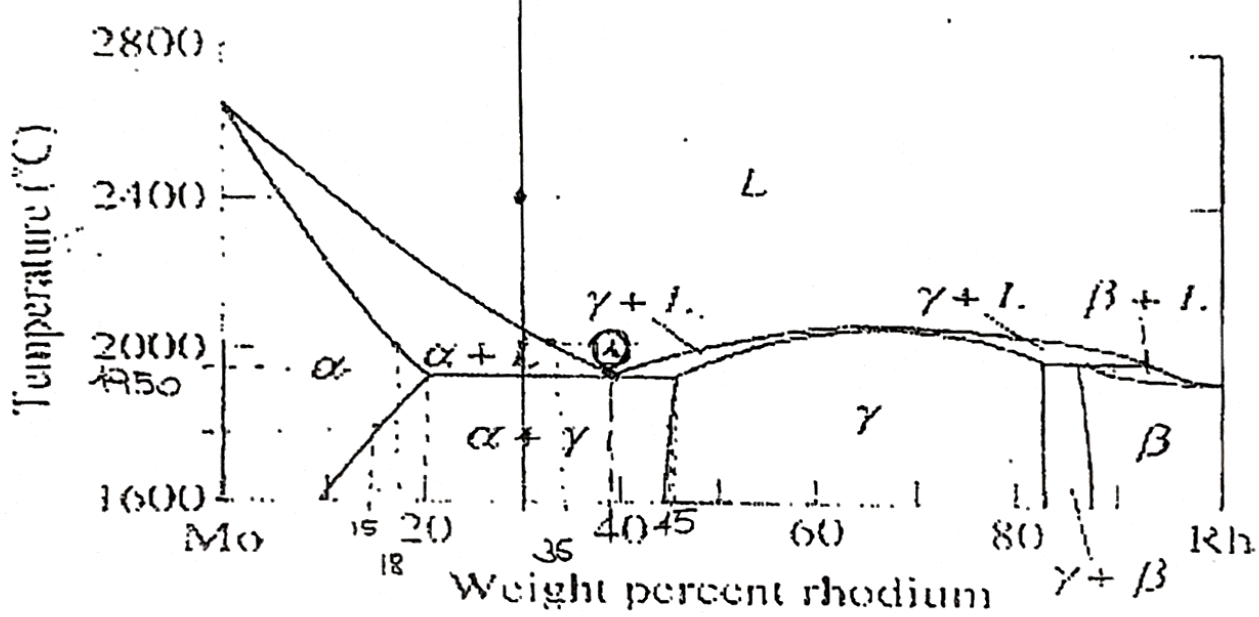
Corso di Scienza e Tecnologia dei Materiali – Anno Accademico 2007-2008

Corso di laurea in Ingegneria Chimica – I compito – 10 gennaio 2008

Informazioni: questo è un esame senza consultazione di libri, appunti o altro materiale relativo al programma del corso. Ai trasgressori sarà immediatamente ***ritirato e annullato*** il compito in qualunque momento della prova.
I calcolatori **sono** permessi ad esclusione di quelli preprogrammati a risolvere esercizi. Verrà valutato un punteggio parziale per risposte numericamente errate ma supportate da un ragionamento corretto. Il punteggio assegnato alle domande ed esercizi è riportato in fondo al testo.

OK

Esercizio 1 ok



Nel diagramma di stato riportato in figura indicare:

- i punti invarianti **(1 punto)**
- il tipo di trasformazione invariante **(1 punto)**
- la reazione invariante con relative coordinate di composizione e di temperatura **(1 punto)**

Considerare una lega costituita dal 30% in peso di Rh alla temperatura di 2400°C. Si raffreddi in stadi successivi fino alle seguenti temperature:

1. 2000°C **(1 punto)**
2. 1800°C **(1 punto)**

Indicare per ciascun stadio:

- la composizione di ogni fase presente a quella temperatura
- le quantità relative di ogni fase presente a quella temperatura
- il numero di fasi presenti

16

~~B24~~

$$\frac{P_F}{P_c} = \frac{\sigma_F A_F}{\sigma_M A_M + \sigma_F A_F} = \frac{\sigma_F V_F}{\sigma_M (1-V_F) + \sigma_F V_F} = \frac{\sigma_F E_F V_F}{\varepsilon_M E_M (1-V_F) + \varepsilon_F E_F V_F}$$

FIBRE

MATRICE

$\varepsilon_M = 0{,}01$ elastic elastic

$\sigma_M = 17{,}5$ MPa $\Rightarrow E_M = \frac{17{,}5}{0{,}01} = 1750$ MPa $= 1{,}75$ GPa

$\sigma_F = 4000$ MPa $\Rightarrow E_F = 266{,}7$ GPa

$\varepsilon_F = 0{,}015$

$E_F = 2500/0{,}01 = 250$ GPa

↳ car $\sigma_F = 2500$ MPa à $\varepsilon_F = 0{,}01$

$$\frac{P_F}{P_c} = 0{,}93 = \frac{\cancel{0{,}01} \cdot 266{,}7 \cdot V_F}{\cancel{0{,}01} \cdot 1{,}75 (1-V_F) + \cancel{0{,}01} \cdot 266{,}7 V_F}$$

$$0{,}93 (1{,}75 - 1{,}75 V_F) + 0{,}93 \cdot 266{,}7 V_F = 266{,}7 V_F$$

$$1{,}6275 - 1{,}6275 V_F + 248{,}031 V_F - 266{,}7 V_F = 0$$

$$V_F = \left(\frac{20{,}2965}{1{,}6275}\right)^{-1} = 0{,}080 \Rightarrow 8{,}0\%$$

$\varepsilon_M = 0{,}01 \Rightarrow \sigma_M = 17{,}5$ MPa

$\varepsilon_F = 0{,}01 \Rightarrow \sigma_F = 2500$ MPa

$$0{,}93 = \frac{2500 V_F}{17{,}5 (1-V_F) + 2500 V_F}$$

$$0{,}93 \cdot 17{,}5 - 0{,}93 \cdot 17{,}5 V_F + 2500 \cdot 0{,}93 V_F = 2500 V_F$$

$$16{,}275 - 16{,}275 V_F + 2325 V_F = 2500 V_F$$

$$V_F = \frac{16{,}275}{191{,}175} = 0{,}085 \Rightarrow 8{,}5\%$$

OK

Esercizio 2 √ OK

Un ingranaggio di acciaio AISI 1018 (0,18% in peso di carbonio) viene sottoposto a cementazione gassosa a 927°C.
Se il tempo di cementazione è di 7,5 ore, a quale profondità in millimetri il tenore di carbonio sarà pari a 0,40% **(3 punti)**?
Si assuma che il contenuto di carbonio sulla superficie diventi pari a 1,20% in peso, e per la diffusività:
D(C in Fe a 927°C) = $1{,}28\times10^{-11}$ m^2/s.
Spiegare le conseguenze di tale trattamento sulle proprietà meccaniche dell'ingranaggio **(2 punti)**.

TABELLA 4.5 Tabella della funzione errore

z	erf z	z	erf z	z	erf z	z	erf z
0	0	0.40	0.4284	0.85	0.7707	1.6	0.9763
0.025	0.0282	0.45	0.4755	0.90	0.7970	1.7	0.9838
0.05	0.0564	0.50	0.5205	0.95	0.8209	1.8	0.9891
0.10	0.1125	0.55	0.5633	1.0	0.8427	1.9	0.9928
0.15	0.1680	0.60	0.6039	1.1	0.8802	2.0	0.9953
0.20	0.2227	0.65	0.6420	1.2	0.9103	2.2	0.9981
0.25	0.2763	0.70	0.6778	1.3	0.9340	2.4	0.9993
0.30	0.3286	0.75	0.7112	1.4	0.9523	2.6	0.9998
0.35	0.3794	0.80	0.7421	1.5	0.9661	2.8	0.9999

OK

Esercizio 3

Da una prova tensile condotta su un provino cilindrico di magnesio del diametro iniziale di 12,5 mm sono risultati i seguenti dati:

carico (kN)	lunghezza (mm)
0	43,00
2	43,05
7	43,09
12	43,14
17	43,18
19	43,20
20.9	43,35
23.4	44,25
24.2	46,25
23.4	49,38

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745
master COPY

36,02

Dopo la frattura la lunghezza del provino è di 49,38 mm e il diametro di 11,06 mm.

1. Disegnare il grafico *engineering stress – engineering strain* sulla base dei dati assegnati **(2.5 punti)**.
2. Calcolare:
   a. il carico di snervamento **(0.5 punti)**

17

b. la resistenza alla frattura **(0.5 punti)**
c. il modulo di Young **(0.5 punti)**
d. la % di allungamento al termine della prova **(0.5 punti)**
e. *engineering stress* alla frattura **(0.5 punti)**
f. *true stress* alla frattura **(0.5 punti)**
g. *true strain* alla frattura **(0.5 punti)**

Esercizio 4

Calcolare il modulo di elasticità di un materiale composito plastico con fibre di carbonio unidirezionali che contiene il 57% in volume di fibre di carbonio e che è caricato in condizioni di isodeformazione. Le fibre di carbonio hanno un modulo di elasticità di 380 GPa e la resina epossidica ha un modulo di elasticità di 4,2 GPa. Se la resistenza a trazione delle fibre di carbonio è 2.3 GPa e quella della resina epossidica alla rottura delle fibre è di 40,15 MPa, calcolare il modulo elastico **(1 punto)** e la resistenza a trazione **(1 punto)** del materiale composito. Quale parte del carico è sopportata dalla matrice **(1 punto)**? Rappresentare il diagramma sforzo-deformazione della matrice, delle fibre e del composito **(2 punti)**.

Quesiti teorici:

1. Esporre i meccanismi chimici di polimerizzazione ed i metodi di lavorazione industriale dei materiali polimerici **(4 punti)**
2. Si discutano i meccanismi di frattura dei materiali e le prove atte a determinarne le proprietà meccaniche collegate **(4 punti)**.
3. Tracciare una curva di polarizzazione per un metallo a comportamento attivo-passivo e descrivere il comportamento a corrosione del materiale nelle seguenti regioni **(4 punti)**:
   a. nella regione attiva
   b. nella regione passiva
   c. nella regione di transpassività

Nome studente: _____

Data: _____

Punteggio:

	N°1		N°2		N°3		N°4	
Esercizi	5		5		6		5	
Quesiti teorici	4		4		4			
totale								su 33

18

I COMPITINO - NO DATE

1. sistema binario Rh - Mo

a. punti importanti: punto E.

reazione eutettica:

$L(40\% \text{ di Rh}) \rightarrow \alpha(20\% \text{ di Rh}) + \gamma(95\% \text{ di Rh})$

$\% E = 40\%$ di Rh

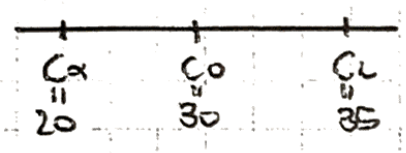
$T_E = 1950°C$

b. raffreddamento % di Rh = 30% e T = 2000°C

- fasi presenti liquido e α
- $\% \alpha = 20\%$ di Rh

$\% L = 35\%$ di Rh

- q.tà di fase



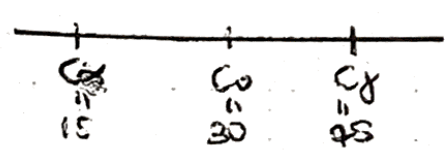
q.tà fase $\alpha = \frac{C_o - C_\alpha}{C_L - C_\alpha} = \frac{10}{15} = 0,66(100) = 66\%$

q.tà fase L = 34%

c. raffreddamento % di Rh = 30% e T = 1800°C

- fasi presenti α e γ
- $\% \alpha = 15\%$ di Rh
- $\% \gamma = 95\%$ di Rh
- q.tà di fase

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745



q.tà fase $\gamma = \frac{C_\gamma - C_o}{C_\gamma - C_\alpha} = \frac{15}{30} = 0,5(100) = 50\%$

q.tà fase α = 50%

2. DATI

diffusione non stazionaria $\qquad \frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = 1 - erf\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$

$t = 7{,}5h = 27000\ s$

$C_0 = 0{,}18\%$ di C

$C_x = 0{,}40\%$ di C

$C_s = 1{,}2\%$ di C

$D = 1{,}28 \cdot 10^{-11}\ m^2/s$ a $T = 927°C$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

$$\frac{0{,}40 - 0{,}18}{1{,}2 - 0{,}18} - 1 = -erf\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

$$0{,}2857 - 1 = -erf(\sim)$$

$$+0{,}7143 = +erf\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \Rightarrow erf(z) =$$

per calcolare la funzione d'errore è necessaria un'interpolazione

z	erf(z)
0.85	0.7707
z	0.7143
0.95	0,7970

$$\frac{z - 0{,}85}{0{,}95 - 0{,}85} = \frac{0.7143 - 0.7707}{0.7970 - 0.7707}$$

$$z - 0.85 = 0.572(0{,}1) + 0.85$$

$$z = 0{,}8758$$

quindi:

$$\frac{x}{2\sqrt{Dt}} = 2(0{,}8758)\sqrt{Dt}$$

$$x^2 = \sqrt{1{,}7516\ D \cdot t} = \sqrt{1{,}7516(1.28\ 10^{-11})(27000)} = 1{,}029 \cdot 10^{-3}\ cm = 1{,}029\ mm$$

la diffusione di carbonio nel ferro è un processo è adoperato per soluzioni solide permette di avere un materiale più resistente e meno duttile rispetto al materiale puro.

3. si disegna il grafico per tutti deformazione (%) e sforzo (MPa)

a. carico di snervamento, si calcola su una curva lineare con il limite di proporzionalità, cioè al valore di $\varepsilon = 0{,}002 = 0{,}2\%$. si traccia una linea parallela al tratto elastico che andrà ad intersecare la curva nel corrispondente punto di snervamento.

$\sigma_s \simeq 165$ MPa

per cui sapendo che
$$\begin{cases} \sigma = \dfrac{F}{A_0} \rightarrow F = \sigma(A_0) = 9{,}6\cdot 10^{-5}\cdot 165\cdot 10^{6} = 20248 \text{ N} \\ A_0 = \left(\dfrac{d_0}{2}\right)^2\pi = \left(\dfrac{12{,}5\cdot 10^{-3}}{2}\right)^2\pi = 9{,}6\cdot 10^{-5} \end{cases}$$

$l_0 = 43$ mm

$d_0 = 12.5$ mm

$d_f = 11.06$ mm

$l_f = 49.38$ mm

b. resistenza alla frattura = punto di rottura, cioè il massimo del grafico $\sigma_R = 195$ MPa

c. modulo di Young: $\sigma = E\varepsilon$. nel tratto di def elastica il modulo di Young è la pendenza della retta:

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} = \frac{57-16}{0.21-0.10} = 38{,}9 \text{ GPa}$$

d. % allungamento $= \dfrac{l_f - l_0}{l_0} = \dfrac{49.38-43}{43} = 0{,}148(100) = 14{,}8\%$

e. σ_f dalla tabella: 189 MPa

f. $\sigma_R = \dfrac{F_R}{A_i} = \dfrac{24200}{\left(\frac{11.06}{2}\right)^2\pi} = 252$ MPa

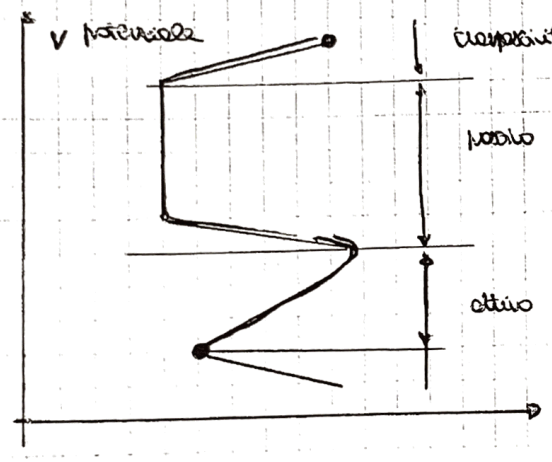
g. $\varepsilon_r = \ln\left(\dfrac{l_f}{l_0}\right) = \ln\left(\dfrac{49.38}{43}\right) = 0{,}138$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

Quesiti teorici

2. Durante una prova di trazione si raggiunge uno sforzo massimo chiamato punto di rottura. Prima di tale punto le deformazioni causate dalla sollecitazione si trovano lungo tutto il provino, dopo il punto di rottura si forma sul provino un restringimento di sezione chiamato strizione, ove si presentano le deformazioni successive. Pertanto la frattura è la completa rottura del provino che avviene nel tratto di strizione. Conoscere il punto di rottura e frattura è importante per determinare le proprietà meccaniche di tenacità e duttilità. La duttilità, infatti è la capacità di un materiale di resistere alla deformazione plastica senza rompersi.

3 Curva di polarizzazione di un metallo



il potenziale cresce al crescere del log della densità di corrente

potenziale cresce indipendentemente dal log della densità di corrente

Un metallo è attivo, quindi ha un comportamento attivo quando partecipa alla reazione e, quindi si corrode. Alcuni metalli in certi ambienti diventano inerti alla reazione chimica cioè non corrodono più. Questo fenomeno è detto passività. Ciò avviene perché sul metallo si forma un film sottile di ossido che aderisce al metallo e non permette la sua corrosione. Nel caso in cui il metallo diventi nuovamente attivo si entra nella regione di transpassività.

4. materiale composito

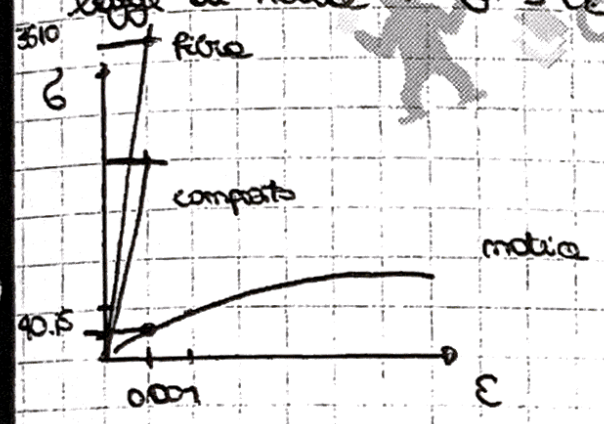
resina epossidica
0.43
$E_m = 4.1$ GPa
$\sigma_m^* = 40.15$ MPa

fibre di carbonio
0.57
$E_f = 380$ GPa
$\sigma_f = 2300$ MPa

condizione di isodeformazione $\varepsilon = \varepsilon_f = \varepsilon_m = \varepsilon_c$

$$\begin{cases} F_c = F_m + F_f \\ \sigma = \frac{F}{A} \rightarrow A\sigma = F \\ \varepsilon = \varepsilon_f = \varepsilon_m = \varepsilon_c \end{cases} \Rightarrow \sigma_c = V_m \sigma_m + V_f \sigma_f = 0.43(40.15) + 0.57(2300) = 1328 \text{ MPa} = 1.3 \text{ GPa}$$

legge di Hooke: $\sigma = E\varepsilon \Rightarrow E_c = V_m E_m + V_f E_c = 0.43(4.2) + 0.52(380) = 218$ GPa



$\sigma = E\varepsilon \Rightarrow \varepsilon_m = 0.0095$ con $\sigma_m = 40$ MPa

$\sigma_f = E_f \varepsilon_f = E_f \varepsilon_m = 3610$ MPa

quesiti teorici:

1. la polimerizzazione è quella reazione che porta alla formazione a partire da molecole idrocarburiche e catalizzatori la catena polimerica costituita di parole
Esistono tre tipi di polimerizzazione:

- polim a catena - reazione additiva
- polim a stadi - reazione condensativa
- polim per reticolazione - reazione condensativa

A livello industriale esistono diversi metodi di polimerizzazione come la polimerizzazione in massa, in soluzione, in emulsione, in sospensione. Un nuovo metodo è l'Unipol utilizzato per il polietilene a bassa densità

(4)

Università di Pisa

Corso di Scienza e Tecnologia dei Materiali – Anno Accademico 2007-2008

Corso di laurea in Ingegneria Chimica – I compito – 10 gennaio 2008

Informazioni: questo è un esame senza consultazione di libri, appunti o altro materiale relativo al programma del corso. Ai trasgressori sarà immediatamente ***ritirato e annullato*** il compito in qualunque momento della prova.

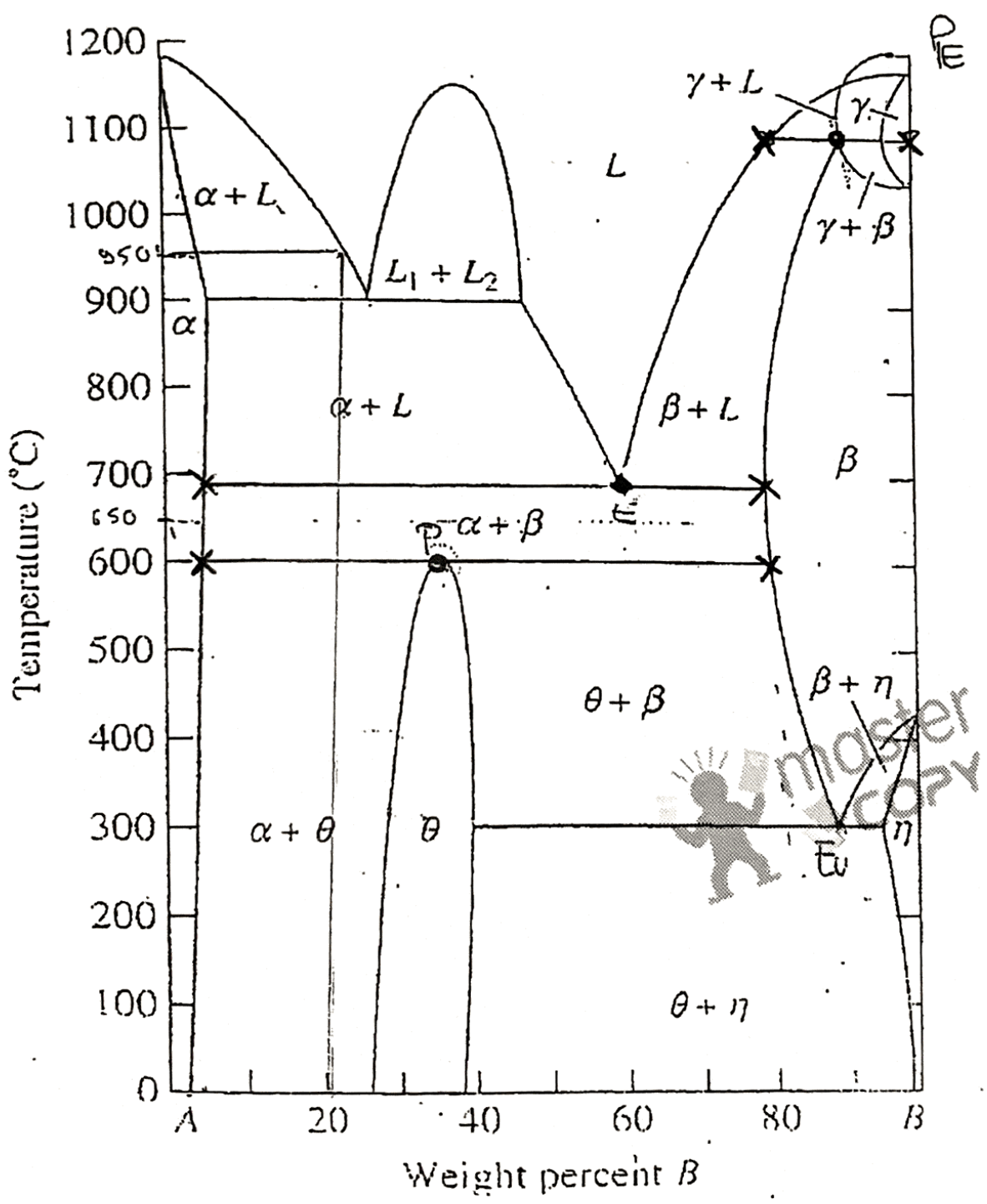
I calcolatori **sono** permessi ad esclusione di quelli preprogrammati a risolvere esercizi. Verrà valutato un punteggio parziale per risposte numericamente errate ma supportate da un ragionamento corretto. Il punteggio assegnato alle domande ed esercizi è riportato in fondo al testo.

Esercizio 1

E = eutettico P = peritettoidico

Eu = eutettoidico PE = peritettico

(4)



23

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

Nel diagramma di stato riportato in figura indicare:

- i punti invarianti **(1 punto)**
- il tipo di trasformazione invariante **(1 punto)**
- la reazione invariante con relative coordinate di composizione e di temperatura **(1 punto)**

Considerare una lega costituita dal 20% in peso di B alla temperatura di 1200°C. Si raffreddi in stadi successivi fino alle seguenti temperature:

1. 950°C **(1 punto)**
2. 650°C **(1 punto)**
3. 400°C **(1 punto)**

Indicare per ciascun stadio:

- la composizione di ogni fase presente a quella temperatura
- le quantità relative di ogni fase presente a quella temperatura
- il numero di fasi presenti

Esercizio 2 NON LO SO FARE!!!

Uno sforzo di 62 MPa è applicato nella direzione $[00\bar{1}]$ ad una cella unitaria di un monocristallo di tipo CFC. Calcolare la componente di sforzo di taglio sui seguenti sistemi di scorrimento:

a) $(11\bar{1})[10\bar{1}]$ **(2 punti)**

b) $(110)\ [01\bar{1}]$ **(2 punti)**

c) $(10\bar{1})[\bar{1}01]$ **(2 punti)**

Esercizio 3

Determinare il numero di vacanze per unità di cella presenti in un cristallo di Calcio CFC avente densità reale pari a 1,48 g/cm3 **(2 punti)**. Calcolare inoltre la densità teorica del Calcio CFC **(2 punti)**. Il raggio atomico del Calcio è di 0,197 nm, mentre la sua massa atomica è di 40,078 g/mol.

Esercizio 4

Si consideri il seguente composito a matrice ceramica costituito da matrice in Nitruro di silicio (Si_3N_4) e fibre in Carburo di Silicio (SiC) allineate tutte in un'unica direzione di cui si forniscono i dati in tabella. Il difetto interno più grande nella matrice è di 7 μm, mentre l'intaglio (superficiale) più profondo nelle fibre è di 4,6 μm. Assumere Y=1.

1. Determinare il contenuto in fibre tale che il composito presenti modulo di Young complessivo di 260 GPa **(1 punto)**.
2. Calcolare la sollecitazione (σ) tale che nel composito inizino a formarsi cricche, per applicazione del carico lenta e in condizioni di ISODEFORMAZIONE **(3 punti)**. $\varepsilon_f = \varepsilon_m = \varepsilon_c$
3. Le prime cricche inizieranno a formarsi nella matrice o nelle fibre **(1 punto)**?

	E [GPa]	K_{IC} [MPa $\sqrt{m}$]
Si_3N_4 - matrice	160	3,5
SiC - fibre	310	4,7

24

Quesiti teorici:

1. Descrivere i diversi tipi di microstrutture che si ottengono raffreddando in modo molto veloce un acciaio di composizione eutettoidica dal campo austenitico (curve TTT) **(4 punti).**

2. Descrivere e illustrare schematicamente quattro dei maggiori metodi di polimerizzazione utilizzati nella produzione di materie plastiche, discutendo in quali casi è preferibile adottare l'uno o l'altro metodo **(4 punti).**

POLIMERIZZAZIONE A STADI — POLIMERIZZAZIONE IN MASSA
" PER RETICOLAZIONE — " IN SOLUZIONE

3. La trasformazione martensitica, caratteristica di materiali metallici quali l'acciaio, può presentarsi anche nei materiali ceramici. Fornire un esempio di trasformazione di tale tipo nei ceramici e descrivere la tecnologia con cui tale fenomeno viene sfruttato per produrre un materiale con caratteristiche meccaniche avanzate **(4 punti)** .

Nome studente: _____

Data: _____

Punteggio:

	N°1		N°2		N°3		N°4	
Esercizi	6		6		4		6	
Quesiti teorici	4		4		4			
totale	_____ su 33							

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

25

I COMPITINO - 10/1/08

1. Punto E - reazione eutettica

L (57% di B) $\rightarrow$ α (5% di B) + β (77% di B) con T = 680°C

• punto Eu - reazione eutettoidica

β (83% di B) $\rightarrow$ σ (38% di B) + μ (95% di B) con T = 300°C

• punto P - reazione peritettica

γ (97% di B) + L (81% di B) $\rightarrow$ β (83% di B) con T = 1100°C

• punto Pu - reazione peritettoidica (eutettoidica)

α (8% di B) + β (78% di B) $\rightarrow$ σ (36% di B) con T = 600°C

Composizione 20% di B

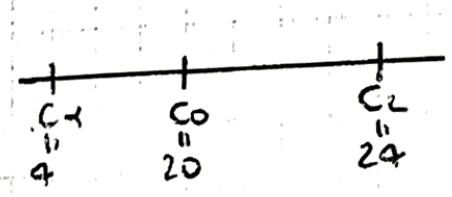
• T = 950°C

fasi presenti: α e Liquido

% α = 4% di B

% L = 24% di B

q.tà delle fasi



q.tà fase $\alpha = \frac{C_L - C_0}{C_L - C_\alpha} = \frac{4}{20} = 0{,}2\,(100) = 20\%$

q.tà fase $L = 100 - 20 = 80\%$

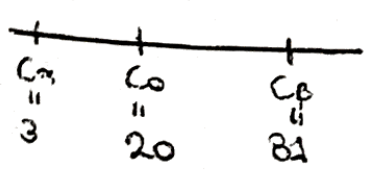
• T = 650°C

fasi presenti: α e β

% α = 3% di B

% β = 81% di B

q.tà delle fasi



q.tà fase $\alpha = \frac{C_\beta - C_0}{C_\beta - C_\alpha} = \frac{81-20}{81-3} = \frac{61}{78} = 78\%$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

q.ta fase β = 100 - 28 = 72 %

- T = 400°C

fasi presenti: α e σ

% α = 2% di β

% σ = 30% di β

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

q.ti delle fasi

% α =

$C_\alpha = 2$ $\quad C_0 = 20$ $\quad C_\sigma = 30$

q.ta fase $\sigma = \frac{C_0 - C_\alpha}{C_\sigma - C_\alpha} = \frac{18}{28} = 0{,}64\,(100) = 64\%$

q.ta fase α = 100 - 64 = 36 %

2. DATI

σ = 62 MPa

direzione sollecitazione [00$\bar{1}$]

richiesta

τ = ?

a) piano scorrimento (11$\bar{1}$) → normale: [11$\bar{1}$] perché struttura cubica

direzione scorrimento [10$\bar{1}$]

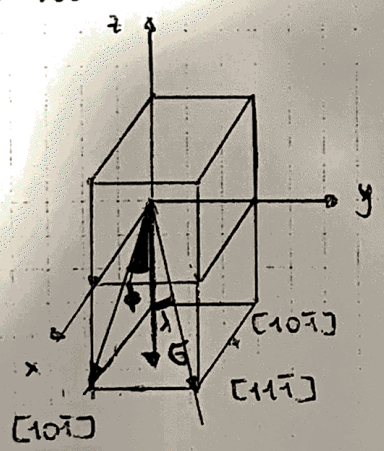
$$\tau = \cos\phi \cos\lambda\,(\sigma)$$

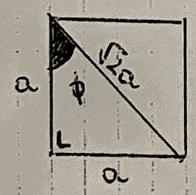
$$\sigma = 2\tau$$

I METODO

$$\cos^{-1}\phi = \frac{u_1u_2 + v_1v_2 + w_1w_2}{\sqrt{(u_1^2+u_1^2+w_1^2)(u_2^2+v_2^2+w_2^2)}}$$

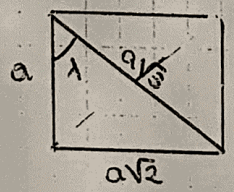
II METODO





$\cancel{\sqrt{2}a}\cos\phi = \frac{\cancel{a}}{\cancel{\sqrt{2}}} \rightarrow \cos\phi = \frac{1}{\sqrt{2}}$

$\phi = 45°$



$\cancel{a}\sqrt{3}\cos\lambda = \cancel{a} \rightarrow \cos\lambda = \frac{1}{\sqrt{3}}$

$\lambda = 54{,}73°$

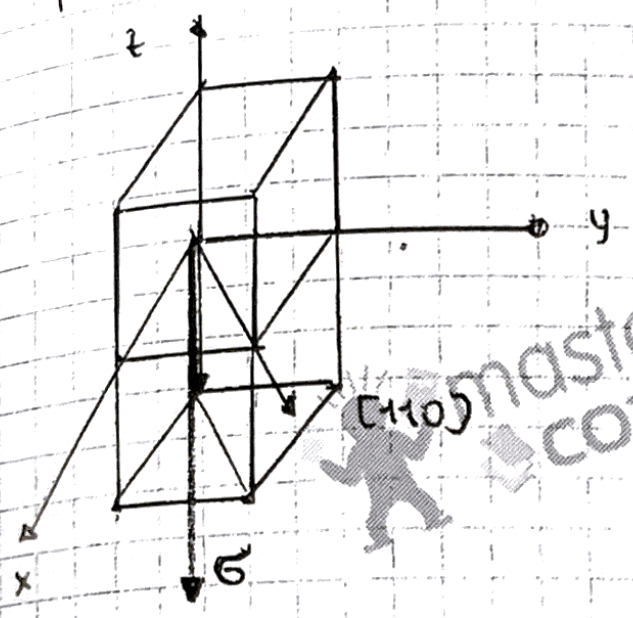
$$\tau = 62\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right) = 25.31 \text{ MPa}$$

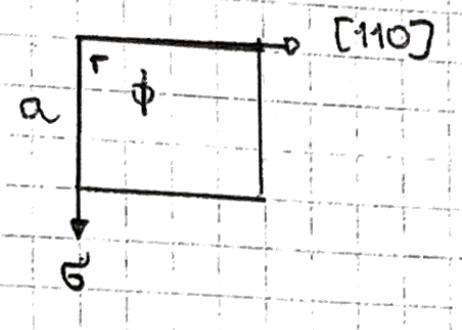
b) [001] direzione

(110) → normale [110]

[011]

$\tau = \sigma \cos\phi \cos\lambda$





$\phi = 90° \rightarrow \cos\phi = 0$

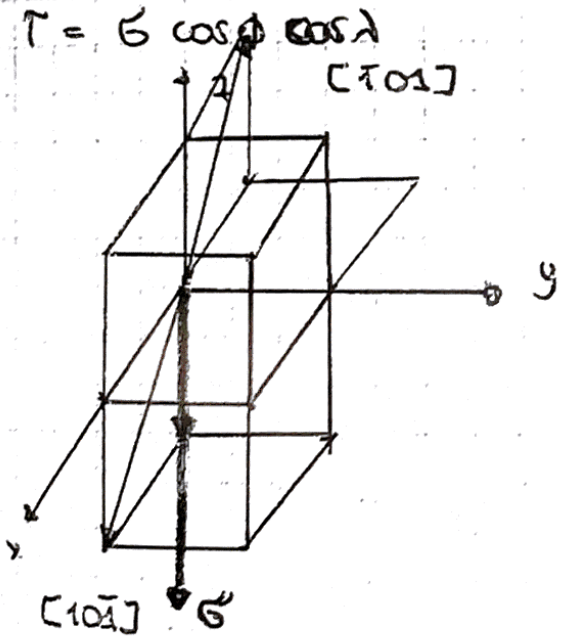
quindi: $\tau = 62(\times)(0) = 0$ MPa

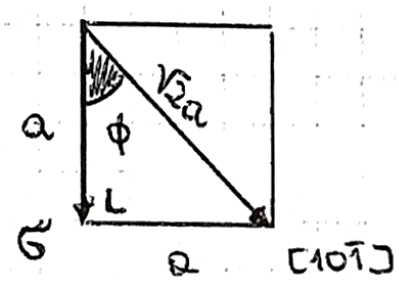
c) $[00\bar{1}]$ direzione

$(10\bar{1}) \rightarrow$ normale $[10\bar{1}]$

$[\bar{1}01]$

$\tau = \sigma \cos\phi \cos\lambda$



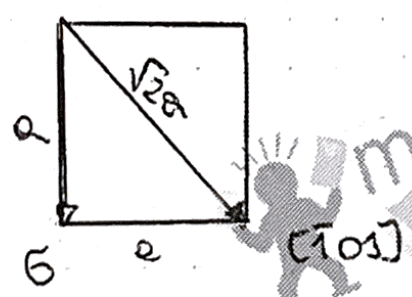


$\alpha = \cos\phi \sqrt{2}\alpha$

$\cos\phi = \frac{1}{\sqrt{2}}$

$\phi = 54{,}7°$

trasladando la direzione di lo:



$a = \sqrt{2}a \cos\lambda$

$\cos\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}}$

$\lambda = 54.7°$

$\tau = 62\left(\frac{1}{2}\right) = 31$ MPa

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

3. DATI

cristallo CFC

ρ reale = 1.4 g/cm³

r_{Ca} = 0.197 nm = $19{,}7 \cdot 10^{-9}$ cm

A_{Ca} = 40.078 g/mol

richiesta

% Nv / cella = $\frac{\text{n° atomi} - \text{n° atomi}}{\text{n° atomi}}$

ρ teorica = ?

$$\rho = \frac{\text{n° atomi } (A)}{(V)(N_A)}$$

$$\begin{cases} V_{cella} = a^3 = (2R\sqrt{2})^3 = [2\sqrt{2}(0.197 \cdot 10^{-9})]^3 = 1{,}73 \cdot 10^{-22} \\ CFC : a = 2R\sqrt{2} \end{cases}$$

$$\text{n° atomi} = \frac{\rho (V)(N_A)}{A} = \frac{1.4(1.73 \cdot \cancel{10^{-22}})(6.022 \cdot 10^{\cancel{23}})}{\cancel{40}} = 3.85 \text{ atomi/cella}$$

n. atomi in CFC = 4, quindi

N_v = 4 − 3.85 = 0.15 vacanze/cella

$$\rho = \frac{4(\cancel{40})}{(1.73 \cdot \cancel{10^{-22}})(6.022 \cdot \cancel{10^{23}})} = 1{,}54 \text{ g/cm}^3$$

4. monolitico: Composito

matrice
$2a$ = 7 μm ⇒ $a = 3.5 \cdot 10^{-6}$ m
K_{IC} = 3.5 MPa√m
E_m = 160 GPa

fibra
a = 4.6 μm = $4.6 \cdot 10^{-6}$ m $Y = 1$
K_{IC} = 4.7 MPa√m
E_f = 310 GPa

Composito
E_c = 260 GPa

calcolare
V_m, V_f = ?

dalla tenacità a frattura calcolo σ:

$$K_{IC} = Y\sigma\sqrt{\pi a} \rightarrow \sigma = \frac{K_{IC}}{\sqrt{\pi a}}$$

σ_f = 3908 Pa

σ_m = 1055 Pa

condizioni di isodeformazione

$$\begin{cases} E_c = V_m E_m + V_f E_f \\ V_m = 1 - V_f \end{cases} \rightarrow \frac{E_c - E_m}{E_f - E_m} = V_f \frac{\cancel{(E_f - E_m)}}{\cancel{E_f - E_m}} = \frac{260 - 160}{310 - 160} = 0.66$$

$$\begin{cases} V_f = 0.66 \\ V_m = 0.34 \end{cases}$$

master COPY
MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

per calcolare lo σ a cui si formano cricche scriviamo:

$$\frac{\sigma_c}{E_c} = \frac{\sigma_m}{E_m} \Leftarrow \varepsilon_m = \varepsilon_c$$

$$\sigma = E\varepsilon \rightarrow \varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$\sigma_c = \frac{\sigma_m}{E_m} E_c = \frac{(1055)(260)}{160} = 1714 \text{ Pa}$$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

sforzo sul composito quando composto & matrice hanno medesima deformazione

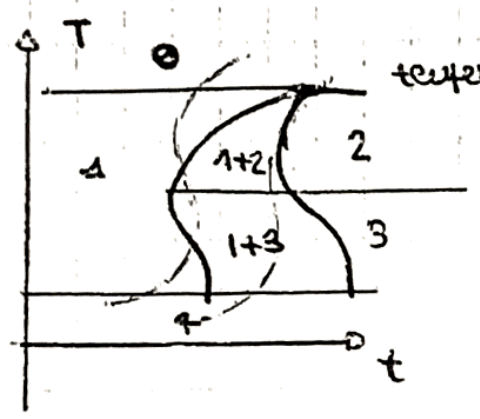
$$\frac{\sigma_c}{E_c} = \frac{\sigma_f}{E_f} \Leftarrow \varepsilon_c = \varepsilon_f$$

$$\sigma_c' = \frac{\sigma_f}{E_f} E_c = \frac{3909(260)}{160} = 6352.125 \text{ Pa}$$

sforzo sul composito quando composito & fibra hanno medesima deformazione

Il carico minore è sulla matrice e la sollecitazione a cui si formano le cricche è 1714 Pa.

quesiti teorici:

1. 

temperatura eutettica

0 austenite stabile
1 austenite instabile
2 perlite
3 bainite
4 martensite

diagramma TTT - diagramma a trasformazione isoterma

2 (←)

3

master COPY

5

Università di Pisa

Corso di Scienza e Tecnologia dei Materiali – Anno Accademico 2007-2008

Corso di laurea in Ingegneria Chimica – II compitino – 19 dicembre 2007

Informazioni: questo è un esame senza consultazione di libri, appunti o altro materiale relativo al programma del corso. Ai trasgressori sarà immediatamente ***ritirato e annullato*** il compito in qualunque momento della prova.

I calcolatori **sono** permessi ad esclusione di quelli preprogrammati a risolvere esercizi. Verrà valutato un punteggio parziale per risposte numericamente errate ma supportate da un ragionamento corretto. Il punteggio assegnato alle domande ed esercizi è riportato in fondo al testo.

OK

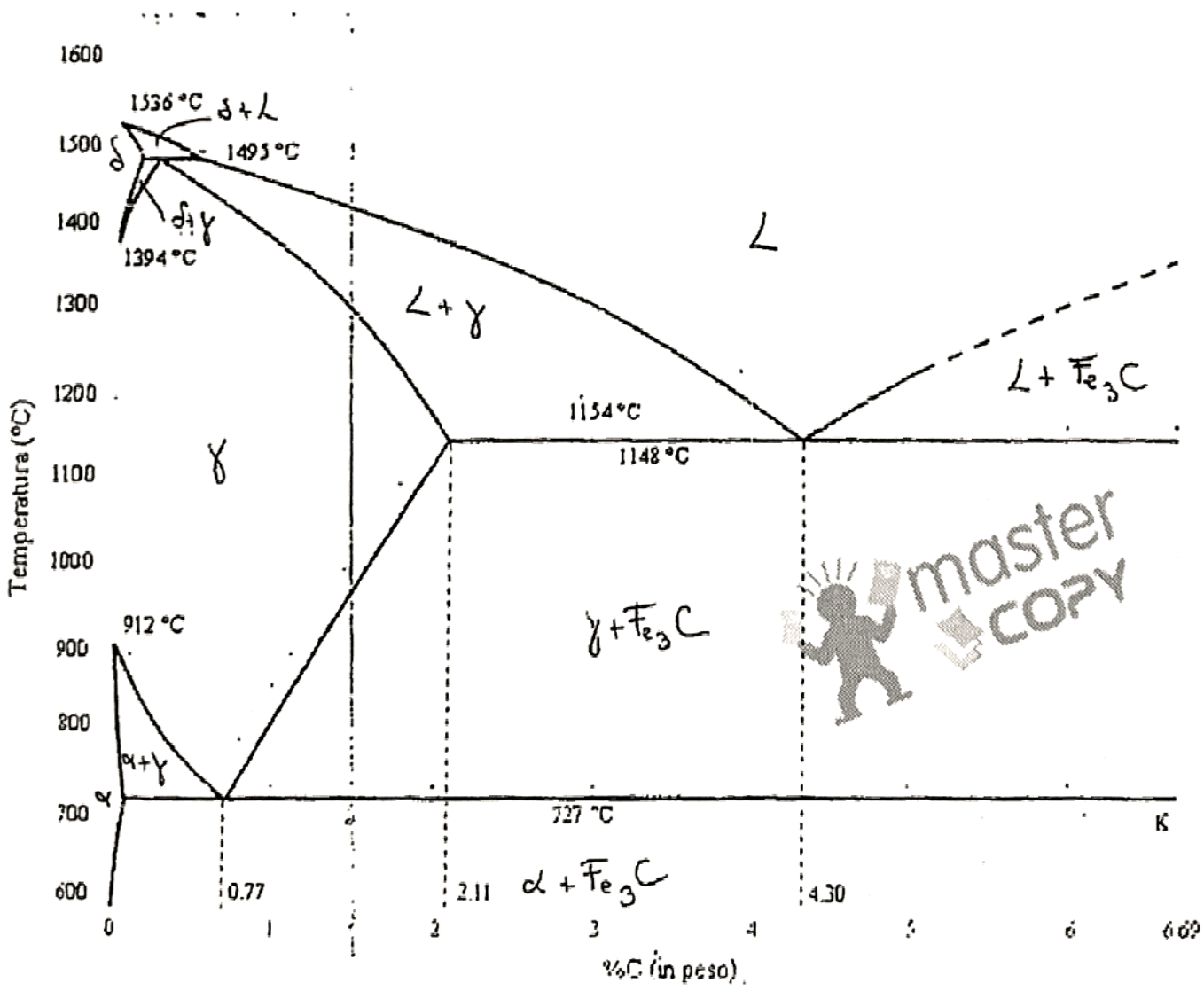
Esercizio 1

Un acciaio ipereutettoidico contentente 1,5% in peso di C è lentamente raffreddato da una temperatura di 950°C a una temperatura appena al di sotto dei 723°C.

(a) Calcolare la percentuale in peso di cementite proeutettoidica presente nell'acciaio **(2 punti)**.

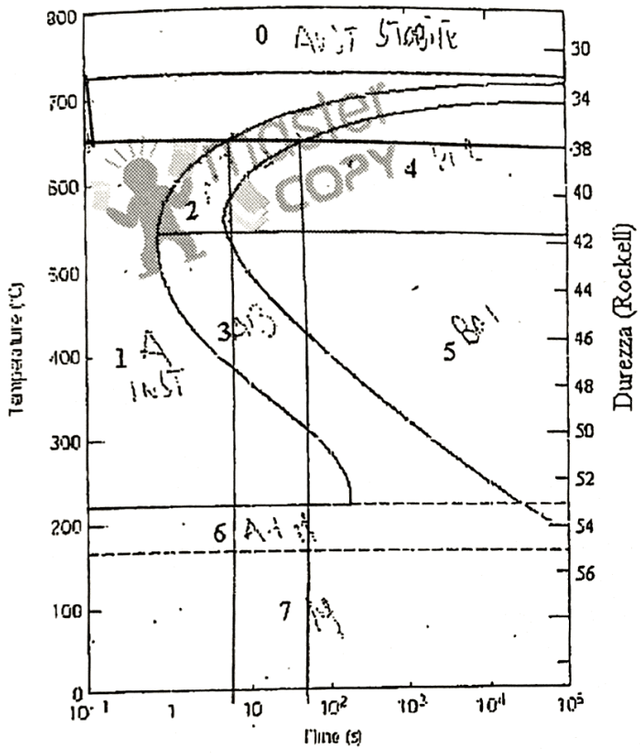
(b) Calcolare la percentuale in peso di cementite eutettoidica e di ferrite eutettoidica presente nell'acciaio **(2 punti)**.

(c) Completare il diagramma di fase indicando per ogni regione le soluzioni solide e/o i composti intermetallici che sono presenti **(2 punti)**.



33

Esercizio 2



Un acciaio eutotettoidico presenta il seguente diagramma TTT:

a) Completare il grafico indicando le varie strutture che si ottengono in ciascuna zona del grafico **(2 punti)**.

b) Descrivere il trattamento termico e la microstruttura ottenuta dopo ciascuno step richiesto per produrre isotermicamente una lega di acciaio eutettoidico con durezza pari a 38 gradi Rockell **(4 punti)**.

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

Esercizio 3

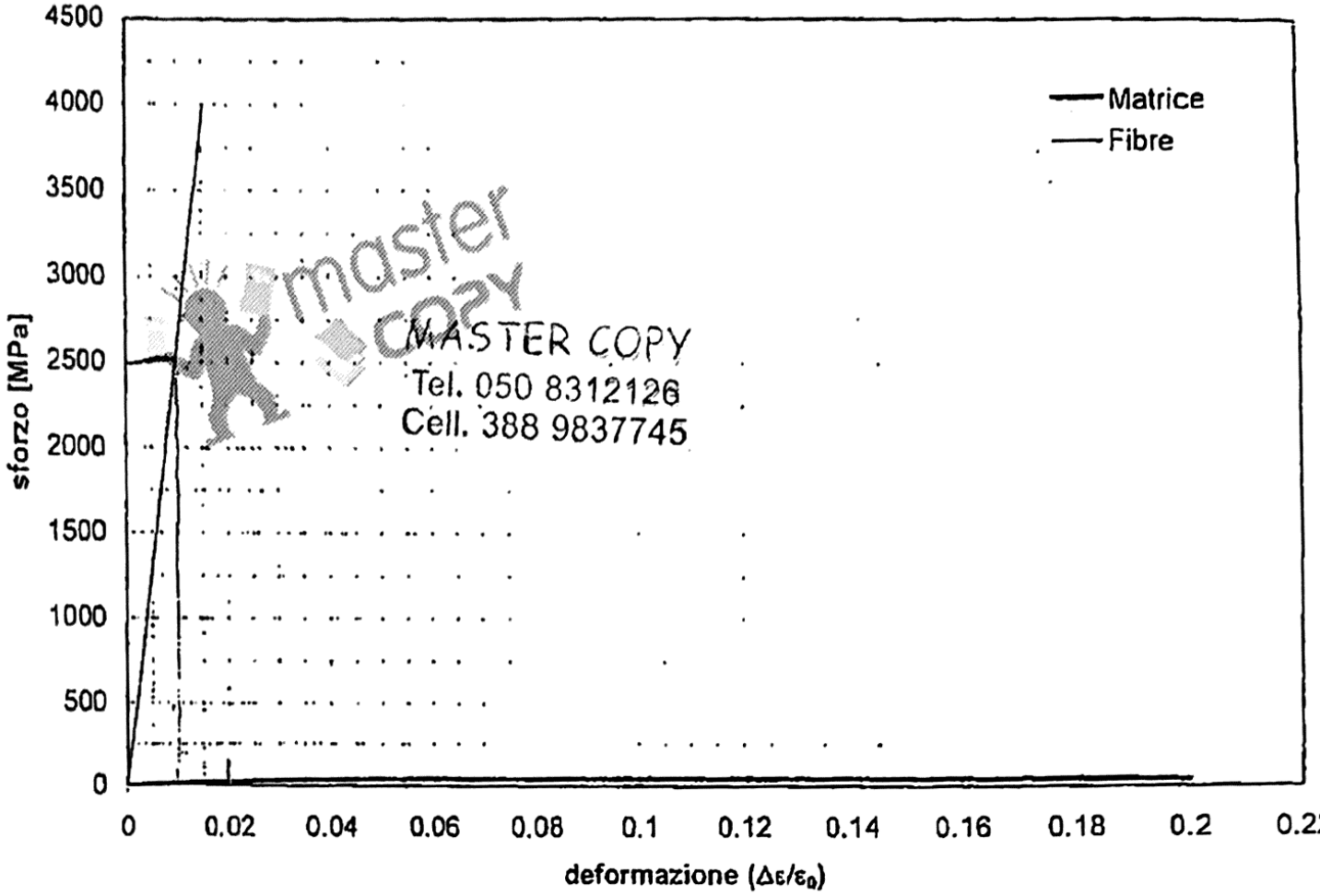
In un composito di polipropilene rinforzato con fibre di carbonio continue ed allineate, le fibre portano il 97% del carico applicato nella direzione longitudinale.

a) Determinare la frazione volumetrica di fibra necessaria **(2 punti)**

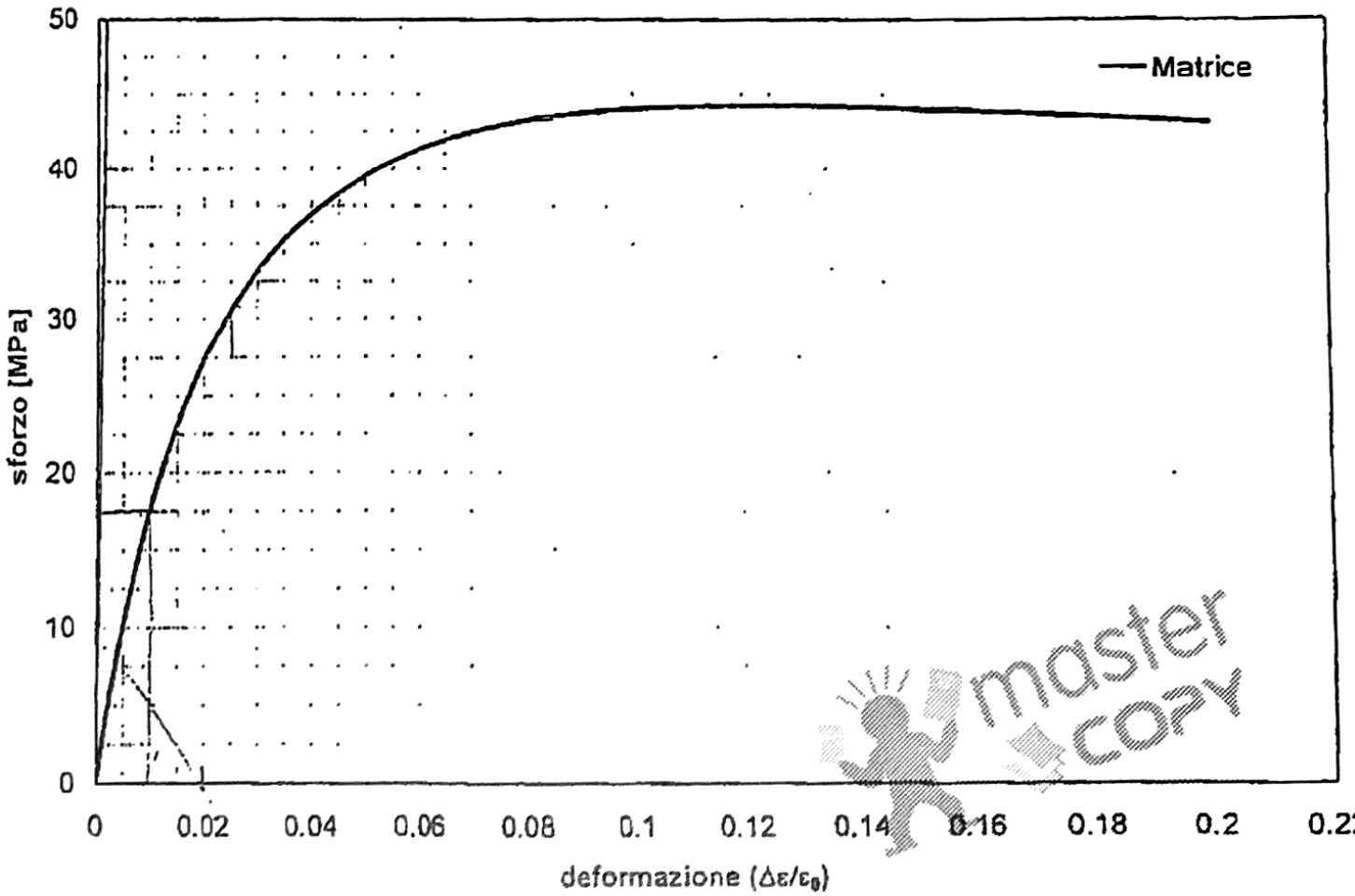
b) Quale sarà la resistenza a trazione di questo composito? **(1 punto)**

c) Determinare il modulo di Young di questo composito **(1 punto)**

I dati relativi alla matrice e alle fibre si ricavano dai seguenti grafici:



master COPY
MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745



master COPY

Esercizio 4

La densità e la corrispondente percentuale di cristallinità di due polipropileni sono:

densità (g/cm^3)	Cristallinità (%)
0,904	62,8
0,895	54,4

a) Calcolare le densità del polipropilene completamente cristallino e di quello completamente amorfo **(3 punti)**.
b) Determinare la densità di un campione con 76,5% di cristallinità **(2 punti)**.

Quesiti teorici:

1. Confrontare il diagramma volume specifico – temperatura per un polimero in grado di cristallizzare a seguito di un raffreddamento lento o di un raffreddamento rapido. Descrivere inoltre quali sono le condizioni che permettono ad un materiale polimerico di cristallizzare **(4 punti)**

2. Che cos'è la martensite? Qual è la struttura cristallina di un acciaio martensitico? Come si ottiene e da che cosa è caratterizzata la trasformazione martensitica? **(4 punti)**

3. Descrivere l'importanza della lunghezza critica (Lc) delle fibre nei materiali compositi rinforzati con fibre discontinue, riportando l'andamento della sollecitazione in funzione della lunghezza (L) della fibra per i tre casi di L>Lc, L=Lc e L<Lc. **(4 punti)**.

Nome studente: _____

Data: _____

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

Punteggio:

	N°1		N°2		N°3		N°4	
esercizi	6		6		4		5	
Quesiti teorici	4		4		4			
totale	_____ su 33							

master COPY

36

II COMPITINO - 19/12/07

1 a) % di C = 1,5%

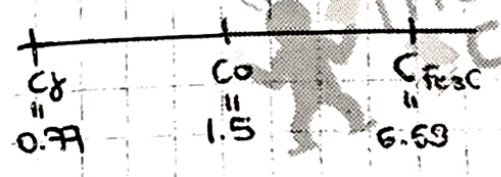
$T = 727°C + \Delta T$

fasi presenti γ e Fe_3C

% γ = 0.77 % di C

% Fe_3C = 6,69 % di C

q.tà delle fasi



q.tà fase Fe_3C = $\frac{C_0 - C_\gamma}{C_{Fe_3} - C_\gamma} = \frac{1.55 - 0.77}{6.69 - 0.77} = 0,13(100) = 13\%$

q.tà in peso di cementite proeutettoidica = 13 %

b) % di C = 1.5%

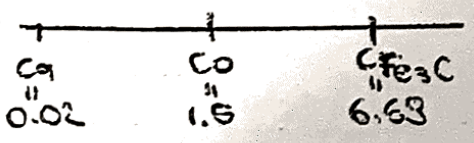
$T = 727° - \Delta T$

fasi presenti α e Fe_3C

% α = 0.02 % di C

% Fe_3C = 6.69 % di C

q.tà delle fasi



q.tà della fase α = $\frac{C_{Fe_3C} - C_0}{C_{Fe_3C} - C_\alpha} = \frac{6.69 - 1.5}{6.69 - 0.02} = 0.78(100) = 78\%$

q.tà della fase Fe_3C = 100 - 78 = 22%

q.tà in peso totale di cementite = 22 %, quindi:

q.tà in peso di cementite eutettoidica = 22 - 13 = 9 %

q.tà in peso di ferrite eutettoidica = 78 %

quesiti teorici:

2. La martensite è una microstruttura che si forma dal raffreddamento di un acciaio in fase austenitica ad alte velocità.
La martensite può essere ottenuta mediante tempra di acqua.
La struttura cristallina della martensite è una soluzione solida interstiziale, in cui gli atomi di carbonio vanno a occupare i siti interstiziali della struttura CCC del ferro γ. A causa della leggera distorsione reticolare la struttura reticolare della martensite è più opportuno definirla tetragonale. A seconda della percentuale di carbonio nel ferro si possono individuare tre differenti tipi di martensite:

- martensite circolare con %C ≤ 0.6
- martensite a Rauchette con %C > 1
- martensite mista con $0.6 <$ %C < 1

La trasformazione che porta alla formazione della martensite avviene senza processi diffusivi a causa della alta velocità con cui avviene la reazione, inoltre le composizioni degli elementi non variano e mancano le posizioni reciproche tra atomi di carbonio e ferro.

1 (←)

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745
master COPY

2a 0 austenite instabile
1 austenite stabile
2 perlite + austenite
3 bainite + austenite
4 perlite
5 bainite
6 austenite + martensite
7 martensite

b ① austenitizzazione a $T > 723°C$ temperatura eutettoidica per 1h
② raffreddamento a $T = 660°C$
a $t \simeq 7s$ inizia la trasformazione, inizia a formarsi perlite
a $t \simeq 80s$ finisce la trasformazione, abbiamo come microstruttura perlite con durezza Rockwell 38.
③ raffreddamento a olio fino a temperatura ambiente

3 materiale composito

	matrice	fibra
dal grafico dato $\varepsilon = 0.01$	$E_m = 2\,GPa$	$E_f = 290\,GPa$
	$\sigma_m = 22.5\,MPa$	$\sigma_f^* = 4000\,MPa$
	$\sigma_m^* = 47\,MPa$	

il modulo elastico viene calcolato per un punto qualsiasi perché è la pendenza del tratto elastico della curva
σ^* indica lo sforzo a rottura

$\frac{F_f}{F_c} = 0.97$ condizioni di isodeformazione

calcolare
$V_m, V_f = ?$
$\sigma_c = ?$
$E_c = ?$

$$\begin{cases} \frac{F_f}{F_c} = 0.97 \\ F = \sigma A \end{cases} \rightarrow \frac{\sigma_f V_f}{\sigma_c} = 0.97 \Rightarrow \frac{\sigma_f V_f}{\sigma_m - V_f(\sigma_m - \sigma_f)} = 0.97$$

(1) $\sigma_c = V_m \sigma_m + V_f \sigma_f = \sigma_m - V_f \sigma_m + V_f \sigma_f$

$V_m = 1 - V_f$

$$0.97 = \frac{4000\,V_f}{22.5 + V_f(-22.5 + 4000)}$$

$21.825 + 3877.5\,V_f = 4000\,V_f$

$\frac{302.5}{302.5} V_f = \frac{21.825}{302.5} = 0.09 = V_f$

$V_m = 0.93$

$$\Rightarrow \begin{cases} V_m = 0.93 \\ V_f = 0.09 \end{cases}$$

$\sigma_c = V_m \sigma_m + V_f \sigma_f = 300\,MPa$

$E_c = V_m E_m + V_f E_f = 19.36\,GPa$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

4 Preimpasto cartellino

$\rho = 0.904$ % cart 62.8

$\rho = 0.895$ % cart 54.4

$$\% \text{ cartellino} = \frac{\rho_c(\rho_s - \rho_a)}{\rho_s(\rho_c - \rho_a)}$$

impasto due carte a due incognite e solo

$$\begin{cases} \rho_A = 0.871 \ g/cm^3 \\ \rho_C = 0.945 \ g/cm^3 \end{cases}$$

quando 100% cartellino carico ρ_s ricavo:

$$1 = \frac{\rho_c(\rho_s - \rho_A)}{\rho_s(\rho_c - \rho_A)} \qquad 100\%$$

$$0.76 = \frac{\rho_c(\rho_s - \rho_A)}{\rho_s(\rho_c - \rho_A)} \qquad 76\%$$

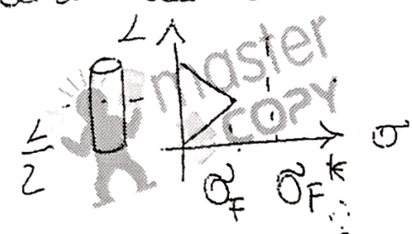
$$0 = \frac{\rho_c(\rho_s - \rho_A)}{\rho_s(\rho_c - \rho_A)} \qquad 0\%$$

master COPY

master COPY

3) Importanza della L_c delle fibre discontinue.
⇒ da L_c dipende il completo sfruttamento o meno della fibra in tutta la sua lunghezza se questa presenta un buon grado di adesione con la matrice.

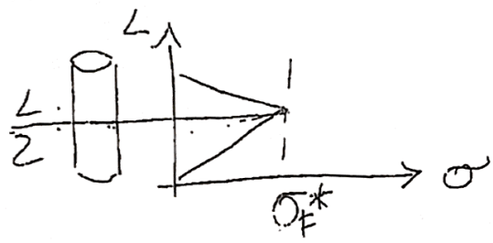
$L < L_c$



$$\bar{\sigma}_F = \sigma^* \left(\frac{l}{2l_c}\right)$$

fibre corte sotto utilizzate perchè non viene mai raggiunto il σ_F^* (carico di rottura fibre ⇒ carico max sopportabile) e si ha il distaccamento delle fibre prima della rottura

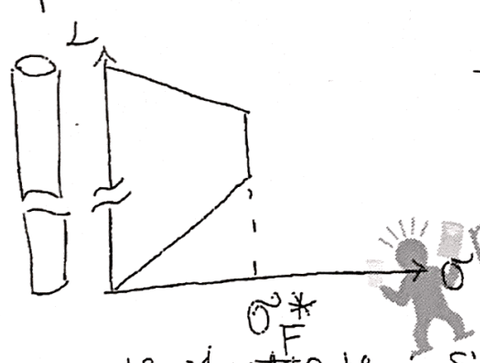
$L = L_c$



$$\bar{\sigma}_F = \frac{\sigma_F^*}{2}$$

Lo sforzo max è raggiunto solo nel punto central delle fibre, quindi solo in quel punto sono sfruttate pienamente

$L > L_c$



$$\bar{\sigma}_F = \sigma_F^* \left(1 - \frac{l_c}{2l}\right)$$

Fibre pienamente sfruttate: si raggiunge il σ_F^* prima che le fibre si distacchino dalla matrice, quindi le fibre sono utilizzate al max della loro resistenza meccanica.