

ESERCIZIO 1

Gli acciai al carbonio sono importanti materiali da costruzione. Le loro proprietà meccaniche possono essere controllate sia dal contenuto di carbonio sia dai trattamenti termici.

- a) Quali trasformazioni avvengono raffreddando da 1100 °C lentamente al di sotto di 723 °C una lega con 0.8% di C e una lega con 0.4 % di C ?

Disegnare la microstruttura a temperatura ambiente in questi due casi.

Lega 0.8% C: solamente trasformazione eutettoidica a 723 °C, $\gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C$

Lega 0.4% C: si forma prima 50% di ferrite α pro-eutettico, gli altri 50% sono austenite che si trasforma in perlite.

- b) Lo spessore interlamellare (ferrite / cementite) nella microstruttura perlitica diminuisce esponenzialmente con la temperatura. Spiegare perché le lamelle diventano più sottili quando la trasformazione avviene a temperature più basse.

La trasformazione eutettoidica viene controllata dalla diffusione del carbonio. A temperature più basse la velocità di diffusione è molto più lenta e le lamelle non possono crescere molto.

- c) Che cosa si può prevedere per le proprietà meccaniche (carico di snervamento, elongazione) al variare della temperatura di trasformazione ?

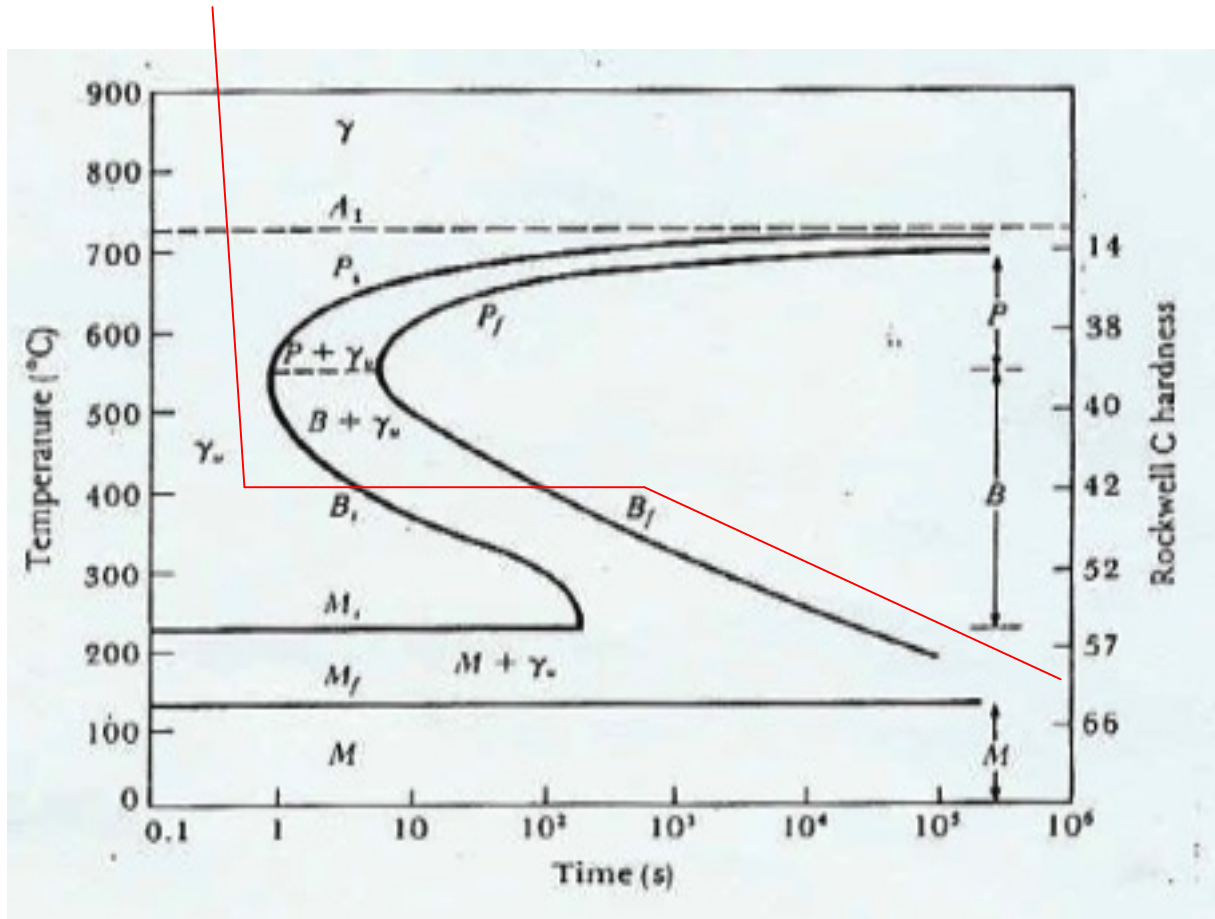
La perlite fine con lamelle sottili contiene molti più di bordi di grano. Questi sono ostacoli per le dislocazioni, allora la resistenza meccanica aumenta al diminuire della T di trasformazione.

- d) Quale microstruttura si forma in un acciaio con 0.6 % di carbonio dopo una tempra rapidissima ? Perché questo materiale è molto più duro in confronto ai materiali esaminati in c) ?

Si forma la martensite. La martensite contiene tutto il carbonio su posti interstiziali del reticolo che (dovuto alla forte sovra saturazione) si deforma tantissimo e il movimento delle dislocazioni è bloccato.

ESERCIZIO 2

Il diagramma TTT (trasformazione isoterma) per un acciaio con 0.8% di carbonio è dato in figura.



- Descrivere passo per passo il trattamento termico per ottenere un acciaio (0.8% C) con la durezza di 42 HRC (Rockwell).
Primo passo: l'austenite γ viene raffreddato rapidamente fino ad una temperatura di 420 °C.
Secondo passo: inizia la trasformazione bainitica dopo ca. 3 secondi che finisce dopo ca. 200 secondi.
Terzo passo: raffreddamento lento fino a temperatura ambiente.
- Disegnare la microstruttura dell'acciaio in ogni stadio.
- Spiegare perché a questa temperatura si forma la microstruttura di bainite e non la perlite.

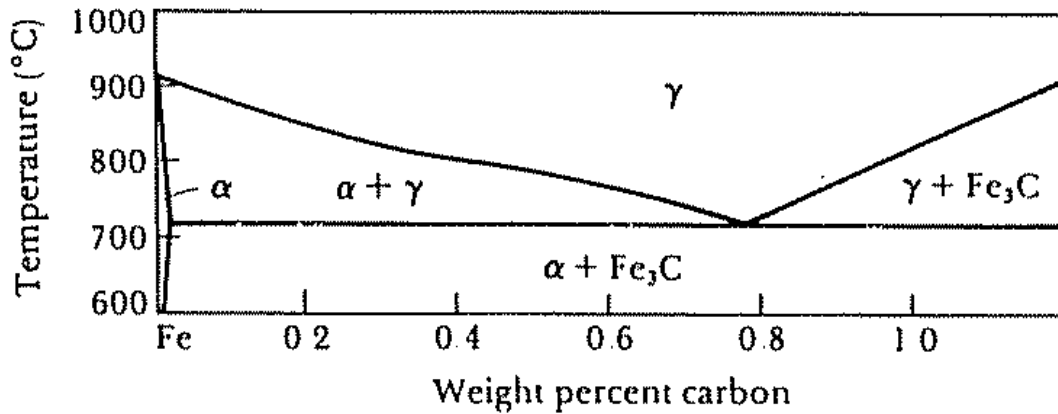
La temperatura di transizione isotermica è lontano della T equilibrio (723 °C). L'austenite è fortemente sotto-raffreddato, ciò implica una forte tendenza di nucleazione di Fe_3C . A questa temperatura bassa la velocità di diffusione è molto bassa. Il risultato è la crescita di tantissimi nuclei e la formazione di tantissimi piccoli aghetti di Fe_3C .

- d) Spiegare perché la bainite si comporta in maniera tenace (buona resistenza meccanica ma anche buona duttilità).

La bainite (vedi domanda c) è una microstruttura dove i singoli aghetti di Fe_3C sono presenti in una matrice di ferrite α . Le dislocazioni inizialmente si possono muovere nella ferrite, ma vengono bloccati subito da un'aghetto di Fe_3C . Questo aghetto è piccolo e non continuo (contrasto una lamella di Fe_3C nella perlite). Aumentando lo sforzo le dislocazioni riescono a circondare l'ostacolo, arrivano al prossimo e lo circondano con sforzi ancora maggiori. Dunque la duttilità corrisponde pressoché alla ferrite mentre la resistenza meccanica è molto più alta.

ESERCIZIO 3

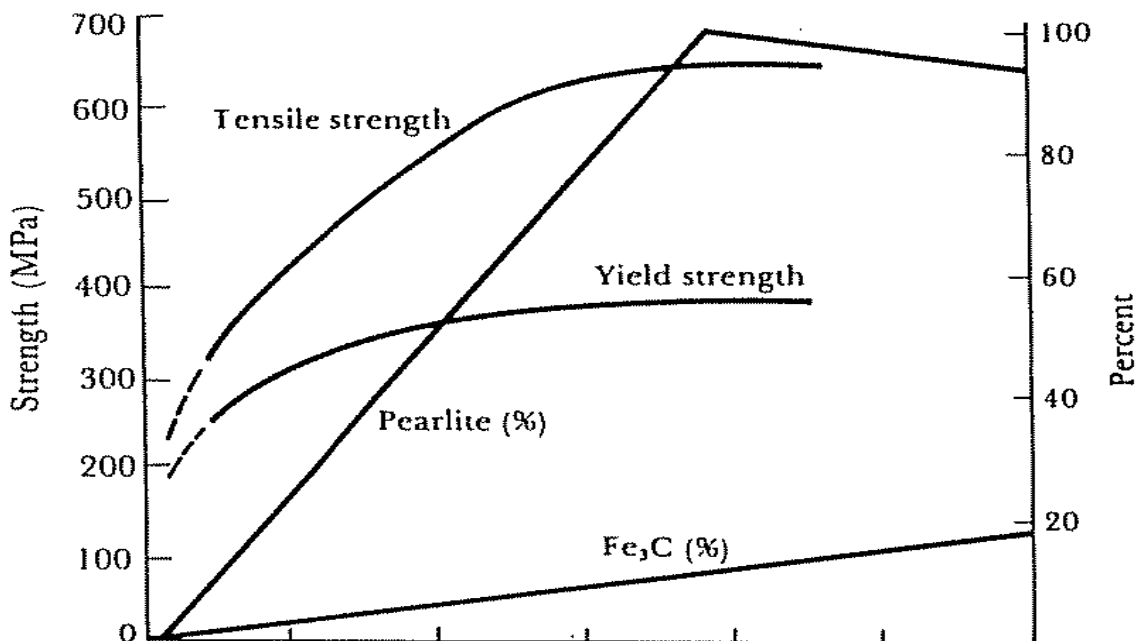
E' dato il diagramma di stato Ferro – Fe₃C.



- a) Descrivere la trasformazione eutettoidica e spiegare perché la microstruttura della perlite è lamellare.

trasformazione eutettoidica $\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$

Si forma una microstruttura lamellare perché dalla fase omogenea γ (con 0.8% C) si deve formare la fase α (0.02% C) e la cementite (6.67% C). Questo richiede la diffusione degli atomi di carbonio.



- b) Dal diagramma Fe-Fe₃C (figura) calcolare la percentuale di Fe₃C e della perlite in acciai contenenti 0.2%, 0.4%, 0.8% e 1.2%. Mettere in un diagramma il contenuto della perlite e di Fe₃C in funzione del contenuto di carbonio nella lega.

*Vedi diagramma sopra: la quantità di **cementite** Fe₃C aumenta proporzionalmente con il tenore di carbonio, a 0.8% si raggiunge 12% di Fe₃C. Questa proporzionalità continua anche a tenore di C più alte.*

*La quantità della **perlite** aumenta linearmente con il tenore di carbonio, il massimo (100%) si raggiunge a 0.8% di carbonio. Oltre a 0.8% durante la solidificazione si forma cementite pro-eutettico, il tenore di perlite diminuisce leggermente.*

- c) Inserire nello stesso diagramma l'andamento del carico di snervamento in funzione del tenore di carbonio e spiegare il risultato.

Vedi figura sopra. Il carico di snervamento (inglese: yield strength) aumenta con il tenore di carbonio. L'effetto è significativo fino a 0.6%, un ulteriore aumento non cambia il carico di snervamento. Questo si spiega dal fatto che il carico di snervamento è il punto dove le prime dislocazioni si muovono. La fase che blocca le dislocazioni è la perlite – quando la percentuale della perlite aumenta da 25 a 50% l'effetto è grande. Un ulteriore aumento da 75 a 100% non cambia niente perché la fase della ferrite (dove le dislocazioni si possono muovere facilmente) è circondato della perlite.