

1. Che cosa si intende per sottoprodotto di un processo metallurgico ?

Si tratta di un prodotto secondario dal punto di vista dell'impiego previsto, ma che non conviene eliminare come scoria o rifiuto, in quanto può portare i costi d'estrazione ad essere economicamente sostenibili e/o in quanto lo smaltimento comporterebbe problemi di stoccaggio o ambientali (es. scarico in corsi d'acqua o in mare).

2. E' preferibile in generale, ammesso che sia possibile questa alternativa, sfruttare un giacimento di un solfuro o di un ossido ?

Di un ossido, in quanto i minerali non presenti in forma di ossido vengono solitamente trasformati in ossido in modo metallurgicamente semplice. Inoltre nel caso dei solfuri ci sono i problemi connessi

con l'eliminazione non solo dello zolfo, ma anche dell'arsenico e dell'antimonio.

3. Da cosa dipende la possibilità di separare due componenti, una volta polverizzati, per flottazione ?

Dal loro differente grado di bagnabilità, che influenza la loro capacità di lasciarsi o meno trasportare dalla schiuma prodotta, schiuma che può essere stabilizzata eventualmente con sostanze adatte.

4. Che differenza c'è tra la calcinazione e l'arrostimento di un minerale ?

Mentre la calcinazione avviene per semplice riscaldamento alla massima temperatura compatibile con le caratteristiche chimico-fisiche del materiale, l'arrostimento prevede una reazione chimica con un adatto agente in grado di decomporre l'ossido.

5. Quali sono i metodi termici più diffusi per decomporre un ossido ?

Si può avere in alcuni casi decomposizione per semplice riscaldamento (per l'argento per esempio) ma nella maggior parte dei casi occorre o applicare il vuoto od agire con un agente riduttore, il più comune dei quali è il carbonio che dalla forma di ossido CO si trasforma in anidride carbonica CO₂, ossidandosi e riducendo conseguentemente l'ossido metallico MeO a metallo.

6. Qual è l'importanza della conoscenza della curva di Boudouard per gli ossidi di ferro ai fini del funzionamento di un altoforno?

La curva di Boudouard per gli ossidi di ferro consente di sapere che percentuale di ossido di carbonio serve per ridurre l'ossido metallico a metallo e quindi quanto carbonio occorre caricare per produrre una determinata quantità di ghisa con un certo tenore di carbonio.

7. Perché è importante conoscere l'indice termico nella reazione di conversione ?

La conversione è in sostanza l'eliminazione di un componente non desiderato dal metallo, che si ottiene per ossidazione del componente stesso. Tale ossidazione fa salire la temperatura del convertitore in modo variabile, a seconda del componente che vi viene ossidato. E' perciò necessario conoscere per dimensionare il convertitore, non soltanto la quantità di scorie da ossidare, ma anche di quanto sale la temperatura del convertitore stesso per effetto dell'ossidazione. A questo scopo è utile l'indice termico, rapporto tra l'aumento di temperatura ottenuto e la quantità di scoria ossidata.

8. Che cosa si intende per effetto anodico nel processo elettrolitico per la produzione dell'alluminio ?

L'effetto anodico è in questo caso lo sviluppo di fluoro anziché di ossigeno nella parte finale del processo, in condizioni ormai di difetto di allumina, che rende necessario aumentare la tensione di cella in conseguenza dell'accresciuta resistenza al passaggio della corrente.

9. Quale processo di affinazione consente di ottenere il rame più puro, e perché ?

Il processo elettrolitico da cui si ottiene il rame al 99.99%. Il rame, un metallo abbastanza nobile sulla scala dei potenziali di ossidazione, quindi favorito in un'elettrolisi. Inoltre l'elettrolisi del rame comporta solo scarse sovratensioni, quindi è dotata di una buona cinetica.

10. Nell'affinazione elettrolitica del rame dove si raccoglie l'oro e dove invece il piombo ?

L'oro, come tutti i metalli più nobili del rame, si decompone al catodo e viene raccolto come fango, mentre il piombo, metallo meno nobile del rame, si ossida all'anodo.

11. Che utilità può presentare il fare il vuoto in un'operazione metallurgica ?

Può servire a ridurre la quantità di gas solubili nel metallo, e quindi a degasarlo.

12. Quali sono gli inconvenienti dovuti alla formazione del cono di ritiro in un lingotto ?

Il cono di ritiro si forma nella parte alta del lingotto per effetto della diminuzione di volume che quasi tutti i metalli subiscono durante la solidificazione. Il metallo contenuto nel cono di ritiro è inutilizzabile, per prima cosa perché ossidato e poi perché vi si concentrano tutte le impurezze. Inoltre non può essere saldato e così recuperato, perché assume aspetto spugnoso ed ha scarse proprietà meccaniche.

13. Come si riducono le dimensioni del cono di ritiro in un acciaio ad alto tenore di carbonio ?

Si possono ridurre ponendo sulla testa della lingottiera la materozza, specie di recipiente che consente un contatto continuo tra il metallo liquido e quello che già va solidificandosi all'interno della lingottiera stessa.

14. Perché negli acciai effervescenti la solidificazione è progressiva ?

A causa della presenza di bollicine di gas (ossido di carbonio) che impediscono che le sezioni di testa si incurvino e che di conseguenza il metallo in esse contenuto si ossidi. Tali bollicine producono invece soffiature nella parte bassa del lingotto, senza che tuttavia la saldabilità del metallo sia mai in discussione.

15. Da che cosa dipende la formazione di una struttura policristallina nei metalli ?

Dalla formazione di nuclei di cristallizzazione che si accrescono in una struttura ciascuno secondo propri piani preferenziali, finché non incontrano un'altra struttura simile; il numero poi dei grani cristallini sarà direttamente proporzionale ai nuclei di cristallizzazione. A questo scopo è possibile inserire nel metallo liquido delle sostanze che facciano da innesco alla nucleazione, in modo da creare un metallo con grana cristallina più fine.

16. Cosa sono le dendriti e come si formano ?

Le dendriti sono strutture di cristallizzazione ramificate che si espandono sempre secondo piani preferenziali ed all'interno delle quali vengono segregate le impurezze del metallo, tanto è vero che nel metallo puro le dendriti spariscono. Di solito si hanno dendriti quando il liquido che deve ancora solidificare è sottoraffreddato e quindi risulta a temperatura inferiore rispetto al metallo già solido.

17. Da che cosa si caratterizza la struttura di un legame metallico ?

Dalla presenza di una nube di elettroni delocalizzati (cioè non appartenenti a nessun atomo del cristallo in particolare) che attornia un insieme di nuclei atomici fortemente legati. Questa struttura influenza positivamente le proprietà di conducibilità elettrica e termica, di densità e lucentezza del metallo.

18. Citare in ordine di temperatura crescente le tre forme allotropiche del ferro puro, ponendo accanto ad ognuna il tipo di reticolo cristallino.

Ferro alfa (fino a 912 °C) cubico corpo centrato (c.c.c.), ferro gamma (da 912 a 1394 °C) cubico facce centrate (c.f.c.) e ferro delta (da 1394 °C a fusione) cubico corpo centrato (c.c.c.)

19. Quando si crea un difetto di Frenkel ?

Quando un atomo abbandona la propria posizione nel reticolo per andarsi a disporre in una posizione interstiziale. Questo vuol dire che l'atomo in questione ha almeno un altro atomo ad una distanza inferiore a tutte le lunghezze caratteristiche del reticolo.

20. La cementite è una soluzione solida od un composto, e perchè ?

Si tratta di un composto, in quanto la sua formula (Fe_3C) è definita prevedendo un unico tenore possibile di carbonio (6.67% in peso). Per essere più precisi la cementite è un composto interstiziale, perchè l'atomo di carbonio, che è molto più piccolo di quello di ferro, non va a sostituire quest'ultimo, ma entra negli interstizi della struttura.

21. Come potrebbe definirsi uno scambio ad anello ?

E' un meccanismo di diffusione che prevede che ciascuno degli atomi formanti la maglia elementare del reticolo si scambi col successivo o col precedente, in senso orario od antiorario.

22. Dove si originano nel caso di trasformazioni allotropiche i nuclei di cristallizzazione ?

Nei punti in cui la struttura cristallina è distorta per motivi meccanici (zone soggette a tensioni interne o comunque diversamente sollecitate), chimico-fisici (zone di inclusione o segregazione di altre specie chimiche e quindi a diverse caratteristiche termomeccaniche) o diffusivi (zone di bordo grano).

23. Che significato ha la legge di Hall-Petch ?

La legge di Hall-Petch lega la resistenza meccanica del metallo allo snervamento con le dimensioni del suo grano cristallino con una legge di proporzionalità inversa in quanto la resistenza allo snervamento R_s dipende dalla dimensione del grano D elevata alla $-1/2$.

24. In che senso il tipo di reticolo di un metallo può influenzarne la deformabilità ?

La deformabilità di un metallo dipende dalla presenza di piani di facile scorrimento, cioè nei quali i nuclei degli atomi sono alla minima distanza possibile, mentre il piano stesso è il più lontano possibile dagli altri piani vicini, così da sentirne il meno possibile l'influsso. Tali piani di facile scorrimento sono molti di più in un reticolo che ha una struttura simmetrica, come p.es. quella cubica, ove si orientano solitamente in una direzione che forma un angolo di circa 45° rispetto alla direzione di sollecitazione.

25. Cos'è il vettore di Burgers ?

Il vettore di Burgers descrive in intensità, direzione e verso il movimento di scorrimento associato con la dislocazione, movimento che dà origine alla deformazione plastica.

26. Cosa si intende per sforzo critico di scorrimento ?

Si tratta dello sforzo minimo che, applicato in una determinata direzione e lungo un piano qualsiasi perpendicolare allo scorrimento, consente lo scorrimento stesso di quel piano rispetto ad uno adiacente. Il suo valore è dato da: $(G \cdot a) / (2\pi \mu \cdot d)$

ove: G = modulo del metallo in quella direzione

a = distanza interatomica

d = distanza tra i due piani adiacenti

27. Come si è arrivati dalla sperimentazione sulle proprietà meccaniche dei metalli a formulare la teoria delle dislocazioni ?

La caratteristica meccanica dei metalli che rivestiva maggior interesse, oltre evidentemente al massimo carico applicabile, era la deformazione plastica, in quanto quando essa supera un certo valore il metallo non è più utilizzabile. A questo punto si trattava di calcolare lo sforzo critico che consentiva la deformazione plastica, e si trovò che la teoria delle dislocazioni ne offriva un'ottima valutazione approssimata. In particolare il calcolo risulta possibile per la dislocazione a spigolo, in cui lo scorrimento avviene per un semipiano ben determinato.

Il limite di questa teoria risiede tuttavia nel fatto che per immaginare la deformazione plastica di un policristallo occorre supporre che ad un certo punto un gran numero di dislocazioni abbia origine e sviluppo, in genere nascendo come una combinazione dei due tipi principali (spigolo e vite), e successivamente si muova per l'intervento della forza esterna. Per questo occorre fare delle ipotesi sull'origine delle dislocazioni.

28. Ipotesi sull'origine delle dislocazioni

Il punto unificante delle varie ipotesi sull'origine delle dislocazioni le fa risalire alla solidificazione del metallo, in genere in conseguenza dei fenomeni di interfaccia tra i diversi nuclei cristallini. A questo punto si può avere differenziazione tra le diverse ipotesi, nel senso di considerare come luogo di origine delle dislocazioni i punti di contatto tra le ramificazioni delle dendriti, oppure le superfici di separazione (irregolari) dei grani cristallini, o ancora le zone di metallo quasi liquido rimaste dove l'angolo di solidificazione è molto alto.

29. Dove va a sistemarsi un atomo di carbonio nello sciogliersi nel ferro e che conseguenze ha questo sul metallo?

L'atomo di carbonio, avendo raggio molto minore dell'atomo di ferro, va a disporsi nella parte più compressa di una dislocazione a spigolo, a cui corrisponde l'energia minima del

sistema. Questo provoca un aumento di concentrazione del soluto in questa zona della dislocazione, che è causa di un incrudimento del materiale (aumento della sua durezza superficiale, collegato ad un aumento del carico massimo raggiungibile) e di un conseguente blocco (ancoraggio) della dislocazione stessa.

30. Cos'è lo scorrimento deviato o cross slip?

Lo scorrimento deviato è il fenomeno di interazione tra più piani a facile scorrimento (sono tali di solito a piani a più alta densità atomica) che causa lo spostamento della deformazione da un piano ad un altro coniugato, in conseguenza di una forte deformazione plastica.

Perché il comportamento di un policristallo si può considerare omogeneo ed isotropo? La distribuzione sia delle dimensioni dei grani -entro certi limiti- che il loro orientamento, seguono una distribuzione statistica. Pertanto le proprietà di un policristallo sono una media delle proprietà dei singoli cristalli, il che consente in definitiva di passare semplicemente dalla curva carico-deformazione del monocristallo a quella del policristallo.

31. Cosa sono le linee di Luders?

Le linee di Luders sono linee che compaiono sulla superficie del provino metallico in conseguenza dei fenomeni di bordo grano, ove le sollecitazioni per la presenza di dislocazioni ancorate, sono fortissime e tali da attivare le sorgenti nei grani vicini. Tali linee sono orientate con un angolo di 45° rispetto alla direzione della sollecitazione ed indicano il progredire dell'attivazione delle sorgenti di dislocazioni.

32. In quali modi si può ostacolare con un intervento esterno il moto delle dislocazioni? Che senso ha tale intervento dal punto di vista delle proprietà del materiale?

Per migliorare la resistenza del materiale, cioè in definitiva il carico massimo ad esso applicabile, occorre elevare il carico al quale la deformazione plastica inizia a manifestarsi. Si tratta in sostanza di impedire che col loro moto le dislocazioni possano innescare il moto di dislocazioni vicine, propagandolo dall'interno all'esterno dei grani cristallini, fino a coinvolgere tutta la struttura.

Questo si può ottenere:

1. Deformando il metallo a freddo con un effetto di blocco delle dislocazioni simile a quello ottenuto con una trazione appena oltre lo snervamento (incrudimento).
2. Riducendo le dimensioni dei grani così da ridurre conseguentemente anche il cammino percorribile da una dislocazione (affinazione)
3. Immettendo un soluto che deformi il grano cristallino ed impedisca il cammino delle dislocazioni (alligazione)
4. Immettendo sostanze che precipitino in modo coerente, deformando il reticolo, o incoerente, non deformandolo, ma comunque frapponendosi come ostacoli al moto delle dislocazioni (rafforzamento con particelle insolubili).

33. Quali sono le caratteristiche, dal punto di vista della composizione, della lega che solidifica nel punto eutettico E?

Nel punto eutettico si hanno condizioni di zero-varianza, quindi la temperatura e la concentrazione dei due componenti A e B sono perfettamente determinati.

Questo vuol dire che il liquido solidifica mantenendo la stessa composizione (da cui il nome eutettico: eu-tektòs = che fonde bene). In caso vi sia scendendo al di sotto dell'eutettico, una lacuna di miscibilità con due fasi alfa e beta, si forma vcome eutettico una caratteristica struttura a lamelle alternate di fasi alfa e beta. L'eutettico é una miscela di due fasi, non una fase a sé stante.

34. Che cosa rappresentano le curve del liquidus e del solidus ?

Sono il luogo dei punti del diagramma di stato rispettivamente corrispondente alla composizione della fase liquida e della fase solida della lega corrispondente a quella data temperatura nell'intervallo di solidificazione .

I punti che appartengono a queste curve corrispondono a leghe monovarianti nel senso che alla temperatura della lega in quel punto può corrispondere sulla curva una sola composizione.

35. Cos'è un punto singolare nel raffreddamento di un metallo ?

Il punto singolare è un punto in cui si ha un passaggio di stato con relativo calore latente e temperatura costante.

36. Come si fa a sapere qual è la composizione della fase alfa e e della fase beta insieme presenti nell'eutettico in caso di lacuna di miscibilità ?

Bisogna seguire l'isoterma eutettica a sinistra (fase alfa) ed a destra (fase beta) del punto doppio eutettico fino a che non incontrano le curve di solidus e di solvus.

37. Cosa si intende per smiscelamento delle due fasi di una lega ?

Si abbia una lacuna di miscibilità tra i due componenti A e B di una lega con formazione di due fasi alfa e beta. Quando si raggiunge il limite di solubilità del componente B nei cristalli della fase alfa (curva di solvus alfa), allora si formano improvvisamente, intorno a tali cristalli alfa, dei cristalli della fase beta. Questo si dice smiscelamento delle due fasi: il tenore in B di tali cristalli beta può essere trovato percorrendo l'isoterma in questione fino alla fine della lacuna di miscibilità (incontro con la curva di solvus).

38. Perché nei diagrammi dei metalli si parla di punto doppio zero variante e non, come per esempio nel diagramma dell'acqua, di punto triplo zero variante?

Perché i diagrammi dei metalli sono costruiti a pressione costante, in quanto si considerano soltanto le fasi solide e quelle liquide.

39. Nel diagramma tipico con orizzontale peritettica, in quale caso il liquido non scompare neanche al di sotto di T_P ?

Quando nel liquido si ha un eccesso del componente B rispetto alla composizione della lega peritettica. In questo caso, per la scomparsa del liquido, bisogna scendere fino alla totale scomparsa del componente B.

40. Cosa si intende per congruenza di un composto intermetallico?

La congruenza di un composto intermetallico è la sua proprietà di comportarsi come un metallo puro fino alla sua temperatura di fusione.

41. Quante e quali sono le fasi all'equilibrio nel punto E di invarianza di una lega costituita da A,B e C completamente immiscibili?

Secondo la regola delle fasi, avendosi 3 componenti e nessuna varianza possibile, si avranno 4 fasi all'equilibrio. Queste sono: i tre eutettici binari A-B, B-C e C-A più l'eutettico ternario A-B-C. In corrispondenza del punto E scompare anche il liquido, e quindi le quattro fasi saranno solide.

42. Come si fa a misurare la temperatura di una trasformazione allotropica con l'analisi termica?

Si pone il campione del metallo in esame in forno insieme ad un corpo con la stessa capacità termica e la stessa emissività. Iniziando a riscaldare dalla stessa temperatura, non si osservano variazioni tra i due campioni, fin tanto che nel metallo in esame non si verifica una trasformazione allotropica. In quel momento il calore viene immagazzinato dal metallo come calore latente e non produce quindi aumento di temperatura fino a quando la trasformazione non è completata. La conseguenza è che la temperatura del campione sarà leggermente maggiore di quella del metallo in esame: è essenziale certo che tale differenza di temperatura sia non solo rilevabile, ma anche distinguibile dalle eventuali oscillazioni della temperatura del forno.

43. Che cosa significa "misura differenziale" di un diagramma di stato ? Che cosa si intende per isteresi ?

Si tratta della valutazione approssimata e quindi del tracciamento, di un diagramma di un metallo non noto, a partire da un diagramma di un metallo di cui siano noti in particolare i punti allotropici (o sia nota al contrario l'assenza di punti allotropici in una certa regione di temperatura). Tale metodo si è utilizzato dapprima per gli acciai, a partire dall'acciaio austenitico, poi per altri metalli. L'isteresi è la non esatta corrispondenza del comportamento del metallo e quindi la non coincidenza dei diagrammi tracciati in un verso (es. riscaldamento) con quelli tracciati nel verso opposto (es. raffreddamento). Questa viene propriamente detta isteresi termica, in molti metalli si verifica poi un'isteresi meccanica, quando il comportamento meccanico in fase di carico non coincide con quello in fase di scarico del materiale.

44. Se il grafico conducibilità elettrica-composizione di una lega presenta una discontinuità in un punto, che cosa significa?

Vuol dire che il punto rappresenta un composto intermetallico $M(A_xB_y)$, che può anche interpretarsi come punto di divisione del diagramma in due diagrammi differenti AM e MB.

45. Qual è la condizione generale che in un diagramma rende utile realizzare una tempra di soluzione?

Con la tempra di soluzione ci si propone di migliorare le proprietà meccaniche del metallo attraverso la precipitazione di particelle dovuta a soprassaturazione. Questo accade quando un componente è pochissimo solubile in una fase a temperatura ambiente e lo è invece molto di più al di sopra di una certa temperatura, condizione che è rilevabile dalla conoscenza del diagramma. coincide con quello in fase di scarico del materiale.

46. Perché non ha molto senso temprare una lega Cu-Al al 20% di Al?

Vi sono due ordini di problemi: primo il fatto che i vari punti di trasformazione che rendono il diagramma complesso ed in qualche misura anche incerto, non permettono di ottenere leghe temprate con proprietà costanti (di solito leghe con più di 2 punti di trasformazione non sono prese in considerazione). Inoltre non si ha un apprezzabile miglioramento delle proprietà di duttilità, rispetto a quanto conseguibile con un tenore tra il 7.4 ed il 13.6 % di Al (composto intermetallico Cu₃Al).

47. All'equilibrio la fase alfa delle leghe Cu-Sn presenta a temperatura ambiente una solubilità bassissima per lo stagno. Eppure si dà il caso di leghe costituite del tutto da fase alfa col 10% ed oltre di Sn. Com'è possibile questo ?

Queste leghe sono realizzabili praticamente per quanto riguarda la separazione della regione di esistenza della fase alfa con quella delle due fasi alfa+delta. Questo in quanto si ha una diffusione estremamente lenta per cui in pratica la lega alfa si trova molto spesso in condizioni di forte sovrassaturazione di stagno rispetto all'equilibrio. Per questo la delimitazione ai fini pratici tra la regione della fase alfa e quella delle due fasi alfa+delta viene assunta in una linea di isoconcentrazione al 15.8% di Sn.

48. Che cosa sono ed in conseguenza di quali caratteristiche fisiche di una lega si formano le liquazioni ?

Le liquazioni sono le permanenze di liquido all'interno della fase già solidificata in condizioni di metastabilità, permanenze che provocano una scarsa omogeneità ed una diminuzione delle proprietà meccaniche della lega. Vengono eliminate attivando in qualche modo i fenomeni di diffusione all'interno della lega (es. raffreddamento particolarmente lento).

49. In generale, quando è preferibile utilizzare la tempra e quando invece l'incrudimento a freddo?

Si utilizza la tempra quando la struttura metastabile in questo modo ottenibile presenta migliori caratteristiche meccaniche rispetto alla struttura di equilibrio. Viceversa se non esiste una struttura metastabile preferibile ad essa, è meglio ottenere la struttura di equilibrio (o per lo meno avvicinarsi al suo ottenimento). Si può intervenire allora dopo la sua solidificazione con una modesta deformazione plastica (incrudimento a freddo) per migliorarne ulteriormente le proprietà meccaniche. linea di isoconcentrazione al 15.8% di Sn.

50. Che cosa differenzia l'eutettico rame-piombo rispetto a tutti gli altri eutettici di leghe di rame?

Il fatto di essere costituito quasi da solo piombo e di trovarsi quindi ad una temperatura molto vicina a quella di fusione del piombo puro. Questo perchè rame e piombo sono praticamente immiscibili fra di loro, il che fa sì che il piombo sia introdotto solo come terzo elemento nelle leghe a base di rame, a meno che non vi si trovi come inclusione.

51. Individuare ed indicare il significato dei tre principali punti caratteristici che si incontrano nel riscaldamento del ferro puro.

912 °C: limite superiore esistenza ferrite alfa (struttura c.c.c.) ed inferiore ferro gamma (austenite: struttura c.f.c.)

1394 °C: limite superiore fase gamma ed inferiore ferrite delta (c.c.c.)

1536 °C: scomparsa fase delta per fusione del ferro

52. "L'oro allarga il campo gamma": che cosa significa, ed in che senso il comportamento di questo metallo può considerarsi anomalo?

Allargare il campo gamma vuol dire che la presenza di una certa quantità d'oro rende più ampio l'intervallo di temperatura in cui il ferro gamma (austenite) è stabile, rispetto a quanto osservabile nel ferro puro, in cui tale intervallo è di $(1394-912) \text{ °C} = 482 \text{ °C}$. Significa però anche che il campo gamma non è aperto, vale a dire che oltre una certa percentuale di oro esso va a restringersi, poi a chiudersi incontrando delle zone di stabilità di fasi diverse. L'effetto insomma dell'oro è limitato ad un certo intervallo di concentrazioni. Questo comportamento è abbastanza tipico dei metalli con struttura c.f.c., che tendono a stabilizzare l'austenite che ha la stessa struttura, formando con essa soluzioni solide per sostituzione. L'anomalia sta invece nel fatto che l'oro ha un diametro atomico di circa 3 angstrom, circa del 20% più grande quindi di quello del ferro. Una tale differenza dovrebbe predisporre all'insolubilità, come accade infatti per tutti i metalli con diametro atomico maggiore dell'oro, con la sola eccezione dello zirconio, che ha però un reticolo esagonale compatto, così da presentare tolleranze maggiori sul fattore geometrico.

53. Perché le leghe con più del 14% di cromo sono dette ferritiche ?

Perché il 14% di cromo è il massimo tenore al quale è possibile avere ancora presenza della fase gamma (austenite); tale situazione fa sì che tali leghe siano costituite solo da ferrite alfa, nel caso che il cromo sia presente da solo. Nel caso invece di aggiunta ulteriore di carbonio in tenori di più dello 0.1% e/o di nichel (almeno qualche %) la fase gamma torna presente anche per tenori di cromo eccedenti il 14% (es. acciaio inox 18/8).

54. Cos'è la nitrurazione degli acciai?

Si tratta dell'aggiunta di consistenti tenori di azoto (fino circa al 4%) per aumentare per particolari usi la durezza superficiale dell'acciaio. L'azoto è spesso già presente nell'acciaio in tenori di qualche centesimo %, in conseguenza dei tradizionali metodi di produzione (es. Martin-Siemens) ed è molto adatto, per il suo piccolo diametro atomico (1.5 angstrom) a formare delle soluzioni interstiziali col ferro.

Nel caso dei tenori più alti utilizzati nella nitrurazione si forma un composto intermetallico Fe_4N , oltre a nitruri di cromo, di nichel, ecc., a seconda del tipo di acciaio, i quali tutti contribuiscono all'incremento di durezza desiderato.

55. Quando si verifica la fragilità al rosso?

Lo zolfo, essendo praticamente insolubile nel ferro, non consente neanche a tenori bassissimi, la formazione delle fasi ferro alfa e gamma. Forma invece una fase epsilon, che presenta un eutettico a 988 °C e quindi oltre 500 °C al di sotto della temperatura di fusione del ferro. Temperature dell'ordine di questo eutettico sono utilizzate per lavorazioni a caldo, come p.es. la fucinatura: l'improvvisa formazione in questi casi di gocce di ferro liquido dovuta alla presenza dello zolfo porta alla suddetta fragilità e spesso all'apertura di cricche e/o alla subitanea rottura del pezzo lavoratoi tutti contribuiscono all'incremento di durezza desiderato.

56. Quale tenore di carbonio si può prendere a separatore fra i campi di esistenza degli acciai e delle ghise e perchè?

Il 2.11% di carbonio (o poco meno, se si assume un ragionevole scostamento dall'equilibrio), in quanto questo è il massimo tenore di carbonio al quale può essere stabile una lega costituita da sola austenite, fase che si assume come caratteristica degli acciai per le sue doti di duttilità, lavorabilità, ecc. Eutettico sono utilizzate per lavorazioni a caldo, come p.es. la fucinatura: l'improvvisa formazione in questi casi di gocce di ferro liquido dovuta alla presenza dello zolfo porta alla suddetta fragilità e spesso all'apertura di cricche e/o alla subitanea rottura del pezzo lavorati tutti contribuiscono all'incremento di durezza desiderato.

57. I vecchi metallurgisti parlavano di un "ferro beta", stabile tra i 770 ed i 911°C. Che cosa succede in realtà al ferro a 770°C?

Il ferro a 770°C perde le proprietà magnetiche, essendo quello il punto di Curie del metallo. E' possibile trovare in molti diagrammi del ferro una linea tratteggiata rappresentativa di questa separazione, anche se non si tratta di una vera e propria fase, in quanto la struttura permane del tipo ferrite alfa (c.c.c.).

58. Perché nel diagramma ferro-carbonio semplificato si può trascurare la presenza della ferrite delta?

In quanto la ferrite delta scompare alla fine della reazione peritettica e non rappresenta nel complesso una fase di grande interesse per le applicazioni pratiche delle leghe ferro-carbonio, non essendo stabile a temperature al di sotto dei 1394 °C e per tenori di carbonio superiori allo 0.09 % (ferrite delta pura) o allo 0.17 % (ferrite delta + austenite). Inoltre l'intervallo di temperatura in cui sussiste la ferrite delta è al di fuori della zona di interesse delle trasformazioni allo stato solido, che determinano la struttura cristallina della lega ed il suo comportamento meccanico.

59. Che cos'è la cementite e per quali composizioni del diagramma Fe-C si forma?

La cementite è un composto interstiziale Fe_3C con contenuto di 6.67% in peso di carbonio. Si tratta di un solido fragile e molto duro. Nella forma secondaria la cementite è alternata a cristalli di austenite nella ledeburite (eutettico) tra i 712 ed i 1148 °C (oltre lo 0.77% di carbonio) oppure alternata a cristalli di ferrite nella perlite (eutettoide), praticamente per qualunque tenore di carbonio fino a 6.67%. Nella forma primaria invece si forma oltre il 4.3% di carbonio per separazione dal liquido, quindi a temperature superiori ai 1148 °C. Si ha anche una forma terziaria, ottenibile per opportuno raffreddamento di acciai a bassissimo tenore di carbonio a causa della diminuzione della solubilità del carbonio nella ferrite.

60. Che reazione chimica esprime l'equilibrio cementite-grafite? Qual è l'importanza pratica di tale equilibrio?

La reazione è quella di decomposizione della cementite $Fe_3C = 3Fe + C$, decomposizione che ha scarsa rilevanza fino all'eutettico (1148 °C) e viceversa avviene in prevalenza al di sopra di tale temperatura. Questo fa sì che ai fini pratici per temperature inferiori all'eutettico si possa considerare il diagramma ferro-cementite approssimandolo al diagramma ferro-carbonio reale (cioè ferro-grafite), anche in quanto le temperature delle

trasformazioni di fasi presenti hanno nei due casi differenze dell'ordine di qualche grado centigrado.

61. A cosa serve la curva dilatometrica negli acciai?

La curva dilatometrica rappresenta l'andamento delle dilatazioni in fase di riscaldamento e di raffreddamento fino a quella temperatura (per l'acciaio circa 1000 °C) che rappresenta il limite di utilizzo della lega.

Una prima importante informazione consiste nelle inversioni del comportamento dilatometrico, che avvengono in determinati punti critici. Questo significa che, posto che un metallo, riscaldato, normalmente si dilata e viceversa, raffreddato, si contrae, le zone di inversione possono essere dovute a delle trasformazioni che per completarsi assorbono calore (es. da ferrite ad austenite) in fase di riscaldamento, oppure ne sviluppano in fase di raffreddamento (es. da austenite eutettoide a ferrite+cementite). Di conseguenza le predette curve servono a stabilire le temperature che delimitano le varie zone del diagramma di stato per ogni tenore in carbonio dell'acciaio.

62. Qual è la differenza fondamentale, dal punto di vista delle strutture di equilibrio e non, tra le curve T-T-T originariamente tracciate da Bain e quelle verificate sperimentalmente in seguito ?

Bain riteneva che fosse possibile ottenere austenite, per quanto instabile, anche a temperatura ambiente, con un raffreddamento molto veloce, mentre è impossibile, in quanto il campo di formazione della martensite taglia completamente la curva T-T-T delle strutture perlitiche e bainitiche.

63. Volendo trasformare l'austenite in perlite, di quanto conviene far scendere la temperatura e perché?

Bisogna scendere fino circa ai 600°C dove si trova il "naso" della curva T-T-T e quindi dove è possibile trasformare rapidamente (meno di 1 minuto) l'austenite in perlite. Scendere meno di temperatura in particolare rende questa trasformazione praticamente impossibile per l'andamento delle curve perlite start (Ps) e perlite finish (Pf) che è quasi-asintotico rispetto all'isoterma dell'eutettoide.

64. Perché nel caso di un acciaio al carbonio non eutettico si considera la retta M90 e non la Mf?

La retta M90 è situata in corrispondenza di quella temperatura alla quale si è formato il 90% di martensite. Questo perché le due curve T-T-T di inizio e fine della trasformazione perlitica si spostano per l'acciaio non eutettoide molto a sinistra, sicché è difficile individuare una temperatura alla quale una struttura sia totalmente martensitica : per questo il campo della martensite viene chiuso dalla curva M90.

65. Qual è la caratteristica del diagramma T-T-T per gli acciai inossidabili martensitici ? L'austenite non si trasforma in ferrite, ma soltanto direttamente in perlite: manca cioè nel diagramma T-T-T il campo A+F (austenite+ferrite).

66. Cosa differenzia le curve anisoterme dalle curve T-T-T di Bain?

La presenza dell'interruzione della trasformazione, nel senso che le curve di inizio e fine trasformazione non sono continue, ma si interrompono ad una certa temperatura. La trasformazione riprende poi tra le due rette martensite start e finish.

67. Qual è il significato tecnico della velocità limite (o critica) superiore di raffreddamento?

Si tratta della velocità minima e quindi del tempo massimo di trasformazione che consente di portare l'austenite direttamente a martensite senza passaggi attraverso zone perlitiche e bainitiche. Ha anche un'influenza (corrispondenza inversa) con la temprabilità.

In generale avere degli elementi di alligazione per l'acciaio sposta le curve T-T-T verso destra, mentre l'alligazione con cobalto le sposta verso sinistra. Inoltre il cobalto fa aumentare e non diminuire, come gli altri elementi di lega, la temperatura di inizio della trasformazione martensitica Ms.

Queste norme permettono di assicurare un raffreddamento costante e quindi di mettere in relazione le caratteristiche del raffreddamento della lega, misurato in ogni punto del provino, con la temprabilità, in quanto le caratteristiche di raffreddamento dipendono dalla durezza.

68. Che cosa si intende per "colonie" nella perlite ?

La perlite, essendo l'eutettoide del sistema Fe- Fe₃C (ferrite-cementite) è costituita da insiemi di lamelle alternate di questi due componenti, detti colonie, il che la differenzia notevolmente dalla struttura dell'austenite (eterogenea per concentrazione di sforzi e/o per segregazione di elementi di lega) e della ferrite (omogenea- anche perchè- solitamente stabile solo con pochissimo carbonio- e con grano notevolmente più fine dell'austenite).

69. Spiegare l'influenza della velocità di raffreddamento sulla granulometria della perlite ottenuta.

Aumentando la velocità di raffreddamento, la trasformazione inizia ad una temperatura inferiore. Di conseguenza diminuisce la velocità di diffusione del carbonio; tuttavia, trovandosi in condizioni di sottoraffreddamento la nucleazione è più facile e quindi la trasformazione è più veloce e la granulometria più fine.

70. Qual è la struttura bainitica e le eventuali differenze di struttura tra la bainite superiore e quella inferiore?

La bainite, pur essendo un aggregato di ferrite e cementite, con la presenza quindi di carburi di ferro, se confrontata con la struttura perlitica, si avvicina più alla struttura aciculare (ad aghi) che a quella lamellare, perchè la temperatura più bassa favorisce la formazione di nuovi nuclei piuttosto che il loro accrescimento, sicchè i cristalli restano piuttosto piccoli ed i carburi di ferro molto frazionati. Delle due bainiti è l'inferiore che presenta questo fenomeno in modo ancora più accentuato. Notare che i carburi di ferro sono riconoscibili dalla caratteristica orientazione di 60° rispetto alle placchette di ferro alfa.

71. Come si modifica la forma del cristallo in una trasformazione austenite-martensite?

Se l'austenite viene trasformata a ferrite, modificando così il cristallo da c.f.c. a c.c.c., con un rapido raffreddamento, il carbonio, che è molto meno solubile nella nuova struttura, rimane intrappolato nel cristallo, formando un composto interstiziale. Questo viene

permesso dal diametro atomico molto diverso tra gli atomi di ferro e quelli di carbonio. Per effetto della presenza di questi atomi di carbonio in posizione interstiziale, il cristallo prende ad assumere una forma parallelepipedica a base quadrata, distorcendosi per effetto sia dell'aumento del parametro reticolare c (altezza del prisma) che, più moderatamente, per effetto della riduzione del parametro reticolare a (lato della base del prisma) in dipendenza dal tenore in carbonio contenuto nella struttura di partenza. Statisticamente le posizioni più probabili per gli atomi di carbonio sono a metà di ogni spigolo del parallelepipedo ed al centro delle sue facce, posizioni queste che sono rimaste libere nel passaggio da c.f.c. a c.c.c.

72. Fenomeni osservabili durante il rinvenimento a seconda della temperatura.

Perché un rinvenimento serva allo scopo per cui viene fatto, cioè la riduzione della durezza della struttura martensitica, bisogna superare i 300°C circa. Questo perché, rimanendo al di sotto di questa temperatura, si osserva la decomposizione dell'austenite residua e la precipitazione dei carburi, ma le particelle di cementite che si aggregano sono troppo fini per permettere una considerevole riduzione della durezza. Al crescere della temperatura invece queste particelle di Fe_3C aumentano notevolmente di dimensione e la durezza diminuisce. Questo di regola: va notato tuttavia che in acciai legati con altri elementi (p.es. il cromo od il vanadio), allo scopo di permetterne un uso per taglio, precipitano dei carburi di questi elementi leganti, con l'effetto che si conserva sia la durezza che l'austenite residua fino ad alta temperatura.

73. Come si forma la martensite?

Passando da una struttura c.f.c. ad una c.c.c., con un rapido raffreddamento, il carbonio, che è molto meno solubile nella nuova struttura, rimane intrappolato nel cristallo, formando un composto interstiziale. Questo viene permesso dal diametro atomico molto diverso tra gli atomi di ferro e quelli di carbonio. Per effetto della presenza di questi atomi di carbonio in posizione interstiziale, il cristallo martensitico prende ad assumere una forma parallelepipedica a base quadrata, distorcendosi per effetto sia dell'aumento del parametro reticolare c (altezza del prisma) che, più moderatamente, per effetto della riduzione del parametro reticolare a (lato della base del prisma) in dipendenza dal tenore in carbonio contenuto nella struttura di partenza.

74. In che cosa una ricottura eseguita industrialmente si distingue da una ricottura completa ?

La ricottura completa comporta un riscaldamento al di sopra della temperatura A_3 in modo da avere una struttura austenitica, ed inoltre un mantenimento alla stessa temperatura in modo da completare - se termodinamicamente possibile - il conseguimento di una struttura di questo tipo. Lo scopo della ricottura non è tuttavia solo questo, volendosi anche eliminare gli stati di tensione interni dovuti a lavorazioni precedenti dell'acciaio. Si raffredda poi in condizioni di quasi-equilibrio, ottenendo una struttura che presenta una granulometria molto grossolana, sì da risultare difficilmente lavorabile per asportazione di truciolo. Industrialmente si preferisce dividere questo raffreddamento in due fasi distinte, intervallate da un mantenimento a temperatura costante. Il primo raffreddamento rende l'austenite instabile, poi si forma la ferrite ed infine anche la cementite col mantenimento a temperatura costante. Non appena l'austenite scompare, si raffredda ulteriormente completando il processo.

75. Come si cambia la struttura se dopo la ricottura la si fa raffreddare in aria anziché in forno ?

Si ha una grana molto fine e regolare, e le proprietà del metallo (modulo elastico, carico di rottura, durezza) sono molto maggiori. Si parla in questo caso di normalizzazione del pezzo.

76. Perché nell'austempering non ha importanza né la velocità né altre caratteristiche del raffreddamento finale fino a temperatura ambiente?

Scopo dell'austempering è l'ottenimento di una struttura solo bainitica (cioè della scomparsa totale della martensite). Il raffreddamento inizia, in questo tipo di tempra, quando la struttura che potrebbe portare a martensite nel raffreddamento è già scomparsa, cioè quando si è ormai entrati nel campo ferrite + cementite. Non è possibile quindi a questo punto raffreddando riottenere la martensite, ed il trattamento può considerarsi già concluso. Basta tornare a temperatura ambiente col raffreddamento meno costoso.

77. Cosa accade nel caso di una tempra con raffreddamento a velocità superiore alla velocità critica?

Un raffreddamento così veloce, necessario per ottenere la struttura martensitica anche a bassa temperatura, impedisce tuttavia di raggiungere una efficace diffusione della struttura martensitica dalla superficie al cuore del pezzo. Questo fatto, trattandosi della formazione di un composto interstiziale che quindi genera un aumento di volume del pezzo, produce cricche sul pezzo stesso. A questo si cerca di ovviare in primo luogo scegliendo accuratamente il tipo di materiale da temprare, che deve garantire una sufficiente penetrazione della tempra, che viene misurata sperimentalmente col metodo Jominy. Gli effetti della tempra, ove eccessivi (nel senso per esempio di una grande fragilità), vengono poi corretti col rinvenimento.

78. Che cosa rappresenta il parametro di rinvenimento?

Il rinvenimento può permettere alla lega di assumere le proprietà fisiche (durezza, carico di rottura, modulo elastico) desiderate, opportunamente decidendo per che durata effettuarlo ed inoltre fino a che temperatura spingerlo. Questa combinazione durata-temperatura può essere espressa in un unico parametro P, che va successivamente rapportato ad una misura di durezza (spesso una durezza Rockwell).

79. Che cosa si intende per ricottura pendolare?

Con questo aggettivo si indica l'oscillazione che si compie intorno alla temperatura Ac1 per un certo tempo. Tale oscillazione, seguita da un lento raffreddamento, permette il fenomeno della coalescenza, vale a dire fa dapprima aumentare in modo selettivo la dimensione dei globuli, permette in seguito una sostanziale agglomerazione delle fasi disperse (p.es. la cementite) nell'acciaio.

80. Come si può regolare la profondità di penetrazione della tempra col metodo ad induzione?

Regolando opportunamente la potenza della bobina inducente la forza elettromotrice ed anche l'intervallo di tempo durante il quale tale potenza viene applicata.

81. Perché nel caso degli acciai austenitici il termine di "tempra" può considerarsi improprio?

Lo scopo di una tempra è quello di ottenere una struttura totalmente martensitica a temperatura ambiente con un rapido raffreddamento di una struttura totalmente austenitizzata in quanto mantenuta per lungo tempo al di sopra del punto critico T_{c3} . La tempra austenitica è un termine improprio perché applicata ad acciai che, avendo una temperatura M_s al di sotto della temperatura ambiente, anche dopo il raffreddamento non saranno mai totalmente martensitici.

82. Quali sono i fattori che influenzano la durezza di un duralluminio?

I durallumini sono leghe di alluminio con un 3% circa di rame, in ogni caso con meno del 5.65% di rame. Per questa concentrazione infatti scompare la fase θ pura. Si ottengono con un rapido raffreddamento che permette la permanenza di particelle disperse della fase θ nella fase α . La loro durezza è inversamente proporzionale alla dimensione delle particelle disperse; inoltre dipende dalla temperatura di ricottura (permanenza a temperatura inferiore a t_1) ed in sostanza dalla quantità del composto intermetallico Al_2Cu .

83. Qual è lo scopo della cementazione?

Ottenere in superficie e fino ad una certa profondità una lega ferro-carbonio: serve in sostanza quando si ha un acciaio a bassissimo tenore di carbonio a cui si vuole conferire superficialmente le proprietà di una lega a molto maggiore tenore di carbonio, conservando tuttavia in profondità le possibilità di duttilità e di allungamento proprie di un acciaio dolce.

84. Quali sono le conseguenze sul processo di cementazione del fatto che esso sia dominato da un fattore di diffusione ?

Questo limita prima di tutto le possibilità di effettuare cementazione al di sotto dell'eutettico. Inoltre la velocità di diffusione decresce all'aumentare della concentrazione di carbonio in superficie.

85. Cosa si intende per spessore efficace della cementazione di un pezzo?

La nozione di spessore efficace serve a render conto della validità del trattamento di cementazione. Si tratta dello spessore che nel materiale risulta avere una durezza superiore ad un certo valore (50 HRC; durezza Rockwell C). Lo spessore efficace è molto inferiore allo spessore totale cementato e questa precauzione è dovuta al fatto di considerare solo uno strato sicuramente influenzato dalla cementazione.

86. Quale può essere la percentuale massima di azoto nello stato nitrurato di un acciaio ?

Non più del 4% per non giungere alla formazione della fase δ del sistema binario ferro-azoto. Tale fase induce fragilità nel pezzo riducendone la durezza rispetto allo stesso nitrato di ferro.

87. Confrontare un acciaio nitrurato ed uno cementato con riguardo allo spessore del trattamento superficiale, e riflettere sulle conseguenze della differenza osservata.

Lo strato nitrurato è solitamente di spessore tre-quattro volte inferiore a quello cementato, perché la temperatura di trattamento, molto inferiore (circa 500-550 °C contro 850-950 °C).

C) e quindi la diffusione è minore. La durezza però conseguibile è maggiore perchè la durata del trattamento è molto più lunga (fino a 50 ore nella nitrurazione contro 2-3 ore nella cementazione).

Lo spessore e quindi il tempo di trattamento è limitato nella cementazione dalla possibilità, non sempre auspicata, di ottenere concentrazioni di carbonio maggiori dell'eutettoide (0.77%) alla superficie. Questo provocherebbe la formazione di una cementazione irregolare con cementite al bordo grano.

88. In che cosa consiste il metodo della scintilla negli acciai ?

Serve a determinare il tenore di carbonio e di altri eventuali elementi di lega in un acciaio in cui queste caratteristiche siano ignote. Si pone un provino di acciaio a contatto con una mola di che ruoti ad una velocità sufficiente a provocare scintille. Il contatto produrrà scintille di colore, altezza e consistenza diversa a seconda della presenza o meno di un certo componente e del tenore di carbonio.

89. In un fenomeno di esposizione all'aria di acciaio si nota un aumento di peso del pezzo. Che cosa indica tale fenomeno?

La formazione di uno strato di ossido aderente e protettivo, che quindi non è soggetto a sfogliarsi. Si può parlare in questo caso di ossidazione, ma non di corrosione vera e propria, in quanto con il termine "corrosione" si sottintende la presenza di un danneggiamento che conduca a lungo andare ad una perdita di funzionalità del pezzo.

90. Quali sono i fattori che influenzano la validità del risultato di una prova di trazione su di un provino metallico qualunque?

In partenza bisogna disporre di un sistema di misura sufficientemente preciso, in funzione dell'errore percentuale ammissibile per la misura (spesso non superiore all'1%). Bisogna inoltre che il provino sia stato tagliato da zona non visivamente difettata della lamiera (assenza di corrosione, assenza di deformazioni preferenziali per piegatura della lamiera, p.es.) e che risponda alle tolleranze metrologiche imposte dalla norma o dalle necessità sperimentali sul provino stesso. Il provino deve essere inoltre rappresentativo, deve provenire cioè da una zona che rappresenti una buona approssimazione della composizione media della lega in oggetto.

Passando all'esecuzione della prova bisogna verificare inoltre: l'allineamento del provino con le ganasce della macchina (e più in generale la corretta disposizione dello stesso, con riferimento p.es. alla permanenza del tratto del quale si misura la deformazione in zona assai lontana dalle ganasce stesse).

Va infine accertata la costanza di talune condizioni fisiche di esecuzione della prova (temperatura, pressione di serraggio).

91. Che differenza c'è tra l'elasticità di un provino e la sua proporzionalità?

L'elasticità è la proprietà di recuperare totalmente le deformazioni applicate. Ai fini pratici è difficile, se non impossibile, attestare l'assoluta assenza di deformazione plastica (e quindi il ritorno elastico ideale). Per questo, dato che lo scopo è in realtà quello di misurare quale possa essere il carico massimo al quale sia possibile l'utilizzo del materiale, si considera in campo di proporzionalità un materiale per il quale si abbia un rapporto lineare tra carico e deformazione e che non abbia superato una certa percentuale di deformazione non recuperabile (di solito per l'acciaio lo 0.2%). Dal carico massimo al

quale queste due condizioni sono verificate (limite di proporzionalità) utilizzando un certo coefficiente di sicurezza, si determina il carico massimo di utilizzo del materiale.

92. Perché in molti materiali il carico massimo reale non viene raggiunto in corrispondenza della rottura ?

Nei materiali che presentano una lunga fase di allungamento non elastico (deformazione di molto superiore allo 0.2%) si ha, dopo il raggiungimento del carico massimo, una strizione, cioè una riduzione della sezione in un punto caratteristico, spesso tipicamente intorno alla mezzeria del provino.

In questo caso, se si misura il carico massimo tenendo costante la sezione ed uguale alla sezione di partenza, esso continua apparentemente a salire, ma soltanto per l'effetto della strizione. Se infatti si tiene conto della riduzione della sezione nel misurare lo sforzo applicato Forza/Sezione, si vede che esso tende a scendere.

93. Cosa si intende per rottura prematura, e perché in molti casi è un dato che va scartato dall'analisi dei risultati?

Tutti i valori, p.es., di resistenza meccanica ottenuti, si trovano entro un certo intervallo da un valore medio. Questo intervallo, oltre che la percentuale dei provini che ricadono al suo interno, dà un'indicazione della dispersione del dato ottenuto. Un provino che è soggetto ad una rottura prematura si trova al di fuori da questo intervallo, che dipende dal materiale testato. Esso va scartato in tutti i casi nei quali si è sicuri della ripetibilità della prova, vale a dire che le condizioni di prova sono le stesse adottate per tutti gli altri provini.

Può tuttavia, sempre naturalmente se le condizioni di prova sono state rispettate, fornire un'utile indicazione della presenza di difetti, p.es. dovuti al taglio del provino od alla sua posizione nella lamiera tagliata (presenza di disomogeneità, inclusioni), come anche al non rispetto, in quel caso di determinate tolleranze dimensionali, che inducono differenti ripartizioni delle tensioni o mancanza di assialità.

94. Se si ha isteresi in una prova di trazione, quale ne è la conseguenza in termini fisici ed energetici?

Caricando un materiale fino ad imprimere su di esso una certa forza e poi scaricandolo, può darsi che si abbia una discesa del carico secondo una curva più bassa rispetto all'asse delle ascisse. Siccome l'area delimitata dalla curva F-delta e l'area rappresentata il lavoro fatto durante la prova di trazione, lo scarico secondo la curva inferiore significa che parte dell'energia spesa nella trazione non viene recuperata nello scarico, ma immagazzinata nel materiale. In parole povere il materiale consente un recupero dell'energia di deformazione. Un'isteresi che vada al di là di un fenomeno occasionale e di entità modesta (che superi insomma qualche per cento) è connessa a modificazioni strutturali del materiale che siano intervenute per effetto della trazione (p.es. parziale o completa trasformazione di fase) ed è caratteristica p.es. di alcune leghe nichel - titanio (si tratta del cosiddetto effetto di memoria di forma).

95. Perché le prove di compressione si eseguono su campioni il cui diametro è all'incirca uguale alla loro altezza e non molto inferiore come nei provini cilindrici per prova di trazione?

Il motivo risiede nella necessità di applicare uno sforzo di compressione pura perfettamente centrato sulla sezione del provino, e non uno sforzo con componenti di taglio non trascurabili. Per questo si preferisce spesso applicare la compressione per mezzo di piatti il cui diametro è molte volte superiore al diametro stesso dei provini. La non trascurabilità del taglio provoca inoltre, oltre a falsare i valori di carico compressivo, l'inflessione di provini stessi, specie nel caso in cui essi siano di forma allungata.

Va notato peraltro che nella compressione interessa soltanto il tratto lineare dello schiacciamento, non essendovi al di là del limite elastico a compressione nessuna possibile ripetibilità dei dati meccanici ottenuti. Non avrebbe senso quindi scegliere dei provini più lunghi che a trazione consentono invece una più facile misura dell'allungamento su distanze fisicamente maggiori.

96. Qual è l'obiettivo della prova di scorrimento a caldo?

Determinare la modificazione delle proprietà meccaniche di un materiale ad una certa temperatura, vale a dire l'allungamento ottenuto applicando un carico costante di trazione ad una temperatura costante. Si ricava di solito una serie di curve allungamento-tempo, costituita da curve a diversi livelli di sforzo, spesso per confronto riportate sullo stesso diagramma. Si provoca inoltre, oltre a falsare i valori di carico compressivo, l'inflessione di provini stessi, specie nel caso in cui essi siano di forma allungata.

97. Quali sono le principali differenze tra la misura della durezza Brinell e quella Vickers e qual è il loro rispettivo significato ?

Nella prova di durezza Brinell si usa una sfera d'acciaio, mentre quella della durezza Vickers viene effettuata con un punzone di diamante, con la forma di una piramide retta a base quadrata.

La misura della durezza Vickers, oltre a convenire meglio su materiali molto duri, è indipendente dal carico, a differenza di quella della durezza Brinell. E' tuttavia più costosa in termini di finitura superficiale: inoltre, fornendo impronte molto piccole, richiede l'impiego contemporaneo di un microscopio. Va notato inoltre, a parziale vantaggio della durezza Brinell, che essa consente una misura empirica, ma abbastanza attendibile, della resistenza meccanica.

98. Spiegare il principio fisico della prova del pendolo Charpy.

La prova col pendolo Charpy permette una misura indicativa della resilienza (resistenza ad impatto) in base alla parte di energia assorbita dal provino intagliato di quella somministrata col colpo del pendolo. La prova viene effettuata tenendo l'intaglio nella parte inferiore non impattata, in modo da minimizzare l'effetto dell'intaglio sul modo di rottura, ma di comprenderne l'effetto sull'energia di rottura. Nel caso dei materiali compositi le prove Charpy si effettuano solitamente su provini non intagliati, data la minore resistenza ad impatto del materiale.

99. Pregi e difetti della misura Rockwell della durezza.

Si tratta di una misura della durezza convenzionale, misurata valutando la variazione rispetto ad un numero fisso della penetrazione di una sfera al variare del carico applicativi.

Rispetto ai metodi precedenti, di cui esso vuol costituire una sintesi, avvicinando il suo penetratore a quello Vickers per materiali molto duri ed a quello Brinell per materiali

meno duri, ha il vantaggio di essere veloce ed indicizzato, permettendo rapidi confronti tra la durezza di diversi materiali così misurata. Non permette tuttavia confronti con gli altri metodi di prova della durezza nè tanto meno con valori di resistenza meccanica.

100. Cos'è il rapporto b/a nelle provette per misura d'urto (pendolo Charpy) e quale influenza ha sulla predetta misura?

Si tratta del rapporto tra la larghezza b e l'altezza a della sezione variabile della provetta. Al di sopra di un certo rapporto b/a le provette si rompono con frattura fragile. In realtà questa è soltanto una conseguenza del fatto che la forma della provetta influenza la resistenza, perchè si ha una transizione tra i due stati di rottura tenace e di rottura fragile, e solo la presenza di una casistica rilevante può far ritenere il rapporto b/a da noi utilizzato al di fuori del rischio di rottura fragile.

101. Come si giustifica la variazione del valore in J della resilienza con la temperatura dal punto di vista della meccanica della frattura ?

Diminuendo la temperatura al di sotto di un certo valore, spesso inferiore alla temperatura ambiente, si ha un calo del valore della resilienza quasi allo zero, anche se con diversa enfasi in funzione del tipo di intaglio predisposto.

Si ha quindi comparsa della frattura fragile al di sotto della temperatura di transizione, questo vuol dire che la frattura avviene ora non più per scorrimento dei piani (quindi con notevole deformazione), ma per semplice separazione, quindi senza deformazione, e con aspetto cristallino.

Non è molto frequente che la temperatura di transizione assuma un valore netto e distinguibile, spesso avviene invece che la rottura passi da tenace a fragile all'interno di un ampio intervallo di transizione. Questo fa sì che spesso si preferisca assumere ai fini pratici la temperatura di transizione come quel valore nel quale il 50% delle rotture avvenga con modalità fragile.

102. Cosa indica il limite di fatica?

Per limite di fatica si intende il massimo sforzo al quale è possibile sollecitare un metallo senza produrne la rottura per fatica. Tale limite, mostrato chiaramente dall'acciaio e con minore evidenza invece dall'alluminio o dal rame, tende a sparire nel caso di corrosione. Nella pratica si intende che una provetta d'acciaio debba essere ancora intatta dopo 10^7 cicli, mentre una di lega leggera lo debba essere dopo 10^8 cicli.

103. Caratteristiche del diagramma degli intervalli limiti di fatica per le ghise.

La caratteristica fondamentale di tale diagramma risiede nella sua area limitata a trazione alla quale corrisponde un'area molto più grande nella zona di compressione, il che indica asimmetria di comportamento e consiglia impieghi prevalenti per getti ed in condizioni in cui si richiede scarso allungamento.

104. Perché è difficile prevedere una rottura a fatica ?

Perché avviene di schianto, cioè improvvisamente, e pur considerando la presenza di limiti di fatica, a valori di sollecitazione spesso abbastanza modesti. Il limite di fatica è ridotto poi, fino al limite di azzerarsi, in conseguenza di anomalie strutturali o corrosive o di zone di intensificazione degli sforzi.

105. Quali sono i parametri da considerare nella prova di piegamento ?

L'allungamento delle fibre esterne valutato dal coefficiente di piegamento ottenuto dall'incremento dell'angolo alfa fino a rottura, dipende pesantemente dalla forma del provino e dal diametro dei rulli. Si intende peraltro come controllo di fine processo oppure come controllo iniziale della duttilità della barretta.

106. Qual è il fenomeno che provoca l'interruzione della prova di torsione ?

Dopo un certo numero di cicli di torsione, effettuandosi tale prova su materiali incruditi (es. funi d'acciaio per funivie), la deformazione si localizza su un tratto molto breve. In quel momento la prova viene bloccata, perchè si è posto così un termine al tratto elastico, ed inoltre, in quanto la prova non ha più senso come validazione del singolo campione, perchè le differenze tenderebbero nel prosieguo ad annullarsi.

107. Cosa rappresenta il fattore di riduzione eta nel limite di fatica termica ?

Il fattore di riduzione eta rappresenta il rapporto tra il limite di fatica teorico e quello praticamente ottenuto, a causa della finitura superficiale del pezzo, che incide sulle sue possibilità di corrosione, ma anche per effetto dell'applicazione di carichi imprevisi, p.es. vibratori, che possono ridurre ancora il limite di fatica.

Nella pratica, non essendo facile la determinazione di tale fattore di riduzione, si opera applicando un coefficiente di sicurezza che ne tenga conto. Questo ha indotto anche tuttavia una certa svalutazione del limite di fatica, introducendo altre misure sul pezzo (rugosità, durezza, controllo della colata, ecc.).

108. Come vengono scelte le provette per una prova di trazione?

Le variabili reali di cui va tenuto conto per l'affidabilità del risultato della prova consistono specialmente nel limitare le irregolarità nella composizione dei provini (difetti superficiali, intagli, inclusioni) conseguenti alla parte della lega utilizzata e/o alla sua lavorazione o taglio.

Di per sè nel caso di metalli, la temperatura di prova e la velocità di trazione non cambiano i risultati della prova: questo non è vero tuttavia per quanto riguarda la pressione di serraggio del provino nelle ganasce, nè tanto meno per l'insufficiente lunghezza del tratto utile, che possono essere causa di rotture premature.

109. Quali sono i fattori che consigliano di limitare il valore massimo della resilienza di un pezzo?

A parte considerazioni di economicità dell'acciaio utilizzato, nel caso in cui non sia previsto un impiego in costruzioni saldate od a temperature molto basse, le rotture per fragilità sono tanto rare da non giustificare un'enfasi sulla maggiore resilienza rispetto al limite di fatica.

Questo potrebbe anzi essere controproducente per la lavorabilità del pezzo (ed inoltre va notato che per incrementare le proprietà a fatica si ha spesso una necessità di incremento della resistenza piuttosto che della resilienza).

110. Cosa può essere evidenziato dagli esami metallografici?

Si evidenziano innanzitutto le inclusioni non metalliche (p.es. solfuri), poi ci si addentra nella struttura del metallo, rilevandone la dimensione dei grani e l'eventuale loro

accrescimento irregolare, che può aversi in conseguenza di differenze locali di temperatura e diverso grado di priorità nella solidificazione (dendriti).

Infine possono notarsi le zone deformate od incrudite ed i fenomeni di bordo grano, come le precipitazioni ed i carburi.

111. Come si effettua una macrografia?

Bisogna preparare una superficie lucidata a specchio con smerigliatura molto fine, e predisporre l'attacco con adatte soluzioni acide o basiche.

Avviene poi un'osservazione a debole ingrandimento (non superiore ai 20x). In altri casi è possibile invece un attacco teso ad evidenziare l'impronta del pezzo in conseguenza della presenza di inclusioni, segregazioni ecc., con formazione di prodotti di reazione, oppure la deposizione di sostanze i cui ioni metallici hanno una diversa tensione di soluzione rispetto a quelli contenuti nella lega.

112. Fasi di un esame di microscopia ottica su provini cristallografici.

I campioni vanno accuratamente tagliati e lavorati per non indurre informazioni sbagliate sulla sua deformazione e processi di riscaldamento con modificazioni: per evitare errori di misura lo si può montare in modo adatto; vanno poi smerigliati e lucidati con dischi rotanti ricoperti di pasta diamantata, od elettroliticamente, si passa poi all'attacco ed al successivo lavaggio ed asciugatura.

Per quanto riguarda l'esame, va osservato che si può avere un effetto bassorilievo (asportazione selettiva) oppure un effetto di diversa colorazione, a seconda del reagente.

113. Come agisce l'acido picrico sulle ghise grigie?

Permette di distinguere le zone lamellari della grafite dalle zone perlitiche ed inoltre evidenzia la granulometria, oltre che le possibili inclusioni di silicati, ecc.

114. Qual è la differenza tra il meccanismo di funzionamento del microscopio a scansione e quello a trasmissione elettronica?

Il microscopio a trasmissione elettronica (TEM) si basa sull'accelerazione di un fascio di elettroni attraverso il pezzo da osservare: grazie alla focalizzazione, si ingrandisce fortemente l'immagine del campione. Per poterlo osservare, il campione va dapprima assottigliato, e le zone assottigliate vanno prelevate per osservazione, oppure replicate.

Nel caso invece della scansione elettronica (SEM) il fascio elettronico viene focalizzato su un punto tramite delle lenti, e può essere fatto spostare su un'area del pezzo seguendo un percorso. Parte dell'energia viene perduta nel passare sul pezzo, e viene respinta indietro, permettendo con la ionizzazione degli strati esterni di individuare la composizione chimica di parti del pezzo.

115. Cosa si intende per "replica"?

Si tratta di un campione lucidato, prima meccanicamente e poi elettroliticamente, realizzando un calco con sostanze plastiche, e poi evaporandovi un ulteriore strato di carbone o di metallo. Si possono invece creare delle repliche ossidate in adatti metalli a basso potenziale (Al, Mg) e poi osservarne l'ossido, oppure si può dissolvere elettroliticamente il carbone ed estrarre i precipitati superficiali.

116. Quali sono i principali metodi di controllo non distruttivo e quali sono le loro rispettive possibilità sui metalli ?

Controlli radiografici e gammagrafici, specie per difetti superiori all'1-2 % dello spessore del pezzo (inclusioni pi— che cricche); metodi ultrasonori (maggior definizione, specie per fessure perpendicolari al fascio di onde, ed assenza di limiti di spessore per l'analisi: anche per lamiere spesse oltre i 100 mm); liquidi penetranti (difetti superficiali e comunque accessibili); magnetoscopia (difetti trasversali alle linee di forza, senza riguardo per la loro natura, basta che non siano a profondità superiori ai 20 mm).

117. Parametri di annerimento della lastra nelle radiografie (raggi X).

Corrente anodica in mA e tensione in kV, distanza tra la pellicola e la sorgente di raggi X (tubo di Coolidge), tempo di esposizione. Inoltre: tipo di sviluppatore, processo di sviluppo, lastre, ecc.

118. Come funziona una sonda ultrasonora trasmettente-ricevente?

Il segnale elettrico viene trasformato in una vibrazione meccanica trasmessa dal piezoelettrico al pezzo in esame e ritrasmessa da questo alla sonda. L'ampiezza del segnale dato è irrilevante poiché viene presa casualmente e non come spessore del pezzo.

119. Come si effettua nella pratica il controllo ultrasonoro sullo spessore di un pezzo (pulse-echo)?

Si individua l'eco corrispondente alla superficie del pezzo e quello corrispondente alla parete opposta (eco di fondo). Si individuano poi altri eventuali echi (che possono essere i difetti) e la loro ampiezza relativa. Se ne vede poi l'estensione attraverso una scansione della superficie con braccio meccanico e motore passo-passo.

120. Come si rileva una discontinuità con un controllo magnetoscopico ?

Si induce nel materiale un campo magnetico e si spruzza una polvere fluorescente tale da dare un buon contrasto con il colore del pezzo (o una sospensione di polvere magnetica). Si osserva poi al buio con la lampada di Wood la disposizione della polvere secondo le linee di forza del campo magnetico in cui ci sono distorsioni eventuali in conseguenza di difetti.

121. Come funziona il sistema magnatest?

Si hanno due solenoidi collegati in serie: uno, su cui è alloggiato il campione, serve per la taratura; l'altro viene caricato volta per volta col pezzo in osservazione.

Il principio è la differenza di permeabilità magnetica tra i due pezzi, che essendo sensibilmente uguali chimicamente, fisicamente e dimensionalmente, può essere dovuta solo alla presenza di difettosità, il che può essere poi messo in relazione con proprietà meccaniche o tecnologiche (es. durezza).

122. Cosa si intende per sviluppatore in un controllo con liquidi penetranti?

Lo sviluppatore permette di desorbire il liquido penetrante in eccesso che è stato assorbito nei difetti, in modo da renderlo visibile alla superficie, evidenziando ed allargando la forma dei difetti. Si possono utilizzare anche liquidi fluorescenti che producono tracce di colore giallo o giallo-verde, poi osservate con lampade di Wood.

123. Differenze termodinamiche tra le vacanze reticolari e le dislocazioni.

Le vacanze reticolari sono in equilibrio termodinamico ed il loro numero non varia in funzione delle condizioni fisiche del metallo (es. temperatura, sollecitazione) che per quanto imposto da tale equilibrio.

Invece le dislocazioni, non essendo in equilibrio termodinamico, oltre ad incrementare il contenuto energetico del sistema, risentono delle singole condizioni del pezzo e non hanno necessariamente una stretta dipendenza dalla temperatura.

124. Cos'è il danneggiamento per idrogeno?

Gli atomi di idrogeno, date le loro piccolissime dimensioni, creano degli interstiziali nell'acciaio, provocando delle forti tensioni all'interno del metallo. Formano cioè delle microcricche ai bordi dei grani, che tendono a fessurarsi progressivamente con formazione di bolle (blistering) per effetto della forte pressione interna (a volte maggiore della coesione del metallo). In questo caso si aprono delle vere e proprie bolle con soluzione di continuità. In effetti la misura più sensata risulta quella di ridurre il contenuto di idrogeno durante la lavorazione, specialmente all'interno dell'acciaio. Il problema è che l'idrogeno può essere generato non soltanto dall'elettrolisi, ma anche da fenomeni connessi al forno ed alla colata.

Notare a questo proposito che il danneggiamento da idrogeno è un vero e proprio infragilimento che avviene senza deformazione alcuna.

125. A quali fenomeni possono essere dovute le tensioni residue in un pezzo metallico ?

Sono dovute ad effetti di lavorazione o di taglio od a difetti di fusione sia in getto che in conchiglia, ecc. , oppure a particolari procedimenti come la laminazione o l'imbutitura. La giunzione di pezzi metallici tra loro (saldatura, rivettatura, chiodatura, bullonatura) è inoltre causa di formazione di zone particolarmente sollecitate e con presenza di tensioni residue, oltre che innesco di possibili fenomeni di degradazione della struttura (notare, p.es., come i fori da chiodatura accrescano gli sforzi nell'area circostante).

126. Come si fa ad evitare il maggior numero possibile di rotture di fatica in un pezzo?

Si parte - oltre che evidentemente da un'accurata valutazione della lega da usare- dalla scelta di una forma del pezzo che eviti per quanto possibile gli interstizi, i raccordi bruschi, e che tenga conto anche delle vibrazioni di ogni parte. Si passa poi ad un controllo sul semilavorato che scarti i pezzi con difetti non tollerabili e si prosegue infine durante il servizio con frequenti controlli non distruttivi dei difetti esistenti (non soltanto rilevazione, ma controllo della loro attività e propagazione).

127. Distinguere tra un approccio Safe Life ed uno Fail Safe.

L'approccio Safe Life consiste nella progettazione a fatica del componente in modo tale che esso non abbia problemi in questo senso per un tempo molto più lungo della sua vita di servizio (es. rotore turbina). Ciò avviene spesso perchè il blocco dell'impianto e gli eventuali controlli sarebbero, oltre che molto onerosi, al di fuori delle logiche di conduzione, provocando quindi una reazione negativa in tutto il sistema (pensare alle conseguenze del blocco di una turbina di una centrale elettrica). Certo per un approccio del genere occorre essere in grado di predire con un altissimo grado di probabilità il

numero di cicli a rottura dell'impianto, il che è spesso possibile, per motivi di riproducibilità della prova, nel caso di sollecitazioni ad alta frequenza.

Con sollecitazioni viceversa di più bassa frequenza, non disgiunte da periodi di arresto (es. carlinga aereo e sollecitazioni ambientali) si preferisce ricorrere invece alla procedura Fail Safe (controllo della presenza dei difetti e monitoraggio non distruttivo dei difetti eventualmente presenti a scadenze fisse).

128. Spiegare il significato della legge di Paris.

La legge di Paris mette in relazione la velocità di propagazione della cricca durante la prova di fatica (l'aumento della sua dimensione caratteristica a in funzione dei cicli) con la variazione del fattore di intensificazione degli sforzi (ΔK), quindi approssimando la meccanica della frattura del materiale (la sua intima struttura) con il suo comportamento a fatica. Tale legge vale solo in un intervallo di valori di (ΔK), ma è comunque un tentativo di approssimare la soluzione del problema della fatica in termini di microstruttura del materiale, cioè in pratica verificare la transizione del materiale alla frattura fragile (di schianto) in relazione al ciclaggio raggiunto.

129. Che differenza c'è tra incrudimento superficiale ed indurimento chimico-fisico ?

L'indurimento superficiale viene ottenuto meccanicamente (es. pallinatura) ed ha influenza solo sul livellamento delle asperità esterne, non andando in profondità, come invece avviene nel caso dei trattamenti chimico-fisici. In questo caso invece si forma un vero e proprio strato di una certa profondità dipendente dalla durata e dall'intensità del trattamento (es. nitrurazione). egge vale solo in un intervallo di valori di (ΔK), ma è comunque un tentativo di approssimare la soluzione del problema della fatica in termini di microstruttura del materiale, cioè in pratica verificare la transizione del materiale alla frattura fragile (di schianto) in relazione al ciclaggio raggiunto.

130. In che senso sono significativi i casi di rottura per fatica ed il relativo studio di tali casi (il c.d. case study)?

Nel caso della fatica lo studio dei casi permette, rilevando innanzitutto la causa fisica (solitamente legata a condizioni climatiche o meteorologiche, ma a volte semplicemente individuabile all'assoggettamento per un certo tempo a determinate condizioni fisiche) di individuare i problemi della lega o della giunzione utilizzata. Spesso la prova mancante per evidenti motivi è la validazione della resilienza della struttura nel suo complesso e la determinazione della transizione di questa alla fragilità (in questo senso, problemi possono nascere sia da sbalzi di temperatura giorno-notte che da insolazione non uniforme sulla struttura).

131. Si vuole comprendere se una data rottura sia stata tenace o fragile. Come si procede ?

Una rottura fragile avviene senza deformazione, a velocità molto superiore a quella di prova, senza lavoro di deformazione plastica, semplicemente per superamento di uno dei fattori di intensificazione degli sforzi critico lungo uno degli assi. La superficie di frattura ha aspetto cristallino. Una rottura tenace invece avviene alla stessa velocità a cui si effettua la prova, con deformazione plastica e lavoro relativo, superficie di frattura fibrosa (ove appare la deformazione delle fibre del metallo), strizione e rottura c.d. a "coppa e

cono".sia da sbalzi di temperatura giorno-notte che da insolazione non uniforme sulla struttura).(di schianto) in relazione al ciclaggio raggiunto.

132. Descrivere il fenomeno della transizione duttile-fragile.

Per transizione si intende il passaggio da una rottura prevalentemente duttile, in cui cioè sulla struttura a coppa e cono della superficie frattografica prevalgono i fenomeni di decoesione dei piani cristallini.

Nel corso della transizione si passa da una rottura con rilevante deformazione plastica e praticamente senza microcricche ad una rottura intorno allo snervamento.

Col diminuire della temperatura tendono a scomparire ancora le microcricche e finalmente si ha una rottura a tensione costante senza microcricche nè allungamento, per semplice geminazione.

133. Relazione tra presenza di microfessure e prossimità della rottura.

Di per sè la presenza di microfessure non indica la prossimità nè spaziale nè temporale della rottura. Quel che è certo è che il superamento di un valore critico della loro lunghezza provoca un rilascio di energia con creazione di nuove superfici, in seguito ad un loro improvviso allungamento.

Spesso difatti ci si concentra, più che sulla presenza di microfessure, sui segni premonitori della loro attività, vale a dire sul rilascio elastico di energia connessa al procedere del danneggiamento.

134. Volendo aumentare la temperatura di transizione di un acciaio dolce, mantenendo fisso il tenore di carbonio, su quali elementi si può intervenire e con che criteri ?

Si possono aggiungere alluminio in piccolissime quantità (meno dello 0.1%) solo come disossidante del bagno di fusione, meglio se unito al silicio (oltre lo 0.3%) e nichel in quantità superiori al 2%. Il criterio è aumentare il campo di esistenza dell'austenite ed inoltre provocare la rimozione degli ossidi dannosi, eventualmente a favore di ossidi ben più duri (silicio). Il problema reale è che spostare la temperatura di transizione verso temperature molto basse (o al limite farla sparire) significa diminuire anche il valore della resistenza massima.

135. Cosa si intende praticamente per errata progettazione?

Progettare strutture che, oltre all'ovvio concetto di non prevedere sollecitazioni di servizio reali (quindi soggette a variazioni ambientali e/o corrosive e per interferenza con altre parti di un sistema, p.es. caso dei tubi), prevedano raccordi bruschi e giunzioni eccessivamente importanti per la struttura (es. saldature testa-testa su lamiere portanti).

Inoltre un'altro caso di errata progettazione risiede nel fatto di non tenere in sufficiente conto le vibrazioni o non sia in grado di superarle per eccessiva rigidità della struttura.

Altri errori importanti possono riguardare la scelta della lega, per quanto attiene alla temperatura di transizione ed alla resilienza, o del trattamento termico.

136. Cosa si intende per fragilità da rinvenimento?

Dopo la bonifica (tempra+rinvenimento+raffreddamento) è necessario che il raffreddamento sia rapido per avere buone caratteristiche di resilienza, altrimenti si induce un'elevazione della temperatura di transizione, nonchè un calo della resilienza praticamente a zero (fragilità da rinvenimento).

Quindi, meglio il raffreddamento in acqua che in aria o tanto peggio in forno; inoltre la temperatura di transizione è molto più alta. Se viene tuttavia riscaldato di nuovo alla temperatura di rinvenimento e poi raffreddato in acqua, riacquista la resilienza voluta. Un'aggiunta di molibdeno fino a circa lo 0.4% riduce la sensibilità alla fragilità di rinvenimento.

137. In quali casi si usa la provetta Schnadt e quali sono le sue caratteristiche fisiche principali?

La provetta Schnadt è stata studiata per verificare l'effetto, oltre che delle profondità dell'intaglio, anche del suo raggio terminale, in particolare nella transizione alla fragilità. Questo rientra nella discussione sulla variazione della forma dell'intaglio (intaglio arrotondato profondo, oppure arrotondato superficiale - Mesnager- o con raggio minore sul fondo, cioè a V).

Il grosso vantaggio dell'introduzione di maggior precisione (o per meglio dire di minor grado di tolleranza) sulle provette a resilienza è risultato nell'osservazione di una regione di transizione tra rotture fragili e tenaci.

138. Quali sono gli effetti dell'incrudimento sulla resistenza a trazione degli acciai ?

L'incrudimento si ottiene durante la prova di trazione manifestandosi come un blocco delle dislocazioni governato da fenomeni di diffusione di carbonio ed azoto. Anche sulla resilienza si ha un influsso negativo, molto maggiore della modificazione delle proprietà a trazione.

Aspetti che rendono la prova di resilienza insufficiente a predire la frattura fragile di un materiale., anche del suo raggio terminale, in particolare nella transizione alla fragilità.

La prova di resilienza non può tenere contemporaneamente conto della temperatura, delle difettosità indotte dalla lavorazione e delle sollecitazioni applicate.

In particolare la triassialità della sollecitazione dovuta a condizioni di questo genere non è espressa dalla prova di resilienza, che concentra le possibilità di rottura intorno al fondo dell'intaglio.

139. Distinguere tra le modalità di determinazione della tenacità a frattura attraverso il KIC, il COD e l'integrale critico JIC.

L'evoluzione della cricca che per superamento di determinati sforzi critici permette di arrivare alla rottura fragile può essere seguita con una certa approssimazione in questi tre modi: il primo (KIC) evidenzia le proprietà resistenti del materiale rispetto alla propagazione di cricca in sé; il secondo (COD) evidenzia lo spostamento dei lembi della cricca secondo il modo II (apertura), mentre l'integrale J è una misura della tenacità a frattura considerando l'energia immagazzinata dalla cricca in tutta l'area di questa.

140. Come si applica il carico sul compact tensile specimen e qual è il significato di questa prova?

Si tratta di un provino con una cricca o intaglio che viene sollecitato esercitando una trazione perpendicolare alla cricca stessa tramite i due occhielli praticativi in modo da sollecitarne l'apertura. Serve a misurare la tenacità a frattura come superamento del valore critico dell'intensificazione degli sforzi oppure come spostamento di apertura della cricca.

141. In conseguenza di quali sviluppi tecnologici si è rivelato importante lo studio dello scorrimento viscoso?

In conseguenza della necessità di utilizzo di acciaio al di sopra dei 300 °C ed in particolare, dato l'incremento della temperatura d'ingresso in turbina nelle macchine a vapore, la possibilità di superare anche i 500 °C per aumentare il rendimento della trasformazione di calore in energia. Questo richiede un controllo accurato delle deformazioni indotte a caldo, che siano molto inferiori al carico di plasticizzazione del materiale.

142. Significato dei tre stadi dello scorrimento.

Mantenendo costante sia la temperatura che la sollecitazione, si osserva che durante il tempo della prova lo scorrimento presenta tre fasi diverse: la prima a velocità progressivamente decrescente, la seconda a velocità costante e la terza progressivamente crescente. Il primo ed il secondo stadio dello scorrimento, pur legati a fenomeni di sblocco delle dislocazioni, non sono necessariamente collegabili a plasticità o meno di tale deformazione.

Va tra l'altro considerato che il reale interesse di tali curve risiede nella loro variazione all'aumento della sollecitazione applicata. Va inoltre evidenziato il fatto che lo scorrimento terziario ha cause non ben definite, supponendosi tuttavia che si abbia una formazione continua di microcricche.

143. Qual è la ricaduta pratica sulla progettazione di un materiale dell'aver aggiunto la prova di scorrimento a quelle di trazione/compressione e di fatica ?

Oltre alla conoscenza fisica dei diversi fenomeni che legano lo scorrimento alla velocità di deformazione, alla temperatura, ecc., e più in generale al comportamento del materiale, c'è da osservare come sia possibile sviluppare nuove leghe a deformazione controllata e carico ultimo desiderato, grazie alla conoscenza dell'influsso esercitato nell'aggiunta di oligoelementi.

144. Spiegare il senso della formula di Larson e Miller.

La legge di Larson e Miller vuole collegare il tempo di rottura di un pezzo alla temperatura a cui essa avviene tramite un parametro dipendente dalla sollecitazione. Si può quindi collegare questo parametro con la temperatura ed anche con la sollecitazione graficandolo con diverse curve affiancate col diverso tempo di prova che porta alla rottura (il problema è tuttavia il notevole campione da esaminare).

145. Effetti di niobio, molibdeno e tungsteno sulla resistenza ad alta temperatura.

Niobio, molibdeno e tungsteno fanno diminuire in modo meno accentuato la sollecitazione dovuta per una certa deformazione con l'aumentare del parametro di Larsen e quindi della sollecitazione stessa. Questo significa aumentare la resistenza a scorrimento, considerando inoltre che i valori assoluti di tale sollecitazione per una certa deformazione aumentano in modo notevole.

146. Distinguere tra la corrosione chimica e quella elettrochimica.

La corrosione puramente chimica comporta una reazione chimica tra il metallo ed un gas (o liquido) presente nell'aria, p.es. ossigeno. Si forma uno strato di ossido, dalla cui

natura dipende fortemente la reale corrosione del pezzo (nel senso che tale ossido può essere più o meno aderente al metallo). Non c'è certamente passaggio di corrente elettrica. La corrosione elettrochimica comporta invece la formazione di una cella galvanica, per la presenza di due zone a diverso potenziale, una anodica dove avviene l'ossidazione, e che quindi si consuma, a favore di una catodica, dove avviene la riduzione.

147. Schematizzare i principali fattori che possono influenzare la corrosione del ferro.

1. pH della soluzione e solubilità degli ossidi in acidi o basi; inoltre p.es. per il ferro si ha corrosione per precipitazione (intergranulare) per pH molto alti.
2. Contenuto di ossigeno in relazione al tipo di metallo (azione protettiva o peggiorativa ?)
3. Composizione della lega e trattamenti metallici utilizzati (la corrosione elettrochimica è disincentivata da un metallo molto puro, in cui cioè vi sono solo piccole zone a diverso potenziale).
4. Corrosione per tensionamento, quindi sollecitazione applicata e tempo di applicazione.
5. Contaminazione chimica (grassi, oli) e presenza di zone sporche (specie se difficilmente raggiungibili).

148. Se per motivi strutturali si deve impiegare un dato materiale, quali sono le possibili misure che possono prendere contro la corrosione ?

RIVESTIMENTI: si può pensare ad un rivestimento galvanico ove possibile (zincatura, cromatura, ecc.) a meno che- come nel caso dell'alluminio- l'ossido non sia già protettivo e possa venire incrementato il suo spessore galvanicamente). Bisogna fare attenzione tuttavia, nel caso di rivestimenti, alla corrosione filiforme da presenza di acidi e residui galvanici del metallo di copertura. Altra possibilità è la verniciatura, che va tuttavia controllata, per pericoli di corrosione sottopelle.

ACCORGIMENTI PROGETTUALI:

Limitazione delle tensioni di progetto (specie riguardo a saldature, chiodature, laminazione),
variazione e drogaggio dei fluidi circolanti (se del caso), guarnizione con isolanti.

149. Spiegare il fenomeno della sensibilizzazione negli acciai al cromo-nichel.

In un intervallo di temperatura tra i 450 ed i 750 °C si ha precipitazione dei carburi di cromo a bordo grano, in quantità tanto maggiore quanto più grande il tenore di carbonio nella lega.

Questo provoca un innesco di corrosione intergranulare, poichè è necessario avere localmente almeno il 12% di cromo per avere l'immunità dell'acciaio alla corrosione. A causa

della suddetta precipitazione il contenuto di cromo, di solito tenuto prudenzialmente su valori non inferiori al 18%, scende nelle zone immediatamente adiacenti al bordo grano al di sotto del 12%.

Per evidenziare l'effetto del tenore di carbonio sulla precipitazione dei carburi a bordo grano e quindi sulla corrosione intergranulare, lo si pone in soluzione acida nitrica, solforica o sim., e lo si porta poi nell'intervallo di sensibilizzazione, misurando infine la corrosione come perdita di peso o di spessore.

Una soluzione sarebbe quella di ridurre il più possibile la quantità di carbonio (fino allo 0.002-0.003 %) allo scopo di rendere l'acciaio inossidabile. Il problema diviene però a questo punto quello della perdita in termini di proprietà meccaniche.

150. Cos'è la fragilità caustica nelle caldaie?

Se sulla parete della caldaia si forma, per effetto di una notevole quantità di sali di calcio e di magnesio disciolti nell'acqua (durezza), un conglomerato particolarmente duro, e ci si trova anche in condizioni acide, lo spessore disuniforme di tale strato può bastare per generare una cella galvanica che nelle zone a maggior spessore si comporta da catodo rispetto alla superficie dell'acciaio della caldaia consentendone l'ossidazione. Tale fenomeno è accelerato dal pH non neutro che viene a trovarsi all'intorno del conglomerato.

151. Quali sono le condizioni di insorgenza del pitting?

Si ha pitting (corrosione penetrante, filiforme oppure caverniforme) in particolare per azione catodica degli ioni metallici, a pH molto basso, in conseguenza della presenza di un'area catodica molto più estesa dell'area anodica (es. lamiera contro chiodo).

La temperatura incrementa la possibilità di pitting, come anche la concentrazione di determinati ioni (p.es. cloro) e prodotti di corrosione (es. sali). Sono importanti anche le zone dove è richiesta un'elevata conducibilità termica, le zone rugose e quelle soggette a gravità (tubo verticale in acqua marina), oltre che gli interstizi e le zone di difficile accesso.

152. Effetti positivi e negativi della maggiore o minore ossigenazione sulla corrosione.

La maggiore ossigenazione porta in generale ad una più facile corrosione generalizzata, specie nei casi nei quali l'ossido non risulti protettivo. Va tuttavia messo in evidenza che in altre condizioni nelle quali ci sono difficoltà di ossigenazione, questo può favorire un pitting (vaiolatura) a pH praticamente neutro, favorito inoltre da particolari condizioni locali (abrasione superficie, presenza di ioni estranei).

153. Rapporto esistente tra la natura dell'ossido e la velocità di ossidazione.

Per non avere corrosione si deve avere un ossido che non sia poroso, che deve inoltre avere un volume in determinati rapporti con il volume del metallo (tale rapporto deve essere compreso tra 1 e 2).

Questo non è tuttavia sempre soddisfacente, non tenendo conto della possibilità di diffusione dal metallo all'ossido (cationica) oppure dall'ossido al metallo (anionica) che modifica sensibilmente la velocità di corrosione.

154. Che quantità di cromo è ragionevole introdurre in un acciaio per alte temperature ?

Oltre all'ovvia considerazione di un'introduzione di cromo molto superiore al 12% per motivi di corrosione intergranulare, la quantità di cromo deve essere la più alta possibile, compatibilmente con la formazione della fase sigma fragile: quindi non al di sopra del 25%.

Va notato che grazie al cromo si forma uno strato di ossido protettivo, che si riforma anche molto facilmente, in particolare più è alta la temperatura, più tale strato di ossido è spesso, quindi protettivo.

155. Dovendo progettare un fascio tubiero in senso anticorrosione e/o antiusura, di quali fattori si terrà conto innanzitutto?

I fattori essenziali sono:

Conoscenza del circuito (eventuali zone interstiziali da ridurre con la progettazione)

Tipo di fluido (viscosità), velocità e portata della corrente. Studio fluidodinamico (turbolenza, calcolo numero di Reynolds, ecc.). Studio delle possibili contaminazioni. Misura del pH. Temperatura del fluido in ingresso ed in uscita (campo di temperature di funzionamento).

Metalli: proprietà di dilatazione, disponibilità (oltre che aspetto economico)

Saldabilità, modi di giunzione adottabili

Altri metalli (o materiali) presenti a contatto col fascio tubiero.

Coibentazione (serve, di che materiale, con che proprietà)

156. Spiegare il fenomeno della cavitazione.

Si tratta della formazione di bolle nel liquido, quindi variazioni di pressione che consentono di asportare lo strato di ossido protettivo o di vernice applicata. Si formano così cavità, specie in zone di ristagno del liquido o difficilmente accessibili.

157. Descrivere brevemente il funzionamento della macchina Amsler per misura dell'usura.

Si hanno provini cilindrici motati su alberi, che vengono fatti ruotare in verso opposto tra loro per simulazione di attrito volvente, oppure uno solo contro l'altro fermo per simulazione di attrito radente, o ancora ambedue nello stesso verso per simulazione di condizioni speciali.

Si può ottenere uno strisciamento con perdita di peso o di spessore tale da misurare la corrosione per usura. Notare la possibilità di regolare la velocità per simulare diverse condizioni di prova.

158. Influenza del nichel da solo sul coefficiente di dilatazione dell'acciaio ed influenza del nichel, in presenza di cobalto, sullo stesso fattore. solo contro l'altro fermo per simulazione di attrito radente, o ancora ambedue nello stesso verso per simulazione di condizioni speciali.

Come deducibile dal diagramma di Guillet, si ha un aumento del coefficiente di dilatazione dell'acciaio fino ad aggiunte di nichel del 20% (l'aumento rispetto ai valori del ferro puro è valutabile in circa il 70% a questo punto. Oltre questo tenore si ha una brusca discesa di tale fattore fino a tenori del 36% di Ni, dove si raggiunge il minimo (lega INVAR), riducibile ancora sostituendo il 5% di cobalto ad un 5% di nichel, con trattamento termico speciale. Questo fattore aumenta di nuovo per tenori di Ni maggiori del 36% in seguito, ma senza mai superare il valore per il ferro puro.

L'effetto generico del nichel è quello di permettere una più facile austenizzazione abbassandone la temperatura. Perciò c'è un minor pericolo di surriscaldamento e distorsioni,

ecc. Inoltre, con un aumento di nichel la tempra penetra più facilmente e si ha la possibilità di temprare con mezzi meno energici. Il nichel inoltre riduce le differenze di tempra tra una parte e l'altra del pezzo, in particolare centro-periferia.

159. Utilità di introdurre il manganese negli acciai.

Il manganese migliora le proprietà di temprabilità dell'acciaio, in particolare permettendo una migliore penetrazione di tempra con minori deformazioni ed inoltre consentendo una maggiore deformabilità a caldo, liberando l'ossigeno e lo zolfo in sovrappiù. Questo malgrado la tempra dell'acciaio con aggiunta di manganese richieda un intervallo di temperatura più selettivo.

Si usa in particolare introdurre il manganese, dove sia richiesta elevata conducibilità termica, elettrica e magnetica, e nel caso in cui l'acciaio ottenuto debba essere assoggettato ad un rivestimento chimico-fisico.

160. Cosa si intende per sensibilità al surriscaldamento?

Il surriscaldamento ha per conseguenza l'aver un forte ingrossamento del grano con perdita di resistenza meccanica, in conseguenza dell'aumento di poche decine di gradi della temperatura di tempra. Tendenzialmente si deve superare TAC3 il meno possibile, dipendendo tuttavia questa misura dalla sensibilità della singola lega al surriscaldamento, oltre che dalle sue proprietà meccaniche e di dilatazione (si parla pur sempre di temperature nell'ordine degli 800-900°C)

161. Influenza del cromo sulla resistenza meccanica di un acciaio.

Si ha anche nel caso del cromo un diagramma di Guillet, dal quale si deduce che il campo di esistenza degli acciai al cromo è delimitato come valore massimo da un tenore del 24% di Cr, al di sopra del quale si viene ad avere della ferrite. All'aumentare del tenore di carbonio si passa, anche per tenori notevolmente più bassi di cromo, a strutture di tipo ghisa ledeburitica. In generale, un aumento della resistenza a trazione senza perdite importanti per la resilienza e l'allungamento si ottiene con aggiunta di cromo (almeno il 18% per evitare problemi di corrosione): un'aggiunta eccessiva di carbonio permette tuttavia un'alta resistenza solo a scapito della lavorabilità e della resilienza.

162. Perché il vanadio nel forno per la produzione di acciaio rapido va aggiunto solo a pochi minuti dalla colata?

Perché, nonostante il bagno sia totalmente disossidato, anche il poco ossigeno rimasto si unisce col vanadio (formando vanadina, V_2O_4) creando così scorie estremamente fragili, il che ne sconsiglia l'applicazione, oltre certi tenori, a parte le ovvie difficoltà ad utilizzare il vanadio come componente principale di una lega.

163. Spiegare i motivi chimico-fisici della fragilità al rosso.

Per spiegare la fragilità al rosso, occorre riferirsi al diagramma ferro-zolfo. Si forma infatti una fase epsilon, che è un eutettico basso-fondente (988 °C). Questo campo di temperature è particolarmente critico, in quanto si tratta di temperature alle quali avviene la lavorazione a caldo (laminazione) degli acciai.

164. Spiegare il senso della considerazione delle inclusioni non metalliche, con particolare riferimento all'ossigeno.

Le inclusioni non metalliche sono in pratica (ossidi) gli unici composti contenenti ossigeno nel metallo. Questo perché non sono strutturali. Vi possono essere inclusioni filiformi (solfuri) che, solitamente, non sono gravi, oppure possono essere tondeggianti, ma deformabili (silicati).

I casi peggiori sono le inclusioni fragili tondeggianti, che possono frantumarsi venendo letteralmente a creare regioni danneggiate ad imbuto nel metallo e diminuendone fortemente le prestazioni. Nel caso di fili allungati, possono essere causa di rotture improvvise.

165. Spiega la classificazione UNI degli acciai in breve.

Si distingue tra due gruppi di acciai: un gruppo I, con distinzioni relative a caratteristiche meccaniche e tecnologiche ed all'impiego, ed un gruppo II, con distinzioni invece basate sul tenore in carbonio: si hanno quindi acciai non legati (suddivisi ancora in suscettibili o meno di trattamento termico), debolmente legati od altolegati.

166. Cosa si intende per acciaio microlegato ?

Si tratta di un acciaio rafforzato con la dispersione in essi di particelle di altri elementi. E' questo, un metodo alternativo all'affinamento del grano conseguito con trattamenti termici, all'intervento sulle dislocazioni od all'aggiunta di elementi che invece si legano strettamente col ferro della matrice.

E' un processo molto tipico ad esempio dei compositi a matrice metallica (dispersione di particelle ceramiche entro una matrice duttile).

167. Riassumere i fattori che influenzano il valore del carico di snervamento di un acciaio.

Dimensione del grano, presenza di elementi come nichel, cromo e manganese, presenza di precipitati (strutturali o meno, come le inclusioni), tutti rapportati alla temperatura di transizione con proporzionalità inversa ad essa. Inoltre i trattamenti termici effettuati e in particolare la temperatura di rinvenimento (con evidenti modificazioni della struttura).iti a matrice metallica (dispersione di particelle ceramiche entro una matrice duttile).

168. Accennare al calcolo della resistenza a trazione di un acciaio rispetto alla composizione chimica.

Si suppone che la resistenza a trazione dell'acciaio sia ottenibile dalla somma algebrica di tre termini: resistenza a trazione del ferro puro, variazione di resistenza a trazione dovuta all'aggiunta di carbonio, ed ulteriore variazione indotta dall'aggiunta di altri elementi.

Il secondo termine risente del trattamento termico adottato, mentre il terzo termine viene approssimato in funzione della popolazione esaminata con curve di II grado. Naturalmente il calcolo va ripetuto per ogni variazione della popolazione esaminata.

169. Descrivere la bonifica per gli acciai ed accennare ai motivi che possono renderla interessante per una lega.

Si intende per bonifica una tempra seguita da un rinvenimento a circa 600°C, quindi in una zona ove si abbia una granulometria abbastanza fine, con un raffreddamento che può essere in acqua, per eliminare la fragilità da rinvenimento.

L'effetto complessivo è quello della riduzione della durezza, ma con un incremento della tenacità. Il tipo di rinvenimento si sceglie in funzione della resistenza a trazione desiderata.

170. Caratteristiche speciali dell'acciaio per molle rispetto agli altri tipi di acciai bonificati.

Le molle devono mostrare deformazione plastica solo a carico molto più elevato, quindi hanno un rinvenimento a temperature inferiori (richiedono anche alta resistenza a fatica e durezza superficiale).

Questo si consegue o con trattamenti tipo pallinatura (colpire con pallini di acciaio duro la superficie) oppure con aggiunta di nichel, cromo o vanadio.

171. Quale composizione chimica assicura i cosiddetti acciai autotemperanti?

Gli acciai autotemperanti assumono con una semplice tempra in aria una struttura martensitica. Riprendendo il diagramma di Guillet, si tratta di acciai al nichel-cromo eventualmente con manganese vicini alla zona martensitica, ma ancora perlitici.

172. Caratteristiche richieste agli acciai per cementazione.

Richiedono una tempra elevata (poca sensibilità al surriscaldamento) di normalizzazione (spesso oltre i 900°C) ed, oltre ad una ricottura a T elevata (vicina alla temperatura critica) si avrà poi un rinvenimento a bassa temperatura in modo tale da avere una minore fragilità unita ad una sufficiente durezza.

Questo si consegue con un basso valore della tensione di snervamento rispetto alla resistenza a rottura, il che è dovuto alla non criticità di avere una qualche deformazione plastica nello stato cementato, purché la durezza ne sia sufficiente.

173. Che vantaggi ci sono a globulizzare l'acciaio?

Si trasformano le lamelle dell'acciaio ipereutetoidico in globuli allo scopo di ridurre le difficoltà di lavorazione (anche a freddo, per laminazione) e per preparazione alla tempra.

Il processo è quello della cosiddetta ricottura pendolare (tempra intorno all'intervallo critico e lunga permanenza ivi, poi raffreddamento lento). Si usa per l'acciaio per cuscinetti per rotolamento (tenore di carbonio circa 1%).

Si parte da una vergella con struttura perlitica lamellare, con poche inclusioni non metalliche, e non decarburata. L'acciaio non può essere molto dolce, ma può giungere anche a strutture ipereutetoidiche. Successivamente se ne riduce la sezione dell'85-90 %, incrudendo ed aumentando la resistenza a trazione della fune. Importante controllare il tenore in zolfo e fosforo, per evitare la presenza di inclusioni e rotture premature.

174. Come si potrebbe ridurre, in modo che l'uso progettuale ne guadagni, il numero di acciai unificati?

Dal punto di vista dell'uso progettuale, ciò che è importante è la resistenza alla trazione dell'acciaio; altre differenze (penetrazione della tempra, fragilità da rinvenimento, ecc.) non vanno probabilmente sopravvalutate, poiché rappresentano soluzioni a problemi settoriali, da trovare probabilmente con l'introduzione di diversi tenori di leganti oppure con rivestimenti chimico-fisici o con trattamenti termici.

Probabilmente, l'unificazione degli acciai si potrebbe riportare sulle sole grandezze meccaniche (limite di snervamento, resistenza a trazione p.es.) senza duplicare inutilmente le classificazioni, col risultato che acciai strutturalmente equivalenti vengano a trovarsi in categorie diverse, se non lontane.

175. Come è possibile che si possano utilizzare acciai maraging anche con contenuti di carbonio dello 0.02% per importanti usi strutturali (es. astronavi)?

Un acciaio maraging viene utilizzato per scopi che richiedono elevata durezza, ma anche buona tenacità ed un comportamento elastico fin quasi a rottura. Per far questo è richiesta una struttura martensitica senza però una reale soluzione interstiziale (pochissimo carbonio) e quindi con maglia ancora cubica corpo centrato. In sostanza la martensite è ottenuta per invecchiamento (mar-aging).

Ci possono tuttavia essere problemi di corrosione, evitabili con protezione galvanica o cadmiatura.

176. Cosa sono i whisker?

Il whisker \bar{S} è un monocristallo con un'unica dislocazione a vite (e prestazioni eccezionalmente elevate, malgrado non ne sia per ora possibile l'applicazione industriale). È stato scoperto nell'elettronica, poi riprodotto in laboratorio, basandosi sul presupposto di considerare le dislocazioni come difetti ed aspettandosi che potesse essere utilizzabile (come se le dislocazioni non facessero parte dell'equilibrio termodinamico del metallo...).

177. Su quali fattori ha influenza la temperatura di riscaldamento per la tempra?

Prima di tutto sulla durezza, che raggiunge il massimo per una data temperatura di austenitizzazione, per poi decrescere in modo meno rilevante, sicché il suo effetto si può ritenere complessivamente positivo.

Altra conseguenza è quella che si ha sulle dimensioni dei grani, che tendono ad aumentare sempre con la temperatura, o immediatamente al di sopra della minima temperatura di austenitizzazione possibile, oppure di scatto al di sopra di una certa temperatura o raggiungendo una grossolanità più o meno rilevante con la temperatura di rinvenimento.

178. A cosa sono dovuti gli effetti del rinvenimento sulla durezza?

1. PRECIPITAZIONE DI CARBURI

Raggiunge un massimo ai fini della durezza per temperature di rinvenimento notevolmente alte (valori al di sopra dei 600 °C).

2. TRASFORMAZIONE AUSTENITE-MARTENSITE

Richiede un rinvenimento a temperature non troppo alte, e progressivamente decresce.

179. Cosa si intende per rapidità di un acciaio e come si consegue agendo sulla composizione chimica dello stesso?

La "rapidità" cosiddetta di un acciaio è la velocità alla quale la lama che da esso è costituita può tagliare.

Gli acciai rapidi sono quasi sempre acciai ipereutetoidici a basso contenuto di cromo (qualche per cento), quindi martensitici e suscettibili di trattamento termico. Importante la presenza di elementi altofondenti (quindi tungsteno in buone quantità) perchè sono molto resistenti all'abrasione ed all'usura a caldo.

180. Definire gli acciai inossidabili e le loro principali suddivisioni.

Gli acciai inossidabili sono acciai al cromo-nichel che si distinguono in martensitici, ferritici ed austenitici. Resistono alla corrosione perchè su di essi vi è uno strato molto sottile di ossido assolutamente stabile.

Bisogna inoltre distinguere tra oligoelementi gammageni ed alfa-genici in modo da conoscere per ogni lega l'estensione in funzione dei tenori di cromo equivalente o nichel equivalente delle tre regioni martensite, ferrite ed austenite.

181. Cos'è la ricottura di addolcimento degli acciai inossidabili?

La ricottura di addolcimento è detta impropriamente così, in quanto in essa non si riporta la temperatura al di sopra dell'intervallo critico, ma soltanto al di sotto. Questo perché lo scopo è l'addolcimento, cioè il conseguimento di una migliore lavorabilità, paragonabile a quella di acciai a minor contenuto di carbonio. E' tuttavia importante che le tensioni all'interno del materiale siano meglio ripartite: per questo si preferisce agire anche con una normalizzazione.

182. Confronto tra il comportamento alla resilienza a basse temperature degli acciai inossidabili martensitici temprati, e rinvenuti e ricotti.

La tempra ed il rinvenimento degli acciai inossidabili martensitici permettono in generale più alti valori della resilienza, valori però che mostrano un declino molto più evidente alle basse temperature. In pratica la ricottura elimina la transizione alla fragilità, permettendo un uso, seppur meno affidabile, anche a temperature molto basse.

183. Significato fisico e strutturale del trattamento di ricristallizzazione negli acciai inossidabili ferritici.

Negli acciai inossidabili ferritici non si può parlare di vera e propria tempra, non essendovi intervalli critici da superare. si può invece avere una ricottura, il cui interesse è evitare l'ingrossamento del grano e migliorare così le caratteristiche sia di resistenza meccanica che di resistenza alla corrosione.

Tali acciai possono essere utilizzati anche in certi casi ad altissime temperature (dell'ordine dei 100 °C) e perciò vengono incruditi prima della ricottura, onde poter conservare anche una notevole durezza.

184. Fino a che punto è possibile limitare il contenuto in carbonio in un acciaio inox serie 300 ?

Lo scopo della limitazione del contenuto di carbonio negli acciai inox austenitici è principalmente quello di evitare la precipitazione dei carburi di cromo. Al di sotto dello 0.03% certo la perdita di proprietà meccaniche diviene importante. Un'alternativa è perciò quella di non scendere ulteriormente in tenore di carbonio, ma invece sopperire con elementi particolari (titanio, niobio, tantalio), che possono precipitare sotto forma di carburi, mantenendo inalterato il tenore di cromo a bordo grano.

Gli acciai della serie AISI 300 sono particolarmente versatili, prestandosi ad un'infinità di combinazioni di tenori di cromo e di nichel per le più diverse applicazioni, riuscendo persino a ridurre le limitazioni nell'uso oltre i 500 °C tipiche degli austenitici. Altra loro importante caratteristica è la loro proprietà di avvicinarsi ad un materiale ideale, evidenziata dalla possibilità di sollecitarli allo stesso modo a trazione ed a compressione, ottenendo in tratto elastico lo stesso comportamento.

185. Caratteristiche della fase sigma nelle leghe Fe-Ni-Cr.

La fase sigma nelle leghe Fe-Ni-Cr si forma di solito molto lentamente, tranne che in un intervallo di temperatura critico (750-900 °C). Tale fase precipita con effetto non

dissimile a quello della precipitazione dei carburi di cromo nell'acciaio inox, a cui sono legate anche dalla presenza di questo intervallo di sensibilizzazione. Si può evitare la sua formazione, riducendone il campo di esistenza nel diagramma, il che avviene con aggiunta di carbonio, azoto e manganese.

186. Criteri per scegliere- in funzione dell'uso e delle proprietà tecnologiche, tra una ghisa grigia ed una ghisa bianca.

Una eccezionale resistenza all'usura ed all'abrasione è caratteristica delle ghise bianche, mentre una ghisa grigia, pur con proprietà di resistenza all'usura di solito solo un po' inferiori, sono più facilmente lavorabili per asportazione di truciolo. Non resistono tuttavia agli urti.

Notare che trattamenti termici per questi due tipi di ghise sono assai raramente ipotizzabili, in quanto conducono alla separazione della grafite, assai indesiderabile per motivi di fragilità e disomogeneità della struttura.

187. Cosa sono gli acciai duplex ?

Si intendono per acciai duplex quegli acciai inossidabili che hanno al loro interno la presenza contemporanea di due fasi, segnatamente la fase austenitica e ferritica, e che hanno possibilità di impiego diverse, nel senso della maggiore resistenza all'ossidazione, propria degli acciai austenitici, e della maggior durezza e resistenza a trazione ed a caldo degli acciai ferritici.

188. Difficoltà di utilizzare gli acciai al 13% di manganese al di sopra dei 250°C.

L'acciaio al 13% di manganese viene richiesto in particolare per la buona lavorabilità connessa alla durezza dello strato superficiale. In questi acciai, al di sopra dei 250 °C i fenomeni di precipitazione dei silicati provocano una diffusa ed immediata fragilizzazione. L'uso ne è quel punto sconsigliato in particolare in funzione antiusura, in quanto il cuore del pezzo si indurisce selettivamente.

189. Il problema degli elementi interstiziali negli acciai inossidabili.

Gli elementi interstiziali sono nell'acciaio il carbonio, l'azoto e l'ossigeno, e provocano fenomeni di fragilità e complessivamente riduzione delle proprietà meccaniche, oltre che il noto problema, nel caso del carbonio, della precipitazione dei carburi.

Si sono così sviluppati degli acciai a bassissimo tenore di interstiziali (qualche centesimo di punto percentuale) detti ELI (extra-low interstitial), che consentono, oltre che una trasformazione austenite-martensite senza deformazione da cubico corpo centrato ad esagonale compatto con modesti raffreddamenti (0 °C), di avere migliori proprietà meccaniche ed un miglior comportamento a corrosione. Per ottenere questi acciai occorre partire da materie prime purissime, praticando l'affinazione a zona.

190. Spiegare il significato del diagramma di Maurer per le ghise.

Il diagramma di Maurer riveste un significato simile a quello del diagramma di Guillet per gli acciai al nichel; ha per coordinate il tenore di carbonio e quello di silicio ed il suo scopo è la suddivisione, in base alle proprietà meccaniche e tecnologiche assunte dalle ghise in conseguenza della presenza di questi due elementi, in ghise bianche, grigie ferritiche o perlitiche o trostate.

Altra prova interessante per effettuare questa distinzione è la misurazione della durezza Rockwell della ghisa in funzione della distanza da uno spigolo di un cuneo sotto un certo angolo.

191. Fenomeni positivi indotti dai principali elementi leganti nelle ghise grigie. Per migliorare le prestazioni a rottura di una ghisa grigia ed evitarne il rigonfiamento si ha la necessità di introdurre una maggiore quantità di cromo rispetto ad una minore quantità di silicio, oltre che di carbonio. Si hanno inoltre possibilità di miglioramento delle proprietà meccaniche tramite l'introduzione di molibdeno.

192. Riassumere l'influenza di un certo tenore di fosforo sulle proprietà delle ghise. Il fosforo è contenuto nelle impurezze e nei getti e forma un eutettico bassofondente con aumento della fragilità. Inoltre, pur non avendo incidenza sul valore assoluto della resilienza, innalza la temperatura di transizione. Questo è pericoloso e fa sì che esso sia considerato un'impurezza anche negli acciai, grave in particolare negli acciai per getti. La differenza del problema "fosforo" tra gli acciai e le ghise è che in queste ultime esso svolge anche funzioni importanti, in quanto, contenendone la dilatazione, ne migliora le proprietà a caldo.

193. Cosa significa alluminio "con purezza elettrica" ? Per utilizzare un alluminio a scopi elettrici, bisogna che esso abbia una conducibilità... elettrica costante e nota ad una certa temperatura. Questo implica che il contenuto di impurezze sia noto ed approssimativamente costante. In più va detto che non tutti gli elementi hanno un effetto paragonabile sulla conduttività, per cui si deve vigilare in particolare sul contenuto di titanio, vanadio, manganese e cromo. In genere il contenuto totale di impurezze ammesso è lo 0.5%, pur con limitazioni locali per alcuni elementi. ne migliora le proprietà a caldo. o sotto un certo angolo.

194. Influenza dello stato (incrudito, ricotto) e della temperatura di prova sulle proprietà a trazione dell'alluminio.

Una delle problematiche più importanti per la valutazione delle proprietà meccaniche dell'alluminio è rappresentata dalla perdita di resistenza a rottura ed allo snervamento, più grave allo stato incrudito a freddo di quanto non sia a quello ricotto, in conseguenza dell'aumento della temperatura di prova. Una ricottura può quindi essere consigliata per migliori proprietà a caldo. In effetti però ad una temperatura già di 250°C le proprietà tensili dell'alluminio in qualunque stato (incrudito o ricotto) scendono praticamente a zero (eppure siamo ancora ben lontani dalla temperatura di fusione).

195. Confrontare le proprietà degli elementi secondari inseriti nelle leghe di alluminio 2xxx, 3xxx, 4xxx, 5xxx, 6xxx e 7xxx.

2xxx: rame. Durezza, resistenza a trazione, discreto allungamento, paragonabile ad un acciaio meccanicamente.

3xxx: manganese. Disossidante del bagno metallico, aumenta la resistenza, diminuisce la tenacità.

4xxx: silicio. No fragilità a caldo, bassa dilatazione termica.

5xxx: magnesio. Minor peso specifico, ma anche minor conduttività.

6xxx: magnesio-silicio. Saldatura facile -resistenza alla corrosione.

7xxx: zinco. Resistenza trazione, alta durezza (colata in conchiglia).

196. Comportamento del rame a corrosione.

L'ossido del rame è tra i più protettivi, il che va ad aggiungersi al fatto che il potenziale del rame è tra i più alti. Infatti la corrosione elettrochimica è molto rara, ed anche in acqua resiste ad un ampio intervallo di pH e di salinità e per lungo tempo (è spesso utilizzato per costruzioni marine). Vi sono difficoltà solo per acque molto basiche o per contatto con gli acidi. Inoltre teme alcune impurezze (zolfo, selenio, tellurio).

197. Influenza dell'alluminio sulla durezza del rame.

Per avere un apprezzabile aumento di durezza del rame con aggiunta di alluminio bisogna aggiungerne non meno del 9.8% fino a raggiungere per tenori intorno al 16% la massima durezza (formazione di sola fase gamma). Va notato tuttavia che difficilmente si sale molto al di sopra dell'11% di alluminio, perchè al di sopra di tale valore l'ulteriore aumento di durezza si ripercuote assai negativamente sulla resistenza del materiale.

198. Effetto dell'aggiunta di alluminio nelle leghe di magnesio.

L'aggiunta di modeste quantità di alluminio al magnesio permette di migliorarne le proprietà a trazione, nonché l'allungamento ed anche la durezza. La formazione tuttavia di un composto intermetallico tra alluminio e magnesio porta a rotture premature nella prova di trazione difficilmente prevedibili (senza strizione).

199. Che cosa limita l'applicabilità del molibdeno in ingegneria strutturale, malgrado la sua elevata resistenza allo stato incrudito?

L'ossidabilità del molibdeno alle temperature, superiori ai 500°C, di interesse dell'ingegneria industriale (reattori, tubazioni, fluidi caldi, caldaie) è dovuta al suo ossido che ha tendenza a sfogliarsi e ad accelerare la corrosione.

Inoltre, al di là di tale temperatura, le difficoltà di lavorazione del Mo non permettono una competizione, p.es. col tungsteno.

200. Che cos'è la peste (o il "grido") dello stagno?

E' la trasformazione che avviene a temperatura molto vicina alla temperatura ambiente, e di "scatto" (tipo una trasformazione martensitica), dello stagno bianco beta in grigio alfa con scarsissime proprietà meccaniche ed aumento di volume. E' una trasformazione che avviene solitamente con velocità significativa solo in presenza di elevate sollecitazioni.

201. Fasi del processo di produzione di materiali sinterizzati.

PREPARAZIONE POLVERI (frantumazione, macinazione, atomizzazione)

MISCELAZIONE (con lubrificanti, additivi, ecc.)

COMPATTAZIONE (negli stampi, con tolleranze molto severe)

SINTERIZZAZIONE in forno continuo.

Poi eventualmente estrusione, coniazione, ecc.

202. Variabili della sinterizzazione e loro influenza.

Le variabili principali sono: temperatura, durata del trattamento e pressione a cui avviene. Ha importanza inoltre l'atmosfera in cui avviene il processo, nonché i fenomeni di trasporto, e quindi i parametri di diffusione all'interno del processo.

203. Parlare del SAP come esempio di composito a matrice metallica.

Il SAP (Syntered Aluminium Powder) presenta una fine dispersione di particelle di alluminio (4-14 %) e questo fa sì che possa mantenere una grande stabilità al carico anche in prossimità della temperatura di fusione (che è già molto più alta di quella delle leghe di alluminio). Oltre che aumentare l'estensione del campo di temperatura di utilizzo, il SAP ha una maggiore durezza, pur conservando un non trascurabile allungamento a rottura.

204. Problemi nella realizzazione di pezzi meccanici per sinterizzazione.

Si preferisce utilizzare in questo caso pezzi sinterizzati in quanto ci si avvicina più facilmente alle tolleranze dimensionali richieste. E' certo che spingere troppo in alto la pressione di sinterizzazione provoca anomalie meccaniche dei pezzi che possono essere risolte con ulteriori deformazioni plastiche che eliminino la porosità più o meno diffusa.

205. Qual è l'effetto dell'aggiunta di cobalto su un acciaio austenitico?

Il cobalto può essere aggiunto alla colata in qualunque momento, dato che non si ossida, diminuisce la penetrazione di tempra, innalzando la velocità critica, e favorisce la grafitizzazione, rendendo più stabile la martensite.

206. Cos'è il diagramma di Guillet?

Il diagramma di Guillet fornisce le regioni di esistenza dell'austenite, martensite e perlite per diversi tenori di carbonio e nichel, per acciai con meno dell'1.6% di carbonio. Diagrammi analoghi esistono anche per altri elementi leganti.