



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 899

DATA: 12/03/2014

A P P U N T I

STUDENTE: Mazziotta

MATERIA: Metallurgia

Prof. Scavino

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.

METALLURGIA: appunti lezioni corso 2013-2014

LEZIONE 1

Sodio: usato nella colata d'alluminio.
La maggior parte dei materiali metallici sono organizzati in leghe. Una lega ha un comportamento metallico.

Cosa vuol dire avere un comportamento metallico?

Una lega deve contenere un metallo almeno ma può anche contenere elementi non metallici. A seconda di come compare il materiali si definiscono leghe metalliche e non metalliche.

FERRO-LEGA AL CARBONIO: il carbonio C legato al ferro Fe forma le leghe più importanti a livello meccanico.

1. Acciai (percentuale di carbonio sotto al 2%)
2. Ghise (percentuale sopra al 2%)

Hanno comportamento metallico gli acciai mentre le ghise hanno comportamento metallico ma tenore di carbonio maggiore.

OSSIGENO: anche l'ossigeno crea composti con i metalli, l'interazione principale la formazione di ossidi. Si ottengono risultati diversi poiché i composti di ossigeno e carbonio non sono leghe.

OSSIDI DI FERRO: non sono leghe perché non hanno caratteristiche metalliche:

1. FeO (Wüstite)
2. Fe₂O₃ (Ematite)
3. Fe₃O₄ (Magnetite)

CARATTERISTICHE DEI METALLI

LUCENTEZZA: Capacità di riflettere la luce, capacità di essere degli specchi; prima applicazione dei materiali metallici. La maggior parte dei materiali metallici però non è mai lucente perché la lucentezza dipende dalla presenza o meno nel materiale, di superficie metallica. I metalli non è detto che abbiano superficie metallica infatti molti (la maggior parte) non ce l'hanno in quanto hanno la superficie ossidata non riflettendo così la luce. Quindi una caratteristica fondamentale dalla quale dipende la lucentezza e la presenza o meno di SUPERFICIE METALLICA. Inoltre la superficie deve essere anche SPECULARE.
Sembra inizialmente che tale proprietà non abbia risvolti pratici, in realtà è fondamentale del molto usata.

CONDUCIBILITÀ: termica ed elettrica; hanno una base comune ovvero il legame metallico ma quest'ultimo non influisce sul magnetismo.

RICICLABILITÀ

MAGNETISMO: dipende dal tipo di atomi.

Materiale TENACE: assorbe notevole energia per rompersi.

Materiale FRAGILE: basta che assorba poca energia per rompersi.

Non tutti i materiali metallici sono tenaci o fragili ma possono esserlo. Vi è comunque una qualche caratteristica che distingue materiali dai vetri; innanzitutto non esistono materiali INDEFORMABILI, tutti sono deformabili. Quindi la DEFORMABILITÀ non è una caratteristica esclusiva, piuttosto che una caratteristica importante è la DEFORMABILITÀ PLASTICA, la quale è la più importante caratteristica dei metalli.

SIGNIFICATO DI DEFORMABILITÀ PLASTICA.

È la deformazione, la forma assunta dal materiale in seguito a una sollecitazione esterna, questa deformazione può essere di due tipi:

1. Elastica: tipica di tutti i materiali;
2. Plastica: vale solo per i materiali metallici ed è la caratteristica più importante.

Nella prima abbiamo un fenomeno reversibile che richiede poca energia in quanto al materiale, in seguito all'arresto della sollecitazione, torna come prima: la deformazione è proporzionale alla tensione. Per la maggior parte dei materiali è l'unica forma di deformazione.

ESITO DELLA DEFORMAZIONE ELASTICA: ROTTURA.

La seconda riguarda i materiali metallici e avviene solo per una certa tensione quindi, a differenza di quella elastica non avviene per una forza qualunque. Avviene assieme alla deformazione elastica (deformazione plasto-elastica) inoltre richiede un alto tasso di energia. Ciò ha delle fortissime implicazioni sull'utilizzo dei metalli.

Nonostante l'importanza delle varie proprietà, la metallurgia in campo industriale è nata con l'ipotesi di deformabilità plastica.

Il processo di rottura è accompagnato da un lungo periodo di deformazione plastica.

COME LAVORO MATERIALE?

Materiale non metallico: non lavoro per fusione o asportazione di truciolo.

Materiale metallico: lo lavoro per deformazione plastica.

Deformazione plastica delle plastiche: le macromolecole, che sono aggrovigliate tra loro, scivolano reciprocamente.

Nella deformazione plastica dei metalli si parla di materiale amorfo anche se noi ci concentriamo su quelli cristallini.

SOLIDI CRISTALLINI: GEOMETRIA DEFINITA E RIPETUTA NELLO SPAZIO.

CONCETTO DI AMORFO: liquido solidificato: vetro.

LEZIONE 2

Analizziamo le proprietà dei metalli, come le leghe:

1. lucentezza
2. deformazione plastica
3. conducibilità
4. magnetismo
5. riciclabilità

Tutte queste caratteristiche hanno anche fatto tecnologico: SALDABILITÀ.

CONDUCIBILITÀ: tutti i metalli sono degli ottimi conduttori, in quanto all'interno di essi le cariche sono in movimento. Esistono vari tipi di conducibilità. Nell'acqua può avvenire l'idrolisi. In essa la conducibilità è alta in quanto vi sono molti sali i quali sono dotati di carica. La condizone elettrica dei metalli è molto più alta rispetto a tutti gli altri tipi, tutti i metalli sono dei buoni conduttori di elettricità, ma per questioni di costola vasta scelta si restringe ed esce fuori che il metallo più usato ai fini della conducibilità è il RAME Cu. Il rame difatti è molto richiesto per impieghi elettrici in quanto è un ottimo conduttore, ciò però a costo che sia più puro possibile. Spesso in rame risulta inquinato da impurezze quali l'ossigeno. In di massima il materiale costa poco o tanto se c'è tanta o poca disponibilità. Nel caso del rame, il costo non propriamente economico non è causato dal fatto che ce n'è poco ma dal fatto che uno dei primi metalli che sono stati scoperti (5000/6000 a.C.). Il ferro è stato scoperto all'incirca nel 1000 a.C. Un altro motivo per cui il rame è molto utilizzato è perché è facile da lavorare. Il rame deve essere puro perché se avessimo ossigeno dentro al reticolo formerrebbe l'ossido di rame (Cu₂O) che si depositerebbe nel bordo grano. L'ossido di rame in quanto ossido a un legame ionico non metallico quindi funge da isolante e provocherebbe il crollo della conducibilità termica del rame.
Tanto facile è procurarsi il rame impuro, quanto difficile e renderlo puro.

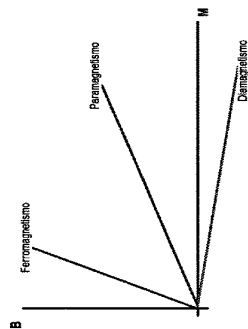
LEZIONE 3

PROPRIETÀ ELETTRICHE E TERMICHE: importanti da 1 punto di vista tecnologico per via della saldabilità

bisogna anche conoscere i trattamenti termici per conoscere la saldabilità accanto alle proprietà elettriche e termiche vi è anche l' **ATTITUDINE DEI MATERIALI METALLICI A INTERAGIRE CON I CAMPI ELETTROMAGNETICI; FERROMAGNETISMO.** Quando immergiamo un materiale metallico in un campo magnetico possono succedere tre cose:

1. il campo magnetico si attenua (il materiale si oppone al campo magnetico)
2. il campo si rafforza (il materiale fa addensare le linee di forza del campo magnetico)
3. il campo resta uguale (è poco influenzato)

Diagrammiamo il fenomeno con un diagramma in cui ho sulle ordinate il campo magnetico **B** del materiale e sulle ascisse ho il campo magnetico **M** del vuoto:



Perché ci sono tre diversi atteggiamenti del materiale al campo magnetico? Bisogna andare a vedere quali sono le interazioni tra campo magnetico e atomi.

Atomo: parola di origine greca: a (privativo) – temno (tagliare): oggetto che non può essere tagliato, alle origini si pensava che non potesse esistere particella più piccola di un atomo. Lavoisier, Bohr, Dalton ecc. hanno creato delle teorie senza avere una base certa, senza avere la certezza che gli atomi esistessero. Secondo loro, in particolare da Lavoisier in poi, gli atomi potevano restare indivisibili.

Successivamente Thompson fece una notevole scoperta: scoprì l' **ELETTRONE** (più piccoli, di massa trascurabile ma aventi tutta la carica negativa), il **PROTONE** e il **NEUTRONE**.

All'interno della materia vi sono dei buchi. La materia è concentrata in zone dette **NUCLEI**

MAX PLANCK: ha preso come oggetto un raggio di luce che non è un fenomeno continuo in quanto è possibile dividerlo in più parti. L'energia quindi è vista in modo discreto, cioè frammentato: **QUANTI**.

Qualche problema del materiale:

1. **AGGRESSIVITÀ - CORROSIONE**
2. **EFFETTO TEMPERATURA:** superleghe (acciai, leghe di cobalto, Nichel) = leghe resistenti ad alta temperatura

Se noi ci limitiamo a temperatura ambiente allora i materiali più utilizzati possono essere il **RAME**

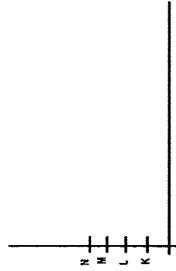
(ottima conducibilità e resistenza a corrosione oppure materiali a base di ferro o a base di alluminio)

Materiali a base di ferro: ghise e acciai

Materiali a base di alluminio: leghe di alluminio.

Il fenomeno che vedevamo come continuo in realtà è separato in più parti detti quanti. L'elettrone sta in spazi energeticamente concessi, bisogna affrontare il discorso dell'atomo dal punto di vista energetico, quindi Bohr ha supposto di suddividere la zona attorno al nucleo in piccoli quanti.

1° IDEA: idea di divisione dei livelli energetici all'interno dell'atomo; man mano che mi allontanano dal nucleo l'energia aumenta.



2° IDEA: all'interno di ogni livello l'energia è la stessa

3° IDEA: il passaggio avviene per salti di energia. Finché gli elettroni stanno in un livello energetico non acquisiscono né perdono energia, mentre se passano ad un altro livello devono equilibrare l'energia (acquistandola o perdendola a seconda del caso). Bohr aveva studiato gli atomi dell'idrogeno quindi **SOMMERFIELD** ha esteso l'impianto culturale di Bohr ad altri elementi quando sono eccitati (**SPETTRI**)

Spettro: risultato tangibile di una radiazione.

Sommerfield ha quindi eccitato gli atomi con l'energia, se in atomo ha più energia di quella che è energeticamente concessa, gli atomi devono cambiare livello energetico se neanche qui possono stare emettono energia tornando al livello di partenza.

N: orbitale circolare; P: orbitale a infinito; D: orbitale a quadrifoglio
Le emissioni poi vanno messe a contatto con il campo magnetico mediante il quale si riesce a capire il **NUMERO DI ORBITE**.

PRINCIPIO DI PAULI: MASSIMA DIFFERENZIAZIONE:

1. atomi diversi in ogni orbitale
2. velocità elettroni: velocità della luce
3. ordine di distanza atomiche: $10^{-10} m = 1$ Angstrom
4. trattazione probabilistica: non ci sono certezze

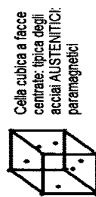
Esempi di configurazione elettronica:

- H: $1s^1$
 He: $1s^2$
 Li: $1s^2 2s^1$

perturbate dall'equilibrio. In questo modo si crea un campo magnetico esterno che si oppone al campo di partenza (si distorcono gli orbitali).

EFFETTI MAGNETICI: sono importanti perché sono alla base di tutti gli aerei militari. Il problema è creare strutture non ferromagnetiche. Tale problema riguarda principalmente i motori. Prendiamo ad esempio il ferro.

i secondi sono quelli inossidabili: non resistono a fatica, utili tuttavia per gli scafi. Per poter isolare e schermare l'apparato motori l'unico sistema è quindi quello di schermarli elettronicamente: si fa in modo di generare un campo magnetico che vada a contrastare perfettamente gli eventuali flussi magnetici provenienti dall'esterno.



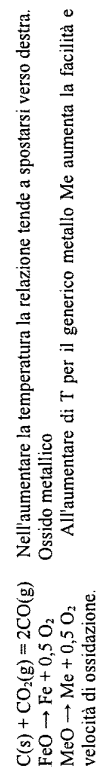
RELAZIONI TRA TEMPERATURA E SITUAZIONE DI DISORDINE:

PER ESEMPIO: Solido - Liquido - Gassoso
I passaggi tra i vari stati si hanno al variare della temperatura. Lo stato gassoso è quello con maggior disordine.

Per esempio: CuZn: ha una struttura cubica a corpo centrato:

1. nella situazione solida è ordinato; β'
2. quando aumento la T: situazione β disordinata. Avviene che sia Zn sia Cu si dispongono casualmente.

Consideriamo la seguente relazione:



1. aumento di T \rightarrow aumenta disordine
2. i sistemi liberi (senza coercizioni che impediscono) evolvono sempre verso situazioni con minimo di energia.

DEFINIZIONE DI ENERGIA: sono infinite le forme di energia, ogni sistema possiede una quantità di energia detta **ENTALPIA** (energia riconducibile al sistema). In effetti si ha una totale coincidenza tra energia di un sistema ed entalpia. Ora le cose sono cambiate perché nella definizione di energia rientra l'entalpia ma anche il disordine in quanto quest'ultimo interagisce con l'energia del corpo. Il disordine di un sistema si esprime con l'**ENTROPIA:** $S=f(\text{disordine})$

Che cosa è il disordine? Soltanto è individuato come qualcosa di negativo, ma in campo termodinamico e meccanico ha una connotazione positiva così come i difetti. I materiali perfetti non sono utilizzabili dal punto di vista meccanico e termodinamico.

Entropia \rightarrow indica il numero di configurazioni possibili del sistema che considero. Avere più configurazioni permette di arrivare ad un minimo di energia perché ho una molteplicità di situazioni attraverso cui posso degradare energia (**RELAZIONE DI GIBBS**):

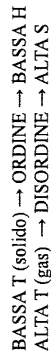
$$G = H - TS$$

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

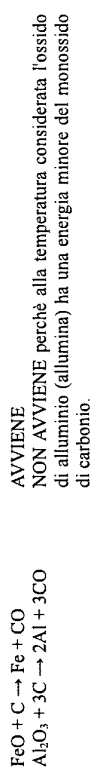


I sistemi a bassa H sono diversi dai sistemi ad alta S.
T = modulatore di S.

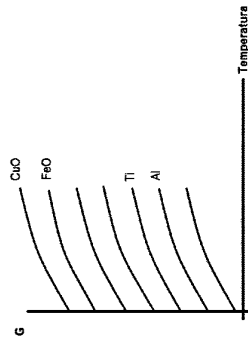
alle basse temperature conta solo l'entalpia, alle alte temperature invece è fondamentale il termine entropico.
Le basse temperature prevalgono nei sistemi ordinati, le alte temperature nei sistemi disordinati.



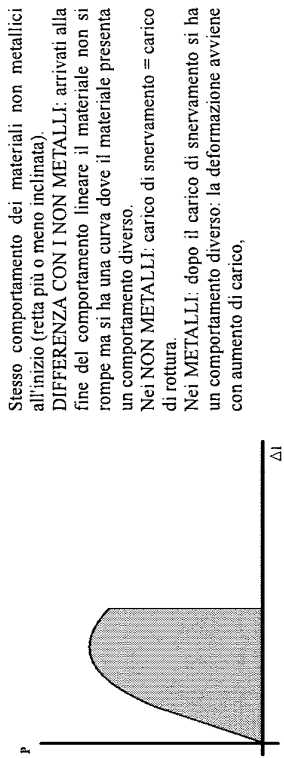
Carbonio: 6° elemento: $1s^2 2s^2 2p^2$



È un diagramma di tipo logaritmico



MATERIALI METALLICI:



Stesso comportamento dei materiali non metallici all'inizio (retta più o meno inclinata)
DIFFERENZA CON I NON METALLICI: arrivati alla fine del comportamento lineare il materiale non si rompe ma si ha una curva dove il materiale presenta un comportamento diverso.
 Nei NON METALLICI: carico di snervamento = carico di rottura.
 Nei METALLICI: dopo il carico di snervamento si ha un comportamento diverso: la deformazione avviene con aumento di carico.

STRIZIONE: quando applico un carico si ha tale fase che è quella che precede la rottura. In tale fase la deformazione è localizzata.
 La rottura avviene con un notevole assorbimento di energia.
 La propagazione avviene con notevole velocità dipendente dalla velocità del carico, ovvero dalla velocità con la quale aumento il carico: propagazione **CONTROLLABILE**.
 Tali concetti si traducono nel fatto che con i metalli possiamo creare oggetti destinati all'utilizzo meccanico. Permette di lavorare con tranquillità.

FATICA: rottura dovuta all'applicazione di carichi variabili nel tempo.
 Assieme al concetto di deformazione plastica bisogna introdurre i concetti di **RESISTENZA E TENACITÀ:** maggiore tranquillità nell'uso di un materiale. Se non è tenace allora è fragile, ovvero necessita di poca energia per rompersi.
 I materiali non metallici necessitano di poca energia per arrivare a rottura (fragili), mentre i materiali metallici necessitano di molta energia, quindi sono **TENACI**. Durante un urto per esempio, un materiale metallico assorbe tutta l'energia dell'urto per deformarsi, e non per propagare la frattura.

LAVORAZIONI:

1. COLATA: fusione e solidificazione in stampi, valido per metalli e vetri.
 2. ASPORTAZIONE con utensili: valido per qualsiasi materiale.
 3. DEF. PLASTICA: solo per i metalli.
- Analizziamo la DEF. PLASTICA: attraverso questa proprietà possiamo ottenere per i metalli molte altre lavorazioni possibili:
1. Lingotto: colata in lingottiera.
 2. Bluino: colata continua.
 3. Laminazione: faccio passare il fluido tra due cilindri contrapposti per poterlo allungare e assottigliare.
 4. Estrusione
 5. Fucatura
 6. Stampaggio:
 1. a caldo: viene scaldato ad una temperatura dipendente dal tipo di materiale (circa 450° C)
 2. a freddo: temperatura ambiente
 7. Calandratura.
 1. SUPERRAPIDI: fino a 3-4% di cobalto; restano duri anche ad altissime temperature.

Diffondere: un atomo di ogni altra specie avanza nel reticolo. I processi diffusivi dipendono dal coefficiente di diffusione:

$$D = D_0 \cdot e^{-(Q_f/RT)}$$

Più vacanze ci sono più facilmente diffonde. È più difficile avere vacanze con atomi autointerstiziali piuttosto che vacanze normali.

Vetro e ceramici: frattura immediata, meccanicamente affidabili.

Un eventuale aumento di deformazione è collegato alla entità del carico che applico. Quindi se il metallo si deforma plasticamente posso controllare le modalità di rottura (usato non solo per costruzioni statiche).

Con una ϵ plastica che ci consente di usare sollecitazioni continue nel tempo vuol dire avere un materiale sicuro.

Lavorabilità: i materiali metallici permettono tutte le lavorazioni possibili degli altri materiali.

I materiali metallici possono essere deformati in vari modi: possono essere stampati a caldo, a freddo, laminati, piegati, allucinati, malleati, estrusi, imbutiti.

Tutte queste caratteristiche fanno sì che i materiali metallici siano una classe a parte e hanno come caratteristica vincente la deformabilità plastica.

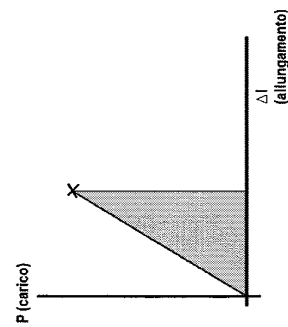
GESSO: solfato di calcio biidrato:

$CaSO_4 \cdot 2H_2O \rightarrow$ fragile, non tenace. Sollecitando a taglio tali materiali si generano immediatamente rotture in quanto si ha repulsione tra i vari piani.

LEZIONE 6

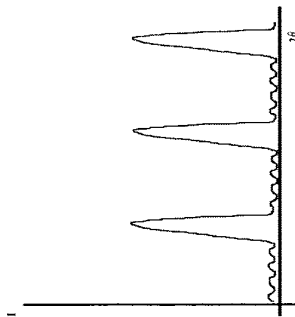
DEFORMABILITÀ PLASTICA: i metalli hanno un comportamento diverso fdegli altri materiali, tutti i materiali non metallici arrivati a una certa σ rottura si rompono ad una energia molto bassa. Cioè per rompersi richiedono poca energia, si rompono istantaneamente e improvvisamente.

DIAGRAMMA PER MATERIALI NON METALLICI:



Improvvisa rottura: non ci sono segni premonitori
 rottura istantanea avviene subito
 rottura non controllabile: quando la rottura inizia non posso rimediare in alcun modo perché comunque il materiale si rompe in una frazione di secondo. La frattura si propaga con velocità molto elevata.
 La rottura avviene con poca energia. L'area sottesa al punto di rottura rappresenta l'energia di rottura.

Il segnale si ha solo in queste condizioni. La linea di massima λ è nota poiché vi sono dei filtri che fanno passare solo la radiazione che voglio. Anche θ lo conosco. Con queste premesse è possibile determinare d in modo tale da capire il tipo di reticolo.



Il detector deve seguire il raggio del campione il quale ruota. Ma il detector deve ruotare a una velocità doppia rispetto al campione: 2θ

Otteniamo uno SPETTROGRAMMA o DIFFETTOGRAMMA. I picchi rispettano la relazione di BRAGG. Ogni materiale ha uno spettro con i suoi picchi.

LEZIONE 7

Raggi X → MACRO ROENTGRAFIA

Monocromatore → unica radiazione, unica lunghezza d'onda. Legge di BRAGG: $n \lambda = 2d \sin \theta$

PROVEDIMENTO (ANALISI QUALITATIVA):

1. riconoscimento fasi → attraverso raggi X → proporzionale alla posizione dei picchi
2. analisi quantitativa → presenza picchi proporzionale all'altezza dei picchi stessi
3. tipo di reticoli, tipo di fasi
4. soluzioni solide, quanto soluto c'è → se aumento le costanti reticolari risulta che i picchi si anticipano, soluzione carica di soluto
5. analisi per FLUORESCENZA: → è di tipo chimico. Se conosco il reticolo, il materiale e il θ ricavo la lunghezza d'onda, quindi riesco a studiare la radiazione → risalgo alla componente chimica e puntuale

MICROSCOPIA: i microscopi:

1. ottici (mezzo: luce) → arriva fino a 1000x
2. elettronici (mezzo: e⁻) → 10^2 fino a 10^5 x → bombardata gli e⁻ al suo interno ed essi mi ricostruiscono l'immagine.

MICROSONDA: rileva e analizza i raggi X che sono stati emessi. Esistono due metodi:

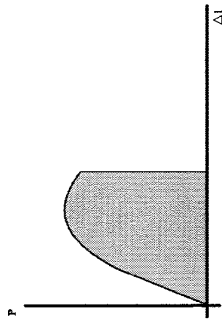
1. EDS → usa e valuta l'energia
2. WDS → usa e valuta la lunghezza d'onda. Quest'ultima ha una misura più accurata e riesce a determinare quantitativamente e qualitativamente gli elementi leggeri, ovvero quelli con peso atomico minore del loro.

Abbiamo parlato dei raggi X per via della DEFORMABILITÀ PLASTICA: per i materiali metallici si ha un grafico con una interruzione, o meglio deviazione, ad un certo punto dove vi è la deformazione plastica, la quale è irreversibile:

Maggiore lavorabilità
Maggiore possibilità di impiego
Maggiore sicurezza

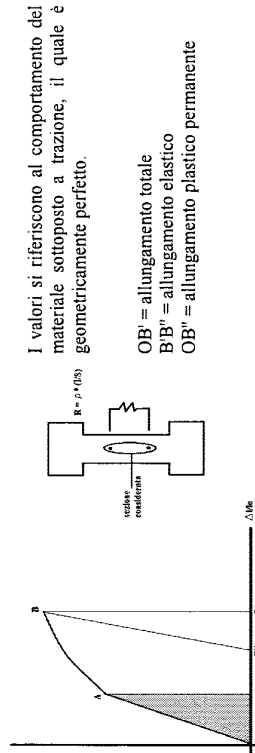
REQUISITI:

1. struttura cristallina
2. legame metallico



In realtà i materiali metallici hanno un comportamento elasto-plastico perché anche nel tratto plastico vi è una forte componente elastica la quale da un lato non è conveniente ma senza di essa non potrei sfruttare la parte plastica.

PROVA IN TRAZIONE



I valori si riferiscono al comportamento del materiale sottoposto a trazione, il quale è geometricamente perfetto.

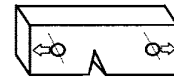
OB' = allungamento totale

$B'B''$ = allungamento elastico

OB'' = allungamento plastico permanente

Il carico è rigorosamente MONOASSIALE, permette la deformazione plastica, inoltre la prova è condotta a temperatura ambiente, il carico è applicato molto lentamente, è chiaro che il materiale p in condizioni quasi ideali. SI DESUMONO I VALORI IN CONDIZIONI IDEALI, poi si moltiplica per un fattore di sicurezza.

Esiste una prova invece che stabilisce il comportamento del materiale in situazione completamente opposta ovvero quando ha un difetto (TENACITÀ A FRATTURA).



Tutte le volte che abbiamo una variazione geometrica anche se abbiamo un carico mono-assiale, all'interno di tale variazione il blocco diventa tri-assiale

Data una variazione di sezione. Il avrò una concentrazione di forza e il blocco diventa tri-assiale, motivo per cui il materiale diventa più fragile.

Sezione a 45° → sezioni in cui il taglio è massimo, questo perché:

$$(F/A) \sin \theta \cos \theta = \tau$$

Dobbiamo trovare l'angolo che abbia fondo d'angolo più piccolo possibile, perché sarà il più sollecitato (PUNTO CRITICO: CORRISPONDE ALLA CRICCA, $\lim \rightarrow 0$).

Ovviamente il volume non varia nel corso della deformazione:

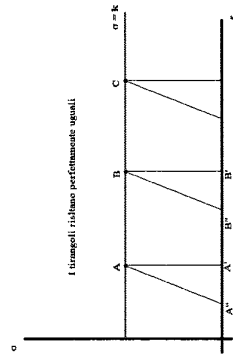
$$A_{0,0} = A_1 \rightarrow A_0/A = L_0/L = e + 1 \rightarrow \sigma_{REALF} = \sigma_n(e + 1) \quad (\sigma_n = \text{sigma nominale})$$

Nel campo infinitesimale:

$$\epsilon = \int (dL/L) = \ln(L/L_0) = \ln(e + 1) \quad \text{l'integrale ha estremi di integrazione } l_0 \rightarrow l$$

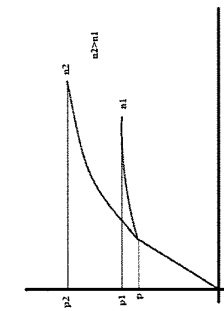
Quali valori può assumere n nella A)?

n=0 → materiale completamente plastico → non serve perché si rompe immediatamente una volta cominciato il tratto plastico.



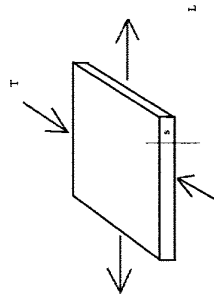
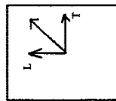
Posso lavorare solo in campo elastico perché è un materiale fragile.

N=1 → $\sigma = K * \epsilon \rightarrow$ materiale completamente elastico: le variazioni nel coefficiente di incremento sono comprese tra 0 e 1. Se vogliamo usare un materiale deformabile usiamo materiali a n=0 o a n=1?



Per deformare devo entrare nel campo plastico:
 caso 1: n=n1: p1 - p → intervallo entro il quale posso deformare plasticamente → estremamente piccolo e impossibile da lavorare.
 caso 2: n=n2: p2 - p → molto più ampio, materiale più lavorabile
 p2 - p >> p1 - p

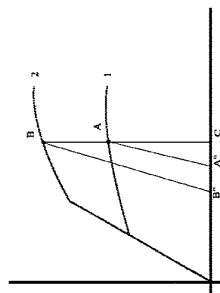
Cosa devo fare per avere un materiale più lavorabile? Devo far scendere il punto C ovvero voglio limitare la parte elastica. Dati ad esempio i due materiali della figura, preferisco lavorare con il materiale 1 poiché ha un tratto elastico minore del 2: voglio alto n e basso σ_n perché la potenza deve crescere se il carico è alto quindi avere più consumi



considero lamiere sottili: fino a 1,8 → laminata a freddo; > 1,8 → laminata a caldo
 STONE CHIPPING → lamiera sottile perforata da una pietra.

Devo fare in modo che la lamiera quando allungata si restringa e non si assottigli:
 $(L+T+2*45^\circ)/4$

Suppongo di avere due materiali sollecitati da carico di snervamento. Il ritorno elastico mi porta in A' in un materiale e in B' nell'altro. Si noti che la componente elastica nel caso B è nettamente maggiore, quindi vuol dire che al crescere di σ aumenta la componente elastica e il materiale è meno lavorabile.



B'C >> B'C'
 Basso Rs (carico di snervamento) → minor potenza alle presse, limitare il ritorno elastico.
 Alto n

Considerazioni sul modulo elastico: esempio: acciaio 210 Gpa, Alluminio 70 Gpa: l'alluminio rispetto all'acciaio ha un ritorno elastico maggiore.

Abbiamo detto che:

1. basso Rs
2. elevato n
3. elevato E
4. anisotropia: non ci sono le stesse trasformazioni negli stessi punti; caratteristiche variabili da punto a punto; esempio: lamiera di cui sono fatte le automobili: perché nella lamiera dominano la grandezza longitudinale (lunghezza), la larghezza (trasversale) mentre lo spessore è trascurabile.

Suppongo di deformare la lamiera, metto un punzone, succede che stiamo allungando la lamiera e quindi essendo il volume costante la lamiera si assottiglia.

MOUNTING: INGLOBATURA

Perché si ingloba?

1. se il materiale non è intero e non riesco a tenerlo in mano bisogna inglobarlo per poterlo maneggiare → se lo ingloba ha maggiore MANEGGEVOLEZZA
2. perché devo proteggere i bordi durante la lucidatura in quanto questi sono maggiormente sollecitati: sei bordi restano arrotondati:
 1. si perde lo strato di lavorazione
 2. non riesco a mettere a fuoco il campione
 3. incrementare la vita della superficie lucidata

GRINDING/POLISHING:

GRINDING: devo preparare il materiale e lucidarlo attraverso le lucidatrici le quali sono formate da un piatto sul quale vi è una carta abrasiva, inoltre è presente un serbatoio con lubrificante e acqua. Noi partiamo da carte grossolane con poche rugosità ma di grosse dimensioni (120) che scrostano la superficie. Alla fine avrò eliminato ogni imperfezione, come i segni del taglio e nella superficie ci sarà la forma di settori circolari.
 Poi prendo una carta più fine (240) e, girando il pezzo di 90° tolgo tutte le varie righe.
 Infine prendo una carta finissima (360) e rigiro di 90° per poter eliminare i segni della lavorazione precedente. Risultato finale: materiale con righe finissime.
 Passo successivo: POLISHING

POLISHING: si hanno dei "panni", dischi simili ai precedenti dove c'era la carta abrasiva, con panni di velluto per tale processo si usa la POLVERE DI DIAMANTE.
 Si passano tali panni e otteniamo un perfetto specchio, i panni sono imbevuti di Alcol perché l'acqua riga e rovina la superficie.

Una volta fatto ciò si termina la lucidatura (durata circa 15 min) prendendo il materiale e passandolo alla fase di osservazione.

Il principio è quello di far funzionare il materiale come specchio riflettente. Supponendo che il campione sia perfetto, lo osservo al microscopio e vedo il fascio di luce riflesso, quadrato o rotondo in base alla forma dell'oculare.
 GHSA → contiene grafite → la grafite non ha una faccia metallica quindi al microscopio vedo tutto bianco con delle lamelle scure che non riflettono la luce.



Finita la lucidatura trovo: Grafite, Incusizioni (allungate solfuri, tondeggianti ossidi), Cricche

microstruttura.

Maggiori sono le dimensioni del campione maggiori sono le differenze all'interno del materiale. Il campione deve rappresentare il tutto. Se ho la possibilità di scegliere più campioni, scelgo quello con più omogeneità.

Se il materiale scelto presenta invece caratteristiche di tipo plastico bisogna vedere la struttura nelle 2-3 dimensioni (trasversalmente e longitudinalmente). Direzioneando longitudinalmente e trasversalmente avremo dei campioni diversificati

Supponendo di avere un campione con dello zolfo, esso è dannoso (deve essere tenuto basso). Avere alti tenori di zolfo è un difetto: SOLFURO DI FERRO → VANTAGGIO (usando lo zolfo non puro posso effettuare lavorazioni ad alta velocità) → nelle lavorazioni per esportazioni di truciolo l'obiettivo è quello di mantenere bassi i costi degli utensili, ovvero il materiale utile per avere il filetto. Se ho del materiale al quale non richiedo caratteristiche meccaniche devo privilegiare il basso costo usando materiali ad alto tenore di zolfo (circa 1%).

Nelle lavorazioni meccaniche non posso usare lo zolfo, quindi devo usare anche il Manganese (SOLFURO DI MANGANESE: dà un punto eutettico non a 900°C ma a 1200°C circa).

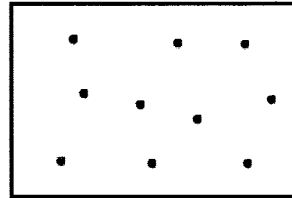
Oltre allo zolfo anche l'idrogeno è pericoloso, poiché essendo molto piccolo può entrare in molti modi. Ad esempio un trattamento elettrolitico dove l'idrogeno funge da catodo.

L'idrogeno più pericoloso è l'H monoatomico, poiché avendo le stesse dimensioni degli interstizi dell'atomo di ferro, si va a piazzare nelle vacanze. Quando il materiale si lega, si formano atomi di idrogeno aumentando la pericolosità del materiale. Inoltre non c'è alcun modo per capire se vi sia presente idrogeno o meno all'interno del materiale, infatti in tutte le varie prove il materiale risulta lo stesso. Queste presenze di idrogeno porteranno ad avere delle fratture nel materiale molto prima che si raggiunga il carico di snervamento.

Per reagire alla presenza di H devo sopprimere in partenza la presenza prima di effettuare qualsiasi test. L'idrogeno è anche molto pericoloso per gli ACCIAI AD ALTA RESISTENZA 900-950 Cpa, perché hanno molta rigidità; a quelli a bassa resistenza no perché tanto sono molto deformabili.

{COTTURA PER VERNICIATURA → circa 190°C}

Solfuri: hanno forma allungata nella direzione della laminazione (in direzione longitudinale). Se no un campione in direzione longitudinale la sua sezione resistente è in direzione trasversale; in tale direzione ho un buon comportamento meccanico (materiale piccolo e non allungato)



SECTIONING: sezione del materiale: conviene farlo a mano per evitare di surriscaldare il materiale, purtroppo però è un metodo poco usato. Motivo per cui spesso si verificano trattamenti termici: INEVITABILE.

È una struttura molto disomogenea chimicamente e morfologicamente → per ovviare a questo problema effettua una ricottura in lingotti alla temperatura più alta possibile.

INOCULAZIONE: processo in cui considero la lega appena detta Fe-C-Si. Essa comincia a solidificare e aggiungiamo lo 0,1% di Si → localmente i granelli di silicio aumentano molto l'attività del C portando la lega in condizioni IPERENTETICHE (localmente) → avremo molti grammi di grafite → GHISA GRAFITICA (con LAMELLE).

L'austenite non rimane più al 2% ma lo 0,8% → struttura con lamelle di grafite ed è GRIGIA → struttura PERLITICA → grafite + perlite dove la perlite è cementite + ferrite se ho:

1. elevata % di Si
 2. lento raffreddamento
- L'austenite può ancora perdere carbonio diventando ferrite + grafite.

GHISE SPEROIDALI: grafite presente sotto forma di sferoidi; differenza: le lamelle fanno sì che si creino fattori di intaglio da 11 a 13 (ghisa fragile); lo sferoide ha un fattore di circa 3: molto meno invasivo, migliori.

Nell'inoculazione: 0,1% Si + 0,1% Mg → Mg aumenta la tensione superficiale e le lamelle diventano sferoidi.

FORMAZIONE DI GRAFITE: è influenzata da:

1. % di Si (alta)
2. velocità di raffreddamento (se veloce avrà bassa % di Si, elementi che stabilizzano → ghise con carburi)

EUTETTOIDE: l'ambiente genera cementite con al massimo 6,6% di C partendo da composizione massima di 0,2% di C.

Allo 0,8% di C a 723°C avrà: FERRITE + CEMENTITE = PERLITE (MISCELA MECCANICA)

$\alpha + \text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \text{Perlite} (11\% \text{ Fe}_3\text{C}, 89\% \text{ Fe } \alpha)$

Partiamo da austenite γ : la trasformazione: $\alpha (0,02\% \text{ C}) + \text{Fe}_3\text{C} (6,66\% \text{ C})$

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

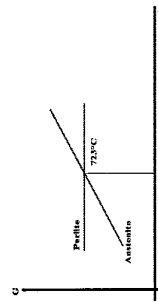
$$(0,8) (0,02) (6,66)$$

A controllare la trasformazione è la DIFFUSIONE dove si hanno MIGRAZIONI DI CARBONIO. La DIFFUSIONE GENERA NUCLEAZIONE (fenomeno attraverso il quale aumenta il numero di cristalli in un solido). ACCRESCIMENTO (crescita dei cristalli). Il fenomeno della diffusione dipende dalla temperatura e dal tempo: la prima agisce esponenzialmente, il secondo agisce come radice quadrata.

Il diagramma Fe-C non dipende dal tempo perché è di equilibrio; il raffreddamento può essere anche veloce. La trasformazione subisce una ISTERESI: all'aumentare della velocità di raffreddamento avviene sempre a temperature più basse.

Dal punto di vista termodinamico tale trasformazione deve avvenire a 723°C; se non do il tempo allora la trasformazione deve avvenire sotto una spinta termodinamica maggiore.

Abbassando T (aumento la velocità di raffreddamento) la spinta termodinamica è maggiore → maggiore nucleazione perché non c'è tempo a sufficienza per avere la reazione di diffusione → struttura FINE



Si innescano fenomeni di diffusione (omogenizzazione chimica), ricristallizzazione (non ho più cristalli fini).

COLATA CONTINUA: colò in serbatoi (TANDISH) dai quali parte un tubo in rame che viene raffreddato ad acqua in modo che si formi una pellicola di solido → inizia la laminazione assieme alla fusione: prodotto detto BRAMMA.

EUTETTICO: si forma GRAFITE o CEMENTITE. La GRAFITE se non aggiungiamo leganti non si formerà mai da AUSTENITE. Affinché intervenga l'eutettico nella solidificazione devo superare il 2% di composizione di C.

1. ACCIAI: ferro-leghe dove nel processo di fabbricazione non è coinvolto l'eutettico
 2. GHISE: è coinvolto l'eutettico
- 2% valore relativo dipendente dalla presenza degli altri elementi → si spostano i punti critici.

La GHISA è un materiale da GETTO, ovvero è un materiale facilmente colabile, di fatti mi manufatti si ottengono per fusione:

1. bisogna che abbia basso punto di fusione (bassa T)
2. bisogna evitare le zone fangose (coesistenza solido liquido) in quanto pregiudicano il riempimento degli stampi (intervallo L+S più basso possibile)

Le leghe da getto sono le leghe di composizione eutettica a 4,3% → troppo tenore di C → ottengo una lega con cristalli di austenite e grafite lungo i bordi di grano:

1. problemi di colabilità
2. malfunzionamento struttura e caratteristiche meccaniche nulle.

Per risolvere tali problemi si esce dal Fe-C ed entra in un TERNARIO (Fe-C-Si) dove il silicio aumenta l'attività del carbonio → C si comporta come se ce ne fosse 1/3 in più. Se abbiamo un 3" di Si abbiamo + 1% di C → possiamo mettere meno C, cioè posso arrivare al 4,3% mantenendo un C più basso → otteniamo così una lega eutettica con caratteristiche meccaniche.

FERRITE α : soluzione massima di C è 0,02% a 723°C

FERRITE γ : AUSTENITE → soluzione massima è 1,98% a 1135°C

FERRITE δ : soluzione massima di C è 0,1% a 1492°C

Vi sono 3 punti a varianza 0 (punto a varianza 0 = presenza di tre fasi diverse in quel punto):

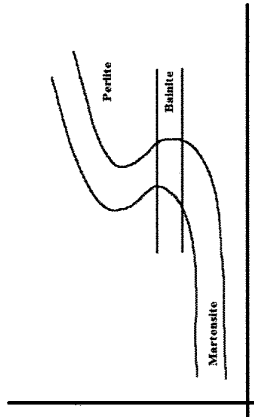
1. PERIETTICO: 0,18% di C a 1492°C; liquido e solido hanno uguale concentrazione
2. EUTETTICO: 4,3% di C a 1135°C; il liquido solidifica in due fasi solide; liquido e solido hanno diversa concentrazione
3. EUTETTOIDE: 0,8% di C a 723°C; una fase solida genera due fasi solide di concentrazione diversa

EUTETTICO: nella colata si sfrutta per lo più basse temperature ma in tal caso possiamo ottenere solo ghise (4,3%). Queste non sono utilizzabili per cui aggiungo silicio → prende il posto del carbonio: aggiungo 1% di Si corrisponde a circa 0,3% di C. Posso quindi raggiungere l'EUTETTICO con 2% di C

PERIETTICO: la periettica influisce sul comportamento degli acciai nel corso della colata. Il liquido deve diventare solido supponendo di avere una lega. Arrivati al periettico è un solido con una composizione, le % reciproche variano. La solidificazione avviene a partire dalle pareti (dato che c'è diversa composizione tra cuore e pareti per questo motivo cambia anche la struttura).

All'interno delle pareti ho piccoli cristalli (STRUTTURA FINE). Si stabilisce un gradiente di T al centro dove si hanno i CRISTALLI EQUIASSICI. Sulla superficie invece si hanno i cristalli di ferrite molto poveri di C.

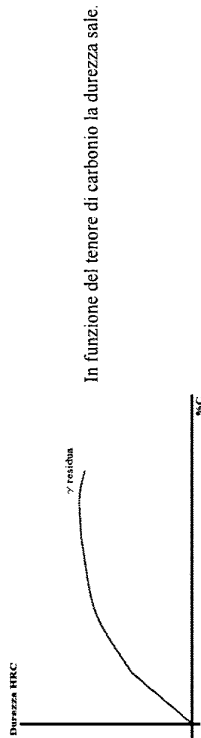
BAINITE:



A bassa temperatura si forma la BAINITE: è una miscela bifasica formata da ferrite e carburo metastabile:



STRUTTURA MARTENSITICA: non si può utilizzare pura perché è estremamente fragile nonostante sia dura per il suo tenore di carbonio. Il carbonio deforma la cella e la tensione caratterizzando la durezza del materiale:



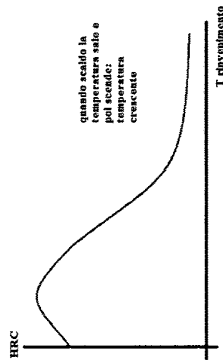
RINVENIMENTO: avviene necessariamente dopo la tempra perché trasforma l'acciaio martensitico nell'acciaio che ci serve

TEMPRA (quench/quenching): AUSTENITIZZAZIONE + RAPIDO RAFFREDDAMENTO

TEMPRA + RINVENIMENTO = BONIFICA (tempered steel: acciaio bonificato)

KILLED STEEL (Acciaio calmato, sottoposto al calmaggio)

Analizziamo il rinvenimento: scaldo il materiale a temperatura più bassa rispetto a quella usata in campo austenitico. Cosa succede?



1. l'austenite residua si trasforma in martensite.
2. La martensite tetragonale perde il carbonio diventando cubica X_{ϵ} e il carbonio esce sotto forma di carburi $T\epsilon$

2. OLIO: per temprare in olio servono acciai leganti. Ci sono molte controindicazioni perché sporca, deve essere smaltito, è grasso, è pericoloso, crea fumi. A causa dell'inquinamento si preferisce temprare in gas.

3. GAS: avviene con gli impianti sottovuoto. Quando scaldiamo acciai a freddo usiamo alte temperature (circa 1100°C); queste possono ossidare gli acciai. Può avvenire:

1. liquefazione: il gas si liquefa e allora è irrecuperabile
2. ingrossamento dei grani: i grani aumentano la loro dimensione e avrà cristalli grossi. Ciò implica tuttavia avere una struttura grossolana.

Altri fenomeni:

1. OSSIDAZIONI
2. DECARBURAZIONI

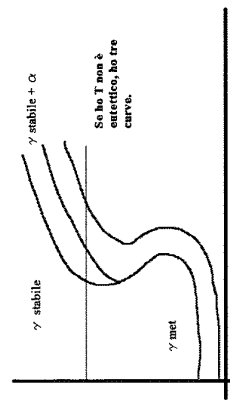
Rimedi: innanzitutto bisogna fare una distinzione tra GREZZO e FINITO:

1. GREZZO: materiale che subirà ancora delle trasformazioni: ogni trasformazione è una tappa. Per il grezzo non esistono soluzioni se non quella del SOVRAMETALLO: so quando succede il fenomeno non desiderato e allora tolgo il materiale dal grezzo che ha già raggiunto e iniziato quella determinata trasformazione non voluta.

2. FINITO: dopo non faccio altri trattamenti quindi devo prestare attenzione sul finito, devo proteggere la superficie. Essa può avvenire con:

1. Gas INERTI → non reagiscono (tutti i gas nobili: elio, argon, ma anche l'azoto → il più usato). Questi gas tuttavia inquinano tanto il materiale poiché contengono ossigeno (o meglio vengono prelevati dalla atmosfera per distillazione frazionata; molto costosa quindi raramente usata)
2. ENDOGAS: generatori endotermici con la combustione dei gas di città si rischia di contaminare il mio materiale. Bruciando tale gas riesco ad avere un'atmosfera che protegge il pezzo o fa diminuire il suo tenore di carbonio o ossigeno.
3. VUOTO: se no il vuoto fuori ho l'alta pressione. L'unico modo per riscaldare sarebbe l'irraggiamento oppure usare la convezione, inserisco l'azoto. Oppure un gas in pressione per scaldare. Questo processo è molto costoso e viene usato solo per gli acciai costosi (alti legati) detti auto-temprati perché prendono tempra in normalizzazione.

CONSIDERAZIONI STORICHE: prima si usava il vuoto con la tempra in olio attraverso una doppia camera isolata attraverso una paratia.



Altro tipo di curve: CCT, differenziano dalle precedenti TTT perché qui vedo cosa succede al variare della temperatura, le curve si modificano, si spostano in basso a destra.

DIAGRAMMA A1-Si: (Si:12-14%):

