



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1899A -

ANNO: 2016

A P P U N T I

STUDENTE: Chialà Francesco

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.**

MATERIALI METALLICI

Possono in generale definire "lega" un materiale con proprietà metalliche.

Nella categoria dei "metalli" rientrano i metalli propriamente detti, ma anche i metalli combinati con altri elementi ossia le leghe di cui sopra.

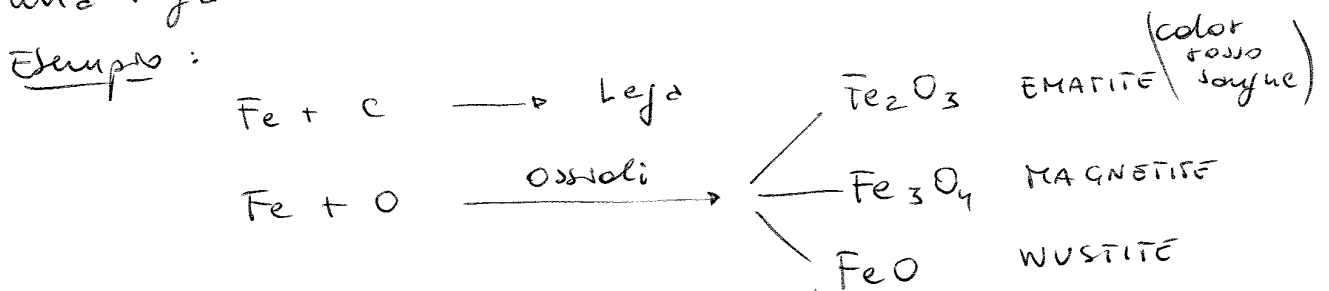
Esempio: Acciaio = Ferro lega al carbonio
(il Tenore di carbonio può variare dallo zero al max 1,98%)

Questo esempio dimostra che: per essere "metalli" non è necessario che tutti gli elementi che compongono il materiale siano metalli

Si parla di "composti intermetallici" per indicare l'insieme dei composti chimici che vengono ottenuti per solidificazione di fusioni metalliche

Esempio: Al_2Cu

Bisogna notare però che l'unione di un metallo ed un altro elemento non dà obbligatoriamente una lega:



Gli ossidi non sono dei metalli!!!

CARATTERISTICHE DELLE LEGHE

Nota: Se parliamo di proprietà / caratteristiche delle leghe ci riferiremo più in generale alle proprietà dei metalli, essendo le leghe dei materiali con proprietà metalliche (per definizione)

→ DEFORMABILITÀ PLASTICA

Questa è la proprietà che ha fatto sì che i metalli prendessero il sopravvento su tutti gli altri materiali. Perché?

Un organo meccanico deve per poter essere costruito deve poter essere:

- lavorato per asportazione di truciolo

- colato (per produrlo fuso)
- anche deformato plasticamente se è una lega.

Quindi la possibilità di essere deformato plasticamente rende possibile la realizzazione facilitata degli oggetti (Esempio: carrozzeria dell'automobile costruita grazie alla deformabilità)

Quindi: la deformabilità plastica è essenziale nella meccanica (organi in moto).

Infatti, basti pensare che fino a che non furono scoperte queste peculiarità dei materiali metallici le costruzioni erano tutte STATICHE (sculture, palazzi...)

Quando si scoprirono i metalli con la rivoluzione industriale si iniziarono a concepire strutture con elementi mobili (meccanica)

Sequenza storica:

PALEOLITICO (Litos = pietra) → ETÀ DEL RAME 4000 d.C.

→ ETÀ DEL BRONZO → ETÀ DEL FERRO 1200 d.C. (Roma)

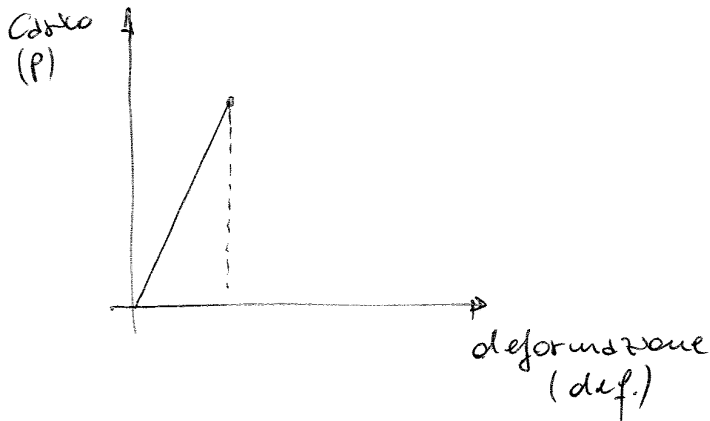
→ ETÀ DELL'ALLUMINIO E TITANIO 1700 (? date)

I romani non erano in grado di padroneggiare la deformazione plastica. Essa risultò possibile solo per alcuni tenori di carbonio

UTILIZZO

Anche se i componenti meccanici potrebbero essere costruiti in materiali diversi dai metalli questi non sarebbero utilizzabili. Questo dipende da come avviene la rottura dei materiali.

Materiali fragili



In questi materiali la rottura avviene istantaneamente dopo che all'aumentare del carico il materiale si è deformato elasticamente secondo una costante di proporzionalità detta modulo di Young e dato da: $\frac{P}{def} = E$

Definizione di rottura:

Utilizzo di energia per creare nuove superfici.

Si parla di **ROTTURA FRAGILE** quando essa avviene:

- 1) Istantaneamente
- 2) Improvvisamente (cioè SENZA PREAVVISO, SENZA SINTOMI)
- 3) Basso apporto di energia

I materiali fragili possono essere impiegati solo per strutture statiche.

Nota: Anche alcuni metalli possono essere fragili...
Esempio: ghisa (lega Fe-C)

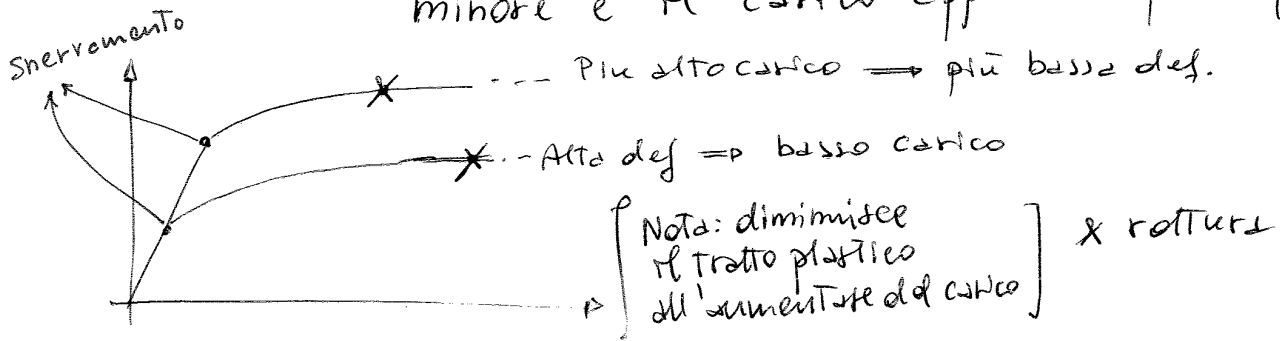
Un po' di storia...

Leonardo Da Vinci studiò le strutture (statiche) difensive durante la guerra. Siamo nel 1500 e questa necessità sorse nel momento in cui furono inventati i cannoni che iniziarono a sollecitare le strutture DINAMICAMENTE. La sfida di Leonardo fu quella di ELIMINARE GLI SPICOLI per evitare che gli spalti si caricassero in specifici punti.

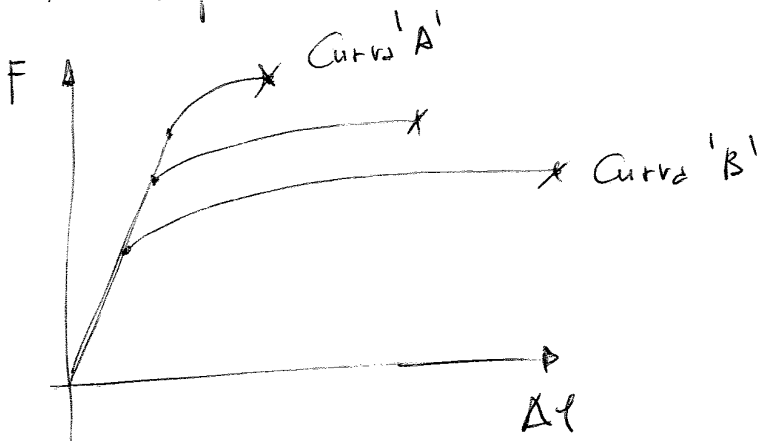
Altro fattore importante è la velocità con cui applico il carico.

Se il carico è applicato troppo velocemente esso non dà il tempo al materiale di deformarsi \Rightarrow rottura.

Solitamente: maggiore è la deformabilità plastica, minore è il carico applicato per deformare.



L'Acciaio è il materiale con il miglior rapporto qualità/prezzo.



In generale si tende ad usare un materiale con maggiore deformabilità plastica piuttosto che uno con alto carico e piccola def. prima della rottura.

C'è sempre sarebbe trovare per quanto possibile un compromesso ricordando che non posso sacrificare più di tanto la deformabilità plastica

Composizione chimica

Aumentando le impurezze (es Carbonio nel Fe) esse ostacolano il movimento degli atomi primari (Fe)
⇒ Aumenta resistenza meccanica.

- Conducibilità elettrica

Può essere di due tipi:

- 1) Ionica
- 2) Elettronica

1) Ionica

Immergendo in acqua materiali che producono ioni ⇒ c'è conduzione causata dall'Idrolisi dei sali (solfuri, nitrati, nitrati...)

2) Elettronica

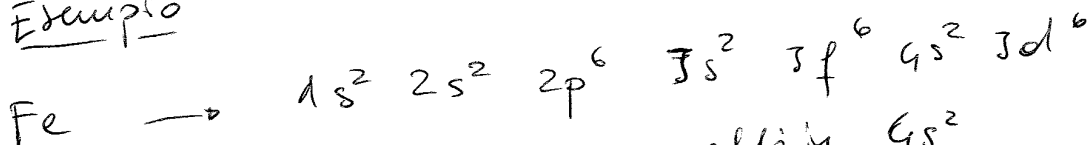
È più sfruttata di quella ionica.

Nei metalli gli elettroni sulla BANDA DI VALENZA possono sfuggire al nucleo e divenire elettroni liberi che conducono ~~energia~~ corrente elettrica.

Principio generale: "Qualsiasi fenomeno in natura evolve verso una condizione di minimo energetico"

Così anche gli elettroni non possono andare ovunque ma possono compiere solo dei movimenti energeticamente concessi verso le cosiddette zone di BROUILLIN

Esempio



Gli elettroni liberi sono quelli in $4s^2$

IL RAME

È stato il primo metallo ad essere utilizzato dall'uomo.
(Età del rame 5000 anni fa). Questo perché:
5000/6000 a.C.
- C'è in abbondanza
- È facile produrlo

Nota: Ogni metallo puro può essere utilizzato per formare leghe. Esempio: Fe → Acciaio
L'acciaio è prodotto dalla siderurgia.
"Sidemus" ⇒ Siderurgico ⇒ spazio siderurgico
⇒ INFATTI il Fe è stato per la prima volta ottenuto dai MERECURI (fu interpretato come dono degli dei)

In natura non esiste alcun metallo puro al 100%.
Si producono metalli via via più puri con processi di riduzione.

RIDUZIONE DEGLI OSSIDI viene fatta tramite riscaldamento e mediante questi processi si separa il metallo dall'ossigeno.

L'ossido più facile da ridurre è quello di rame.
Occorre riscaldare le PIATTI COPRIFERE a temperature anche più basse di 100°C.
L'ossido di Fe è molto più difficile ridurre, bisogna raggiungere 900/1000°C

Cenni ossidazione Fe: Ho bisogno di un camino (MARTINA)
all'interno del quale insufflo O₂ per favorire la combustione ed aumentare la temperatura
(primi esperimenti → epoca romana)

La conducibilità elettrica di un materiale dipende dalla temperatura.

Al di là del prezzo, sarebbe vantaggioso usare oro per le linee elettriche?

No, perché l'oro puro (cioè quello in grado di condurre bene elettricità) ha caratteristiche meccaniche molto limitate. Quindi una linea elettrica in oro o platino puri si spezzerebbe.

Alcune volte, però, l'oro o il platino (buonissimi conduttori) si usano in elettronica. Quando?

Quando, nella microelettronica in genere, voglio essere sicuro che il segnale elettrico sia trasmesso perché ho il sospetto che se utilizzassi materiali diversi questi potrebbero ossidarsi e quindi non condurre più. (perché ricordiamo: L'OSSIDO NON È UN METALLO)

SALDATURA E BRASATURA

SALDATURA: giunzione dei materiali che avviene fondendo parte del materiale A e parte del materiale B. Di solito si aggiunge anche del materiale d'apporto che fonde anch'esso.

BRASATURA: giunzione dei materiali che avviene fondendo SOLO materiale d'apporto (es. stagno nei circuiti elettrici)

SALDOBRASTURA: fonde solo uno dei due materiali giuntati INSIEME con il materiale d'apporto

(esempio: giunzione Al - Acciaio; fonde solo Al + materiale d'apporto)

Aumentando le resistenze \Rightarrow aumento le zone in cui gli e^- non \Rightarrow possono passare

\Rightarrow DIMINUISCE LA CONDUZIONE

"Diminuisce la conduzione" vuol dire: "Aumenta la resistenza" cioè aumenta la resistenza.
Di conseguenza aumenta l'effetto Joule $P = RI^2$
 \Rightarrow Cortocircuito

Quindi:

"Il modo scientifico per quantificare le resistenze è quello di misurare la resistività"

Questo spreco anche perché la superconduttività avviene alle BASSE TEMPERATURE (così come il supermagnetismo). Queste basse Temperature, tuttavia, sono difficili da realizzare.

Perciò devo intervenire su "S" (sezione):

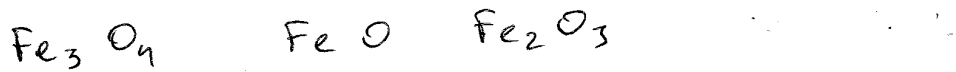
"S più GRANDE possibile per diminuire la resistenza"

Il problema è che se il materiale con cui ho a che fare è pesante non posso permettermi di aumentare esageratamente la sezione.

Penso che: DEVO CERCARE DI UTILIZZARE MATERIALI LEGGERI.

Ecco perché l'ALLUMINIO pur avendo una ρ (resistività) più alta rispetto al rame è molto più leggero e per questo è molto usato in ambito elettronico. (Anche il rame è molto usato ma l'Al ha i vantaggi suddetti).

Ricordiamo le 3 configurazioni degli ossidi di Fe:



- FeO wustite
- Fe_3O_4 magnetite
- Fe_2O_3 ematite

Problemi:

- 1) Tali ossidi hanno massa volumica differente tra loro
 - 2) Con la Temperatura cambiano ciascuno la propria massa volumica
- ⇒ 3) Gli ossidi si spaccano facilmente, sono estremamente porosi e friabili.

Si capisce quindi come:

L'OSSIDAZIONE NON SI BLOCCA, proprio a causa della porosità degli ossidi. L'ossigeno può sempre infiltrarsi nei pori e ossidare il metallo sottostante ossidandolo.

Rimedi:

Si usa lo ZINCO Zn che funge da ELEMENTO SACRIFICIALE nel senso che si ossida lui invece che il metallo su cui si è applicato (es. acciaio).
Di solito lo ZINCO stesso viene PASSIVATO, processo che permette di conferire caratteristiche che rallentano o limitano la sua ossidazione (altrimenti si consumerebbe troppo presto).

A differenza del Ti, però, l'Al non ha buone caratteristiche meccaniche alle alte Temperature.

Perciò negli scambiatori di calore viene usato il TITANIO.

Il TITANIO tempo fa era utilizzato quasi esclusivamente in ambito MILITARE (es. motori turbogas negli aerei). Dopo il 1989 fu commercializzato anche in altri ambiti.

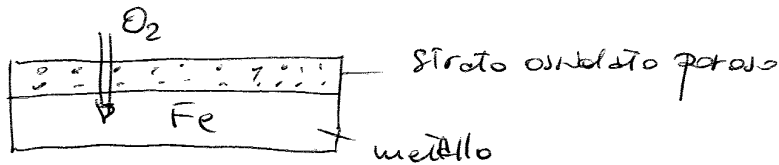
Il TITANIO è oggi usato in ambito BIOMEDICO.

Proprietà Ti:

- 1) Non rilascia ioni nel corpo umano
- 2) Forma l'OSTEOPATITE, buona per le ossa
- 3) È accettato facilmente dall'organismo

È usato anche per fabbricare protesi dentarie
Nota: il collutorio fa male alle protesi in TITANIO
→ corrodono!!!

Tali ossidi hanno utte volumi che differenti e sono porosi perciò lasciano passare l'ossigeno \Rightarrow per questo il Ferro/Acciaio non resistono alla corrosione.



Per evitare questo si può utilizzare il processo della VERNICIATURA PER CATOFESI in grado di conferire resistenza alla corrosione che consiste nel deposito uniforme di una resina epossidica o acrilica. La resina acrilica, in particolare, rispetto alla epossidica può formare a contatto diretto con gli agenti atmosferici. (Tecnologia largamente impiegata nelle industrie automobilistiche).

Ossidi di Al e Ti: sono migliori (e non più di uno come il Fe)

Al_2O_3 e TiO_2 sono avvolgenti il materiale sottostante con una pellicola micrometrica.

Per inciso si ricorda che questo tipo di ossidi pur proteggendo dalla corrosione non facilitano la CEMENTAZIONE E NITRUMAZIONE. Per procedere a questo tipo di processi bisogna quindi bombardare preventivamente questo strato di ossidi con degli ioni ed eliminare l'ossido protettivo.

Cromo: elemento molto usato. Con tenori maggiori del 13% ci permette di creare strati d'ossido simili a quello di Al o Ti ed inoltre favorisce la

TEMPERABILITÀ

Proporzioni delle percentuali

0 ÷ 0,5% \Rightarrow Acciaio DA BONIFICA

SOPRA 13% \Rightarrow Inibisce la CORROSIONE

Il Ferro può esistere nelle seguenti configurazioni:

c.c.c. \Rightarrow Ferrite (slz solide)

c.f.c. \Rightarrow Austenite
(Ferrite γ)

Da queste due configurazioni conseguono i diversi tipi di acciai: 1) FERRITICI
2) AUSTENITICI

L'Acciaio è c.c.c. se il Fe è c.c.c.
, , c.f.c. se il Fe è c.f.c.

- 1) Il ferro è c.c.c. fino a 907°C (Ferrite α)
- 2) , , c.f.c. da 907°C a 1400°C (Austenite)
- 3) , , c.c.c. da 1400°C a 1537°C (Ferrite δ)

Quindi abbiamo

3 possibili slz solide:

- Ferrite α
- Austenite
- Ferrite δ

La presenza di altri elementi può ridurre l'Austenite (γ Ferrite) oppure addirittura farle sparire (una delle due) completamente.

↓
T_{fusion}

Gli acciai INOX devono essere costituite (per i motivi più detti) da UNA SOLA FASE.

Per evitare la formazione di carburi occorre che il carbonio sia presente in percentuali basse.

La formazione di Carburo:

Impoverisce la matrice di Cromo perché il Cromo è più affine del ferro con il carbonio.

(Tende a formare carburo di cromo e non carburo di Fe)

Ecco perché le percentuali di C devono essere max 0,02%
Se il Tenore di C non può essere o non si riesce a ridurlo si possono creare gli ACCIAI STABILIZZATI.

ACCIAI STABILIZZATI:

Si aggiungono altri elementi:

Titanio, Molibdeno, Vanadio che hanno affinità maggiore del cromo con il

Carbonio → si creeranno perciò:

CARBURI DI VANADIO, MOLIBDENO, TITANIO...

!!! Questo vuol dire che si formerà una ulteriore fase solida → (più probabile) (1 OX) (2 UMIDO)

PERÒ abbiamo il vantaggio

di non impoverire la matrice di Cromo che protegge tale ossidazione.

FASI PRESENTI NELL'ACCIAIO

Quello che abbiamo precedentemente detto riguardo alle fasi che possiamo riscontrare nell'acciaio sono ricavabili dal diagramma Fe-C che, ricordiamo,

"fotografa" un sistema in condizioni di equilibrio termodinamico.
Ciò si verifica alla minima energia e a tempi infiniti nella trasformazione (cioè, in parole povere, il tempo non viene considerato).

Nella realtà, cioè in condizioni REALI, il tempo è un parametro INFLUENTE.

Come conseguenza:

- 1) potranno essere presenti fasi che dalla lettura del diagramma di stato non sarebbero presenti
(esempio: se raffreddiamo bruscamente produrranno Austenite + II AMBIENTE)
- 2) Possono crearsi nuove fasi.

Ricordiamo il discorso fatto riguardo all'OX:

- 1) OX A SECCO \longrightarrow RIMEDIO: introduciamo CROMO
- 2) OX A UMIDO \longrightarrow RIMEDIO: Una sola fase

La fase più pericolosa è quella dei CARBURI perché essi precipitando riducono il Tenore di Cr.

Questo produce due effetti NEFANDI:

- 1) Creazione di una nuova fase
- 2) Impoverimento strato di Cr

Visti i costi nei tempi passati si usava produrre ACCIAI 18-7
Oggi i migliori Acciai sono:

ACCIAI 20-10 20% Cr e 10% Ni

ACCIAI AUSTENITICI

Nella 2^a guerra mondiale fu proibito l'uso del Nichel.
Però si iniziarono a produrre acciai al (Manganese-Atato)

Tossicità Cromo: il cromo è tossico, ma se
presente in solz non è più tossico.
(anche se in testà una cessione del cromo
c'è sempre).

permettono
la cristalliz. del Fe in
una struttura
C.F.C.

Forchette, cucchiai, spatole sono esempi comuni di
impieghi di acciai INOX. È da notare che in questi
esempi non è necessario avere un acciaio particolarmente
duro. Nei COLTELLI ed in tutti gli utensili usati
per tagliare qualcosa, la DUREZZA è fondamentale
si può ottenere maggior durezza AUMENTANDO IL
TENORE DI CARBONIO

ACCIAI MARTENSITICI

Martensite: è una fase METASTABILE cioè una
fase di equilibrio che non corrisponde ad un MINIMO
ASSOLUTO di energia.

In questa fase il carbonio è rimasto intrappolato nel
reticolo. Ciò può avvenire se si raffredda molto
velocemente da Temperature superiori a quelle di
austenitizzazione fino a Temperature ambiente.
Si origina una ^{STRUTTURA} TETRAEDRALE per un "allungamento"
della struttura C.C.C.

"Queste fase è detta MARTENSITE"

SUPERLEGHE

Seguono i dettami della metallurgia al contrario.

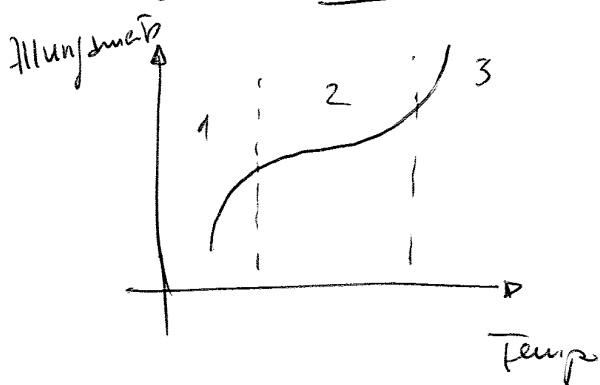
In genere, nella metallurgia è noto che:

"il GRANO PICCOLO è L'UNICO sistema in grado di garantire RESISTENZA MECCANICA e TENACITÀ"

Ci sono però due eccezioni a tale regola:

- 1) Superleghe
- 2) Acciai da profondo stampaggio

Quando una lega raggiunge temperature elevate si ha il fenomeno dello SCORRIMENTO VISCOSO A CALDO detto CREEP



Nel CREEP oltre alle DISLOCATIONS abbiamo un MOVIMENTO DI GRANI ad alta temperatura

Bisogna cercare di limitare lo scorrimento dei grani.

Più grossi sono i grani, più scorrono difficilmente.

Generalmente si cerca anche di evitare i precipitati a bordo grano ma nel caso delle superleghe

i precipitati sono funzionali in quanto fanno "da pannello" RAUENTANDO LO SCORRIMENTO DEI GRANI.

Per far formare i precipitati si usa una MATRICE DI COBALTO o NICHEL che dà anche la possibilità di Tali materiali di resistere alle alte temperature.

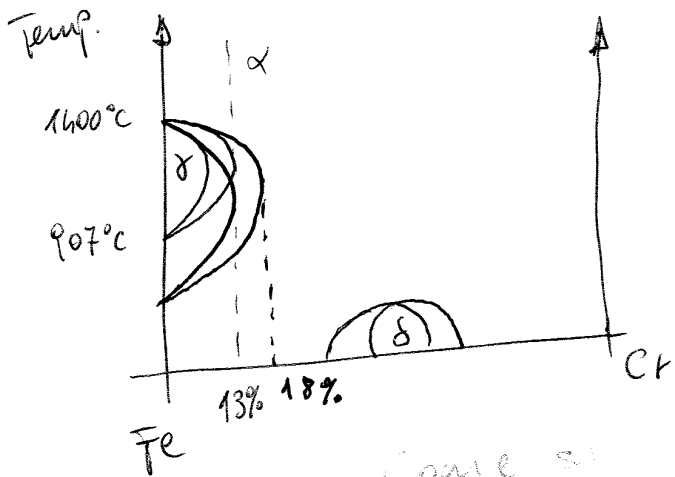
→ i precipitati di Nichel e Cobalto si posizionano a bordo grano ostacolando il moto dei grani stessi

Nel caso di ACIDO NITRICO o SOLFORICO però l'acido è OSSIDANTE
 ⇒ Il rame viene corrosato!!!

Conclusione: Non possiamo usare il rame quando siamo in presenza di ACIDI OSSIDANTI.

In tal caso dobbiamo utilizzare piombo ad alto tenore di SILICIO. In questo modo però avremo una vetrificazione del manufatto (infatti il silicio è il componente principale del vetro).

Ragionamento sul diagramma Fe - Cr



Come si può vedere la zona in rosso

In condizioni standard la solubilità max di Cr in Fe è del 13%.
 Se riusciamo ad allargare la zona del diagramma come nel tratto allungato in rosso ⇒ aumenteremo la solubilità max del Fe fino (ad esempio) al 18%.

Riscaldamento centralizzato

Dal 1972 ENI energetica → È uno spreco scaldare l'alloggio quando non sono a casa!!!

Per cui si decide di proporzionare per il RISCALDAMENTO PARTICOLARE (ogni alloggio con una propria caldaia)

Oggi si è tornati indietro!!!

Motivo: 1) con un riscaldamento centralizzato si riducono le fonti di inquinamento.

2) (VERO MOTIVO) con il riscaldamento particolare il singolo cliente deve stipulare un contratto con l'ente erogatore (es. ENI).

Perciò se non pago ⇒ mi tolgono il gas.

Se il riscaldamento è centralizzato, invece, la bolletta è mandata al condominio

⇒ perciò se un abitante non paga devono pagare gli altri la sua quota ⇒ QUADAGNO ASSICURATO DALL'ENI

LA SALDATURA

Consiste nel portare a fusione due pezzi facendoli solidificare. Può essere con o senza materiale d'apporto

BMSATURA

Fonde solo il metallo d'apporto. In tal caso la resistenza complessiva è minore

SAUDO-BMSATURA

Fonde il metallo d'apporto + uno solo dei materiali

In queste tre operazioni produttive ed in particolare nella prima confluiscono le proprietà di conducibilità termica ed elettrica.

Nel senso che la saldatura e le proprietà del materiale conseguenti alla saldatura dipendono dalle prop. termiche ed elettriche del materiale

QUINDI...

Essendo Al molto conduttibile Termicamente e elettricamente sarà più difficoltoso riscaldarlo per due motivi:

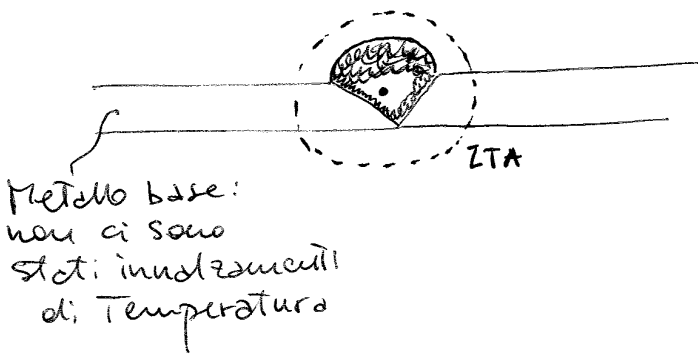
- 1) scaldo ma contemporaneamente esso
DISPENDERÀ CALORE
- 2) La corrente elettrica passa facilmente
⇒ BASSO EFFETTO JOULE

Risposta: È più difficile scaldare alluminio

Leg. Al 2000: interesse dal punto di vista meccanico

Ciclo proprietà meccaniche ad alte temperature (Al-Cu, Al-Zn)

SALDATURA E ZTA — anche HAZ (heat affected zone)



ZTA = ZONA TERMICAMENTE ALTERATA
La temperatura della ZTA è via via decrescente man mano che ci si allontana dal centro della circonf. in rosso

La ZTA è la zona critica.

Essa subisce un riscaldamento (durante la fase di fusione della saldatura) e successivo raffreddamento improvviso. Tale raffreddamento improvviso è dovuto al fatto che il metallo base sottrae molto velocemente calore alla parte calda a causa della conduttibilità termica che caratterizza tutti i metalli.

Bisogna inoltre tener conto del fatto che durante il riscaldamento il materiale subisce un aumento di volume nella zona in cui avviene la fusione. Però le parti più limitrofe non subiscono dilatazione

⇒ L'aumento di volume è vincolato dal METALLO BASE che non è riscaldato ⇒ ELEVATE TENSIONI NELLA ZTA !!!

La zona critica in una saldatura non è nel cordone di saldatura ma nella zona ADIACENTE al cordone perché qui nascono le TENSIONI maggiori.

Le TENSIONI create sono di due tipi:

- TENSIONI TERMICHE
- TENSIONI dovute al cambiamento di FASE.

La formazione delle TENSIONI (1° FENOMENO)

Le TENSIONI nascono perché il riscaldamento non è omogeneo ma avviene in tempi differenti:

" prima si riscalda la SUPERFICIE, poi il CUORE "

(Analogo nella fase di raffreddamento:
" prima si raffredda la superficie, poi il cuore "

Però la superficie tende a DILATARSI ma, essendo il cuore ancora freddo esso tende ad IMPEDIRE la dilatazione della superficie.

Quindi: " la SUPERFICIE VA IN COMPRESSIONE,
IL CUORE VA IN TRAZIONE "

perché risulta più caldo della superficie

Quale

Quando poi anche il cuore incomincia a dilatarsi, la situazione si capovolge:

" la SUPERFICIE VA IN TRAZIONE,
IL CUORE VA IN COMPRESSIONE "

(Nel raffreddamento, invece, accade esattamente il viceversa)

VARIAZIONI DI VOLUME DOVUTE ALLA PRESENZA O SCOMPARSA
DI NUOVE FASI

L'effetto della variazione di volume dovuto alle fasi è un fenomeno "antagonista" a quello della variazione di volume dovuto alla temperatura.

La fase ad alta temperatura (solitamente AUSTENITE nel caso in cui si stia parlando di Acciaio) è più COMPATA di quelle a basse temperature.

- Se il pezzo è di grandi dimensioni → prevale l'effetto dovuto alle TENSIONI TERMICHE
- Se il pezzo è di piccole/medie dimensioni → prevale l'effetto delle TENSIONI dovute al cambiamento di fase.

Per limitare le variazioni tensionali della ZTA dovute all'effetto termico si può pensare di:

- 1) preriscaldare il materiale a temperature sostenute¹ in modo da ridurre i gradienti termici; (400°C)
- 2) in alternativa, si può rallentare il raffreddamento immergendo il pezzo saldato in un bagno di sabbia termicamente isolante.

Nel caso in cui scegliessi la soluzione 1) devo essere sicuro che i pezzi non perdano alcune proprietà meccaniche a seguito del trattamento.

- se il pezzo è troppo grosso questa soluzione non è fattibile
- risulta, nel caso in cui sia possibile farlo, un'operazione costosa perciò spesso si usa saldare in maniera "ruspante" con il cannello il materiale, prima che sia saldato.

Il sistema Fe-S è un EUTETICO a 900°C che ostacola la fusione della lega e di conseguenza la sua saldabilità.

Conclusione:

"Affinché la lega Fe-C sia saldabile occorre che i

tenori di S e P siano minori dello $0,01-0,02\%$."

Acciai a lavorabilità migliorata
Tuttavia, bisogna tener presente che l'introduzione dello zolfo facilita notevolmente la lavorabilità di alcune leghe (es. ACCIAI AUTOMATICI con $0,1\%$ S o maggiore).

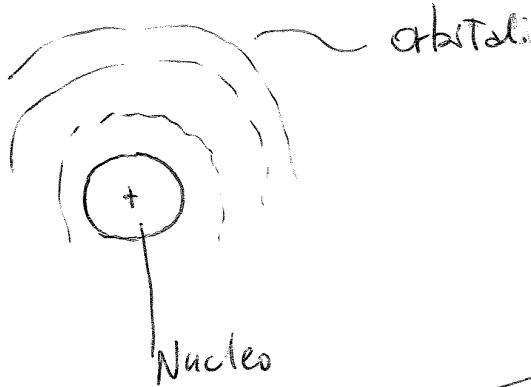
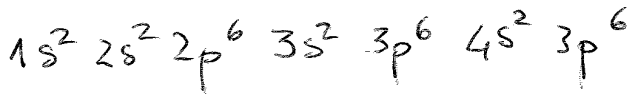
Per contrastare la formazione dell'eutetico a 900°C si usa introdurre Mn con tenori maggiori dell' 1% .

Il manganese reagisce con S formando il solfuro di MANGANESE e come conseguenza si ha un aumento della temperatura eutetica $\rightarrow T_E = 1200-1300^{\circ}\text{C}$.

Nei tempi passati al posto di Mn si usava Pb.

Il Pb non è più usato perché tossico e perché più pesante di Fe. Per questo motivo esso tendeva a sedimentarsi alla base.

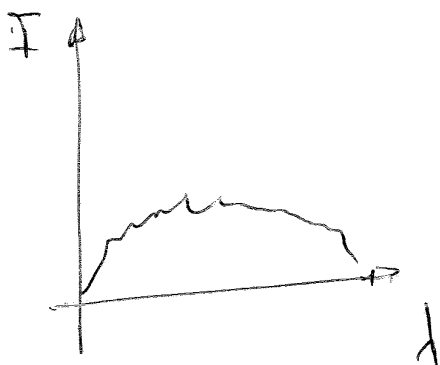
Ferro



Gli elettroni accelerati vanno a collidere con gli atomi dell'anodo fornendo energia agli elettroni di tali atomi

Tali elettroni saltano sull'orbitale più esterno, EMITTONO ENERGIA sotto forma di RAGGI X e ritornano al livello di partenza.

I raggi X dipendono dal salto che l'elettrone ha fatto. Oltre al salto di energia abbiamo anche il cosiddetto RUMORE DI FONDO dovuto alla "variazione continua di energia" misurata in funzione della lunghezza d'onda λ .



$$eV = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{hc}{eV}$$

$$\lambda \propto \frac{1}{V}$$

Domande mail:

Criterio Carbonio equivalente:

Nell'ambito degli acciai non tutti possono essere saldati.

LIMITI SALDABILITÀ:

1) INCLUSIONI → discontinuità all'interno della matrice dovute a ossidi, solfuri ecc. che fanno penerare delle fratture che partono dai punti in cui esse sono presenti.

Conclusione: Abbiamo bisogno di un acciaio POLITO (BASSO TEMPERE INCLUSIONI)

2) TEMPERA → riscaldamento + raffreddamento

Risultato ⇒ Creazione MARTENSITE (nuova fase)

La MARTENSITE è una fase che determina:

- o Aumento di volume Δ
- o Aumento di durezza
- o - di fragilità

Siccome nelle zone adiacenti della ZTA c'è il metallo base che sottrae calore rapidamente per conducibilità → questa fase, in pratica, subisce una TEMPERA. Inoltre a causa di Δ si creano tensioni!!!

Il Criterio del C equivalente fornisce in funzione delle % di elementi (Molibdeno, Vanadio, Carbonio soprattutto ecc.) la possibilità di effettuare TEMPERA.

TEMPERABILITÀ = attitudine dell'acciaio (o di qualunque altro materiale) di subire TEMPERA.

Quanto più l'acciaio è temprabile tanto più l'acciaio NON È SALDABILE.

Quindi se dalla formula del C eq. risulta un valore più grande di una certa soglia, significa che l'acciaio è molto temprabile e quindi NON saldabile.

Cosa differente accade per le LEGHE:

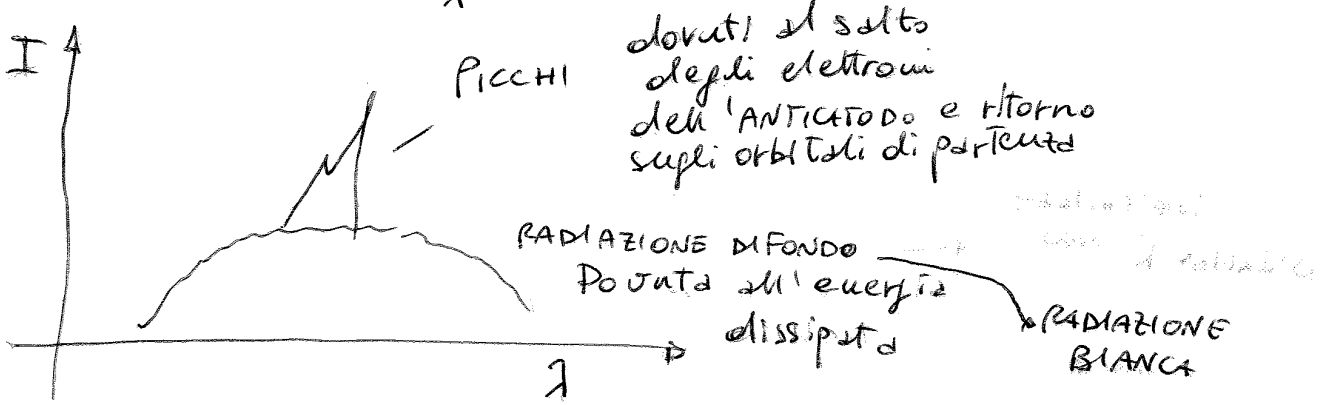
Al - Cu	2000	⇒	Estincono il MAX delle prop. meccaniche dopo riscaldamento a circa 100°C (Fenomeno detto dell'INVECCHIAMENTO)
Al - MgSi	6000		
Al - Zn	7000		
Al - Li	8000		

Si raggiungono carichi di rottura dell'ordine di 120 MPa.

Gli elettroni che collidono con l'ANTICATODO, quindi, nello scatto si FERMANO convertendo E_c in RADIAZIONE.

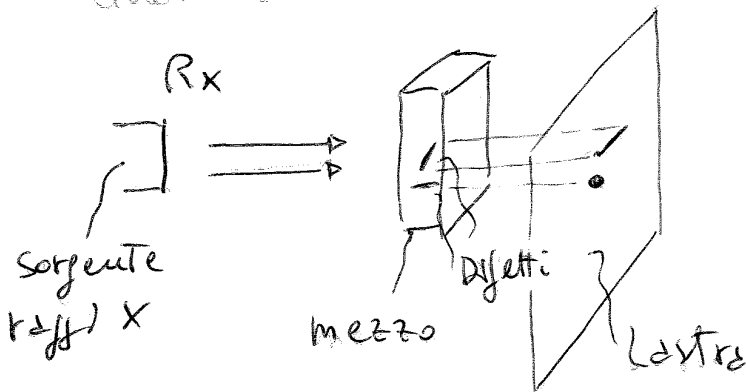
Formule:

$$E = h\nu \quad \nu = \frac{c}{\lambda}$$



La lunghezza d'onda della radiazione dipende dalla ΔV applicata.

Ciò che noi utilizziamo in metallurgia è la RADIAZIONE DI FONDO grazie alla quale si valutano DIFETTI SUBSUPERFICIALI. Quello che si valuta sono i difetti SUBSUPERFICIALI.



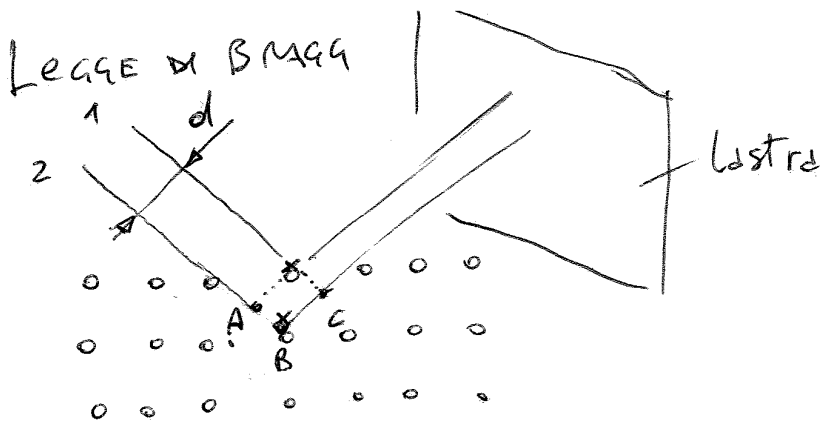
La lastra è fotosensibile. Si colora di NERO se è colpita dalla radiazione.

Se non ci fosse il mezzo \Rightarrow la lastra sarebbe tutta NERA.
 Con il mezzo \Rightarrow si evidenziano parti BIANCHE lì dove il mezzo ha assorbito le radiazioni.

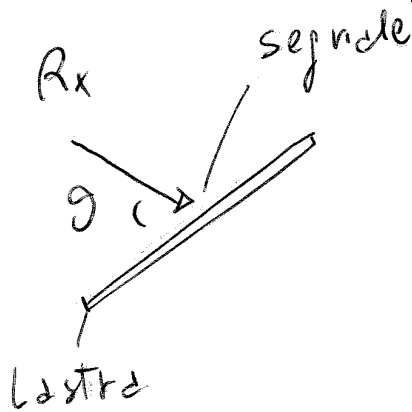
Con questo metodo è possibile valutare:

- INCLUSIONI
 - BOLLE
- } Attenzione!!! Il difetto deve essere avvertibile dai raggi X. Infatti...

- ...1) se il DIFETTO è posizionato in direzione dei raggi \Rightarrow vedo un PUNTINO e non tutto il difetto (vedi figura)
- 2) se il DIFETTO è in OBLIQUO \Rightarrow lo vedo in modo evidente sulla lastra



La lunghezza $AB + BC = n \lambda$ di cammino ottico
 Quando $AB + BC =$ numero intero di lunghezze d'onda
 si genera un picco causato da INTERFERENZA COSTRUTTIVA



Se la legge di Bragg:

$$n \lambda = 2 d \sin \theta$$

è rispettata e fornisce
 int. COSTRUTTIVA (o comunque non
 distruttiva, in modo tale che la radiazione
 non si annulli del tutto) Si ottiene, sulla
 lastra, un SEGNALE che sancisce il
 fatto che il materiale analizzato
 è CRISTALLINO

Sono possibili 2 approcci:

I° APPROCCIO

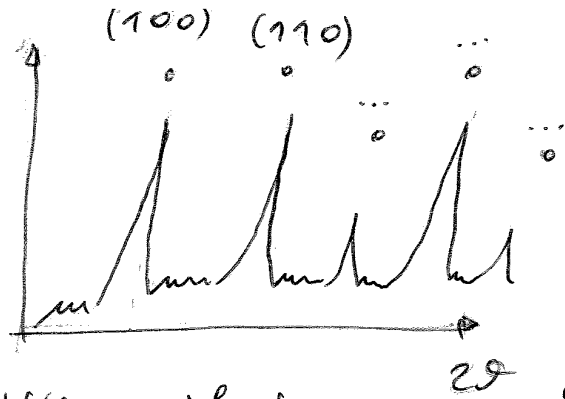
- 1) Supponiamo di conoscere il RETICOLO cioè "d" (del campione su cui incide la radiazione)
- 2) Misuro θ quando ho il picco.
- 3) Mi ricavo λ

Utilizzo il reticolo di diffrazione per calcolare la lunghezza d'onda λ

Se cambia $\lambda \Rightarrow$ cambia l'energia dei picchi ($E = h\nu$)
 \Rightarrow misurando λ ed $E_{\text{dei picchi}} \Rightarrow$ ricavo le caratteristiche
 del materiale di cui è costituito l'ANFRATTO perché
 ogni materiale è caratterizzato da alcuni picchi
caratteristici

$$d = \frac{a \left(= \text{costante} \begin{array}{l} \text{spigolo della} \\ \text{cella cubica} \end{array} \right)}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

(hkl) piano cristallografico



Per ogni picco devo identificare il piano

A'g' picchi corrispondano 'd' gradi (hkl = 2d sin θ) "cont"

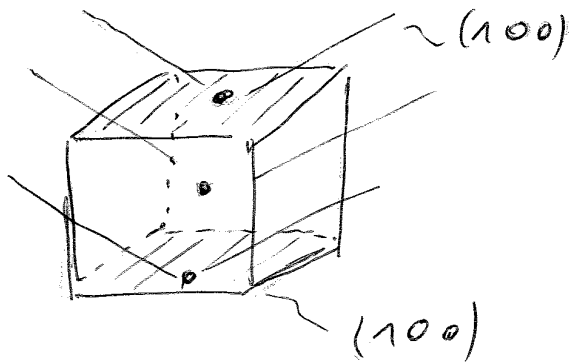
Esempio sistema cubico *

$$(100) \Rightarrow d = \frac{a}{\sqrt{1^2 + 0^2 + 0^2}} \Rightarrow \text{Ricavo } a$$

$$(110) \Rightarrow d = \frac{a}{\sqrt{1^2 + 1^2 + 0^2}} \Rightarrow \text{Ricavo } a$$

e così via...

Se per tutti i picchi ho lo stesso risultato di 'd' della cella cubica \Rightarrow il materiale ha struttura cubica



Se non ho i picchi in (100) \Rightarrow cubico a corpo centrato

Se devo analizzare una soluzione solida dovrò tenere conto che in base alle zone in cui c'è il soluto la cella si deforma e quindi varia la distanza "d"

Quindi: si possono valutare anche le solz solide mediante l'utilizzo dei raggi x

* Occorre sempre ipotizzare una struttura e poi verificare se l'ipotesi fatta è corretta

APPLICAZIONI TENSIONI RESIDUE

$$T = E \epsilon$$

\epsilon deformazione

Attraverso le variazioni delle distanze interplanari posso risalire allo stato tensionale (proprio perché le tensioni variano le distanze interplanari. Misurando "d" come spiegato in precedenza posso ricavare le TENSIONI !!!

$n\lambda = 2d \sin \theta$ Le tensioni si ricavano rilevando i delta θ rispetto alla strutture standard che ci aspetteremmo in assenza di tensioni.

TUBO RADIOGENO:

è infilato in un cilindro pieno d'acqua
 $\Delta V = 40 \text{ kV}$ $I = 30 \text{ mA}$ valori tipici in metallurgia (In ambito medico le potenze sono maggiori)

Se utilizzassi una $\lambda \neq \text{cost}$ (RADIAZIONE non MONOCROMATICA) allora dovrai mantenere costante θ per effettuare i rilievi correttamente

Un tempo si utilizzava il cosiddetto metodo della pellicola

Altri metodi di analisi non distruttivi sono:

- ULTRASUONI \rightarrow (analogo Ecografia)
 Utilizzati per controlli IN LINEA (es. dopo saldature $\xrightarrow{\text{e subito dopo}}$ ultrasuoni)

- LIQUIDO PENETRANTE \rightarrow dopo aver pulito il materiale lo cospargo di liquido.
 Dopo un po' elimino il liquido e metto un secondo liquido detto SVILUPPATORE.

Se non ci sono tracce del primo liquido non si rileva nulla. Se ci sono delle CRICCHE di il primo liquido non viene rimosso e reagisce con il secondo evidenziando il punto della cricca

PER RILEVARE DIFETTI INTERNI

- MAGNETICI: se ci sono delle cricche ci sono delle alterazioni delle linee di flusso del campo magnetico
- ELETTRICHE: creo correnti indotte e se ci sono correnti PARASSITE \Rightarrow c'è una cricca (interna)

FIOCCHI :

Sono presenti sulle superficie del petto dei punti più scuri (delle macchiette) ESTE SONO STRUTTURE che corrispondono alle fratture dovute alla presenza di idrogeno (Consiglio: effettuare SEMPRE la deidrogenazione)

INCLUSIONI NON METALLICHE

Nei metalli troveremo sempre oltre al Carbonio, Zolfo e Fosforo, il silicio e Manganese. Nella fabbricazione viene aggiunto nel coke dell'ossido di Alluminio (o di calcio) che ha la funzione di reagire con le impurezze ed eliminarle

Se queste impurezze non vanno via \Rightarrow Inclusioni

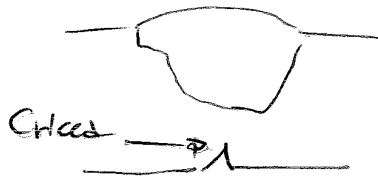
INCLUSIONI METALLICHE

Citiamo il Rame (Cu) che può essere un possibile inquinante.

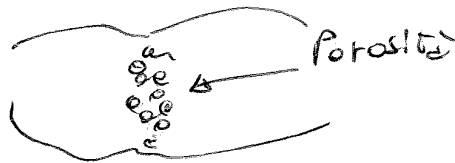
DISECONTINUITÀ DI SALDATURA

- CRACK

- CRACK



- Porosità



- Inclusioni



Le inclusioni si staccano (scollano) e danno origine alle porosità.

LA METALLOGRAFIA

La metallografia consiste nello studio della struttura fisica dei metalli e delle leghe metalliche mediante l'utilizzo di un Microscopio. In questo modo è possibile determinare, a seconda dei casi, le seguenti caratteristiche:

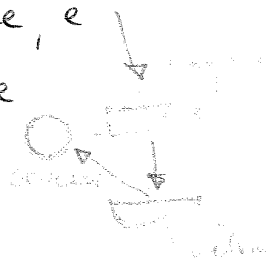
- 1) DIMENSIONI E FORMA dei grani cristallini
- 2) DISTRIBUZIONE DELLE FASI
- 3) LIVELLO DI PUREZZA e l'eventuale presenza di contaminazioni del materiale.

Lo studio di tali caratteristiche microscopiche è cruciale per spiegare proprietà meccaniche possedute dalle leghe.

Microscopio ottico a trasmissione (TEM)

In laboratorio si fa uso di questo microscopio che funziona nel modo seguente:

- Vengono inviati raggi di luce MONOCROMATICA BIANCA contro un CAMPIONE TRASPARENTE
- I raggi vengono RIFRETTI attraverso il campione, e dunque, trasmessi, al di sotto del campione trasparente.
- Al di sotto del campione esiste un VETROINO che riflette i raggi e li convoglia dentro un oculare



I metalli non possono essere studiati per mezzo di un microscopio a trasmissione, poiché non sono trasparenti. ANZI, i metalli se hanno una superficie che soddisfa determinate condizioni RIFLETTONO la luce incidente.

trattamenti termici e sollecitazioni meccaniche non prevedibili.
Un esempio significativo delle possibili DISOMOGENEITÀ di un manufatto potrebbe essere costituito dal caso dei LINGOTTI METALLICI.

In una lingottiera, solitamente con forma troncoconica, si ottengono lingotti solidificando liquido inserito dal basso: la solidificazione si avvia si avvia prima sulle pareti, laddove fra l'altro il grado di sotto raffreddamento è elevato. Questo permette la formazione di numerosi grani di piccole dimensioni e FINI.

Invece, nelle zone più interne i gradienti di temperatura si fanno minori e i grani in formazione risultano RAMIFICATI e ALLUNGATI (DENDRITI / struttura a palizzata).

Al centro del lingotto, i grani risultano EQUIASSICI, poiché qui la temperatura è pressoché omogenea.

I CRISTALLI A PALIZZATA sono particolarmente pericolosi, poiché nel corso della laminazione, in risposta alle sollecitazioni plastiche potrebbero verificarsi contraccolpi talmente intensi da ROMPERE LA MACCHINA UTENSILE!!!.

Dunque il lingotto è DISOMOGENEO dal punto di vista CRISTALLOGRAFICO ma lo è anche dal punto di vista CHIMICO, in quanto il raffreddamento suddetto è di non equilibrio, dunque deviante rispetto i DDS.

Il liquido che si ritira verso l'interno può avere composizione differente dal solido in formazione sulle pareti (basti pensare al PANGENICO del Fe-C a 1492°C per tenori minori di 0,5).

4) GRINDING

Si lucida il campione per mezzo di carte abrasive al carburo di silicio sostituendola via via con altre a granulometria più fine (ossia, a minore tenore di carburo di silicio). Fra una sostituzione e l'altra il pezzo va pulito.

5) POLISHING

Si pulisce il campione per mezzo di panni (dischi con polveri di DIAMANTE) oppure lo si sciacqua con una soluzione acquosa di ALLUMINA (Al_2O_3)

" Si ottiene così un campione metallico con superfici speculari pronte per essere osservato al microscopio metallografico "

Con il microscopio metallografico si possono ottenere ingrandimenti di 500 volte le dimensioni reali.

(Oltre tale limite si opera ingrandendo ulteriormente l'immagine ottenuta).

Sottoponendo il pezzo ad una osservazione al microscopio potremmo apprezzare:

- CIRCONFERENZE BIANCHE: regioni cristalline che riflettono perfettamente
- REGIONI / PUNTI NERI: corrispondono a delle impurezze non riflettenti in quanto NON METALLICHE

- NON SI OSSERVANO i BDC in quanto non si può osservare la "MORFOLOGIA" del campione

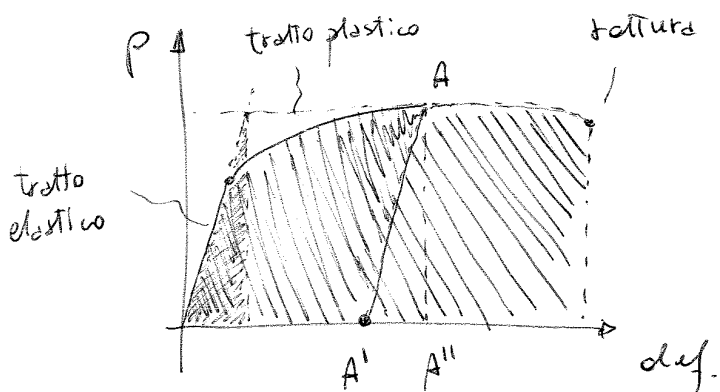
Modi di METALLIZZAZIONE:

- 1) Porre una pellicola di GRAFITE o di oro sul campione
- 2) Collegare le due facce del campione attraverso un filo di Cu.

abbondantemente le strutture (Es. acquedotti).
 Ecco perché le opere romane reggono ancora dopo 2300 anni.
 Se però ci fosse un terremoto si avrebbero delle azioni dinamiche che porterebbero alla facile rottura del manufatto.

Cambio della costruzione delle fortificazioni;
 Leonardo da Vinci smussa le mura per deviare le cannonate ed evitare che la forza si scaricasse direttamente sui vincoli.

I MATERIALI METALLICI si differenziano dagli altri per un comportamento ELASTICO-PLASTICO: si aggiunge al comportamento perfettamente elastico quello plastico.



Il tratto PLASTICO è sede di deformazioni irreversibili.

- 1) Quando eliminiamo il carico si passa da A a A''.
- 2) Dopo si ha un ritorno ELASTICO da A'' a A'.

Per proseguire la trasformazione in A devo fornire ulteriore energia.

In tal caso la rottura è:

- Non istantanea
- Avviene con aumento di energia
- L'energia immagazzinata da un metallo prima di rompersi è molto maggiore di quella degli altri metalli.

} - P Rottura di tipo controllabile

Prova di trazione:

in modo graduale

consiste nell'applicare un carico monotono ad un campione finché non si rompe.

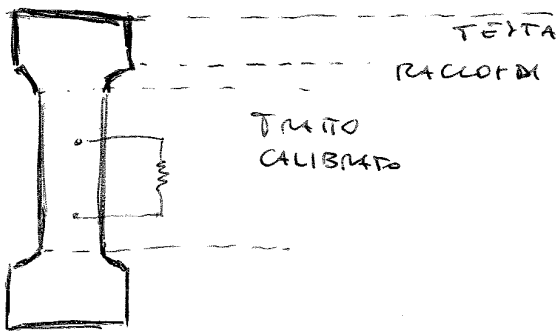
Tutti i campioni sono costituiti da:

1) Testa (serve appiccata agli apparecchi)

2) Raccordi

3) Parte in cui non esiste variazione

di volume o sezione (TRATTO CALIBRATO)



Quando si parla di allungamenti si considerano quelli del tratto calibrato.

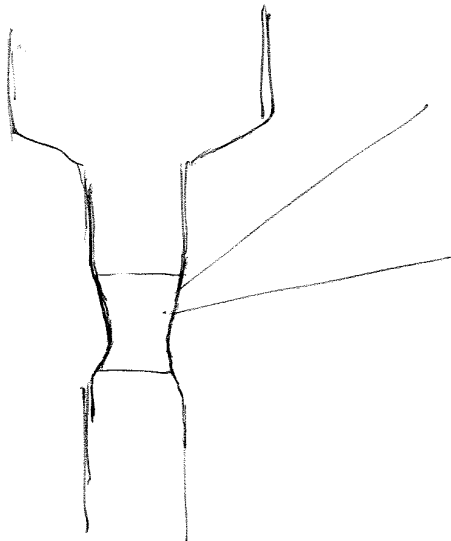
Per misurare gli allungamenti si usano degli ESTENSIMETRI (string weigh) che sono collegati ad un PONTE DI WINSTON costituito da una resistenza elettrica percorsa da corrente. Quando il materiale viene tratto tale resistenza aumenta in lunghezza:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

- Il grafico tracciato è riferito alla sezione iniziale del tratto calibrato. Quindi si divide il carico per l'area sulle ordinate.
- Allo stesso modo la deformazione viene divisa per la lunghezza iniziale

σ_n = stress nominale
 ϵ = def. nominale





carico tridimensionale

Oltre al carico tridimensionale si verifica anche il fenomeno di:
INTENSIFICAZIONE
DEGLI SFORZI

Per ciò bisogna evitare INTAGLI perché essi determinerebbero una rottura anticipata e quindi FALSEREBBERO i dati rilevati;

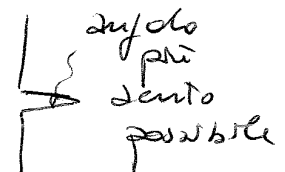
TENACITÀ A FRATTURA

Per i motivi suddetti: ciò che mi interessa valutare è il " K_{1c} " ossia un carico di rottura rilevato su un provino in cui è stato creato volutamente un INTAGLIO.

Più l'intaglio è acuto più è dannoso.

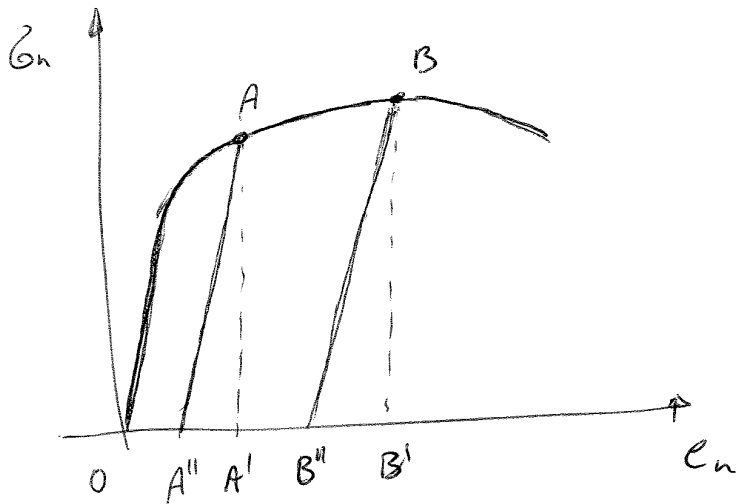
Mi conviene quindi effettuare un intaglio più invalidante possibile.

Devo creare un INTAGLIO con un RAGGIO DI FONDO INTAGLIO che tende a zero.



Per crearlo partendo da un provino INTAGLIATO lo sollecito a fatica fino a creare una CRACCA

CRACCA = INTAGLIO CON RAGGIO DI FONDO INTAGLIO TENDENTE A ZERO



1) In corrispondenza del punto A tolgo il carico e valuto:

e valuto:

- Ritorno elastico: $A''A'$

- Def. plastica: OA''

- Energia elastica:

$A_{AA''A'}$

- Energia plastica:

$A_{AOA''}$

2) Arrivo al punto B:

- Energia elastica: $A_{BB''B'}$

- Energia plastica: $A_{BB''0}$

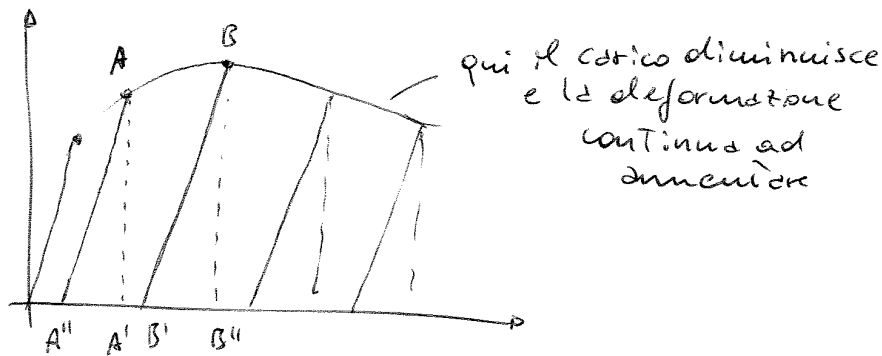
Si nota che:

1) $A_{BB''B'} > A_{AA''A'}$ \rightarrow

SPRECO DI ENERGIA
L'energia elastica è stata da me sopportata e poi dissipata quindi non viene imprestata nella deformazione

2) Spring Back
(Ritorno elastico di stampaggio)

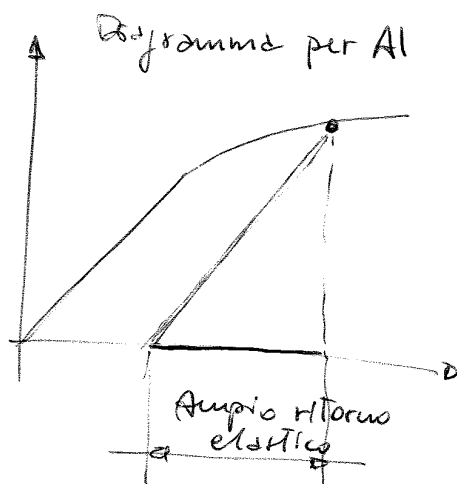
Riprendiamo il discorso sulla prova di trazione commentando il grafico:



Coeficiente Acciaio - A_c :

$$E_{\text{Acciaio}} = 210 \text{ GPa} \quad E_{Al} = 70 \text{ GPa}$$

Perciò essendo la retta meno pendente il ritorno elastico.



Differenza tra tensione IDEALE e REALE:

$$\epsilon_R = \frac{P_{\text{stantaneo}}}{A_{\text{stantaneo}}}$$

$$\epsilon_{id} = \frac{P_{\text{stantaneo}}}{A_{\text{iniziale}}}$$

$$\epsilon_R = \frac{P}{A_0} \cdot \frac{A_0}{A}$$

$$A_0 l_0 = A l$$

$$\frac{A_0}{A} = \frac{l}{l_0}$$

Questo succede a causa dell'INCRODIMENTO:

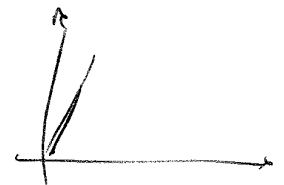
esso avviene perché all'aumentare della deformazione aumento l'energia immagazzinata e soprattutto le DISLOCAZIONI. L'aumento delle dislocazioni determina un accavallamento delle stesse. Questo ostacola la deformazione ed è per questo che occorre fornire un carico maggiore per continuare la deformazione (Caso REALE)

In tal caso la legge diventa:

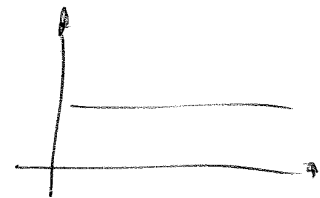
$$\sigma_t = K \epsilon^n \quad n = \text{coefficiente di incrudimento}$$

n varia tra:

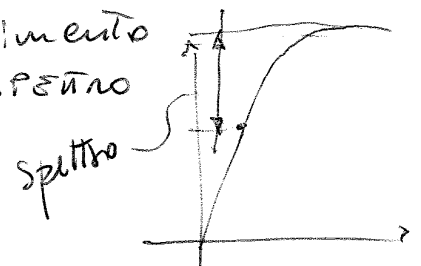
• $n=1 \Rightarrow$ fase iniziale (legge di Hooke) completamente elastico



• $n=0 \Rightarrow$ completamente plastico



Non andrebbe bene avere un materiale completamente plastico, anzi è conveniente avere un elevato coeff. di incrudimento perché in questo modo avrò uno SPETTRO PLASTICO ampio

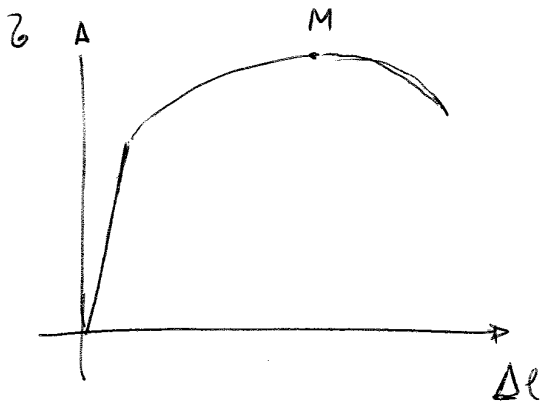


Conclusione:

È conveniente avere:

1) Elevato $n \Rightarrow$ AUMENTO AMPIEZZA dello "spettro plastico"

2) Elevato $E \Rightarrow$ ELIMINIAMO LO "spring back".



Eq. valide nel tratto elastico

$$\sigma = E \epsilon$$

$$\sigma_n = \sigma = \frac{P}{A_0}$$

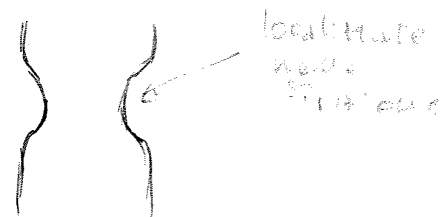
$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_i - l_0}{l_0}$$

Nel tratto plastico

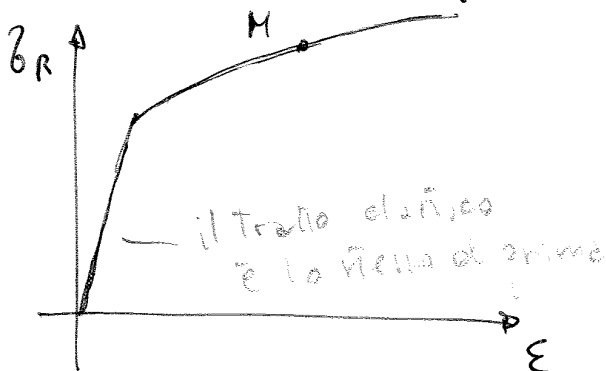
$$\sigma_R = \sigma_n (\epsilon + 1)$$

$$\epsilon_R = \ln(\epsilon + 1) = \ln\left(\frac{l_i}{l_0}\right)$$

Si noti come il carico diminuisce in corrispondenza di M. Questo perché dopo questo punto si instaurano delle "deformazioni LOCALIZZATE".



Se però esaminiamo il diagramma REALE avremo un andamento di questo genere:



Si noti come la curva sia sempre crescente.

Questo perché quando, dopo il punto M, il carico necessario per effettuare una deformazione diminuisce in concomitanza diminuisce anche la sezione!!!

Qual è il carico max?

Le condizioni che si realizzano sono:

$$dP = 0 \quad \left(\frac{d\sigma}{d\epsilon} = \sigma \right)_{P_{max}}$$

In condizioni di carico massimo:

$$\epsilon = n$$

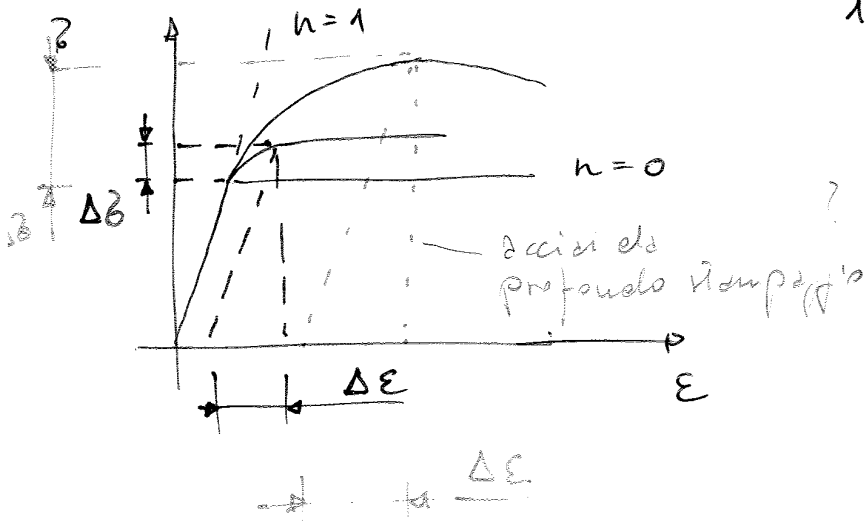
n = coefficiente di INCREMENTO

Scritto meglio

$$\epsilon_{P_{max}} = n$$

deformazione a carico max = coeff. di INCREMENTO

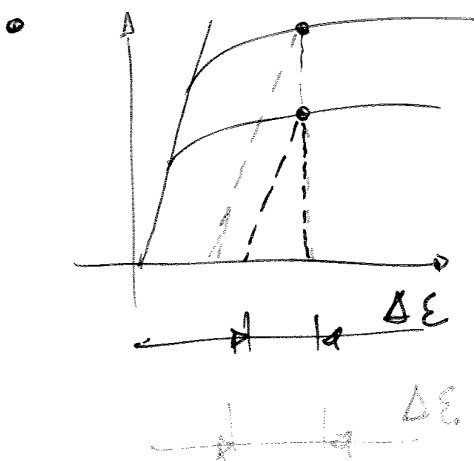
Ricordiamo che grazie alla componente elastica ($n \neq 0$) riusciamo a deformare o stampare il materiale.
 Quindi conviene avere un coeff. di incrudimento più alto possibile



1) Quando il coeff. di incrudimento è basso ho un campo di tensioni ($\Delta\sigma$) ed uno di deformazione ($\Delta\epsilon$) bassi!!!

2) Nel caso in cui "n" è più elevato e quindi avrò a disposizione $\Delta\sigma$ e $\Delta\epsilon$ più alti!!!
 Perciò potrò lavorare meglio il materiale

• Notiamo che se vogliamo deformare il materiale con facilità il campo di SNERVAMENTO σ_s deve essere più basso possibile (altrimenti le presse utilizzate dovrebbero essere più potenti → spreco di denaro per comprare le presse)



Il RITORNO ELASTICO
 aumenta all'aumentare del σ_s
 Quindi se $\sigma_s \rightarrow$ maggiori problemi nel deformare

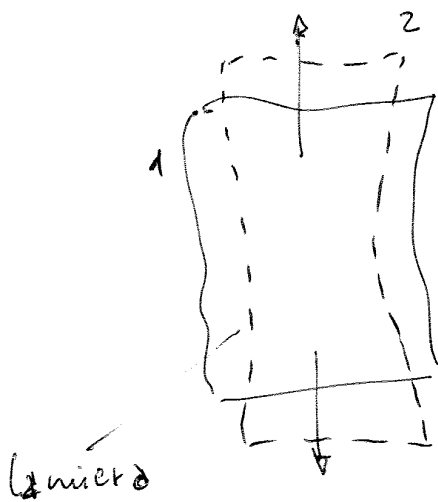
ANISTROPIA E ISOTROPIA

Esiste un COEFFICIENTE DI ANISTROPIA che misura il fatto che un materiale non ha le stesse proprietà in tutte le direzioni.

Se il materiale è ISOTROPO:
una deformazione in una direzione (esempio Z) si deformerà allo stesso modo lungo le altre direzioni (Y e X nell'esempio precedente)

Teniamo presente che le lamiere con spessori (circa)
 $< 1,8 \text{ mm}$ → laminazione a freddo (T_{amb})
 $> 1,8 \text{ mm}$ → laminazione a caldo ($T = 850 \text{ °C}$ / 1200 °C)

Stane dipping



*
e
DIMINUIRE
LO
SPESORE!!!

Si come non devo avere variazioni di volume ($V = cost$) allora se la lamiera si allunga deve restringersi contemporaneamente. Questo restringimento determina una riduzione della resistenza in ~~quella~~ non trascurabile essendo già di per sé la lamiera sottile !!!

"Perché anche una pezzetta di materiale" (fract symbols) (stane dipping) può rompersi

Voglio quindi avere un ALLUNGAMENTO, ma NON RIDUZIONI DELLO SPESORE → MATERIALE ANISTROPO

$$R = \frac{L + T + 2\epsilon_{45^\circ}}{4}$$

$\epsilon_{45^\circ} = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y + 2\epsilon_{xy}}{2}$

L : allungamento longitudinale
 T : allungamento trasversale

Come si produce l'acciaio (lamiera da profondo stampaggio)

- A ciclo continuo → Taranto (ILVA) 10.000 tonnellate al giorno
- Industria elettrica → produzione di rottami.

↓
20.000 tonnellate di ferro di minerale + 20.000 di coke + 20.000 di calce

Il minerale utilizzato è l'ossido di ferro.

Tale minerale viene fuso insieme al coke e calce che deve

fluidificare e purificare in quanto reagisce con le impurezze presenti nell'ossido.

In questo modo si producono le scorie.

Il coke ha lo scopo di eliminare l'ossigeno.

Dall'altoforno si produce non propriamente acciaio ma ghisa (circa 4% di C).

Il carbonio deve essere quindi eliminato.

Per farlo si utilizzano i convertitori (peridotici).

Nei convertitori viene spruzzato ossigeno puro che reagisce con l'infuso. Di conseguenza si generano reattori di ossidazione.

Inizia a bruciare il carbonio e quando ci si accorge che sta bruciando il ferro blocca il processo. (si parla di DECARBONAZIONE)

All'uscita dal convertitore ho Fe liquido ricco in ossigeno. Ho due possibilità:

- Elimino l'ossigeno ("CALMANE L'ACCIAIO")
- Mantenere l'ossigeno e procedere alla colata e solidificazione. In questo caso avrò il cosiddetto acciaio EFFERVESCENTE (acciai di bassa qualità)

Nomenclatura

Laminato a caldo

- Fe P11 } effervescente
- Fe P12 } effervescente
- Fe P13 semicalmato
- Fe P14 calmato

Laminato a freddo

- Fe P01 } effervescenti
- Fe P02 } effervescenti
- Fe P03 semiefferv.
- Fe P04 calmato Al
- ⋮
- P05 calmato con Al e Ti
- P06 calmato con Al e Nb (Niobio)

Rettili cilindrici

Cilindro 42° (111) uguali

↓ variando uno di loro

Tetrametrici

↓ variando due di loro

⋮

Tetrametrici

⋮

Esametrici

⋮

⋮

Monocentrici

⋮

⋮

Totocentrici

Vacanze

- Possono essere create dal passaggio di atomi dall'interno del cristallo verso la superficie (e le vacanze vanno nel verso opposto)
- Sono un difetto di equilibrio. Seguono le leggi della termodinamica. Esiste, perciò, un numero di vacanze tale per cui si ha una situazione di minimo energetico. I sistemi a minore energia, quindi, sono pieni di difetti (vacanze).
- Per creare delle vacanze bisogna spendere del lavoro per
 - vincere le forze di attrazione dei vicini atomici
 - per muovere le vacanze.
- La situazione di minimo di energia di Gibbs si scrive $\frac{\partial G}{\partial n_v} = 0$

- Si può dimostrare:

$$\frac{n_v}{n_0} = e^{-\frac{Q_f}{RT}}$$

Q_f = calore di formazione delle vacanze riferite ad 1 mole di sostanza

Esempio Rame:

A 300K (T_{amb}) $\frac{n_v}{n_0} = e^{-33} = 4,45 \cdot 10^{-15}$ atomi
 (ogni 100.000⁴ trovo una vacanza)

A 1360K (T_{fusione} rame) le vacanze aumentano (ogni 10 atomi trovo una vacanza)

Le vacanze permettono:

- Climbi di dislocazioni
- Fenomeni di diffusione

$$D = D_0 e^{-\frac{Q}{RT}} \quad \text{Legge di Fick}$$

J = flusso attraverso la sezione
 D = coefficiente di diffusione

$$J = -D \frac{\partial c}{\partial x}$$

	G [MPa]
Fe	86.470
Al	34.950
Cu	46.200

Dai primi esperimenti si rilevò che gli sforzi teorici erano 1000 o più volte inferiori agli sforzi sperimentali. Nel secolo scorso Colomeda (prof. Polito) studiò queste questioni.

È sorto il problema di risolvere l'incongruenza tra valori teorici e valori sperimentali.

Il problema evidenziato dipende dal modello che abbiamo adottato. Il modello prevede di:

" rompere tutti i legami e tralasciare rigidamente un piano rispetto all'altro."

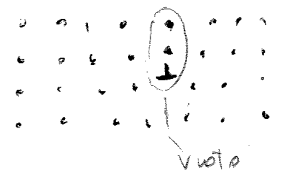
È stato ipotizzato un modello in cui gli sforzi si avvicinano a quelli reali. Si può fare un'analogia con il tappeto:

generare un'onda ad un'estremità che si propaga determinandolo uno spostamento.

In questo modo lo sforzo che applico è molto inferiore a quello che impiegherei se volessi spostare il tappeto rigidamente. Un meccanismo di questo tipo fu proposto per analizzare la deformazione plastica e si è identificate l'"onda" con entità dette "dislocazioni".

Esistono vari tipi di dislocazioni:

Disl. A SPIGOLO: mancanza di un semi-piano di atomi



Il semipiano presente è detto SEMIPIANO AGGIUNTO.

Piano in cui si muove la dislocazione è detto PIANO DI SCORRIMENTO.

Lo spostamento di semipiani inferiori di atomi ed adiacenti alle dislocazioni determinano lo spostamento della dislocazioni. Tale spostamento è infinitesimo \Rightarrow per cui lo sforzo richiesto è estremamente basso

Se il vettore di Burgers è pari ad una distanza reticolare la dislocazione è detta DISLOCAZIONE DI RETICOLO

L'energia da fornire per far scorrere la disl. è prop. AL QUADRATO DEL VETTORE DI BURGERS.

Proprietà vettore di Burgers:

- È sempre sul piano di scorrimento
- Nel caso di disl. a spigolo
è \perp alle disl. stesse
- Nel caso di disl. a vite
è \parallel alla disl. stessa.

È importante il fatto che sia \perp o \parallel perché definisce il piano o i piani di scorrimento che nel caso in cui il vettore è:

- \perp alla disl.
(DISL. A SPIGOLO) \Rightarrow piano di scorrimento è quello contenente la disl. ed il vettore di Burgers (definito univocamente!)
- \parallel alla disl.
(DISL. A VITE) \Rightarrow i piani di scorrimento possono essere molteplici.

Ogni qual volta la disl. incontra un ostacolo dovrà cambiare il proprio piano di scorrimento.

Quando la disl. è a spigolo ed incontra una VACANZA \Rightarrow essa cambia piano di scorrimento (Ciò avviene SOLO se s' incontra una vacanza)

Dato che all' aumentare della Temperatura aumentano le VACANZE \Rightarrow le disl. possono scorrere facilmente. Questo permette di deformare facilmente