



Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 2336A

ANNO: 2018

A P P U N T I

STUDENTE: Sales Cristian

**MATERIA: Tecnologia dei Materiali da Costruzione - Prof.
Maizza**

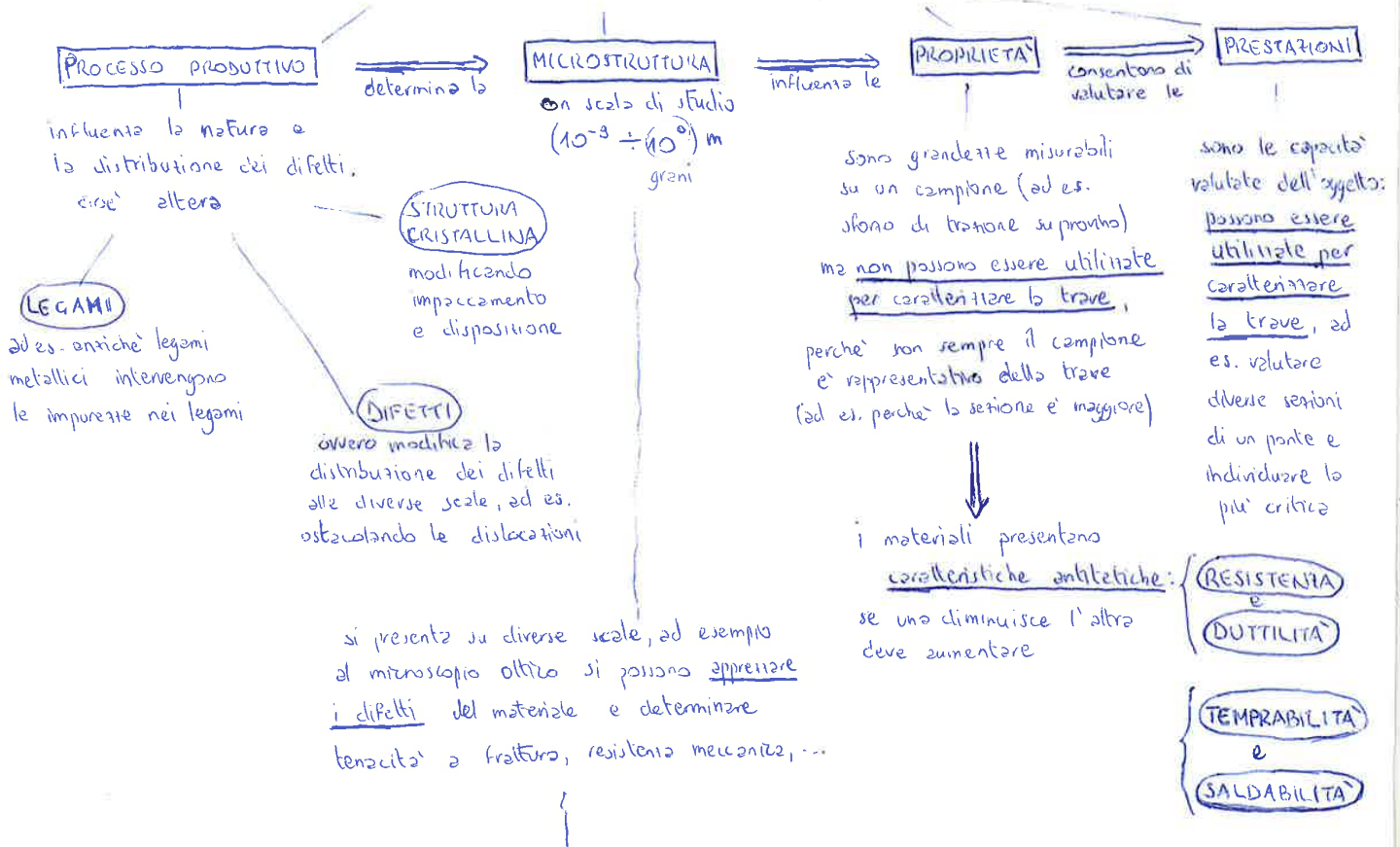
Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

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.

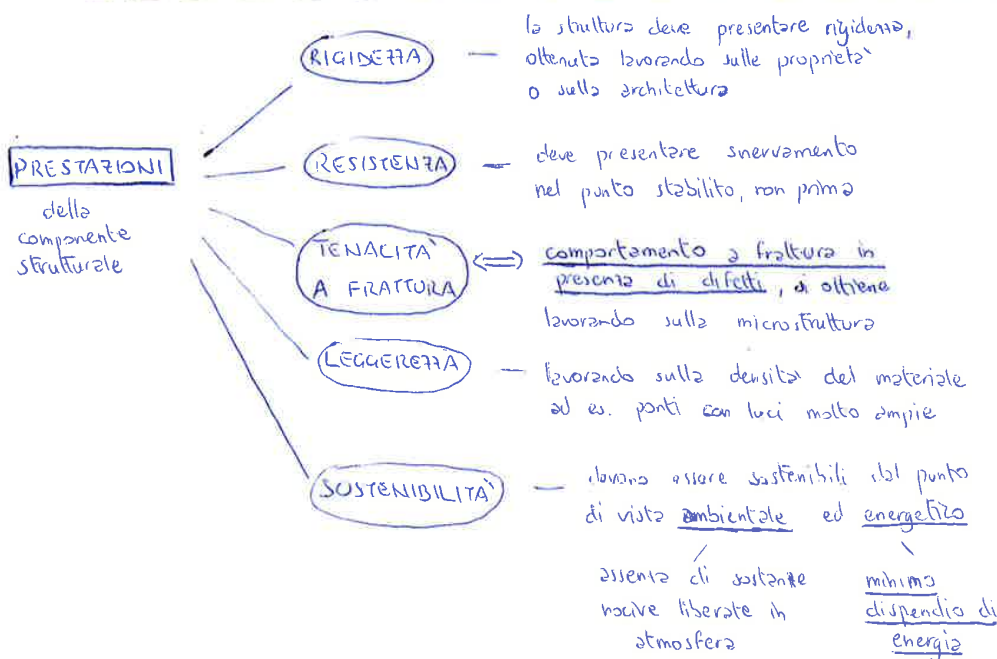
**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

MATERIALI

Sono il risultato di una correlazione di più fattori



la microstruttura si può apprezzare dai diagrammi di stato, che ad es. permettono di individuare la T dell'eutettico: conoscere questa T è molto utile per valutare i processi che permettono di spendere meno energia, infatti se la T aumenta ⇒ occorre più energia per realizzare la lega



evitano la formazione di residui dopo la lavorazione

⇒ gli acciai offrono un'elevata riciclabilità e versatilità, oltre a resistenza meccanica, tenacità, basso costo, ma sono carenti in presenza di elettroliti (acidi) come solfuri/nitruuri + umidità

LEGAMI INTERATOMICI

reticolo di ioni positivi
circondato da una nuvola
elettronica

↓
neutralità del reticolo

legame metallico

duttilità del materiale

↓
i legami istantanei
svengono a velocità
altissima

↑
i legami essendo temporanei
permettono il continuo spezzarsi e
riformarsi di nuovi legami

Un legame tra 2 atomi equivale
a 2 corpi collegati da una molla

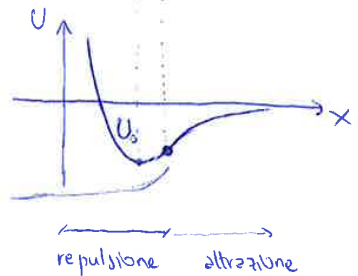
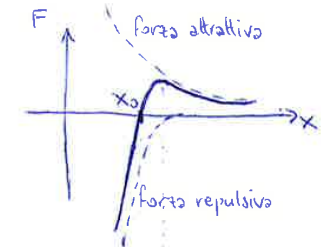


→ esiste una distanza per
cui la forza tra i 2
atomi si annulla

← data dalla somma della
forza attrattiva e della forza
repulsiva

distanza di equilibrio

x_0



si identifica
in base ad una
scale cristallina,
non è funzione della
microstruttura, cioè
non dipende dal processo

modulo elastico

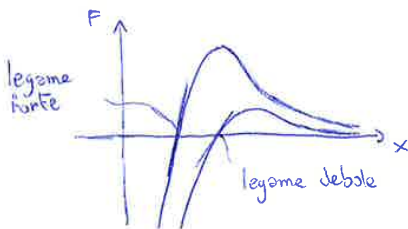
E

minima energia di legame

U_0

energia spesa per formare
il legame

è legato alla robustezza
del legame, alla pendenza

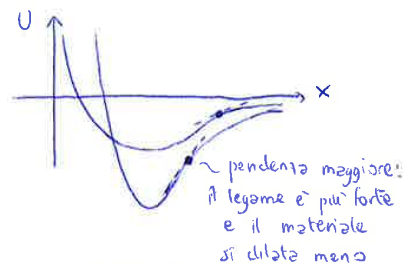


il flesso corrisponde
alla massima forza,
cioè all'energia U e
alla distanza x che
porta alla rottura del legame

determina anche il
coeff. di dilatazione termico α

$$E = \left| \frac{dF}{dr} \right|_{r_0} = \left| \frac{dU}{dr^2} \right|_{r_0}$$

LEGAME FORTE ⇒ GRANDE BUCCA DI POTENZIALE ⇒ E ALTO ⇒ T_{fus} ALTA ⇒ α BASSO

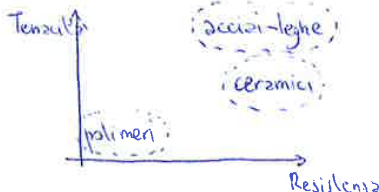


POLIMORFISMO

mappe di Ashby

consente di progettare
la microstruttura e
definire le proprietà:

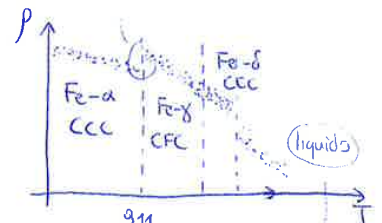
- densità
- resistenza
- tenacità e frattura



proprietà di mutare configurazione della struttura
al variare della T

↳ densità varia linearmente con la T

salto: CCC → CFC



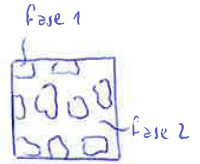
alle alte T l'energia di
legame decresce e i
legami Fe-Fe e C-C
si spezzano

METALLURGIA

possiamo analizzare un SISTEMA di un materiale e individuare delle FASI

area di materiale
o
più leghe con stesse componenti

partizione del sistema
con caratteristiche uniformi

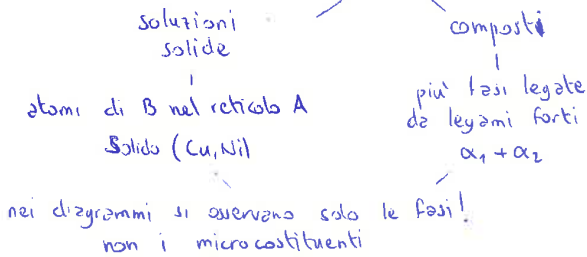


per formare una LEGA (soluzione solida)
esistono delle condizioni necessarie ma non sufficienti

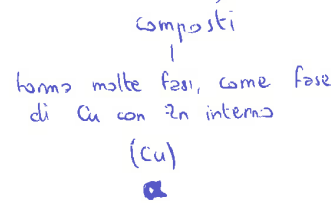
REGOLE DI HUME' - ROTHERY (+) **CRITERIO DI MINIMA ENERGIA**

- ① identica struttura cristallina → ad es. 2 metalli CCC hanno elevata solubilità
- ② dimensioni atomiche simili → se sono diverse solo la minore può essere solubilizzata nella maggiore
- ③ modesta differenza di EN → non sempre valida: se c'è forte differenza si formano composti
- ④ uguale valenza

es. regole ①, ②, ③, ④ : lega Cu-Ni forma



regole ①, ②, ~~③~~, ~~④~~ : lega Cu-Zn forma



② dimensioni atomiche simili
 $\Delta R \sim 15\%$

alcuni elementi possono legarsi al Fe perché le dimensioni atomiche sono comprese nella fascia $\pm 15\%$

Si, P Mn, Ni, Zn, Cu, Co, Cr, Ti Nb, Mo

campo ~~x~~ aperto
favorisce ferte

campo ~~x~~ chiuso
favorisce austenite

③ modesta differenza di EN

se ΔEN aumenta gli elementi si legano in modo più forte piuttosto che a formare una miscela, con legami più blandi

ΔEN →

soluz. solida disordinata

soluz. solida ordinata

composto intermetallico M+M

composto semimetallico M+nM

$A_n B_m$

il composto $A_n B_m$ discioglie poco nel solvente A o nel solvente B

es. $A_2 B_3$
ma anche $A_4 B_6$

DISLOCAZIONI

La dislocazione per muoversi nel metallo, deve rompere temporaneamente i legami

ogni volta che la dislocazione attraversa l'intero grano (cristallo) emerge sulla superficie opposta del grano formando un gradino

l'accumulo di gradini forma un ledge



si creano dei gradini dentro di Bordi di Grano (BDG)

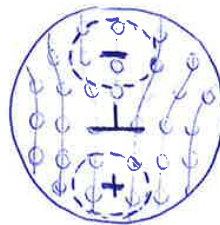
sono sede di accumulo delle dislocazioni

in presenza di impurezze il BDG è ancora più indebolito

sono le zone a più alta energia, cioè le zone più reattive, allaccate dai fenomeni di corrosione e ossidazione

quando la dislocazione si trova all'interno del grano crea uno stato di tensione bipolare

questo reagisce con altri difetti o stati di tensione, che genera un' attrazione/repulsione della dislocazione al difetto



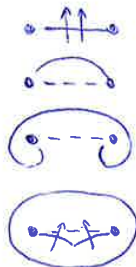
zona più densa → compressione

zona più dispersa → trazione

la sorgente di Frank-Read si attiva quando una dislocazione interagisce con 2 particelle nanoscopiche: la dislocazione si distorce avvolgendo le particelle e formando un anello di dislocazione, oltre alla dislocazione stessa che può continuare a generare altri anelli.

Sorgenti di dislocazioni

oltre alle sorgenti di Frank-Read esistono altre sorgenti: i (BDG) sono le sorgenti di dislocazione più efficaci



nei corpi continui si hanno dislocazioni di disclinazione

esiste una forza τ che mette in movimento la dislocazione

la difficoltà di movimento e l'addensamento delle dislocazioni determinano il rafforzamento della lega

la laminazione a freddo è un processo che aumenta la concentrazione delle dislocazioni, sotto forma di bande inspesite formando strutture chiamate stacking walls

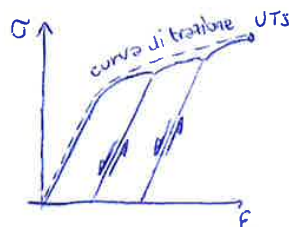
si valuta con la prova di trazione: applicazione di cicli di carico-scarico con sforzo crescente, che porta ad innalzare la tensione di snervamento fino al carico ultimo UTS

INCRUDIMENTO

σ_y non cambia: è unica per ogni materiale

dopo la laminazione i grani risultano allungati in una direzione e i precipitati evitano che si abbia ingrossamento del grano

oltre questo punto non si ha più riserva plastica, avendo superato il flow stress, e il materiale si rompe come un ceramico



↑
coalescenza

↓
trattamento
chimico
selettivo dei BG

quando attaccato, l'altone
 (lega Cu+Zn)
 presenta delle macchie scure,
 che sono macchie di soluzione
 solida di Cu, all'interno
 dei quali si formano i

GEMINATI



quando trattato con materiale chimico,
 i bordi di grano corrosi sono visibili
 perché i raggi luminosi non tornano
 alla sorgente (risultano neri)

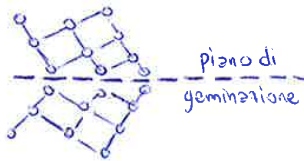


se attaccato chimicamente,
 la perlite (lamelle fini di
 ferrite+cementite)
 dovrebbe risultare grigia (perché
 la cementite non reagisce e la
 ferrite riflette bene la luce),
 invece si colora di nero

↓
 è scura perché, come nei BDG,
 le interfacce ferrite-cementite
 hanno grande energia e reattività

GEMINATI

difetti reticolari
generati per rotazione
 infatti presentano un
piano di geminazione
 ai lati del quale il
 cristallo è identico



← difetti reticolari con energia
quasi nulla sebbene associati
a bordi a grande angolo
 (difetti di impilaggio)

acciai austenitici
 e
leghe di Cu

analogo alla
 disclinazione,
 ma in scala
 maggiore

il materiale, quando
 risente del blocco
 delle dislocazioni,
 attiva un altro sistema
 plastico per garantire
 il flusso plastico

i geminati sono
 favoriti in questi materiali
 e causano un aumento
della resistenza
 perché le dislocazioni
 hanno più difficoltà a
 scivolare, per cui si ha
 incrudimento

quando la struttura è saturata
 dalle dislocazioni e il flusso plastico
 bloccato, il geminato fa ruotare la
 struttura e permette ad altre
 dislocazioni di arrivare a saturazione

nei CCC si formano geminati
 solo quando l'en. è rilasciata
 velocemente (urti, shock, esplosioni)

le condizioni che
 favoriscono la formazione
 dei geminati sono

Sistema di tensioni triassiali

in un cubetto vincolato che è
 sollecitato a compressione
 non può variare la lunghezza,
 quindi l'unico modo di
 deformarsi è la rotazione

negli EC si
 formano nella
 direzione in cui
 mancano le
 risorse plastiche,
 nella direzione
 meno resistente



bassissime T

gli acciai **TRIP**

geminati plastica
strullano i geminati per
avere grandi risorse plastiche
 e avendo molti elementi leganti
 si stabilizzano anche a Tamb

la fase dominante
 è austenitica

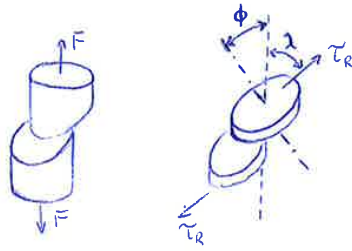
Al Cu Pt Fe
 CFC CCC

le leghe di questi metalli
 danno luogo a en. di stacking
fault più basse, quindi a
 geminati più frequenti

suscettibilità del materiale
 a formare difetti di impilaggio

Tensione Risolta
e
Moto Dislocazioni

Presso un provino sottoposto a sforzo di trazione (oltre il limite di snervamento) nasce un flusso plastico causato da una sollecitazione tangenziale



la zona plastica si produce sul campione lungo un'area inclinata

si individuano quindi una direzione di slittamento e un piano di slittamento



diverso dal piano di scorrimento che è legato al creep, cioè simultanea sollecitazione meccanica + diffusione

oltre a $\sigma = \frac{F}{A}$ agisce sul provino anche una $\tau_R = \frac{F_s}{A_s}$, che è

della tensione risolta:
è la τ che agisce proprio sul piano di slittamento, dove le dislocazioni si muovono

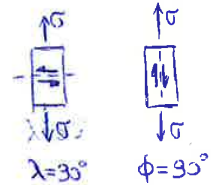
$$\tau_R = \frac{F \cos \lambda}{A \cos \phi}$$

$$\tau_R = \sigma \cos \lambda \cos \phi$$

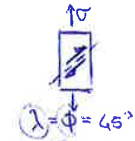
LEGGE DI SCHMIDT

lega la scala nanoscopica (dislocazioni) alla scala macroscopica (duttilità)

$\tau_R = 0 \rightarrow$ non si manifesta flusso plastico



$\tau_R = \frac{\sigma}{2} = \tau_{max} \rightarrow$ flusso plastico massimo



orientazione grani

$\tau_R > \tau_{CRSS}$ minima τ che bisogna superare perché si manifesti il flusso plastico

corrisponde alla σ_y (di snervamento), cioè quello oltre cui si ha la prima dislocazione mobile

negli acciai il rafforzamento determina anche la natura della deformazione

de dopo snervamento fino a rottura le tensioni sono uniformi alla sezione (durante il flusso plastico)

deformazione Uniforme

nella strizione la tensione non è uniformemente distribuita e la deformazione non uniforme



gli acciai comuni sono poli cristalli e la rottura avviene a 45°

si può applicare la legge di Schmidt non solo ai monocristalli, ma anche ai poli cristalli, che sono aggregati di monocristalli orientati in modo casuale

in media ogni cristallo si comporta allo stesso modo manifestando rottura a 45°

\Rightarrow rafforzamento per affinamento del grano

③

PER PRECIPITAZIONE o DISPERSIONE + INVECCHIAMENTO

è il risultato di un fenomeno di

PRECIPITAZIONE o DISPERSIONE

è un metodo di rafforzamento molto importante per i metalli e in particolare per le leghe

è il processo utilizzato per i materie composti, dove le particelle sono disperse nel liquido mescolato (esiste un'interfaccia)

è differenza della dispersione, qui non ci sono interazioni meccaniche tra particella e liquido, perché l'interfaccia è esigua, ma avviene la nucleazione del precipitato, che fa nascere l'interfaccia

l'aumento della resistenza è dovuto all'introduzione del precipitato, che rappresenta un ostacolo, e possono essere collocati

ostacoli già visti sono le dislocazioni stesse

sui BDG

che partecipano al rafforzamento perché impediscono l'ingrandimento dei grani (pinning)

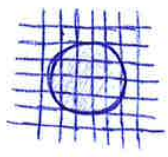
all'interno, che induce il maggior rafforzamento, perché ostacola le dislocazioni

al punto triplo, di incontro fra più grani

il rafforzamento è dovuto sia alla distorsione del reticolo (se presente), sia al fatto che i precipitati sono duri e alto-fondenti

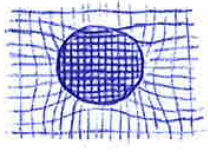
se i BDG sono instabili, trovandosi su una frontiera dinamica che vibra, all'aumentare di T questi si attivano e si uniscono per formare grani più grandi

l'interposizione dei precipitati al BDG inibisce il fenomeno di coalescenza



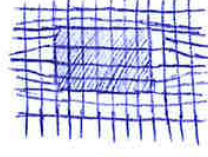
Coerenza

il reticolo del precipitato coincide con il reticolo del grano (situazione "ideale")



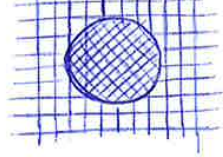
Coerenza con strain nel reticolo

la particella ha il suo reticolo mentre il grano ha una costante reticolare maggiore
il grano si deve adattare e nasce una distorsione



Semicoerenza

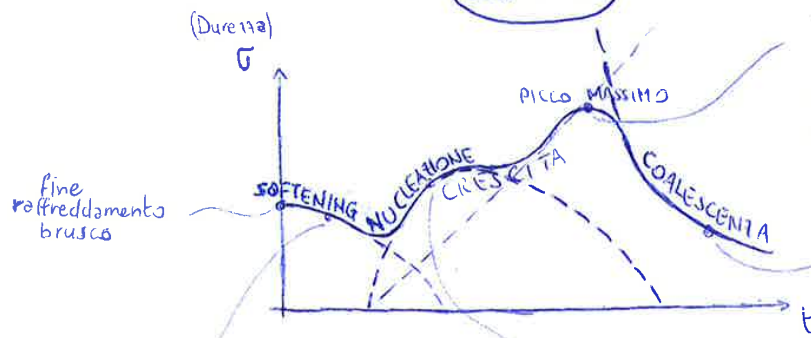
quando i precipitati diventano poco più grossi si ha coerenza lungo una direzione (reticoli allineati) mentre nell'altra direzione si ha distorsione; perdendo parte della distorsione diminuisce il rafforzamento



Incoerenza

è il caso di precipitato di grandi dimensioni, il cui reticolo è diverso dal reticolo del grano
l'interfaccia non risente di questa incoerenza

Durezza



si ha una nuova impennata della durezza, perché le interfacce perdono parte della loro coerenza, diventando tutte semi-coerenti nel picco massimo

nella prima metà ora si ha softening, cioè la resistenza diminuisce perché gli effetti di tempo sono ridotti dal fatto che la soluzione super-riscaldata tende a riorganizzarsi e trovare un assetto

in queste prime ore i precipitati iniziano a nucleare e diffondere: il precipitato nasce da un nucleo stabile formato da aggregati di 15-20 atomi, si formano delle GP zones (Gunter-Preston)

all'aumentare del tempo si ha un crollo perché i precipitati ingrossano in modo incontrollato diventando incoerenti

si ha un'impennata della durezza dovuta all'aumento del grado di ostacolo delle dislocazioni, dovuto alla distorsione del reticolo, perché il precipitato cresce con interfaccia coerente

è importante non raggiungere questa fase di sovrarriscaldamento e rimanere con una interfaccia semi-coerente

le dislocazioni danno massimo rafforzamento quando interagiscono con precipitati semi-coerenti

i precipitati si oppongono al moto in 2 modi



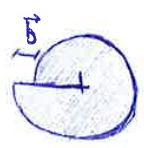
SHEAR

la dislocazione prosegue indetormata tagliando le particelle (particelle deboli → coerenti)

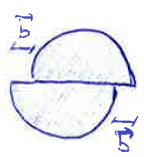
BOWING



la dislocazione non riesce a proseguire e deve infrangersi (particelle forti → semi-coerenti)

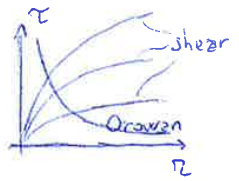


quando le particelle sono piccole e coerenti la dislocazione non incontra difficoltà e taglia la particella lungo il piano di scorrimento, formando un gradino ($|b|$ = vettore di Burgers) e tagliando il precipitato in due



la difficoltà di taglio aumenta se il precipitato è più grande

si innesca il meccanismo di Orowan: il rafforzamento è maggiore se diminuisce la distanza tra le particelle, perché la dislocazione è più bloccata, dovendo infrangersi di più



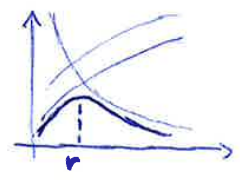
a parità di volume di precipitato, la tensione e il rafforzamento diminuiscono all'aumentare del raggio (è come se la distanza aumentasse)

la condizione ottimale combina i 2 meccanismi, e corrisponde ad un raggio per cui i precipitati sono semi-coerenti

assunto nelle GP zones

$$r_{Orowan} = \frac{1}{2} \frac{Gb}{\rho} \sqrt{f}$$

frazione volumica di particelle



⑥ PER TESSITURA

è il metodo più economico per rafforzare acciai anche di bassa qualità

l'aumento di resistenza è dovuto alla presenza di direzionalità delle fibre

anisotropia microstrutturale

nel acciaio forgiato le fibre si orientano nella direzione di sollecitazione

si distingue una direzione di laminazione: direzione più debole per tenacità a frattura



interfaccia fibre-matrice (ferro-cemento) non bene legata ↓ debole

Metodi di Rafforzamento

precipitati solo al BCG

lento

raffreddamento



ricristallizzazione

precipitati al BCG e all'interno, con grani di dimensioni ridotte

precipitati al BCG e all'interno del grano

brusco

- invecchiamento
- precipitazione



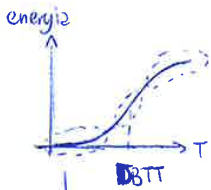
- affinamento del grano
- precipitazione



(Ductile-Brittle) Transition Temp.

DBTT negli acciai

Temp. di Transizione Duttile → Fragile



en. di soglia superiore

en. di soglia inferiore

è la T alla quale un acciaio manifesta comportamento fragile quando sottoposto a sforzo

intaglio a U (rott. fragile) oppure a V per acciai più resistenti (rott. duttile)

nelle prove di resilienza il provino è munito di intaglio ed è sollecitato fino a rottura fragile

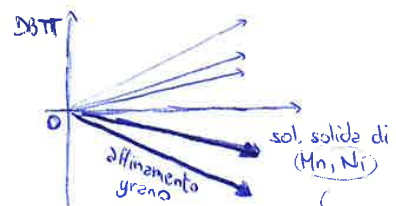
introdurre un intaglio equivoce ad applicare uno stato di tensione triassiale

quando esiste questo stato il materiale si rompe in modo fragile

si valuta l'energia assorbita e si valuta la pendenza della curva

se in un acciaio si aumenta la resistenza, si paga con minore resilienza e tenacità

in questo modo si valuta il comportamento meccanico dei materiali durante un assorbimento rapido di energia (ad es. urti accidentali, esplosioni)



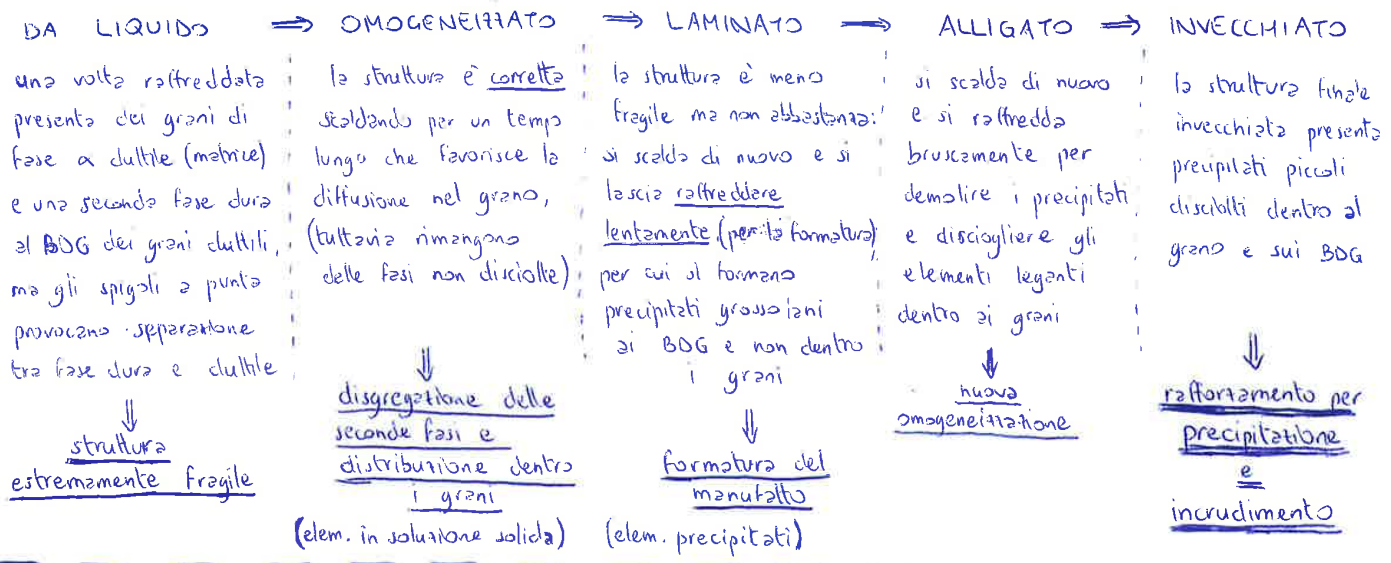
per formare acciai inox austenitici (resistono meglio alle basse T)

la DBTT deve essere la minore possibile

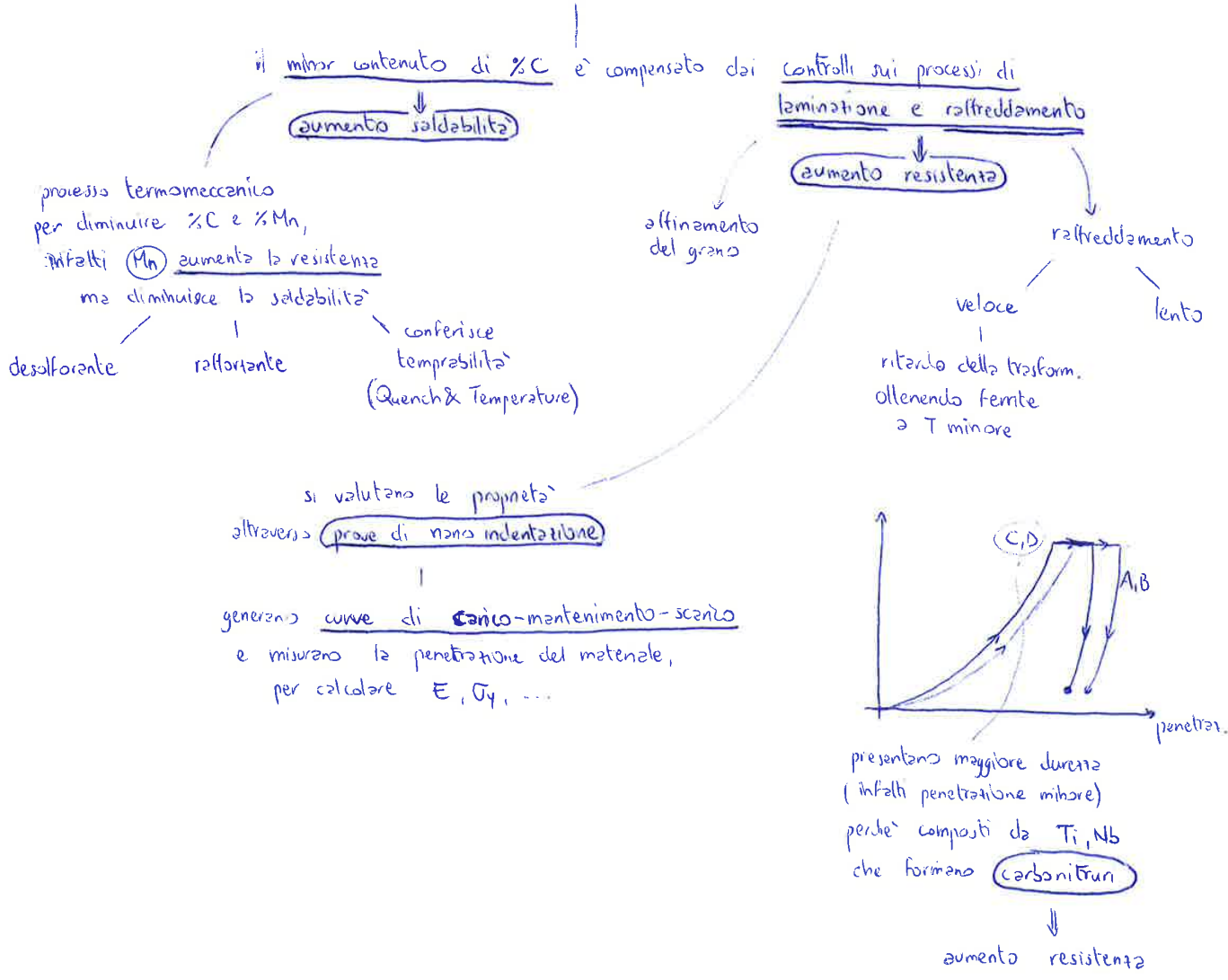
Leghe Al 7xxx

le più resistenti sono le 7xxx e 2xxx

sono prodotte allo stato liquido e dopo invecchiamento acquisiscono la proprietà



RESISTENZA DEGLI ACCIAI HSLA



① (IMPIEGO)

ACCIAI STRUTTURALI S

Sottogruppo D
LAMIERE SOTTILI

sono acciai che presentano notevole allungamento data la grande riserva plastica

← le lamiere sono facilmente deformabili

→ Imbutitura

stampa in negativo della forma che si vuole ottenere

es. Strip

e' un nastro, cioè una lamiera avvolta a rotolo

EN 10152

- (DC03)

aliquanto numerico
1.0347

grado di imbutitura

+ ZE

(50/50)

- A

- P0

qualità inferiore

entrambe le superfici rivestite con spessore 50

oleatura per la fase di conferimento

treatmento per preservare la superficie

questi acciai devono garantire una buona interazione con l'ambiente esterno

trattati con Zn

per immersione o elettrolitica

lo Zn ha capacità di proteggere il Fe consumandosi cioè resistente alla corrosione

trattati con Al Si

conferiscono durezza, cioè resistente all'usura

① (IMPIEGO)

ACCIAI ALTO-RESISTENZIALI LAMINATI H

ALTO-RESISTENZIALI

sono acciai HSLA a minore resistenza degli ultra alto resistenti

H X 220 B D

indica la tensione di snervamento

informato a 180-200°C per un incremento di resistenza

+

ZF

il Fe migliora l'aderenza della Zn

ZA

l'Al si ossida e offre resistenza all'erosione

AZ

Al sistema (res. erosione) e Zn sistema (res. corrosione)

AS

resistente erosione corrosione

Al aderisce meglio (spessore minore) lastre curve

Si è più economico (spessore maggiore) lastre piane

l'aggiunta di Mn ha effetto stabilizzante

↳ Mn stabilizza l'austenite a Tamb

l'austenite favorisce fase duttile

perché ha struttura CCF che migliora lo slittamento delle dislocazioni

ULTRA ALTO-RESISTENZIALI

per questi acciai l'allungamento è minore perché sono già sollecitati al massimo (AHSS)

H D T 450 F

laminato a caldo

carico di rottura

acciaio multifase FB

tensile stress: non si fa riferimento alla snervamento ma al carico di rottura

DESIGNAZIONE AISI/SAE (Americana)

Acciai comuni e legati usati nelle costruzioni

CARBON STEELS

10XX - %C nella lega
(es. 1020 → $\frac{20}{100} = 0,2\%$)

12XX - risolforati e rifosforati
(S) (P)
in piccole quantità ~~NON~~
sono intraglienti

1040 - %C > 0,4 sono detti
acciai da bonifica

realizzati per trasformazioni di fase:



si forma uno strato superficiale indurito
che è dovuto ad uno stato di compressione
che porta aumenti di resistenza

→ fatica → compressione

un'eventuale cricca nella
zona superficiale (dovuta ad un difetto)
tenderà a propagarsi quando il
materiale è sottoposto a fatica,
ma aumentando la resistenza si evita:
uno sforzo di compressione richiude la cricca,
uno di trazione viene scaricato dalla resistenza

MANGANESE STEELS

13XX
massimizzano
Mn: 1,75%

CHROMIUM-MOLYBDENUM STEELS

41XX
acciai
altorestanti
da bonifica

NICKEL-CHROMIUM-MOLYBDENUM STEELS

43XX
basso legati, ad
alta tenacità
Ni = 1,82%

usati per i
cavalli d'aereo

→ secondo il valore di %C cambia
il contenuto degli elementi di lega
come Cr, Mo perché questi elementi
sono fortemente **carburiogeni**,

mentre il Ni, che non si lega al C,
non varia in quantità:

se cambia %Ni cambia proprio l'acciaio!
(81XX, 85XX, ...)

8620

per renderlo resistente all'usura viene
sottoposto a miscela di idrocarburi in forno (cementazione)
oppure arricchito di C tramite (cementazione locale)
framme ossido-carbureniche

→ perità di
proprietà
maggiore è
%C, maggiore
è la probabilità
che questi
elementi vadano
a legarsi al C,
in soluzione
solida

per aumentare la resistenza si aggiunge %C, ma se
%C > 0,4 si operano trattamenti termici, perché se
si aggiungesse ulteriore C il materiale diventa
duro ma estremamente fragile

ACCIAI INOSSIDABILI

2XX

3XX

molto utilizzati ma
molto costosi

4XX

5XX

XX-X PH

combinano al massimo
resistenza e tenacità a frattura

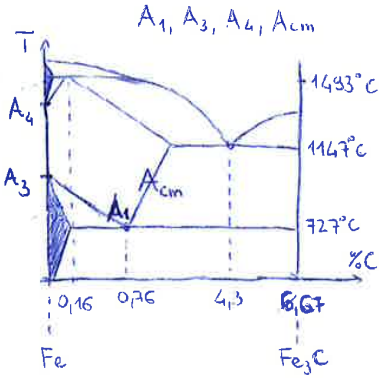
il posto alto è dovuto al costo del legante
+
costo della accurata procedura per legarlo

ottenuti per precipitazione, combinando la
forma dei precipitati (aghi, ellissi, ecc) e
compattando la struttura

Punti Critici

si definiscono delle temperature di equilibrio tra le fasi

si definiscono delle linee di solubilità e quindi dei limiti di solubilità al variare di T:



i punti critici non sono fissi, il loro valore dipende da:

processo

se il processo è "di equilibrio" si ha una A_e : il processo è di non equilibrio, ma allo $T=A_e$ è soddisfatta la condizione di equilibrio

se il processo si allontana dall'equilibrio, ad es. aumentando la velocità di trasformazione, avverrà con più difficoltà

A_c = Acheffage
 A_r = Aretardment

} isteresi →

occorrerà
T più alta al riscaldamento
e
T più bassa al raffreddamento

elementi di lega

GAMMAGENI

favoriscono l'austenite, allargando il campo di γ
↓
Mn, Ni, C, N

ALFAGENI

favoriscono la ferrite, restringendo il campo di γ
↓
Si, Cr, Mo, V

Struttura delle fasi

FERRITE



- struttura CCC
- bassa solubilità a T_{amb} .
- ferromagnetica
- velocità di diffusione elevata, non dà il tempo di formare BDG rettilinei; quindi BDG curvilinei
- molto duttile

AUSTENITE



- struttura FCC
- può sciogliere fino al 2,14% C, quindi risulta stabile, duttile
- paramagnetica
- ad alta T può diffondere lentamente, per cui quando raffredda forma BDG più definiti e rettilinei

• la ricottura dell'austenite rende evidente la gemminazione, cioè la rotazione del cristallo (che ha un'energia di stacking fault molto bassa)

↓
i grani di austenite presentano geminati di ricottura, perché ha subito un processo di deformazione plastica a monte e dopo si è inacidito, a seguito del moto delle dislocazioni e della gemminazione

CEMENTITE



- composto interstiziale 12 Fe : 4 C
- elevata durezza e resistenza meccanica
- oltre a Fe e C presenta elementi interstiziali che rafforzano la matrice ferritica pertanto non si scrive Fe₃C ma

$[Cr, Mo, Mn, Fe]_3C$
della cementite composta

↓
gli elementi leganti metallici introdotti in elementi ferritici non formano carburi, ma si combinano fra loro formando composti intermetallici

PERLITE



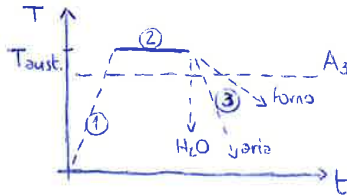
- NON È UNA FASE
- struttura a lamelle: ferrite e cementite (scuro) (bianco)
- lamelle più fini aumentano la resistenza
- è duttile (più duttile della ferrite, ma più dura dell'austenite)
- durante i T.T. la ferrite può efficacemente raffreddare la perlite adiacente, infatti più è lontana la perlite più formerà grani grossolani la ferrite

(T.T.) TRATTAMENTI TERMICI DEGLI ACCIAI

Una volta che il progettista ha valutato la resistenza che deve avere l'acciaio, consulta i cataloghi per scegliere il più idoneo, e decide il T.T. migliore per combinare le proprietà di resistenza e saldabilità

è importante il ruolo degli elementi leganti

Ciclo Termico

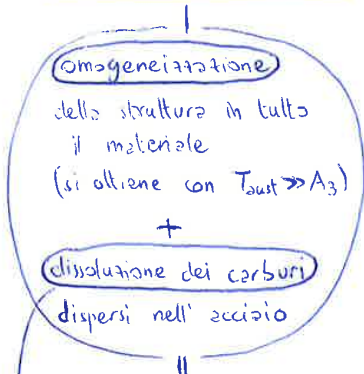


1 RISCALDAMENTO

grandi masselli d'acciaio vengono portati al laminatoio dove subiscono le variazioni dimensionali utili alla lavorazione, e poi scaldati in forno fino a raggiungere la T_{idest} , uniforme
 a seconda delle dimensioni, si creano gradienti di Temperatura più o meno forti
 ↓
gradienti di Deformazione tra le componenti, oppure interno-superficie,...

disciogliere la perlite è semplice perché è lamellare, mentre i carburi sono altofondenti, perché sono formati da C concentrato, a cui serve molta energia per disgregarsi e diffondersi, quindi occorrerebbe una T molto alta

2 AUSTENITIZZAZIONE



è importante scegliere la Temp. e la durata

gradienti troppo elevati tra cuore e superficie provocano l'ingrossamento solo all'esterno

↓
gradiente di deformazione

tempi di risc. troppo lunghi portano all'ingrossamento del grano austenitico

↓
infragilimento

per evitare queste proprietà negative si mantiene una T non eccessivamente elevata per un tempo non troppo lungo, proporzionalmente alle dimensioni del pezzo

3 RAFFREDDAMENTO

il raffreddamento determina la microstruttura, e quindi le proprietà dell'acciaio
 ↓
 diverso per ogni T.T.,
 Avviene in 3 diversi modi:

- il costo aumenta
 - in forno
 - all'aria
 - in acqua
 - immersione
 - spray
 - in olio
- il tempo diminuisce

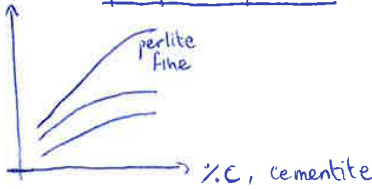
l'immersione in vasca non permette l'eliminazione delle bolle di vapore acqueo che restano intrappolate nell'acciaio (ebollizione nucleata), mentre spruzzando acqua dagli ugelli si evita il problema e si ottiene un effetto di tempera (migliore resistenza)

utilizzato quando il raffreddamento in acqua è troppo drastico

Proprietà

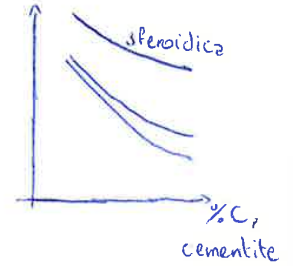
Durezza

aumenta con la presenza di precipitato più fine e disperso



Duttilità = deformazione uniforme

diminuisce con la presenza di cementite e con la struttura sferoidica dei precipitati



Temprabilità

proprietà del materiale di avere almeno il 50% di martensite a trasformazione avvenuta.

si ottiene tramite il processo di **TEMPRA**:

- riscaldamento
- completà austenitizzazione
- brusco raffreddamento

↓
l'obiettivo è ottenere una struttura completamente martensitica, perché i carburi residui non contribuiscono a formare martensite

dipende da più fattori

tempo di nucleazione

dimensione del grano

una volta terminato il processo di tempra non si possono più diminuire i grani grossolani (fragilità)

elementi leganti

hanno la capacità di formare carburi e modificare la (A_n) trasformazione eutelloidica

anticipano la trasformazione (ALFAGENI)

- V
- W
- Mo
- Cr
- Si

anche in piccole quantità è estremamente avido, assorbendo quasi tutto il C come V sono microalloyanti, ma sono meno potenti perché in parte formano carburi con C e in parte entrano in soluzione solida

(GAMMAGENI) **ritardano** la trasformazione, cioè incrementano l'intervallo dell'acciaio alla trasformazione

- Cu
- Mn
- Ni

umentano il contenuto dell'eutelloide, ⇒ migliorano la tenacità perché non si legano a C per formare carburi, quindi possono essere utilizzati per mantenere l'acciaio allo stesso %C (ma riducendo effettivamente %C)

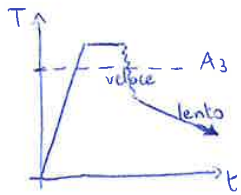
non si legano al C ma entrano in soluzione solida

spostando l'eutelloide si possono variare a piacimento le proporzioni di ferrite e cementite
perlite

Confronto delle proprietà antitetiche nei diversi T.T.

RESISTENZA/DUREZZA VS RESILIENZA/TENACITÀ

ricottura: raffreddamento in forno

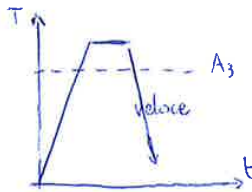


PERLITE GROSSOLANA

- tenacità elevata (110 J)
- durezza bassa (20 Rc)

raffreddamento in un fluido

normalizzazione: raffreddamento all'aria

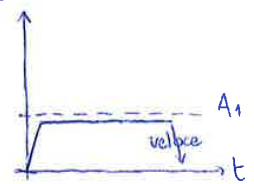


PERLITE FINISSIMA o BAINITE

- resilienza elevata (55 J) (struttura fine in matrice duttile)
- durezza aumentata (57 Rc)

ha caratteristiche simili a quelle della martensite rinvenuta, ma può essere ottenuta solo con processi di raffreddamento in condizioni isoterme (TTT), mentre la martensite rinvenuta è realizzabile con processi di raffreddamento continui (CCT)

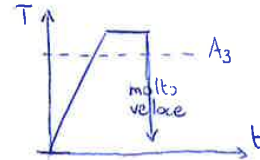
sferoidizzazione



PERLITE SFEROIDIZZATA

- tenacità molto elevata (110 J)
- durezza bassa (20 Rc) (è la più tenera e la più tenace)

raffreddamento brusco

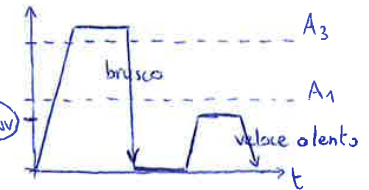


MARTENSITE

- resilienza minima (< 3 J)
- durezza aumentata (65 Rc)

pesime caratteristiche, ma è la condizione necessaria per realizzare un acciaio resistente

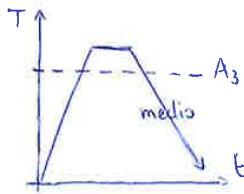
RINVENIMENTO $T < A_{1, FIN}$



MARTENSITE RINVENUTA

- resilienza elevata (55 J)
- durezza elevata (57 Rc)

stessa quantità di fette della grossolana



PERLITE FINE

- tenacità si dimezza (55 J)
- durezza aumentata (30 Rc)

La T_{RINV} deve essere maggiore della T_{minima} utile per distendere le tensioni residue, ma minore di A_1



trasformazione $\gamma \rightarrow m$

iniziata alla $T = M_s$, che può essere abbassata se aumenta il contenuto di elementi leganti e finisce a $T = M_f$ in cui tutta l'austenite è trasformata in martensite

se $T > M_f$ se non si raggiunge M_f , allora al termine della trasform. rimane γ residuo

avviene "a scatti", cioè a ogni abbassamento di T, una frazione di γ si trasforma in m

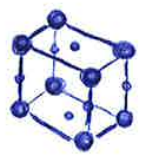
quando l'acciaio in esercizio subisce degli stress, γ (metastabile dopo la trasform., cioè instabile) si trasforma formando cricche

riduzione tenacità

Martensite

perché ottenuta con raffreddamento elevato

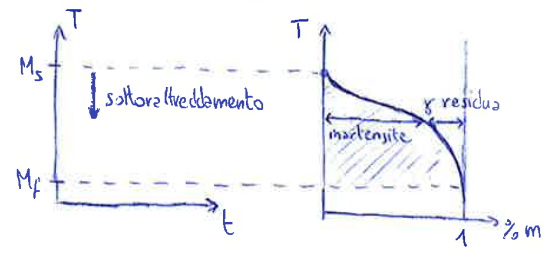
è un microcostituente metastabile con struttura tetragonale corpo centrato



forte distorsione del reticolo

è composta da matrice dura con seconde fasi immerse nella matrice (come nelle cementite) che la lacerano rendendola fragile

dalla $T = M_s$ si comincia a formare martensite; la quantità aumenta con l'aumento del sottoraffreddamento fino alla $T = M_f$ in cui tutta la γ è diventata m difficile da stimare

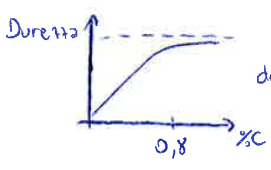


secondo della quantità di C la martensite presenta struttura diversa e diversa applicazione

la martensite per saldature possiede zone più ricche di C che manifestano strutture tetragonali e cementite sferoidale Fe_3C → bassa resilienza

la martensite strutturale presenta lamelle orientate → alta resilienza

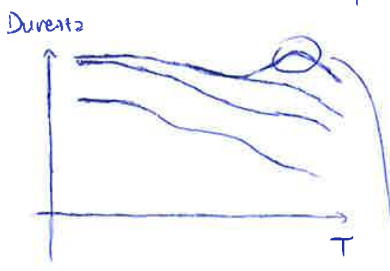
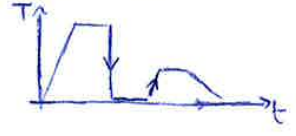
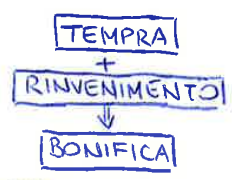
dall'eutettoide in poi ($\%C = 0,76$) la durezza rimane costante



oltre 0,8% C è meglio aumentare il tenore dei carburi per aumentare la resistenza, piuttosto che aggiungere altro C

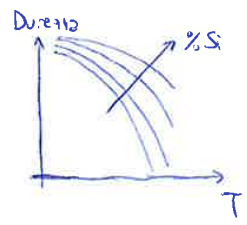
RINVENIMENTO

è la procedura attraverso cui si migliorano le proprietà meccaniche: aumenta la resilienza ma diminuisce la durezza



per aumentare la durezza e la temprabilità occorre aggiungere elementi di lega, e quindi più C

indurimento secondario alle alte T per acciai legati con Mo, **Si**



all'aumentare della quantità di Si aumenta la durezza

La Martensite rinvenuta presenta cementite sferoidale dispersa uniformemente nella matrice

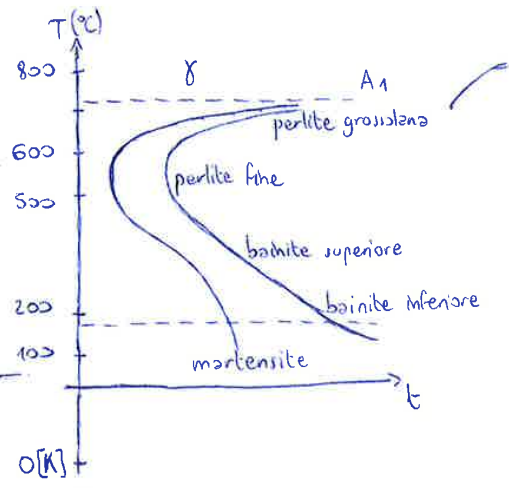
→ si riduce la criticità di formazione delle cricche → elevata tenacità a frattura

Diffusione

la situazione ottimale si ha nel gomito della curva

Se T è bassa si ha un sottoraffreddamento eccessivo, che provoca una nucleazione forte ma crescita lenta, perciò in molti siti si formano grani piccoli

nucleazione omogenea



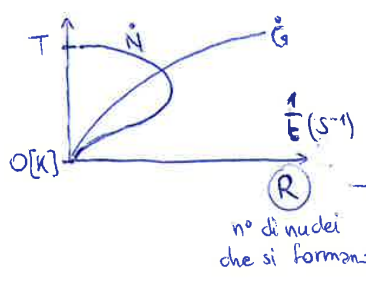
à T = 0 [K] non si può avere nucleazione, a causa dell'assenza di vibrazione e movimento molecolare, e di conseguenza neanche la crescita può svilupparsi

per sottoraffreddamenti più piccoli, la trasformazione è controllata dalla diffusione:

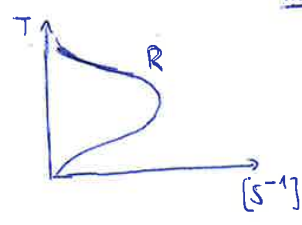
se T è molto alta non c'è sufficiente sottoraffreddamento e la nucleazione è scarsa, quindi i nuclei si formano solo BDC perché solo qui l'energia è sufficiente per formare la nuova fase. La crescita è rapida, quindi in pochi siti si formano grani grossi

nucleazione eterogenea

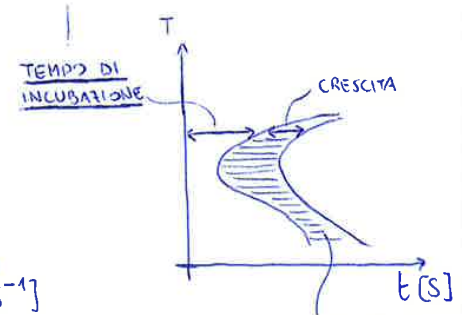
la diffusione è un processo che avviene per nucleazione \dot{N} e crescita \dot{G}



$R = \dot{N} \times \dot{G} \left[\frac{1}{\text{sec}} \right]$
 velocità nucleazione | velocità crescita



tempo di innesco della nucleazione

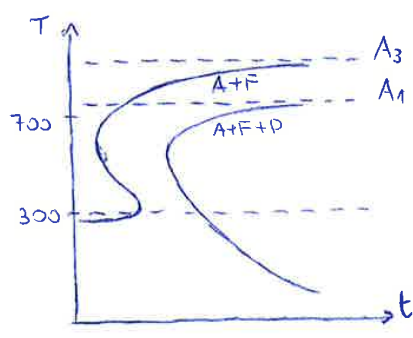


invertendo, si ottiene

in questo fascio avviene la trasformazione

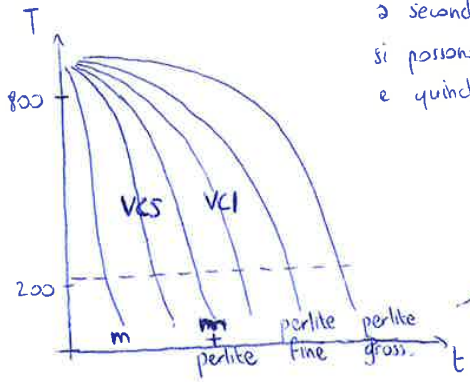
negli acciai iper-eutetoidici è presente anche la regione di ferrite (asint. A3) e di perlitite (asint. A1)

la ferrite è una fase che non si forma mai completamente (è asintotica nel grafico) ma è sempre presente ad un'altra fase



negli acciai iper-eutetoidici alla ferrite (asint. A3) si sostituisce la cementite (asint. Acm)

Velocità di Raffreddamento



secondo delle proprietà meccaniche che si vogliono ottenere si possono decidere quali curve CCT intercettare e quindi quali microcostituenti ottenere

le pendenze indicano la severità di tempo:
pendenze maggiori
↓
velocità di raffreddamento maggiori
↓
struttura più fine

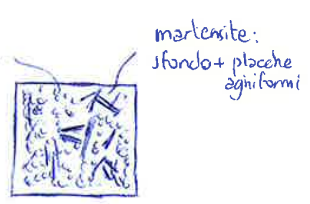
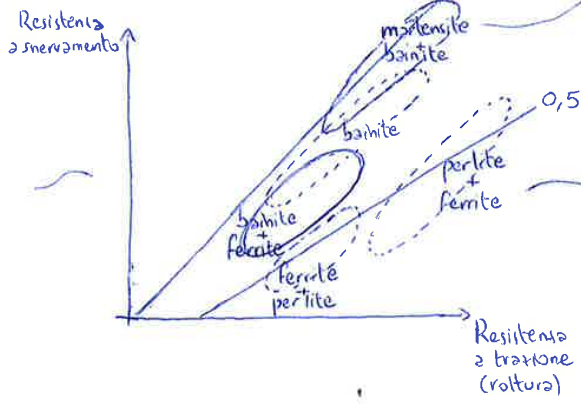
(perlite gross → perlite fine → bainite → martensite)

Elementi leganti



Microstruttura

per strutture entrisimiche bisogna garantire duttilità:
↓
snervamento a rottura $\sim 0,5$
↓
perlite + ferrite



la ridotta solubilità della ferrite provoca il rigetto di C in eccesso: precipitati di Fe_3C terziaria

- (Mn)
- (P)
- (S)
- (Si)
- (Cu)
- (Ni)
- (Mo)
- (B)

desborante,
↑ durezza, temprabilità, resistenza (quantità limitata)
↑ durezza, resistenza (in basse quantità %P)
↑ saldabilità (piccola %S), lavorabilità
↑ durezza, resistenza (piccola %Si), disossidante, **abbassa DBTT**
↑ resistenza alla corrosione ($0,2 < \%Cu < 0,3$)
↑ tenacità, temprabilità, resistenza all'urto
↑ temprabilità, resistenza ai BDG, diminuisce fragilità a rinvenimento
↑↑ temprabilità

↓ duttilità, saldabilità
↓ resilienza per intagli a V (Kv)
↓ resilienza per intagli a V, intragilente
↓ saldabilità
↓ dannoso se %Cu aumenta

Convertitore

nel convertitore avvengono delle reazioni chimiche che hanno lo scopo di ridurre la % C e di diminuire le impurezze

DECARBURAZIONE DELLA GHISA

(S) P Cu Sn (Ni) (Cr)

(FeS) e' basifondente, rende l'acciaio fragile già dal processo di laminazione perché si posiziona ai BDG

possono essere dannosi quando non si vogliono ottenere le proprietà che questi conferiscono

nel convertitore si utilizzano due metodi di depurazione dal C, oltre al BOF



a cui segue una post-refinazione con SCORIE SINTETICHE FUSE

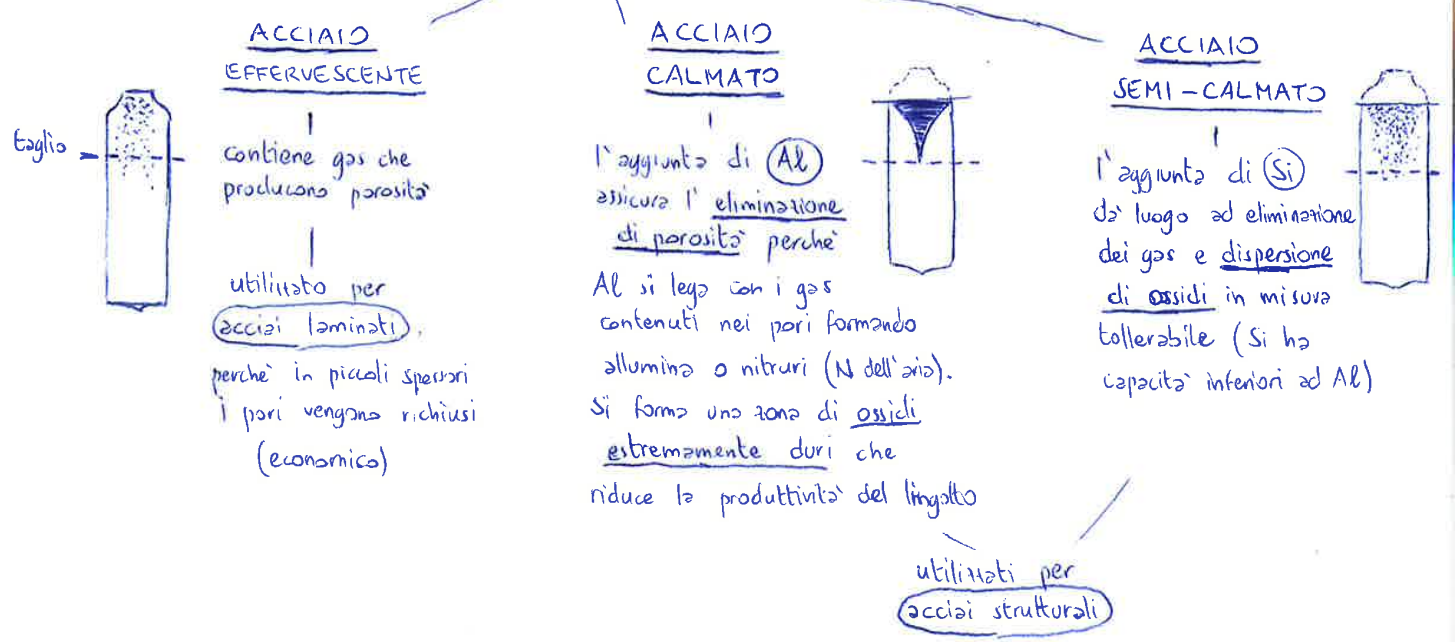
producono calore sulla superficie e reagiscono con le sostanze nocive depurando l'acciaio

Colaggio

la ghisa e' colata dalla siviera alla lingottiera: solidificano prima il Fe e i costituenti basifondenti poi gli aliofondenti e infine le impurezze



il volume di ghisa colata contiene una % vuoti detta porosità



Si possono manifestare diversi inconvenienti di produzione:

① **INCLUSIONI**

durante il processo di colata, si formano **inclusioni**

elementi di scoria (ossidi) non metallici che si disperdono all'interno della matrice metallica

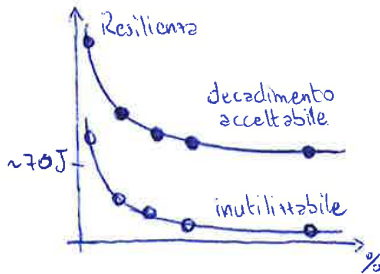
causano diminuzione della tenacità e della sezione resistente

per limitare la quantità di inclusioni occorre una solidificazione molto lenta che permetta alla scoria di risalire e galleggiare sul bagno, > causa della minore densità

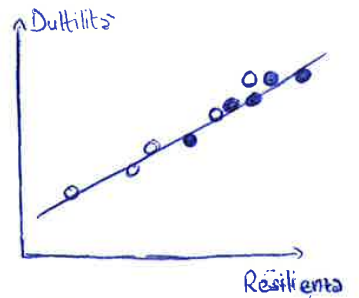
influenzano in modo negativo le proprietà

RESILIENZA

(TENACITÀ A FRATTURA)



DUTTILITÀ



la duttilità aumenta linearmente con l'energia (risorsa plastica) maggiore

dipende dalla direzione di sollecitazione sulla provetta

- longitudinale
- trasversale

le inclusioni sono di natura plastica e tendono a deformarsi nella direzione della sollecitazione

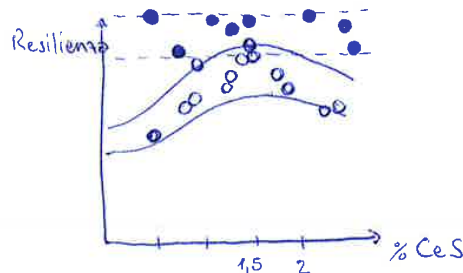
dopo una prima desolfurazione nel convertitore, per ridurre ulteriormente %S, FeS viene trattato con **(Mn)**, che combinandosi con FeS forma MnS; (che vengono asportati successivamente) oppure con il Cerio **(Ce)**

solfuri, (nitru) **(FeS)**

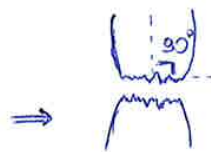
in genere sono favorevoli, ma quando formano aggregati di grandi dimensioni sono nocivi perché lacerano la matrice

durante la laminazione "rigano" il metallo

sferoidizza le inclusioni, rendendole meno sviluppate in direzione longitudinale, lasciando la matrice circostante più attiva in presenza di cricche



le inclusioni danno luogo a superfici di frattura piane, cioè **frattura fragile** mentre quello che si vuole ottenere è una **frattura duttile** (del tipo coppa-cono)



quando un metallo si rompe in modo fragile è perché si è verificata una di queste condizioni

- stato tensionale triassiale (campione costretto in tutte e 3 le direzioni)
- T bassissime
- sollecitazione per urto
- struttura cristallina esagonale (es. Mg, Zn)



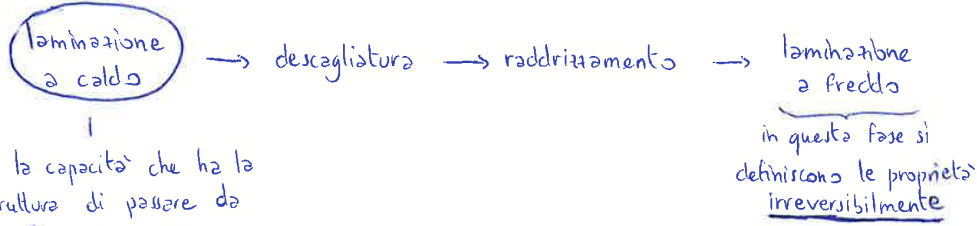
o al limite

direzione di max slittamento (Tresca e Schmidt)



LAMINAZIONE CONTROLLATA E TMCP ACCIAI DA COSTRUZIONE

il processo di laminazione avviene in più fasi:



sfrutta la capacità che ha la microstruttura di passare da una configurazione con grani allungati a grani fini

la trasformazione consiste in:

① RECOVERY o DISTENSIONE

i grani rimangono allungati ma le tensioni residue dovute all'incrudimento vengono eliminate

② RICRISTALLIZZAZIONE (STATICA o DINAMICA)

la struttura viene sferoidizzata per essere lavorata: maggiore è l'incrudimento, minore è la T di ricristallizzazione (nell'intorno di $0,4 T_m$) e tanto più facile è controllare la dimensione del grano

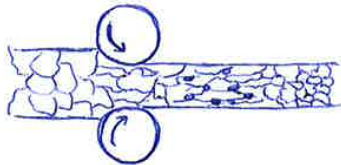
③ CRESCITA DEL GRANO

i grani crescono con il procedere della ricristallizzazione, quindi si raffredda rapidamente l'acciaio quando si raggiunge la dimensione desiderata

STATICA

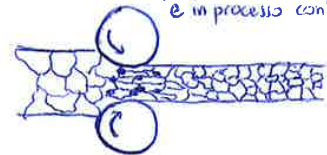
DINAMICA

deformazione plastica avviene in una zona al di fuori dei rulli

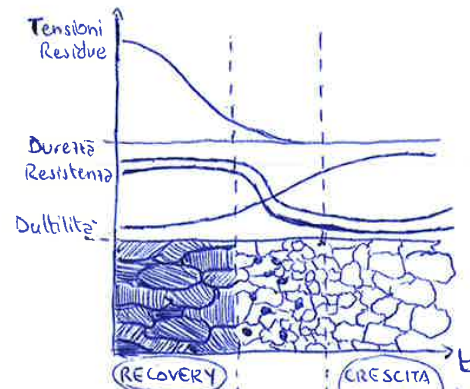


si formano nuovi grani ai BDG, molto piccoli, ma che tendono a ingrossarsi e a coalescere assorbendo altri grani più piccoli

avviene in corrispondenza dei rulli e in processo continuo



si raggiunge una nuova configurazione con grani affinati: qui si raffredda e si blocca la dimensione



si consolida la duttilità ma si annullano durezza e resistenza

INFRAGILIMENTO

le tensioni si annullano ma durezza e resistenza crollano perché la struttura viene resa sferoidizzata, e aumenta la duttilità

ideale per la LAVORAZIONE

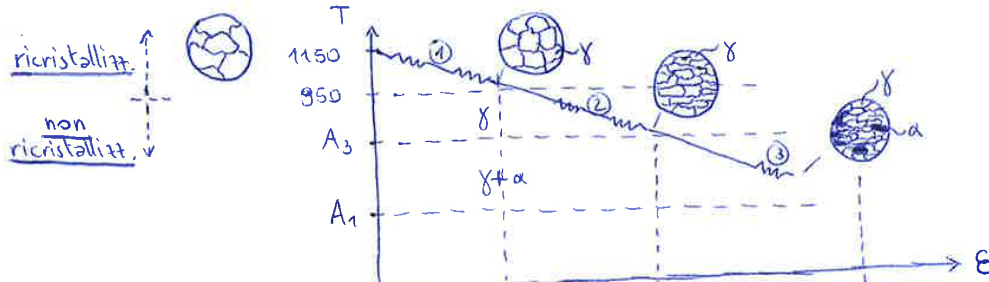
riduzione tensioni senza notevoli cambiamenti in struttura, duttilità, durezza, resistenza

ACCIAIO DISTESO

Laminazione Controllata o Control Rolling (CR)

nei processi moderni si controlla la laminazione e quindi l'assottigliamento dei grani

si ottengono a T di produzione più basse grani più fini



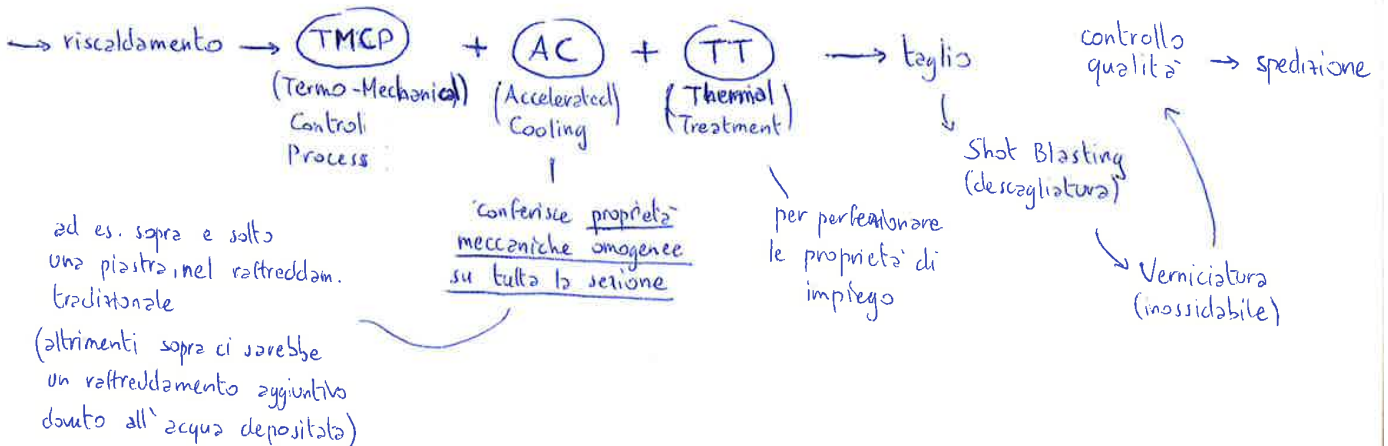
ricristallizz. ↑
non ricristallizz. ↓

① avviene una prima deformazione ad alta T, ma qui si evita il raffreddamento perché causerebbe grani grossolani (laminazione convenzionale)

② se non avviene ricristallizzazione il grano rimane distorto e incoerente, ad una $T < 950^\circ\text{C}$ si può raffreddare ottenendo una buona struttura con grani molto piccoli ed equiassici

prima della trasf. $\gamma \rightarrow \alpha$ avviene una deformazione molto spinta, severa, ottenendo ferrite α deformata plasticamente, a $T < A_3$ raffreddando in modo brusco si ottiene struttura fine ed equiassica (pancake)

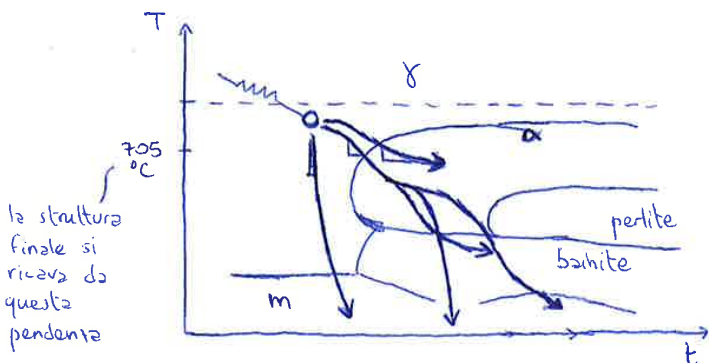
il ciclo di vita dell'acciaio è quindi:



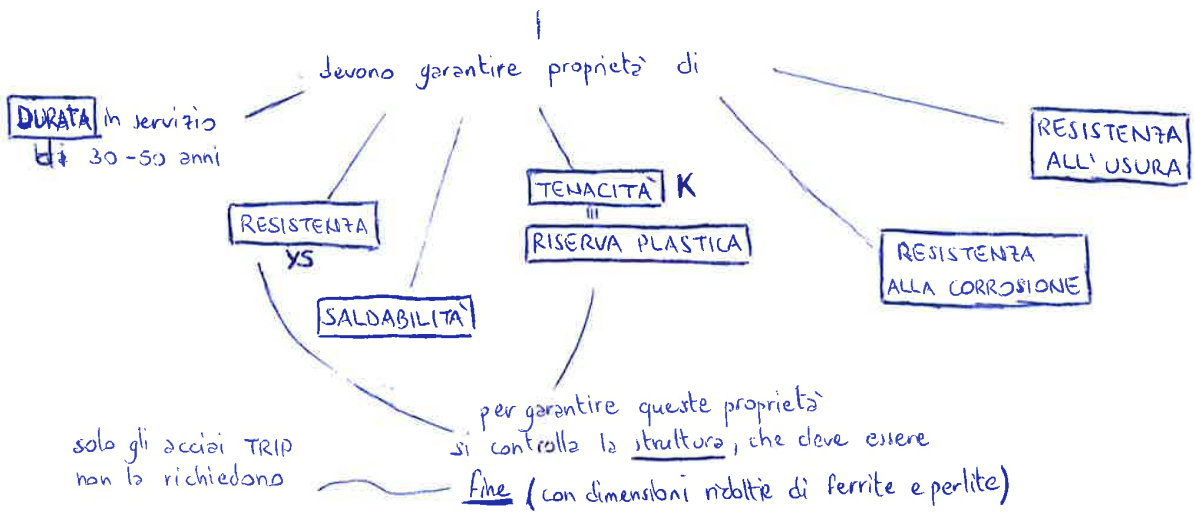
AC

è la fase in cui si definisce la microstruttura: l'aggiunta di leganti è determinante:

- Al anticipa la bainite, martensite e ferrite ritarda la perlite
- Mn, Cr, B allargano il campo della martensite (ottenibile quindi per lenti raffreddamenti)
- C, Si, Mn, Al, B, Cr posticipano la perlite: eseguendo raffreddamenti lenti si può evitare di ottenere la perlite (tenere)



ACCIAI PER COSTRUZIONI E HPS



EN 10025

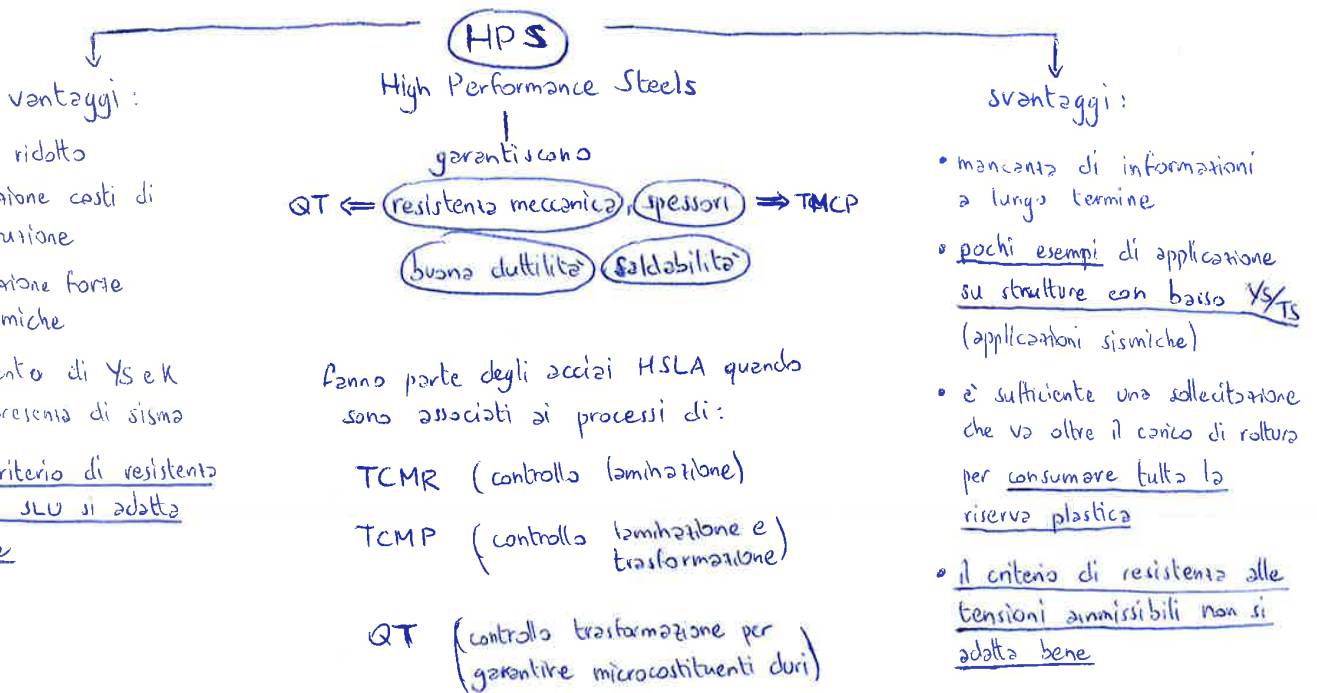
classifica gli acciai in base all'impiego e alle proprietà

S460 N M

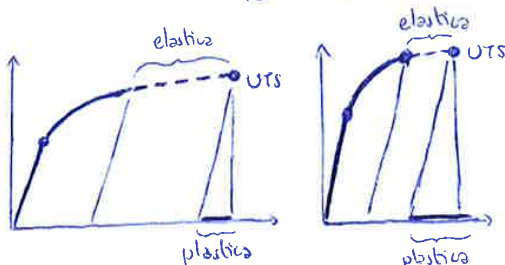
gli acciai strutturali fino a $Y_s = 460$ MPa non necessitano di leganti (a meno di quelli utilizzati per ottenere una struttura fine)

S690 Q

oltre $Y_s = 460$ occorrono microleganti (Ni, Cr, Mo, V, Cu, ...) per garantire temprabilità



gli acciai convenzionali hanno minor resistenza ma maggiore riserva plastica

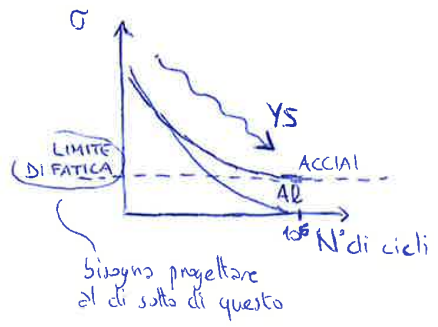


negli HPS quando la struttura si incrudisce per l'effetto sismico si consuma molta riserva plastica e rimane poca riserva elastica per una sollecitazione successiva

Resistenza a fatica

per aumentare la resistenza a fatica occorre
aumentare σ_S

↓
 la cricca è bloccata da un acciaio con
struttura più fine
 perché la cricca è costretta a deviare direzione
 nella matrice per aggirare i grani



↓
un acciaio martensitico con grano grossolano non resiste a fatica!!

mostrano σ_k alto e duttilità elevata
 rispetto ai convenzionali (HSLA)
 che hanno σ_k alto ma minore
 riserva plastica

ACCIAI STRUTTURALI
 N, TMCP, QT

domanda esame!!!
 (tabella)

N

spessore	C	S, P	Nb, V, Al	Ni, Cu, Cr, Mo	Ceq	σ_S RESISTENZA	K TENACITA' RESILLENZA
(poco vincolato) sullo spessore	<u>aumenta durezza e resistenza</u>	<u>minimizzati per poter garantire purezza e resilienza</u>	<u>aumentano resistenza e resilienza</u>	<u>aumentano resistenza, resilienza, temprabilità</u>	<u>ridotto per garantire saldabilità</u>	garantito da elevate %C, %Cu	garantito da basse %S, %P, %C e da aggiunte di (Ni) (va in soluzione solida)
20	0,13 ÷ 0,22						
30	%C _{min} = 0,13	molto bassi	presenti	presenti	Ceq < 0,45	490 MPa	> 110 J @ T = -20 °C

TMCP

spessore	C	S, P	Nb, V, Al	Ni, Cu, Cr, Mo	Ceq	σ_S RESISTENZA	K TENACITA' RESILLENZA
(più vincolato) sullo spessore	<u>diminuito, ma la resistenza è garantita da elementi leganti e dal controllo del processo</u>			<u>temprabilità: conferiscono struttura dura e resistente (bainite + martensite)</u>		<u>avendo ridotto al minimo C, è garantito da (Cu) (Ni), (Cr)</u>	garantito da basse %S, %P e bassissime %C e da (Ni)
32						(C _{max} = 0,60%)	
30	%C _{min} = 0,04	molto bassi	assenti	presenti	Ceq < 0,45	460 MPa	220 J @ T = -40 °C

chiuso rispetto a N

QT

spessore	C	S, P	Nb, V, Al	Ni, Cu, Cr, Mo	Ceq	σ_S RESISTENZA	K TENACITA' RESILLENZA
(più versatile) rispetto a N e TMCP				<u>temprabilità garantita da alti valori di (Ni) = 1,5% e piccole di (B)</u>			<u>molto inferiore rispetto a N e TMCP</u>
6							
140	%C _{min} = 0,10	molto bassi	in piccole quantità			480 MPa	> 50 J @ T = -40 °C

Forme di Corrosione

1 CORROSIONE GENERALIZZATA

la reazione elettrochimica si innesca sulla superficie metallica e si diffonde in modo uniforme/non uniforme su tutta la superficie, (staccando la vernice da sotto)

per scongiurarla bisogna agire su uno dei 3 fattori, ma in pratica non si agisce mai sul ~~catodo~~

si blocca il meccanismo elettrolitico

si cambia l'anodo

inibitori

bloccano gli ioni H che innescerebbero la reazione

rivestimento protettivo

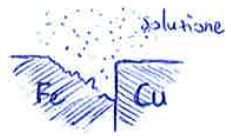
introducendo un isolante si interrompe la continuità elettrica del circuito di carica

protezione catodica:

cambiando l'anodo, si fa avvenire la corrosione su questo elemento più debole (ad. es. Zn) preservando l'acciaio (Fe)

2 CORROSIONE GALVANICA

la D.D.P. tra due metalli a contatto innesca il circuito dove l'anodo (es. Fe) si consuma mentre il catodo (es. Cu), più nobile, resta intatto



la soluzione è fatta a priori, perché è fondamentale progettare la superficie.

cioè progettare una grande superficie dell'anodo rispetto al catodo:

$$\text{FATTORE D'AREA} = \frac{\text{AREA CATORICA}}{\text{AREA ANODICA}}$$

quando l'area catodica è ampia e l'area anodica piccola, il rapporto è sfavorevole perché l'anodo si consuma e aumenta la velocità di corrosione

occorre progettare con fattore d'area molto basso

per esempio, per una giunzione chiodata acciaio-rame in acqua di mare

CASO A: lastra di rame e chiodi di acciaio (catodo) (anodo)

FATTORE D'AREA ALTO

CASO B: lastra di acciaio e chiodi di rame (anodo) (catodo)

FATTORE D'AREA BASSO

preferibile, perché è meglio che saltino i chiodi piuttosto che la piastra

la soluzione è una sostituzione periodica dei chiodi oppure la saldatura

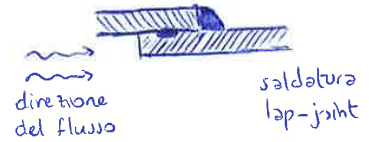
5 CORROSIONE INTERSTIZIALE

è anche questo un attacco corrosivo localizzato dovuto
 a soluzioni stagnanti di acqua

↓
 si cercano soluzioni tecniche, ad es:

- fornire una pendenza al profilo, per il deflusso
- preferire le saldature anziché rivettature/bullonature
- utilizzare guarnizioni idrorepellenti, per interrompere il circuito elettrolitico

si concentrano sotto guarnizioni, chiodi, bulloni, fessure e porosità



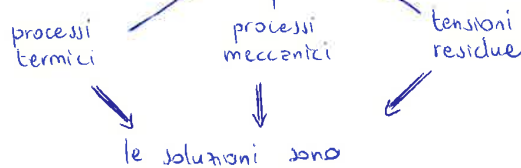
occorre valutare la direzione ed evitare di lasciare interstizi



6 CORROSIONE SOTTO SFORZO

è provocata dall'effetto combinato di corrosione, dovuta ad agenti chimici e cricche, che viene accelerata dallo

sforzo di trazione



(N) in questo caso è sfavorevole perché funge da catalizzatore

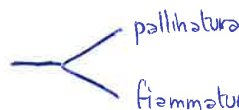
nel caso di un acciaio soggetto sia a pitting che a corrosione sotto sforzo, si evita N e si utilizzano altri elementi (Mo, Cr, ...)

gli acciai ferritici che presentano N sono soggetti a infragilimento, come quello dovuto a H

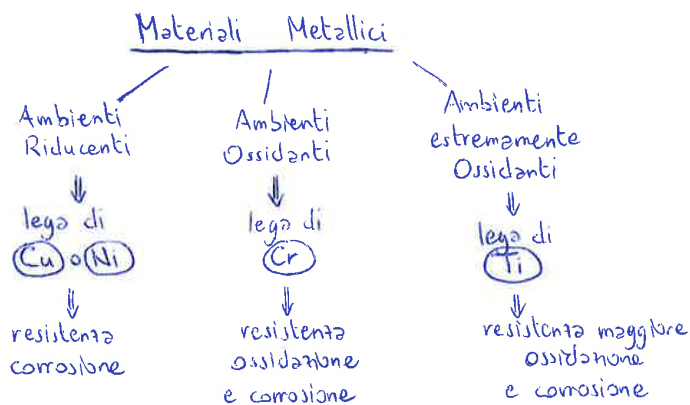
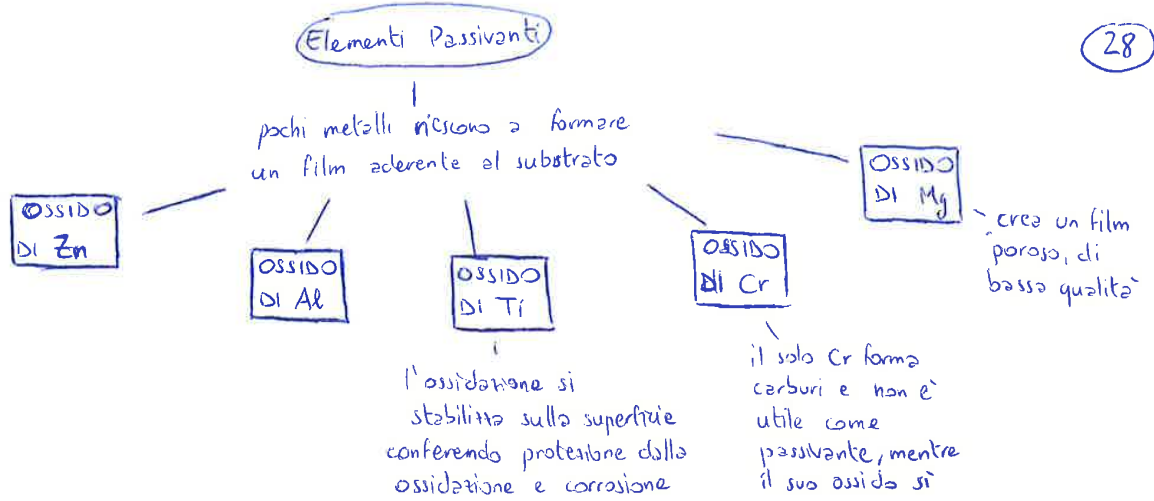


ha morfologia ramificata e coinvolge tutta la superficie

- distensione tramite riscaldamento a ~200°C
- ridistribuzione forze (se possibile), riducendo la forza sulla specifica componente
- eliminazione/riduzione agenti aggressivi
- utilizzo di metalli meno suscettibili alla corrosione (Ti)
- protezione catodica: la corrosione esiste ma è deviato su un altro elemento, detto anodo sacrificale (es. Zn)
- aggiunta di inibitori
- trasformare lo stato superficiale da trazione → compressione



(da fiamma ossidrica, C è iniettato in profondità, e una volta raffreddato, genera compressione)



Materiale non Metallici

utilizzati più che altro come rivestimenti o guarnizioni

Sistemi di Protezione

occorre una buona progettazione:

In ambiente secco (ASSENZA DI ELETTROLITA) nei locali interni non è necessario alcun sistema di protezione dalla corrosione (manca il vapor d'acqua da Condensa)

- preferire le saldature alle bullonature
- evitare saldature lap-joint
- sigillare le superfici a contatto con bulloni
- prevedere fori di drenaggio (NON SUI PROFILI!!!)
- sigillare sezioni scatolette
- prevedere una circolazione naturale dell'aria:

l'assenza di O₂ favorisce la corrosione in presenza di H₂O stagnante perché aumenta la concentrazione di ioni H⁺

ACCIAI WEATHERING

sono acciai baselegati per ambiente esterno che offrono maggiore resistenza alla corrosione e saldabilità

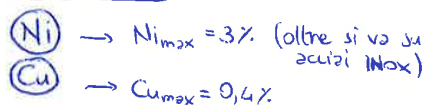
EN 10155

430W

aggiunta di V, Cr per formare carburi e dare resistenza maggiore

570W

garantita dalla formazione di uno strato passivante dovuto a



che mantiene una penetrazione bassa

la saldabilità è sfavorita da elementi temprabili (in ordine B, Mo, V, Mn, ...) che fanno aumentare Ceq ≡ Pcm