

ghise

# ghise

- Le ghise sono leghe Fe-C con tenore di carbonio tale da rendere satura l'austenite alla temperatura eutettica
- % C pratica 2.5-4.5%
- Contengono in genere anche silicio

# Caratteristiche principali delle ghise

- Costo relativamente basso
- Facile colabilità
- Resistenza alla corrosione
- fragili
- Non possono essere lavorate plasticamente né a caldo né a freddo

# Classificazione delle ghise: è fatta in funzione della loro microstruttura

- Ghise bianche
- Ghisa grigia
- Ghisa conchigliata o temprata
- Ghisa malleabile
- Ghisa nodulare o sferoidale
- Ghisa legata

# Solidificazione delle ghise

- 1) formazione delle dendriti di austenite (ghise ipoeutettiche) oppure di cementite primaria nel caso di ghise ipereutettiche.
- 2) solidificazione eutettica:
- Austenite + cementite (ledeburite): ghise bianche
- Austenite + carbonio: ghise grigie o sferoidali

# Formazione di grafite:

- Presenza di elementi grafitizzanti (silicio)
- Bassa velocità di raffreddamento

- 3) fine solidificazione: si è ottenuta una struttura costituita da austenite + ledeburite (ghise bianche) oppure austenite + grafite (ghise grigie e sferoidali)
- Tra 3) e 4) l'austenite diventa sempre più sovrassatura di carbonio. L'eccesso di C precipita come cementite (secondaria) nelle ghise bianche o come grafite (ghise grigie o sferoidali). L'austenite tende a portare il suo tenore di C tra lo 0.6 e lo 0.8%

# Trasformazione finale tra 4) e 5)

- Ghise bianche: solo perlite
- Ghise grigie e sferoidali con condizioni grafitizzanti molto favorevoli: solo ferrite
- Ghise grigie e sferoidali con condizioni intermedie: ferrite + perlite, in condizioni limite solo perlite
- Oltre 5) il raffreddamento non porta a trasformazioni significative



# Ghise bianche

- Le più diffuse sono ipoeutttiche, costituite da dendriti di austenite trasformata in cementite.
- Sono dure, resistenti all'usura
- Molto fragili
- Molto difficili da lavorare alle macchine utensili

# Caratteristiche meccaniche delle ghise grigie: dipendono dal tenore di C

- 2.5% C: 373 HB
- 3.5% C: 600 HB
- $R = 140 - 490 \text{MPa}$
- Resistenza a compressione: 1400 – 1750 MPa
- $E = 168 - 196 \text{ GPa}$

# Ghise grigie

- Sono le più ampiamente diffuse
- Contengo grafite sotto forma di lamelle
- Forma e distribuzione della grafite dipendono da:
- Composizione chimica
- Velocità di solidificazione e di raffreddamento

# Effetto della composizione chimica

- Carbonio: può essere presente dal 2.5 al 4.5%
  - È dato dalla somma di quello combinato e quello allo stato grafítico
  - $\% C_t = \% C_c + \% C_g$
  - È necessario un valore minimo del 2.2% perché si produca un'adeguata grafitizzazione
- Silicio: può essere presente dall'1 al 3.5%
- È l'elemento grafitizzante per eccellenza.

- La composizione dell'eutettico cambia al crescere del tenore di silicio
- Si definisce un carbonio equivalente:
- $CE = \%C + \%Si/3$ 
  - $CE = 4.3$  ghisa eutettica
  - $CE < 4.3$  ghisa ipoeutettica
  - $CE > 4.3$  ghisa ipereutettica
- Diagramma di Maurer: permette di correlare il contenuto di carbonio e silicio con la microstruttura.
- Il silicio si discioglie nella ferrite rendendola più dura e resistente

# Zolfo

- max 0.25%, in genere tra 0.06 e 0.12%
- favorisce la stabilità della cementite e della struttura perlitica
- Forma FeS, composto interdendritico con bassoc punto di fusione, responsabile della ridotta resistenza a caldo.

# Manganese

- Stabilizza la cementite in modo meno efficace dello zolfo
- Forma con lo zolfo inclusioni di MnS
- È importante un buon bilanciamento Mn/S
- $\% \text{Mn} < 1.7\% \text{S} + 0.15$  favorita la matrice ferritica
- $\% \text{Mn} > 3\% \text{S} + 0.35$  favorita la matrice perlitica



# Fosforo

- Tra 0.1 e 0.9%
- Abbassa la temperatura di solidificazione
- Migliora la fluidità
- Favorisce la grafitizzazione primaria
- Di solito si aggiunge al silicio per il calcolo del carbonio equivalente

$$\%CE = \%C + \%(\text{Si} + \text{P})/3$$

- Forma con il ferro  $\text{Fe}_3\text{P}$  fragile, per tenori di P sopra lo 0.3% si ha una riduzione della duttilità

Velocità di raffreddamento



## Influenza della velocità di raffreddamento

- bassa velocità di nucleazione:  
formazione di grosse lamelle di grafite distribuite a caso
- Alta velocità di nucleazione:  
formazione di lamelle di piccole dimensioni
- Ghisa temprata o bianca

# Forma distribuzione e dimensione della grafite

- Forma e distribuzione: è regolata dalla Norma UNI 3775
- A: maggiore resistenza e tenacità
- B: (zona trotata) miscuglio di ghissa bianca e grigia, tipica delle zone intermedie delle ghise conchigliate o temperate. Si forma alla massima velocità di raffreddamento che permette ancora la formazione di grafite
- C: ghise ipereutettoidica
- D ed E: si formano in condizioni di elevata velocità di raffreddamento, sono molto fragili e vanno evitate a favore della struttura A

# La distribuzione della grafite è legata principalmente a:

- Velocità di raffreddamento
- Presenza di elementi che ostacolano la crescita dell'austenite (S e O)
- Presenza di elementi che favoriscono la nucleazione della grafite (inoculazione)
- Inoculanti: calcio, alluminio, bario introdotti prima della colata che fungono da nuclei eterogenei per la formazione della grafite

# Proprietà meccaniche

- Il carico di rottura aumenta al crescere del carbonio equivalente (max 300MPa)
- Con aggiunta di elementi leganti è possibile ottenere valori maggiori
- Il carico di rottura massimo è ottenuto con una matrice perlitica ottenuta attraverso il bilancio della percentuale di Mn/S
- Il rapporto durezza/carico di rottura dipende dalla dimensione delle lamelle di grafite: a parità di durezza il carico di rottura è massimo per le lamelle di tipo A e minimo per quelle di tipo D
- Lamelle grosse interrompono la matrice perlitica ed abbassano il carico di rottura, meglio quelle piccole

# Effetto della velocità di raffreddamento sulle proprietà meccaniche

- Elevate velocità di raffreddamento: portano a microstrutture fini (purché non siano troppo rapide da portare a lamelle di tipo D)
- un raffreddamento lento porta all'ingrossamento delle lamelle di grafite ed alla formazione di ferrite
- Le proprietà meccaniche variano molto con lo spessore del getto

# Determinazione della resistenza meccanica di un getto in ghisa

- Si eseguono prove di trazione su provette di piccole dimensioni colate contemporaneamente al getto
- Il diagramma di Collaud permette, conoscendo i valori di durezza della provetta e del getto ed il carico di rottura della provetta di ricavare il carico di rottura del getto

# Modulo di elasticità

- Il modulo di elasticità delle ghise grigie varia a seconda dei tipi
- Si determina come pendenza della retta passante per l'origine del diagramma sforzo/deformazione e per il punto corrispondente al 25% del carico di rottura
- In alternativa come pendenza della tangente in un prefissato di tale diagramma



- Allungamento percentuale:
  - Molto basso (0.3 – 0.4%)
- Strizione percentuale:
  - Troppo bassa per poterla determinare
- Anisotropia di comportamento trazione /compressione (tipica dei materiali fragili)  
Distribuzione
- La resistenza a compressione è molto più alta di quella a trazione ed è una funzione della resistenza al taglio.

# Trattamenti termici

- Ricottura di distensione
- Ricottura
- Normalizzazione
- Tempra

# Ricottura di distensione

- Serve per eliminare le tensioni interne del getto
- Si esegue a temperatura inferiore alla temperatura di trasformazione della perlite in austenite (tra 540 e 565°C oppure 595°C)

# Ricottura

- Si riscalda la ghisa ad una temperatura abbastanza elevata da rendere il getto meno duro e più lavorabile alle macchine utensili
- Si ottiene decomponendo il carburo di ferro in ferrite + grafite
- Si esegue a circa 700 – 760°C
- Per evitare tensioni interne il getto va raffreddato lentamente fino a 300-350°C

# Normalizzazione

- Migliora le proprietà meccaniche (durezza e resistenza a trazione)
- Elimina i trattamenti come la ricottura o il preriscaldamento o postriscaldamento associati ad una saldatura di riparazione
- Si esegue a temperatura tra 885 – 925°C per 1h ogni pollice di spessore massimo e raffreddando in aria calma

# Tempra

- Aumenta la durezza della ghisa e di conseguenza la resistenza a usura e all'abrasione
- Non è impiegata per aumentare il carico di rottura (riduzione del carbonio equivalente o aumento degli elementi di lega meno costoso)
- Conferisce alla ghisa una microstruttura costituita da grafite dispersa in una matrice martensitica
- Si esegue riscaldando la ghisa a T tra 800 e 900°C seguita da un rapido raffreddamento e da un rinvenimento tra 150 e 650°C
- I mezzi di tempra: acqua, olio, sali fusi, aria

# Nomenclatura delle ghise grigie

- Le normative UNI prevedono varie classi di ghise grigie che vanno dall G10 alla G35 dove G indica ghisa grigia e il numero di riferisce al carico di rottura in  $\text{kg/mm}^2$ .

# Vantaggi della ghisa grigia

- Economica
- Facilmente colabile
- Buona resistenza alla scagliatura fino a circa 700°C (in caso di ciclaggi termici deve contenere dallo 0.5 all'1.5% di Cr per evitare l'aumento di dimensioni per ossidazione interna e della grafitizzazione)
- Possiede notevoli capacità di smorzamento delle vibrazioni
- Discreta resistenza alla corrosione atmosferica ed in ambienti poco aggressivi
- Elevata resistenza elettrica



# Impieghi della ghisa grigia

- Casse per pompe, turbine e riduttori
- Anelli per pistoni, camicie per cilindri, alberi a gomito, tamburi dei freni, ingranaggi e carcasse di motori a scoppio
- Parti di forni, caldaie, bruciatori, crogioli
- Basamenti per macchine soggette a vibrazioni
- Tubazioni per acqua dolce
- Griglie a resistenza

# Ghise conchigliate o temprate

- Sono costituite da una superficie esterna di ghisa bianca, una zona intermedia di ghisa trotata e un cuore di ghisa grigia.
- Si sfrutta la durezza superficiale della ghisa bianca e tenacità e resistenza a fatica della ghisa grigia
- Si ottengono colando la ghisa in forme metalliche (conchiglie) per aumentare la velocità di raffreddamento superficiale.
- Lo spessore di ghisa bianca dipende dalla composizione chimica e dallo spessore della conchiglia

# Effetto della composizione chimica/1

- Carbonio: riduce lo spessore di ghisa bianca, ma ne aumenta la durezza
- Manganese: aumenta lo spessore di ghisa bianca (stabilizza i carburi)
- Silicio: diminuisce lo spessore di ghisa bianca (grafitizzante)
- Cromo: favorisce un elevato spessore di strato temprato neutralizzando il silicio. Tra l'1 e il 4% migliora la resistenza all'abrasione; tra il 12 e il 35% la resistenza all'ossidazione a caldo

# Effetto della composizione chimica/2

- Nichel: stabilizza l'austenite, ritarda la transizione austenite → perlite, diminuisce la profondità di tempra, ma affina la struttura migliorando le proprietà meccaniche
- Rame: fino al 4% diminuisce lo spessore della zona temprata, oltre lo aumenta. Diminuisce lo spessore della zona troatata.
- Molibdeno: affina la struttura, la rende più resistente a shock termici e ad usura

# Applicazioni della ghisa conchigliata

- Cilindri di laminatoio
- Ruote per i treni
- Cilindri per l'industria della carta
- Frantumazione dei minerali

# Ghise malleabili

- Sono ghise ottenute per decomposizione della cementite della ghisa bianca in noduli di grafite, attraverso un trattamento di ricottura ed un opportuno bilancio degli elementi di lega
- Tra ghise americane a cuore nero e europee a cuore bianco, cambia la composizione chimica

# Ghise malleabili perlitiche

- Durante l'attraversamento della trasformazione eutettica del trattamento di ricottura per l'ottenimento delle ghise malleabili, si può far separare un po' di carbonio come perlite.
- Si ottengono così ghise maggiormente dure e con maggiore resistenza a rottura, anche se a scapito della duttilità

# Ghise malleabili legate

- Alla ghisa vengono aggiunti elementi di lega per migliorarne alcune proprietà
- Ad esempio un tenore di rame tra lo 0.25 e l'1.25% aumenta la resistenza alla corrosione, mantenendo elevata durezza, carico di rottura e di snervamento e duttilità



# Nomenclatura e proprietà delle ghise malleabili

- Le caratteristiche meccaniche delle ghise malleabili sono superiori a quelle delle ghise grigie.
- Il carico di rottura varia tra 300 e 800 MPa
- L'allungamento totale a rottura può arrivare al 15%
- Si indicano con W (white) B (black) o P (perlitic) seguite da due numeri che indicano rispettivamente il carico di rottura (in  $\text{kg/mm}^2$ ) e l'allungamento (%).
- Sono ormai quasi completamente sostituite dalle ghise sferoidali

# Ghise sferoidali

- Vengono ottenute aggiungendo alla ghisa grigia elementi come il Ce e il Mg che favoriscono la formazione durante la solidificazione di sferoidi di grafite, al posto delle lamelle che si formano nella ghisa grigia.
- In questo modo le conferiscono ottima duttilità, possibilità di lavorazione alle macchine utensili senza alterarne le caratteristiche di colabilità e resistenza all'usura

# Ghise legate

- L'aggiunta di elementi di lega, anche in tenori molto elevati, quali Ni, Cr, Mo, Cu e Si) possono aumentare alcune caratteristiche peculiari delle ghise (es. la resistenza alla corrosione)
- Sono spesso di costo notevole, ma possono essere valide alternative agli acciai maggiormente legati

# Nomenclatura delle ghise sfeoridali

- Vengono indicate con la sigla GS seguita dal carico di rottura (in MPa) e dall'allungamento (%)
- Es. GS 370-17; GS 800-2