

TUTTI I SEGRETI DELLA GHISA SFEROIDALE



DA OLTRE SESSANT'ANNI LA GHISA SFEROIDALE (DETTA ANCHE DUTTILE) SI È IMPOSTA COME VALIDA ALTERNATIVA ALL'UTILIZZO DI ACCIAIO E DELLE ALTRE GHISE, GARANTENDO BUONE PRESTAZIONI A COSTI CONTENUTI E VENENDO UTILIZZATA DOVUNQUE NEL MONDO E IN OGNI CAMPO INGEGNERISTICO: APPROFONDIAMONE LE CARATTERISTICHE

La ghisa sferoidale (o anche duttile) prende il nome dalla forma della grafite, che all'esame micrografico appare appunto sotto forma di sferoidi o noduli, e non di lamelle come per la ghisa grigia. Gli sferoidi, al contrario delle lamelle, esercitano un ostacolo geometrico alla propagazione delle cricche anziché un elemento scatenante, conferendo alla ghisa sferoidale una duttilità sconosciuta alla tipologia lamellare. Inoltre, la forma sferica della grafite precipitata consente di danneggiare il meno possibile il materiale, in quanto a parità di volume è quella contraddistinta dalla minor superficie; effettuando il processo di

produzione della ghisa in maniera corretta, le proprietà del materiale vengono dunque sfruttate al meglio. La formazione dei noduli avviene all'interno di una matrice metallica, di struttura dipendente da svariati fattori, quali velocità di raffreddamento del getto, eventuali trattamenti termici successivi alla produzione, inoculazione ed ovviamente la composizione chimica della ghisa.

Sin dai primi impieghi in ambito industriale, risalenti al 1948, questo tipo di ghisa si è proposto come una valida alternativa all'utilizzo di acciaio e delle altre ghise, garantendo buone prestazioni ad un costo contenuto. Oggi, la ghisa sferoidale è utilizzata dovunque nel mondo e in ogni campo ingegneristico, potendo spesso garantire, rispetto agli altri materiali, vantaggi in termini di prestazioni e di costo di produzione. Una panoramica delle principali caratteristiche della ghisa sferoidale, poste a confronto con quelle proprie di altre tipologie di ghisa e dell'acciaio è mostrata nella tabella di **fig. 1**.

In aggiunta alle qualità tipiche per la ghisa, quali la colabilità e lo smorzamento delle vibrazioni, alcuni punti di forza che hanno garantito la diffusione della ghisa sferoidale sono:

- un ottimo rapporto resistenza/peso;
- una buona lavorabilità alla macchina utensile;
- un costo contenuto;
- una buona resistenza per unità di costo;
- un'ottima combinazione tra proprietà a trazione e allungamento.

1

CARATTERISTICHE	ghisa duttile	ghisa malleabile	ghisa grigia	acciaio (0,3% C)	ghisa bianca
calabilità					
lavorabilità					NA
capacità di smorzamento					
temprabilità superficiale					NA
modulo elastico					NA
resistenza impatto					NA
resistenza corrosione					
resistenza specifica					NA
resistenza a usura					
costo di produzione					

MIGLIORE PEGGIORE

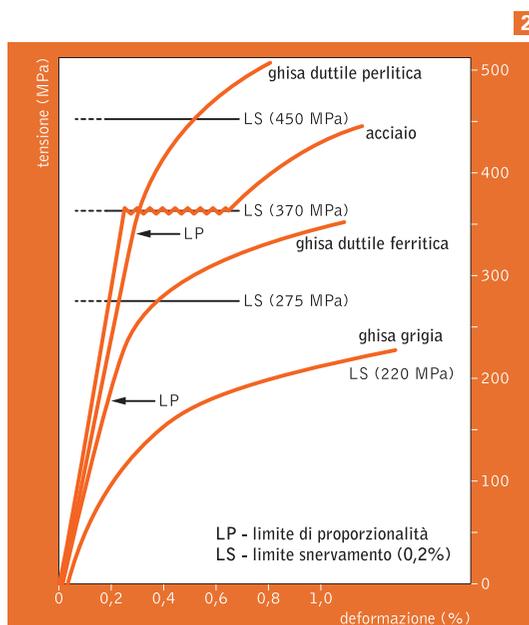


Fig. 1 Caratteristiche principali di ghisa sferoidale (duttile), malleabile, grigia, bianca e acciaio a confronto

Fig. 2 Comportamento meccanico di ghise sferoidali ferritica e perlitica a confronto con acciaio e ghisa grigia

Ma è la versatilità la caratteristica fondamentale che ne favorisce la diffusione. Come anticipato, effettuando un controllo adeguato sulla composizione chimica, sui parametri di colata e sulle modalità di raffreddamento della ghisa, è infatti possibile ottenere diverse combinazioni di resistenza alla trazione, all'usura, di limite di fatica, tenacità, duttilità e così via: si può quindi scegliere, ad esempio, se privilegiare un alto valore di resistenza a trazione (come per la GS-900-2) oppure l'allungamento alla rottura (come ad esempio con la GS-350-22).

Le diverse tipologie

La ghisa sferoidale si classifica principalmente in base alla struttura della matrice. I tre tipi maggiormente diffusi, ottenibili per colata ("as cast"), sono i seguenti:

– ghisa sferoidale ferritica: formata da sferoidi di grafite in una matrice di ferrite. Presenta alta duttilità e tenacità, conducibilità termica relativamente buona, una elevata permeabilità magnetica, basse perdite per isteresi, buone resistenza alla corrosione e lavorabilità alla macchina utensile;

– ghisa sferoidale perlitica: formata da sferoidi di grafite in una matrice di perlite. Rispetto alla tipologia ferritica presenta maggior durezza, perdite per isteresi, resistenza a trazione e all'abrasione, limite di fatica;

al contrario, minor duttilità, tenacità, conducibilità termica e permeabilità magnetica. È caratterizzata anch'essa da buona lavorabilità alla macchina utensile;

– ghisa sferoidale ferritica-perlitica: formata da sferoidi di grafite in una matrice mista ferrite (concentrata in grani contornanti gli elementi di grafite) – perlite. È la tipologia più diffusa e generalmente meno costosa, presenta caratteristiche intermedie rispetto alle tipologie ferritica e perlitica e mantiene la buona lavorabilità alla macchina utensile.

Un grafico tensione-deformazione esemplificativo del comportamento delle tipo-

logie ferritica e perlitica, anche poste a confronto con l'acciaio e la ghisa grigia, è mostrato in **fig. 2**.

Altre particolari tipologie di ghise sferoidali, ottenute generalmente per mezzo di adeguati trattamenti termici, sono le seguenti:

– ghisa sferoidale martensitica: presenta resistenza a trazione molto elevata e un'ottima resistenza all'usura, a scapito di duttilità e tenacità. La durezza è generalmente intorno a 250-300 HB, in dipendenza dai parametri del trattamento termico di tempera utilizzato. Se ottenuta di colata, si presenta dura e fragile, e dunque difficilmente utilizzabile;

Fig. 3 Classificazione della ghisa sferoidale in base alla durezza, secondo la norma UNI EN 1563:2009

Designazione del materiale		Gamma di durezza Brinell	Resistenza a trazione	Carico unitario di scostamento dalla proporzionalità 0,2%
Designazione simbolica	Designazione numerica	HB	R_m N/mm ²	$R_{p0,2}$ N/mm ²
EN-GJS-HB130	EN-JS2010	meno di 160	350	220
EN-GJS-HB150	EN-JS2020	da 130 a 175	400	250
EN-GJS-HB155	EN-JS2030	da 135 a 180	400	250
EN-GJS-HB185	EN-JS2040	da 160 a 210	450	310
EN-GJS-HB200	EN-JS2050	da 170 a 230	500	320
EN-GJS-HB230	EN-JS2060	da 190 a 270	600	370
EN-GJS-HB265	EN-JS2070	da 225 a 305	700	420
EN-GJS-HB300	EN-JS2080	da 245 a 335	800	480
EN-GJS-HB330	EN-JS2090	da 270 a 360	900	600

- ghisa sferoidale bainitica: può essere ottenuta mediante trattamenti termici o con aggiunta di opportuni elementi di lega, per produrre getti con durezza e resistenza all'abrasione elevate;
- ghisa sferoidale austenitica: presenta buona resistenza a trazione, in aggiunta ad eccezionali resistenza alla corrosione e all'ossidazione, e proprietà magnetiche. A elevata temperatura mantiene le proprie caratteristiche meccaniche, oltre alla stabilità dimensionale;
- Austempered Ductile Iron (ADI, ghisa sferoidale ottenuta con "tempra bainitica"): è la tipologia introdotta più di recente, presenta un'ottima combinazione di resistenza a trazione, tenacità e resistenza all'abrasione. In particolare, è possibile ottenere resistenze a trazione anche doppie rispetto alle tipologie tradizionali di ghisa sferoidale a parità di allungamento – arrivando addirittura oltre i 1600 MPa – e mantenendo una buona tenacità. Il limite di fatica elevato, in aggiunta a quanto sopra enunciato, consente al progettista di poter scegliere questo tipo di materiale in luogo dell'acciaio riducendo costo e peso dei componenti, senza rinunciare alle proprietà meccaniche desiderate. La composizione chimica e i trattamenti termici necessari per ottenere questa tipologia di ghisa devono comunque essere controllati con grande attenzione.

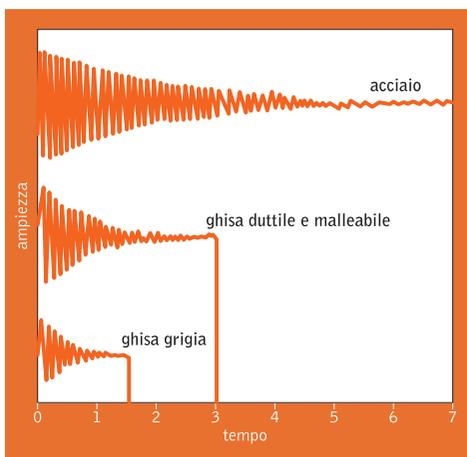


Fig. 4 Le differenti proprietà di smorzamento delle vibrazioni di ghisa grigia, sferoidale e acciaio.

Oltre a quelle descritte, è possibile ottenere ghise sferoidali "speciali", fortemente legate e utili per massimizzare ben determinate proprietà del materiale, quali, ad esempio: resistenza all'ossidazione ad elevata temperatura, resistenza a cicli termici, all'usura, alla corrosione, alta tenacità a bassa temperatura, per conferire specifiche proprietà magnetiche e così via.

Proprietà meccaniche

La composizione di una ghisa sferoidale si discosta in diversi elementi da quella di una ghisa grigia. Un attento controllo della composizione è dunque necessario perché possano essere soddisfatti precisi requisiti strutturali quali: assenza di carburi;

corretta forma e distribuzione della grafite; struttura della matrice desiderata. La classificazione della ghisa sferoidale, come anche i valori caratteristici di ciascuna tipologia, sono regolati dalla normativa europea UNI EN 1563:2009. La norma impone per la ghisa sferoidale la sigla EN-GJS seguita da due numeri indicativi rispettivamente della resistenza minima a trazione (R_m) in MPa e dell'allungamento minimo percentuale (A%). A titolo di esempio, in **fig. 3** si riportano i valori di durezza, resistenza a trazione, carico unitario di scostamento dalla proporzionalità (gli ultimi due a titolo indicativo), specificati a normativa per le tipologie di ghisa sferoidale, classificate però in base alla durezza. È evidente la grande variabilità di questi valori che permette alla ghisa sferoidale di rappresentare una valida soluzione in molte applicazioni.

Tra le altre proprietà una caratteristica interessante della ghisa è rappresentata dalla sua densità che risulta inferiore del 10% rispetto a quella dell'acciaio e permette di ottenere un sensibile calo del peso e dunque del costo dei componenti. Una menzione a parte meritano le caratteristiche di smorzamento delle vibrazioni della ghisa sferoidale, inferiori a quelle della ghisa grigia ma decisamente superiori a quelle dell'acciaio, come appare evidente dal grafico esemplificativo in **fig. 4**.

Velocità di raffreddamento

Nel raffreddamento si considera generalmente opportuno lasciare riposare i getti in staffa finché la temperatura della zona più calda non scenda al di sotto dei 315 °C.

È chiaro, tuttavia, come siano le dinamiche di raffreddamento ad influenzare localmente la microstruttura della ghisa e, di conseguenza le caratteristiche finali del getto. Sulle velocità locali di raffreddamento influiscono sia la geometria del pezzo (ad esempio, per spessori di parete di pochi millimetri si verificano raffreddamenti rapidi e possono generarsi problemi di eccessiva durezza e fragilità), che le condizioni ambientali (ad esempio, raf-

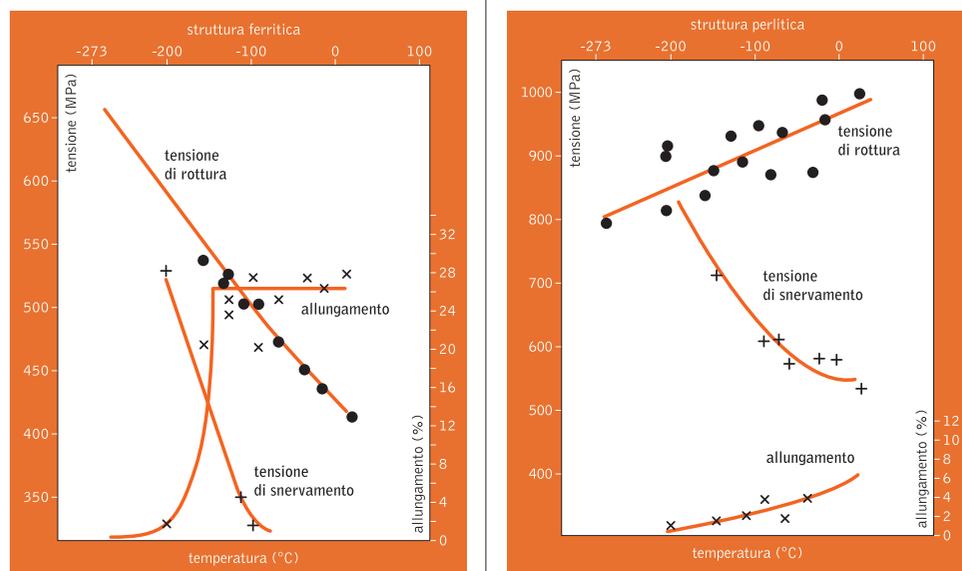


Fig. 5 Andamento delle proprietà meccaniche a bassa temperatura di una ghisa sferoidale ferritica (a) e perlitica (b).

freddando in staffa la velocità sarà minore che distaffando a temperatura elevata). Alla velocità di raffreddamento va dedicata particolare attenzione, dipendendo in buona parte da essa le caratteristiche finali del getto – a parità di analisi chimica. In particolare:

- raffreddamenti troppo rapidi possono dare vita a tensioni residue, favorire la presenza di cementite e generare zone temprate, caratterizzate da durezza elevata e fragilità, e quindi di difficile lavorabilità;
- raffreddamenti troppo lenti possono portare alla formazione di sferoidi di grandi dimensioni e di forma irregolare influenzando in modo negativo le proprietà meccaniche del getto.

È possibile porre rimedio ai difetti causati da velocità di raffreddamento non adeguate per mezzo di trattamenti termici, che vanno comunque a costituire un costo aggiuntivo e un incremento nel lead time di produzione.

Geometria del getto

Per quanto riguarda la forma del getto, è importante aggiungere che, in fase preliminare, è fondamentale prevedere una collaborazione di co-engineering tra progettisti e fonderia per l'ottimizzazione di particolari aspetti che portino a raggiungere i risultati voluti (es. determinate caratteristiche meccaniche) minimizzando il consumo di materiale e, più in generale, i costi di produzione e lavorazione.

Temperatura di esercizio

La temperatura di esercizio condiziona le proprietà della ghisa sferoidale. Per utilizzi a bassa temperatura si predilige una matrice ferritica, in quanto le proprietà di allungamento vengono mantenute costanti fino a temperature molto basse, corrispondentemente a incrementi della resistenza a snervamento e a trazione (e in aggiunta alle buone proprietà di resistenza all'impatto). Al contrario, ghise con matrice perlitica vedono diminuire allungamento e resistenza a trazione (oltre a non presentare valori di resilienza elevati, nemmeno a tempe-

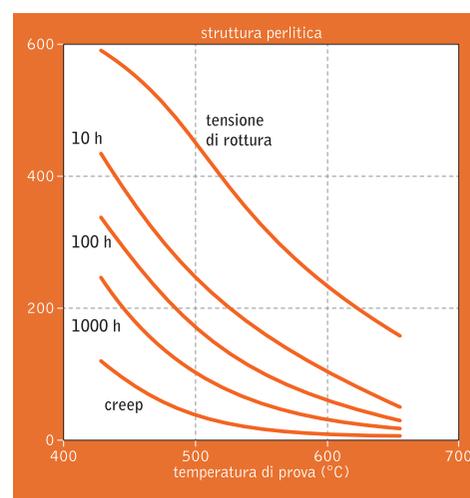
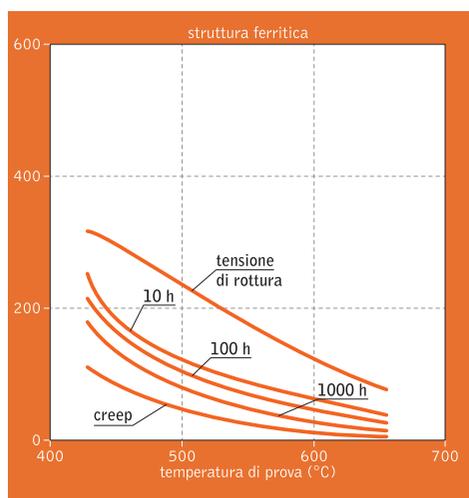


Fig. 6 La resistenza a trazione ad alta temperatura per una ghisa ferritica (a) e perlitica (b) trattate termicamente.

ratura ambiente), a fronte dell'incremento della tensione di scostamento dalla proporzionalità. Tali effetti sono mostrati nei grafici di **fig. 5**, rispettivamente per ghise ferritiche (a) e perlitiche (b). Aumentando invece la temperatura di esercizio rispetto alla temperatura ambiente e considerando una ghisa ferritica ricotta ed una perlitica normalizzata, la diminuzione della resistenza meccanica, fino a temperature di circa 425 °C, è piuttosto contenuta – pari a circa un terzo della resistenza a temperatura ambiente – per poi accentuarsi con aumenti ulteriori. Una matrice perlitica assicura comunque maggior resistenza, sia poiché risente in maniera minore dell'aumento di temperatura, sia per via della maggior resistenza a temperatura ambiente.

Gli effetti di un'elevata temperatura di esercizio sulla resistenza a trazione rispettivamente per una ghisa sferoidale ferritica (a) e perlitica (b) sono mostrati nei grafici di **fig. 6**. Vengono altresì mostrate, per ogni tipologia, le curve indicative della tensione necessaria a produrre frattura dopo un tempo di 10, 100 e 1000 h, e di quella che provoca una velocità di scorrimento viscoso minima dello 0,0001%/h; tutti i grafici sopraccitati presentano un andamento decrescente all'aumentare della temperatura, per entrambe le tipologie, ed in corrispondenza di temperature poco oltre i 425 °C e di tempi contenuti, la ghisa perlitica presenta caratteristiche ovviamente miglio-

ri, eccetto che per lo scorrimento (praticamente identico nei due casi). La ghisa sferoidale presenta inoltre una buona resistenza all'ossidazione, che può essere incrementata tramite l'utilizzo di adeguati elementi di lega, ed una discreta stabilità dimensionale e di peso, superiori a quelle della ghisa lamellare: una matrice ferritica risulta stabile fino a 730 °C circa, mentre una matrice perlitica è soggetta a variazioni sensibili sopra i 540 °C, per via della grafitizzazione della cementite contenuta nella perlite.

Ulteriori osservazioni

Si è visto come le caratteristiche della ghisa sferoidale, e la stessa riuscita della precipitazione della grafite in forma di sferoidi, dipendano da una miriade di fattori, ciascuno da tenere sotto controllo.

Per ottenere una ghisa che presenti le caratteristiche volute, si dovrà ad esempio prestare attenzione alla composizione dei materiali di carica, alle temperature di fusione e colata, all'inoculazione, al trattamento con lega di magnesio, ai tempi di colata, alla buona qualità della terra nella staffa e delle eventuali anime da utilizzare, al tempo di raffreddamento e ad eventuali trattamenti termici; si dovrà inoltre effettuare adeguata progettazione dei canali ed attacchi di colata, e prevedere l'utilizzo di filtri, maniche e raffreddatori opportuni per il getto in produzione. ■