

EFFETTI DEGLI ELEMENTI CHIMICI NELLE GHISE

OGNI SINGOLO ELEMENTO CHIMICO CONFERISCE ALLA GHISA UNA PARTICOLARE PROPRIETÀ. ANCHE UNA PICCOLA VARIAZIONE DELLA COMPOSIZIONE POTREBBE CAMBIARE LE CARATTERISTICHE DEL PRODOTTO FINALE.



La composizione chimica di una ghisa duttile deve essere valutata con scrupolo. Non basta garantire bassi valori di zolfo e aumentare la concentrazione di magnesio; si dovrà prestare attenzione altresì ai tenori di carbonio, silicio, carbonio equivalente, perlitizzanti/ferritizzanti e altri elementi eventualmente presenti nella ghisa. Trascurare questi aspetti può portare alla produzione di una ghisa non in linea con le caratteristiche richieste, che sia per l'errata composizione della microstruttura o per la presenza di difetti.

Carbonio [C]

La percentuale di carbonio nella ghisa sferoidale è di norma compresa tra il 3 e il 4% e influisce in maniera considerevole sulla struttura finale della ghisa e, ovviamente, sulle sue proprietà. Il grafico di fig. 1 mostra, per esempio, come, in corrispondenza di elevati tenori di carbonio, diminuisca la resilienza misurata tramite prova con pendolo di Charpy. Il contenuto di carbonio può variare in dipendenza dalle caratteristiche finali del getto in produzione. A parità di silicio, incrementando il carbonio aumenta la formazione di grafite. Considerazioni microstrutturali sulla fluidità della ghisa e sulla tendenza alla generazione di difetti di ritiro, impongono di norma un tenore di carbonio superiore al 3,2%.

Silicio [Si]

La percentuale di silicio è generalmente compresa tra il 2 e il 3%, variabile in base alla sezione del getto e alle caratteristiche volute. Tale elemento ha azione ferritizzante e grafitizzante, ostacola la formazione di carburi e la tendenza all'ossidazione, incrementa la resistività elettrica, eleva resistenza a trazione e a snervamento in ghise ferritiche. Di contro, aumenta la temperatura di transizione fragile/duttile, portando a un comportamento fragile soprattutto a basse temperature, e il suo tenore non dovrà quindi risultare troppo elevato. Tale effetto è mostrato, per una ghisa ferritica, nella fig. 2.

Carbonio equivalente

Eccessi di carbonio o di silicio possono portare alla comparsa della «chunky graphite» nei getti di grandi dimensioni, causando un drastico calo di resistenza a snervamento, a trazione, durezza, allungamento e tenacità nelle aree interessate (fig. 3). Per getti con spessori particolarmente ridotti, pari o inferiori ai 3 mm, sono consigliate concentrazioni di carbonio e silicio rispettivamente negli intervalli 3,6-3,8% e 2,4-2,6%, in aggiunta a bassi tenori di elementi carburigeni e adeguate inoculazione e filtrazione del metallo. Dato che carbonio e silicio (e fosforo) agiscono sulla microstruttura della ghisa in modo combinato, si è soliti ricorrere a un parametro di comodo quale il «carbonio equivalente», calcolato nel modo seguente: $CE = \%C + 1/3 * (\%Si + \%P)$, dove la percentuale di fosforo viene spes-

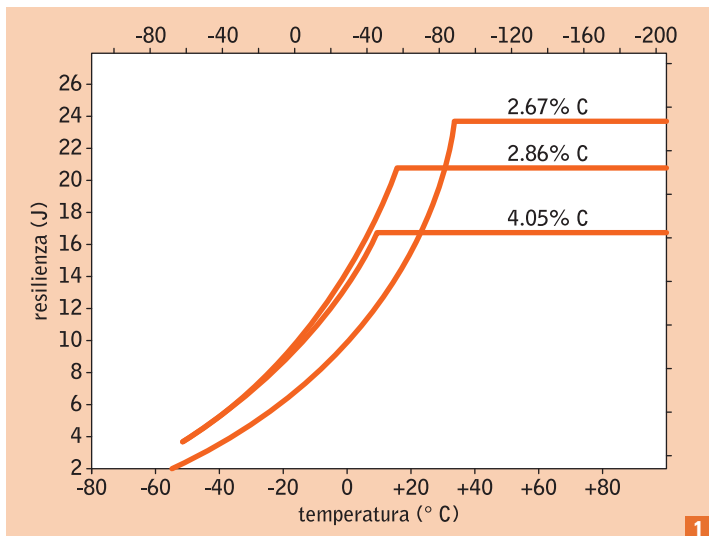


Fig. 1 - Andamento della resilienza (misurata tramite prova con pendolo di Charpy) al variare del tenore di carbonio

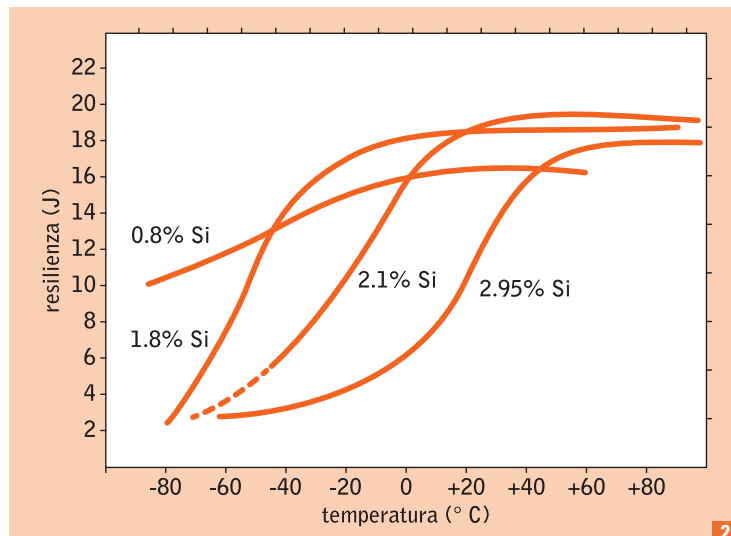


Fig. 2 - Variazione del comportamento fragile (soprattutto a basse temperature) al modificarsi del tenore di silicio

so trascurata in quanto molto contenuta. Per assicurarsi la buona qualità della ghisa sferoidale, questo parametro deve restare compreso tra il 4 e il 5%. Un carbonio equivalente più elevato può promuovere l'effetto del galleggiamento della grafite, specie nel caso di sezioni di grandi dimensioni.

Le concentrazioni di norma consigliate di carbonio, silicio e carbonio equivalente per differenti esigenze strutturali e per diversi spessori di parete. È fondamentale controllare frequentemente i tenori di carbonio, silicio e carbonio equivalente nella ghisa; solitamente si procede tramite prelievamento di campioni da forno o siviera, sui quali poi effettuare una analisi termica.

Zolfo [S]

È un elemento sempre presente, in varie quantità, soprattutto in ghise prodotte con forno cubilotto, le quali devono essere dunque regolarmente sottoposte al trattamento di desolfurazione. È un agente perlitizzante, favorisce la formazione di lamelle di grafite, aumenta la produzione di scoria ed effettua azione carburigena. Come scritto in precedenza, la percentuale di zolfo preliminarmente al trattamento con lega di magnesio deve essere minore dello 0,018%, per evitarne una sua reazione col magnesio e i conseguenti difetti di sferoidizzazione.

Manganese [Mn]

È un elemento perlitizzante con azione carburigena – aumenta la durezza e la resistenza a trazione e diminuisce la resistenza agli urti e la lavorabilità alla macchina utensile –, promuove la formazione di cementite stabile e tende a concentrarsi in segregazioni tra i grani. Opera un effetto di contrasto nei confronti dello zolfo, con il quale tende a combinarsi. Il suo tenore va mantenuto il più basso possibile, di norma inferiore allo 0,4% – 0,2% per le ghise sferoidali ferritiche.

Può generare inoltre problemi nei trattamenti di ricottura atti a ottenere una struttura completamente ferritica.

Magnesio [Mg]

Essenziale per ottenere la precipitazione della grafite in forma di sferoidi, il suo tenore residuo deve essere maggiore dello 0,03%, solitamente compreso tra lo 0,04 e lo 0,05%. Concentrazioni troppo alte possono causare formazione di carburi, problemi di nucleazione e sferoidizzazione, difetti di ritiro, fragilità e peggiorare la lavorabilità.

Fosforo [P]

Aumenta la colabilità, la durezza e la resistenza all'usura, ma rende la ghisa particolarmente fragile. A meno di applicazioni particolari, si cerca dunque di mantenerne il tenore più basso possibile, e comunque al di sotto dello 0,1%. In corrispondenza di concentrazioni maggiori di quest'ultima, infatti, promuove la segregazione della steadite, dannosa per le proprietà meccaniche del getto. Per ottenere buoni valori di resilienza a bassa temperatura, è necessario che la percentuale sia inferiore allo 0,03%.

Molibdeno [Mo]

Elemento di lega che presenta una forte tendenza alla segregazione tra i grani, concentrandosi dunque nelle zone in cui il metallo liquido si raffredda e solidifica più lentamente. È un perlitizzante con azione carburigena, aumenta considerevolmente la durezza e attenua la tendenza all'ossidazione. Quando viene stabilito di aumentarne il tenore nella ghisa, è solitamente abbinato ad aggiunte di rame o nichel, pur in minor quantità rispetto a essi per via degli effetti sopraccitati. Affina la grafite.

Titanio [Ti]

Elemento ferritizzante e tendente alla segregazione, può dare luogo alla formazione di carburi; favorisce l'insorgere del difetto della «spiky graphite» e in deter-

minati quantitativi – difficili da stabilire con precisione – porta alla generazione di ghisa compatta o vermicolare.

Antimonio [Sb]

Forte perlitizzante per sezioni di grande dimensione, con azione carburigena. Reagisce con il magnesio, riducendone la quantità utile per la sferoidizzazione e favorendo la formazione di grafite lamellare o «spiky»; tale effetto può essere minimizzato tramite piccole aggiunte di cerio. In getti con sezione di grandi dimensioni, può essere utilizzato per limitare l'insorgere della «chunk graphite»; per esempio, in un getto di ghisa ferritica caratterizzato da uno spessore maggiore di 50 mm, una aggiunta dello 0,05% – in presenza di bassi tenori di cerio – sarà sufficiente per eliminare del tutto tale difetto. Inoltre, in piccole quantità e in combinazione con terre rare, incrementa nodularità e numero di sferoidi per millimetro quadrato.

Cerio [Ce]

Presente nella maggior parte delle leghe Fe-Si-Mg, favorisce la formazione di carburi. Un eccessivo tenore di cerio è la causa più probabile della comparsa di grafite «chunk», in sezioni di grandi dimensioni. Aiuta la buona riuscita del trattamento con lega di magnesio, favorendo la sferoidizzazione. Attenua o neutralizza le conseguenze dannose della presenza di antimonio, arsenico, bismuto, cadmio, piombo, tellurio e zinco: generalmente un tenore dello 0,01% sarà sufficiente per evitare problemi.

Azoto [N]

Perlitizzante con azione carburigena, se presente in quantità eccessive può provocare porosità superficiali.

Bismuto [Bi]

Elemento perlitizzante e carburigeno, è aggiunto in piccole quantità per aumentare il numero di sferoidi. Favorisce la formazione di grafite lamellare o «spiky»; tale effetto è contrastato dalla presenza di cerio.

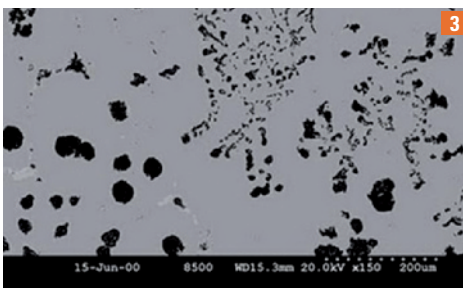


Fig. 3 - Comparsa della «chunky graphite», tra le cui cause vi è eccesso di carbonio e silicio

Cromo [Cr]

Moderato perlitizzante con forte azione carburigena e tendenza alla segregazione; affina la grafite e aumenta il tempo necessario per effettuare il trattamento di ricottura.

Nichel [Ni]

Elemento di lega perlitizzante con azione grafitizzante; favorisce dunque la precipitazione della grafite. Una concentrazione eccessiva può essere la causa della comparsa della «chunk graphite». Affina la grafite e incrementa la tenacità, la resistività elettrica e la durezza della matrice. Aumenta, come detto, la formazione di perlite, tuttavia non la stabilizza; eventuali trattamenti termici funzionali a un incremento del contenuto di ferrite risulteranno dunque più agevoli. Può essere utilizzato in ghise ferritiche a basso livello di silicio per aumentare la resistenza a snervamento: per esempio, un tenore in lega dello 0,08% può incrementarla di 40 MPa, senza significative variazioni di allungamento e temperatura di transizione fragile/duttile.

Rame [Cu]

Elemento di lega con azione grafitizzante, e fortemente perlitizzante – è il più usato a tale scopo, per la sua efficacia e il suo costo: un tenore dell'1% può portare a ottenere una struttura completamente perlitica. In quantità eccessive, tuttavia, favorisce la precipitazione della grafite in lamelle. Aumenta in maniera moderata la durezza. Gli effetti su durezza, resistenza a trazione, a snervamento e allungamen-

to, dell'aumento della percentuale di perlite ottenuta variando la concentrazione di rame (o stagno), sono visibili dal grafico di fig. 4; in fig. 5 viene altresì mostrato l'effetto su proprietà a trazione e allungamento di un aumento nella percentuale di rame, posta a confronto con lo stagno.

Stagno [Sn]

Elemento di lega, forte perlitizzante con azione grafitizzante; in quantità eccessive tende alla segregazione – riducendo fortemente la tenacità della ghisa – e favorisce la formazione di lamelle di grafite. Gli effetti su resistenza a trazione, a snervamento e allungamento, dell'aumento della percentuale di perlite ottenuta variando la concentrazione di stagno, sono visibili dal grafico sopra riportato; la flessione nei valori della resistenza a trazione per alti tenori di tale elemento si spiega con la generazione di grafite di forma lamellare tra i grani. Un grafico in cui è visibile questo effetto con esplicitate le percentuali di rame e stagno, è riportato di seguito in fig. 5.

Alluminio [Al]

Ferritizzante, può promuovere la formazione di grafite di forma vermicolare o lamellare; i suoi effetti sono contrastati dalla presenza di cerio. Incrementa la tendenza dell'idrogeno alla generazione di piccole porosità denominate «pinholes» – fori a punta di spillo -, effetto che può verificarsi anche in presenza di titanio. Modera la tendenza all'ossidazione.

Zirconio [Zr]

Elemento ferritizzante, promuove la formazione di grafite di forma vermicolare o lamellare.

Tellurio [Te]

Ha azione carburigena, reagisce con il magnesio, genera ghisa bianca, può causare degenerazione della forma degli sferoidi. È aggiunto appositamente in piccole quantità per ostacolare l'insorgere di «pinholes», e i suoi effetti dannosi possono essere limitati con ridotte percentuali di cerio.

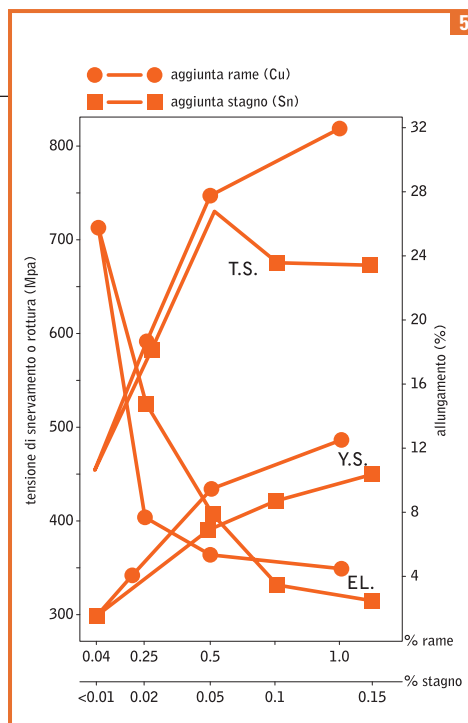
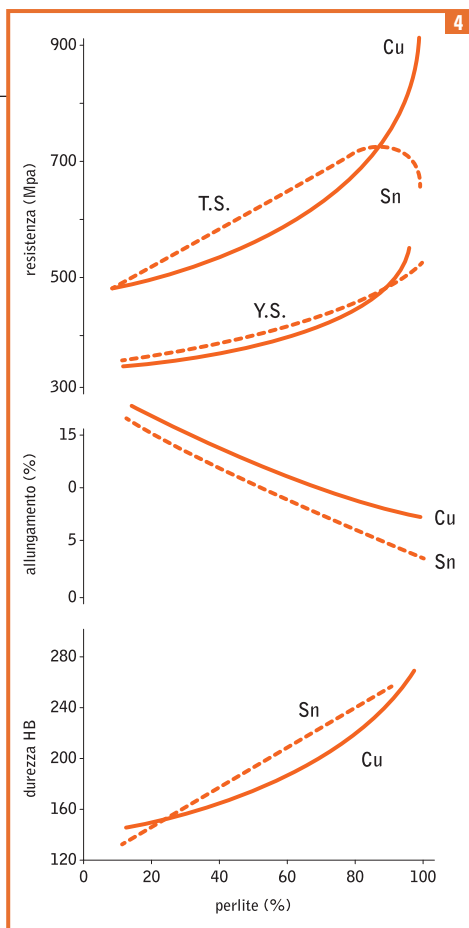


Fig. 4 - Gli effetti su durezza, resistenza a trazione, a snervamento e allungamento, dell'aumento della percentuale di perlite ottenuta variando la concentrazione di rame e stagno

Fig. 5 - Effetti di rame e stagno posti a confronto sulle caratteristiche di resistenza a trazione, a snervamento e allungamento

Calcio [Ca]

Spesso utilizzato nel trattamento di desolfurazione in forma di carburo di calcio, è un elemento che favorisce la precipitazione della grafite in sferoidi ma a concentrazioni elevate può portare alla comparsa di «chunky graphite».

Litio [Li]

Provoca la precipitazione della grafite in forma sferoidale.

Lantanio [La]

Provoca la precipitazione della grafite in forma sferoidale.

Piombo [Pb]

Favorisce la formazione di grafite lamellare o «spiky». I suoi effetti sono bloccati con piccole aggiunte di cerio.

Boro [B]

Elemento talvolta presente nei rottami di acciaio, nelle leghe Fe-Si, nel carburo di silicio e nello strato di materiale refrattario nei forni. Tendente alla segregazione e alla formazione di carburi resistenti al trattamento di ricottura. Un tenore eccessivo di

boro in ghise perlitiche legate con rame è probabilmente responsabile in caso di durezza e resistenza a snervamento minori di quanto atteso. Per questo, è consigliabile, in presenza di uno strato refrattario del forno appena rinnovato, prevedere inizialmente produzioni in ghisa grigia o ghisa sferoidale ferritica.

Vanadio [V]

Elemento perlittizzante, tendente alla segregazione e fortemente carburigeno.

Arsenico [As]

Aggiunto in concentrazioni fino allo 0,05% per favorire la formazione di perlite stabile. Tende a formare grafite lamellare; questo effetto è contrastato aggiungendo piccole percentuali di cerio. In piccole quantità e in combinazione con terre rare, incrementa nodularità e numero di sferoidi per millimetro quadrato.

Cadmio [Cd]

Favorisce la formazione di grafite di forma lamellare; i suoi effetti sono contrastati dal cerio.

Zinco [Zn]

Promuove la precipitazione della grafite in lamelle. I suoi effetti sono contrastati dal cerio. Spesso presente nei rivestimenti degli acciai.

Bario [Ba]

Elemento insolubile, agisce come inoculante.

Idrogeno [H]

Elemento carburizzante, favorisce la formazione di «pinholes».

Selenio [Se]

Tossico, è un potente elemento carburigeno.

Ossigeno [O]

Può reagire con il magnesio contenuto nella lega durante il trattamento di sferoidizzazione, e causarne quindi una diminuzione di tenore residuo, origine di probabili difetti nella precipitazione della grafite in forma sferoidale.

Molti elementi potenzialmente dannosi per la ghisa possono essere presenti in quantità considerevoli nei materiali di carica: sarà dunque fondamentale accertarne la composizione e/o poter contare su fornitori affidabili. In particolare, rottami di acciaio debolmente legato o rivestito possono portare a un'errata composizione chimica della ghisa. Alcuni elementi hanno effetti che possono essere facilmente contrastati attraverso l'aggiunta di piccole quantità di cerio, quali: As, Bi, Cd, Pb, Sb, Te, Zn.

Riferimenti

Questo studio è stato realizzato con il supporto del CRIF, laboratorio di ricerca tecnologica promosso dalla Regione Emilia Romagna, operativo nella ricerca industriale e nello sviluppo sperimentale specifico delle ghise e delle altre leghe ferrose.

BIBLIOGRAFIA

Disponibile in redazione