

LA SFEROIDIZZAZIONE DELLA GHISA RICHIEDE LA CORRETTA NUCLEAZIONE DEGLI SFEROIDI DI GRAFITE, GARANTENDO CONDIZIONI E PROCESSI PRECISI DURANTE LA PRODUZIONE, GENERALMENTE MEDIANTE TRATTAMENTO CON LEGA FE-SI-MG. PER QUESTO MOTIVO I PROCESSI DI DESOLFORAZIONE, SFEROIDIZZAZIONE E INOCULAZIONE, DEVONO ESSERE VALUTATI CON MOLTA ATTENZIONE E SCRUPOLO.

er ottenere una buona ghisa sferoidale, è necessario garantire le condizioni adatte alla nucleazione degli sferoidi di grafite. Questo scopo è raggiunto normalmente tramite abbattimento dello zolfo residuo al di sotto dello 0.018% - considerando un adeguato margine di sicurezza, maggiore al crescere della sezione del getto – e successivo trattamento con lega Fe-Si-Mg, per raggiungere tenori di magnesio residuo superiori allo 0,3% di norma compresi tra lo 0,04% e lo 0,05% -. Il trattamento di desolforazione si rende necessario per evitare che il magnesio reagisca in larga misura con lo zolfo, portandosi a un tenore residuo insufficiente per la completa sferoidizzazione della grafite. Si comprende come l'addizione di magnesio alla ghisa preliminarmente alla colata o al riempimento della forma sia un passaggio molto delicato, a cui dedicare grande attenzione. Una equazione (proposta da CTIF e ESF Francia) permette di relazionare il peso di lega Fe-Si-Mg da fornire al metallo liquido con il tenore di magnesio residuo desiderato.

Sferoidizzazione tramite lega di magnesio

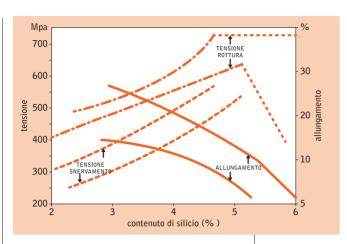
Le tipologie di trattamento tramite lega Fe-Si-Mg più conosciute sono: Opened Ladle-Sandwich Process, Tundish Ladle Process, In-Mold Process e il Cored Wire Process. L'Opened Ladle-Sandwich Process consiste nell'alloggiamento della lega in una cavità o sul fondo della siviera, è un processo semplice e occasionale con rendimenti contenuti e variabili.

Il Tundish Ladle Process è l'evoluzione del processo precedente, con l'aggiunta di una copertura sulla siviera al momento del trattamento. All'aumentare dell'efficacia della copertura, crescono i rendimenti del trattamento, con conseguente risparmio di lega. L'In-Mold Process, invece prevede che la lega venga pesata da un sistema automatico e alloggiata in una apposita "vaschetta" ricavata nella forma inferiore.

Una volta impostata la quantità di lega necessaria, andranno tenuti rigidamente sotto controllo parametri come la temperatura e il tempo di colata, che dovranno essere tali da garantire la ripetibilità del processo. Tempi di colata eccessivi, per esempio, porterebbero a esaurimento la lega prima che tutto il metallo sia entrato in staffa, con conseguenti difetti di sferoidizzazione della ghisa. Al contrario, tempi di colata troppo brevi non consentirebbero la reazione di tutta la lega nella "vaschetta";

Cored Wire Process (Trattamento a Filo) è un processo automatizzato e caratterizzato da alti rendimenti, ma con un costo per l'acquisto dell'attrezzatura necessaria piuttosto elevato.

La lega di magnesio è contenuta in un "filo" metallico che viene immerso e dun-





que fuso in siviera. La quantità di filo indispensabile al trattamento viene calcolata in maniera automatica. Tale processo assicura una buona ripetibilità, minore generazione di scoria, alti rendimenti - dunque risparmi di lega – e offre la possibilità di effettuare trattamento e inoculazione contemporaneamente, tramite lo stesso filo o con due sistemi separati. Per le fonderie con forno cubilotto, particolarmente soggette alla presenza di elevati tenori di zolfo, si può prevedere la possibilità di desolforare la ghisa e innalzarne il tenore di magnesio contemporaneamente, tramite trattamento a filo con lega contenente magnesio e calcio.

Fig. 1 - Effetto del silicio sulle caratteristiche di resistenza a trazione, a snervamento e allungamento

Fig. 2 - Operai al lavoro (Fonderia BUCKLEY, Flintshire, Regno Unito)

Si dovrà cercare di portare il tenore di magnesio il più vicino possibile a quello desiderato per la completa sferoidizzazione della ghisa, senza eccedere. Una concentrazione maggiore di quella necessaria potrebbe favorire la formazione di scoria dannosa per la qualità del getto. Come scritto in precedenza, infatti, il magnesio reagisce con zolfo, ossigeno, silicio e altri elementi; una quantità eccessiva promuove tali reazioni, e conseguentemente la generazio-

ne di una scoria leggera che si concentrerà sulla superficie e sotto alle anime, ma che potrà trovarsi anche all'interno del getto, specialmente con basse temperature di colata. Queste reazioni tenderanno ad avvenire costantemente al momento dell'aggiunta del magnesio al metallo liquido, favorendo localmente la formazione di lamelle di grafite. Per limitarle, si dovrà cercare di apportare la giusta quantità di lega di magnesio, in presenza di una adeguata ma non eccessiva inoculazione e di valori contenuti del carbonio equivalente e del tenore di silicio. Inoltre, colando a bassa temperatura aumentano le probabilità di formazione di scoria, in contrasto con

BASSO TENORE DI MAGNESIO: LE CAUSE

Qualora, al termine del trattamento, il tenore di magnesio residuo sia minore del voluto, andranno valutate una serie di possibili cause. Errata valutazione del peso del metallo liquido. Un errore di 50 kg su 1000 kg di liquido genera una imprecisione del 5%, che si riflette sul calcolo della quantità di lega necessaria per il trattamento, alla cui determinazione viene solitamente riservata grande cura;

Errata valutazione del peso della lega Fe-Si-Mg effettivamente utilizzata per il trattamento;

Eccessivo tenore di zolfo dopo desolforazione.

È importante controllare la qualità degli elementi di carica e l'efficacia del trattamento di desolforazione - per esempio, utilizzando a tale scopo il carburo di calcio, potrebbe essere necessario aumentarne la portata;

Reazioni indesiderate del magnesio con zolfo, come precedentemente introdotto, ma anche ossigeno, zinco, silicio o altri elementi il cui tenore non dovrà risultare troppo elevato;
Contenuto di magnesio nella lega non distribuito

uniformemente, o
erroneamente valutato;
Eccessivo intervallo di tempo
tra il trattamento e la colata. Il
tenore di magnesio nella ghisa
tende a diminuire nel tempo.
Soste eccessive del metallo
in siviera possono quindi
portarlo al di sotto della soglia
necessaria per una completa
sferoidizzazione. L'intervallo
di tempo da non superare
dipende da diversi fattori
quali temperatura della ghisa,
caratteristiche della siviera,
ecc.;

Temperatura del metallo liquido eccessiva. La quantità di lega di magnesio necessaria aumenta, secondo l'equazione proposta, con il quadrato della temperatura.

Si dovrà quindi cercare di mantenere quest'ultima. compatibilmente con le esigenze di produzione, il più bassa possibile, tenendo comunque a mente che il trattamento genera sensibili dispersioni termiche. In queste fasi, si dovrà poter contare su strumenti adeguati e affidabili per la misura del tenore di zolfo e del magnesio residuo, nonché di altri elementi potenzialmente dannosi – spettrometro o quantometro -.

le esigenze di risparmio di lega. La scoria può inoltre generarsi in caso di turbolenze durante il trattamento o in fase di riempimento della forma.

Inoculazione

All'interno della ghisa liquida sono inevitabilmente presenti piccole concentrazioni di elementi come cromo, molibdeno, manganese, vanadio, fosforo, ecc., provenienti principalmente dai materiali di carica. Tali elementi tendono ad accumularsi ai bordi dei grani e a promuovere la formazione di carburi intercellulari. Questo meccanismo è particolarmente favorito nella produzione della ghisa sferoidale, per via del trattamento con lega di magnesio.

In fase di solidificazione, il metallo liquido tra i grani si impoverisce in carbonio e silicio e, viceversa, si arricchisce degli elementi carburigeni sopraccitati, potendo dunque portare alla formazione di carburi e fasi, come la steadite o eutettico fosforoso, dannosi per le proprietà meccaniche del pezzo in quanto ne aumenta la durezza e la fragilità.

Per combattere la concentrazione degli elementi nocivi ai bordi dei grani, è utile cercare di aumentare il numero di celle di nucleazione, minimizzando dunque la quantità di liquido intercellulare. Tale effetto, in aggiunta alla regolazione dei tenori di carbonio e silicio, si ottiene per mezzo di un'efficace ed essenziale opera di inoculazione, che può evitare la necessità di effettuare azioni correttive per mezzo di trattamenti termici traducibili in incrementi di costi e tempi di produzione.

Tab. 1 - Esempio di applicazioni che hanno visto il passaggio con successo alla ghisa sferoidale (fonte SOREMETAL).

| Applicazione | DA | А | Risparmio | Altri miglioramenti |
|--|---------------------------------|------------------------|-----------|---|
| Sistema sospensioni per trattori | Acciaio saldato | BS2789 420/12 | >20% | Riduzione costi di lavorazione meccanica e di magazzino. |
| Stabilizzatore per gru di carico | Acciaio saldato | ASTM A-536 80-55-06 | 49% | Utilizzato "as-cast": eliminati tutti i costi di lavorazione e di finitura |
| Albero gomiti motori grandi dimensioni | Acciaio forgiato | ASTM A-897 ADI | 39% | Più leggero, resistenza meccanica e a usura. Minore rumorosità |
| Motori diesel | Acciaio al carbonio forgiato | ASTM A-897 ADI | 30% | Aumento di produttività; riduzione peso e rumorosità; rodaggio inferiore |
| Carrello per trasporto aeromobili | Acciaio saldato | ASTM A-536 80-55-06 | 76% | Migliori proprietà meccaniche ed estetiche; ridotte lavorazioni |
| Viti e riduttori | Bronzo&Acciaio Iavorati | ASTM A-536 60-40-18 | 46% | Migliori performance; montaggio finale semplificato |
| Mozzi ruota per quadicicli | Alluminio fuso | ASTM A-536 65-45-12 | 50% | Peso ridotto, incremento resistenza e sicurezza, migliore estetica |
| Utensile di aratura | Acciaio forgiato e saldato | ASTM A-897 ADI | 44% | Ottima resistenza a usura; eliminati i costi di lavorazione |
| Utensile per piegatrice | Lavorazione maccanica | ASTM A-897 ADI | 77% | Riduzione significativa nei costi di lavorazione meccanica |
| Fissaggio portellone aerei | Acciaio saldato | ASTM A-536 65-45-12 | 78% | Risolti problemi deformazioni; aumento di resistenza; numero di parti ridotte |
| Parti strutturali per turbina a gas | Acciaio fuso | BS2789 420/12 | >30% | Riduzione costi di lavorazione meccanica peso 17% inferiore; minori vibrazioni |
| Supporto freno trattore | Prodotti in acciaio | ASTM A-536 80-55-06 | 44% | Riduzione costi di lavorazione meccanica |
| Cassa del compressore aria | Acciaio saldato | ASTM A-536 65-45-12 | 46% | Maggiore smorzamento rumore; integrità di prodotto; montaggio semplificato |
| Cerniera del volante auto | Assemblaggio di 11 parti | ASTM A-536 60-40-18 | Grande | Montaggio semplificato; affidabilità incrementata |
| Sistemi di fissaggio per camion | Prodotti in acciaio | ASTM A-536 80-55-06 | 31% | Miglioramento vita a fatica; 2 fusioni sostituiscono 34 parti e 2 saldature |
| Camme per macchine raccoglitrici di cotone | Lavorazione meccanica | SAE J-434C D5506 | 68% | Maggiore efficienza |
| Parti di trasmissione idraulica trattori | Ghisa grigia | BS2789 420/12 | 40% | Uprated design req'd stronger material. Steelcasting 40% more + pattern change |
| Valvole | Lavorazione titanio | ASTM A-536 60-40-18 | 66% | Tolleranze più stretta; possibilità di accoppiare parti in plastica |
| Parti di compressore | Acciaio saldato | ASTM A-536 60-40-18 | 82% | Riduzione del rumore e maggiore resistenza agli shock |

L'inoculazione può avvenire tramite addizione di differenti tipi di materiale, principalmente grafite, lega Fe-Si o carburo di silicio, in forma di blocchetti, granella o filo; l'effetto di altri elementi eventualmente presenti, o immessi nella ghisa liquida sarà trattato in seguito. Può inoltre essere effettuata in momenti differenti e in più fasi, in base alle necessità - durante il trasferimento del metallo dal forno in siviera, in siviera, in staffa, prima, durante e dopo il trattamento con lega di magnesio. La guantità, il tipo di inoculante e le fasi di inoculazione, vengono stabiliti in base alle caratteristiche della ghisa in uscita dal forno e alle eventuali specifiche per il getto in produzione, tenendo conto del tipo di trattamento e dei parametri di colata. Come nel caso del magnesio, anche l'effetto degli inoculanti tende a diminuire con il tempo. Ci si dovrà quindi assicurare che non sussistano intervalli eccessivi prima della colata, e possibilmente posticipare il più possibile l'inoculazione. Inoltre, fornire il materiale alla ghisa in presenza di temperature troppo elevate ne accentuerà la dissipazione: con temperature troppo basse, si attenueranno le proprietà di inibizione alla formazione di carburi. L'inoculante dovrà risultare uniformemente distribuito e non essere somministrato in maniera eccessiva, potendo altrimenti causare difetti di ritiro. In definitiva, grande attenzione dovrà quindi essere dedicata a questa importantissima operazione, producendosi effetti sulla microstruttura, sul numero di noduli, sulla presenza di carburi e difetti di ritiro, e dunque sulle proprietà del getto.

Ghise fortemente legate

Si riporta una breve panoramica descrittiva delle proprietà delle più diffuse tipologie di ghise sferoidali fortemente legate, ottenute imponendo elevati tenori di opportuni elementi di lega, per la produzione di getti richiedenti proprietà particolari. Al contrario delle tipologie tradizionali di ghisa sferoidale, nelle quali vengono aggiunti elementi di lega in pic-





Fig. 4 - Fase di colata del forno a induzione (cortesia SpaceCast, divisione Fonderia della FLOTECH, Florida, USA)

Fig. 5 - Produzione di parti di ricambio per centrali termiche (cortesia SpaceCast, divisione Fonderia della FLOTECH, Florida, USA)

cole quantità principalmente per ottenere la microstruttura desiderata, queste ghise contengono dunque forti concentrazioni di determinati elementi alliganti, funzionali al conferimento di caratteristiche altrimenti non raggiungibili.

Esistono principalmente tre famiglie di ghise sferoidali fortemente legate:

Austenitiche: contengono elevate concentrazioni di nichel (18-36%) e, a volte, cromo (fino al 6%). Presentano elevata resistenza alla corrosione e all'usura, ottime proprietà meccaniche a bassa e alta temperatura e definite proprietà magnetiche, elettriche e di dilatazione termica. Al variare dei tenori degli elementi di lega, si possono raggiungere resistenze a trazione di 380-550 MPa e allungamenti del 4-40%;

Bainitiche: ottenibili con percentuali di nichel e molibdeno comprese tra l'1% e il 3%, per elevare la resistenza all'abrasione e le proprietà tensili. Sono comunque meno diffuse delle altre due tipologie; Ferritiche: presentano alti tenori di silicio (4-6%) e, per alcune tipologie, molibdeno (fino al 2%), che le rendono adatte all'utilizzo ad alta temperatura. Vengono infatti incrementate la stabilità strutturale, le proprietà meccaniche e la resistenza all'ossidazione. Atte a operare in presenza di cicli termici. La percentuale di carbonio è compresa nell'intervallo 2,5-3,4%, minore al crescere del tenore di

silicio e delle dimensioni della sezione. Gli effetti a temperatura ambiente su resistenza a trazione, a snervamento e allungamento, di aumenti del tenore di silicio, sono mostrati nella fig. 1.

Trattamenti termici

I trattamenti termici a cui può essere sottoposto un getto in ghisa sferoidale sono molteplici, ma possono essere catalogati sulla base delle finalità che si prefiggono: incrementare tenacità e duttilità; aumentare la resistenza a trazione e la resistenza all'usura; migliorare la resistenza alla corrosione; stabilizzare la microstruttura; uniformare le proprietà in getti di spessore notevolmente variabile; consolidare le caratteristiche già proprie del getto; accrescere la lavorabilità alla macchina utensile; eliminare tensioni interne al materiale.

Conclusioni

In conclusione, trascurando tutti gli altri aspetti decisivi nell'ottenimento di una ghisa sferoidale con le caratteristiche volute (temperature di fusione e colata, tempi di colata, tempo di raffreddamento ed eventuali trattamenti termici. buona qualità della terra nella staffa e delle eventuali anime da utilizzare, adeguata progettazione dei canali e attacchi di colata, utilizzo di filtri, maniche e raffreddatori opportuni, ecc.) si è mostrato come il controllo dell'analisi chimica e delle modalità di trattamento della ghisa, e dunque le fasi di desolforazione, sferoidizzazione e inoculazione, debba essere affrontato con molta attenzione e scrupolo. Analogamente, è importante controllare la buona qualità dei materiali di carica e di altri materiali che possano entrare in contatto con la ghisa (es. refrattari nel forno). Agire con sufficienza o disattenzione può causare errate composizioni microstrutturali, non solo relativamente alla forma e alla distribuzione della grafite ma anche relativamente alla matrice metallica, e consequentemente non si otterrebbero le caratteristiche desiderate. Al contrario, la possibilità di ottenere a prezzi appropriati una ghisa ad alta resilienza anche a basse temperature, con una resistenza contenuta, oppure ad alta resistenza con bassi valori di allungamento e resilienza, ne consente un utilizzo competitivo per la produzione di componenti di diversa funzione e destinati a condizioni di lavoro differenti.

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

«The efficiency of your magnesium treatment varies: check the following points!», Pierre-Marie Cabanne, Sorelmetal Technical Services, luglio 2008 «Magnesium cored wire treatment advantages and disadvantages vis-à-vis other processes», Pierre-Marie-Cabanne, Sorelmetal Technical Services, marzo 2006

«Dross in ductile iron», Hans Roedter, Sorelmetal Technical Services, marzo 2006

«Inoculation of ductile iron: why and when?», Pierre-Marie Cabanne e Martin Gagné, Sorelmetal Technical Services, Iuglio 2010

«The most important part of ductile iron production — Inoculation», James D. Mullins, Sorelmetal Technical Services, marzo 2006

«Recarburization of ductile iron», Hans Roedter, Sorelmetal Technical Services, marzo 2006 «Ductile iron data for design engineers», pubblicato da Rio Tinto Iron & Titanium, 1998

© RIPRODUZIONE RISERVATA