

Titolo

Perché talvolta la durezza è fuori specifica?

Argomento	Codice articolo	Pagine	Link utili: https://www.proservicetech.it/
Inoculazione	PSTP-S-01-04	4	
Azienda	Contatto		
Proservice srl	sales@proservicetech.it		

Introduzione

Nei primi tre contributi di questa serie è stato analizzato il ruolo centrale dell'inoculazione nel controllo metallurgico della ghisa: dalle criticità della pratica di inoculazione, alle vulnerabilità dell'inoculazione sul flusso, fino al caso studio che ha mostrato come la sovra-inoculazione e la rifusione dei ritorni possano alterare profondamente il comportamento di solidificazione del metallo.

Questo quarto paper si focalizza su una delle conseguenze più comuni e difficili da interpretare di una metallurgia non stabilizzata: la durezza fuori specifica, con particolare riferimento ai casi in cui i valori risultano anormalmente elevati. La durezza, spesso valutata come semplice parametro numerico, è in realtà un indicatore diretto della microstruttura e delle condizioni di solidificazione che hanno caratterizzato il processo.

Il lavoro propone una panoramica delle principali cause che possono portare a variazioni indesiderate della durezza, includendo aspetti chimici, termici e microstrutturali, ed approfondisce in particolare il ruolo delle strutture metastabili (cementite o zone perlitiche indesiderate), responsabili di incrementi localizzati e non previsti della durezza.

Il paper è completato da un caso studio industriale, nel quale una fonderia presentava problemi ricorrenti di durezza elevata nonostante una composizione chimica conforme alle specifiche. Attraverso il preconditionamento della ghisa base, la stabilizzazione del potenziale di nucleazione e l'introduzione di un controllo sistematico tramite analisi termica, è stato possibile eliminare le strutture metastabili e riportare la durezza entro i limiti richiesti.

In continuità con i lavori precedenti, questo contributo ribadisce che la durezza non è una variabile indipendente, ma il risultato diretto della storia metallurgica del metallo: solo un controllo quantitativo della qualità della ghisa base e delle sue modalità di solidificazione garantisce valori di durezza stabili, ripetibili e conformi alle specifiche.

Che cos'è la durezza e quale ruolo ha nelle ghise?

La durezza è una proprietà meccanica convenzionale che esprime la resistenza di un materiale alla penetrazione di un corpo più duro e rappresenta un indicatore sintetico del comportamento meccanico complessivo del getto. Nelle ghise, la durezza è un indice della resistenza alla compressione ed è fortemente influenzata dalla microstruttura globale, ovvero dalla combinazione tra forma, distribuzione e quantità della grafite e natura della matrice metallica (ferritica, perlitica o mista).

Dal punto di vista applicativo, la durezza riveste un ruolo centrale poiché influenza direttamente resistenza a trazione, duttilità, tenacità, resistenza all'usura e lavorabilità meccanica. Non è quindi raro che la durezza venga utilizzata come parametro di accettazione di prodotto; tuttavia, requisiti contrastanti tra progettazione (che tende a richiedere durezza elevate per aumentare la durabilità) e lavorazioni meccaniche (che beneficiano di durezza più contenute) impongono al metallurgista di mantenere la durezza entro un intervallo ristretto e controllato, obiettivo non sempre semplice da raggiungere.

Perché la durezza può risultare fuori specifica?

Valori di durezza fuori specifica nei getti in ghisa sono generalmente il risultato di variazioni nella natura e nella distribuzione delle fasi microstrutturali, piuttosto che di semplici deviazioni della composizione chimica media. Le principali cause che possono condurre a tali anomalie possono essere ricondotte a differenti livelli del processo fusorio:

- variazioni della composizione chimica, in particolare degli elementi che influenzano la matrice (C, Si, Mn, Cu, Sn) o la stabilità delle fasi;
- condizioni termiche non controllate, quali temperatura e velocità di colata, tempi di permanenza del metallo e modalità di raffreddamento locali;
- materiali di carica, incluse elevate percentuali di ritorni o rottami contaminati;
- gestione della sferoidizzazione e dell'inoculazione, in particolare in presenza di evanescenza o di aggiunte eccessive;
- interazioni metallo-forma e metallo-refrattario, che possono introdurre elementi indesiderati o alterare il comportamento di solidificazione;
- disegno del getto e del sistema di colata, che influenzano i gradienti termici e la velocità di solidificazione.

Un esempio significativo di causa spesso sottovalutata è rappresentato dall'assorbimento di boro da parte della ghisa, in particolare in fonderie che producono ghise perlitiche. È noto che, in presenza di refrattari nuovi o recentemente sostituiti, il metallo liquido può assorbire boro contenuto nei materiali refrattari (tipicamente sotto forma di ossidi o composti borici utilizzati come additivi di sinterizzazione). Il boro, anche a concentrazioni dell'ordine delle decine di ppm, può alterare significativamente la microstruttura: riduce la frazione perlitica a favore della ferrite, contrastando l'effetto di elementi perlitizzanti come il rame, con il risultato di valori di durezza inferiori alle attese, pur in presenza di una composizione chimica apparentemente conforme.

Analogamente, situazioni opposte possono portare a incrementi locali e non previsti della durezza, soprattutto quando il processo di inoculazione e preconditionamento non è correttamente gestito. In molti casi, eventuali strutture metastabili indesiderate sono il risultato di una stabilizzazione insufficiente del potenziale di nucleazione della ghisa base, di una gestione non ottimale dell'inoculazione o, più in generale, della mancanza di un controllo di processo basato sull'analisi termica. Per questo motivo, nel seguito del lavoro viene presentato un caso studio nel quale, attraverso il preconditionamento, la stabilizzazione della qualità metallurgica della

ghisa base e l'impiego sistematico dell'analisi termica, è stato possibile eliminare le strutture metastabili e riportare i valori di durezza all'interno delle specifiche richieste.

La stabilizzazione della ghisa base come fattore chiave: un caso studio

Il caso in esame riguarda uno studio condotto presso una fonderia che produce ghisa grigia per il settore automotive, nella quale venivano riscontrati difetti di porosità e durezza eccessiva, legata alla presenza di cementite su alcuni getti. Tali difetti si manifestavano in modo sporadico, non sistematico e non regolare nel tempo, senza una correlazione evidente con la composizione chimica o con specifiche fasi del processo produttivo, rendendo complessa l'identificazione di una causa univoca.

La fonderia dispone di cinque forni fusori da 25 t e adottava una pratica di inoculazione limitata esclusivamente all'inoculazione sul flusso, effettuata tramite un inoculante non assistito da sistemi di visione o monitoraggio.

L'analisi del processo mediante software di analisi termica ITACAX™ ha evidenziato che il potenziale di nucleazione della ghisa base risultava fortemente variabile nel tempo. In particolare:

- nelle prime colate del mattino, la ghisa presentava frequentemente un potenziale di nucleazione molto basso;
- tendeva a migliorare progressivamente nel corso della giornata produttiva, anche in funzione dell'aumento della quota di ritorni rifusi.

Ne conseguiva che la ghisa base non era metallurgicamente stabile, e tale instabilità si rifletteva inevitabilmente sulla ghisa finale. L'inoculazione sul flusso, mantenuta costante e non controllata, non era quindi in grado di compensare le ampie variazioni del potenziale di nucleazione del metallo in entrata, favorendo in alcune condizioni la formazione di strutture metastabili indesiderate, responsabili dei difetti riscontrati.

Sulla base di queste evidenze, è stata introdotta una strategia:

- preconditionamento della ghisa base direttamente nei forni fusori, con l'obiettivo di stabilizzare il potenziale di nucleazione prima delle fasi successive del processo;
- il materiale selezionato è stato ITACA Inoc 1440, un inoculante a base FeSi con zirconio come elemento attivo, particolarmente efficace nel migliorare e rendere più stabile la capacità di nucleazione della ghisa.

Le aggiunte di preconditionante sono state gestite in modo dinamico, calibrando i quantitativi sulla base del feedback fornito da ITACAX™: dosaggi più elevati in presenza di scarso potenziale di nucleazione e riduzioni progressive man mano che le condizioni metallurgiche miglioravano. Questa gestione ha permesso di ridurre drasticamente la variabilità della ghisa base e, di conseguenza, di stabilizzare anche il comportamento della ghisa finale.

Grazie a questo approccio, non solo si è registrata una riduzione significativa degli scarti per durezza non conforme, ma sono stati anche evitati fenomeni di sovra-inoculazione involontaria, legati alla re-introduzione di inoculanti attraverso la rifusione dei ritorni, fenomeno noto come ereditarietà degli inoculanti (come approfondito nel precedente paper "Il fenomeno della sovra-inoculazione").

Conclusioni

Questo lavoro ha mostrato come la durezza dei getti in ghisa non debba essere interpretata come una semplice proprietà numerica, ma come il risultato diretto della storia metallurgica del metallo e delle sue modalità di solidificazione. Valori di durezza fuori specifica, in particolare verso l'alto, sono spesso il sintomo di instabilità microstrutturali, quali la formazione di strutture metastabili indesiderate, che possono svilupparsi anche in presenza di una composizione chimica formalmente conforme.

Attraverso il caso studio presentato è stato dimostrato come la variabilità del potenziale di nucleazione della ghisa base, se non controllata, possa tradursi in un comportamento irregolare della ghisa finale, favorendo localmente la comparsa di cementite e difetti associati. In tale contesto, un'inoculazione sul flusso costante e non monitorata non è sufficiente a compensare le fluttuazioni metallurgiche del metallo in ingresso.

La soluzione adottata e basata sul preconditionamento dinamico della ghisa base, sulla stabilizzazione del potenziale di nucleazione e sull'impiego sistematico di ITACAX™ come strumento di controllo di processo, ha permesso di eliminare le strutture metastabili e di riportare i valori di durezza entro le specifiche richieste, migliorando al tempo stesso la ripetibilità del processo e riducendo gli scarti.

In continuità con i tre paper precedenti, questo quarto contributo conferma che il controllo della qualità metallurgica deve essere esercitato a monte del processo, prima che il metallo entri in forma. Solo una gestione consapevole della ghisa base, supportata da strumenti quantitativi di analisi e controllo, consente di prevenire derive metallurgiche difficili da interpretare a posteriori e di garantire proprietà meccaniche stabili, prevedibili e conformi alle specifiche di progetto.