

Titolo

Il fenomeno della sovrainoculazione

Argomento	Codice articolo	Pagine	Link utili: https://www.proservicetech.it/
Inoculazione	PSTP-S-01-03	5	
Azienda	Contatto		
Proservice srl	sales@proservicetech.it		

Introduzione

Nei primi due contributi di questa serie (“Le criticità nella pratica di inoculazione e principali inoculanti” e “Quanto conosci la tua inoculazione sul flusso?”) è stato messo in evidenza come l’inoculazione rappresenti una delle fasi metallurgiche più sensibili del processo fusorio e come, in particolare, l’inoculazione sul flusso non possa essere considerata un’operazione intrinsecamente affidabile in assenza di strumenti di controllo dedicati. Sono state analizzate le criticità legate alla variabilità del flusso di ghisa, al disallineamento tra metallo e inoculante e alle conseguenze metallurgiche ed economiche di una inoculazione sul flusso non monitorata.

Questo terzo lavoro si concentra su una conseguenza meno intuitiva, ma estremamente insidiosa, di una gestione non controllata dell’inoculazione: la sovra-inoculazione. Attraverso un caso studio reale, il paper analizza una situazione in cui una fonderia si è trovata ad affrontare problemi crescenti di porosità da ritiro e microporosità senza riuscire ad individuare una causa evidente, nonostante i parametri chimici e le analisi convenzionali indicassero una situazione apparentemente sotto controllo.

Il caso dimostra come, in assenza di strumenti avanzati di analisi termica e controllo dell’inoculazione, la sovra-inoculazione possa svilupparsi in modo graduale e “invisibile”, spesso come risultato di strategie correttive errate adottate per compensare altre instabilità del processo. L’accumulo progressivo di inoculanti, favorito anche dall’elevata percentuale di ritorni di ghisa in carica, può alterare in modo significativo il comportamento di solidificazione del metallo, portando a una precipitazione precoce della grafite e alla conseguente comparsa di porosità.

Lo scopo di questo paper è analizzare il caso studio in modo sintetico ma rigoroso, identificando le cause metallurgiche e operative della sovra-inoculazione ed illustrando le azioni correttive adottate per ripristinare il controllo del processo. In particolare, verrà mostrato come l’introduzione di sistemi avanzati di analisi termica (ITACAX™) e di controllo dell’inoculazione sul flusso (ITACA Stream™ e ITACA Vision™) sia stata determinante per comprendere il problema, eliminarne le cause alla radice e ridurre drasticamente il livello di difettosità, senza ricorrere a modifiche geometriche dei getti o del sistema di alimentazione.

Come si è sviluppata la criticità?

Il presente studio analizza il caso di una fonderia di ghisa sferoidale con un processo produttivo considerato stabile e consolidato. L'impianto era costituito da:

- forni fusori a media frequenza;
- trattamento di sferoidizzazione in siviera, metodo sandwich;
- linee di colata automatiche verticali.

Il controllo metallurgico del processo si basava esclusivamente su:

- composizione chimica,
- temperatura del metallo liquido,
- assenza di un controllo diretto del comportamento di solidificazione.

In una prima fase sono comparsi difetti localizzati da cementite e carburi, concentrati in zone critiche dei getti. La fonderia ha reagito aumentando la percentuale totale di inoculazione, distribuendola lungo le diverse fasi del processo:

- preconditionamento,
- pre-inoculazione,
- inoculazione sul flusso.

Questo intervento ha portato alla scomparsa dei carburi, confermando l'elevata sensibilità del processo al potenziale di nucleazione. Nel medio periodo, però, sono emersi difetti di microporosità da ritiro, anch'essi localizzati e inizialmente limitati a specifiche aree del getto.

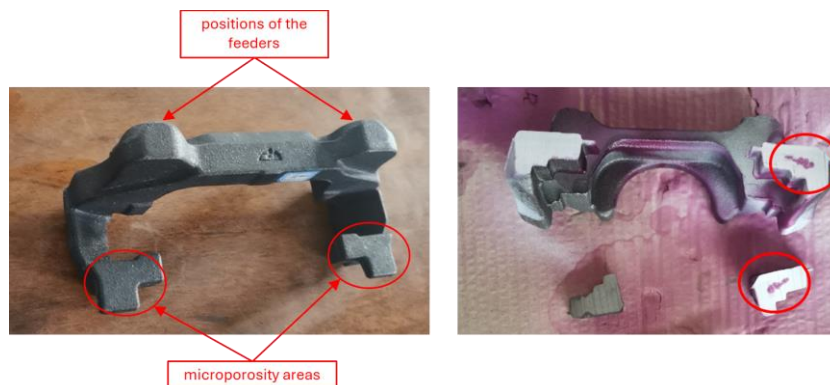


Figura 1: immagine del getto del caso studio, sono evidenziate le posizioni delle materozze e della microporosità

L'interpretazione del fenomeno come ulteriore carenza metallurgica ha portato la fonderia ad aumentare ancora il livello di inoculazione. Tale scelta si è rivelata inefficace e controproducente:

- le microporosità non si sono ridotte,
- il difetto si è progressivamente esteso ad un numero crescente di getti.

Pur rimanendo entro i limiti di specifica chimica e con condizioni operative apparentemente costanti, il processo stava quindi evolvendo verso una condizione di sovra-inoculazione. Questa condizione, non intercettata dai sistemi di controllo tradizionali, si è dimostrata la vera causa dell'innescò e della diffusione delle microporosità.

Quando i ritorni diventano il vero problema

Fino a questa fase, la situazione poteva essere considerata critica ma ancora potenzialmente risolvibile mediante una ottimizzazione mirata dell'inoculazione. L'equilibrio del processo si è definitivamente compromesso quando la fonderia ha deciso di intervenire sul sistema di alimentazione, aumentando il volume delle materozze nel tentativo di compensare la microporosità da ritiro.

Questa scelta si è rivelata impropria, poiché il sistema di alimentazione originale era correttamente progettato. La porosità da ritiro non era infatti un difetto originario del processo, ma una conseguenza indiretta dell'alterazione delle condizioni metallurgiche della ghisa. L'ingrossamento delle materozze ha quindi prodotto effetti collaterali rilevanti:

- riduzione della resa placca,
- aumento della quantità di ritorni generati.

Tale configurazione ha innescato un meccanismo auto-rafforzante. Da un lato, la presenza delle porosità ha incrementato gli scarti; dall'altro, l'aumento volumetrico delle materozze ha ulteriormente accresciuto la quantità di ritorni disponibili. Il risultato complessivo è stato un progressivo aumento della percentuale di ghisa rifiuta nel parco materie prime.

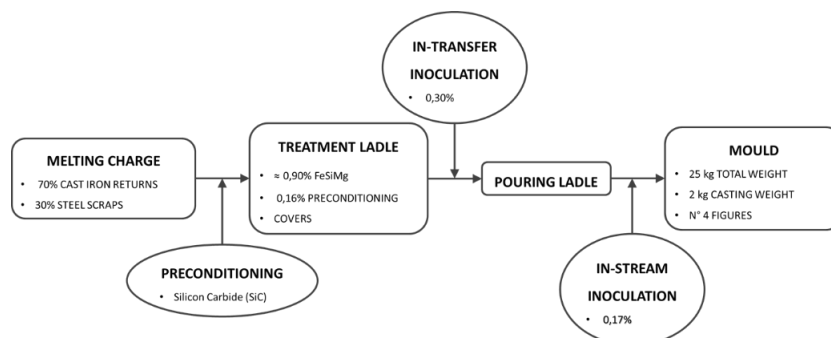


Figura 2: situazione originaria del processo fusorio

Questo aspetto risulta particolarmente critico perché i ritorni di ghisa introducono nel processo una quota residua di inoculanti, legata al fenomeno dell'ereditarietà metallurgica. Di conseguenza:

- ogni rifusione reintroduce inoculanti "invisibili" nel bagno,
- tali contributi non sono rilevabili mediante la sola analisi chimica,
- il livello complessivo di inoculazione aumenta in modo non controllato.

In questo scenario, l'apparente stabilità del processo mascherava una deriva progressiva verso la sovra-inoculazione, alimentata non solo dalle aggiunte intenzionali, ma soprattutto dalla rifusione sistematica dei ritorni. È proprio questa dinamica, difficilmente individuabile in assenza di strumenti avanzati di controllo termico e di processo, a rendere la gestione dei ritorni una delle criticità più insidiose dell'intero caso studio.

Ripristino del controllo metallurgico: approccio e soluzioni adottate

Nello scenario descritto, l'individuazione delle cause reali del problema risultava particolarmente complessa, poiché le anomalie osservate non erano immediatamente riconducibili a singole variabili di processo e il controllo era limitato a parametri tradizionali. Per questo motivo, i metallurgisti di ProService sono intervenuti adottando un approccio sistemico, analizzando l'intero processo fusorio mediante il software di analisi termica avanzata ITACAX™.

L'analisi ha messo in evidenza un processo fortemente instabile dal punto di vista della solidificazione, caratterizzato da un'elevata variabilità già a livello di ghisa base prodotta nei forni fusori. Tale variabilità risultava ulteriormente amplificata nelle fasi finali del processo, dove gli elevati livelli di inoculazione accentuavano il comportamento non ripetibile della solidificazione, mascherando una condizione di sovra-inoculazione progressiva.

Alla luce di queste evidenze, la strategia di intervento è stata impostata a partire da un concetto chiave: ricostruire un "punto zero" metallurgico. A tal fine, è stata effettuata una revisione completa della carica metallica, intervenendo su due aspetti fondamentali:

- drastica riduzione della percentuale di ritorni di ghisa,
- introduzione di una quota significativa di ghisa in pani, per limitare l'effetto di ereditarietà degli inoculanti.

Parallelamente, il processo è stato progressivamente riportato sotto controllo attraverso l'uso sistematico di ITACAX™, che ha consentito di ridurre in modo significativo la variabilità metallurgica della ghisa base, sia in termini di dinamica di solidificazione sia di potenziale di nucleazione. Su queste basi, il processo di inoculazione è stato completamente ricalibrato, riducendo in modo consistente le percentuali di inoculante e, in alcune fasi, eliminandole del tutto per evitare aggiunte ridondanti e non efficienti.

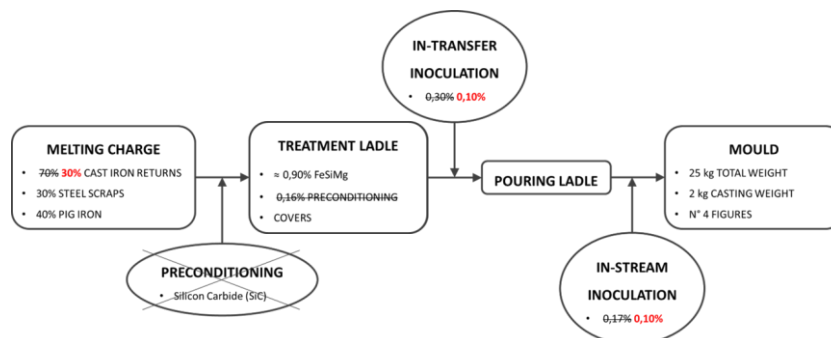


Figura 3: situazione del processo fusorio dopo l'adozione delle azioni correttive

Contestualmente, sulle linee di colata è stato installato il sistema combinato ITACA Stream™ e ITACA Vision™, con l'obiettivo di ottenere un controllo completo e ripetibile dell'inoculazione sul flusso. Questo ha permesso di ridurre drasticamente l'inoculazione finale, garantendo che l'inoculante investisse effettivamente il flusso di ghisa in modo corretto e controllato.

L'efficacia dell'intervento è stata immediata e chiaramente misurabile:

- drastica riduzione delle microporosità da ritiro,

- assenza di ricomparsa dei difetti da cementite,
- ripristino della stabilità metallurgica del processo.

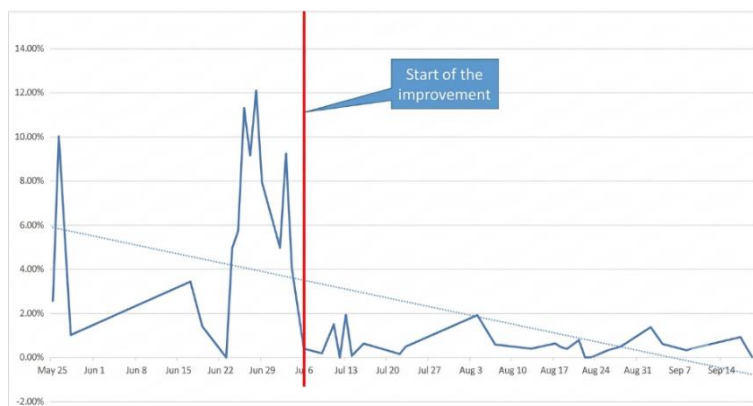


Figura 4: andamento dello scarto prima e dopo l'ottimizzazione del processo

Il recupero del controllo metallurgico ha infine consentito di ridimensionare il sistema di alimentazione, riducendo il volume delle materozze e, di conseguenza, limitando la rifusione dei ritorni. In questo modo è stato definitivamente interrotto il meccanismo auto-rafforzante che aveva originato e sostenuto il problema.

Conclusioni

Il caso studio presentato dimostra come la sovra-inoculazione possa svilupparsi in modo graduale e difficilmente individuabile in un processo che, sulla base dei controlli tradizionali, appare inizialmente stabile. In assenza di strumenti avanzati di analisi termica e di monitoraggio dell'inoculazione, il problema viene spesso affrontato aumentando ulteriormente le aggiunte di inoculante, innescando un meccanismo auto-rafforzante che porta ad una crescente instabilità metallurgica e alla comparsa di microporosità da ritiro.

L'analisi ha evidenziato il ruolo critico della rifusione dei ritorni, che reintroduce inoculanti "invisibili" nel bagno attraverso il fenomeno dell'ereditarietà metallurgica. Tale condizione non è rilevabile con la sola analisi chimica, ma si manifesta chiaramente tramite la variabilità delle curve di solidificazione e dei parametri termici.

La strategia correttiva adottata, basata sulla riduzione dei ritorni in carica, sulla ricalibrazione delle percentuali di inoculazione e sull'introduzione di un controllo sistematico mediante ITACAX™, integrato con ITACA Stream™ e ITACA Vision™ per la gestione della post-inoculazione, ha permesso di ripristinare il controllo metallurgico del processo. I risultati sono stati immediati: drastica riduzione delle porosità da ritiro, eliminazione dei difetti di cementite, stabilizzazione della solidificazione e recupero della resa produttiva.

In continuità con i due precedenti paper, questo terzo contributo conferma che l'inoculazione non può essere gestita come un parametro statico, né corretta aumentando indiscriminatamente le aggiunte. Solo un controllo quantitativo e integrato del processo, fondato sull'analisi termica e sul monitoraggio reale dell'inoculazione, consente di prevenire condizioni di sotto- o sovra-inoculazione e garantire una produzione stabile, ripetibile e di elevata qualità.