

Titolo			Quali possono essere le cause di fallimento della prova di trazione?
Argomento	Codice articolo	Pagine	
Inoculazione	PSTP-S-01-05	5	
Azienda	Contatto		
Proservice srl			sales@proservicetech.it

Link utili:
<https://www.proservicetech.it/>

Introduzione

Nei precedenti contributi di questa serie è stato analizzato come il controllo metallurgico della ghisa sia fortemente influenzato dalla gestione dell'inoculazione e del potenziale di nucleazione lungo l'intero processo fusorio. In particolare, è stato mostrato come la mancata stabilizzazione della ghisa base, l'inoculazione sul flusso non controllata ed i fenomeni di sovra-inoculazione possano portare a difetti microstrutturali e a proprietà meccaniche non conformi, spesso senza segnali evidenti dai controlli tradizionali.

Questo quinto paper si concentra su una delle verifiche più rappresentative e, allo stesso tempo, più critiche della qualità del materiale: la prova di trazione.

La prova di trazione costituisce infatti uno strumento fondamentale per valutare il comportamento meccanico del getto, fornendo informazioni chiave su resistenza, limite elastico e duttilità, parametri direttamente legati alla sicurezza e all'affidabilità dei componenti in esercizio.

Nel contesto industriale, il fallimento della prova di trazione è spesso interpretato come un problema legato esclusivamente alla composizione chimica o a condizioni di prova non corrette. Tuttavia, l'esperienza dimostra che anche in presenza di una chimica conforme alle specifiche, i provini possono non soddisfare i requisiti meccanici richiesti. Questo fenomeno è riconducibile ad un insieme di fattori che includono difetti interni, microstrutture non ottimali e condizioni metallurgiche instabili, che riducono il potenziale meccanico intrinseco del materiale.

Scopo di questo lavoro è fornire una panoramica strutturata delle principali cause che possono portare al fallimento della prova di trazione, distinguendo tra aspetti legati al materiale, alla microstruttura e all'esecuzione della prova, senza entrare nel dettaglio normativo o procedurale della stessa. In particolare, sarà posto l'accento sulle cause metallurgiche, spesso meno evidenti ma determinanti, che favoriscono l'innesco e la propagazione della frattura durante il test.

In continuità con i paper precedenti, verrà infine mostrato come la gestione dell'inoculazione e del preconditionamento della ghisa base influenzi in modo diretto l'esito della prova di trazione, attraverso il controllo della microstruttura e la prevenzione di difetti quali carburi, porosità e disomogeneità locali. Anche in questo caso, l'adozione di un controllo di processo basato sull'analisi termica si rivela uno strumento essenziale per garantire stabilità metallurgica e conformità meccanica.

Qual è il reale significato della prova di trazione nelle ghise?

La prova statica di trazione rappresenta uno degli strumenti più importanti per la valutazione delle proprietà meccaniche dei materiali metallici, ed è ampiamente utilizzata come criterio di accettazione dei getti in ghisa. Attraverso questa prova è possibile determinare parametri fondamentali che descrivono il comportamento elasto-plastico del materiale fino a frattura, quali:

- carico di rottura
- limite di snervamento o di scostamento dalla linearità
- allungamento percentuale a rottura

Nel contesto delle ghise, la prova di trazione assume un ruolo particolarmente critico poiché i valori misurati sono direttamente influenzati dalla microstruttura, ovvero da:

- morfologia della grafite;
- natura della matrice metallica;
- presenza di eventuali discontinuità interne.

A differenza di altri controlli più rapidi, come la durezza o la sola analisi chimica, la prova di trazione fornisce una valutazione globale della qualità metallurgica del getto, integrando in un unico risultato gli effetti di difetti, eterogeneità microstrutturali e condizioni di solidificazione.

Per questo motivo, il fallimento della prova di trazione non dovrebbe essere interpretato come un semplice evento isolato o come un problema legato esclusivamente all'esecuzione del test, ma come un segnale chiaro di una riduzione del potenziale meccanico del materiale, spesso riconducibile a cause metallurgiche che si sono sviluppate a monte del processo.

Perché e come avviene la rottura del materiale durante la prova di trazione?

La rottura del provino durante la prova di trazione è il risultato finale di un processo di danneggiamento progressivo del materiale, che inizia molto prima del collasso macroscopico osservabile. A livello microstrutturale, la deformazione plastica induce micro-plasticizzazioni localizzate nella matrice metallica, tipicamente in corrispondenza di eterogeneità come grafite, inclusioni, porosità o discontinuità microstrutturali. Queste zone rappresentano concentratori di tensione, nelle quali si innescano micro-vuoti. Con l'aumentare della deformazione, i micro-vuoti crescono e coalescono in una cricca interna, che si propaga fino a determinare la rottura del provino. La modalità di frattura, duttile o fragile, dipende dalla capacità della microstruttura di accomodare la deformazione plastica prima del collasso. Nelle ghise, questo comportamento è fortemente influenzato da:

- difetti interni, quali microporosità da ritiro, inclusioni (dross, sabbia, inoculante o leghe non disciolte), porosità da gas e giunti freddi, che riducono drasticamente la sezione resistente effettiva;
- microstruttura della matrice, in particolare presenza di carburi, strutture martensitiche locali o perlite eccessivamente dura, che favoriscono una frattura fragile;

- grafite non conforme, come grafite lamellare, vermicolare, chunky o degenerata, che interrompe la continuità della matrice e facilita l'innesco della frattura;
- condizioni superficiali del provino, inclusa rugosità elevata o degenerazioni superficiali dovute all'interazione metallo-forma.

È importante sottolineare che anche in assenza di difetti macroscopici evidenti, una microstruttura non adeguatamente controllata può ridurre significativamente il potenziale meccanico del materiale. In questi casi, la rottura non è il risultato di un singolo evento anomalo, ma l'espressione di una qualità metallurgica complessivamente inferiore, che emerge proprio durante un test globale come la prova di trazione.

Questo rende evidente perché il fallimento della prova non vada interpretato come un semplice problema di misura o di chimica, ma come un segnale diretto di come la ghisa ha solidificato e di quali strutture si sono effettivamente formate nel materiale.

Perché la prova di trazione può fallire anche quando tutto sembra sotto controllo?

Il fallimento della prova di trazione rappresenta la manifestazione finale di una riduzione del potenziale meccanico del materiale, ma le cause che conducono a questo risultato sono spesso molteplici e non sempre immediatamente riconoscibili. In ambito industriale, è frequente osservare provini che non soddisfano i requisiti di resistenza o di duttilità richiesti anche in presenza di una composizione chimica conforme e di parametri di processo apparentemente corretti.

Le cause di fallimento della prova di trazione possono essere ricondotte a tre grandi categorie: difetti interni, microstruttura non ottimale e condizioni di prova. Tra queste, le prime due rivestono un ruolo predominante dal punto di vista metallurgico.

Difetti interni e siti di innesco della frattura

Difetti come microporosità da ritiro, inclusioni (dross, sabbia, inoculante o ferroleghie non disciolte), porosità da gas o giunti freddi agiscono come concentratori di tensione, riducendo la sezione resistente effettiva del provino. Durante la prova di trazione, questi difetti favoriscono l'innesco precoce di micro-cricche, accelerando il processo di coalescenza dei vuoti e portando a una rottura anticipata rispetto al comportamento atteso del materiale sano.

Microstruttura e stato metallurgico del materiale

Anche in assenza di difetti macroscopici evidenti, la microstruttura gioca un ruolo determinante nell'esito della prova. Fattori critici includono:

- matrice metallica non conforme, caratterizzata da durezza non corretta, eccesso di perlite o presenza di fasi fragili;
- presenza di carburi, sia da tempra diretta che inversa;
- grafite non corretta, come grafite lamellare, vermicolare o degenerata;
- disomogeneità microstrutturali locali.

In queste condizioni, il materiale può presentare un comportamento apparente soddisfacente in termini di durezza o chimica, ma risultare intrinsecamente fragile sotto carico di trazione, con frattura che avviene prima del raggiungimento dei valori minimi richiesti di resistenza o allungamento.

Influenza dell'esecuzione della prova

Infine, esistono cause di fallimento legate all'esecuzione della prova stessa, quali velocità di applicazione del carico non corretta, allineamento imperfetto del provino, finitura superficiale inadeguata o condizioni ambientali sfavorevoli. Sebbene questi aspetti possano influenzare i risultati, essi risultano generalmente secondari rispetto alle cause metallurgiche, che determinano la reale capacità del materiale di resistere alla sollecitazione.

Che ruolo gioca l'inoculazione nel fallimento della prova di trazione?

L'inoculazione esercita un'influenza diretta e spesso decisiva sull'esito della prova di trazione, poiché governa il potenziale di nucleazione della ghisa e, di conseguenza, la formazione della microstruttura durante la solidificazione. Un'inoculazione non correttamente dimensionata o non adattata alle reali condizioni metallurgiche del bagno può generare strutture microstrutturali che riducono in modo significativo la capacità del materiale di deformarsi plasticamente sotto carico.

- In condizioni di sotto-inoculazione, una ghisa caratterizzata da basso potenziale di nucleazione tende a solidificare secondo modalità metastabili, favorendo la formazione di carburi, zone localmente perlitiche dure o microstrutture disomogenee. Queste fasi, rigide e fragili, limitano l'accomodamento della deformazione plastica, accelerano l'innescò dei micro-vuoti e portano a una rottura anticipata del provino, spesso con valori di allungamento e resistenza inferiori alle specifiche richieste.

Un ulteriore aspetto critico riguarda la morfologia e la distribuzione della grafite, che tendono a deteriorarsi al diminuire del potenziale di nucleazione. Tale effetto è particolarmente evidente nelle ghise sferoidali, dove la pratica di sferoidizzazione è strettamente interdipendente dall'inoculazione. In queste condizioni, la comparsa di forme degenerate della grafite genera concentrazioni locali di tensione nella matrice metallica, facilitando l'innescò delle cricche e compromettendo ulteriormente il comportamento del materiale sotto carico di trazione.

- All'estremo opposto, anche la sovra-inoculazione può influenzare negativamente la prova di trazione. Un'eccessiva densità di nuclei grafitici può determinare una precipitazione anticipata della grafite ed una microstruttura non ottimale in termini di distribuzione delle particelle di grafite, oltre che presenza di microporosità da ritiro, come già discusso nel terzo paper della serie.

È importante sottolineare che questi effetti non sono sempre correlabili alla composizione chimica media del getto e possono svilupparsi anche in processi apparentemente sotto controllo. Un'inoculazione applicata in modo statico, senza tener conto del potenziale di nucleazione della ghisa base, non è in grado di compensare variazioni dovute a materiali di carica, ritorni, tempi di fusione o condizioni termiche, trasferendo tale instabilità direttamente all'esito della prova meccanica.

Ne deriva che il fallimento della prova di trazione, in molti casi, non è altro che la manifestazione finale di una gestione non controllata dell'inoculazione. Solo attraverso un approccio basato sul preconditionamento della ghisa base, sull'adattamento dinamico delle pratiche di inoculazione e su un controllo di processo supportato da strumenti come ITACAX™, ITACA Stream™ ed ITACA Vision™ è possibile garantire una microstruttura stabile e, di conseguenza, una risposta meccanica coerente e ripetibile durante la prova di trazione.

Conclusioni

Questo lavoro ha evidenziato come il fallimento della prova di trazione sia raramente un evento isolato, ma rappresenti il risultato finale di una instabilità metallurgica sviluppatasi a monte del processo. Anche in presenza di una composizione chimica conforme, difetti interni, microstrutture non ottimali e fasi metastabili possono ridurre in modo significativo il potenziale meccanico della ghisa e portare a una rottura anticipata del provino.

In particolare, è stato mostrato come una gestione non corretta dell'inoculazione, sia in condizioni di sotto- che di sovra-inoculazione, possa compromettere la nucleazione, la morfologia della grafite e la continuità della matrice metallica, influenzando direttamente l'esito della prova di trazione. In questo senso, la prova non misura soltanto la resistenza del materiale, ma riflette l'intera storia metallurgica della ghisa.

In continuità con i precedenti paper della serie, questo contributo conferma che la conformità meccanica non si ottiene correggendo i risultati a valle, ma attraverso un controllo metallurgico a monte, basato sulla stabilizzazione della ghisa base, su pratiche di inoculazione adattive e su un monitoraggio di processo supportato dall'analisi termica. Solo in questo modo la prova di trazione diventa una verifica coerente di un processo correttamente governato, e non un punto critico imprevedibile del controllo qualità.