

# Studio al microscopio riscaldante del comportamento di alcune polveri di colata continua per lingottiera

ing. Chiara Venturelli  
Expert System Solutions Srl, Modena, Italia

## Introduzione

Le polveri per lingottiera, inizialmente a base di ceneri volanti, furono introdotte nel processo di colata continua dell'acciaio circa 40 anni fa. Attualmente vengono impiegate anche polveri sintetiche, costituite da miscele di vari minerali. A seconda delle tecniche di produzione adottate, tali polveri sono disponibili in varie forme: come esempio si possono citare le polveri granulari atomizzate, quelle estruse e le polveri ottenute per frittaggio [1]. Per quanto riguarda la composizione chimica, le polveri per lingottiera sono costituite da una miscela complessa di carbonio, ossidi vari (tra cui  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ) e altri materiali [2].

Le funzioni svolte dalle polveri di colata continua, una volta aggiunte sulla superficie dell'acciaio fuso in lingottiera, sono principalmente quattro e si possono riassumere come segue:

- isolamento termico dell'acciaio liquido in lingottiera, per impedirne la solidificazione;
- protezione della superficie dell'acciaio dall'ossidazione;
- lubrificazione e controllo dello scambio termico tra la parete della lingottiera e il guscio di acciaio solidificato (che è quello più esterno e quindi più vicino alla parete della lingottiera);
- assorbimento di eventuali inclusioni non metalliche provenienti dall'acciaio [1].

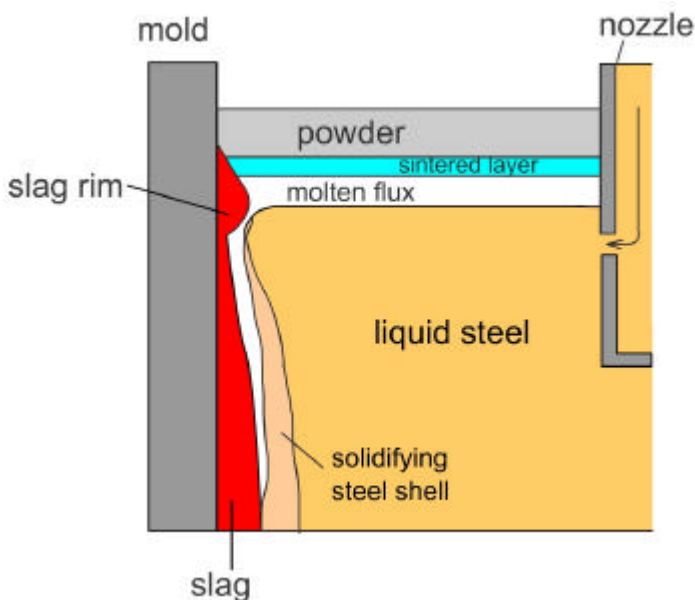


fig. 1: Rappresentazione degli strati formati dalle polveri in lingottiera

Con riferimento alla fig. 1, si può analizzare il ruolo di tali polveri in lingottiera. Le polveri, una volta versate in lingottiera, perdono parte del carbonio per ossidazione e si riscaldano a contatto con l'acciaio liquido, formando uno strato sinterizzato ("sintered layer") e un fuso ("molten flux"). Quest'ultimo si distribuisce su tutta la superficie libera dell'acciaio e, grazie alle oscillazioni della lingottiera ("mold"), si infila nell'intercapedine tra essa e il guscio più esterno di acciaio solidificato ("solidifying steel shell"). In questo modo, lo strato liquido agisce da lubrificante. Il flusso infiltrato solidifica parzialmente a sua volta a contatto con la lingottiera, la cui parete è raffreddata ad acqua, formando uno strato di scoria ("slag") il cui spessore aumenta appena sopra la superficie dell'acciaio (dove assume il nome di "slag rim") [3].

Il ruolo di questo strato è permettere un adeguato livello di trasferimento di calore tra il guscio di acciaio solidificato e la lingottiera. [4]

Lo scopo di questo lavoro è caratterizzare il comportamento termico di alcune polveri di colata continua per lingottiera sottoposte a diversi cicli di riscaldamento.

In particolare, si è voluta concentrare l'attenzione su temperatura di fusione, presenza di eventuali cristallizzazioni all'interno del materiale e, in generale, sull'osservazione dei fenomeni che avvengono nel materiale studiandone le variazioni dimensionali.

## Metodo sperimentale

La tecnica scelta per condurre le analisi sulle polveri di colata continua per lingottiera è lo studio al microscopio riscaldante. In particolare, è stato utilizzato il modello MISURA HSM della Expert System Solutions.

Questo strumento è in grado di acquisire e memorizzare automaticamente ad intervalli prefissati di temperatura le immagini di un provino sottoposto a un ciclo termico. Ogni immagine registrata dal microscopio viene misurata in tutti i suoi parametri dimensionali (altezza, larghezza...) ed è analizzata automaticamente per identificare alcuni punti caratteristici del materiale. Il microscopio riscaldante MISURA HSM consta di un forno dotato di programmatore automatico, che consente di impostare velocità di riscaldamento fino a  $80^{\circ}\text{C}/\text{min}$  e una temperatura massima di  $1600^{\circ}\text{C}$  [5].

Con riferimento alla fig. 2, sono state definite le seguenti temperature caratteristiche:

- "sinterizzazione" o "sintering temperature": l'altezza del provino,  $H$ , assume un valore del 95% rispetto al suo valore iniziale;
- "di rammollimento" o "softening temperature": la rugosità del provino diminuisce fino a un certo valore caratteristico;
- "di mezza sfera":  $W=H$ ;
- "di sfera": si possono individuare almeno cinque raggi uguali;
- "di fusione":  $W=3H$ .

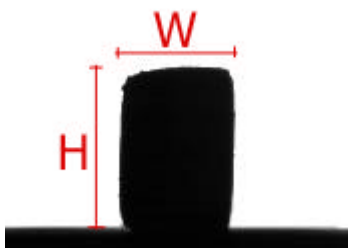


fig. 2. Dimensioni di un provino da microscopio riscaldante

A partire dai dati memorizzati, lo strumento fornisce inoltre la curva delle variazioni dimensionali del campione in funzione della temperatura, chiamata anche “curva di appiattimento”.

## Risultati

Sono stati studiati due diversi campioni di polveri di colata continua per lingottiera: in particolare, si tratta di polveri atomizzate (“powder D”) e non (“powder A”).

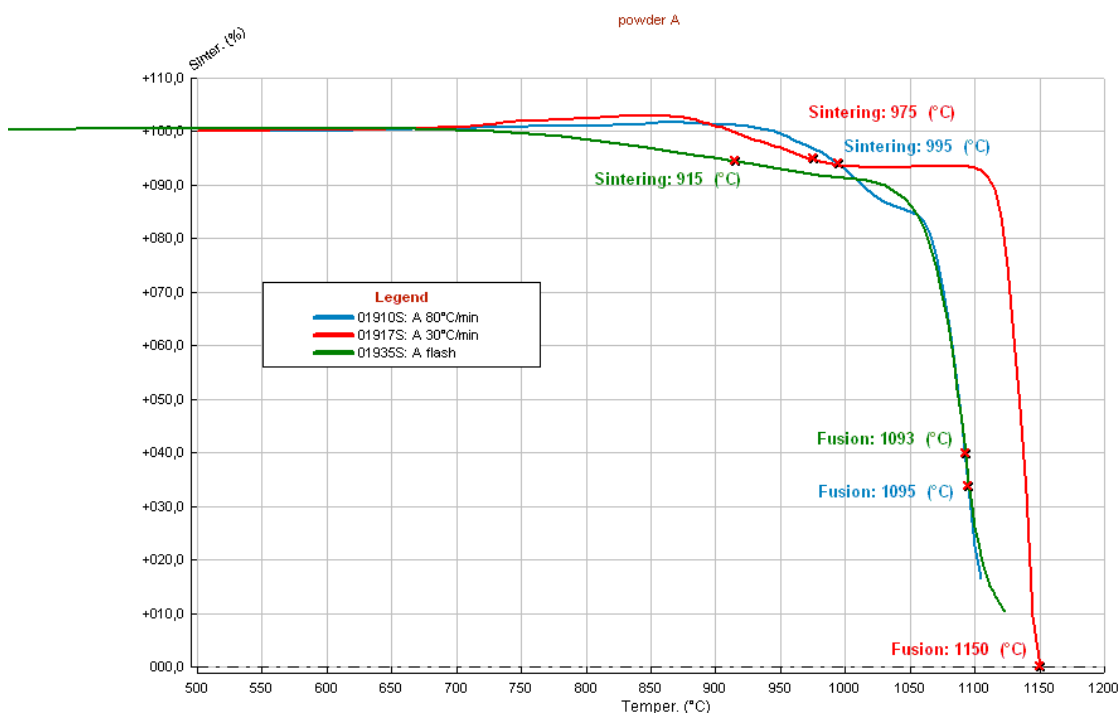
Le polveri atomizzate presentano una granulometria omogenea, mentre le altre sono più grossolane e di granulometria non uniforme.

È stato quindi eseguito un confronto tra il comportamento dei due campioni di polveri per lingottiera, ciascuno dei quali è stato sottoposto a tre diversi cicli termici:

- gradiente di riscaldamento di 30°C/min fino alla fusione del campione;
- gradiente di riscaldamento di 80°C/min fino alla fusione del campione;
- riscaldamento “istantaneo” o “flash heating”. Mantenendo il forno sempre caldo alla temperatura desiderata, lo si fa scivolare in pochi istanti sopra al provino da analizzare grazie a una slitta motorizzata.

Con l’aggiunta di poche gocce d’acqua per aumentarne la plasticità, le polveri sono state pressate con una pressa manuale in uno stampino cilindrico, in modo da ottenere dei cilindretti alti 3mm, con un diametro di 2mm. Il supporto per i campioni così ottenuti consiste in un piastrino di allumina; l’acquisizione delle immagini è stata effettuata ogni 5°C.

La curva di appiattimento ottenuta applicando una velocità di riscaldamento di 30°C/min è stata rappresentata in rosso, quella ottenuta con un riscaldamento di 80°C/min in blu e quella con un riscaldamento “istantaneo” in verde.



Lo strumento è stato in grado di identificare solo i punti caratteristici di sinterizzazione e di fusione, poiché i provini assumono forme irregolari e inconsuete. Per questo motivo, i punti di rammollimento, sfera e mezza sfera non sono individuabili.

Utilizzando un ciclo avente velocità di riscaldamento bassa (30°C/min), nella curva di appiattimento del campione si nota un plateau tra 1000 e 1100°C, in cui le dimensioni del provino rimangono costanti al variare della temperatura. Ciò indica che all'interno del materiale avviene un processo di cristallizzazione che lo trasforma completamente. La temperatura di fusione di questo provino è stata identificata a 1150°C. Nelle prove condotte con gradiente di riscaldamento più elevato, la stessa polvere giunge a fusione molto prima, poiché i componenti che la costituiscono non hanno avuto tempo sufficiente per reagire tra loro per dare composti con temperatura di fusione maggiore. Le tre curve sono molto diverse tra loro.

In fig. 3 sono rappresentate le forme assunte dal provino in alcuni momenti della prova condotta con riscaldamento istantaneo.

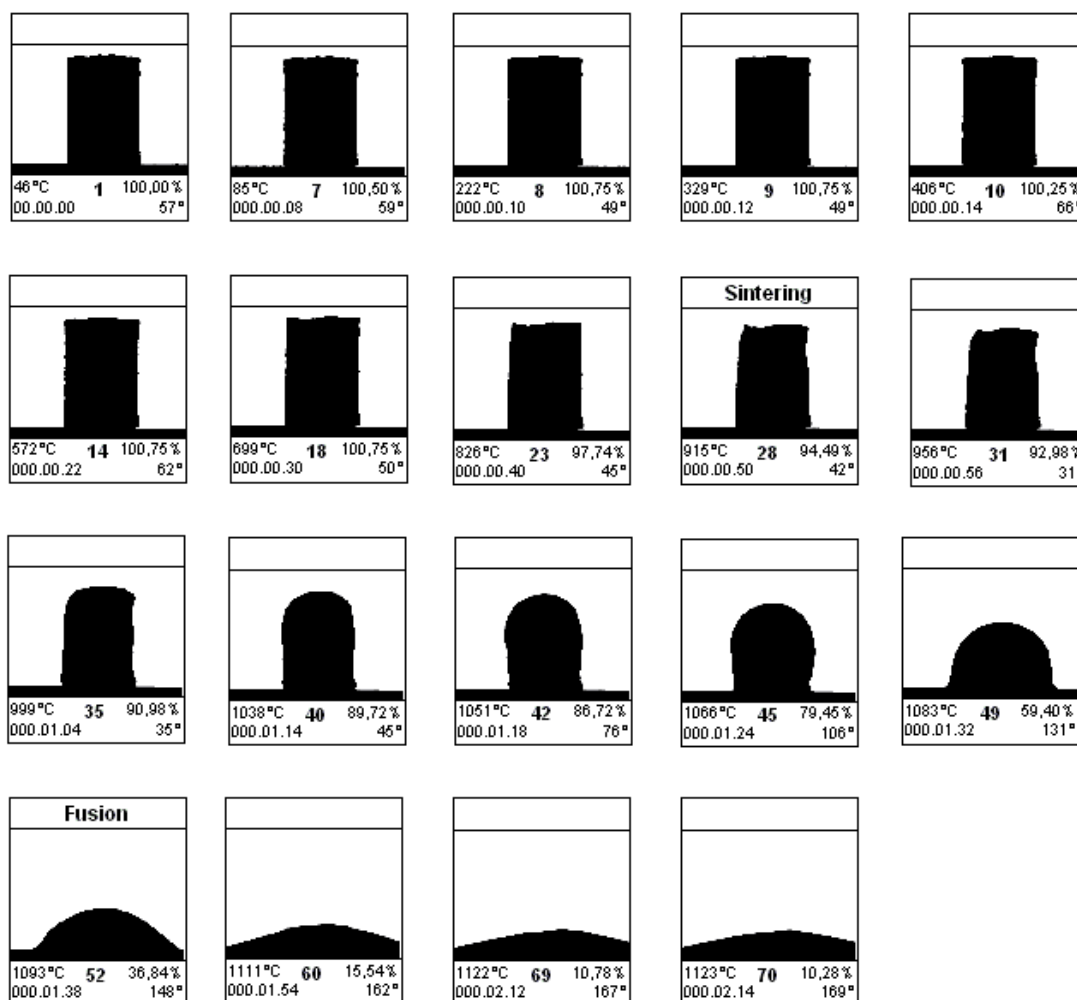
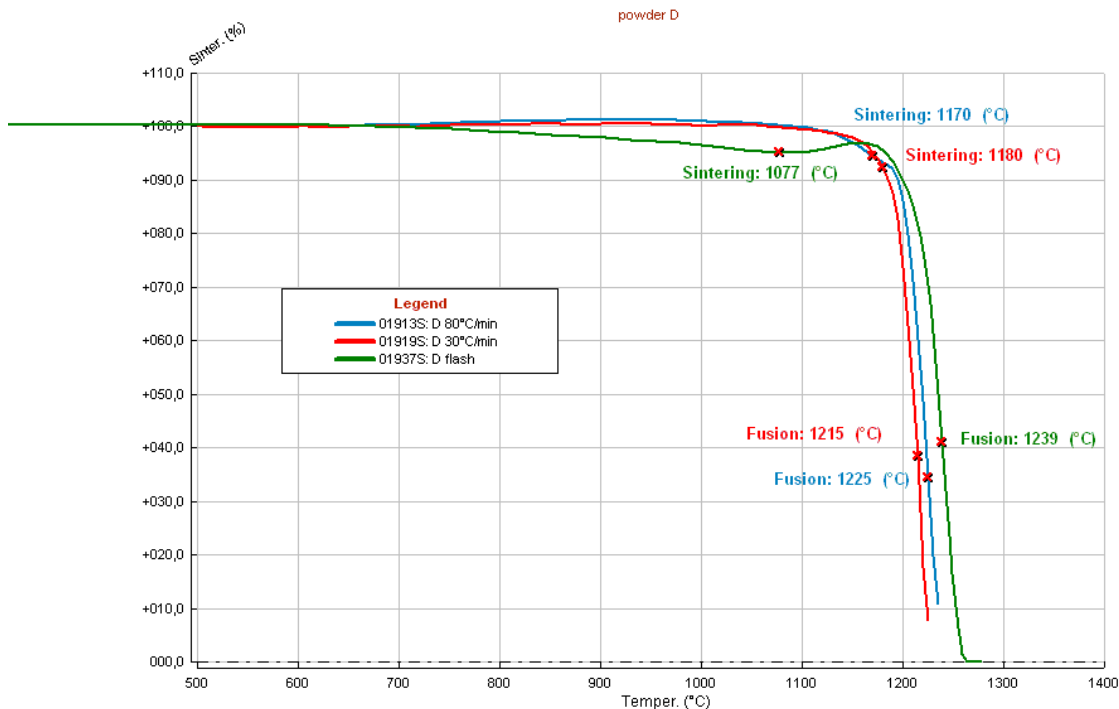


fig. 3: Forme assunte dal provino durante la prova con riscaldamento istantaneo.

Nel grafico seguente si possono vedere i risultati relativi ai test sul campione di polvere "D".



Analizzando la polvere “D”, si vede una differenza tra il comportamento del campione sottoposto al riscaldamento istantaneo e quello mostrato negli altri due casi. Infatti, utilizzando un riscaldamento “istantaneo”, il materiale inizia a contrarsi prima, ma dopo i 1100°C subisce un rigonfiamento, dovuto allo sviluppo di gas all’interno di esso. Durante le altre due prove, caratterizzate da curve di appiattimento dei provini molto simili, tale rigonfiamento è assente.

## Discussione

Il comportamento termico dei materiali analizzati dipende fortemente dal tipo di ciclo termico a cui sono sottoposti. Il riscaldamento “istantaneo” è la modalità d’analisi che permette di simulare più fedelmente possibile le sollecitazioni termiche effettivamente presenti in lingottiera.

Il problema dell’adozione di gradienti di riscaldamento bassi è che essi favoriscono cristallizzazioni nel materiale che ne cambiano il comportamento termico.

Per questo motivo, la temperatura di fusione di un dato materiale in condizioni industriali potrebbe risultare diversa da quella ottenuta in laboratorio applicando basse velocità di riscaldamento, dal momento che, con un riscaldamento rapido, i nuovi composti cristallini più altofondenti non hanno il tempo necessario per formarsi.

## Conclusioni

L’analisi automatica delle immagini fornita dal microscopio riscaldante consente di ottenere molte informazioni su un materiale sottoposto a un ciclo di riscaldamento [5].

Informazioni ancora più complete vengono fornite osservando l’andamento complessivo delle curve di appiattimento, che rappresentano le variazioni dimensionali del materiale in funzione della temperatura.

Una delle limitazioni dei vecchi microscopi riscaldanti manuali è quella di studiare il comportamento termico dei materiali sottoponendoli a gradienti di riscaldamento troppo bassi, molto lontani dalle effettive condizioni industriali di utilizzo.

La possibilità dei microscopi riscaldanti di nuova generazione di raggiungere velocità di riscaldamento elevate, permette invece di riprodurre le sollecitazioni termiche effettive a cui un campione è sottoposto industrialmente.

Si sottolinea infine che il microscopio riscaldante MISURA HSM è stato il primo in grado di raggiungere velocità di riscaldamento così elevate ed è tuttora l'unico che permetta di effettuare il riscaldamento "istantaneo".

## **Bibliografia**

[1] Kenneth C. Mills: Casting Volume, Chapter 8, "Mold Powders for continuous casting"

[2] Kempro International: Estratto bibliografico (dal sito internet)

[3] Ya Meng, Brian G. Thomas: "Modelling transient slag-layer phenomena in the shell/mold gap in continuous casting of steel", Metallurgical and Materials Transactions B, Volume 34B, October 2003-707

[4] Kenneth C. Mills, Alistair B. Fox, Maria Carolina Bezerra: "A logical approach to mould powder selection"

[5] Studying frits with the heating microscope (studio delle fritte col microscopio riscaldante) M. Paganelli - CWR (Ceramic World Review) n° 24 1997 Pag 48