

# **MODELLO PER LA DETERMINAZIONE DEI TEMPI DI SLINGOTTAMENTO MINIMI PER ACCIAI NON TRATTATI**

## **Abstract**

L'acciaieria esaminata produce lingotti da 2.5 t a 32 t, sia tondi (diametro da 310 mm a 1300 mm, altezza 3.5-4.2 m) che poligonali (dimensioni di circa 1500 mm e altezza 2 m), in acciai basso legati (es. al Cr-Mo, al Ni-Cr-Mo) per fucinati e laminati.

I lingotti di maggiori dimensioni e più ricchi in elementi di lega, una volta estratti dalla lingottiera sono sottoposti a raffreddamenti controllati in cuffia, oppure a trattamenti di ricottura isoterma al fine di evitare l'insorgenza di tensioni residue eccessive e la formazione di strutture dure indesiderate. Infatti, questi fattori rendono problematico il taglio di sega effettuato dai clienti prima di procedere alle lavorazioni successive (riscaldamento, formatura a caldo per fucinatura/stampaggio, ecc.).

Per mantenere il livello di durezza, misurato in pelle, al di sotto di 300 HB si utilizzano tre modalità di raffreddamento:

1. direttamente in lingottiera, nel caso di acciai al carbonio (si estrae il lingotto a temperature di circa 300 °C);
2. in cuffia, per acciai di media lega (si slingotta a 800-900 °C e si coprono i lingotti con una cuffia che consente di realizzare raffreddamenti con basse velocità, indicativamente 3 °C/h); generalmente in una cuffia vanno due colate;
3. ricottura isoterma, per acciai legati (es Ni-Cr-Mo). Viene realizzata in forni simili alle cuffie, ma aventi 4 bruciatori e 2 termocoppie di controllo ed un sistema di programmazione del ciclo termico da seguire.

Le temperature ed i tempi del trattamento isoterma sono stabiliti in base a monogrammi che danno il tempo necessario per l'omogeneizzazione termica, a cui si aggiunge il tempo necessario per il completamento della trasformazione di fase.

Sono state esaminate alcune rotture significative di lingotti al fine di valutarne le cause, tale

esame è stato condotto, in assenza di campioni su cui effettuare l'analisi metallografica, basandosi sulla documentazione inerente le rotture.

Sono state misurate le cinetiche di trasformazione di fase in condizioni isoterme. Per i due acciai considerati si determinano mediante dilatomètria le cinetiche di trasformazione isoterma a tre temperature, cercando di riprodurre per quanto possibile le condizioni del processo industriale (grano austenitico grossolano da struttura grezza di colaggio). Questi dati sperimentali sono confrontati con quelli di letteratura disponibili (diagrammi TTT, in genere relativi a materiali laminati a caldo, riaustenitizzati, a grano austenitico fine). Con questa sperimentazione si è valutato l'effetto della struttura as-cast sui tempi necessari per il completamento della trasformazione dell'austenite, nonché le informazioni di base indispensabili per calcolare da modello le cinetiche di trasformazione per qualunque ciclo termico.

Il modello di trasformazione di fase è stato implementato nella versione del codice ad Elementi Finiti Marc 73. Tale modello, bidimensionale (2D) assil-simmetrico, su  $\frac{1}{4}$  o  $\frac{1}{2}$  lingotto, sfruttando le simmetrie. Esso è in grado di prevedere l'evoluzione microstrutturale e termotensionale del lingotto e di stimare la durezza in pelle.

Il processo è stato modellizzato e caratterizzato per le diverse condizioni al contorno nei seguenti casi: raffreddamento in lingottiera, slingottamento, raffreddamento in cuffia o in forno. Le condizioni al contorno (coefficienti di scambio termico e temperatura ambiente) sono state dedotte dalle misure sperimentali integrate con altre apposite. Le simulazioni del trattamento completo (esclusa la solidificazione del lingotto) sono state effettuate a partire da solido che si raffredda in lingottiera fino allo slingottamento, facendo riferimento a 2 dimensioni selezionate dei lingotti a sezione circolare, sia per un acciaio che non ha dato problemi (che servirà come riferimento in termini di tensioni residue nel lingotto) sia per uno critico (es. acciaio al Ni-Cr-Mo con Ni > 2%). Vengono considerate le modalità di raffreddamento in cuffia e in forno, in quest'ultimo caso, oltre al ciclo di trattamento isoterma, sono state simulate altre due possibili alternative, con riduzione del tempo di ciclo complessivo.

Dalle simulazioni è stato individuato un ciclo di trattamento promettente, avente un tempo complessivo ridotto.