

## Recupero di calore tramite raffreddamento del clinker

### Descrizione

Il raffreddatore del clinker è parte integrante della linea di cottura del cemento ed influisce in misura determinante sul rendimento e sull'economicità dell'impianto. Il raffreddatore ha una duplice funzione:

- recuperare quanto più calore possibile dal clinker caldo (1450° C) per restituirlo al processo;
- ridurre la temperatura del clinker ad un livello adeguato per le apparecchiature che si trovano a valle del forno.

Il calore viene recuperato preriscaldando l'aria usata per la combustione principale e secondaria, fino ad avvicinare, quanto più possibile, il limite termodinamico.

Un rapido raffreddamento fissa la composizione mineralogica del clinker migliorandone la macinabilità e ottimizzando le caratteristiche di reattività del cemento.

Le alte temperature del materiale, l'estrema abrasività del clinker e l'ampiezza del suo fuso granulometrico rappresentano i parametri critici per il processo di raffreddamento. I problemi che tipicamente si hanno con i raffreddatori del clinker sono l'espansione termica del clinker, l'usura del macchinario dovuta all'abrasività del materiale trattato, l'insufficiente disponibilità di aria che può generare un flusso in ingresso inadeguato a sottrarre completamente il calore del clinker, elementi che vanno tenuti sotto controllo per poter realizzare un processo efficace che garantisca al contempo i requisiti di recupero termico ed una adeguata velocità di raffreddamento del materiale.

Due sono i tipi principali di raffreddatore, quello rotante e quello a griglia.

### **I raffreddatori rotanti**

#### *Raffreddatore tubolare*

Questo raffreddatore applica lo stesso principio dei forni rotanti ma per uno scambio termico inverso. Allo scarico del forno, spesso in una configurazione inversa, è installato un secondo tubo rotante con un autonomo movimento. Dopo lo scarico del forno il clinker attraversa una condotta di transizione prima di entrare nel raffreddatore. Esso è dotato di sollevatori, i quali disperdono il prodotto nel flusso d'aria. Il flusso dell'aria di raffreddamento è determinato dall'aria richiesta per la combustione che si realizza nel forno. A prescindere dalla velocità dell'aria immessa, solo i sollevatori presenti all'interno dell'impianto possono influire sul rendimento del raffreddatore. L'ottimizzazione dei sollevatori deve tenere conto dello scambio termico (modello di dispersione) che avviene con i cicli della polvere che torna al forno<sup>1</sup>.

#### *Raffreddatore a satelliti*

Il raffreddatore a satelliti è un particolare tipo di raffreddatore rotante. Più tubi raffreddatori (tipicamente 9-11) sono collegati al forno all'estremità di scarico. Il clinker caldo entra nei dispositivi di raffreddamento attraverso le aperture disposte circolarmente sul mantello del forno in ogni punto in cui è collegato un tubo di raffreddamento. La quantità dell'aria di raffreddamento è determinata dall'aria necessaria per la combustione che avviene nel forno; essa entra in ogni tubo dall'estremità dello scarico, consentendo così uno scambio termico in controcorrente. Come per il raffreddatore tubolare, i dispositivi interni per sollevare e disperdere il clinker nel flusso di aria sono essenziali per incrementare l'efficienza di scambio termico. Non ci sono parametri operativi (quali temperature, quantità di aria immessa, ecc.) variabili. Usura elevata e shock termico, insieme ai cicli delle polveri, determinano temperature

---

<sup>1</sup> Le polveri vengono inglobate nella fase gassosa; l'aria riscaldata torna al forno e contiene polveri che si depositano nella parte fredda per poi ripetere il ciclo fino a raggiungere un equilibrio.

---

*Schede descrittive delle opzioni di miglioramento*

---

di uscita del clinker elevate e, talvolta, livelli subottimali di recupero del calore. La temperatura di uscita del clinker può essere ulteriormente ridotta solo iniettando acqua nei tubi del raffreddatore oppure sul mantello.

Essendo praticamente impossibile estrarre l'aria terziaria, il raffreddatore a satelliti non è adatto alla precalcinazione. La combustione secondaria fino al 25% del combustibile è, tuttavia, possibile nella zona più elevata del forno.

## **I raffreddatori a griglia**

Nel raffreddatore a griglia il raffreddamento si ottiene facendo salire dal basso una corrente d'aria e facendola passare attraverso uno strato di clinker (letto di clinker) posato su una griglia permeabile all'aria. Per trasportare il clinker si possono usare griglie mobili o griglie con movimento alternativo (gradini con bordi spingenti).

L'aria calda proveniente dalla zona a valle del raffreddatore non viene utilizzata per la combustione, poiché il recupero termico che si riesce a realizzare è inferiore rispetto a quello che si ottiene con i raffreddatori tubolari, ma è disponibile per l'essiccazione, ad esempio, di materie prime lavorate con sistemi di macinazione ad umido e/o di combustibili solidi eventualmente impiegati per l'alimentazione dei forni. Se non viene usata per l'essiccazione, quest'aria esausta del raffreddatore deve essere opportunamente depolverata.

### *Raffreddatori a griglia mobile*

In questo tipo di raffreddatore, il clinker è trasportato per mezzo di una griglia mobile che ha la stessa configurazione della griglia dei preriscaldatori. Alcuni ventilatori immettono l'aria di raffreddamento nei compartimenti che si trovano al di sotto della griglia. Questa configurazione consente di non interferire con lo strato del clinker (non ci sono gradini) ed, inoltre, di sostituire la griglia senza arrestare il forno. Per la sua complessità meccanica e per lo scarso recupero del calore dovuto al limitato spessore del letto (per la difficoltà di avere una tenuta efficace tra griglia e pareti), questa configurazione non viene più applicata nei nuovi impianti fin dal 1980.

### *Raffreddatore tradizionale a griglia alternata*

In questo tipo di raffreddatore il trasporto del clinker avviene spingendo gradualmente il letto di materiale con la parte anteriore delle file alternate di griglie. Il moto relativo della parte anteriore è prodotto da azionamenti idraulici o meccanici (alberi a manovella) collegati a file alternate. Solo il clinker si sposta dall'estremità dell'ingresso all'estremità dello scarico, ma non le griglie.

Le griglie sono di acciaio colato termoresistente, sono larghe normalmente 300 mm e hanno dei fori per il passaggio dell'aria. L'aria di raffreddamento è soffiata da alcuni ventilatori a 300-1000 mmWG attraverso compartimenti che si trovano al di sotto della griglia. I compartimenti sono separati l'uno dall'altro in modo da mantenere il livello di pressione. Si distinguono due zone di raffreddamento:

- la zona di recupero, che usa l'aria calda di raffreddamento per la combustione del bruciatore principale (aria secondaria) e del combustibile per il precalcinatore (aria terziaria);
- la zona a valle del raffreddamento, dove un ulteriore volume di aria raffredda il clinker a più basse temperature.

Gli impianti più grandi in esercizio hanno una superficie attiva di circa 280 m<sup>2</sup> e raffreddano 10.000 t/giorno di clinker. I classici problemi di questi raffreddatori sono segregazione e distribuzione non uniforme del clinker con conseguente squilibrio aria-clinker, fluidificazione delle parti fini del clinker (fiume rosso) e anche formazione di incrostazioni, nonché un ciclo di vita più corto delle griglie.

---

*Schede descrittive delle opzioni di miglioramento*

---

*Raffreddatore moderno a griglie alternate*

I moderni raffreddatori a griglie alternate furono introdotti e sviluppati intorno al 1983. Lo scopo della nuova configurazione era quello di risolvere i problemi che si erano posti con i raffreddatori tradizionali, avvicinandosi in tal modo ad ottimizzare lo scambio termico ed, al tempo stesso, avere un'apparecchiatura più compatta, con un ridotto volume d'aria di raffreddamento e sistemi di depolverazione di dimensioni più contenute.

Le caratteristiche della moderna tecnologia dei raffreddatori sono (a seconda del fornitore):

- griglie di moderna concezione con incorporato dispositivo per le cadute di pressione, variabili o permanenti, permeabili all'aria ma non al clinker;
- aerazione forzata delle griglie attraverso condotte e canali;
- zone di aerazione regolabili singolarmente;
- ingresso fisso;
- minor numero di griglie, più larghe;
- frantoio a rulli;
- scudi termici.

**Vantaggi ambientali**

Riduzione dei consumi energetici legati ai trattamenti termici delle materie prime e del prodotto grazie al recupero del contenuto termico del clinker.

Una riduzione del consumo di combustibili si traduce in un conseguente decremento delle emissioni di combustione.

**Campo d'applicazione**

Processi di produzione del cemento.