

Misurazione ottica della temperatura negli impianti di combustione

Albert Book

Nell'ambito delle disposizioni di legge e dei requisiti di autorizzazione, vengono stabiliti requisiti rigorosi per la separazione degli NOx nei gas di scarico degli impianti di combustione con un valore NOx del gas pulito $<100 \text{ mg/Nm}^3$ con uno scorrimento di NH3 $<10 \text{ mg/Nm}^3$. Per soddisfare questi requisiti, è necessario determinare la temperatura all'interno della caldaia come variabile controllata per le misure primarie e secondarie di riduzione degli inquinanti. La relazione spiega i diversi sistemi di misurazione ottica della temperatura negli impianti di combustione.

Le cause della formazione di ossidi di azoto sono il contenuto di azoto nei rifiuti e le alte temperature di combustione necessarie per distruggere gli inquinanti organici. L'obiettivo delle misure di ingegneria della combustione è quello di eliminare in larga misura la formazione di NOx durante il processo di combustione. Per ottenere basse emissioni di NOx con combustione simultanea completa, le particelle devono rimanere il più a lungo possibile nella zona primaria riducente ed essere ben miscelate con l'aria di combustione nella zona secondaria. Inoltre, i gestori di centrali a carbone e di impianti di incenerimento termico per rifiuti, materiali secondari e biomassa sono sempre più sotto pressione per ridurre i costi di gestione. Allo stesso tempo, l'obiettivo è quello di aumentare l'efficienza della caldaia e ridurre al minimo l'usura della parete del forno e dello scambiatore di calore per aumentarne la durata.

Per soddisfare queste esigenze e ottimizzare il processo di combustione, la corretta registrazione e la distribuzione omogenea della temperatura nel forno gioca un ruolo decisivo. Secondo l'ordinanza federale sulle emissioni (BImSchV) e le istruzioni tecniche per il controllo della qualità dell'aria (TA Luft), gli impianti di incenerimento dei rifiuti devono essere costruiti e gestiti in modo da mantenere una temperatura minima di $850 \text{ }^\circ\text{C}$ per i gas di combustione prodotti durante l'incenerimento dei rifiuti o delle sostanze dopo l'ultima immissione di aria di combustione, al fine di mantenere le emissioni inquinanti al di sotto dei valori limite consentiti. Per l'incenerimento di rifiuti pericolosi con un contenuto di alogeni $>1 \%$, il gestore deve garantire il mantenimento di una temperatura minima di $1100 \text{ }^\circ\text{C}$. L'intervallo di temperatura ottimale in cui si ottiene una sensibile riduzione dei NOx è compreso tra 850 e $1100 \text{ }^\circ\text{C}$, a seconda della composizione dei gas di scarico.

In definitiva, l'obiettivo dei gestori degli impianti di combustione è quello di bruciare il combustibile in modo più completo attraverso un processo regolazione della temperatura controllata, di produrre meno ceneri, soddisfacendo nel contempo i requisiti di emissione di sostanze inquinanti e di dover utilizzare il minor

quantitativo possibile di agente riducente. Inoltre, la distribuzione della temperatura all'interno di una caldaia ha una notevole influenza sull'usura e sulla durata. Se la temperatura è troppo alta, vi è un rischio elevato che le scorie si depositino sulle pareti e sugli scambiatori di calore in un tempo molto breve. Oltre alla perdita di efficienza dovuta all'effetto isolante, i grumi di scorie possono staccarsi e causare notevoli danni meccanici in caso di caduta. Se la temperatura è troppo bassa, si riduce la velocità di riduzione degli ossidi di azoto. In questo modo l'ammoniaca non si dissolve completamente: si forma uno scorrimento di ammoniaca che porta alla formazione di sali di ammoniaca. Questo aumenta l'usura dell'impianto a causa della corrosione.

Misurazione della temperatura negli impianti di combustione

La misurazione della temperatura nei processi di combustione è piuttosto complessa. La scelta di strumenti di misura adeguati, il posizionamento dei punti di misura e l'interpretazione dei risultati di misura nell'interazione delle condizioni di funzionamento, del combustibile, dell'alimentazione dell'aria di combustione e del riducente rappresenta già una grande sfida per gli esperti ai fini dell'ottimizzazione del processo di combustione.

Molto si basa su conoscenze empiriche e meno su prove fisicamente deducibili. L'origine stessa del combustibile, e quindi il tipo e la composizione, hanno una notevole influenza sulla combustione.

Se, inoltre, una tecnica di misura inadeguata e inaffidabile viene utilizzata per misurare la temperatura nei relativi punti di misura, i modelli matematici e i controlli adattativi non possono realmente funzionare.

Un rilevamento della temperatura stabile e significativo è un prerequisito per una solida base tecnica di controllo.

Misurazioni con termocoppie

In molti casi per la misurazione della temperatura vengono utilizzate termocoppie che misurano la temperatura nell'area di pochi centimetri vicino alla parete. Tuttavia, ciò non corrisponde necessariamente alla temperatura centrale di caldaie di grandi dimensioni fino a 20 x 20 m e in particolare quando le pareti sono dotate di scambiatori di calore. Questo rende impossibile

esprimersi sulla distribuzione della temperatura all'interno della caldaia. Un altro problema delle termocoppie è l'invecchiamento fisico e quindi la deriva degli elementi. A seconda della temperatura del gas e del contenuto di sostanze inquinanti, il valore di misura visualizzato può cambiare lentamente nell'arco di alcune settimane. Questo problema viene minimizzato con punti di misura ridondanti e sostituendo regolarmente i sensori. Ciò comporta costi di consumo permanenti

Inoltre, l'inerzia delle termocoppie con un tempo di reazione di diversi minuti impedisce una reazione rapida alle variazioni di temperatura a breve termine. Di conseguenza, il campo di fluttuazione della regolazione del processo è elevato.

Misurazione con pirometri

Un'altra possibilità per la misurazione della temperatura in una caldaia è l'uso di pirometri. Questi determinano la temperatura dalla radiazione infrarossa emessa da un oggetto da misurare utilizzando la legge della radiazione di Planck. Poiché il tempo impostato dei pirometri è di pochi millisecondi, può essere utilizzato anche per reagire ai rapidi cambiamenti di temperatura. I moderni dispositivi basati sulla tecnologia a luce costante funzionano senza parti in movimento. Sono quindi privi di usura e possono essere utilizzati praticamente a tempo indeterminato.

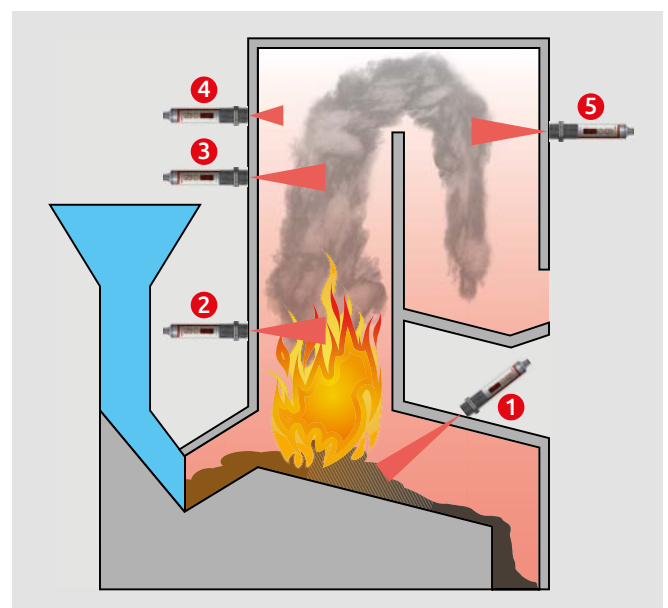


Figura 1 Rappresentazione schematica dei diversi punti di misura in una camera di combustione
 1: letto di braci, 2: fiamma, 3: gas di scarico all'interno della caldaia, 4: gas di scarico nella zona vicino alla parete 5: gas di scarico nel secondo tiraggio

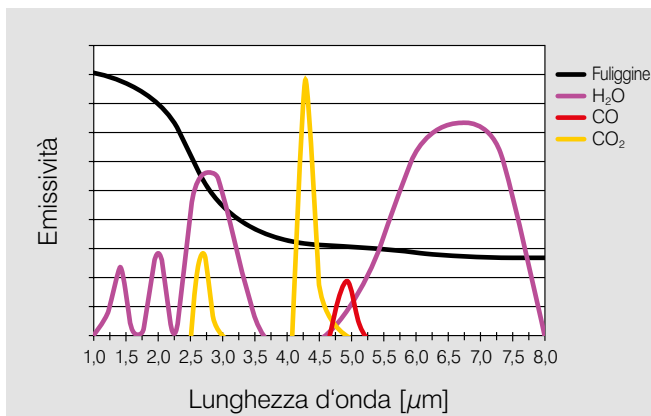


Figura 2 Caratteristiche di radiazione dei gas di combustione

A seconda delle esigenze e delle necessità, i pirometri vengono utilizzati per i vari punti di misura di un impianto di combustione a partire dalla misurazione del letto di brace, delle fiamme, dei fumi caldi o delle pareti (Fig. 1). Si prega di notare che sono necessari diversi tipi di pirometro a seconda dell'operazione di misurazione.

Misurazione del letto di brace

Per la misurazione del letto di brace devono essere utilizzati pirometri che non possono essere influenzati dal gas di scarico caldo nel campo visivo del letto di brace. I dispositivi misurano in una gamma di lunghezze d'onda molto selettiva di 3,9 μm. In questo intervallo, il vapore acqueo (H₂O) e l'anidride carbonica (CO₂) sono trasparenti e non influenzano il valore di misura (Fig. 2).

Misurazione della temperatura della fiamma

I cosiddetti pirometri a fiamma sono utilizzati per la misurazione senza contatto della temperatura delle fiamme di fuliggine. La misurazione si basa sul metodo di misurazione con quoziente, cioè la radiazione infrarossa viene registrata simultaneamente nella gamma del vicino infrarosso a due lunghezze d'onda e la temperatura viene determinata da questa. Un complesso algoritmo dei dispositivi assicura che le fluttuazioni della densità e della dimensione delle particelle siano compensate lungo il percorso di misurazione e non interferiscano con il valore di misura.

Misura della temperatura dei gas di scarico

Il prerequisito per la misurazione pirometrica della temperatura è un oggetto che emetta radiazioni infrarosse. Poiché la concentrazione di particelle nel gas di scarico è piuttosto bassa e non costante, un pirometro convenzionale misurerebbe attraverso il gas un mix della temperatura delle particelle e della parete opposta. Il valore di misura dipenderebbe quindi dalla densità delle particelle in diverse condizioni di carico.

I produttori di pirometri sfruttano quindi le speciali caratteristiche di radiazione dei gas di scarico e hanno sviluppato dispositivi con una sensibilità spettrale compresa tra 4,4-4,8 μm. In quest'area, il gas caldo contenente carbonio ha un'alta densità ottica e quindi buone proprietà di irraggiamento (Fig. 2).

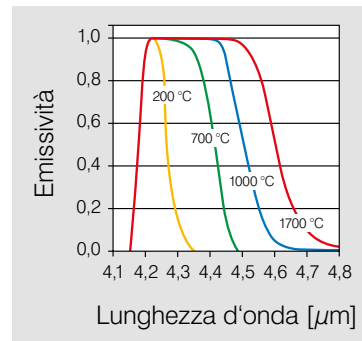


Figura 3 Emissività del gas contenente CO₂ in funzione della lunghezza d'onda e della temperatura

L'emissività del gas di scarico dipende dalla lunghezza d'onda e dalla temperatura. Con l'aumentare della temperatura, la banda di assorbimento si allarga verso il campo delle onde lunghe (Fig. 3). Per la misurazione dei gas di scarico caldi, si dovrebbero quindi scegliere pirometri a banda stretta con un campo

spettrale >4,35 μm, in modo che la radiazione infrarossa del gas CO₂ caldo nel vano caldaia venga rilevata senza essere disturbata dal gas CO₂ freddo vicino alla parete.

Nella zona vicino alla parete, le temperature sono significativamente più basse rispetto al centro della camera di combustione (Fig. 4). A seconda che si preferisca misurare la temperatura nelle vicinanze della parete piuttosto che l'alternativa delle termocoppie o la temperatura decisiva per il processo all'interno della camera di combustione, si devono impiegare pirometri con una profondità visiva minore o maggiore. Poiché il gas non è un riflettore di superficie, ma un riflettore di volume, un pirometro determina un valore medio sulla profondità visiva. La profondità di visibilità dipende dalla concentrazione CO₂ e dalla temperatura del gas caldo.

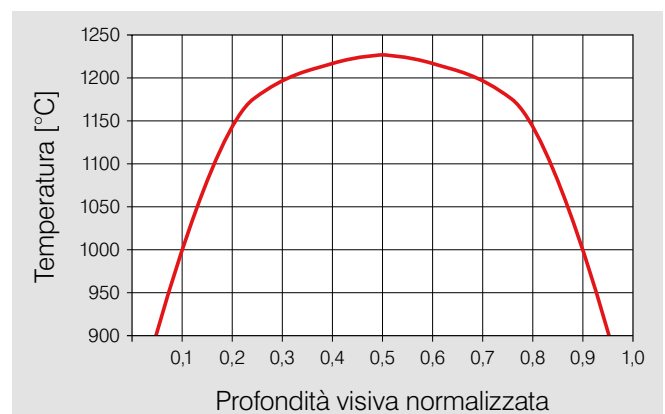


Figura 4 Profilo di temperatura all'interno della camera di combustione

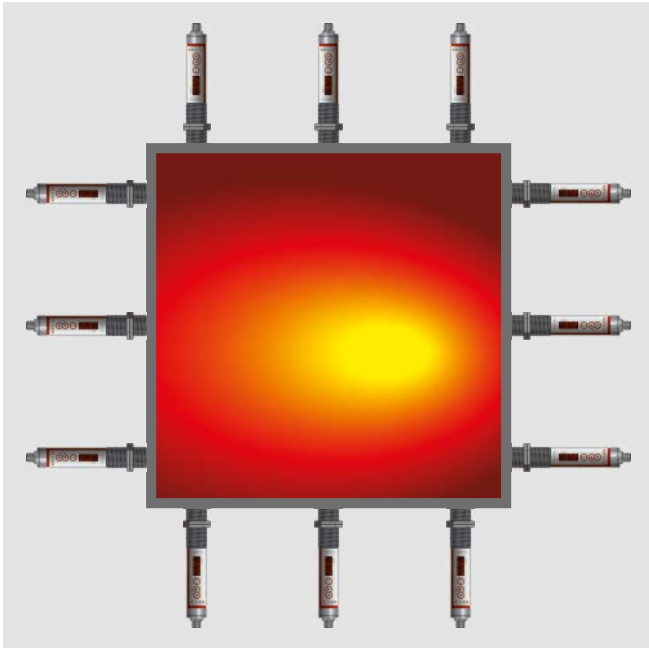


Figura 5 Immagine termica bidimensionale per visualizzare il disallineamento della distribuzione della temperatura

Montaggio e selezione del pirometro

Una distribuzione omogenea della temperatura nel vano caldaia è decisiva per una combustione ottimale e un'usura minima. Un profilo di temperatura bidimensionale è determinato da una matrice di dispositivi. In questo modo è possibile rilevare gli squilibri termici e avviare le opportune misure di cottura primaria (**Fig. 5**).

Nella figura 1 sono rappresentati i possibili punti di misurazione in base all'operazione di misurazione. Nella scelta dei pirometri, è necessario assicurarsi che i dispositivi abbiano un cono

visivo ottico sufficientemente stretto per poter misurare attraverso le aperture del forno, alcune delle quali hanno dimensioni di solo 1 pollice. Recentemente sono stati utilizzati anche pirometri con videocamera integrata che, oltre al valore di misura, trasmettono simultaneamente l'immagine video per il controllo visivo su un monitor nella sala di controllo. Per una misurazione rapida di controllo, il mercato offre ora dispositivi portatili per la rispettiva operazione e punto di misura (**Fig. 6**).

Per rilevare un profilo di temperatura bidimensionale, vengono installati fino a 3 pirometri su un livello per parete. I pirometri con moderne interfacce digitali come IO-Link sono ideali per il collegamento in rete e la trasmissione dati senza interferenze.

Conclusioni

I pirometri, se correttamente selezionati e installati, sono ideali per svolgere le varie operazioni di misurazione della temperatura negli impianti di combustione. Poiché non sono soggetti ad usura o invecchiamento, funzionano in modo affidabile per un lungo periodo di tempo. Grazie al breve tempo di regolazione, è possibile rilevare anche rapide variazioni di temperatura e integrarle immediatamente nel processo di controllo.

A causa della complessità della misurazione della temperatura, tuttavia, è consigliabile ricorrere al supporto di esperti nella scelta dei sistemi di misurazione, nell'analisi dei valori di misura e nell'integrazione nel processo di controllo.



Figura 6 Pirometro compatto con cono visivo stretto e moderna interfaccia digitale IO-Link



Autore

Dipl.-Ing. Albert Book
 KELLER HCW GmbH
 Infrared Temperature Solutions (ITS)
 Tel. +49 5451 85320
 albert.book@keller.de
 www.keller.de/its