

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

618-29 EL FENOMENO DE LA COMBUSTION EN LOS HORNOS ROTATORIOS,
METODOS PARA SU INTENSIFICACION

(Der Verbrennungsvorgang im Drehofen. Wege zu seiner Intensivierung).

Wilhelm Anselm y W. Hans Fritsch.

De: "ZEMENT-KALK-GIPS", número especial nº 5, octubre 1954, págs. 37

- - -

El estudio del proceso de combustión en el horno rotatorio tiene por objeto intensificar la combustión, con el fin de aumentar el rendimiento, mejorar la calidad del producto y disminuir el consumo de calor; al mismo tiempo, los autores intentan determinar las posibilidades que existen. Mediante medidas y cálculos de los balances de calor y de las temperaturas existentes en el horno, así como fijando las dimensiones de los hornos rotatorios, se han podido establecer comparaciones con las calderas de carbón pulverizado. Claro está que las comparaciones no son posibles más que en parte, debido a las diferencias de construcción (velocidad de los gases y llegada del aire secundario).

Los autores consideran detalladamente los combustibles, su preparación y la inyección de la mezcla aire/carbón pulverizado. Hacen constar que muchos hornos rotatorios en funcionamiento no presentan las mejores condiciones de combustión, que dependen de la calidad del carbón; del poder calorífico; del con

tenido en gas; de la finura de molido; de la preparación; del excesó de aire; de la velocidad de inyección; del porcentaje de aire primario; de la relación aire/carbón pulverizado y de la di-rección de la corriente de aire secundario; del tipo de construc-ción del mechero, y del cierre hermético.

Observando los factores citados, se puede mejorar - las condiciones de combustión acortando la llama, pero es preciso tener en cuenta la temperatura obtenida en el revestimiento refractario. Si se presentan dificultades en el revestimiento, se deben, generalmente, a otras causas distintas de la concentración de la llama, como lo prueban los grandes hornos en los cua-les las dificultades son menos numerosas que en los hornos más pequeños, cuyo desprendimiento de calor ($\text{cal/m}^2\text{h}$) es también menor. Sin embargo, será necesario tomar ciertas medidas de precaución que habrán de observarse exactamente; el acortamiento de la llama y la duración de la combustión no entraña grandes dificultades, que se deben, sobre todo, a una velocidad insuficiente de inyección, etc.

Las explicaciones siguientes sobre las reacciones cinéticas se refieren a las características de la estructura de - las llamas, a la distribución de su temperatura, a las correcciones de la teoría de difusión y a la influencia de las superfi-cies específicas del carbón pulverizado y del aceite; todos es-tos factores influyen sobre la dinámica de la combustión, pero no se puede tratar aquí más que de procesos parciales que no dan todavía, de forma completa, la duración de la combustión ni la longitud de la llama.

La teoría de la difusión presupone una cierta demora de formación de la mezcla aire/carbón pulverizado; los autores -

discuten sobre este particular, tomando como base las medidas realizadas en llamas de gas. Se comprueba también que, en la turbulencia anisótropa, la disposición del mechero juega un cierto papel; existe una relación entre el valor del exceso de aire y la distancia de mezcla, es decir, la duración de la mezcla y la intensidad del movimiento de mezcla. La intensidad de formación de la mezcla presenta una estrecha dependencia del gasto de energía mecánica, es decir, de las dimensiones del ventilador y de su presión de transporte (aumento de la resistencia de flujo) y de la disposición de la cámara de combustión.

Sobre la base de la intensidad de turbulencia = valores de cambio, se ve que el desprendimiento de calor ($\text{cal/m}^2\text{h}$) y la duración de la combustión son inversamente proporcionales, mientras que la duración de la combustión y los valores de cambio son directamente proporcionales y que, en las combustiones industriales, hay que tener en cuenta las esferas de turbulencia anisótropas, donde un aumento de la velocidad en el tubo del quemador implica un acortamiento de la llama. La combinación del valor de cambio, de la eficacia de mezcla y del índice de Fourier nos lleva a la noción del índice de mezcla, más favorable en las cámaras de combustión pequeñas. Se obtienen índices de Fourier más elevados, gracias a una distribución inicial mejor del carbón pulverizado y del aire, directamente, a la salida del quemador. Observando lo que ocurre en la superficie sólida del combustible, así como el proceso de formación de la mezcla, se puede llegar a la conclusión de que los tiempos de combustión del carbón pulverizado son más grandes que los calculados sobre la base de los procesos de formación de la mezcla; resulta, pues, que ni los valores teóricos de la difusión, ni las

consideraciones de la teoría de formación de la mezcla suministran indicaciones claras sobre la duración total de la combustión.

Se ha encontrado un método que permite estudiar, fundamentalmente, y con ayuda del índice de mezcla, el problema de la intensificación de la combustión. Una intensificación de la combustión equivale a un acortamiento de la duración total de la combustión, que comprende la duración teórica de combustión -que no se puede modificar con un exceso de aire, una molienda y una temperatura del aire de combustión dados- y la duración de formación de la mezcla. Podemos servirnos del mejoramiento del índice de mezcla así como del aumento de la eficacia específica de mezcla; sin embargo, el método, seguido hasta el presente, y que consiste en rebajar la duración total de combustión por una molienda más fina, no puede tener más que una eficacia restringida.

La eficacia de la mezcla y la duración de la mezcla conducen al índice de mezcla que ha sido calculado para la caldera de carbón pulverizado y para los hornos rotatorios; se ha visto que en los hornos rotatorios más pequeños -con valores, sensiblemente mayores, de velocidad de los gases, en comparación con las calderas, en el desprendimiento de calor ($\text{cal/m}^2\text{h}$), el índice de mezcla alcanza, aproximadamente, el de las calderas de carbón pulverizado, y que los hornos rotatorios más grandes funcionan con una eficacia de mezcla superior. Las longitudes de llama se encuentran aumentadas en los mismos; alcanzan el doble de la longitud de la zona de cocción propiamente dicha.

Por comparación con las calderas de carbón pulverizado, se encuentra que la distribución de carbón pulverizado, su

ministrada por el quemador, es sensiblemente peor, desde el punto de vista de mezcla, en el horno rotatorio, de forma que los índices de Fourier y los índices de mezcla son también menos ventajosos; serían, pues, necesarias, intensidades de mezcla cuatro veces más elevadas para obtener los mismos tiempos de combustión que en el caso de la llama de carbón pulverizado de las calderas.

Las deducciones teóricas sobre los fenómenos de mezcla han sido confirmadas al comparar los enfriadores tubulares, adaptados en la cabeza del horno, y los que se han dispuesto en la base, siendo la primera disposición mejor, en relación con la técnica de mezcla.

A consecuencia de las diferencias de construcción de los hornos rotatorios y de las calderas -diferencias de velocidad de los gases y de las dimensiones de la cámara de combustión- la intensidad de la combustión en los hornos rotatorios queda determinada, ante todo, por la intensidad de turbulencia, y, en las grandes calderas de carbón pulverizado, por la influencia, controlada por el tipo de construcción, y ejercida mediante la distribución aire/carbón pulverizado = índice de Fourier.

El método de mejoramiento de las condiciones de combustión, sobre todo para los grandes hornos rotatorios, se basa, fundamentalmente en la influencia determinada por el modelo de construcción de las condiciones de mezcla de los quemadores y de la llama, en el sentido de reducir los errores de mezcla en la concentración de carbón pulverizado, de la distribución del oxígeno, y de la dirección de la corriente de aire secundario.

Así, la influencia del índice de mezcla sobre la longitud de la llama es un factor dado. En cuanto a los hornos rota-

torios, los mayores reaccionan más intensamente frente al índice de mezcla que los menores; una modificación de 100% del índice -- (que es posible en ciertas circunstancias) implica, en los grandes hornos, un acortamiento de 40% de la llama. En los hornos más pequeños, con una velocidad más reducida de los gases, y utilizándose el mismo índice, el acortamiento de la llama es sensiblemente inferior; no alcanza más que el 12%. Puesto que, en la construcción de los hornos rotatorios, se alcanza forzosamente, en los hornos más grandes, velocidades de gas igualmente más rápidas, estos hornos están particularmente sujetos a la influencia del índice de mezcla. Los hornos más grandes están predestinados a mejoras de construcción del quemador y del hogar, lo que entraña una economía de calor y un aumento de la cantidad de producto vendido; lo mismo se puede decir para los hornos más pequeños, si no cumplen las condiciones normales, como ocurre generalmente. -- Los autores discuten las posibilidades de mejorar la construcción.

En lo que concierne a las dimensiones a fijar, a los estudios de los modelos y a las potencias de aumento de Anselm no se encuentra ninguna modificación. Señalemos, para completar, que las longitudes de llama son, aproximadamente, dos veces mayores que la zona de cocción propiamente dicha, de forma que el desprendimiento de calor (noción auxiliar) queda, proporcionalmente, reducido a la mitad. El desprendimiento de calor ($\text{cal}/\text{m}^2\text{h}$) aumenta, mientras que el desprendimiento de calor ($\text{cal}/\text{m}^3\text{h}$) permanece constante. Los autores muestran, de forma clara, la interferencia de las modificaciones de todos los valores --potencias de aumento--, a medida que las dimensiones de los hornos rotatorios aumentan.

Estos trabajos han permitido aclarar ciertos puntos sobre las leyes fundamentales físicas, y de reunir las relaciones

cuantitativas con los resultados prácticos, lo cual da al constructor nuevas posibilidades. Probablemente, gracias a un material de ensayo más amplio, será posible determinar la parte sistemática del problema para acercarnos a las leyes fundamentales físicas.

S. F. S.

- - -