

Armin Möck. Ingeniero de Ventas y responsable de Cuentas Internacionales. Lechler

Pedro Martín. Ingeniero de Ventas y responsable del Departamento de Medio Ambiente en España. Lechler

Mejore el funcionamiento del enfriador de clínker añadiendo sólo agua

Armin Möck y Pedro Martín, de la compañía Lechler, explican en este artículo cómo los fabricantes de cemento pueden beneficiarse de las inyecciones de agua de emergencia en el enfriador de clínker para controlar el aumento de las temperaturas de los gases.

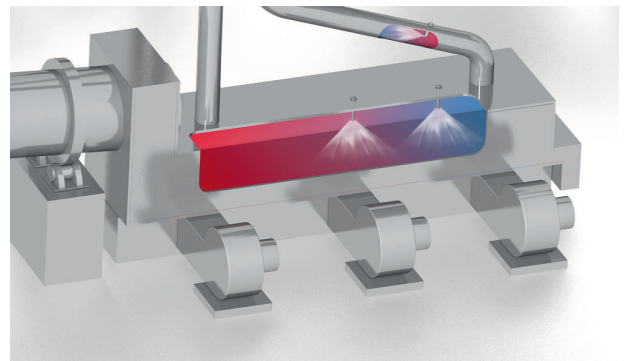
Los enfriadores de rejilla de clínker juegan un papel esencial en el proceso de fabricación del cemento. El clínker de cemento se consigue calentando una mezcla homogénea de materias primas, principalmente piedra caliza molida, en un horno rotatorio a altas temperaturas. Los productos derivados de la reacción química se suman a su temperatura de sinterización de aproximadamente 1.450 °C.

Debido a la inclinación del horno rotativo, el cemento crudo cae constantemente del extremo inferior del mismo hacia el enfriador de clínker situado más abajo. El clínker normalmente se forma en grumos o nódulos de 3 mm (0,12 pulgadas) a 25 mm (0,98 pulgadas) de diámetro.

Las aberturas de las rejillas permiten que el aire del ambiente, que es presurizado por ventiladores instalados debajo, fluya hacia arriba a través de la cama del clínker para enfriarlo a una temperatura ideal de entre 100 a 120 °C antes de que salga del refrigerador para almacenarlo en silos hasta que se muele para conseguir el producto final: cemento.

¿Por qué se necesita clínker frío?

El producto final tiene que estar frío al final del proceso de fabricación. El enfriamiento del clínker es muy importante, especialmente teniendo en cuenta que la posterior molienda del clínker para su transformación en cemento agrega energía térmica adicional al producto debido a la fricción de las bolas de acero de la molienda con el clínker. Además, las altas temperaturas del clínker son incompatibles con el proceso de molienda del cemento. Si el clínker está demasiado caliente al entrar en el molino



Esquema de un enfriador de clínker.

de cemento, producirá un aumento de las temperaturas finales del mismo, lo que puede dañar los sacos de cemento y provocar problemas en el proceso de mezcla del hormigón si el cemento se usa de inmediato.

Además, el enfriamiento del clínker es importante para evitar daños costosos en equipos como cintas transportadoras de goma, conductos, ventiladores y equipos de filtración de polvo.

Parte del aire del enfriamiento que sale del espacio interno del enfriador de clínker (por encima del lecho del clínker) con una temperatura muy elevada, de hasta 400 °C, va al quemador del horno como 'aire secundario' y como 'aire medio' para otros procesos como la molienda de carbón.

El resto del aire es 'aire de escape' que es conducido a un dispositivo de filtración de polvo y luego se libera prácticamente libre de polvo. En muchas plantas de cemento, los precipitadores electrostáticos (ESP) para la filtración del polvo todavía están en uso, pero debido a las actuales regulaciones legales más estrictas, son los filtros de manga (BHF) de última generación los más comunes.

Las temperaturas habituales del gas en el filtro son de entre 200-250 °C, a veces 300 °C, dependiendo del tipo de filtro y el material de las mangas. Este flujo de clínker en el enfriador y su enfriamiento es, teóricamente, un proceso permanente que se produce normalmente sin grandes fluctuaciones.

Los picos de temperatura del gas de salida ocurren cuando la cantidad de sólidos que cae en el enfriador de clínker aumenta muy rápidamente. Esto puede suceder cuando:

- Se produce un fognazo de horno: se elimina el bloque de un ciclón en la torre del precalentador, pudiendo fluir muy rápidamente hasta 20 toneladas de materia prima a través del horno hacia el enfriador de clínker.
- A ciertas temperaturas y bajo ciertas condiciones químicas, el clínker que se ha acumulado en una parte en concreto de la pared interior del horno (formando lo que se denomina un 'anillo') puede desprenderse y caer en el enfriador del clínker.

Posteriormente, la temperatura del aire de escape puede aumentar muy rápidamente a 500-600 °C. El lector puede imaginarse que esto produce graves daños, ya sea en las carcassas de acero de los ESP o en las mangas textiles de los BHF, sin mencionar la tensión causada en los conductos de acero y los ventiladores. El reemplazo de un conjunto completo de mangas textiles y un filtro destruido podría ser extremadamente costoso.

Además de estos picos de temperatura de gas de emergencia a corto plazo, las altas temperaturas del gas de salida son un problema que se desarrolla lentamente a lo largo de los años debido a los aumentos de producción adicionales de clínker sin una inversión en un enfriador de clínker de mejor rendimiento. No es raro que estos enfriadores de clínker de tamaños insuficientes y sobrecargados usen la inyección de agua más allá de las situaciones de emergencia, o incluso mantengan la inyección de forma permanente.

Inyección de agua de emergencia

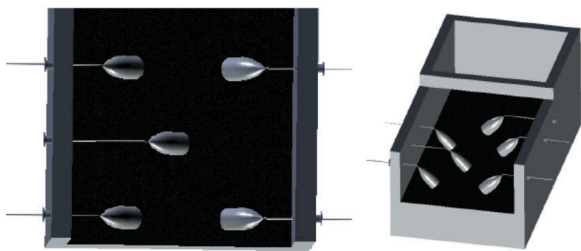
Para evitar daños muy costosos, muchos enfriadores de clínker están equipados con un sistema de inyección de agua de emergencia. Estos sistemas se encienden automáticamente cuando los termopares ubicados en el conducto del gas saliente detectan temperaturas del gas significativamente altas, pero no dañinas.

Los tubos con boquillas en el extremo, las llamadas lanzas, se instalan en el refrigerador. Las lanzas están conectadas a una bomba de agua, proporcionando la presión de agua necesaria. En caso de emergencia, las bombas de agua cercanas se encienden y en un tiempo de 3 a 5 segundos las lanzas inyectan un spray fino de agua en el espacio del enfriador de clínker entre la superficie de la cama de clínker y el techo. La entalpía de evaporación del agua enfría el gas muy rápidamente.

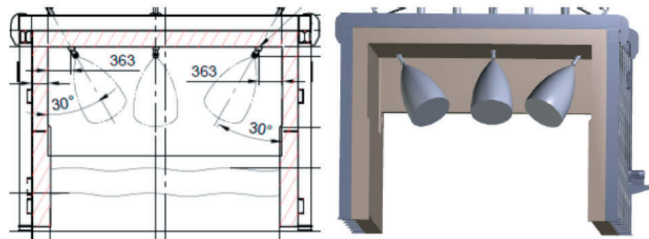
Colocación de las lanzas de inyección de agua

El proceso de ingeniería es clave para determinar los puntos en lo que situar las lanzas, esencial para alcanzar la fiabilidad del sistema de inyección. Los requisitos a considerar incluyen:

- El 'aire secundario' (y el 'aire medio' ocasionalmente existente) que deja el clínker más frío en la abertura cerca del extremo del horno tiene que estar lo más caliente posible para mejorar la eficiencia térmica del horno. Por lo tanto, el spray de agua no debe enfriar este 'aire secundario'. Antes de que se pueda fijar la ubicación horizontal de las lanzas, debe saberse dónde está la 'línea de separación' del aire de enfriamiento dentro del enfriador de clínker. Lógicamente, no se debe instalar ninguna boquilla en la sección donde está presente el 'aire secundario'. El fabricante del enfriador de clínker sabe exactamente dónde está la línea de separación debido a los elaborados estudios CFD. En el caso de una línea de separación flexible, la ubicación de las lanzas debe fijarse en colaboración con el usuario final.
- Las gotas de agua no deben llegar al lecho del clínker para evitar la reacción con el cemento que reduciría las propiedades de unión del cemento y, por lo tanto, su calidad. La colocación y alineación de las boquillas es una parte crucial del diseño de dicho sistema de inyección.
- Los conos de pulverización de las boquillas no deben interferir entre sí. Esto podría conducir a una acumulación de agua y podría generar gotas más grandes que necesitarían más tiempo de estancia para evaporarse.
- La ubicación vertical de las lanzas también es un parámetro a considerar. Para evitar acumulaciones en el techo, las boquillas a menudo se instalan lo más bajas posible. Sin embargo, podría ser que una pila de clínker que se mueve a través del enfriador tocara e incluso doblara las lanzas. Además, el tiempo de estancia de las gotas es mayor cuando salen de la boquilla a cierta distancia por encima de la cama de clínker.



Vistas de la planta (izquierda) y el 3D (derecha) de la instalación en paredes.



Vistas del interior de un enfriador clinker y las lanzas de inyección.

La regla general al determinar la posición de la lanza es obtener el mayor tiempo de estancia posible desde la boquilla hasta la salida del enfriador de clinker. La evaporación completa de las gotas de agua debe lograrse dentro del enfriador de clinker y no en el conducto de gas saliente.

Cuando se definen las posiciones de las boquillas, se debe fijar la ubicación de las lanzas. Se pueden instalar en las paredes laterales o en el techo del enfriador de clinker. La posición de las lanzas depende del ancho del enfriador de clinker y del espacio libre potencial sobre el enfriador. Este espacio es necesario para la instalación de las lanzas y permitir tener un acceso para la realización de las labores de mantenimiento.

enfriador de clinker sólo unos pocos tipos de boquillas han demostrado ser exitosos.

Caudal de inyección y número de lanzas

El rango común para el volumen de agua inyectada es de 3 a 30 m³/h de agua con el uso de 2 a 6 lanzas. Se pueden inyectar cantidades aún mayores de agua en grandes enfriadores de clinker.

Tipos de boquillas

Se han instalado muchos tipos diferentes de boquillas en los refrigeradores de clinker a lo largo de los años, sin embargo, desde la introducción de la inyección de agua en el

Protección de boquillas

Dado que las boquillas están en funcionamiento de forma discontinua, pero se instalan permanentemente en el ambiente caliente dentro del enfriador de clinker con una alta carga de polvo de cemento, deben protegerse de las

Tabla 1. Tipos de boquillas.

	Hidráulica de cono lleno	Aire-agua	"Spillback" – Alta presión con retorno
Presión del agua (bar)	2-10	3-5	35
Tamaño de las gotas	Grueso	Muy fino	Fino
Número de boquillas instaladas	6-12	2-4 (6)	2-4 (6)
Concepto del control	Cascada (boquillas abiertas/cerradas)	Lineal/sin escalas, Relación de caudal: 15:1	Lineal/sin escalas. Relación de caudal: 12:1
Ventajas	Bajos costes de inversión	La regulación es muy precisa y rápida, y se necesitan menos lanzas	La regulación es muy precisa y rápida, y se necesitan menos lanzas, así como el uso de una sola válvula de control
Desventajas	Muchas lanzas, control inexacto, muchas aberturas para las lanzas necesarias, boquillas que tienden a obstruirse, muchas válvulas de encendido/apagado en funcionamiento	Se necesita aire comprimido, los costes de inversión son más elevados, hay que controlar el aire y el agua, y la pulverización fina puede ser llevada a las paredes por el flujo de gas	Mayores costes de inversión
Comentarios	Diseño anticuado	El aire aumenta los costes de funcionamiento	El sistema más común hoy en día



*Patrón de pulverización de una lanza
Spillback.*



Equipos de bombeo y control sobre bastidor.

acumulaciones de polvo durante los tiempos sin inyección de agua. Esto se puede hacer con un ventilador pequeño (uno para todas las boquillas) que proporciona una presión de aire de 50 a 80 mbar y un flujo constante de aire de protección. Tan pronto como la inyección de agua comience a funcionar, una válvula de tres vías cierra el aire de protección y abre el flujo de agua.

Después del período de inyección, se debe evitar que el agua restante dentro de la lanza se evapore, lo que llevaría a la deposición de los componentes minerales del agua dentro de la lanza y de la boquilla. Después de varias de estas secuencias de secado, esta capa mineral podría aumentar, caerse y bloquear las boquillas. Con una breve toma de aire comprimido después de detener el sistema de inyección, las lanzas y boquilla se pueden drenar por completo. Esta secuencia de inyección de agua, drenaje y aire de protección está totalmente automatizada.

Equipo necesario

Lanza de inyección:

- Material: acero inoxidable resistente al calor (hasta 1.000 °C).

- Características especiales del diseño:
 - Simple y robusto.
 - Tubo de protección de la pared grueso para soportar impactos mecánicos.
 - Longitud de la proyección dentro del enfriador de clínker ajustable.
 - Brida de liberación rápida que permite un fácil acceso.
 - Las lanzas se pueden desmontar y mantener durante el funcionamiento normal del horno de cemento.
- Aire de protección fuera de la lanza y dentro del tubo de protección.

Bomba y control de la inyección:

- Características especiales:
 - Montaje y prueba de presión en el taller.
 - Corto periodo tiempo para la puesta en marcha.
 - La información sobre el volumen de agua inyectada debe estar disponible en la sala de control central.