utilisation de l'Aérofall pour le broyage dans les cimenteries

utilización del "Aerofall" para la molienda en las fábricas de cemento

A. TÉMOIN, Ingeniero

Revue des Matériaux. N.º 593

introducción

Desde hace 15 años se viene utilizando la automolienda combinada con el secado. Su aplicación a la preparación de las materias utilizadas en las fábricas de cemento y en las de cal y yeso es, sin embargo, reciente.

En Gran Bretaña se han montado dos instalaciones con Aerofall puestas en funcionamiento en 1962 y 1964, para la preparación de 180 a 200 t/h de materias primas de cemento. El Aerofall recibe las calizas y los esquistos húmedos de 0-250 mm y proporciona directamente y por separado: 25 a 30 % de harina de 89 micras y 70 a 75 % de finos 0-1,5 mm que vuelven a molerse en un molino tubular de bolas.

La instalación del Aerofall ha dado lugar a una disminución de un 25 a un 35 % de la energía consumida y en el desgaste de los blindajes y bolas si se comparan con las unidades clásicas. La sencillez de funcionamiento y la ausencia de polvos son también muy significativos.

Actualmente se encuentran en montaje otras dos instalaciones en Gran Bretaña y Noruega.

El Aerofall se ha concebido asimismo para la molienda de clinker, el tratamiento de caliza para fábricas de cal y de algez para fábricas de yeso.

1. principio de funcionamiento del molino Aerofall

El aparato se compone de un cilindro de gran diámetro, de eje horizontal, provisto de paletas interiores en su periferia. Este cilindro gira sobre dos ejes huecos (fig. 1).

Fig. 1.—Esquema de una instalación de molienda Aerofall.

El material a moler entra por uno de los ejes y cae en el interior del aparato. Aquél es arrastrado por dichas paletas que lo elevan para dejarlo caer nuevamente. El choque del material sobre sí mismo, aumentado por los choques internos debidos a los rebotes sobre los costados del aparato, realizan la adecuada molienda.

Una pequeña carga de bolas de acero regulariza la molienda, aumenta su producción y la independiza de las variaciones de granulometría del material que entra en el aparato. Como consecuencia de la forma interior del Aerofall, las bolas y los trozos grandes de roca a moler suman, al efecto de automolienda, un efecto de trituración en el interior del aparato.

El efecto de molienda en el Aerofall es, pues, la combinación de tres fenómenos diferentes y complementarios:

- el efecto de la forma interna del aparato;
- la molienda mediante una pequeña carga de bolas: 5 a 6 % como máximo del volumen del aparato, carga que, debido a su dispersión en la masa, actúa por percusión y no por abrasión;
- la acción de los grandes trozos que aplastan a los pequeños y que se aplastan entre sí (automolienda).

Según la granulometría de los productos a la entrada, una u otra de estas acciones se hace preponderante. En particular, los trozos grandes pueden sustituir a las bolas y reducir así su cantidad a menos del 1 % del volumen del aparato.

Por el contrario, si los productos a la entrada son de granulometría más baja, la acción de las bolas se hace preponderante y la molienda tiene lugar por la acción de una pequeña carga de bolas, en un aparato de forma adaptada, que gira a un porcentaje muy próximo al de la velocidad crítica. Esta acción es un fenómeno muy particular, que ha

sido objeto de una parte de las patentes. Ello explica la adaptación del Aerofall para moler toda clase de productos, incluso de granulometría fina.

Una vez realizada así la molienda, los granos pasan por el otro eje, a medida que alcanzan la granulometría apetecida, arrastrados por una corriente de aire que atraviesa el aparato.

A la salida los productos son recibidos:

- por un clasificador que separa los granos;
- por ciclones donde se recogen los productos finos.

Se puede calentar el aire o el fluido gaseoso que atraviesa el molino, lo cual permite efectuar simultáneamente la molienda y el secado de los productos.

Después de pasar por los ciclones, una parte del aire puede ser recirculado. El resto se expulsa al exterior después de desempolvarlo totalmente, bien en un “Venturi Scrubber”, o bien en una batería de filtros de mangas.

Un cerebro electrónico completo asegura el automatismo de funcionamiento del Aerofall y estabiliza la molienda cualesquiera que sean las variaciones de humedad y granulometría de los materiales de la alimentación.

II. ejemplo de una instalación clásica de molienda de caliza

Esta instalación, situada en Cauldon (Inglaterra), se ha completado con el montaje de un molino Aerofall. Ella estaba constituida, antes de su transformación, por los siguientes elementos:

- un triturador primario regulado para 125 milímetros;
- dos trituradores secundarios de cuatro cribas intermedias con calefacción;
- un secadero.

Acabado de la molienda en:

- un molino de bolas de doble compartimiento con una carga de bolas de 40 a 110 mm y con una producción de 44 t/h con el 15 % mayor de 0,074 milímetros;
- molinos de otro tipo que producían alrededor de 64 t/hora.

Además, se utilizaba un molino especial para los esquistos.

En total se tenía un consumo eléctrico de 24 kWh/t y un consumo de calor valorado en 72 kcal/kg de materia prima tratada.

III. nueva instalación Aerofall

La instalación descrita se ha completado con el montaje de un molino Aerofall de 23 pies, lo cual ha implicado las siguientes modificaciones:

El triturador primario aumenta su abertura a 250 milímetros.

Los dos trituradores secundarios, las cuatro cribas calentadas, el secadero y el molino de esquistos han sido suprimidos.

El Aerofall de 7,2 m de diámetro interior se alimenta, pues, con los fragmentos de 0-250 milímetros procedentes del triturador primario.

Del clasificador y del separador primario del aparato salen los productos gruesos:

150 t/h con un 16 % < 0,089 mm y alrededor de un 50 % < 0,3 milímetros.

Del ciclón salen los productos finos:

25 t/h con 96,5 % < 0,089 milímetros.

Del filtro de mangas salen los productos muy finos:

6 t/h inferiores a 0,09 milímetros.

La finura mucho más elevada de la alimentación hace aumentar la capacidad de los molinos de acabado:

- el molino de bolas pasa de una producción de 44 a 75 t/h con tan sólo bolas de 40 milímetros;
- la capacidad de los otros molinos pasa de 64 a 100 t/hora.

Actualmente la producción de la instalación puede situarse entre 188 y 190 t/h, volviéndose a molturar:

75 t/h en el molino de bolas de dos cámaras;

74 a 75 t/h en los otros molinos.

Una parte de los otros molinos no está en funcionamiento.

En la producción actual está comprendido un 20 % de esquistos con un 17 % de humedad que se introducen mezclándolos con calizas que tienen un 5 % de humedad.

El secado del conjunto caliza + esquistos a menos de un 1 % de humedad se realiza, simultáneamente con la molienda, gracias a una cámara de combustión con una potencia calorífica de $9,6 \times 10^6$ kcal/hora.

El esquema del principio y los detalles sobre su potencia pueden verse en la figura 2.

resultados de esta primera instalación

La instalación Aerofall ha sido puesta en servicio en junio de 1962 y funciona industrialmente en tres turnos.

El molino Aerofall consume 5,2 kWh/t para la molienda y 2,6 kWh/t para la separación por aire, el filtro de mangas y otros servicios auxiliares.

El acabado de la molienda en los diferentes molinos consume de 7 a 7,4 kWh/t, refiriéndose esta cifra a la producción total de la instalación.

Se alcanza así un consumo de 15 a 16 kWh/t en lugar de 24 kWh/t en el circuito clásico precedente, o sea, una economía del 35 % con una caliza particularmente dura.

Fig. 2.—Molienda de caliza en Caudon. Esquema de principio.

El consumo de combustible es de 5,4 kg/t de fuel-oil, o, lo que es lo mismo, 57 kilocalorías, en lugar de 72 como ocurría con el antiguo circuito.

El desgaste es de 112 g/t de bolas de acero forjado y de 45 g/t de acero al manganeso, es decir, una reducción del 40 al 50 % si se compara con el circuito clásico antes de la reforma.

IV. descripción de una instalación aerofall concebida para la molienda de calizas

El complejo precedente es una antigua instalación completada y modificada. Cerca de Dunbar, en Escocia, la misma Sociedad ha puesto en servicio, en septiembre de 1963, una instalación concebida para la utilización del Aerofall.

Ella está constituida por:

- una machacadora primaria con reducción hasta 250 mm en la cantera;
- un almacén para la caliza, complementado con silos destinados a las adiciones de arcilla, arena y pirita;
- un Aerofall de 23 pies con su clasificador habitual a la salida;
- un molino de bolas destinado a refinar las fracciones gruesas.

Los productos que salen de los ciclones y de los filtros del Aerofall a razón de 30 t/h tienen una finura de un 98 %, que pasa por el tamiz de 89 micras y se consideran productos acabados.

Los productos que salen del clasificador y del ciclón primario a razón de 120 t/h tienen una finura de un 52,5 %, que pasa por el tamiz de 0,295 mm. Una parte, o sea, unas 90 t/h se refina en el molino de bolas, el resto, es decir, unas 30 t/h aproximadamente, se remueven en el Aerofall.

En definitiva, el producto acabado llega a una finura de un 87,5 % inferior a 0,089 milímetros.

El conjunto tiene la disposición que se muestra en la figura 3.

Fig. 3.—Molienda de caliza en Dunbar Works. Esquema de principio.

resultados obtenidos en esta instalación

La planta se ha previsto para la molienda de 125 t/h en la primera etapa y de 180 t/h en la segunda etapa con dos molinos de bolas.

La producción ha aumentado constantemente desde la puesta en marcha y actualmente está al nivel de 125 t/h previstas para la primera etapa.

El molino Aerofall consume 8 kWh/t en la molienda y 3,7 kWh/t para la separación por aire, para la combustión, el ventilador del filtro de mangas y el resto.

El refinado en el molino de bolas consume 9,5 kWh/t, de las cuales 2,7 kWh/t son para la selección en los separadores de aire, refiriéndose estos datos a la producción total de la instalación.

Se alcanzan así los 21 kWh/t en comparación con los 30 kWh/t necesarios para la molienda por el método clásico con este material de gran dureza.

El consumo de combustible es de 2,3 kg/t de fuel-oil pesado para una humedad media de alrededor del 2 %, del cual las arcillas tienen un 7 % de humedad, y el producto secado, menos de 0,5 % de humedad.

Los desgastes son de 115 g/t de bolas de acero forjado y de 45 g/t de acero al manganeso.

La APCM, después de un año de experiencias, ha decidido construir una nueva fábrica de cemento en Weardale, en pleno centro de Inglaterra, equipándola igualmente con un Aerofall de 23 pies.

La sencillez de la instalación, los reducidos tiempos de parada y los bajos costos de funcionamiento y mantenimiento han sido los factores predominantes para su elección.

V. ensayos con calizas francesas

Las calizas que se utilizan en Francia y en Europa son, en general, más blandas que las inglesas.

Se han hecho ensayos con calizas de diversas procedencias y se ha llegado a las siguientes conclusiones:

Como molino primario, es decir, seguido de molino de refino, un Aerofall de 17 pies daría una producción próxima a las 100 t/h con:

- un 50 % aproximadamente de producto acabado con 90 % inferior a 88 micras;
- alrededor del 50 % de material situado entre 0,09 y 0,8 mm con un 60 % inferior a 0,3 mm que tienen que refinarse.

El consumo del molino será de alrededor de 3 kWh/t y la instalación Aerofall completa (secado, molienda, ventiladores, separación de polvos) consumirá de 6 a 7 kWh/tonelada.

El refino de los productos gruesos consumiría, según los casos, de 7,5 a 10 kWh/t que pase al molino de acabado.

Fig. 4.—Conjunto del molino Aerofall de 23 pies en Dunbar.

Fig. 5.—El mando centralizado del molino Aerofall de Dunbar.

Fig. 6.—Ventilador principal, selectores Sturtevant y filtros de mangas de la instalación de Dunbar.

En total, se llega a un consumo de 10 a 12 kWh/t contra 15 a 17 kWh/t, consumo medio real de numerosos tipos de molinos.

Los desgastes totales serían de 100 a 150 g/t de bolas de acero forjado y de 22 a 30 g/t de acero al manganeso para los blindajes. En ciertos casos, éstos serán todavía más bajos.

En el caso de molienda previa a un tratamiento del tipo del Humboldt se requiere una finura del 82 % inferior a 100 micras, y es posible moler todo en el Aerofall sin molino de

bolas para refino. Se llegaría a producciones de 100 a 120 t/h empleando un molino de 21 pies, con un consumo de 7 kWh/t aproximadamente para la molienda y de 11 a 12 kWh/t para la instalación completa.

Los desgastes llegarían a ser de 80 a 120 g/t de bolas y de 20 g/t de blindaje de acero al manganeso.

VI. ensayos con escoria granulada

Se ha molido escoria granulada de horno alto de 0-2,5 milímetros.

A la salida del Aerofall, los productos del multiciclón y del filtro, o sea, del 8 al 10 % de la producción, están acabados con una finura Blaine de 3.500 cm²/gramo.

El producto del ciclón es tal que el 70 % resulta inferior a 0,160 mm y se encuentra en las proximidades de un Blaine de 700 cm²/g. Para moler este producto a una finura Blaine de 3.500 cm²/g, basta gastar 50 kWh/t en lugar de 64 a 70 kWh/t en el producto global.

En total se llega a 57 kWh/t contra 64 a 70 kWh/t para la molienda y el secado del producto todo uno.

Se tiene, por tanto, una economía en la energía del 11 %, como mínimo, al 19 %, como máximo, con la utilización del Aerofall para un producto que no se muele por sí mismo.

VII. ensayo de molienda de clínker

En Noruega se han efectuado ensayos de molienda de clínker con el Aerofall.

Estos han demostrado que el Aerofall de ensayo de 5 pies, podía producir 0,580 t/h de clínker molido que pasaba todo él por 1,2 mm y conteniendo un 38 % de finos inferior al tamiz de 0,074 milímetros.

Igualmente es posible obtener 0,400 t/h de clínker molido con un 45 % de finos inferiores a 0,074 milímetros.

Basándose en este ensayo último, un Aerofall de 23 pies, con una potencia instalada de 1.520 kW, proporcionaría una producción de 110 t/h de producto molido con un 45 % in-

ferior a 0,074 mm y un consumo de 11,1 kWh/t para el molino, y los siguientes desgastes:

150 g/t de bolas de acero forjado, y

21 g/t de acero al manganeso para el revestimiento.

VIII. ensayo de molienda del yeso

Una importante serie de ensayos realizados con más de 40 t de yeso de la región parisina ha mostrado que este producto se puede tratar muy bien en un Aerofall.

Partiendo de la materia prima, tal como viene de la cantera, se obtiene, mediante una sola pasada, un producto molido con un 95-99 % inferior a 0,5 milímetros.

Este producto, perfectamente apto para la alimentación de los hornos que han de transformarlo en yeso, se obtiene con un consumo de energía eléctrica del orden de 1,6 a 2 kWh/t, siendo necesario, cuando se emplean los aparatos habituales de serie, de 4 a 5 kWh/t, aproximadamente.

Es posible la obtención de grandes producciones, puesto que un aparato de 15,5 pies proporcionaría de 150 a 300 t/h según el producto y la granulometría que se desea obtener.

Para un 90 % de producto inferior a 0,315 mm, un molino de 17 pies daría una producción de 220 t/h con un consumo de 2,6 kWh/t para toda la instalación, comprendido el secado.

IX. precio comparado de una instalación Aerofall

Con relación a los molinos de percusión, el Aerofall se distingue por la ausencia de martillos o elementos golpeadores, órganos siempre frágiles y sometidos a desgaste. La separación por aire proporciona una banda granulométrica mucho menos amplia, y la ausencia de batidores o martillos crea un desgaste mucho más reducido. Se evitan los molinos en serie y los cribados intermedios.

Comparado con los molinos de bolas, el Aerofall se distingue, esencialmente, por su bajo porcentaje de bolas: del 1 al 6 % del volumen, contra el 25 al 40 % en los molinos habituales. Para una producción igual, el peso de las bolas que tienen los aparatos se encuentra, a veces, en la relación 1:10; el desgaste de bolas y de blindaje se reduce, a tal efecto, en relaciones muy importantes: de 2 a 8 veces menos, según las aplicaciones.

Las bolas utilizadas en el Aerofall trabajan por percusión y no por abrasión. Gastar energía para elevar los productos en grandes trozos que se muelen a sí mismos y muelen a los demás, en lugar de bolas más densas que no se muelen, es lo que explica la economía considerable de energía eléctrica que de ello resulta. Para una instalación completa, dicha economía varía, según los casos, entre el 20 y 40 %; ésta se sitúa alrededor del 20 al 30 % para la molienda de calizas.

Con respecto a los molinos con piedra de sílex, el Aerofall admite una banda granulométrica mucho más amplia a la entrada, de 0-250 ó de 0-500 mm, y consume menos energía eléctrica para la separación con aire de los productos, debido a una pérdida de carga mucho más pequeña. A esto hay que añadir la ausencia de guijarros que trabajan en contacto directo con el producto.

En fin, en lo que se refiere a los molinos autógenos, de forma interior diferente y que trabajan sin bolas, el Aerofall se caracteriza por una molienda más completa y una producción más alta para un diámetro del aparato igual, lo cual conduce evidentemente a un gasto de energía más bajo.

En resumen, los elementos que influyen favorablemente sobre el precio del Aerofall son:

Personal: un solo obrero para la supervisión de la instalación, cualquiera que sea el volumen de ésta.

Energía eléctrica: economía de un 20 a un 30 % para la molienda de calizas destinadas a las fábricas de cemento.

Es preciso hacer constar la posibilidad de arrastrar el molino por medio de un motor síncrono que permita, si es necesario, mejorar el coseno φ de la fábrica.

Mantenimiento: economía de un 30 a un 40 %:

- por una parte, debido a la ausencia de elementos que trabajan en contacto con el producto, fuerte disminución en el desgaste de bolas y mayor duración de los revestimientos interiores;
- por otra parte, como consecuencia de la mayor sencillez de las instalaciones, ya que no precisan ni cribas ni aparatos de alimentación entre los molinos que se disponen en serie.

X. conclusiones

Las diferentes instalaciones descritas, así como los numerosos ensayos realizados, muestran el gran interés del Aerofall para la molienda de los productos destinados a las fábricas de cemento.

El precio de adquisición de un molino Aerofall es, generalmente, más elevado que el de los molinos elementales, puesto que se trata de una instalación completa en la cual está comprendido el circuito de alimentación de los productos y su regulación automática. Ahora bien, todos los ejemplos que se han expuesto demuestran que la inversión total se reduce alrededor de un 20 %, a causa de un conjunto más compacto que da lugar a edificaciones más pequeñas y a la ausencia de alimentadores intermedios entre los diferentes aparatos. La economía es particularmente importante cuando se trata de aumentar la capacidad de una instalación ya existente.

En todos los casos, el funcionamiento de la instalación es enteramente automático, y un solo obrero por turno sirve para asegurar la vigilancia. Como la instalación tiene un sistema de alarma, ya que se para automáticamente en caso de accidente, este obrero puede efectuar otros trabajos, tales como los de limpieza y toma de muestras.

La conservación se ha reducido al mínimo: un turno de 8 horas con 9 hombres por semana en una instalación grande. La sustitución de los blindajes internos, cuando se crea necesario, es fácil, puesto que el molino se encuentra en sus dos terceras partes vacío. Los obreros pueden introducir fácilmente las piezas del blindaje por ser el eje de gran diámetro, trabajan de pie y están a su alcance con facilidad todas las piezas.

Los costos de funcionamiento y conservación son muy reducidos, y ello explica el éxito que el Aerofall ha tenido en las fábricas de cemento de Inglaterra, Noruega y Asia. Una misma Sociedad puso en funcionamiento en 1965 su tercer molino Aerofall de 23 pies para la molienda del crudo. Los tres aparatos han sido encargados con dos años de intervalo cada uno, teniéndose en cuenta la experiencia y los resultados adquiridos con la primitiva instalación.

Traducido por C. Sánchez Castro