

extractos de revistas técnicas

■ la molienda de materias primas y de cemento

H. SCHNEIDER

Zement-Kalk-Gips, n.º 2, febrero 1968, págs. 63-72

Los trituradores de martillos representan la máquina de fragmentación primaria más extendida en la industria cementera de la República Federal Alemana. Para el secado y molienda combinados se emplean preferentemente instalaciones que comprenden molinos tubulares, frecuentemente con una instalación previa de molinos de martillos con calefacción. Los molinos a percusión, que producen aproximadamente el 12 % del crudo consumido en esta industria, pueden absorber gran cantidad de los gases de escape, su alimentación debe hacerse con materiales más gruesos que en los molinos tubulares, y se conforman, para su único trabajo de fragmentación, con un consumo energético más modesto.

Hoy día se emplea también en la industria cementera el molino Aerofall para la molienda, combinada con secado, de materiales muy húmedos y pegajosos.

La molienda de cemento se hace principalmente en circuito cerrado, en molinos con más de 2,80 m de diámetro. Casi la mitad del cemento se fabrica en instalaciones de circuito cerrado. El mayor molino de cemento de la República Federal Alemana mide 4,00 metros de diámetro, 14 m de longitud y consume 2.700 kW. La capacidad de producción de todos los molinos de cemento alcanza los 42.000.000 t/año de cemento portland normal.

Los separadores en circuito cerrado de nueva concepción, nuevos tipos de blindaje para los molinos, así como el sistema motor sin reductor para los grandes molinos tubulares, prometen importantes mejoras, tanto en el campo de la ingeniería química como en el campo económico.

Los aditivos de molienda son ventajosos, sobre todo para la molienda de cementos con superficie específica elevada.

Es difícil establecer un criterio sobre las instalaciones de molienda, a causa del gran número de factores de influencia. Investigaciones fundamentales confirman el interés, desde el punto de vista de la fragmentación, de una reducción previa antes de la entrada al molino tubular.

estado actual de la técnica de la ingeniería química en el campo de la fabricación de cemento

A. BELLWINKEL

Zement-Kalk-Gips, n.º 2, febrero 1968, págs. 49-55

El autor hace una puesta a punto del estado actual de los procedimientos de fabricación de cemento en la República Federal Alemana, en lo que concierne a factores tales como el consumo de combustible, consumo de energía eléctrica y costo de la mano de obra. La vía húmeda, dado su consumo importante de combustible, se abandona más cada día.

Incluso, las materias primas con un grado elevado de humedad en su origen, pueden tratarse con un consumo de unas 800 cal, gracias al empleo de molinos-secaderos con recuperación del calor perdido en los gases de los hornos.

Las unidades con capacidad de producción cada vez más importante alcanzan producciones del orden del 1×10^6 t/año, permitiendo en cierta medida reducir los consumos específicos de combustible y de energía eléctrica. La mano de obra necesaria desciende hasta 0,5 hombres-hora/t (sobre todo con un grado de automatización avanzado). Además, la menor inversión de capital puede permitir reducir el precio de costo hasta en un 25 por ciento.

Como en el resto del mundo, la industria cementera alemana ha pasado progresivamente a unidades cada vez más potentes desde hace unos 12 años. Este movimiento ha provocado una disminución del 35 % en el número de hornos, en tanto que la producción ha aumentado más del 100 por ciento.

Esta tendencia hacia unidades poco numerosas, pero con capacidades de producción relativamente elevadas, es todavía más notoria en otros países.

transporte de polvo en la industria del cemento

En la revista *Zement-Kalk-Gips*, de enero de 1968, aparecen dos artículos dedicados al transporte por aire de materiales en polvo en la industria del cemento.

El primero de ellos, de H. MAIER y titulado "INSTALACIONES DE TRANSPORTE NEUMÁTICO EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO", hace un resumen exhaustivo del

transporte neumático en su aspecto teórico y los muchos problemas especiales que han tratado en la literatura técnica de este tema. De un modo particular describe los sistemas de transporte neumático más frecuentemente empleados en la industria del cemento.

El segundo artículo, de W. ZOLLIKOFER y titulado "LOS AERODESLIZADORES EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO", realiza la importancia del aerodeslizador como el transporte más empleado para el manejo de materiales pulverulentos tales como crudo y cemento, ganando de día en día en importancia desde hace unos 20 años. Las ventajas que presentan estos transportadores residen en su poco peso, facilidad de instalación, pequeño consumo de energía, desgaste mínimo, limpieza y agilidad operacional. El autor ha reunido, en forma de tablas, las dimensiones y las producciones. Describe asimismo los elementos accesorios.

los procedimientos de cocción en la industria del cemento

R. FRANKENBERGER

Zement-Kalk-Gips, n.º 2, febrero 1968, págs. 73-80

Durante los últimos años se han construido instalaciones provistas de hornos para grandes capacidades de producción. El mayor horno de vía húmeda pertenece a la "Dun-dee Cement Co." (3.600 t/día). Actualmente se encuentran en construcción hornos con intercambiadores de calor para más de 3.000 t/día. La vía húmeda se encuentra superada por la vía seca, excepto en Estados Unidos y Rusia, porque en estos países los precios del combustible son mucho más bajos que en Europa.

El consumo calorífico específico es función de la dimensión del horno y de su producción; por esto, no puede manejarse de un modo apreciable por los fabricantes de hornos. En realidad, los factores determinantes son la formación de depósitos, la temperatura de los gases a la salida del horno y el rendimiento del enfriador. La continuidad en la marcha del horno, lo que depende de la frecuencia de las paradas, es de mayor importancia económica que un consumo calorífico específico más pequeño, aunque se haya comprobado por ensayos de la capacidad de producción.

La recuperación de calor del clínker viene limitada por la resistencia al choque térmico de los materiales de construcción empleados en la descarga del horno y de los elementos que componen el enfriador. En el caso de los enfriadores de parrilla el rendimiento se influencia por la composición granulométrica, el espesor de la capa de clínker y la regularidad de esta capa. Los enfriadores planetarios vuelven a emplearse de nuevo en los hornos largos, ya que son más fáciles de manejar desde el punto de vista de la ingeniería química; exigen una construcción más robusta de los soportes del horno en el lado de la descarga.

En los hornos rotatorios se han puesto a punto los quemadores con vena de aire primario rotatoria. Es posible quemar simultáneamente, y en cantidades controladas, bien fuel oil y carbón pulverizado o bien gas y fuel oil. Un nuevo quemador de gas natural permite obtener la misma producción de clínker y con el mismo consumo de combustible que con una llama de carbón pulverizado.

los problemas de desempolvado de los gases de escape de los hornos con intercambiador de calor, vistos bajo el ángulo de la construcción de electrofiltros

O. GÜPNER

Zement-Kalk-Gips, n.º 5, mayo 1968, págs. 199-208

A continuación de una serie de consideraciones generales sobre el funcionamiento y las características específicas de un electrofiltro, el autor describe los distintos comportamientos de los electrofiltros colocados detrás de los hornos con intercambiador de calor, cuando se hace variar el circuito de los gases.

Una explicación de estas diferencias, basadas en las distintas resistencias de los polvos, se compara con los resultados y la experiencia obtenidos en la práctica. A continuación se tratan diversas soluciones que permitan mejorar el efecto específico de la filtración.

La recomendación resultante, que es la de preceder el electrofiltro de un enfriador de evaporación, se explica con mucho detalle desde el punto de vista técnico. El autor termina comparando los gastos de primer establecimiento de instalaciones con o sin enfriador de evaporación.

en el campo de las "emisiones" de polvo

G. FUNKE

Zement-Kalk-Gips, n.º 5, mayo 1968, págs. 209-219

A fin de reducir las emisiones de polvo en la industria del cemento, se han mejorado sin cesar los distintos tipos de instalaciones de desempolvado.

Si son susceptibles de cumplirse las condiciones necesarias para una buena eficacia, se instalan multiciclones para depurar el aire que sale de los enfriadores. En este caso debe evitarse el apelmazamiento y tomar medidas contra el desgaste.

Una vez que se ha hecho posible la seguridad funcional de los filtros de lechos compuestos, es posible emplear estos filtros para la depuración del aire que sale del enfriador. Son también novedades los filtros de lecho fluidizado y los filtros en seco para gases calientes hechos con lana mineral.

Gracias a nuevos tipos de dispositivos de limpieza, puede prolongarse la vida de los paneles de filtración hechos con fibras textiles.

En el caso de los electrofiltros, la presencia de condiciones desfavorables en polvos y gases no permiten respetar siempre los $150 \text{ mg/m}^3\text{N}$ en servicio ininterrumpido. La corrosión que ataca los órganos interiores y las cámaras de filtración ejerce una influencia sobre la forma de su funcionamiento. Los electrofiltros que equipan los hornos rotatorios con intercambiador en suspensión gaseosa, deberán llevar enfriadores de evaporación para poder enfriar y humedecer los gases en el caso de marcha directa sin recuperación de calor.

Las prescripciones a las cuales hay que atenerse por parte de las autoridades, sobre todo las relativas a la emisión de ruidos, hacen necesarias medidas contra el mismo, particularmente en el caso de instalaciones por vía húmeda. Las sacudidas de las explosiones procedentes de cantera se miden constantemente, a fin de establecer medidas preventivas necesarias en la técnica de los explosivos, para hacer disminuir las velocidades de vibración que se producen.

estudio de los efectos sobre los cementos aluminosos hidratados de la transformación de $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$, bajo la acción de la temperatura

R. ALEGRE

Revue des Matériaux de Construction, n.º 630, marzo 1968, págs. 101-108

Según evidencia el autor por los resultados expuestos en este trabajo no es posible atribuir sólo a la presencia de aluminato cúbico $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{H}_6$ en el cemento aluminoso hidratado, una deficiencia en las propiedades mecánicas.

En efecto, se demuestra que se pueden obtener, en presencia de este aluminato, resistencias excepcionalmente elevadas, pudiendo alcanzar, e incluso superar, las que se obtienen por una hidratación en $\text{CA} \cdot \text{H}_{10}$ a baja temperatura.

En consecuencia, la detección de $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{H}_6$ en un hormigón de cemento aluminoso no puede constituir una prueba de su mala calidad.

La influencia decisiva de la relación agua/cemento en el amasado sobre la resistencia de una pasta de cemento aluminoso, transformada a 70° después de mantener a baja temperatura, es evidente.

Se puede también, jugando simplemente sobre la relación agua/cemento y sin cambiar las condiciones de conservación, obtener resistencias débiles o elevadas con pastas hidratadas en $C_3A.H_6$ y AH_3 , después de la transformación a $70^\circ C$.

La noción de la relación agua/cemento crítica, que marca el límite de aparición de agua libre, ayuda a comprender mejor el porqué las resistencias se mantienen bajas cuando dicha relación agua/cemento pasa un cierto límite, variable con la naturaleza del cemento.

El agua libre que subsiste en el seno de una pasta transformada, cuando el agua de amasado pasa el valor crítico, juega un papel doblemente desfavorable: por una parte, crea un nuevo aumento en la porosidad; por otra, tiene el posible efecto de mojado que le es propio.

Por eso debe combatirse la formación de agua libre y la reducción de la relación agua/cemento constituye un medio sencillo y eficaz para conseguirlo.

Pero cuando la relación agua/cemento decrece, la elevación continuada y rápida de las resistencias de las probetas transformadas muestra que por debajo de la relación A/C crítica, y mientras no haya teóricamente agua libre, los parámetros muy sensibles a esta relación son los que controlan las propiedades mecánicas.

Entre estos parámetros, el volumen de los poros juega sin duda un papel, pero es posible que otros factores, tales como el aspecto de los hidratos, actúan también de manera importante.

De cualquier manera, los resultados adquiridos demuestran que la transformación de $CA.H_{10}$ no excluye un buen comportamiento mecánico, cualesquiera que sean las temperaturas de conservación alcanzadas, y confirman de esta manera el fundamento de las recomendaciones habituales para los cementos aluminosos industriales.

la influencia ejercida por diversos sulfatos sobre el fraguado y endurecimiento de los cementos

U. LUDWIG

Zement-Kalk-Gips, n.º 4, abril 1968, págs. 175-180

En este trabajo, el autor describe la influencia sobre el fraguado y endurecimiento de los cementos, de la dosificación en especie y cantidad de los sulfatos, basándose en la revisión de ciertas publicaciones especializadas y en un gran número de resultados de análisis efectuados en el Instituto de Mineralogía de Aquisgrán.

La causa del retraso de fraguado ocasionado por la adición de sulfato a los cementos que responden a las normas DIN 1 164 y 1 167, se encuentra en la formación superficial de un revestimiento de fases análogas a la etringita sobre la superficie de los alu-

minoferritos del clínker y la alúmina contenida en las escorias de alto horno y puzolanas. Sólo cuando la concentración de sulfato en la fase disuelta desciende por debajo de la concentración necesaria para formar etringita, se formarán inicialmente fases del tipo etringita que se transformarán, bien en monosulfatos hidratados o bien en una solución sólida con los ferroaluminatos hidratados. Esta última transformación va acompañada de un consumo de la fase aluminoferrítica del clínker. Esta interpretación del retraso del fraguado hace posible una explicación para el desarrollo óptimo de resistencias mediante la dosificación de sulfatos, ya que la formación de etringita va unida a un hinchamiento que debe tener lugar en gran parte antes de acabar el fraguado.

Por el contrario, la formación de etringita en los cementos sobresulfatados tiene lugar sin hinchamiento, y va acompañada de un aumento de resistencia.

El empleo de anhidrita pura o conteniendo yeso en lugar del dihidrato aporta en ciertos casos una neta mejora en las características técnicas de los cementos, de acuerdo con las normas DIN 1 164, DIN 1 167 y DIN 4 210, consiguiéndose a la vez una hidratación acelerada. La causa de esta aceleración se encuentra en la menor velocidad de disolución de la anhidrita y en su volumen específico más reducido.

Este interesante trabajo se completa con una amplia lista de referencias bibliográficas (91 citas).

análisis rápido de clínker y cemento por medio del método termométrico con indicación directa de porcentaje

I. SAJÓ y B. SIPOS

Zement-Kalk-Gips, n.º 1, enero 1968 págs. 32-37

Los autores presentan un método adecuado para la determinación termométrica de los componentes principales de clínker y cemento, y mediante el cual se obtiene de los aparatos indicadores la lectura directa de los resultados en tanto por ciento. El método permite la determinación de varios componentes, uno detrás de otro, a partir de la misma solución.

Por ejemplo, es posible determinar SO_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 y SiO_2 , a partir de una cantidad pesada, empleando los siguientes reactivos: cloruro bórico para determinar SO_3 ; persulfato amónico para determinar Fe_2O_3 ; peróxido de hidrógeno para determinar TiO_2 , y ácido fluorhídrico para determinar SiO_2 .

A partir de otra cantidad pesada es posible determinar MnO , CaO y MgO . En este caso los reactivos correspondientes son: el permanganato potásico para determinar MnO ; el oxalato potásico para determinar CaO , y el fosfato disódico para determinar MgO . La determinación de estos componentes no exige separación.

Los autores describen igualmente otro método que permite determinar los siete componentes antes citados a partir de una sola cantidad pesada. La alúmina debe determinarse a partir de una cantidad pesada aparte, empleándose el ácido fluorhídrico como reactivo después de la separación de SiO_2 por deshidratación rápida con ácido sulfúrico.

la determinación de la resistencia a tracción del hormigón: una comparación de los diferentes métodos

V. M. Malhotra

The Indian Concrete Journal, n.º 11, noviembre 1967, págs. 407

El autor comenta el interés del trabajo de V. Ramakrishnan y sus colaboradores, porque es de mucho interés para la determinación de la resistencia a tracción de los productos conglomerantes. Es muy interesante el breve resumen que hace dicho autor de los métodos directos e indirectos existentes para medir la resistencia a tracción. Malhotra completa este resumen refiriéndose al ensayo del anillo desarrollado recientemente en sus laboratorios de Ottawa.

En este método de ensayo, las probetas de hormigón son anillos de 6 pulgadas de diámetro interior (152 mm), 1,5 pulgadas (38 mm) de espesor y 1,5 pulgadas (38 mm) de altura. Las probetas se rompen por presión hidrostática aplicada con una ampolla de goma que actúa en la periferia interior del anillo. La resistencia a tracción desarrollada en la probeta anular en el momento de la rotura se determina a partir de las ecuaciones para análisis tensional de cilindros de pared espesa. Estas ecuaciones son:

$$\sigma_t = \frac{P_i r_i^2}{(r_o^2 - r_i^2)} \left(1 + \frac{r_o^2}{r^2} \right) \quad \sigma_r = \frac{P_i r_i^2}{(r_o^2 - r_i^2)} \left(1 - \frac{r_o^2}{r^2} \right),$$

donde: σ_t = resistencia a tracción tangencial (libras/pulg²)

σ_r = resistencia a compresión radial (libras/pulg²)

P_i = presión hidrostática (libras/pulg²)

r_i = radio interno (pulg)

r_o = radio externo (pulg)

r = radio en el momento de la rotura (pulg).

El método se ha encontrado adecuado para ensayar probetas anulares, tanto de mortero de yeso como de cemento. En estos momentos se está tratando de desarrollar un anillo de 12 pulgadas de diámetro interior (305 mm), para que puedan ensayarse hormigones con áridos de hasta 3/4 de pulgada de diámetro (19 mm).

Las ventajas resumidas de este nuevo método de ensayo son:

- La carga se aplica de tal manera que no se producen tensiones por sujeción de la mordaza o falta de alineación, condiciones difíciles de evitar cuando se aplican las técnicas de tracción directa.
- Todo el volumen de la probeta se somete al esfuerzo de tracción y la tensión máxima se distribuye de modo uniforme a lo largo de toda la periferia entera del anillo. Esto nunca se consigue en los ensayos a flexión ni aun en el ensayo brasileño, donde una carga a compresión actuando sobre un plano diametral crea un esfuerzo a tracción uniforme solamente sobre un plano.
- En el ensayo del anillo, la magnitud del esfuerzo a compresión radial es muy pequeño comparado con el esfuerzo tangencial. Esto es una ventaja que lo distingue del ensayo brasileño, en el que el esfuerzo a compresión mínimo en la línea central del plano de rotura es aproximadamente tres veces el correspondiente esfuerzo a tracción.

La reproducibilidad en el ensayo del anillo es comparable, si no superior, a la obtenida con el ensayo brasileño. En una investigación, el coeficiente de variación medio de los resultados del ensayo del anillo era de 4,9 %, mientras que el correspondiente valor para el ensayo brasileño era de 6,8 por ciento.

En este trabajo se exponen dos fotografías de la probeta y del ensayo. También recoge la referencia del interesante trabajo de V. Ramakrishnan y colaboradores (*The Indian Concrete Journal*, mayo 1967) y tres referencias más del autor.