

635 - 12

empleo en Rusia de refractarios de forsterita en los hornos de cemento

T. O. Shakhbazyan

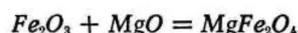
El artículo que se publica a continuación se basa en un informe de T. O. Shakhbazyan y sus colaboradores, realizado en el Erevan Polytechnical Institute y en la fábrica de cerámica de Shorzhin, aparecido en la revista rusa *Cement*, N.º 6, Nov.-Dic., 1963 (pág. 10).

Se ha calculado que para 1965 la Unión Soviética necesitará un 30 % más de refractarios que los que fueron utilizados en 1962 en la industria del cemento y existe una gran necesidad de ampliar los tipos de refractarios para los hornos de cemento, en particular los refractarios de forsterita, de los cuales se afirma que pueden fabricarse a partir de materiales relativamente baratos y muy abundantes. Las propiedades de los refractarios de forsterita son actualmente lo suficientemente buenas para satisfacer las demandas que se precisan en los revestimientos de las zonas de sinterización de los hornos de cemento; la forsterita puede ser utilizada junto con los ladrillos de cromo-magnesita y periclasa.

A partir de los diagramas de equilibrio para el sistema $MgO-SiO_2$ puede verse que se forman dos compuestos altamente refractarios: forsterita, de fórmula SiO_4Mg_2 , cuyo punto de fusión está en $1.890^\circ C$, y clinoenstatita, cuyo punto de fusión es $1.577^\circ C$, de fórmula SiO_3MgO . Es necesario convertir la clinoenstatita en forsterita para obtener productos refractarios en el sistema y esto se consigue añadiendo magnesia a la mezcla, de acuerdo con la siguiente reacción:



Durante el proceso de cocción el óxido férrico presente forma un compuesto cuya temperatura de fusión es relativamente alta, magnesioferrita:



En la fabricación de refractarios de forsterita se trata por todos los medios de obtener toda la forsterita posible para así formar una estructura altamente refractaria mediante el entrecruzamiento de

45

los cristales. Un serio inconveniente para la aplicación de los refractarios de forsterita en la industria del cemento durante mucho tiempo ha sido su facilidad al desconchamiento (resistencia al choque térmico) y sus resistencias relativamente bajas. Recientemente se han llevado a cabo trabajos, que están prosiguiéndose, para mejorar la composición y las propiedades de las piezas de forsterita. En la actualidad estos refractarios son ligeramente inferiores a los de cromo-magnesita. En la tabla 1 se facilitan las propiedades más importantes de los refractarios de magnesia.

La composición mineralógica de los refractarios de forsterita modernos es la siguiente (en %):

TABLA 1
Propiedades más importantes de los refractarios de magnesia

| Tipo de refractario | Resistencia a compresión (kg/cm ²) | Porosidad % | Refractariedad bajo carga de 2 kg/cm ² °C | Resistencia al choque térmico (1.300 °C agua fría) | Punto de fusión °C |
|--------------------------------|--|-------------|--|--|--------------------|
| Cromo-magnesita cocida | 250-400 | 20-25 | 1480-1520 | 5-7 | 1.900 |
| Cromo-magnesita cruda | 350-450 | 12-16 | 1480-1510 | 2-3 | 1.900 |
| Magnesio-cromita cocida | 300-400 | 20-25 | 1500-1520 | 5-7 | 1.900 |
| Magnesio-cromita cruda | 350-400 | 12-16 | 1500-1520 | 5-7 | 1.900 |
| Periclasa espinela | 500-800 | 10-12 | 1580-1600 | 2-5 | 1.900 |
| Forsterita cocida | 200-250 | 22-27 | 1620-1710 | 3-5 | 1.850 |

| | |
|-----------------|---------|
| Forsterita | 65-75 |
| Periclasa | 15-20 |
| Magnesioferrita | 5-10 |
| Espinela | hasta 2 |

Pueden obtenerse incrementos adicionales en las resistencias mecánicas de los refractarios de forsterita perfeccionando los métodos de fabricación. En la actualidad, el material utilizado en el revestimiento de la zona de cocción de los hornos rotatorios de cemento presenta diferentes ventajas. A pesar de su elevada porosidad, son capaces de formar una capa resistente del material que se está cociendo. La costra sobre los revestimientos de forsterita es delgada, estable, muy densa, suficientemente resistente y no necesita ni la adición de fundentes o mineralizadores a la mezcla ni el enfriamiento con aire forzado del recinto del horno.

Según trabajos previos realizados en Rusia por el profesor P. P. Budnikov (Journal of the D. I. Mendeleev Chemical Society, V, 2, 140-158, 1960), la resistencia de la costra formada sobre el revestimiento es debida a la formación de una solución sólida de forsterita y silicato dicálcico. Durante el enfriamiento no existe la posibilidad de conversión posterior de las modificaciones inestables alfa y beta en la forma estable gamma; esto asegura la estabilidad de la interfase costra-refractario. Esto explicaría también la elevada resistencia del revestimiento de forsterita cuando el horno sufre paradas con cierta frecuencia.

Budnikov y sus colaboradores también han demostrado que los refractarios de forsterita tienen una alta resistencia a la acción de los clínkeres de cemento portland de diferentes composiciones mineralógicas (Trans. Cement Research Institute, 13-1960).

La elevada porosidad de los refractarios de forsterita significa que tienen un bajo peso específico aparente y, por tanto, el revestimiento del horno tiene una baja conductividad térmica. El poco peso de los ladrillos de forsterita en comparación con los de cromo-magnesita es otra ventaja, especialmente en los hornos modernos de mucho diámetro; su relativamente baja conductividad es otro factor favorable para reducir la temperatura de la carcasa en la zona de sinterización. El informe ruso también afirma que los refractarios de forsterita tienen una refractariedad bajo carga más elevada que los refractarios de magnesita.

En Rusia se están realizando, desde 1939, pruebas en escala semi-industrial y ensayos industriales con ladrillos de forsterita para los revestimientos de las zonas de sinterización de los hornos rotatorios de cemento. Actualmente se utilizan refractarios de forsterita para la producción de cementos en Rumania, Japón, Estados Unidos, Alemania occidental y en algunos países suramericanos. Una fábrica polaca de cementos usó ladrillos de forsterita para hacer un revestimiento experimental en 1959, con 143 días de duración; el espesor residual del revestimiento fue un 75 % del original. Durante 1961-62 se realizaron pruebas a escala industrial con forsterita en la Ararat Cement Combine. La pasta para los ladrillos (25 toneladas), que medían $200 \times 120 \times 70$ mm, se preparó con dunitas de la localidad, utilizando los métodos corrientes de fabricación. La composición química y mineralógica de los ladrillos era la siguiente:

| Oxidos | | Minerales | |
|--------------------------------|--------|-----------------|----------|
| SiO ₂ | 35,90 | Forsterita | 87-89,5 |
| Fe ₂ O ₃ | 7,95 | Periclasa | 1,8- 3,3 |
| CaO | trazas | Magnesioferrita | 8,2- 8,6 |
| MgO | 52,54 | Espinela | 1,1 |

Las propiedades fisicomecánicas de los ladrillos pueden verse en la tabla 2, en la cual también se indican las Normas Rusas sobre refractarios de forsterita.

TABLA 2
Propiedades fisicoquímicas del ladrillo

| Propiedades de los ladrillos | Mezcla de pruebas | Normas Rusas |
|--|-------------------|--------------|
| Peso específico, g/cm ³ | 3,29-3,31 | — |
| Densidad aparente, kg/m ³ | 2.560-2.580 | — |
| Porosidad aparente, % | 21,4-21,9 | ≤ 28 |
| Resistencia a compresión kg/cm ² | 740-950 | > 175 |
| Def. bajo carga de 1,75 kg/cm ² (°C) | 1.640-1.650 | > 1.550 |
| Choque térmico (1.300°C-agua fría) | 1-2 | — |
| Def. bajo carga (40% deformación) | 1.770-1.800 | — |
| Punto de fusión, °C | 1.820-1.850 | > 1.750 |

Los ladrillos experimentales de forsterita se emplearon en la construcción de un revestimiento de 4 m de longitud en la zona de sinterización. El horno estuvo funcionando durante dos meses y medio. Una cuidadosa observación de cómo se comportó el revestimiento proporcionó la siguiente información.

Al iniciarse el período de ensayos se formó una costra protectora uniforme sobre la superficie del revestimiento. No se observaron señales de sobrecalentamiento de la carcasa metálica del revestimiento. Durante el primer período se paró el horno en períodos cortos, durante un total de 42 horas, por razones ajenas al revestimiento. Las propiedades básicas del cemento durante este primer período son las que se indican a continuación:

| | |
|-----------------------------------|---------|
| Peso del litro de clinker | 1.650 g |
| Cal libre | 0,5 % |
| Coefficiente de saturación | 0,89 |
| Módulo de silicatos | 1,95 |
| Módulo de fundentes | 1,92 |

La composición química y mineralógica del clinker fue la siguiente:

| Oxidos | | Minerales | |
|--------------------------------|-------|---|-------|
| SiO ₂ | 21,60 | SiO ₂ · 3CaO | 54,99 |
| Al ₂ O ₃ | 6,02 | Al ₂ O ₃ · 3CaO | 7,99 |
| Fe ₂ O ₃ | 4,82 | SiO ₂ · 2CaO | 20,43 |
| CaO | 65,80 | Fe ₂ O · Al ₂ O ₃ · 4CaO | 14,65 |
| MgO | 1,20 | | |
| SO ₃ | 0,10 | | |

Cuando al cabo de 77 días se paró el horno y se examinó cuidadosamente el revestimiento, los ladrillos se encontraban en buenas condiciones. En la parte más alta del revestimiento, la zona erosionada alcanzó de 15 a 20 mm, y el resto permaneció invariable. Al reparar la parte de cromomagnesita del revestimiento en contacto con el revestimiento de prueba, la primera mitad del revestimiento de forsterita fue sustituida y la segunda mitad se dejó para someterla a trabajo. Finalmente se desmanteló el revestimiento de forsterita al cabo de ocho meses, cuando se paró el horno para efectuar reparaciones.

En consecuencia, la primera mitad del revestimiento experimental hecho con ladrillos de forsterita permaneció durante 77 días en la zona de sinterización, y la segunda mitad permaneció 300 días. Es preciso hacer constar que los ensayos se realizaron en condiciones adversas, puesto que el horno ha estado en funcionamiento durante 28 años y se encontraba en un estado de conservación deplorable. Durante los ensayos se observó que la carcasa se encontraba deformada por la zona de sinterización, y esto, junto con las paradas del horno, creó unas condiciones de trabajo bastante severas.



conclusiones

Los investigadores soviéticos obtienen las siguientes conclusiones de sus ensayos a escala industrial: (1) Los ladrillos de forsterita son unos refractarios resistentes para el revestimiento de la zona de sinterización de los hornos rotatorios de cemento. (2) En el período inicial de trabajo, el revestimiento forma una costra lisa que prolonga la vida de éste. (3) Considerando que los refractarios de forsterita se hacen con un material muy corriente y barato—la dunita—, es de esperar en el futuro su introducción en la industria del cemento.