



Avaliação de Agregados do Sistema MgO-TiO₂-CaO em Refratários para Zona de Queima de Fornos de Cimento

L.C. Ferreira, J.A. Rodrigues*, J.B. Baldo*, L.T. Bernardi*, J.C. Bressiani[‡]
Elfusa Geral de Eletrofusão Ltda, Rua Júlio Michelazzo, 501, São João B. Vista, SP
técnico@elfusa.com.br

* Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

[‡] Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)

RESUMO

Refratários isentos de cromo tem sido foco de atenção nos últimos anos devido aos problemas ambientais causados pela disposição destes refratários. Como alternativa, vários sistemas vêm sendo estudados para a zona de queima de fornos de cimento. Neste estudo foram avaliados refratários magnesianos contendo agregados do sistema MgO-TiO₂-CaO obtidos por processo de eletrofusão. Estes refratários foram comparados com um refratário padrão de magnésio-espinélio em ensaios físicos, termomecânicos e termoquímicos. Refratários contendo agregados do sistema MgO-TiO₂-CaO mostraram-se bastante promissores para serem usados na zona de queima de fornos de cimento.

Palavras-chave: refratários, zona de queima, fornos de cimento, magnésia, titânia, cálcia.

INTRODUÇÃO

O clínquer do cimento Portland é o produto final de uma tecnologia altamente complexa de piroprocessamento que transforma as matérias primas ricas em SiO₂, CaO, Al₂O₃ e Fe₂O₃ em fases de silicatos de cálcio e de aluminato de cálcio/ferro. Ao longo dos anos, a tecnologia de produção do clínquer de cimento Portland veio sofrendo constantes alterações acompanhadas de perto pelo revestimento refratário empregado. No início do século XX os fornos rotativos de pequenas dimensões e os fornos Shaft utilizavam apenas tijolos sílico-aluminosos e de alta alumina, mesmo



nas áreas de temperaturas mais elevadas. Esta tendência continuou até a década de 1940 quando começaram a surgir os primeiros revestimentos de magnésia e magnésia-cromita para zona de queima. Este último apresentava boa resistência mecânica, resistência à corrosão, estabilidade estrutural, resistência ao dano por choque térmico e excelente resistência à hidratação. Contudo, o grande inconveniente em sua utilização estava no fato de apresentar um alto teor de óxido de cromo trivalente que em contato com sais alcalinos pode ser prejudicial à saúde (carcinogênico) e ao meio ambiente. Na década de 1940 também surgiram os primeiros tijolos dolomíticos para a zona de queima que por sua vez eram susceptíveis à hidratação, ao ataque por CO_2 e enxofre. Com o desenvolvimento dos grandes fornos rotativos para a produção de cimento, as cargas térmicas no sistema mudaram; o que levou ao desenvolvimento de novos produtos refratários. Na década de 1960, a introdução dos sistemas de pré-aquecimento propiciou a produção de tijolos básicos de liga direta, resistentes à abrasão e ao ataque químico, mas que sofriam deterioração devido às falhas mecânicas. Nos anos 70, o Japão passou a introduzir tijolos de magnésia-espinélio nas zonas de transição inferior e superior dos fornos, o que se afirmou nos anos de 1980, principalmente nos países ocidentais. Entretanto, tijolos de dolomita e de magnésia-cromita são ainda utilizados na zona de queima dos fornos rotativos, devido à maior capacidade de formação de colagem protetora. Já nos anos de 1990 observou-se o desenvolvimento de novas tecnologias refratárias, visando principalmente tijolos livres de cromo e com melhoria geral de propriedades ⁽¹⁻⁴⁾.

Atualmente existem ainda tecnologias que utilizam tijolos de magnésia-zircônia, magnésia-cálcia-zircônia, magnésia-espinélio-zircônia, magnésia-hercinita ($\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) e magnésia-galaxita ($\text{MnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) ⁽⁵⁻⁹⁾. Contudo, grande parte dos desenvolvimentos fica compreendida entre os sistemas $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ e CaO-MgO-ZrO_2 . Diversos trabalhos apontam que o melhor desenvolvimento são os tijolos de dolomita-magnésia-zircônia para a zona de queima. Este último, contudo, ainda apresenta problemas de hidratação. Tijolos de magnésia-espinélio-zircônia são desenvolvimentos bastante recentes, mas também parecem um caminho interessante a ser trilhado. Tijolos de magnésia-hercinita mostraram-se inicialmente uma tecnologia bastante promissora, devido ao baixo custo e ausência de cromita, mas exigem operações bem controladas e apresentam limitações quanto ao uso de combustíveis e matérias-primas alternativas ⁽¹⁰⁾. Além da zircônia, um outro óxido



que começa a ser explorado é a titânia. Makino et al ⁽¹¹⁾ avaliaram composições do sistema MgO-TiO₂-Al₂O₃ (MTA) para refratários de fornos de cimento como possíveis substitutos aos refratários a base de cromita e espinélio. Resultados preliminares mostraram resistência ao dano por choque térmico superior ao dos refratários de magnésia-cromita, mas inferior ao dos refratários de magnésia-espinélio. Corpos de prova do sistema MTA submetidos a ataque de cimento com adição de 10% de sulfato de cálcio, mostraram resultados superiores ao dos refratários de magnésia-espinélio e bastantes similares ao dos refratários de magnésia-cromita. Em linhas gerais refratários do sistema MTA apresentam potencial para utilização em fornos de cimento.

Este trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento de agregados eletrofundidos do sistema MgO-TiO₂-CaO (MTC) na composição de refratários para a zona de queima de fornos de cimento. A vantagem vislumbrada neste tipo de agregado é o da ausência de cálcia livre que compromete grandemente o desempenho do refratário.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Três composições refratárias foram avaliadas no presente estudo. Magnésia com 15% em peso de um agregado eletrofundido de espinélio de magnésia-alumina (aqui denominado MA) e com duas composições distintas de agregados MTC também na mesma proporção em peso. Os tijolos refratários de 228 x 114 x 63 mm foram obtidos a partir da mistura das matérias primas, prensagem, secagem e queima a 1550°C por 6 horas. Amostras foram retiradas dos tijolos refratários para a avaliação de resistência ao ataque por SO_x em atmosfera redutora, resistência ao dano por choque térmico, porosidade aparente, massa específica aparente, massa específica aparente da parte sólida, massa específica real, absorção de água, porosidade total, análise química, microscopia eletrônica de varredura, módulo elástico, coeficiente de dilatação térmica linear e aderência à colagem.

A resistência ao ataque por SO_x em atmosfera redutora foi baseado no trabalho de Tokunaga et al ⁽¹²⁾. Corpos de prova de dimensão 60 x 60 x 200 mm foram retirados dos tijolos e um furo de 35 mm de diâmetro e 20 mm de profundidade foi feito em uma das faces de 60 x 60 mm. Na cavidade foram colocados 25 g de agente corrosivo composto de 35 % de CaSO₄.2H₂O, 35 % de



K_2SO_4 e 30 % de KCl. Uma proteção feita do próprio tijolo refratário foi colocada por sobre a cavidade e todo o conjunto foi levado a um forno esquematizado na figura 1. A temperatura do forno foi levada a 1300°C e em seguida reduzida a 800°C . Esta ciclagem foi efetuada num total de três vezes para posterior resfriamento do sistema. Após ensaio os corpos de prova foram seccionados a intervalos de 15 mm e submetidos a uma análise química.

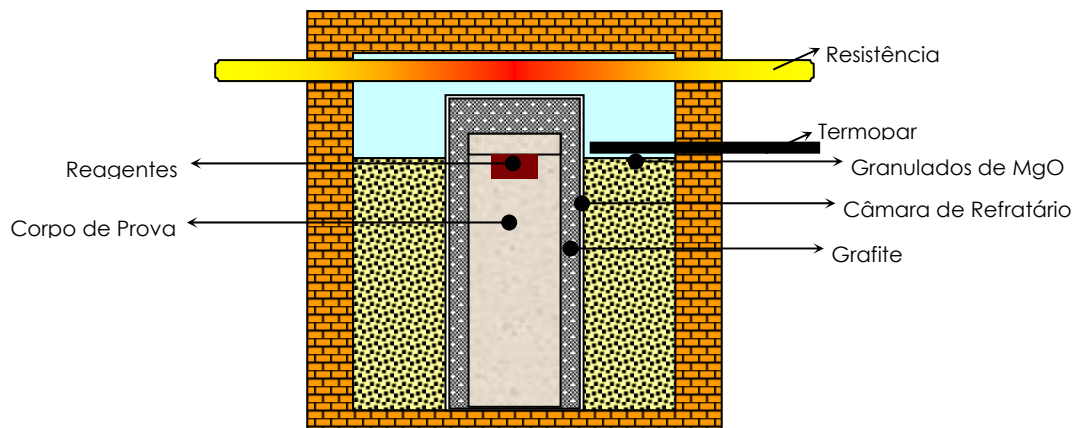


Figura 1 – Esquema de montagem do forno para ataque de SO_x .

Para a avaliação da resistência ao dano por choque térmico utilizou-se o método descrito no trabalho de Prange et al ⁽¹³⁾. Corpos de prova de dimensões 110 x 25 x 25 mm foram retirados dos tijolos refratários e colocados no interior de um forno elétrico previamente aquecido a 950°C . Após 1 hora de patamar, os corpos de prova foram retirados do interior do forno e deixados resfriar ao ar. Tal procedimento foi repetido de modo a fornecer corpos de prova com 10, 30 e 50 choques térmicos. Os corpos de prova de cada formulação foram então ensaiados sob flexão a 4 pontos e com a tensão de ruptura dos corpos de prova sem choque térmico foi possível traçar um gráfico do percentual de resistência mecânica residual em função do número de ciclos térmicos.

O ensaio para avaliação da aderência à colagem foi baseado no trabalho de Honda e Ohta ⁽¹⁴⁾ no qual é levado em consideração um gradiente térmico entre a face quente do refratário e a face fria e o tempo de residência na temperatura de ensaio. Desta forma, para assegurar um gradiente térmico adequado foi utilizado o mesmo forno apresentado na figura 1, substituindo-se a grafite da câmara interna por magnésia eletrofundida. Corpos de prova prismáticos de 80 x 40 x 40 mm foram retirados dos tijolos refratários e colocados no interior do forno. Na extremidade



próxima à resistência foi colocada uma pastilha confeccionada com 30 g de clínquer de cimento Portland. O conjunto foi aquecido a 1450°C por um período de 20 horas e deixado resfriar até a temperatura ambiente. A amostra de cimento Portland foi então trocada e o conjunto foi novamente aquecido a 1450°C por mais 20 horas. Após ensaio, os corpos de prova foram avaliados por microscopia eletrônica de varredura e difratometria de raios-X.

Para a determinação do coeficiente de dilatação térmica linear dos refratários, foram retirados corpos de prova cilíndricos com dimensões nominais de 50 mm de diâmetro e 50 mm de altura. Em cada corpo de prova, entre a face superior e inferior do cilindro, foi feito um furo central e longitudinal de 12 mm de diâmetro. Cada formulação foi colocada no interior de um equipamento Netzsch, modelo RUL 421E onde se aplicou uma carga constante de 0,02 MPa e uma taxa de aquecimento de 5°C/min até uma temperatura máxima de 1200°C. Na configuração e condições adotadas, esse equipamento funciona como um dilatômetro para amostras grandes. A determinação do módulo elástico foi realizada utilizando-se o método de ressonância mecânica de barras com dimensões nominais de 25 x 25 x 150 mm retiradas de cada composição refratária estudada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O agregado eletrofundido escolhido para a formulação da composição MTC 1 apresentou como fases predominantes o periclásio, o titanato de cálcio (CaTiO_3) e uma solução sólida entre MgAl_2O_4 e Mg_2TiO_4 . Já o agregado eletrofundido com composição MTC 2 apresentou titanato de cálcio (CaTiO_3), MgTiO_3 e uma solução sólida formada entre MgAl_2O_4 e TiMg_2O_4 . A tabela I apresenta os resultados de análise química e a porcentagem em peso estimada das fases presentes em cada agregado utilizado neste trabalho com base nas difratometrias de raios-X e na microscopia eletrônica.

Tabela I – Características químicas e mineralógicas dos agregados (% em peso).

	MA	MTC 1	MTC 2
TiO_2	0,02	15,7	55,8
SiO_2	0,22	0,78	0,68
Fe_2O_3	0,13	0,29	0,78
CaO	0,17	9,93	21,4



MgO	32,0	70,7	18,9
Na ₂ O	0,30	0,09	0,07
Al ₂ O ₃	67,1	2,53	2,35
Composição Mineralógica	100% de MgAl ₂ O ₄	70% de MgO 24% de CaTiO ₃ 6% de solução sólida entre MgAl ₂ O ₄ e TiMg ₂ O ₄	51% de CaTiO ₃ 39% de solução sólida entre MgAl ₂ O ₄ e TiMg ₂ O ₄ 10% de MgTiO ₃

A tabela II apresenta os resultados de análise química, absorção de água (A), porosidade aparente (Pa), massa específica aparente (Mea), massa específica aparente da parte sólida (Meas), massa específica real (Mer), porosidade total (Pt = (Mer-Mea).100/Mer), resistência à flexão a 4 pontos, módulo elástico e coeficiente de expansão térmica linear dos refratários confeccionados com os agregados MA, MTC 1 e MTC 2.

Tabela II – Resultados de análise química, A, Pa, Mea, Meas, Mer, resistência à flexão a 4 pontos, módulo elástico e coeficiente de expansão térmica linear dos refratários estudados.

	Refratário MA	Refratário MTC 1	Refratário MTC 2
MgO (%)	88,24	92,29	85,81
Al ₂ O ₃ (%)	9,12	0,73	1,05
CaO (%)	0,84	2,31	3,26
TiO ₂ (%)	0,03	2,93	8,01
Fe ₂ O ₃ (%)	0,64	0,63	0,63
SiO ₂ (%)	0,72	0,70	0,83
Na ₂ O (%)	0,41	0,39	0,38
K ₂ O (%)	0,01	0,01	0,02
A (%)	6,1 ± 0,5	5,1 ± 0,4	4,1 ± 0,2
Pa (%)	17 ± 1	14 ± 2	12 ± 1
Mea (g/cm ³)	2,9 ± 0,1	3,0 ± 0,1	3,1 ± 0,2
Meas (g/cm ³)	3,5 ± 0,1	3,5 ± 0,2	3,4 ± 0,3
Mer (g/cm ³)	3,57 ± 0,01	3,64 ± 0,01	3,69 ± 0,01
Pt (%)	18,8	17,6	15,9
Resistência à Flexão a 4 pontos (MPa)	7,1 ± 0,6	13,6 ± 0,5	11 ± 1
Módulo Elástico (GPa)	35,4	128,3	94,1
Coeficiente de Expansão Térmica Linear (x 10 ⁻⁶ °C ⁻¹)	12,8	13,7	13,2

Pelos resultados da tabela II observa-se que os três refratários apresentaram teores de impurezas Fe₂O₃, SiO₂, Na₂O, K₂O e de Mea e Meas equivalentes. Os valores de massa específica real (Mer) elevam-se à medida que titanato de cálcio (CaTiO₃) aumenta nas composições. A porosidade aparente e a porosidade total dos refratários MTC 1 e MTC 2 também são inferiores ao do refratário padrão.



As composições MTC 1 e MTC 2 apresentam valores de resistência à flexão a 4 pontos e de módulo elástico bem superiores aos dos tijolos da composição MA. Os valores de coeficiente de expansão térmica linear também são coerentes com cada uma das composições. Na formulação MA estão presentes MgO, com coeficiente de $13,5 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, e espinélio, com coeficiente de $7,6 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, isto gerou um refratário com coeficiente de expansão intermediário ($12,8 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$). A substituição do espinélio pelos agregados MTC levou a coeficientes superiores. Os agregados da formulação MTC 1 apresentam MgO em quantidade considerável e CaTiO_3 com coeficiente de expansão de $14,1 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Desta forma, o coeficiente de expansão do refratário MTC 1 é superior ao do MgO. Já o agregado da formulação MTC 2 apresenta CaTiO_3 e Mg_2TiO_4 , este último com coeficiente de $10 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$; o coeficiente de expansão do refratário mostrou-se ligeiramente inferior ao de um refratário puramente magnesiano.

A figura 2 apresenta os resultados de ataque por SO_x em atmosfera redutora. Análises de penetração de K_2O mostram que os refratários MA e MTC 1 apresentam comportamentos semelhantes. A penetração ocorre entre a faixa de 35 a 45 mm do fundo do cadinho e depois se reduz sensivelmente. O refratário de composição MTC 2, por sua vez, apresenta forte penetração de K_2O , com ocorrência deste óxido até cerca de 75 mm do fundo do cadinho.

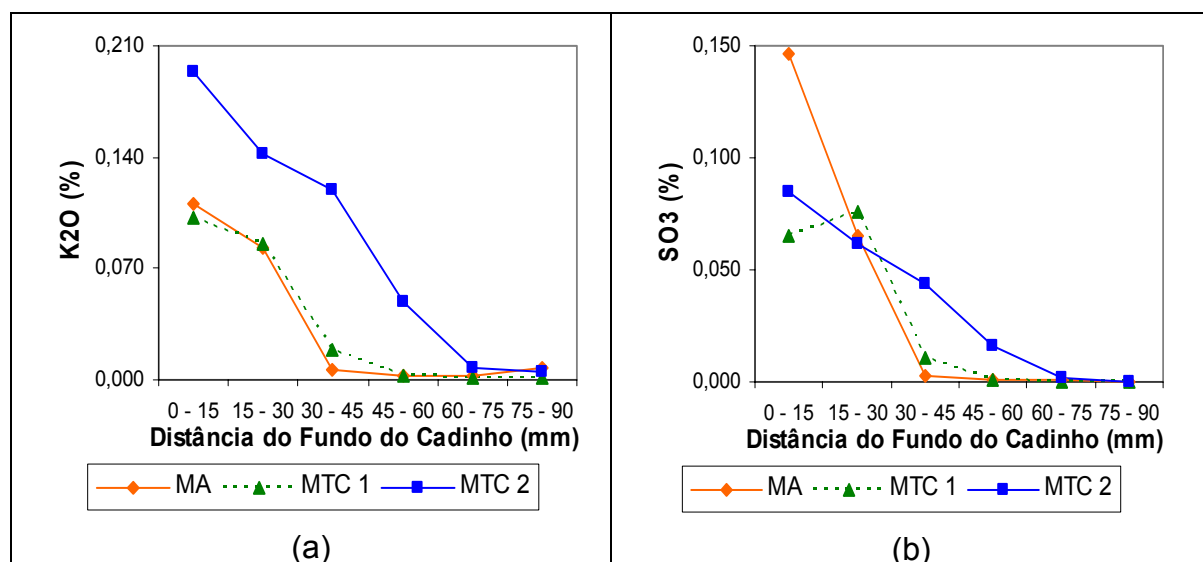


Figura 2 – Resultado de penetração de (a) K_2O e (b) SO_3 nos refratários atacados em atmosfera redutora.



Os resultados de penetração de enxofre mostram claramente uma forte concentração deste elemento nos primeiros 15 mm do MA, ocorrendo uma queda considerável até a faixa de 30 a 45 mm de profundidade. O refratário da formulação MTC 1 apresenta desempenho superior e também apresenta penetração até cerca a faixa de 30 a 45 mm. Contudo, o refratário da composição MTC 2 apresenta concentrações de enxofre consideráveis até a faixa de 60 a 75 mm de profundidade.

Em linhas gerais o refratário da composição MTC 2 mostrou elevada penetração de potássio e enxofre; esta penetração ocorre até uma profundidade de 75 mm do fundo do cadinho. Mesmo apresentando o menor valor de porosidade aparente e total, a composição MTC 2 foi a menos promissora no que tange ao ataque por estes elementos.

Os resultados de perda de resistência mecânica após choque térmico dos refratários com 10, 30 e 50 ciclos de 950°C até a temperatura ambiente são apresentados no gráfico da figura 3. Em comparação com o trabalho de Prange et al ⁽¹³⁾ as composições avaliadas apresentam resistências ao dano por choque térmico equivalentes ao de um refratário de magnésia-espinélio. Deve-se notar que as resistências ao dano por choque térmico das formulações estudadas são superiores aos de tijolos de dolomita, dolomita-zircônia, magnésia-dolomita com zircônia e tijolos de magnésia. Mesmo para a formulação MTC 1, que apresenta alto teor de periclásio, a resistência ao dano por choque térmico é bastante adequada. É importante observar que todas estas formulações refratárias são muito superiores ao dano por choque térmico quando comparadas com refratários dolomíticos e magnesianos.

O espinélio é adicionado nos tijolos de magnésia-espinélio, pois o baixo coeficiente de expansão térmica desta fase gera vazios induzido pela diferença de coeficientes do MgO e do MgAl₂O₄. Estes vazios acabam sendo responsáveis pela maior resistência ao dano por choque térmico, mas normalmente ocasiona maior porosidade, menor resistência mecânica e menor módulo elástico no refratário. Os agregados do sistema MgO-TiO₂-CaO escolhidos neste trabalho apresentam coeficientes de expansão térmica linear mais próximos do MgO e por isso geraram refratários com porosidade mais baixa, resistência e módulo elástico superiores. No entanto, estes refratários continuaram apresentando excelente resistência ao dano por choque térmico, bastante superior aos de refratários de magnésia e de dolomita.

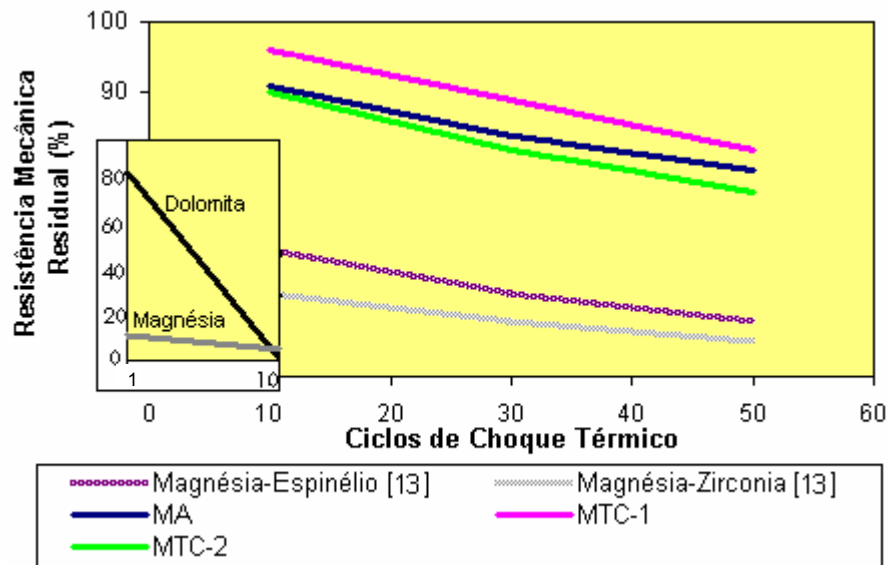


Figura 3 – Resistência mecânica residual percentual após choque térmico.

Os resultados de aderência são apresentados na figura 4. Após 40 horas de patamar a 1450°C as composições MTC 1 e MTC 2 apresentaram aderência de clínquer de cimento Portland ao refratário. A composição MA não mostrou qualquer aderência. O resultado da difração de raios-X dos primeiros 10 mm de reação a partir da superfície do refratário é mostrado na tabela III, excluindo-se o periclásio presente nas composições.

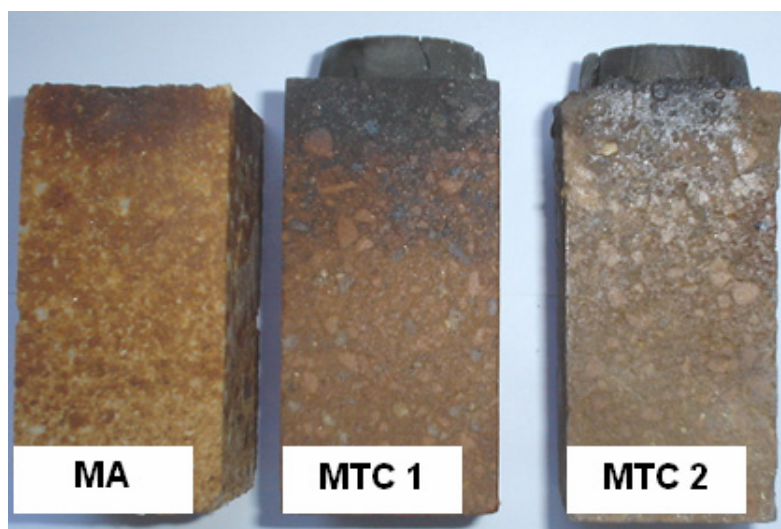


Figura 4 – Reação com clínquer de cimento Portland mostrando colagem com os refratários das composições MTC 1 e MTC 2.



Tabela III – Resultados de difratometria de raios-X, excluindo-se a fase periclásio.

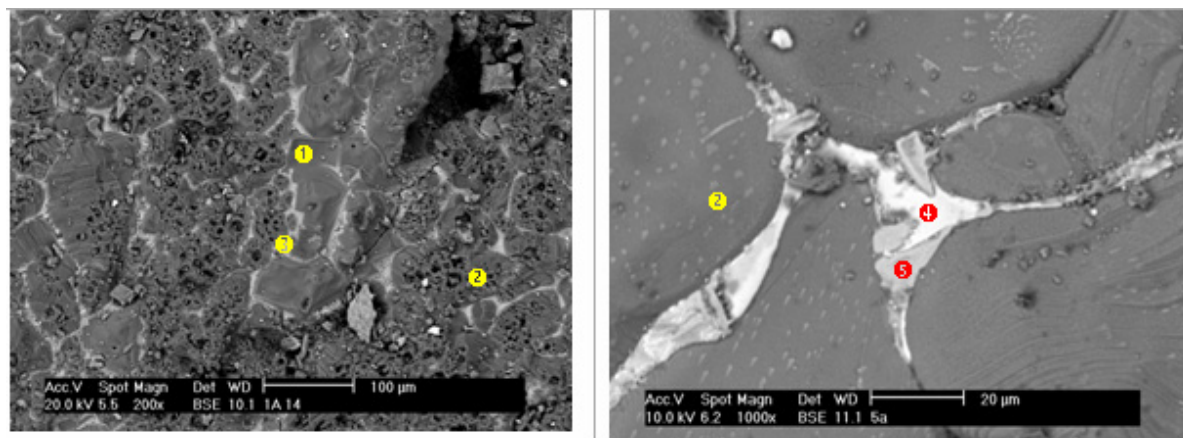
	Refratário MA	Refratário MTC 1	Refratário MTC 2
3CaO.SiO ₂	+	+	--
2CaO.SiO ₂	+	+	+
CaO.Al ₂ O ₃	+		
CaO.TiO ₂		++	+++
MgO.Al ₂ O ₃	--		

(+++) intensidade elevada, (++) intensidade média, (+) intensidade baixa, (--) traços

O clínquer de cimento Portland reagiu com o espinélio, formando CaAl₂O₄, conforme equação (1) dada a seguir.



A degradação do agregado de espinélio frente às fases do clínquer é mostrada na micrografia da figura 5 (a). Conforme apontado em vários trabalhos⁽¹⁵⁻¹⁷⁾ as fases formadas geram fases líquidas de baixa viscosidade, impossibilitando a formação de colagem protetora.



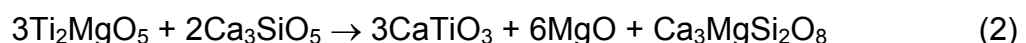
(a)

(b)

① MgAl₂O₄ ② MgO ③ Cimento ④ CaTiO₃ ⑤ Ca₃MgSi₂O₈

Figura 5 – Micrografias das composições (a) MA e (b) MTC 2 após reação com o clínquer de cimento Portland por 40 horas a 1450°C.

As composições MTC 1 e MTC 2 apresentam Ti₂MgO₅ em sua composição. Esta fase parece reagir com Ca₃SiO₅, formando mervinita e CaTiO₃, conforme reação (2).





Os produtos da reação (2) podem estar a 1450°C como sólidos ou formando fase líquida de alta viscosidade que propicia a formação de colagem protetora. A figura 5 (b) apresenta uma micrografia com os produtos da reação (2) no refratário de composição MTC 2.

CONCLUSÕES

- ✓ O sistema MgO-TiO₂-CaO mostra-se bastante promissor para o desenvolvimento de refratários para a zona de queima de fornos de cimento. A presença de Ti₂MgO₅ garante a formação de mervinita e CaTiO₃, aderindo o clínquer do cimento Portland ao refratário. No entanto, a estabilidade da colagem protetora formada deve ser avaliada.
- ✓ Os refratários das composições MTC 1 e MTC 2 apresentaram excelentes resistências ao dano por choque térmico, comparando-se aos refratários de composição MA, indicando que existe algum outro mecanismo **que propicia a** excelente resistência ao dano por choque térmico e que não está associado à formação de vazios como os observados em refratários de magnésia-espinélio.
- ✓ O refratário de composição MTC 2 foi pouco resistente ao ataque por um agente corrosivo composto de 35 % de CaSO₄.2H₂O, 35 % de K₂SO₄ e 30 % de KCl, a 1300°C. O refratário da composição MTC 1 mostrou comportamento semelhante ao do refratário da composição MA.

AGRADECIMENTOS

J.A. Rogrigues agradece o apoio do CNPq, processo 304980/2003-0 e da FAPESP, processo 01/04324-8 e L.T. Bernardi agradece ao apoio concedido pelo CNPq, processo 501555/2004-8. Os autores também agradecem ao senhor Ricardo Ibanhez pela realização da maioria dos ensaios de laboratório.

REFERÊNCIAS

- (1) Kajita, Y.; Ozeki, F. & Honda, T. Journal of the Technical Association of Refractories, 20 [4], 266 – 270, 2000.
- (2) Bartha, P. & Klischat, H.J. Ceramic News International-Special Refractories, 6 [3], 31-38, 1999.



- (3) Bartha, P. & Södje, J. Ceramic News International-Special Refractories, Vol. 5, 62 - 71, 2001.
- (4) Oliveira, W.S. Refratários para Fornos de Cimento, ABCP, São Paulo, 1997.
- (5) Komatsu, H.; Arai, M. & Ukawa, S. Journal of the Technical Association of Refractories, 21 [3], 166 - 171, 2001.
- (6) Kawamoto, E.; Mimura, N.; Shima, K. & Loeffelholz, M. Journal of the Technical Association of Refractories, 23 [4], 271 - 275, 2003.
- (7) Bartha, P. Refractories Manual, Interceram, 14 - 17, 2004.
- (8) Klischat, H.J. & Weibel, G. Proceedings of UNITECR '99, 204 - 207, 1999.
- (9) Samejima, A.; Arai, M.; Ukawa, S.; Sasaki, T.; Azuma, T.; Sakai, R. & Shikama, S. Journal of the Technical Association of Refractories, 23 [4], 280 - 285, 2003.
- (10) Contreras, J.E.; Castillo, G.A. & Rodríguez, E.A. Proceedings of UNITECR '03, 651 - 654, 2003.
- (11) Makino, H.; Mori, M.; Obana, T.; Nakamoto, K. & Tsuchinari, A. Journal of the Technical Association of Refractories, Japan, 24 [4], 295 - 299, 2004.
- (12) Tokunaga, K.; Tsuchiya, Y.; Mizuno, Y. & Honda, T. Journal of the Technical Association of Refractories, Japan, 22 [4], 361 - 365, 2002.
- (13) Prange, R.; Bongers, U.; Hartenstein, J. & Stradtman, J. Proceedings of UNITECR '95, 248 - 255, 1995.
- (14) Honda, T. & Ohta, S. Taikabutsu Overseas, 17[4], 50 - 58, 1997.
- (15) Gonçalves, G.E. & Bittencourt, L.R.M. Trabalho apresentado no XXXII Congresso da Associação Latino-americana de Fabricantes de Refratários (ALAFAR), 7 a 10 de novembro de 2004.
- (16) Guo, Z.; Palco, S. & Rigaud, M. Int. J. Appl. Ceram. Technol., 2[4], 327 - 335, 2005.
- (17) Radovanovic, S.V. Proceedings of UNITECR '97, 1613 - 1623, 1997.

Evaluation of Aggregates from MgO-TiO₂-CaO System Used in Refractories for Burning Zone of Cement Rotary Kilns

ABSTRACT

Chrome-free refractories for the burning zone of rotary cement kilns have been largely studied in the last years, because of the health and environmental problems caused during disposal of used chrome oxide containing refractories. Several refractory phase systems have been alternatively evaluated. In this work, fused aggregates from the MgO-TiO₂-CaO system were added in a magnesia based refractory composition. Physical, thermomechanical and thermochemical tests were comparatively made against a commercial magnesia-spinel refractory. The results indicated that the developed chrome-free refractories containing fused aggregates from the MgO-TiO₂-CaO system are very promising candidates for the burning zone lining of cement rotary kilns.

Key-words: refractories, burning zone, cement rotary kilns, magnesia, titania, calcia.