

ESTUDO DA REDUÇÃO CARBOTÉRMICA DE PELOTAS AUTO-REDUTORAS DE CROMITA UTILIZANDO ENERGIA DE MICRO-ONDAS

Danilo Romano Camargo¹; Edmilson Renato de Castro²

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

² Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. *Esse artigo apresenta estudo sobre a redução carbotérmica de pelotas auto-redutoras de cromita efetuada sob campo de micro-ondas em equipamentos especialmente desenvolvidos para esta finalidade. Neste estudo, as seguintes variáveis foram testadas: influência da geometria da cavidade (forno paralelepípedo e hexagonal) e a influência da potência de micro-ondas. As experiências foram realizadas com um gerador de micro-ondas de 2,45 GHz com potências irradiadas de 3 kW e 6 kW, sendo a amostra mantida sob atmosfera de argônio. Utilizaram-se pelotas auto-redutoras contendo cromita, aglomerante e coque metalúrgico como redutor. Obtiveram-se curvas cinéticas, de temperatura e de potência de micro-ondas efetivamente disponível durante o processo redução da cromita.*

Introdução

A cromita é considerada um dos mais importantes minerais industriais em todo o mundo. Ela é empregada como fonte de cromo para as indústrias metalúrgicas, química e de refratários. A cromita é o único mineral de cromo economicamente aproveitável. O cromo é encontrado em vários minerais nas formas de óxidos e silicatos mas não há conhecimento da ocorrência de cromo metálico na natureza. Isso se deve ao caráter oxidante da atmosfera e à elevada reatividade do cromo metálico com o oxigênio (Rosenqvist, 1974). O cromo é obtido comercialmente aquecendo a cromita em presença de alumínio ou silício mediante o processo de redução. Sob o aspecto termodinâmico, as reações carbotérmicas de redução de cromita são bastante endotérmicas e ocorrem principalmente através dos seguintes mecanismos: (Rankin, 1979) i) cromita no estado sólido e os redutores no estado sólido ou gasoso; ii) por reação metal/escória, onde a cromita se dissolve na escória e é reduzida pelo carbono dissolvido na fase metálica; e iii) pela reação da escória com as partículas flutuantes de carbono sólido. A reação de redução direta envolvendo reagentes sólidos tem se mostrado importante nos processos de auto-redução. (Meng, Hiura, Iguchi, 2003). No forno elétrico de redução, os mecanismos II e III são predominantes. Em processos de auto-redução o mecanismo I é o mais importante, mas quando o aglomerado apresenta formação de fase líquida, os mecanismos II e III podem estar presentes. Neste trabalho, o enfoque principal será na redução no estado sólido. Os dois mecanismos importantes para a redução de cromita são os de redução indireta pelo CO (envolvendo a reação de Boudouard), e de redução direta (carbono reagindo diretamente ou pelo carbono dissolvido na fase metálica reagindo com os óxidos). Apesar dos métodos atuais de obtenção do cromo metálico serem avançados, este setor necessita desenvolver novas tecnologias para manter-se competitivo no mercado, de modo que novos processos de obtenção de cromo baseados em alternativas inovadoras possam ser introduzidas. Esta premência ocasiona a busca por um processo de redução que supere inconvenientes como a diminuição de recursos energéticos e a introdução de leis ambientais mais rigorosas. Almeja-se, ainda, que a transferência de calor, que desempenha um papel fundamental na velocidade global do processo, seja mais rápida no forno com micro-ondas que convencional. O presente trabalho visou contribuir

para o desenvolvimento desta nova tecnologia. Para tanto desenvolveu-se um trabalho multidisciplinar abrangendo a área de engenharia elétrica e engenharia metalúrgica para aprofundar o conhecimento sobre a interação das micro-ondas com a redução carbotérmica de cromita.

Materiais e Métodos

A Tabela 1 apresenta a análise química imediata para a cromita.

Tabela 1 - Análise imediata da cromita (% em peso).

Cr ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Fe	P
41,2	16,86	5,66	17,29	15,63	0,38	13,1	0,007

A Tabela 2 apresenta a análise química imediata para o coque metalúrgico.

Tabela 2 - Análise imediata do coque metalúrgico (% em peso).

C _{Fixo}	Cinzas	Matéria volátil	Enxofre
84,0	13,5	1,5	1,0

Preparação das pelotas auto-redutoras

Foram preparadas pelotas com minério cromita e redutor coque metalúrgico em proporção estequiométrica com 0,5% de aglomerante hidroxietil celulose. O processo de pelletização consiste em uma pesagem precisa dos materiais em uma balança analítica. A homogeneização foi realizada através de um misturador tipo “V” e a esta mistura efetuava-se uma pelletização manual onde se adicionava aproximadamente 20% em água para proporcionar a ligação intergranular dos componentes. Após esta etapa, as pelotas permaneciam por 24 horas secando ao ar e foram transferidas para uma estufa a 110°C por mais 24 horas. As pelotas, com diâmetro entre 9 e 18 mm, foram resfriadas e armazenadas em dessecador com sílica gel como dessecante até o ensaio.

Determinação da taxa de reação

A taxa de reação é definida como sendo a porcentagem do material reagido e foi determinado pela perda de peso. O cálculo da quantidade de material que reagiu durante cada experimento realizado foi efetuado empregando-se a seguinte equação:

$$\%TR = [(M_i - M_t)/(M_i \times M)] \times 100 \quad (1)$$

Onde:

TR = Taxa de reação (%)

M_i = Peso inicial da amostra (g)

M_t = Peso no instante t; (g)

M = Porcentagem máxima de perda de peso (35%)

Determinação da potência de micro-ondas efetivamente disponível no interior da cavidade

As potências irradiadas, refletidas e efetivas foram automaticamente registradas por um aquisitor de dados e calculadas conforme a equação 2 para a potência efetiva.

$$P_{ef} = P_{irr} - P_{refl} \quad (2)$$

Onde:

P_{ef} = potência de micro-ondas efetivamente utilizada no processo de redução carbotérmica (W);

P_{irr} = potência de micro-ondas irradiada durante o processo de redução carbotérmica (W);

P_{refl} = potência de micro-ondas refletida pelo equipamento durante o processo de redução carbotérmica (W);

Ensaio de redução carbotérmica das pelotas com micro-ondas

As pelotas foram pesadas (massa aproximada de 20g) e colocadas em um cadinho metalúrgico de 0,1 L. Este cadinho foi colocado sobre um prato cerâmico no interior do forno de micro-ondas. O conjunto, cadinho com pelotas e o prato cerâmico, estavam apoiados, através de um eixo de porcelana, sobre uma balança semi-analítica localizada abaixo do forno. A posição do cadinho com as pelotas no interior do forno foi sempre o centro. As pelotas foram irradiadas com micro-ondas de 2,45 GHz com potência de 3 e 6 kW. A câmara de reação foi mantida inerte com argônio seco com uma vazão de 1,0 L/min. A cada 3 minutos, registrou-se a perda de massa das pelotas para monitorar a taxa de reação. Um termômetro digital instalado na parte superior do equipamento foi usado para medir a temperatura da superfície do meio reagente. O sistema de medição consiste em um termômetro infravermelho na faixa -50 a 900°C e um pirômetro óptico na faixa 900 – 2000°C. A irradiação por micro-ondas foi mantida até que a perda de massa tornou-se nula ou quando as pelotas reduzidas ganhavam peso através de sua oxidação ou ainda quando se alcançava 30 minutos de ensaio. Os fumos gerados no processo foram descartados, após controle analítico. Os fornos consistem em uma cavidade retangular e outra hexagonal, ambas de aço inoxidável de 37 L de volume, conectada a um gerador de micro-ondas de 2,45 GHz de potência regulável até 6 kW, protegido por um circulador. Dispõe de um acoplador direcional para permitir a medida da potência de micro-ondas irradiada ao sistema reagente e a refletida pelo mesmo sistema. Os equipamentos são apresentados pelas Figuras 1 e 2.



Figura 1 – Vista geral do forno paralelepípedo para redução carbotérmica de cromita por irradiação de micro-ondas

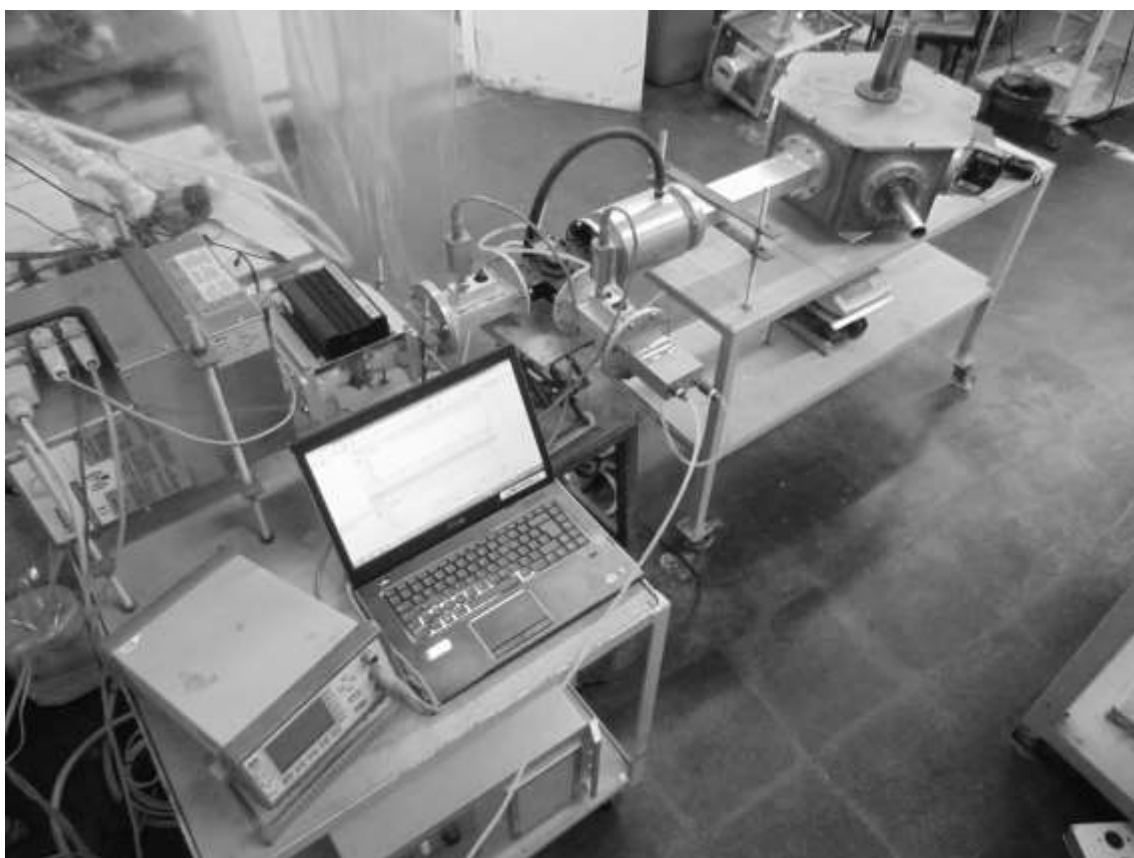


Figura 2 – Vista geral do forno hexagonal para redução carbotérmica de cromita por irradiação de micro-ondas

Resultados e Discussão

A Figura 3 apresenta a taxa de reação em função do tempo de exposição à 2 níveis de potência de micro-ondas. Este gráfico apresenta resultados da evolução da taxa de

reação para três repetições. Os dados das medidas contínuas de perda de massa foram matematicamente tratados através da Equação 1.

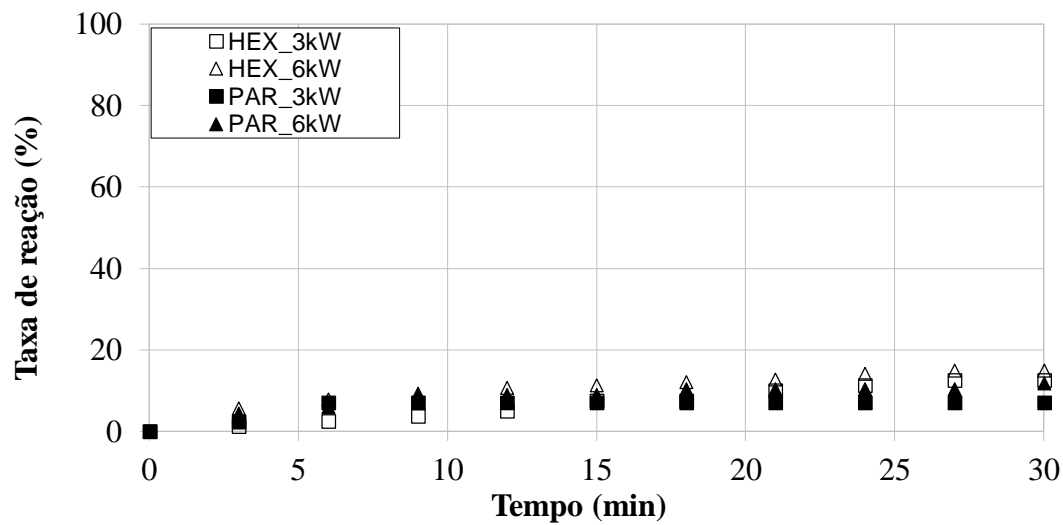


Figura 3 - Taxa de reação em função do tempo de exposição a dois níveis de potências às micro-ondas

A Figura 4 mostra a evolução do perfil de temperatura encontrado nas amostras durante o processo de redução nos dois níveis de potência de micro-ondas irradiada.

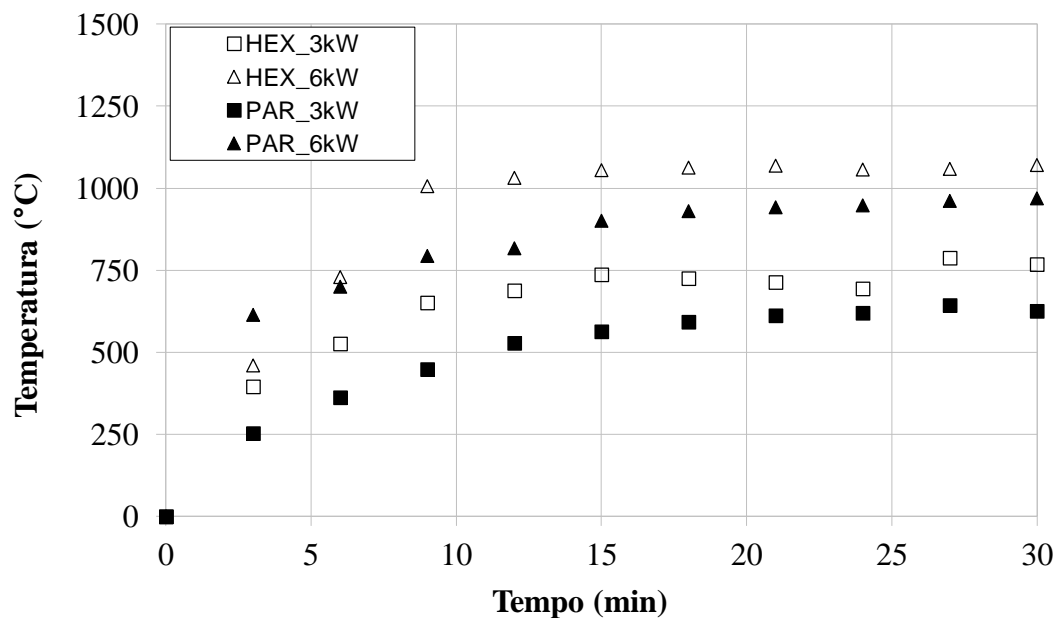


Figura 4 - Temperatura da superfície das pelotas em função do tempo de exposição a dois níveis de potências às micro-ondas.

A Figura 5 mostra a evolução da potência de micro-ondas efetiva, isto é, a energia disponível no interior da cavidade, pelo sistema durante a redução carbotérmica calculada através da equação 2.

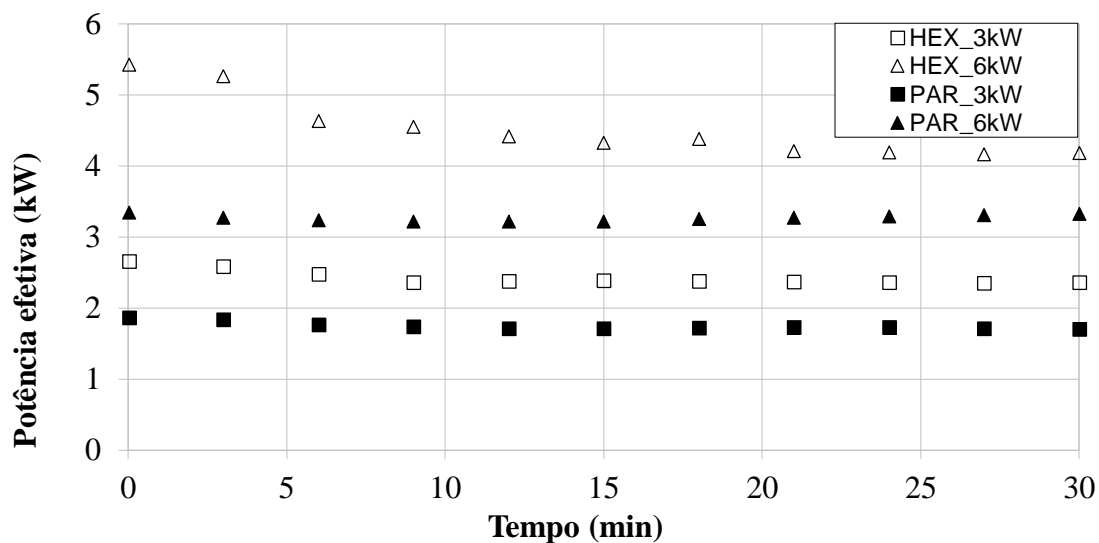


Figura 5 – Perfil da evolução da potência de micro-ondas efetiva (kW) no interior da cavidade.

Nas curvas de redução apresentadas pela Figura 3 mostraram que a variação de massa não foi significativa. O melhor resultado alcançado foi em torno de 15% da taxa de reação para os dois níveis de potência de micro-ondas e para os dois tipos de fornos de redução. Isto se deve provavelmente devido à perda de calor da massa reagente para o meio ambiente por falta de isolamento térmica, que pode ser comprovado através dos resultados obtidos nos experimentos mostrados na Figura 4 que mostra temperaturas inferiores a temperatura de redução ($\sim 1350^{\circ}\text{C}$). Observa-se através da Figura 5 uma disponibilidade maior de potência de micro-ondas no interior do forno hexagonal. Esta superioridade em relação ao forno paralelepípedo não auferiu uma maior taxa de reação, provavelmente devido a fatores não estudados nesta pesquisa como a posição do cadinho no interior do forno, o tamanho, geometria e o tipo de material do cadinho, perdas térmicas para o sistema, a adição de fluxantes na composição da pelota, etc. Deste modo o próximo trabalho contemplará um estudo mais aprofundado sobre a interação entre o sistema pelotas/cadinho com a potência de micro-ondas disponível neste forno além de quantificar as perdas de energia para o sistema como um todo.

Conclusões

A primeira conclusão deste trabalho é que os ensaios não atingiram completa redução. Isto pode ser atribuído a baixa temperatura obtida na carga de pelotas ocasionada provavelmente por uma ineficiente distribuição da energia de micro-ondas no interior do forno além da falta de isolamento térmica. Os ensaios comprovaram empiricamente de que é necessário um estudo mais aprofundado que levará a um melhor conhecimento da interação de micro-ondas com o sistema pelotas-cadinho. Foi possível observar também que os experimentos realizados no forno hexagonal disponibilizaram uma maior potência de micro-ondas no interior da cavidade comparado ao paralelepípedo.

Este trabalho, visou contribuir para a evolução da tecnologia de aplicação de micro-ondas a processos de obtenção de cromo metálico. É uma alternativa para a conservação de energia na indústria siderúrgica, do aumento na velocidade de produção do cromo, entre outros que serão estudados em trabalhos futuros.

Referências Bibliográficas

Rosenqvist, T. (1974) Principles of extractive metallurgy, 1nd edition. New York, McGraw-Hill.

Rankin, W. J. (1979) Reduction of chromite by graphite and carbon monoxide. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*, **88**, C107-113.

Meng, F.; Hiura, M.; Iguchi, Y. (2003) Indirect and direct reaction rate and acceleration effect in wustite-coal char composite pellet heated at elevated temperature. *Tetsu-to-Hagané*, **89**, 229-236.