

AVALIAÇÃO DO EFEITO DOS CICLOS DE AQUECIMENTO/RESFRIAMENTO DE CADINHOS ARGILA-GRAFITE EMPREGADOS NA FUNDIÇÃO DE LIGAS DE ALUMÍNIO

Paulo Henrique Maciel Santana¹, Felipe Fernandes de Oliveira¹

¹Instituto Federal do Mato Grosso do Sul –Corumbá-MS

Paulosantana96@hotmail.com, felipe.oliveira@ifms.edu.br

Resumo

Os materiais refratários aplicados na indústria metalúrgica são fortemente exigidos devido suas propriedades físicas, químicas e mecânicas quando submetidas a altas temperaturas. A alta produtividade de fundição do alumínio, é controlada pelo tipo de refratário a ser utilizado, observando o comportamento do cadinho refratário perante os ciclos de fundições. Os cadinhos de argila-grafite empregados na indústria de fundição do alumínio além de terem baixo custo de confecção, apresentam propriedades importantes para o processo. O trabalho tem por objetivo observar o desgaste do cadinho argila-grafite diante dos ciclos de fundição da liga de alumínio 6351, por meio de análises químicas pela fluorescência de raios X (FRX), a presenças de novas fases cristalográficas pela difração de raios X (DRX) e por monitoramento da temperatura do forno de fundição.

Palavras-chave: Refratário, ciclos de fundição, lingote.

Metodologia e desenvolvimento

Foram utilizadas barras de alumínio 6351 (liga de Al, Mg e Si) e cadinhos comerciais de argila-grafite da marca corona. O alumínio foi cortado em pequenos tarugos através de uma cortadora metalográfica de modo a fundir aproximadamente 200g do material para preencher o cadinho.

A fundição do alumínio baseou-se em ciclos de 10 e 20 fundições, contendo 200g de alumínio cada fundição para cada amostra adicionada ao cadinho refratário em uma faixa de temperatura entre 800 a 1020°C. Esse processo foi realizado em um forno construído em laboratório com uso de gás GLP, sendo utilizado um regulador de pressão para auxiliar no controle de temperatura. Após a fundição, o metal líquido foi vertido em um molde para lingotamento. A Figura 1 apresenta um lingote e o cadinho em uso. O cadinho inserido em solução aquosa concentrada de NaOH para remoção dos resquícios de alumínio aderido na parte interna do cadinho.



Figura 1. Imagem do lingote solidificado e do cadinho.

O monitoramento da temperatura foi realizado utilizando termopar do tipo S com registrador de dados tipo *datalogger*, da marca NOVUS, modelo Logbox-AA. Para a preparação do corpo de prova para as análises químicas e microscópicas, foi necessário realizar o corte dos lingotes e dos refratários e fazer o preparo metalográfico de ambos.

A composição química dos materiais foi realizada utilizando um equipamento EDX 720 da marca Shimadzu, com ensaio a ar e tempo de medida de 200 segundos e colimador com 3 mm de diâmetro nas regiões de borda e escória. A análise por difração de raios X foi realizada em equipamento da DRX6100 da marca Schimadzu, com fonte de radiação de cobalto, varredura de 10-80° com velocidade de varredura de 2°/min.

Resultados e Considerações Finais

A composição química do cadinho de argila-grafite e da liga de alumínio são mostradas na Tabela 1.

As análises microestruturais foram realizadas através do microscópio óptico juntamente com a análise pelo DRX, e comprovaram a existência de novas fases nos refratários. Fases formadas a partir da penetração da escória do banho metálico no refratário.

A composição química teve alteração tanto no refratário quanto no lingote, e foi percebido pela análise de FRX, que comprova a corrosão parcial do cadinho argila-grafite nos 2 ciclos de fundição. Tabela 1. Após realizar as análises químicas obtivemos os teores de Al, Mg e Si presentes na Liga Al-Mg-Si, confirmando que o Alumínio utilizado faz parte da série 6351, é possível observar um teor elevado de Mg (1,956%) enquanto o Si (0,498%) apresenta um teor abaixo do esperado para a liga 6351. O monitoramento dos teores de dos elementos de liga podem auxiliar no estudo do desgaste do cadinho empregado

Tabela 1. Composição química da liga de alumínio empregada no trabalho e do cadinho de argila-grafite.

Elemento	Liga de Al (%)	Cadinho Argila-Grafite (%)
Al	97,042	18,246
Mg	1,956	--
Si	0,498	51,626
Mn	0,279	0,386
Fe	0,139	19,978
Cu	0,033	0,098
Outros	0,050	9,666

O difratograma da liga comercial, mostrada na Figura 2, apresenta dois picos característicos da fase cúbica do alumínio, respectivos aos ângulos de difração em aproximadamente. Os picos são referentes aos planos (111) e (200), conforme referência ICCD 00-004-0787.

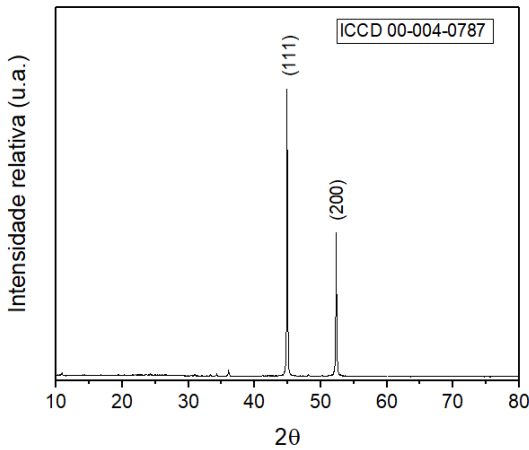


Figura 2. Difratograma da liga comercial de alumínio: amostra de referência.

A Figura 3 apresenta os difratogramas da amostra de refratário argila-grafite cominuído, antes e após a realização de perda ao fogo. A análise da difração da amostra antes da perda ao fogo apresenta o pico característico da fase grafite (referência ICCD 00-008-0415) e do quartzo (referência ICCD 00-005-0490). O grafite por apresentar elevada cristalinidade pode impedir a observação de fases cristalinas de menor cristalinidade. Após a perda ao fogo já possível observar fases de silicatos de alumínio tais como Silimanita e mulita, evidenciando uma possível constituição de sílico-aluminoso, conforme a NBR 10237 [1]. Além disso, a hematita também foi evidenciada, confirmando a análise química.

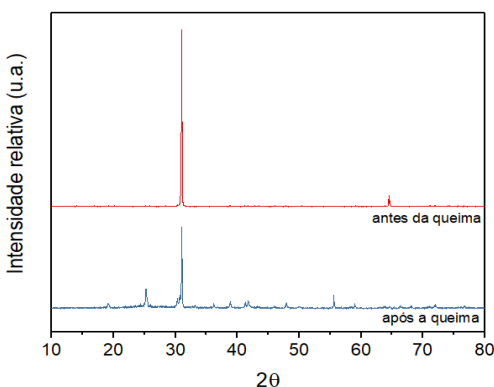


Figura 3. Fases cristalinas presentes no refratário referência antes e após a de perda ao fogo.

A Figura 4 mostra o aspecto visual após as fundições em 10 e 20 ciclos, evidenciando o efeito causado pelo choque térmico na região externa do cadinho, sendo mais intenso para o cadinho com 20 ciclos.

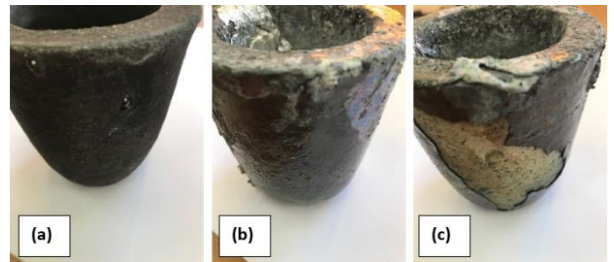


Figura 4. Aspecto visual dos cadinhos: (a) sem fundição, (b) 10 ciclos e (c) 20 ciclos de fundição.

A faixa de temperatura apresentou elevada variação, com temperatura mínima de vazamento de 647°C e temperatura máxima de 1007°C. Após cada ciclo, o cadinho foi mantido até alcançar temperatura de 200°C para iniciar o próximo ciclo de inserção para fundição. A Figura 5 apresenta o monitoramento realizado para o cadinho com 10 ciclos de aquecimento/resfriamento.

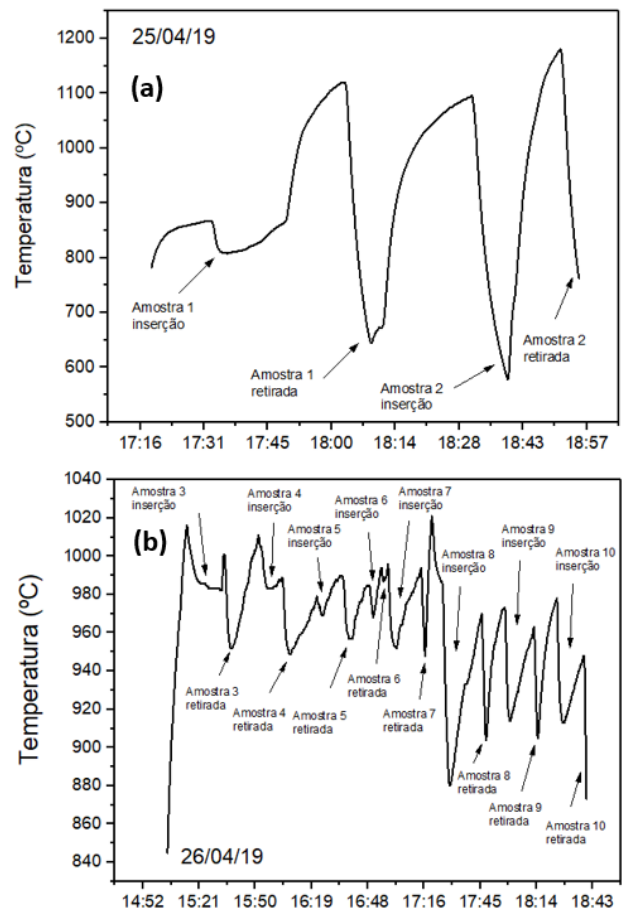


Figura 5. Monitoramento da temperatura para o processo envolvendo 10 ciclos: (a) 1º e 2º lingotes; (b) 3º - 10º lingote.

A Tabela 2 mostra as temperaturas de inserção e retirada do cadinho do forno, para 10 e 20 ciclos, durante a obtenção dos lingotes.

Tabela 2. Temperaturas de inserção e de retirada das amostras fundidas em cadinhos com 10 e 20 ciclos.

	Amostra(s)	Temperatura de inserção (°C)	Temperatura de retirada(°C)
10 ciclos	1	808	647
	2	602	760
	3	980	952
	4	985	949
	5	969	957
	6	968	983
	7	952	947
	8	881	904
	9	915	906
	10	914	875
20 ciclos	1	868	937
	2	997	900
	3	300	935
	4	822	801
	5	923	946
	6	976	970
	7	984	933
	8	994	970
	9	932	910
	10	952	928
	11	965	947
	12	1000	992
	13	1042	1007
	14	840	885
	15	935	923
	16	975	955
	17	996	966
	18	993	941
	19	826	887
	20	978	976

Na Figura 6 é observado os valores do teor de Si encontrado nos lingotes após fundição. O aumento de 0,5% para valores superiores a 1% de Si demonstra migração do silício do cadinho para o metal fundido, podendo ser explicado pela reação de redução da sílica [2, 3], presente no cadinho argila-grafite, pelo alumínio fundido, conforme equação 1.

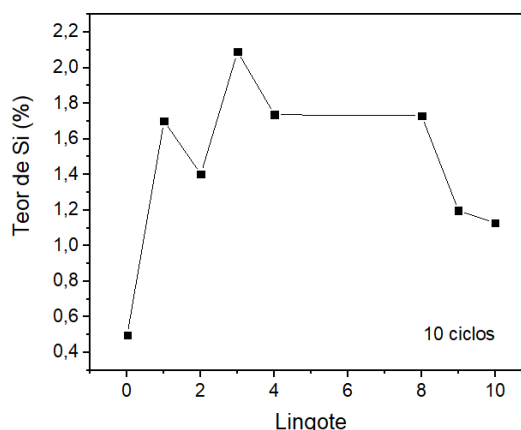
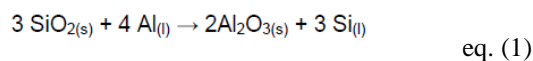


Figura 6. Teor de Si nos lingotes obtidos durante os 10 ciclos de aquecimento/resfriamento.

A Tabela 3 apresenta a composição química do cadinho com 20 ciclos de fundição. É possível observar maior teor de alumínio na região da linha de escória, provavelmente decorrente da formação de alumina (Al_2O_3) gerada como produto do processo de redução da sílica.

Tabela 3. Composição química do cadinho com 20 ciclos de fundição, sendo coletado material em três regiões distintas do cadinho.

Elementos	Linha de escória	Região interna (referência)	Região superficial (vítrea)
Si	56,047	53,994	59,938
Al	18,815	17,137	13,288
Fe	9,631	10,972	10,189
S	3,141	6,504	4,029
Ca	2,691	3,079	4,764
Ti	2,487	2,445	0,769
K	2,103	2,159	4,090
P	0,336	0,235	1,658
Outros	5,085	3,475	1,275

Foi possível verificar aumento do teor de silício no lingote, sugerindo processo de degradação do refratário empregado. Além disso, provavelmente mudanças microestruturais acontecem em decorrência do aumento do silício na liga.

Agradecimentos

Agradeço ao IFMS e a CNPq pelo apoio financeiro ao trabalho desenvolvido.

Referências

[1] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, NBR 10237: Materiais Refratários - Classificação. Rio de Janeiro, 2001.

[2] Yurkov, A. Refractories for aluminium: electrolysis and the cast house. 2^o edition. Springer, Gewerbestrasse, 2015.

[3] Novo M.M.M. Fornos para fusão e espera para indústria do alumínio: caracterização de materiais refratários e conservação de energia. Dissertação. Programa de pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, São Carlos, 2012.