

ESTUDO DO EFEITO DO CARBONO NA APLICAÇÃO DE FLUXANTES PARA LINGOTAMENTO CONTÍNUO DE AÇOS

Maria Carolina Campello Bezerra ¹
Cláudio Antônio Goulart Valadares ²
Jose Deodoro Trani Capocchi ³

Resumo

Os fluxantes são constituídos por óxidos como SiO₂, CaO e MgO. O sistema vítreo do fluxante fundido corresponde a um líquido que, com a redução da temperatura durante o lingotamento, gera um material solidificado de altíssima viscosidade. O carbono adicionado ao fluxante possui efeito na sua velocidade de fusão, sinterização, propriedades de isolamento térmico e formação do *slag rim*. O carbono não se mistura às partículas das matérias-primas minerais ou sintéticas que compõem o fluxante, mantendo-as separadas durante o processo de fusão do material. Quanto maior o teor de carbono, menor será a taxa de fusão do material. A determinação da taxa de fusão dos fluxantes é importante para definir uma composição tal que gere líquido suficiente para alimentar a folga (*gap*) existente entre a placa de aço em solidificação e o molde, garantindo a lubrificação, mesmo em condições variadas de lingotamento. Neste trabalho, é apresentada a influência de diferentes fontes de carbono para o controle da taxa de fusão de fluxantes por meio de análises térmicas e da utilização de equipamento desenvolvido especialmente para execução deste estudo.

Palavras-chave: Fluxantes; Carbono; Lingotamento contínuo.

EVALUATION OF CARBON EFFECT ON MOULD FLUX FOR CONTINUOUS CASTING OF STEEL

Abstract

Mould fluxes compositions contain acid oxides such as SiO₂ and basic oxides such as CaO and MgO. The amorphous phase of molten mould flux generates a high viscosity material. Carbon is also added in the mould flux composition and, if in an adequate amount and type, it actuates on melting rate and on the control of sintering tendency, insulation properties and slag rim formation. Carbon particles act as a barrier between the raw materials grains keeping them separated. The higher is the carbon content, the lower is the melting rate. The mould flux melting control is very important to guarantee enough liquid flux generation to feed the gap between the solidifying shell and the mould wall, even in hard casting conditions. In this paper it is presented the behavior of different sources of carbon on melting rate evaluation, through thermal analysis and by using specific equipment specially developed for this study.

Key words: Mould flux; Carbon; Continuous casting.

1 INTRODUÇÃO

Desde a década de 1960, os fluxantes são utilizados para lingotamento contínuo de aços, com o objetivo principal de lubrificar a interface existente entre a pele do aço em solidificação e o molde, além de controlar a taxa de transferência de calor através do filme de fluxante fundido posicionado nesta interface, proporcionar isolamento térmico, prevenção de oxidação da superfície do aço e absorção de inclusões. A Figura 1 ilustra as principais funções do fluxante no molde durante a solidificação do aço.

Quando o fluxante *in natura* é adicionado sobre o aço líquido no molde, o mesmo é aquecido até a temperatura em que há o início da geração das reações de fusão⁽²⁾ formando uma piscina de fluxante líquido, a qual deve ser em quantidade suficiente para alimentar o intervalo existente entre a pele do aço em solidificação e o molde, garantindo principalmente, a lubrificação desta área e evitando a possibilidade de rompimento da pele de aço em solidificação com o escape de aço líquido que pode interromper o processo de lingotamento.

¹Mestre em Engenharia, Engenheira de Produção Química, Diretora de Operações da Carbox Resende Química Ind. Com. Ltda, Rodovia Presidente Dutra, Km 298,8, Resende, RJ, Brasil, e-mail: carolina@carbox.com.

²Mestre em Ciências, CQE/ASQ, Engenheiro Metalurgista, Diretor Técnico da Carbox Resende Química Ind. Co.m Ltda., Rodovia Presidente Dutra, Km 298,8, Resende, RJ, Brasil, e-mail: cvaladares@carbox.com.

³Professor Titular do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Av. Prof. Mello Moraes, 2463, CEP 05508.900, São Paulo, SP, Brasil, e-mail: jdtcapoc@usp.br

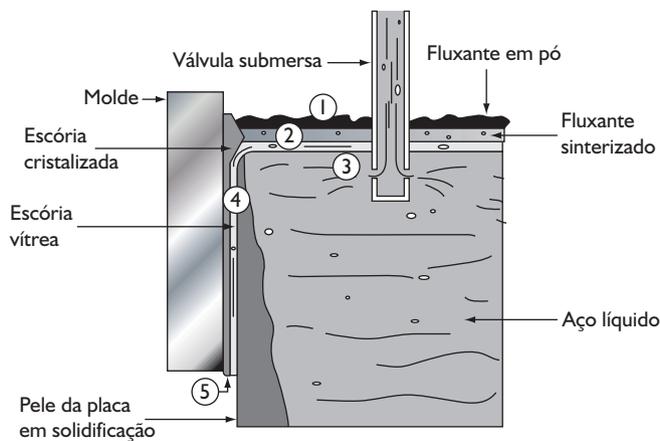


Figura 1. Funções do fluxante no lingotamento contínuo de aços.⁽¹⁾ 1 – isolamento térmico; 2 – prevenção da reoxidação; 3 – absorção de inclusões; 4 – lubrificação; 5 – controle da taxa de transferência de calor.

A determinação da velocidade de fusão dos fluxantes é importante para garantir que haja fluxante líquido suficiente para alimentar o intervalo vazio existente entre a placa de aço em solidificação e o molde,⁽³⁻⁶⁾ mesmo em condições variadas de lingotamento.⁽⁷⁾ Possui grande interferência na formação de um filme de fluxante líquido homogêneo que lubrifica, controla a taxa de transferência de calor entre o aço e o molde, e absorve inclusões do aço líquido.

Segundo Pradhan et al.,⁽⁸⁾ uma espessura mínima de fluxante sobre o aço líquido no molde deve ser definida de modo a garantir o fornecimento de fluxante líquido na interface existente entre a placa e o molde durante o movimento de descida do molde e evitar arraste de escória, além de evitar o contato do aço líquido com a zona de fluxante líquido enriquecida com carbono.

Em contrapartida, o fluxante líquido em excesso é considerado problemático em virtude de possível ocorrência excessiva de fluxante sinterizado (*slag rim*), na região em que o fluxante está em contato com a parede resfriada do molde, gerando obstrução da alimentação de fluxante líquido e possível ocorrência de solidificação da superfície de aço líquido.

A taxa de fusão é dependente das matérias-primas que constituem o fluxante e suas respectivas temperaturas de fusão, tamanho e forma dos grãos, além do tipo e quantidade de carbono. O carbono possui influência na sua velocidade de fusão, tendência à sinterização, propriedades de isolamento térmico e formação do cordão de escória.⁽⁹⁾ Partículas de carbono não se misturam às partículas de minerais que constituem os fluxantes, e as mantêm separadas durante o processo de fusão do material. Quanto maior o teor de carbono, menor será a taxa de fusão. A Figura 2 ilustra os glóbulos de matérias-primas do fluxantes e partículas de carbono.

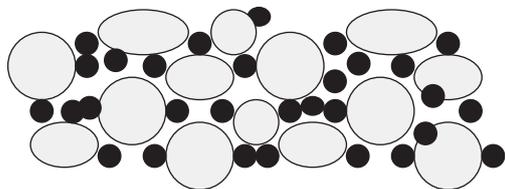


Figura 2. Diagrama esquemático de glóbulos das matérias-primas do fluxante separados por partículas de carbono.⁽¹⁰⁾

Existem vários métodos citados na literatura⁽¹⁰⁻¹³⁾ relacionando a taxa e a temperatura de fusão com os teores de carbono presentes no fluxante. No estudo efetuado por Kawamoto et al.,⁽⁵⁾ foi desenvolvido um método específico para avaliação da taxa de fusão, que consiste na medida da alteração da espessura de fluxante líquido gerada sobre o aço líquido inicialmente a temperatura de 1.550°C. Foram obtidas as seguintes conclusões:

- A taxa de fusão do fluxante é independente da sua temperatura de fusão; e
- A taxa de fusão diminui à medida que o teor de carbono aumenta, e a taxa de fusão dos fluxantes contendo negro de fumo é menor que a dos fluxantes que contem coque, conforme ilustra a Figura 3a. A taxa de fusão dos fluxantes diminui com o uso de grãos mais finos de fonte de carbono, em comparação a utilização de grãos mais grossos, conforme ilustra a Figura 3b.

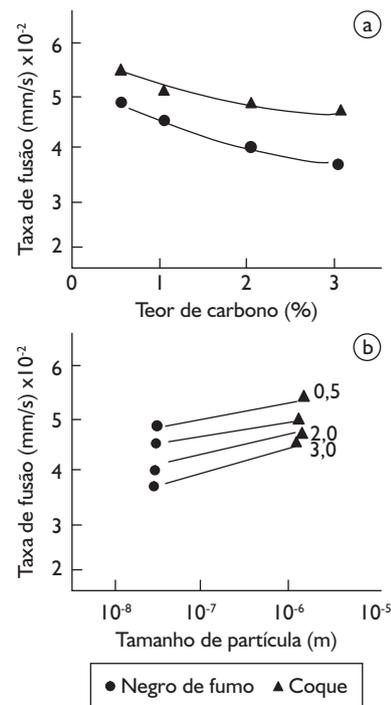


Figura 3. a) Efeito do teor de carbono; e b) do tamanho de partícula das fontes de carbono na taxa de fusão de fluxantes.⁽⁵⁾

Lidfelt e Hasselström⁽¹¹⁾ desenvolveram outro tipo de equipamento, conforme apresentado na Figura 4, em que as amostras são aquecidas a uma temperatura de 1.500°C. A base cônica do cadinho permite que o fluxante, após a sua fusão, goteje para fora do forno em um frasco que é pesado continuamente. Foi efetuada a comparação de fluxantes com a adição de carbono proveniente de negro de fumo e grafite.

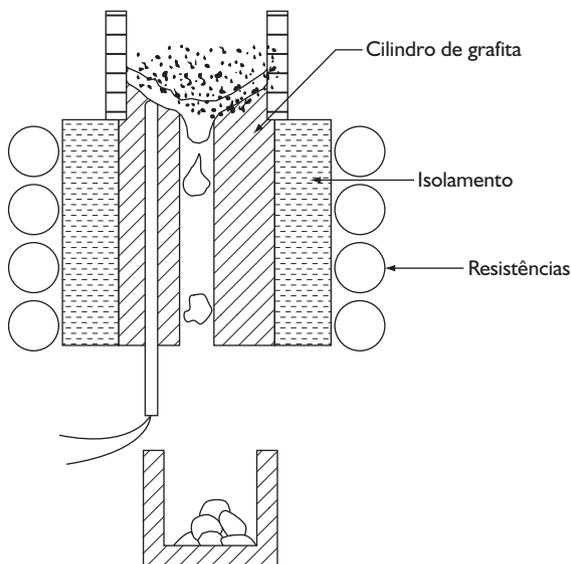


Figura 4. Diagrama esquemático do equipamento utilizado para avaliação da velocidade de fusão de fluxantes.⁽¹¹⁾

Foi verificado que o fluxo da amostra fundida com adição de negro de fumo é bastante inferior às amostras com a adição de grafite.

Xie et al.⁽¹²⁾ utilizaram o mesmo equipamento e a mesma sistemática desenvolvida por Lidfelt e Hasselström⁽¹¹⁾ e encontraram resultados similares quando compararam os tipos de fonte de carbono disponíveis na China. Os resultados descritos anteriormente estão de acordo também com os obtidos por Takeushi et al.⁽¹³⁾ Outros métodos também são encontrados na literatura, como os dois testes citados por Branion,⁽³⁾ em que o tempo necessário para a fusão de um botão de fluxante ou do cone de Seger é verificado, a temperatura de 1.150°C.

Outros estudos têm sido efetuados de modo a reduzir ou eliminar o carbono de fluxantes. Terada et al.⁽¹⁴⁾ encontraram bons resultados durante a avaliação do uso de agentes oxidantes para acelerar a oxidação do carbono, e avaliaram a substituição de carbono por materiais cerâmicos, como nitretos, boretos e silicetos. Quanto ao uso de materiais cerâmicos, os melhores resultados foram obtidos com o uso de nitreto de boro, resultado também obtido por Takeushi et al.⁽¹³⁾

2 MATERIAL E MÉTODOS

O equipamento utilizado consiste de um forno elétrico de resistência fabricado sob encomenda da Carbox, que contém doze elementos para aquecimento de carvão de silício, posicionados seis de cada lado da câmara. Na parte externa e superior do forno, são posicionadas duas células de carga para controlar o peso de cada um dos cadinhos utilizados. Os cadinhos cerâmicos são suspensos por meio de hastes cerâmicas e penderes da célula de carga. O termopar é posicionado entre os dois cadinhos. Os dados de temperatura e massa obtidos do termopar e da célula de carga, respectivamente, são transferidos para o sistema de aquisição de dados. O cadinho posicionado à esquerda refere-se ao Processo 1,

e o cadinho posicionado à direita, ao Processo 2. O ensaio é realizado em duas amostras simultaneamente, para a comparação dos resultados obtidos. A Figura 5 mostra o equipamento.

Para execução das avaliações, foi definido o seguinte regime de aquecimento: até a temperatura de 600°C, o forno é aquecido com a potência total das resistências e com a taxa de aquecimento de aproximadamente 100°C/min. A partir desta temperatura, a taxa de aquecimento é de 20°C/min.

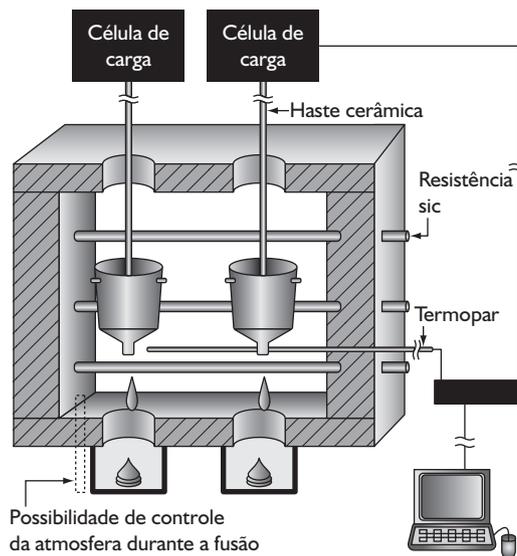


Figura 5. Diagrama esquemático do equipamento para avaliação da taxa de fusão.

Um software específico para tratamento dos dados de temperatura e variação de massa foi desenvolvido para facilitar a verificação das temperaturas em que ocorre a primeira gota de material fundido e o término da fusão, e da taxa de escoamento do fluxo fundido. São gerados gráficos de massa (g) (ordenada) versus temperatura (°C) (abscissa). A Figura 6 apresenta a tela típica de apresentação dos dados gerados no ensaio.

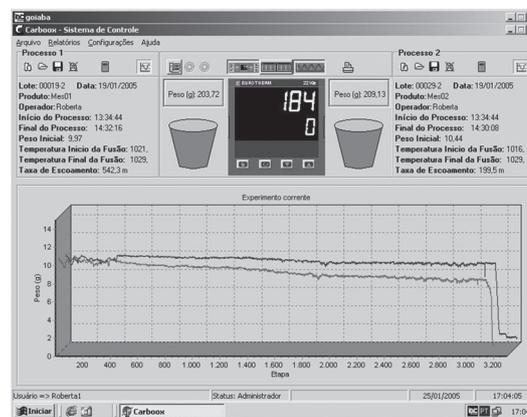


Figura 6. Exemplo da tela de apresentação dos resultados.

A amostra considerada base neste ensaio refere-se à fórmula de um fluxante para lingotamento de aço baixo carbono isenta de carbono. A sua composição química e principais propriedades estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química (porcentagem em massa), viscosidade e *break temperature* da amostra I (considerada base neste ensaio).

SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	F	Fe ₂ O ₃	MgO	C _{livre}	Ct	ppc*
34,0	24,5	4,3	11,80	0,15	8,60	1,09	7,17	0,0	1,98	8,44

*Perda por calcinação; Obs.: O teor de carbono encontrado refere-se ao carbono proveniente de carbonato. Viscosidade a 1.300°C: 0,91poise; *Break temperature*: 971,7°C (temperatura na qual ocorre um aumento brusco da viscosidade durante o resfriamento).

A massa das amostras colocadas dentro dos cadinhos é de 10 g. À medida em que há o aumento da temperatura, os dados de perda de massa são registrados pela célula de carga. No momento em que o material começa a fundir, dá-se o gotejamento da amostra fundida. As gotas são coletadas por um recipiente posicionado na parte externa e inferior do forno. Os cadinhos utilizados são de porcelana, afunilados, com diâmetro externo superior de 32,0 mm e diâmetro da extremidade inferior para vazamento de 5,0 mm.

A partir da composição descrita na Tabela 1, foram efetuadas adições de carbono. As fontes de carbono utilizadas foram negro de fumo e coque, cujas composições químicas e tamanhos de partículas estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Composição química (porcentagem em massa) das fontes de carbono utilizadas.

	Coque	Negro de fumo
Materiais voláteis	3,39	2,63
Carbono fixo	95,87	96,70
Cinzas	0,62	0,51
Tamanho de partícula*	46,30 μm	3,02 μm
% material retido na # 200 (<74 μm)	2,0	0,0

*Tamanho de partícula determinado pelo equipamento Mastersizer S long bed, fabricado pela Malvern Instrumentos.

Foram preparadas composições com variação de 1,0% a 8,0% de carbono proveniente de coque e de negro de fumo.

Foram realizadas análises térmicas diferenciais utilizando-se o equipamento Analisador Termodiferencial Perkin Elmer DTA7, com taxa de aquecimento de 10°C/min, seguido de isoterma a 1.300°C por 0,5 min e resfriamento de 1.300°C a 600°C, com taxa de 20°C/min, sempre com fluxo de ar sintético de 20 mL/min.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em todos os ensaios realizados, a Amostra I foi colocada no cadinho da esquerda (Processo I). A Tabela 3 mostra os resultados de 10 ensaios feitos com a amostra-padrão (Amostra I).

Após a avaliação dos resultados de média e desvio-padrão, considerou-se que a variação encontrada nos permite efetuar a comparação direta dos resultados obtidos das amostras com adição de carbono. Os resultados ainda demonstraram que o equipamento desenvolvido possui elevada repetitividade de resultados.

Tabela 3. Resultados obtidos na avaliação da Amostra I, utilizada como referência em cada ensaio realizado.

	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Taxa de escoamento (mg/s)
Média	1.011	1.028	356
Desvio-padrão	3,5	4,8	43,1

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos nas amostras com adição de carbono com negro de fumo e os resultados das amostras com adição de coque.

A Figura 7 apresenta os resultados referentes à Tabela 4: a) curva dos resultados descritos com adições de negro de fumo; e b) curva dos resultados com adição de coque.

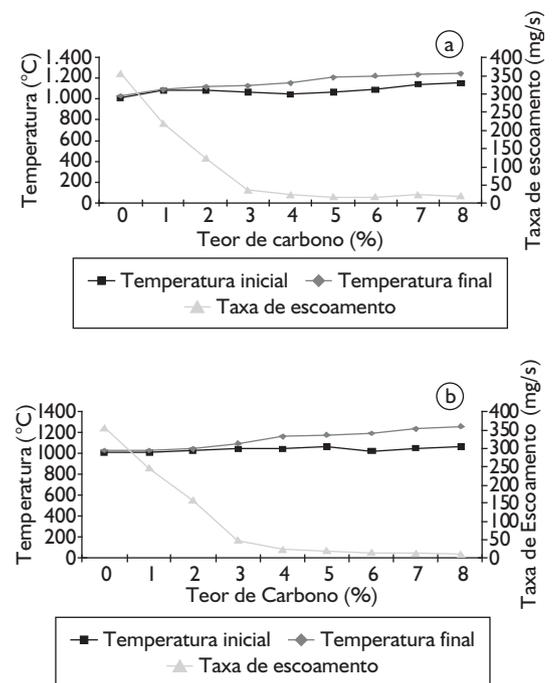


Figura 7. Gráficos apresentando os resultados obtidos com: a) adição de carbono pelo negro de fumo; e b) pelo coque na avaliação da velocidade de fusão.

A taxa de escoamento das amostras avaliadas foi gradativamente reduzida, e as temperaturas de início e final de fusão subiram gradativamente em virtude da adição de carbono tanto pelo coque quanto pelo negro de fumo, devido à função que o carbono possui em manter os grãos cobertos da mistura de Fluxante, atuando como uma barreira para fusão.

Pode-se perceber que a adição de negro de fumo apresentou maior influência no retardamento desta taxa que a adição de coque.

Tabela 4. Resultados obtidos na avaliação da Amostra I com adições de carbono através de negro de fumo e do coque.

Teor de carbono (%)	Adições de negro de fumo			Adições de coque		
	Temp. inicial (°C)	Temp. final (°C)	Taxa de escoamento (mg/s)	Temp. inicial (°C)	Temp. final (°C)	Taxa de escoamento (mg/s)
0(*)	1.011	1.028	356,0	1.011	1.028	356,0
1	1.080	1.092	219,0	1.007	1.031	245,0
2	1.083	1.117	122,0	1.026	1.045	157,0
3	1.068	1.130	35,0	1.045	1.094	48,0
4	1.049	1.155	23,9	1.045	1.160	22,7
5	1.072	1.205	16,2	1.065	1.177	18,1
6	1.093	1.223	16,6	1.021	1.195	14,8
7	1.145	1.236	22,3	1.053	1.239	11,8
8	1.155	1.248	19,3	1.070	1.256	10,8

(*) Os resultados obtidos com a amostra contendo 0% de carbono, refere-se ao resultado médio do teor de carbono obtido na Amostra I.

O negro de fumo é um material carbonáceo finamente dividido, produzido através da decomposição térmica controlada de hidrocarbonetos aromáticos. É muito utilizado na fabricação de borrachas e plásticos onde uma de suas vantagens é o excelente poder de tingimento.⁽¹⁵⁾

Para o caso dos fluxantes, esta característica é explorada de modo a garantir que os grãos dos materiais isentos de carbono sejam perfeitamente recobertos de modo a controlar de maneira mais efetiva a taxa de fusão.

Foi efetuada também a avaliação das amostras de coque e de negro de fumo puros, conforme mostra a Figura 8.

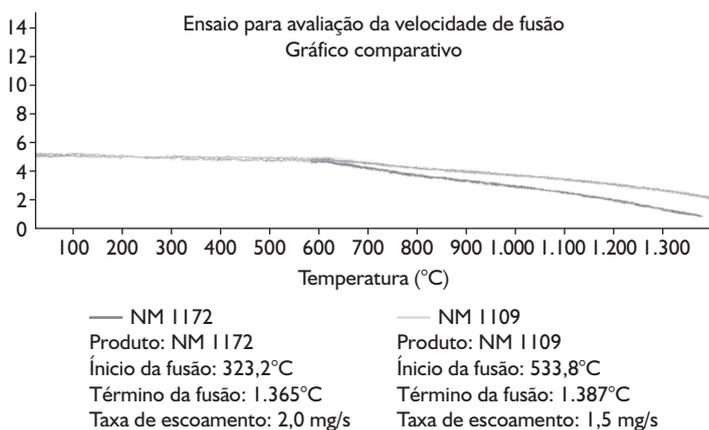


Figura 8. Avaliação da amostra de negro de fumo (NM 1172) e coque (NM 1109) puros.

A amostra de negro de fumo iniciou a sua perda de massa a uma temperatura inferior (323°C), quando comparado à amostra de coque metalúrgico (533,8°C). A taxa em que a perda de massa ocorre - taxa de escoamento - foi mais elevada na amostra de negro de fumo (2,0 mg/s) em comparação à amostra de coque (1,5 mg/s).

A Figura 9 apresenta o resultado da análise térmica diferencial da amostra isenta de carbono. As Figuras 10 e 11 apresentam os resultados das análises térmicas da amostra I contendo 2 e 8% de carbono fornecido pelo coque (CQ), e as Figuras 12 e 13 mostram os resultados dos mesmos teores fornecidos pelo negro de fumo (NF).

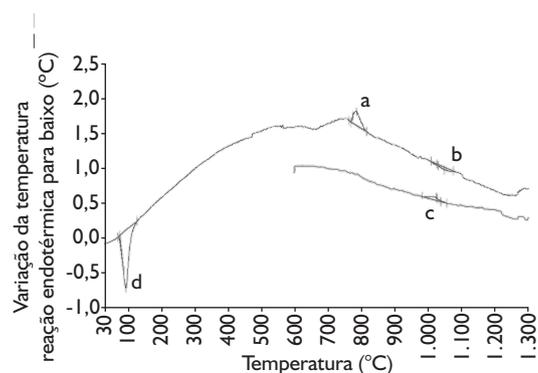


Figura 9. Resultado da análise térmica diferencial da amostra isenta de carbono. a) Peak = 784.37°C, onset = 768.05°C, area = -29.049°C x sec; b) peak = 1046.89°C, onset = 1025.84°C, area = 8.274°C x sec; c) peak = 1022.27°C, onset = 1036.66°C, area = -4.649°C x sec; e d) peak = 93.22°C, onset = 75.10°C, area = 95.282°C x sec.

Verifica-se que a amostra isenta de carbono (Figura 9) não apresentou os picos característicos da queima de carbono proveniente de coque: Figuras 10 e 11, e provenientes do negro de fumo: Figuras 12 e 13. À medida que houve o aumento do teor de carbono, houve um aumento da intensidade do pico característico. O carbono proveniente pelo coque reagiu na faixa de temperatura de 546°C a 641°C, as quais são superiores a faixa de temperatura dos picos referentes à queima do negro de fumo, que está na ordem de 479°C a 626°C.

Com os resultados obtidos na Figura 8, seria esperado que as temperaturas de início de fusão das amostras contendo negro de fumo fossem mais baixas que as amostras contendo coque, porém os resultados encontrados foram contrários.

Conforme verificado por Kawamoto et al.,^(5,6) Sridhar et al.,⁽⁷⁾ Pradhan et al.,⁽⁸⁾ Lidfelt e Hasselström⁽¹¹⁾ e Xie et al.,⁽¹²⁾ à medida em que há o aumento do teor de carbono, há a redução da taxa de fusão do fluxante, e a eficiência do negro de fumo é superior à do coque. Os resultados encontrados neste trabalho confirmam os resultados

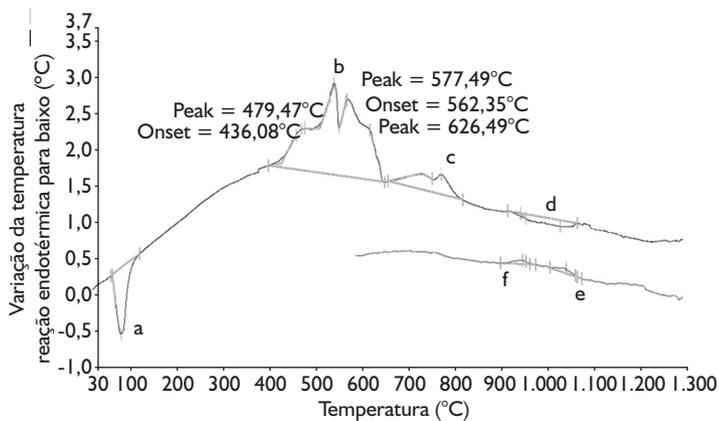


Figura 10. Resultado da análise térmica diferencial da amostra CQ = 2%. a) Peak = 91.44°C, onset = 72.56°C, area = 119.970°C x sec; b) peak = 549.69°C, onset = 519.14°C, area = -870.000°C x sec; c) peak = 781.13°C, onset = 738.08°C, area = -130.116°C x sec; d) peak = 1036.51°C, onset = 951.00°C, area = 52.616°C x sec; e) peak = 1049.05°C, onset = 1073.12°C, area = -6.297°C x sec; e f) peak = 956.08°C, onset = 971.21°C, area = -5.969°C x sec.

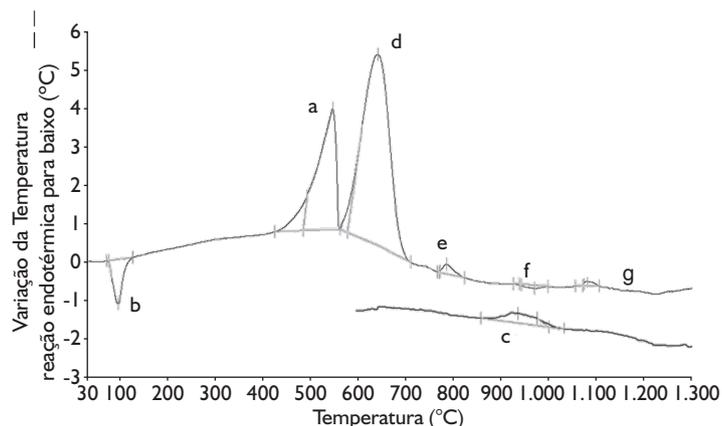


Figura 11. Resultado da análise térmica diferencial da amostra CQ = 8%. a) Peak = 546.59°C, onset = 484.19°C, area = -909.476°C x sec; b) peak = 96.42°C, onset = 76.94°C, area = 132.785°C x sec; c) peak = 935.71°C, onset = 1000.18°C, area = -66.864°C x sec; d) peak = 641.42°C, onset = 578.18°C, area = -1996.031°C x sec; e) peak = 785.18°C, onset = 769.74°C, area = -39.520°C x sec; f) peak = 1080.30°C, onset = 937.94°C, area = -18.978°C x sec; e g) peak = 969.39°C, onset = 1071.55°C, area = -17.699°C x sec.

obtidos na literatura. A diferença do tamanho de grão do negro de fumo (3,02 μm), que é muito menor que a do coque (46,30 μm), justifica a melhor cobertura dos grãos, dificultando a queima do negro de fumo em relação à do coque, justificando o motivo de, mesmo com temperatura de queima inferior a do coque, o negro de fumo possuir maior influência na redução da taxa de fusão dos fluxantes. Assim, adições de menores teores de negro de fumo podem apresentar o mesmo desempenho que a adição de maior teor de coque.

Como se verifica na prática industrial, para lingotamento contínuo de placas de aço com ultra baixo teor de carbono, onde há um controle quanto à ocorrência de contaminação de carbono no aço, efetua-se a adição de carbono em teores menores através do negro de fumo somente, e se obtêm as mesmas características de fusão no molde, dos fluxantes com adição de misturas de coque e negro de fumo.

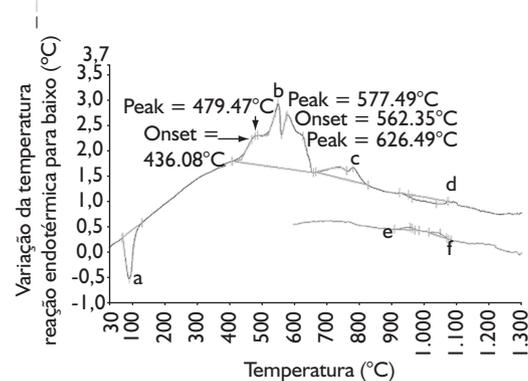


Figura 12. Resultado da análise térmica diferencial da amostra NF = 2%. a) Peak = 91.44°C, onset = 72.56°C, area = 119.970°C x sec; b) peak = 549.69°C, onset = 519.14°C, area = -870.000°C x sec; c) peak = 781.13°C, onset = 738.08°C, area = -130.116°C x sec; d) peak = 1036.51°C, onset = 951.00°C, area = 52.616°C x sec; e) peak = 956.08°C, onset = 971.21°C, area = -5.969°C x sec; e f) peak = 1049.05°C, onset = 1073.12°C, area = -6.297°C x sec.

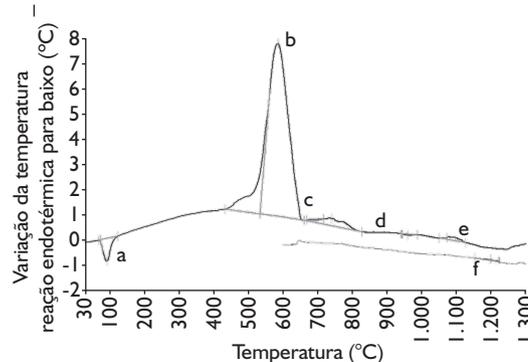


Figura 13. Resultado da análise térmica diferencial da amostra NF = 8%. a) Peak = 92.00°C, onset = 72.90°C, area = 111.775°C x sec; b) Peak = 585.63°C, onset = 532.83°C, area = -3086.608°C x sec; c) Peak = 741.30°C, onset = 693.38°C, area = -149.604°C x sec; d) Peak = 959.25°C, onset = 941.72°C, area = 6.597°C x sec; e) Peak = 1097.36°C, onset = 1064.41°C, area = 6.597°C x sec; e f) Peak = 1198.53°C, onset = 1222.42°C, area = -6.142°C x sec.

4 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que:

- O equipamento desenvolvido apresentou repetibilidade dos resultados obtidos, que o habilita para ser utilizado como uma ferramenta confiável para avaliação das temperaturas de início e término de fusão, bem como a taxa de escoamento de fluxantes para lingotamento de aços.
- Verificou-se que a adição de carbono, tanto proveniente do coque quanto do negro de fumo, refletiu no aumento das temperaturas de início e término da fusão dos materiais e na redução da taxa de escoamento. A adição de carbono pelo negro de fumo apresentou efeitos mais evidentes;

- Pôde-se verificar que os resultados obtidos nas análises térmicas diferenciais apresentaram coerência de proporção do teor de carbono, e obtenção dos picos exotérmicos característicos. O pico exotérmico referente às amostras com adição de negro de fumo ocorreu sempre a temperaturas inferiores a dos picos correspondentes à adição de coque; e
- Os resultados obtidos permitem que se cogite a formulação de fluxantes sem a utilização de coque, empregando-se como fonte de carbono apenas a adição de negro de fumo para controlar as temperaturas de início, término de fusão e taxa de escoamento.

REFERÊNCIAS

- 1 BRANION, R.V. Mould flux for continuous casting. In: STEELMAKING CONFERENCE, 69., 1986, Washington, DC. **Proceedings...** Warrendale: Iron and Steel Society, 1986. p. 95-106.
- 2 PINHEIRO, C.A.; SAMARASEKERA, I.V.; BRIMACOMBE, J.K. Mould flux for continuous casting of steel: part X. **Iron and Steelmaker**, v. 22, n. 7, p. 41-3, July 1995.
- 3 BRANION, R.V. Mould flux for continuous casting. King of Prussia, Pennsylvania: ISS, 1994. (Course sponsored by ISS).
- 4 KROMHOUT, J.A.; LUDLOW, V.; MCKAY, S.; NORMANTON, S.; THALHAMMER, M.; ORS, F.; CIMARELLI, T. Physical properties of mould fluxes for slab casting. **Ironmaking and Steelmaking**, v. 29, n. 3, p. 191-3, June 2002.
- 5 KAWAMOTO, M.; NAKAJIMA, K.; KANAZAWA, T.; NAKAI, K. Melting mechanism of mold powder for continuous casting. In: STEELMAKING CONFERENCE, 75., 1992, Toronto. **Proceedings...** Warrendale: Iron and Steel Society, 1992. p. 389-96.
- 6 KAWAMOTO, M.; NAKAJIMA, K.; KANAZAWA, T.; NAKAI, K. Design principles of mold powder for high speed continuous casting. **ISIJ International**, v. 34, n. 7, p. 593-8, 1994.
- 7 SRIDHAR, S.; MILLS, K.C.; MALLABAND, S.T.; Powder consumption and melting rates of continuous casting fluxes. **Ironmaking and Steelmaking**, v. 29, n. 3, p. 194-8, June 2002.
- 8 PRADHAN, N.; GHOSH, M.; BASU, D.S.; MAZUMBAR, S.; Prediction of slag pool thickness in continuous casting mould. **ISIJ International**, v. 39, n. 8, p. 804-8, 1989.
- 9 MOORE, J.A.; PHILLIPS, R.J.; GIBBS, T.R.; An overview for the requirements of continuous casting mold fluxes. In: STEELMAKING CONFERENCE, 74., 1991, Washington. **Proceedings...** Warrendale: Iron and Steel Society, 1991. p. 615-21.
- 10 MILLS, K. Mold powder for continuous casting. San Nicolas, Argentina: Instituto Argentino de Siderurgia, 2003. (Course sponsored by IAS).
- 11 LIDEFELT, H.; HASSELSTRÖM, P. Characterization of the functional properties of mould powders for continuous casting of steel. In: INTERNATIONAL IRON AND STEEL CONGRESS, 4., 1982, London. **Proceedings...** London: The Metals Society, 1982. p. 10.1-10.9.
- 12 XIE, B.; WU, J. YONGNIAN, G. Study on amount and scheme of carbon mixed in cc mold fluxes. In: STEELMAKING CONFERENCE, 74., 1991, Washington. **Proceedings...** Warrendale: Iron and Steel Society, 1991. p. 647-51.
- 13 TAKEUCHI, H.; MORI, H.; NISHIDA, T.; YANAI, T.; MUKUNASHI, K. Development of a carbon-free casting powder for continuous casting of slabs. **Transactions ISIJ**, v. 19, p. 274-82, May 1979.
- 14 TERADA, S.; KANEKO, S.; ISHIKAWA, T.; YOSHIDA, Y. Research on substitution for carbon (Development of Mold Fluxes for ultra low carbon). In: **Steelmaking Conference**, 74., 1991, Washington. **Proceedings...** p. 635-8. : Iron and Steel Society, 1991.
- 15 PHELPS DODGE INDUSTRIES COMPANY. Disponível em: www.columbianchemical.com.br/plástico.asp. Acesso em: 25 fev 2005.

Recebido em: 16/12/08

Aceito em: 01/07/08

Proveniente de: SEMINÁRIO DE ACIARIA - INTERNACIONAL, 38., 2007, Belo Horizonte, MG. São Paulo: ABM, 2007.