



Tema: Solidificação / Lingotamento

PÓS FLUXANTES ISENTOS DE FLÚOR PARA LINGOTAMENTO DE PLACAS – TESTES INDUSTRIAIS*

Márcia Maria da Silva Monteiro Pereira¹

Evandro Luís Nohara²

Suzana Lancelote de Freitas³

Gérson Tolentino Ferreira⁴

Wagner Carvalho Moreira⁵

Marco Túlio Dias Lima⁶

Detlef Jung⁷

Resumo

Flúor é muito usado em pós de molde aplicados no lingotamento contínuo de aços. Embora o flúor seja importante no comportamento de fusão, infiltração da escória e cristalização do filme de escória, ele tem algumas desvantagens uma vez que o flúor reage com a escória, produzindo substâncias como NaF e SiF, as quais, por sua vez, reagem com a água no resfriamento secundário, formando HF. Estas desvantagens levam a severa corrosão do maquinário e risco para a saúde dos funcionários da usina. Por isto, é necessário remover o flúor dos fluxantes. Pó fluxante para lingotamento de placas livre de flúor está sendo desenvolvido como resultado de uma parceria entre fornecedor de pós fluxantes e a siderúrgica. Relacionado a isto, matérias primas alternativas para substituir F na composição dos pós fluxantes foram investigadas. Pesquisas indicaram B₂O₃ como substituto em potencial de flúor para escórias de molde. Os testes industriais, feitos em uma siderúrgica brasileira, foram realizados com o objetivo de analisar seu comportamento durante a operação de lingotamento contínuo em aços de baixo carbono. Parâmetros tecnológicos como: absorção de inclusões, espessura da piscina líquida, consumo de pó fluxante e índice de erosão da válvula submersa foram monitorados durante o lingotamento contínuo com o objetivo de avaliar o desempenho do pó e de fornecer informações sobre sua influência na qualidade da superfície do aço. Os testes industriais de lingotamento de aços baixo carbono revelaram uma boa qualidade de superfície e redução na erosão da válvula submersa. Outros parâmetros estão em estudo.

Palavras-chave: Escórias metalúrgicas; Lingotamento de placas; Pós fluxantes isentos de flúor.

F-FREE MOLD POWDERS FOR SLABCASTING –INDUSTRIAL TESTS

Abstract

Fluorine is widely employed in mold powders used in continuous casting of steels. Although fluorine be important in the melting behavior, slag infiltration and crystallization of the slag film, it provides some disadvantages once that fluorine reacts within the slag, producing substances, such as NaF and SiF, which, in turn, react with the water in the secondary cooling, forming HF. These disadvantages lead to severe machinery corrosion and risk for the plant's personnel health. Due to it, to remove the fluorine from fluxes is necessary. Fluorine free mold powder for slab casting is under development as result of the partnership between mould powder supplier and the steel plant. Regarding to this, alternative raw-materials to substitute F in the mold powders composition have been investigated. Researchers have indicated B₂O₃ as potential substitutes of fluorine from mold slags. The industrial trials, performed in a Brazilian steelworks, were accomplished aiming to analyse its behaviour during continuous casting operation of low carbon steel grade. Technological parameters like: inclusion absorption, slag pool thickness, powder consumption and SEN erosion rate were monitored during continuous casting with the objective of evaluating the performance of mould powder and to provide information about its influence on the surface quality of the steel. The industrial trials of low carbon steel casting revealed a good surface quality and reduction in the SEN erosion. Other parameters are under study.

Keywords: Metallurgical slags; Slab casting; Fluorine-free mould powder.

¹ Engenheira Química, Supervisora de Laboratório, Stollberg do Brasil, Guaratinguetá, São Paulo, Brasil.

² Químico, Dr., Universidade Taubaté (Unitau), Taubaté, São Paulo, Brasil.

³ Mestre em Engenharia Metalúrgica, Gerente de Laboratório, Stollberg do Brasil, Guaratinguetá, São Paulo, Brasil.

⁴ Mestre em Administração, Gerente de Serviço ao Cliente, Stollberg do Brasil, Guaratinguetá, São Paulo, Brasil.

⁵ Técnico Metalúrgico, Assistente Técnico, Stollberg do Brasil, Guaratinguetá, São Paulo, Brasil.

⁶ Engenheiro de Materiais, Engenheiro de Serviço ao Cliente, Stollberg do Brasil, Guaratinguetá, São Paulo, Brasil.

⁷ Engenheiro de Tecnologia de Processos, Diretor, Stollberg do Brasil, Guaratinguetá, São Paulo, Brasil.

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



1 INTRODUÇÃO

Pós fluxantes são escórias sintéticas usadas para lubrificar o molde durante o lingotamento contínuo do aço, objetivando gerar uma maior qualidade superficial aos aços lingotados [1]. Essas escórias sintéticas são uma mistura complexa de matérias-primas, óxidos de base cerâmicas, componentes pré-reagidos e fontes de carbono disponíveis em varias formas, tamanhos de partículas e tipos, sendo as matérias-primas misturadas para alcançar propriedades físicas específicas [2]. A composição química básica de um pó fluxante industrial encontra-se na seguinte faixa de especificação: 35 – 45 % SiO₂; 25 – 35 % CaO; 5 – 15 % Al₂O₃; 2 – 7 % MgO; 15 – 25 % CaF₂; 5 – 15 % Na₂O; 5 – 15 % C [3].

As propriedades mais importantes na seleção de pós fluxantes são: taxa de fusão, viscosidade, e temperatura de cristalização [4]. A Figura 1 apresenta as principais funções dos pós fluxantes [5].

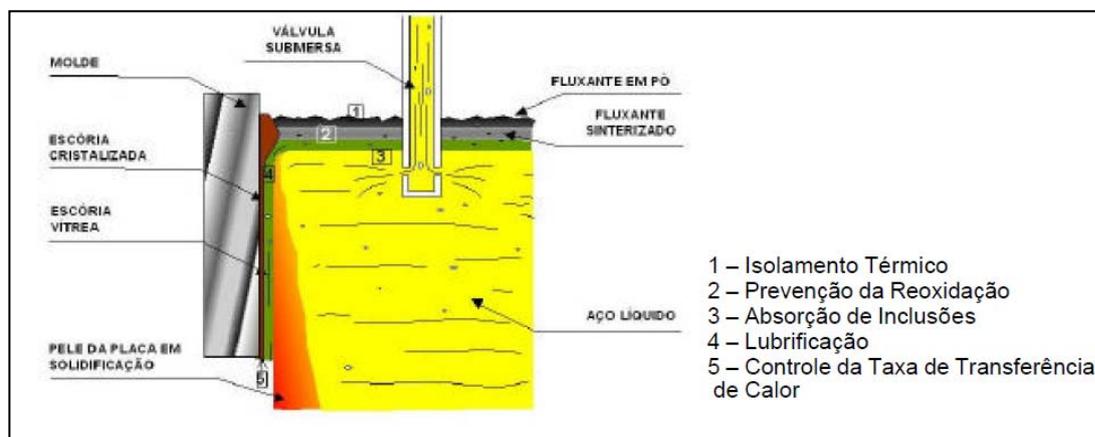


Figura 1. Diagrama esquemático das funções dos pós fluxantes [5].

As principais matérias-primas usadas na formulação de um pó fluxante são: Wollastonita, Cinzas de Carvão, Bauxita, entre outras. Fluoreto de Cálcio (CaF₂) e Carbonato de Sódio (Na₂CO₃) são usados normalmente para reduzir a viscosidade e a temperatura *liquidus* dos produtos [3]. A temperatura *liquidus* é a temperatura onde o pó fluxante está completamente líquido, ela é tão importante, pois é ela quem determina a interface entre a piscina líquida e a região de amolecimento do pó, que pode ser estimada a $\pm 35^{\circ}\text{C}$ por [6]:

$$T_{liq} (^{\circ}\text{C}) = 1191 + 11.4 \% \text{ SiO}_2 - 11.0 \% \text{ CaO} + 4.2 \% \text{ Al}_2\text{O}_3 + 5.7 \% \text{ MgO} - 10.1 \% \text{ Na}_2\text{O} - 15.8 \% \text{ K}_2\text{O} + 1.9 \% \text{ F} + 8.3 \% \text{ Fe}_2\text{O}_3 + 11.6 \% \text{ MnO}$$

O uso do minério fluorita em pós fluxantes possui diversas vantagens, como [3]:

- Diminuir a temperatura *liquidus* e a viscosidade de escórias do sistema CaO-SiO₂-Al₂O₃;
- Aumentar a tendência à cristalização;
- Reduzir a tendência a reações de reoxidações entre o aço líquido e a escória do pó fluxante;
- Capacidade de absorver inclusões não-metálicas dos aços.

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



Porém, as razões a seguir explicam o grande interesse na pesquisa sobre a redução do teor de flúor nos pós fluxantes [3]:

- Fluoretos evaporam facilmente a partir de escórias, produzindo substâncias gasosas prejudiciais à saúde (tal como ácido fluorídrico);
- O flúor causa desgaste excessivo de refratários e corrosão da máquina de lingotamento contínuo (aumentando o custo com manutenção);
- Problemas relacionados ao armazenamento e utilização dos resíduos sólidos gerados;
- Acidificação da água de refrigeração.
- Dentro desse contexto a eliminação do flúor da composição do pó fluxante para o lingotamento de tarugos e placas de aço se torna essencial. Alguns óxidos tem sido usados para substituir o CaF_2 , como o B_2O_3 , Li_2O e Na_2O e devem reproduzir as mesmas propriedades físicas do pó convencional baseado em fluorita [7].

Um estudo europeu demonstrou que o Li_2O é um bom fundente - e pode, portanto, ser utilizado como um substituto de flúor. Entretanto, o comportamento de fusão e de solidificação mostram diferenças em relação aos pós convencionais baseados em fluorita. Isto influencia o desempenho dos pós durante o lingotamento contínuo, em termos de capacidade de lubrificação e solidificação do aço [8]. Além do que o alto custo de Li_2O inviabiliza a completa substituição de fluorita por ele.

As matérias primas contendo sódio são substitutos interessantes, visto que diminui a temperatura *liquidus*, a viscosidade e também promovem a absorção de inclusões (embora a absorção de inclusões quando se utiliza Li_2O seja melhor). É importante observar que o aumento no teor de Na_2O para compensar a diminuição de conteúdo de flúor é possível até 20% apenas, devido à precipitação da fase sólida: nefelina ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2$) e o teor de Na_2O em pós fluxantes industriais já é normalmente elevado (> 10%) [3].

Algumas pesquisas têm sido realizadas utilizando B_2O_3 como potencial substituto do flúor, pois [10]:

- É um bom fundente, porque apresenta uma baixa temperatura de fusão;
- Reduz a temperatura de solidificação (*break temperature*) dos pós fluxantes sem flúor;
- Diminui a temperatura de fusão das escórias das panelas;
- Diminui a habilidade de cristalização das escórias, portanto, a fração cristalina será reduzida;
- B_2O_3 é considerado um óxido formador de rede nas escórias. Alguns estudos mostraram que a rede de borato pode se incorporar na rede de silicato para aumentar a complexidade da estrutura de rede, esse aumento ajuda a aumentar a habilidade de formação vítrea da escória fundida e reduz a habilidade de cristalização da escória.

No presente trabalho, os resultados preliminares obtidos a partir de testes industriais realizados com a aplicação do pó fluxante isento de flúor são relatados. Foram determinados: absorção de inclusões não-metálicas, profundidade da piscina líquida, determinação do consumo do pó e a taxa de erosão da válvula submersa (SEN). Os ensaios preliminares industriais, realizados em uma usina siderúrgica, foram realizados com o objetivo de analisar o seu comportamento durante o lingotamento contínuo referente à lubrificação e para fornecer informações sobre a sua influência sobre a qualidade superficial do aço.

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



2 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido pela avaliação de um pó fluxante sem flúor, utilizado para o lingotamento contínuo de placas para um aço baixo carbono. Baseado em um pó fluxante convencional, com flúor, foi desenvolvido um produto sem flúor, buscando as mesmas propriedades, conforme Tabela 1. O Flúor foi substituído por uma combinação de B_2O_3 e Na_2O , o restante da composição manteve-se similar ao produto convencional.

Tabela 1. Composição química do pó isento de flúor

Componentes	Pó Fluxante de Referência	Pó Fluxante Isento de Flúor
Bas	0,93	0,93
SiO ₂	37,80	33,60
CaO	35,10	31,10
MgO	5,20	5,80
Al ₂ O ₃	2,90	1,80
TiO ₂	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00
MnO ₂	0,00	0,00
Na ₂ O	4,60	7,90
K ₂ O	0,00	0,00
F	7,00	0,00
CO ₂	4,80	8,50
C livre	1,90	2,50
B ₂ O ₃	0,00	5,60
Viscosity 1300°C (Irsid)	0,21	0,30

Alguns parâmetros importantes foram definidos para a realização do testes: tipo de aço, corrida, velocidade de lingotamento e seção da placa.

Aço baixo carbono: são aços com carbono na faixa entre $0,02 < \%C < 0,08$ e são geralmente aplicados em estampagem profunda, estrutura em geral, além de eletrodomésticos e embalagens [11]. Para cada tipo de aço é necessário uma formulação de pó fluxante. O aço lingotado no teste foi o aço baixo carbono cuja composição pode ser encontrada na Tabela 2:

Tabela 2. Composição química do aço baixo carbono

%															
C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Cr	Mo	Sn	Al	Ti	N	Nb	V	B
.05	.25	.02 0	.025	.020	.06	.04	.040	.02	.02	.020	.005 max	.007máx	.005	.008 max	.0008 max
.08	.40	ma x	max.	max	max.	max	.max	max	max	.080			max		

Corrida e Velocidade de Lingotamento: corrida é a produção contínua de aço e sequencial é a família do aço. O teste foi realizado em 13 corridas de um sequencial. A velocidade média de lingotamento foi em torno de 1,15 m/min (máx = 1,5 m/min).

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



Seção da placa: os principais produtos do lingotamento contínuo são placas, blocos e tarugos. Sendo a seleção do molde determinada pelo produto final desejado. A seção da placa lingotada no teste foi de 1300 x 250 mm.

O lingotamento durou aproximadamente 560 min, das 10:55 as 20:15 hs do dia 07/08/2013.

A seguir serão apresentados os procedimentos utilizados para a análise do comportamento das formulações dos pós fluxantes durante a aplicação no processo de lingotamento em uma indústria siderúrgica nacional de grande porte.

2.1 Determinação da Absorção de Inclusões

Durante o processo de produção do aço, dependendo do tratamento feito, podem ocorrer variações nas quantidades de óxidos, silicatos, aluminatos e sulfetos absorvidos pelo pó fluxante e caso estas inclusões fiquem presas na pele em solidificação, podem causar defeitos sub-superficiais, superficiais e trincas. A principal inclusão não metálica absorvida pelo pó é a alumina (Al_2O_3), apesar de não ser a única inclusão em equilíbrio com o aço, é a responsável pelos piores efeitos devido às suas características de refratariedade [12]. Abaixo, as reações que podem ocasionar a formação de Al_2O_3 [13] durante a desoxidação do aço pelo alumínio:



Pós fluxantes devem absorver o máximo de aluminatos do aço líquido no molde, pois a inclusão de alumina pelo aço, reduz a qualidade do aço fundido.

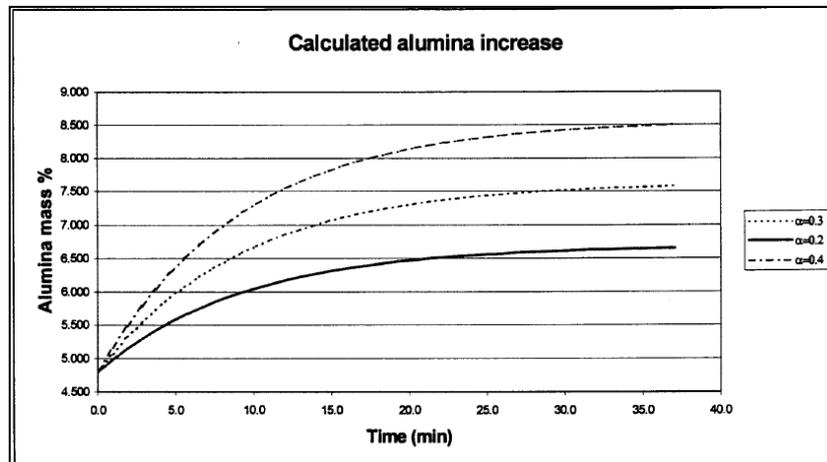


Figura 2. Cálculo da alteração no teor de Al_2O_3 na camada de pó fundido.

O Teor de Al_2O_3 na camada de pó fundido aumenta com o tempo e gradualmente se aproxima do equilíbrio que depende de α (fração de Al_2O_3 do aço que vai para a escória). A concentração de alumina na camada de pó fundido é praticamente no equilíbrio após 20 minutos do início do lingotamento [14].

A dissolução da alumina (Al_2O_3) é aumentada usando pós fluxantes que apresentam [13]:

- Alta Basicidade;
- Baixo teor de Al_2O_3 ;
- Altos teores de F, Li_2O ou Na_2O .

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



Foram retiradas 12 amostras de escória do molde para análise do laboratório. Essas amostras foram retiradas 10 min. antes do fechamento da corrida, a partir da 2ª corrida de 1 sequencial.

A determinação das inclusões não-metálicas foi realizada através da análise da composição química dos óxidos por Fluorescência de Raio-x, técnica realizada utilizando o equipamento Philips Axios 4KW.

Além dessa análise, foi realizado o teste de viscosidade e também de cristalinidade dos pós, pois o composto CaF_2 , fluoreto de cálcio, é considerado no cálculo matemático da viscosidade (IRSID), porém o B_2O_3 não, conforme pode ser visto na Figura 3.

$$\ln(A) = -19,81 + 1,73X_{\text{CaO}} + 5,82X_{\text{CaF}_2} + 7,02X_{\text{Na}_2\text{O}} - 35,76X_{\text{Al}_2\text{O}_3} \quad (A \text{ em Pa. s. K}^{-1})$$

$$B = 31140 - 23896X_{\text{CaO}} - 46356X_{\text{CaF}_2} - 39519X_{\text{Na}_2\text{O}} + 68833X_{\text{Al}_2\text{O}_3} \quad (B \text{ em Kelvin})$$

Figura 3. Fórmula para determinar viscosidade [15].

As medições das viscosidades foram realizadas através de um viscosímetro de rotação padronizado para execução em elevadas temperaturas seguindo padrões internacionais. Após a preparação da amostra (descarbonetada a 1350 °C e moída para se obter grânulos de 2-5 mm de diâmetro) e a preparação do dispositivo de medição, o procedimento é executado automaticamente. Um computador calcula e imprime o gráfico "viscosidade [Pa s ·] versus temperatura [°C]".

Na análise de cristalinidade, a amostra descarbonetada foi colocada em um cadinho de platina e aquecida a 1300° C durante 20 minutos. O material fundido foi então vertido em um molde de platina a uma temperatura desejada. A amostra e o cadinho de platina foram então aquecidos à temperatura desejada, por um período de 20 minutos para o recozimento. As amostras foram cortadas, examinadas com um microscópio de baixa potência e fotografadas. Com a ajuda de um software foi determinada a porcentagem de cristalização. O objetivo da análise de cristalinidade é comparar o percentual de cristalinidade das amostras.

2.2 Determinação da Profundidade da Piscina Líquida

Durante o processo de lingotamento contínuo, três camadas distintas de pó fluxante são formadas na região do menisco. Na parte superior do molde deve-se perceber a formação de uma camada de pó fluxante in natura, que detém a função de proteção contra o aço contra à extração de calor pela superfície atmosférica. A formação desta camada está intimamente ligada à forma de adição adota por cada usina, sendo a adição automática a mais indicada por diversas literaturas. Devido ao calor dissipado pelo aço em solidificação, logo abaixo do material in natura, o pó fluxante inicia-se o processo de sinterização, sendo este ponto, o responsável por proteger o aço em solidificação contra à reoxidação. Em contato com o aço líquido, o pó fluxante, completamente fundido, forma uma escória líquida que além de auxiliar na retenção de inclusões, lubrifica a interface do aço em solidificação/molde de cobre, definindo assim a taxa de transferência de calor durante a solidificação do aço [12]. É importante manter uma camada líquida com profundidade suficiente para dar conta de mudanças repentinas no lingotamento resultando em uma grande demanda por escória líquida, caso isso não ocorra pode ocorrer falta de lubrificação acarretando em defeitos superficiais e/ou rompimento por colamento. A espessura deve ser no mínimo de 10 mm e no máximo de 25 mm para altas velocidades de

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



lingotamento. A importância da velocidade de fusão no processo de lingotamento contínuo reside na sua influência sobre a profundidade da piscina líquida [16]. Neste trabalho a espessura da escória líquida foi determinada através de testes de imersão. Este procedimento consiste na imersão de dois tipos de arames (aço e cobre) na superfície do molde de lingotamento contínuo. A temperatura da escória líquida em contato com o aço é de aproximadamente 1350°C , suficiente para fundir o arame de cobre. Contudo, esta temperatura não é suficiente para fundir o arame de aço. Assim, a diferença entre o comprimento dos arames após a imersão representa a espessura da camada líquida. O comprimento total do arame de aço representa a camada total (pó in natura, sinterizado e líquido), partindo do pressuposto que o arame será fundido ao entrar em contato com o aço líquido [12]. A Figura 4 ilustra esse teste, pode se perceber que os dois fios (aço e cobre) são simultaneamente imersos no molde. O fio de aço funde no ponto de contato com o menisco de aço fundido. O fio de cobre funde no ponto de contato com a camada de escória líquida. A diferença entre estes dois pontos (L1 - L2) representa a espessura da camada de escória líquida.

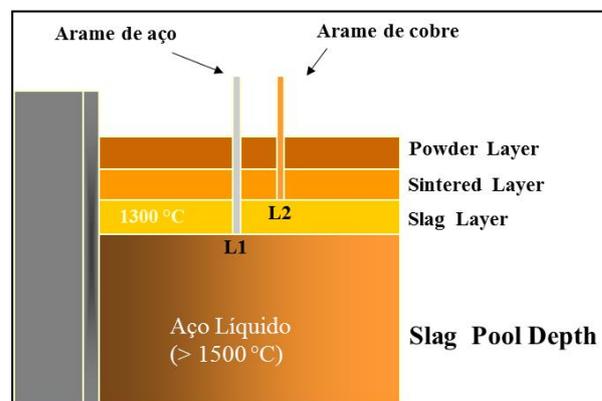


Figura 4. Medição da profundidade da piscina líquida.

Para possibilitar a imersão dos arames foi desenvolvido pela Stollberg do Brasil um medidor que consiste em uma haste de alumínio retrátil que permite a fixação dos dois arames em sua extremidade, garantindo assim a segurança do operador durante as medições. O tempo de imersão é dependente da espessura dos arames utilizados, normalmente, este tempo varia próximo à 5 segundos. Na Figura 5 é apresentado um desenho esquemático do medidor padrão Stollberg.

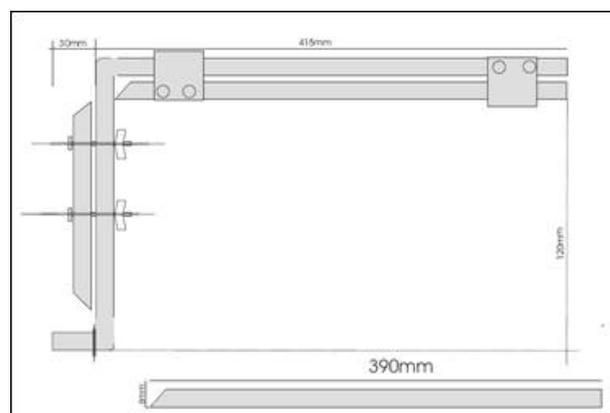


Figura 5. Desenho esquemático do medidor de espessura de escória de pó fluxante padrão Stollberg.

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



2.3 Determinação do Consumo Específico do Pó

O consumo específico do pó fluxante, é uma importante variável do processo de lingotamento contínuo, pois através deste parâmetro é possível quantificar o pó fluxante consumido no processo em relação à quantidade de aço produzido. Os principais fatores que influenciam no consumo de pó são: velocidade de lingotamento, viscosidade, amplitude, frequência de oscilação, e temperatura de solidificação [17].

O consumo de pó fluxante pode ser calculado em termos de dimensões de área lingotada (kg/m^2) ou também através da quantidade de pó fluxante por tonelada de aço lingotado (kg/ton). Neste trabalho utilizou-se o cálculo em termos de dimensões de área lingotada, conforme padrão da siderúrgica onde o material foi testado.

2.4 Desgaste da Válvula SEN

A finalidade da válvula submersa é conduzir o aço líquido do distribuidor para dentro do molde, de modo a não causar turbulência (ondas acentuadas) em seu interior e não entrar em contato com o ar, pois isso poderia prejudicar a estabilidade operacional do lingotamento e a qualidade do produto [16]. A escória de pó fluxante causa o desgaste do refratário da válvula submersa devido à abrasão e equilíbrio químico entre materiais. Assim, o flúor é um dos elementos mais agressivos no que diz respeito ao desgaste da válvula submersa. Com a retirada do flúor da composição do pó fluxante é esperado uma diminuição significativa no desgaste de refratário. Com isto as siderúrgicas poderão elevar o tempo de lingotamento com uma válvula submersa e/ou diminuir a quantidade de trocas durante o lingotamento elevando a produtividade e a qualidade dos produtos lingotados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Determinação da Absorção de Inclusões

Foram medidas as viscosidades e também o percentual de cristalinidades dos pós fluxantes de referência e o isento de flúor. A Tabela 3 apresenta os valores determinados pela análise da viscosidade. Como podem ser observados, os resultados encontrados foram muito semelhantes.

Tabela 3. Resultados de viscosidade dos pós fluxantes

Material	Viscosidade das Amostras dos Pós Fluxantes a 1300°C (Pa*s)
Referência	0,34
Isento de F	0,33

As análises de cristalização são apresentadas na Figura 6.

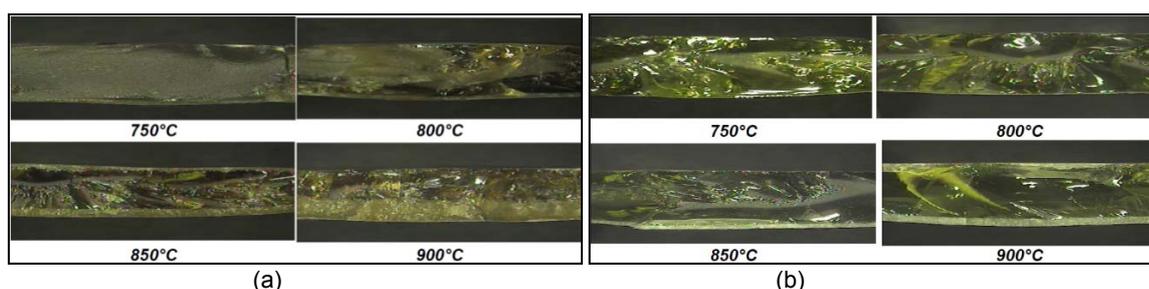


Figura 6. (a) Cristalização do produto de referência, (b) cristalização do produto sem flúor.

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



O produto sem flúor (Figura 6b) apresenta-se mais vítreo que o padrão (Figura 6a). A formação da Cuspidina, fase com a presença do flúor, é o principal mecanismo de cristalização em pós fluxantes comerciais. O resultado de uma escória mais vítrea proveniente do fluxante isento de flúor era esperada tendo visto que o produto sem flúor não tem a formação da Cuspidina e também possui B_2O_3 na sua formulação, o qual reduz a habilidade de cristalização da escória.

Durante o lingotamento, foram coletadas 12 amostras de escória que foram submetidas à análise de Fluorescência de Raio-x, sendo uma amostra por corrida sendo possível observar a evolução no teor de alumina ao longo do sequencial. A Tabela 4 apresenta a análise do composto Al_2O_3 de todas as amostras retiradas durante o acompanhamento:

Tabela 4. Composição química das amostras de escórias do material isento de flúor

Análise de Al_2O_3 %		Corridas / Escória												
		Granulado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Material														
Isento de Flúor	1,92	6,48	5,66	5,91	6,73	6,49	6,39	5,35	5,38	5,52	5,8	6,14	6,14	

Como já relatado, a Al_2O_3 é a principal inclusão não-metálica absorvida, e essa absorção pelo material de referência é em torno de 3,0 % e conforme pode ser observado na tabela acima, o material isento de flúor absorveu uma média de 4,0%, valores próximos, além da variação entre as corridas não ter sido alta.

A placa foi também inspecionada e apresentou uma boa qualidade superficial, semelhante a encontrada quando aplicado o material padrão.

3.2 Determinação da Profundidade da Piscina Líquida e do Consumo do Pó

A Tabela 5 apresenta os valores obtidos para a piscina líquida e para o consumo do pó quando o produto sem flúor foi aplicado.

Tabela 5. Profundidade da piscina líquida e consumo de pó fluxante para o pó sem flúor

Componentes	Referência	Isento de Flúor
Profundidade da Piscina Líquida (mm)	15-20	15-20
Consumo de Pó Fluxante (Kg/Ton)	0,40	0,34

Baseado nos valores mostrados na Tabela 4, o produto sem flúor não influenciou no resultado da profundidade da piscina líquida. Porém, o consumo de pó foi baixo o que pode ocasionar uma menor infiltração da camada líquida entre a placa de cobre e a película solidificada podendo causar rompimento de veio por colamento.

3.3 Determinação do Desgaste da Válvula Submersa (SEN)

De acordo com a Tabela 6, foram comparados dois veios: Veio H com o material de referência e Veio G com o material sem flúor:

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.

Tabela 6. Profundidade da piscina líquida e consumo de pó fluxante para o pó sem flúor

Informações	Material	
	Referencia	Isento de Flúor
Veio	H	G
Desgaste total (mm)	103,05	87,51
Taxa de desgaste médio (mm/min)	0,092	0,078
Potencial do tubo/ set point médio (mm)	793,0	934,0

Pode se constatar que a erosão da válvula submersa com o material isento de flúor foi menor que com o material com flúor, visto que o perfil do tubo submerso do veio H apresentou um desgaste mais agressivo, que no Veio G. O tubo submerso onde foi utilizado o pó fluxante de referência a taxa de desgaste foi de 0,092 mm/min com um potencial de 793 minutos de lingotamento, ou seja, resultado este inferior em 16% se comparado com o pó fluxante de teste que obteve uma taxa de desgaste de 0,078 mm/min com um potencial de 934 minutos de lingotamento. A Figura 7 apresenta uma foto comparando as válvulas submersas usadas no Veio G e H.



Figura 7. Fotos comparativas entre as válvulas submersas usadas no Veio G e no Veio H.

4 CONCLUSÃO

No presente trabalho, alguns testes foram realizados com o intuito de se avaliar o comportamento do pó fluxante sem flúor, em comparação com o produto de referência durante o lingotamento contínuo de aço baixo carbono.

Os resultados mostraram que os parâmetros tecnológicos como: absorção de inclusões não-metálicas, espessura da piscina líquida, índice de erosão da válvula e submersa e qualidade superficial atenderam aos requisitos da siderúrgica para o material sem flúor.

O baixo consumo de pó deverá ser corrigido, pois pode afetar a lubrificação do pó acarretando em rompimento de veio. Como a viscosidade é um dos principais fatores que influenciam no consumo do pó, o produto terá a sua viscosidade reduzida buscando garantir um maior consumo de pó e assim uma maior infiltração da camada líquida. Portanto, novos testes industriais deverão ser realizados.

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



REFERÊNCIAS

- 1 Silva DR. Análise termodinâmica da formação de Al_2O_3 durante o lingotamento contínuo através da interação química entre pós fluxantes sem flúor e uma liga de Fe líquido saturada com alumínio e oxigênio [dissertação de mestrado]. Porto Alegre: UFRGS; 2010.
- 2 McClymonds M. Principles of mold flux technology, an operator's guide to continuous casting flux. In: AIST Continuous Casting Seminar; out. 2013; Memphis, EUA. AIST; 2013.
- 3 Klug JL, Freitas SL, Pereira MMSM, Heck NC, Vilela ACF, Jung D. Development of fluorine-free mouldfluxes. In: 40th Steelmaking Seminar – International; 2009; São Paulo, Brazil. São Paulo: ABM; 2009.
- 4 Branion RV. Mold flux for continuous casting. In: 69th Steelmaking Conference Proceedings; 1986; Washington, EUA. Warrendale: Iron and Steel Society; 1986. p.95-106.
- 5 Bezerra MCC, Valadares CAG, Capocchi JDT. Avaliação da taxa de fusão de fluxantes para lingotamento contínuo de aços. In: Anais do 36º Seminário de Fusão, Refino e Solidificação de Metais; 2005; Vitória, ES. São Paulo: ABM; 2005. p.215-223.
- 6 Mills KC, Fox AB, Thackray RP, Li Z. The performance and properties of mould fluxes. In: VII International Conference on Molten Slags Fluxes and Salts; 2004; Johannesburg, Republic of South Africa. The South African Institute of Mining and Metallurgy; 2004.
- 7 Brandelaze E, Benavidez E, Peirani V, Santini L, Gorosurreta C. Impact of free fluor on nozzle wear mechanisms. *Advances in Science and Technology*. 2010;70(1):205-210.
- 8 Janke D, Schulz T, Tonelli T, Cimarelli T, Holappa L, Shilov A, *et al.* Improvement of casting fluxes and slags by minimization of environment – polluting and corrosive constituents (fluorine, alkali components). European Commission, EUR 20645 – Casting and Solidification, Technical Steel Research Series. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities; 2003.
- 9 Schulz T, Janke D, Heller HP, Lychatz B. Entwicklung umweltfreundlicher Stranggießschlacken. *Stahl und Eisen*. 2008;128(4):65-78.
- 10 Shu Q, Wang Z, Klug JL, Chou K, Scheller PP. Effects of B_2O_3 and TiO_2 on crystallization behavior of slags in Al_2O_3 -CaO-MgO- Na_2O - SiO_2 system. *Steel Research*. 2013;84:1138-45.
- 11 Facó RJ. Levantamento das Inclusões nos principais grupos de aços produzidos em uma aciaria do tipo LD [dissertação de mestrado]. São Paulo: USP; 2005.
- 12 Soares RB. Fluxantes para molde em lingotamento contínuo [dissertação de mestrado]. Porto Alegre: UFRGS; 1998.
- 13 Mills K. Mold powder for continuous casting [curso]. San Nicolas: IAS - Instituto Argentino de Siderurgia; ago. 2003.
- 14 Bezuidenhout GA. The effect of alumina pick-up on mould flux behavior in continuous casting [master dissertation]. Pretoria: University of Pretoria; 1999.
- 15 Ribold PV, Roux Y, Lucas LD, Gaye H. Improvement of continuous casting powders. Institut de Recherches de la Siderurgie Française IRSID, September 1981. PCM-Ref 821, França.
- 16 Mills K. Mould powders for continuous casting [curso]. Volta Redonda: Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda; 1995.
- 17 Saraswat R, Fox AB, Mills K, Lee PD, Deo B. The factors affecting powder consumption of mould fluxes. *Scandinavian Journal of Metallurgy*. 2004;33:85-91.

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.