

MELHORIA DA LIMPEZ DO AÇO ATRAVÉS DO CONDICIONAMENTO DA ESCÓRIA SINTÉTICA*

José Flávio Viana¹

Resumo

As aplicações de aços necessitam de um constante aprimoramento de qualidade e lembrando o ditado “tome conta da escória que o aço toma conta de si mesmo”, o refino secundário requer uma atenção especial no processo de fabricação. A formação da escória sintética pode ser feita através da utilização de diversos materiais para obtenção dos resultados esperados com menor custo. Graças à flexibilidade de composição química, com a utilização da escória sinterizada atinge-se os objetivos de dessulfuração, limpidez e proteção refratária, sem contaminação do aço com hidrogênio e com menor custo, quando se considera os custos de energia, eletrodos e desoxidantes, como o FeSi. Nesse trabalho é mostrado o resultado da aplicação da escória sinterizada com o objetivo de redução do número de inclusões em um determinado processo.

Palavras-chave: Escória Sintética; Inclusão.

IMPROVEMENT IN STEEL CLEANLINESS THROUGH THE SYNTHETIC SLAG

Abstract

The steel applications need a continually improvement in its quality. Remembering the truth of the old maxim “take care of the slag and the steel will take care of itself”. So, the secondary metallurgy needs a special attention during the steel production. The synthetic slag formation can be done using several types of materials in order to get the best results with the lower cost. The sintered synthetic slag usage, which has chemical composition flexibility, the final slag can achieve the objectives like desulfurization, inclusion reduction and ladle refractory protection without steel hydrogen contamination. The quickly slag formation reduces the steel cost production with lower electric energy and electrode consumption and reducing the usage of steel deoxidants, like aluminum and FeSi. This paper shows the results of sintered slag application to improve steel cleanliness..

Keywords: Synthetic Slag; Inclusion.

¹ Engenheiro Metalurgista, MSc, Gerente Técnico, Tecnosulfur S/A, Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil..

1 INTRODUÇÃO

O refino secundário é necessário para garantir ao aço a composição química necessária e nível de limpidez exigidos pelos processos de solidificação e laminação posteriores. Os principais tratamentos realizados no refino secundário são:

- Ajuste de composição química e temperatura;
- Limpidez;
- Dessulfuração;
- Desgaseificação;
- Morfologia de inclusões.

Em todos esses objetivos do tratamento do aço no refino secundário, a escória sintética tem papel fundamental. A dessulfuração, que é prejudicada no processo anterior oxidante, como forno elétrico ou convertedor, pode ser realizada através de uma escória sintética com alta capacidade de enxofre. A escória sintética deve possuir também uma capacidade de absorção de inclusões, garantindo ao aço no final de tratamento um nível de limpidez necessário para que a injeção de cálcio possa levar aos resultados desejados. Mesmo nos processos de desgaseificação, como RH ou VD, o papel da escória sintética é fundamental para garantir a qualidade do aço ao final do tratamento, principalmente relacionado ao nível de inclusões.

A escória final utilizada no refino secundário é formada a partir da escória passante do processo anterior, convertedor ou forno elétrico, os óxidos formados durante o processo de desoxidação do aço durante o vazamento e as adições de fluxantes. Conforme apresentado por Viana e Motta [1] e [2], os fluxantes utilizados podem ser de quatro tipos, apresentados na Tabela 1, sinterizados, blendados, pré-fundidos ou briquetes. Nessa tabela são também apresentadas as características básicas de cada um deles.

Tabla 1: Características das escórias sintéticas

Característica Tipo	Homogeneidade	Higroscopicidade	Composição química	Resistência Mecânica
Sinterizada	Homogênea	Baixa	Baixa restrição	Alta
Blendada	Segregação	Alta	Sem restrição	Baixa
Pré-fundida	Homogênea	Zero	Alta restrição	Alta
Briquete	Homogêneo	Alta	Sem restrição	Baixa

Fonte: Viana e Motta [1]

Em termos de homogeneidade, resistência e higroscopicidade, as escórias pré-fundidas, normalmente aluminatos de cálcio, possuem as melhores características de aplicação, entretanto, a composição química fica restrita à proporção de CaO e Al₂O₃, que permitem um baixo ponto de fusão. Essa restrição implica no uso de cal calcítica ou dolomítica para complementarem a composição da escória final.

Dessa forma, a escória sinterizada possui as vantagens dos aluminatos de cálcio, porém com menor restrição de composição química, o que permite que ela possa ser utilizada como único fundente adicionado no vazamento para formação da escória final.

O controle da limpeza do aço vem se tornando cada vez mais importante para obtenção do aço, já que para a maioria das aplicações, a redução do nível de inclusões melhora a qualidade final do produto.

Neves, E.G. et al [3] utilizaram um modelo para adequação da escória sintética de panela do refino secundário baseado na composição química da escória, conforme desenvolvimento de Wikström, J.A.[4], onde foram correlacionados dados de escória e limpeza publicados em trabalhos anteriores.

A capacidade de absorção de inclusões da escória foi determinada pela correlação entre a viscosidade da escória e as tensões interfaciais, medidas pelo $\cos\theta_{IMS}$, Equação 1, segundo Neves, et al [3]. A Figura 1 mostra a condição de absorção para essas condições, onde a região “Pass” é aquela onde as inclusões passam do metal para a escória. Na região “Oscilate” as inclusões oscilam entre o metal e a escória, e na região “Remain” as inclusões irão permanecer no metal e não serão absorvidas pela escória.

$$\cos\theta_{IMS} = \frac{\sigma_{IM} - \sigma_{IS}}{\sigma_{MS}} \quad (1)$$

Onde:

- σ_{IM} é a tensão interfacial inclusão/metal;
- σ_{IS} é a tensão interfacial inclusão/escória;
- σ_{MS} é a tensão interfacial metal/escória.

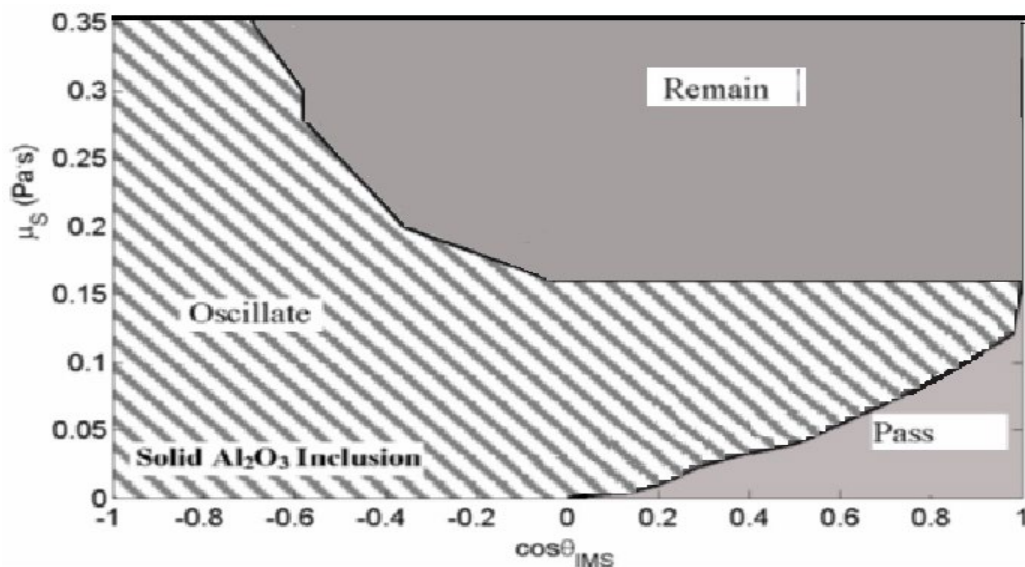


Figura 1 - Comparação do comportamento da inclusão em função da molhabilidade e viscosidade da escória de uma inclusão sólida (Al_2O_3) menor que $100\mu m$.
Fonte: WIKSTRÖM, J[4]

2 MATERIAIS E METODOS

A primeira etapa do trabalho para encontrar a composição química ideal da escória sintética a ser utilizada é a determinação da quantidade de escória passante do processo de refino primário. Isso é feito através de um balanço de massa, considerando as análises química da escória e do aço do refino primário e

secundário, antes do vazamento e após o tratamento respectivamente, das adições de ligas e fundentes, durante o vazamento e o tratamento no refino secundário. A Figura 2 mostra esquematicamente todos os dados necessários para a elaboração do balanço de massa.

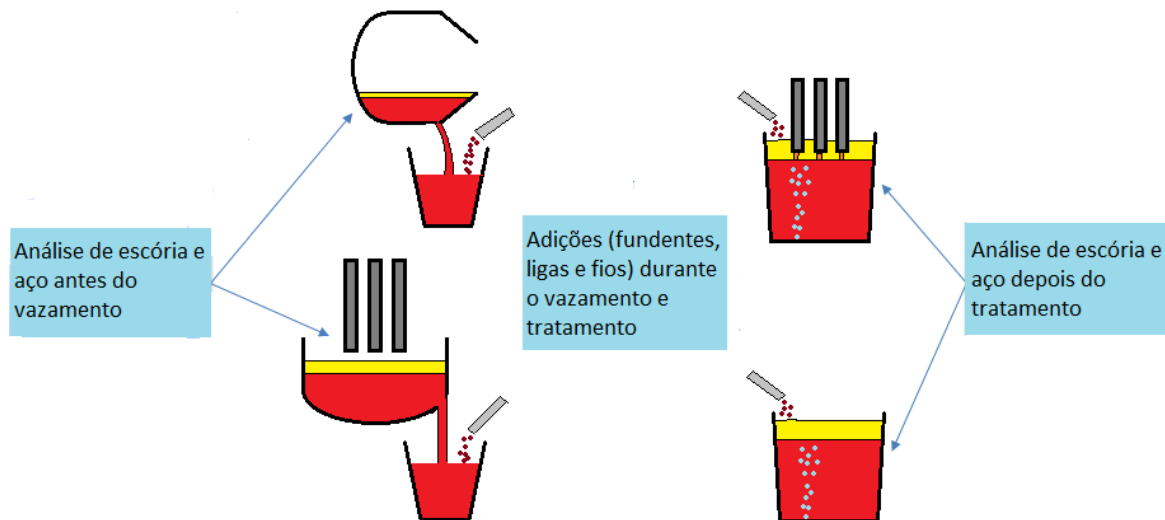


Figura 2 – Dados coletados para elaboração do balanço de massa
Fonte: Arquivos Tecnosulfur

Com o conhecimento da quantidade e composição química da escória passante típica do processo em estudo, é possível simular a substituição dos fundentes utilizados durante o vazamento e tratamento no refino secundário, por uma escória sintética sinterizada.

A verificação da limpeza do aço pode ser feita diretamente escolhendo um local para essa avaliação. No presente trabalho, foi escolhida a amostra do distribuidor do lingotamento contínuo. O amostrador utilizado foi o tipo pirulito, ou seja, o mesmo tipo de amostra utilizada para análise química do aço. A contagem de inclusões foi feita utilizando um microscópio óptico, com aumento de 200 vezes. A amostra foi preparada com polimento e a área escolhida foi de 25mm^2 ($5 \times 5\text{mm}$).

Os valores de viscosidade da escória foram obtidos pelo software FactSage®. Primeiro determinando a quantidade e composição da fração sólida da escória, depois a viscosidade da fração líquida. Foi utilizada viscosidade efetiva (μ_e), que pode ser determinada pela Equação 2, segundo Pretorius, E. [5].

$$\mu_e = \mu (1,35 - \theta)^{-2,5} \quad (2)$$

Onde:

- μ_e é a viscosidade efetiva;
- μ é a viscosidade da fração líquida;
- θ é a fração sólida.

Essa abordagem foi aplicada a uma aciaria a oxigênio, capacidade do conversor de 90 toneladas e tratamento no refino secundário em forno panela e lingotamento contínuo de tarugos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A determinação do volume de escória passante do convertedor para panela foi feita através do balanço de massa de 5 corridas do processo normal. A Tabela 2 mostra as adições feitas durante o vazamento e tratamento do forno panela. As análises de escória do convertedor, antes do vazamento e do forno panela, após o tratamento, são mostradas nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 2 – Adições durante o vazamento e tratamento no forno panela em kg

Corrida	CaI	FeMnBP	FeSi	Dolom	Areia	FeCr
1	400	900	330	450	300	655
2	200	880	416	450	200	834
3	400	850	412	450	300	836
4	400	1205	253	450	300	138
5	500	1170	217	450	350	128

Fonte: Arquivos Tecnosulfur

Tabela 3 – Análise de escória do convertedor antes do vazamento em %

CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	V ₂ O ₅	TiO ₂	FeO
49,7	4,53	10,76	3,36	2,47	6,2	1,96	17,71
52,4	4,64	11,20	3,37	2,66	6,97	2,42	12,67
50,1	3,39	11,60	2,85	2,66	6,61	2,27	16,57
51,4	5,08	14,31	3,50	1,90	7,85	3,00	9,89
50,8	3,69	12,20	3,38	2,28	6,73	2,06	15,37

Fonte: Arquivos Tecnosulfur

Tabela 4 – Análise de escória do forno panela após tratamento sem utilização da escória sinterizada em %

CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	FeO
46,94	11,42	29,66	6,84	1,14	2,12
47,10	13,06	28,46	6,19	1,02	1,65
45,67	14,31	29,30	6,12	1,04	0,96
49,84	12,06	27,42	6,65	1,43	0,68
44,61	13,01	31,32	6,10	1,62	1,25

Fonte: Arquivos Tecnosulfur

O aço tratado é acalmado ao silício. O teor de silício final foi utilizado para cálculo da quantidade de SiO₂ presente na escória final.

O mesmo balanço de massa foi utilizado para simular a nova escória final, com a utilização da escória sintética sinterizada, objetivando uma situação favorável à absorção de inclusões. A composição da escória sintética sinterizada que foi desenvolvida e utilizada para essa aplicação é mostrada na Tabela 5.

Tabela 5 – Composição da escória sintética sinterizada utilizada no processo

Componente	Teor (%)
CaO	58
MgO	15
CaF ₂	15
SiO ₂	< 4
Fe ₂ O ₃	< 3

Fonte: Arquivos Tecnosulfur

As adições de fluxantes (cal calcítica, cal dolomítica e areia), mostradas na Tabela 2 foram substituídas por 800kg de escória sintética sinterizada. A Tabela 6 mostra as adições feitas nas corridas visando a redução do nível de inclusões. Na Tabela 7 são apresentadas as análises de escórias das corridas realizadas com a utilização da escória sintética sinterizada.

Tabela 6 – Adições realizadas nas corridas com utilização da escória sintética sinterizada em kg

Corrida	FeMnBP	FeSi	FeCr	ESS
6	956	389	836	1150
7	890	454	857	800
8	1005	394	917	800
9	880	378	813	800
10	1820	595	1725	800

Fonte: Arquivos Tecnosulfur

Tabela 7 – Análises de escória final de panela com utilização da escória sintética sinterizada em %

CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaF ₂	FeO
52,9	12,45	19,7	7,25	0,11	11,3	0,70
61,2	7,42	16,1	6,50	0,65	3,8	2,96
53,3	10,83	20,2	7,63	0,27	9,8	1,24
51,7	13,90	23,3	6,42	0,30	5,4	1,71
38,3	8,03	40,7	7,13	0,55	6,7	1,45

Fonte: Arquivos Tecnosulfur

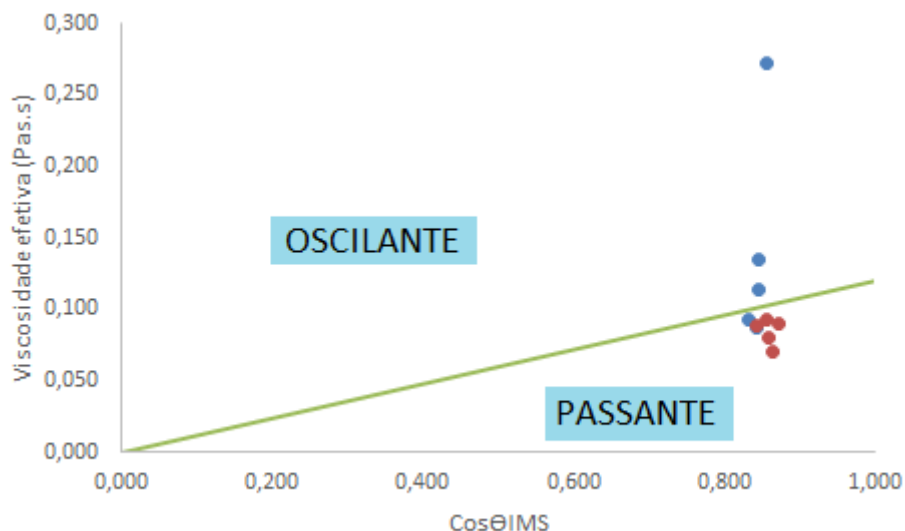
Os cálculos de viscosidade efetiva e $\cos\Theta_{IMS}$ foram feitos para as duas situações, no processo normal e com a adição da escória sintética sinterizada. Os resultados são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Cálculos de viscosidade efetiva e $\cos\theta_{IMS}$ para a escória com e sem a utilização da escória sintética sinterizada

Corridas	$\cos\theta_{IMS}$	Viscosidade (Pa.s)	Utilização escória sinterizada
1	0,841	0,089	Não
2	0,844	0,137	Não
3	0,842	0,116	Não
4	0,852	0,274	Não
5	0,830	0,094	Não
6	0,862	0,073	Sim
7	0,868	0,092	Sim
8	0,855	0,081	Sim
9	0,853	0,095	Sim
10	0,841	0,091	Sim

Fonte: Arquivos Tecnosulfur

A Figura 3 apresenta o gráfico proposto por Wikström, J.A.[4], na região de interesse para obtenção de uma escória com capacidade de absorção de inclusões. Pode-se notar que a escória utilizada pelo cliente, estava na parte oscilante do gráfico de correlação entre a viscosidade e $\cos\theta_{IMS}$, exceto a corrida 4, que está na região “remain”. Com a modificação da composição química da escória sintética, a escória caiu na região passante, ou seja, com capacidade de retenção das inclusões. A Figura 4 mostra os resultados de contagem de inclusões na amostra, após o tratamento, com a redução média e de dispersão do número de inclusões. Nota-se que o número de inclusões da corrida 4 está muito elevado, porém de acordo com a previsão do modelo em função de seu valor de viscosidade efetiva elevado. Não foi possível realizar a contagem de inclusões na amostra da corrida 5.

**Figura 3** – Correlação entre viscosidade da escória e $\cos\theta_{IMS}$, antes e depois da utilização da escória sintética sinterizada.

Fonte: Arquivos Tecnosulfur

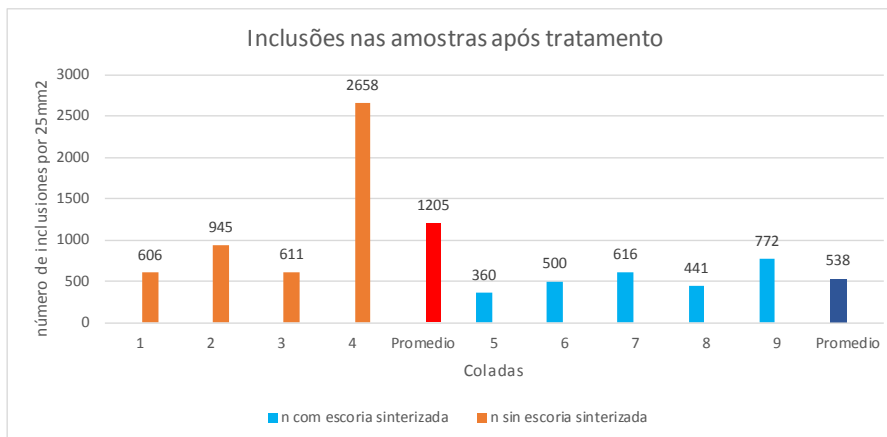


Figura 4 – Número de inclusões, antes e depois da utilização da escória sintética sinterizada.
Fonte: Arquivos Tecnosulfur

4 CONCLUSÕES

O modelo proposto por Wikström, J.A.[4] se mostrou efetivo para a previsão de ocorrência de inclusões após o tratamento do aço no refino secundário. Foi possível o desenvolvimento de uma escória sintética sinterizada para a melhoria da limpidez do aço, verificada através da contagem de inclusões na amostra do aço no distribuidor do lingotamento contínuo. Adotando a escória proposta, o nível médio de inclusões caiu de 1205 inclusões/25mm² para 538 inclusões/25mm², com redução significativa da dispersão.

REFERÊNCIAS

- 1 VIANA, J.F.; et al. Estudo da dessulfuração de aço com utilização de escória sintética sinterizada. In: Seminário de Aciaria, 2013, Araxá.
- 2 VIANA, J.F.; et al. Estudo das características de fusão das escórias sintéticas sinterizadas. In: Seminário de Aciaria, 43, 2012, Belo Horizonte.
- 3 NEVES, E.G; et al. Previsão da limpidez do aço a partir da composição química da escória. In: Seminário de Aciaria, 2014, Porto Alegre.
- 4 WIKSTRÖM, J. A Mathematical and Experimental Study of Inclusion Behavior at a Steel-Slag Interface. KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 2007.
- 5 Pretorius, E. Fundamentals of EAF and Ladle slags and Ladle Refining Principles.
<http://etech.lwbref.com/Downloads/Theory/Fundamentals%20of%20EAF%20and%20ladle%20slags%20and%20ladle%20refining%20principles.pdf>