

IMPACTO DA ESCÓRIA NO FeCr AC NA QUALIDADE SUPERFICIAL DO AÇO INOXIDÁVEL 430*

Márcio Nascimento Cunha¹
Valdeci Paula Alvarenga²
Janeir Ribeiro Dutra³
Mauricio Ferreira Coelho⁴
Robson Martins⁵
Hélio Braz Loss⁶
Jose Alcir Nunes⁷

Resumo

O aço inoxidável 430 requer em suas aplicações superfície isenta de defeitos que afetam o padrão de qualidade exigido. Alguns defeitos originados na Aciaria surgem na superfície após processo de laminação à frio, principalmente em espessura menores que 1,0mm, gerando desvios de qualidade e perdas com sucateamento. Em 2015, houve aumento nos desvios de qualidade das bobinas laminadas a frio devido à presença de defeitos tipo “esfoliações” na superfície. Análises realizadas indicaram efeito da qualidade da liga de ferro-cromo alto-carbono (FeCr AC) utilizada na produção do aço. O objetivo deste trabalho é apresentar as análises de caracterização no MEV e investigações nos processos para solução do problema. As ações implementadas permitiram reduzir os desvios por defeitos gerados na Aciaria.

Palavras-chave: Aço inoxidável 430; Qualidade; Esfoliações; Ferro-cromo AC

IMPACT OF SLAG ON HC FeCr IN THE SURFACE QUALITY OF THE STAINLESS STEEL 430

Abstract

The stainless steel 430 grade demands in its applications surface free from defects that affect the required quality standard. Some defects that emerge on the surface after cold rolling and come from Melt Shop, mainly in thickness less than 1,0 mm. It causes quality deviation and losses with scrap. In 2015, the deviation level increased due to “laminations” defects on the surface. Analysis carried out indicated the effect of the quality of the high-carbon ferro-chrome alloy (HC FeCr) used in the production of the steel. The objective of this work is to present the characterization analyzes in the SEM and investigations in the process to solve the problem. The implanted actions allowed to reduce the deviations by defects generated in the Melt Shop.

Keywords: Stainless steel 430; Quality; Laminations; HC Ferro-chrome

¹ Engenheiro de Materiais, Mestre em Engenharia Metalúrgica, Engenheiro do Produto Inox, Metalurgia Integrada, Aperam South America, Timóteo, Minas Gerais, Brasil.

² Engenheiro Mecânico, Mestre em Engenharia de Materiais, Engenheiro de Processo, Controle de Processo da Aciaria, Aperam South America, Timóteo, Minas Gerais, Brasil.

³ Engenheiro de Materiais, Engenheiro do Produto Elétrico, Metalurgia Integrada, Aperam South America, Timóteo, Minas Gerais, Brasil.

- ⁴ *Engenheiro de Produção, Engenheiro de Processo, Controle de Processo da Aciaria, Aperam South America, Timóteo, Minas Gerais, Brasil.*
- ⁵ *Técnico Metalúrgico, Técnico de Processo, Controle de Processo da Aciaria, Aperam South America, Timóteo, Minas Gerais, Brasil.*
- ⁶ *Engenheiro Mecânico, Mestre em Engenharia Industrial, Gerente, Controle de Processo da Aciaria,, Aperam South America, Timóteo, Minas Gerais, Brasil.*
- ⁷ *Administrador, Analista de Suprimentos, Suprimentos, Aperam South America, Timóteo, Minas Gerais, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

“Esfoliação” em aços inoxidáveis é um defeito crítico por afetar a qualidade superficial do produto final [1]. Especificamente no aço 430, onde o brilho e o aspecto superficial é uma característica fundamental para as diversas aplicações, este defeito em grandes quantidades gera desvios de qualidade após a inspeção final. A figura 1 mostra a característica do defeito.



Figura 1. Defeito “esfoliação” [2]

A causa principal destas “esfoliações” está relacionada com inclusões no aço que afloram a superfície após processos de laminação. Estas inclusões podem ser de origem endógena ou exógena.

Inclusões endógenas são aquelas resultantes das reações químicas que ocorrem no processo de elaboração do aço, portanto são inevitáveis. No entanto, devem ser removidas nas etapas finais de refino através de processos específicos [3].

Inclusões exógenas surgem acidentalmente durante o tratamento do aço líquido e solidificação e estão relacionadas com a interação do aço líquido com a vizinhança (refratários, escórias, fluxantes, oxigênio da atmosfera, etc...) [3].

Inclusões em ferro-ligas apresentam características específicas e estruturas complexas. Elas diferem em estrutura e composição das inclusões no aço. Não são muito comuns inclusões de ferro-ligas aparecer no aço solidificado sem sofrerem alterações durante todas as etapas de processamento do aço líquido [3].

Ferro-ligas atuam como fontes de de inclusões exógenas que podem levar ao fornecimento de impurezas prejudiciais ao aço líquido. Em alguns casos estas impurezas estão presentes na matéria-prima e nos processos de produção de ferro-ligas sendo às vezes inevitáveis.[4].

O presente trabalho tem o objetivo de apresentar as análises do aumento do índice de desvios no aço inoxidável 430 por problemas de inclusões, caracterização no MEV e investigações nos processos para solução do problema.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Análise dos desvios

Em 2015 houve aumento nos desvios por esfoliação no aço 430 em 135% como mostra a figura 2, tomando como referência o período de janeiro de 2015 a março 2015 com índices padrões.

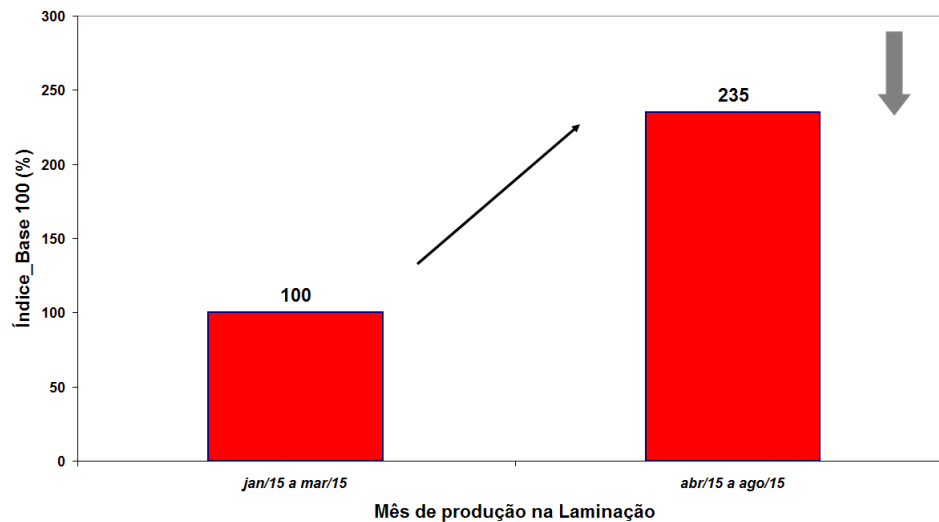


Figura 2. Índice de desvios de qualidade no aço 430 na base 100

O índice de desvio é medido de acordo com a equação 1.

$$\text{ÍNDICE DE DESVIOS (\%)} = 100 \times \frac{\text{TONELADAS DESVIADAS}}{\text{TONELADAS INSPECIONADAS}} \quad (1)$$

Na figura 2, foi informado o índice na base 100 no sentido de preservar informações da empresa. Entende-se que se no período de janeiro de 2015 a março 2015 o desvio foi de 1,0%, no outro período foi de 2,35%. Aumento de 135% em relação ao primeiro período.

Inicialmente foi observado que o aumento dos desvios ocorreu em praticamente todos os tipos de placas no Lingotamento Contínuo inclusive em placas de meio de sequencial onde a probabilidade de defeitos é menor.

2.2 Caracterização no MEV

Amostras do defeito foram retiradas e caracterizadas em um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Análises confirmaram o defeito abaixo à superfície do material laminado à frio, com óxidos em seu interior, característico de “esfoliações” que afloram a superfície após laminação como mostra a figura 3.

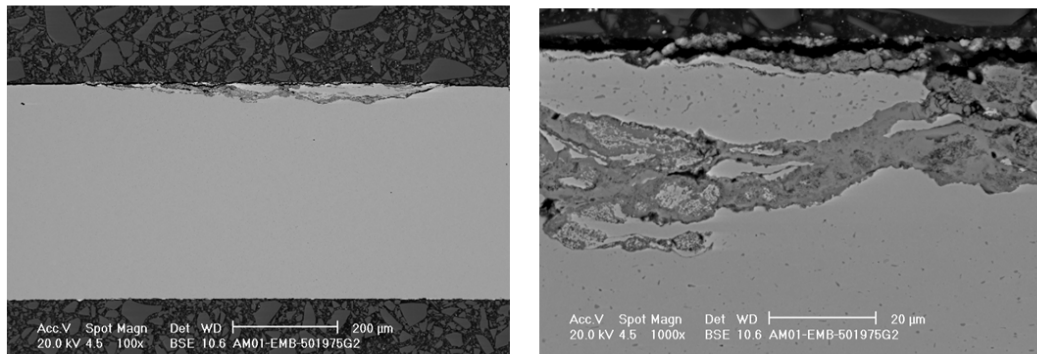


Figura 3. Defeito ‘esfoliação” observado no MEV

O aspecto mais importante da análise foi a presença de partículas no interior do aço que não são normalmente observadas neste tipo de análise. Análises químicas das partículas foram realizadas no MEV/EDS. A figura 4 apresenta os resultados de EDS das partículas analisadas.

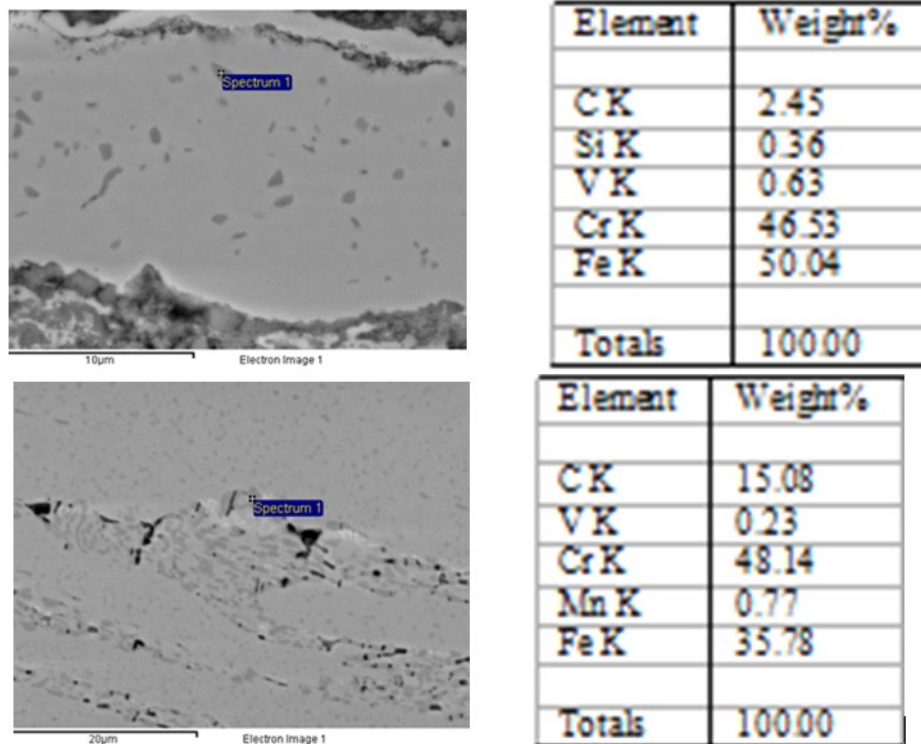


Figura 4. Resultado de EDS das partículas analisadas

Conforme observado nos resultados apresentados, são partículas metálicas de Fe e Cr não dissolvidas no processo de elaboração do aço, com composições químicas bem próximas da liga de FeCr (ferro-cromo) utilizada na produção. Estas partículas foram encontradas em diferentes amostras do defeito.

A presença destas partículas metálicas não dissolvidas indicaram possibilidade de alguma contaminação na liga FeCr utilizada na produção das corridas.

2.3 Análise da liga FeCr AC

FeCr é o principal ferro-liga utilizado na produção de aços inoxidáveis. O teor de cromo na liga normalmente varia de 45 a 75% e é classificado de acordo com o teor de carbono sendo, FeCr AC (alto carbono - 2 a 12% C) , MC (médio carbono 0,5 a 2% C) e BC (baixo carbono máximo 0,5%C) [5].

Na Aciaria, as grandes adições de FeCr AC são realizadas no AOD-L e variam de 9000 a 25000kg nos aços 430 dependendo do pré-metal utilizado (Gusa ou Sucata fundida). Adições na Metalurgia Secundária são realizadas somente para pequenos acertos e raramente ultrapassa os 300 Kg/corrida. Em casos extremos chega ou ultrapassa os 1000 Kg/corrida.

Análise visual do FeCr AC dos silos e inspeção visual do material estocado nas baias indicaram quantidade anormal de escória proveniente da produção do FeCr AC como pode ser observado na figura 5.



Figura 5. Presença de escória na liga FeCr a/C.

Foram amostrados lotes para análise de quantificação do teor de escória e as análises indicaram 0,8% de escória nos lotes amostrados para uma especificação de máximo 1,0% de escória.

Levantamento do histórico de fornecimento, mostrou no final de 2014 alteração com relação à quantidade de escória no FeCr AC recebido. O teor médio de escória passou de valores abaixo de 0,55% para 0,75% como pode ser observado na figura 6. Alguns lotes foram recebidos com 1,0%.

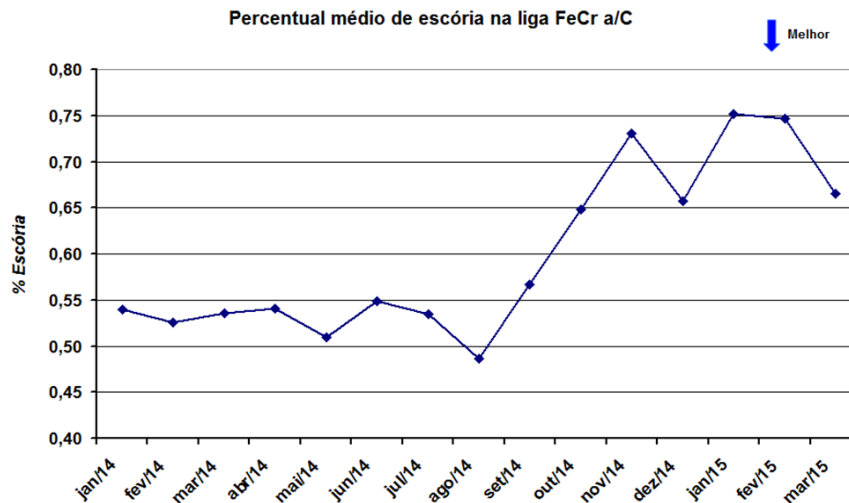


Figura 6. Histórico do percentual de escória no FeCr AC.

Sendo a escória composta por óxidos principalmente de SiO_2 , Al_2O_3 , MgO e CaO , com ponto de fusão mais alto que as temperaturas de elaboração do aço, a incorporação deste composto no banho é algo indesejável, pois atuam como fonte de inclusões exógenas..

No AOD-L, as adições de FeCr AC são maiores e conseqüentemente a entrada de escória incorporada é maior. Devido às temperaturas do processo que atingem os 1710°C no final e o momento da adição ocorre muito antes do lingotamento, o efeito deste tipo de contaminação na liga pode não ser considerável.

Porém, acertos de cromo na Metalurgia Secundária com FeCr AC com alto teor de escória, o efeito passa a ser considerável pelo fato das adições ocorrerem nas etapas finais de refino onde as temperaturas do aço líquido são baixas.

Outro aspecto observado em relação à contaminação com escória, foi que algumas pedras de FeCr AC apresentavam envolvidas por uma camada de óxido com características intermediárias entre FeCr e escória. Nestes casos, a dissolução do FeCr contido no centro da pedra é comprometida o que explica a presença de partículas metálicas não dissolvidas em regiões próximas ao defeito. Esta condição é crítica tanto para adições no AOD-L quanto na Metalurgia Secundária.

2.4 Ações implementadas

As principais ações implementadas foram:

- Alteração da especificação para máximo 0,75% de escória no FeCr a/C;
- Especificação de lote especial com máximo 0,2% de escória para utilização na Metalurgia Secundária;

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 7 apresenta a evolução com relação ao teor de escória no FeCr AC retornando aos atendimentos típicos após as ações.

A alteração da especificação para máximo 0,75% foi uma forma de garantir a qualidade da liga para os futuros fornecimentos.

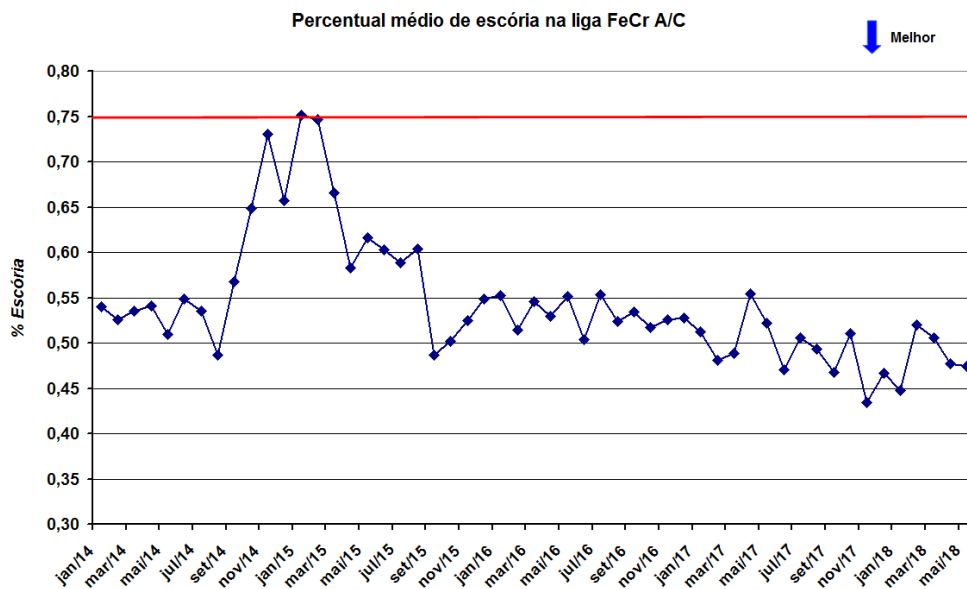


Figura 7. Evolução do percentual de escória no FeCr AC após ações.

Após o retorno, a qualidade do aço respondeu da mesma maneira com redução significativa no índice de desvios por “esfoliações”. A figura 8 apresenta esta evolução sendo os resultados melhores do que o período de referência com índices padrões de janeiro de 2015 a março de 2015.

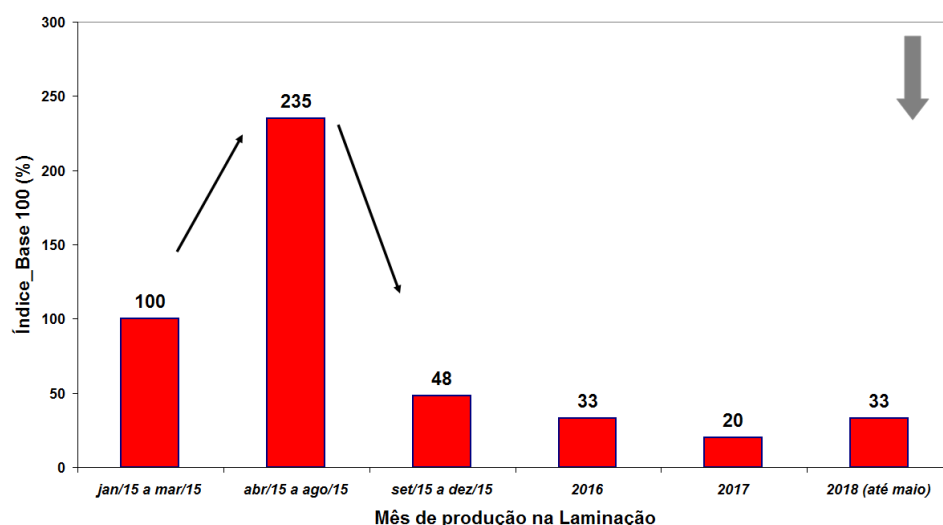


Figura 8. Evolução com relação aos desvios no aço 430 na base 100.

A composição química típica da escória encontrada no FeCr AC é de: 30% SiO₂, 26% Al₂O₃, 23% MgO e 2% CaO com ponto de fusão geralmente é de 1680 a 1720°C conforme diagrama da figura 9.

A entrada destes óxidos no aço líquido, principalmente na metalurgia secundária, onde as temperaturas de processo são na ordem de 1600°C, é uma condição crítica para que defeitos internos ocorram no aço, seja pela fusão incompleta do FeCr com escória conforme observado na análise realizada no item 2.2 ou pela entrada de inclusões.

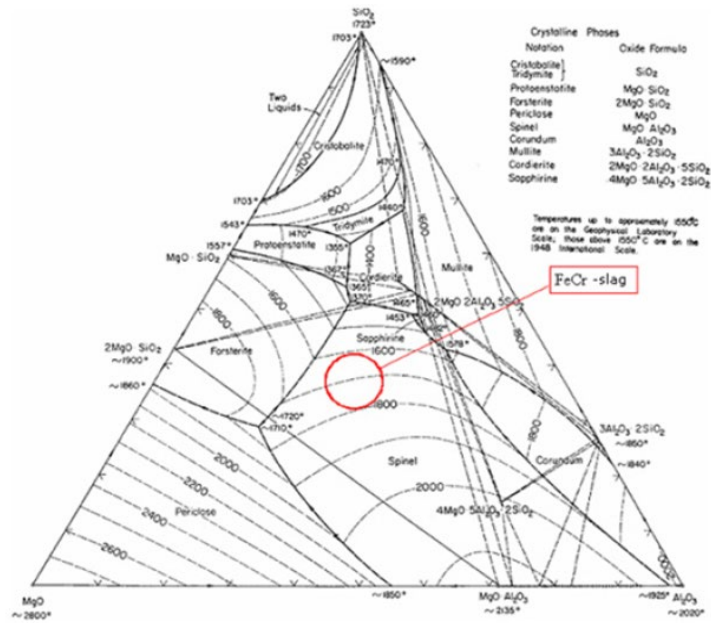


Figura 9. Diagrama ternário - sistema MgO – Al₂O₃ – SiO₂ [6].

KIESSLING (1978) observou que inclusões de óxidos em aços com diferentes teores de cromo, estavam relacionadas com a liga de ferro-cromo. Desta forma, menos contaminações entrando no processo com menor adição de escória, menos óxidos e menos problemas inclusões ou deficiência de fusão da liga.

A escória é sub produto da produção do FeCr. Sua presença é inerente ao processo de produção do FeCr sendo inevitável. No vazamento da corrida, a escória é separada do FeCr líquido por diferença de densidade. Desta forma, o fornecedor ajustou o processo de separação da escória do FeCr durante a produção para atender as novas especificações.

A ação de utilizar na Metalurgia Secundária, uma liga de FeCr AC com baixos níveis de escória (máximo 0,2%) para acertos de cromo, foi uma descoberta que contribuiu de forma significativa para a obtenção destes resultados.

O estudo do problema gerou conhecimento a cerca de mais um mecanismo para o defeito.

4 CONCLUSÃO

O aumento no teor de escória presente na liga de FeCr AC foi responsável pelo aumento no índice de desvios no aço 430.

As ações implementadas contribuíram para retorno da qualidade da liga de FeCr AC e conseqüentemente melhora na qualidade do aço 430 com a redução de desvios devido ao defeito “esfoliação”.

O estudo gerou conhecimento a cerca de um novo mecanismo para os defeitos permitindo especificar uma liga de FeCr AC mais limpa para acertos na Metalurgia Secundária. Esta ação foi fundamental para obtenção dos menores índices de desvios no aço 430.

REFERÊNCIAS

1. CUNHA, M. N.; COIMBRA, D. L.; COELHO, M. F.; ALVARENGA, V. P.; MORAIS, J. E. A. Melhoria de qualidade superficial no aço 430 estabilizado ao nióbio através do controle de teor de alumínio. In: SEMINÁRIO DE ACIARIA, 45, 2014, Porto Alegre. Associação Brasileira de Metalurgia, Minas e Materiais (ABM), 2014
2. ZHANG, L.; THOMAS, BG. State of the art in evaluation and control of steel cleanliness. ISIJ International. 2003;43(3):271-91.
3. KIESSLING, R.; LANGE, N. *Non-Metallic Inclusions in Steel*. London: The Metals Society, 1978.
4. BI, Y.; KARASEV, A.; JONSSON, P. G. Three-dimensional investigation of inclusions in ferroalloys, *Steel Research International*. v. 85, N°4, p. 659-669, 2014.
5. NIEMELÄ, P.; KAUPPI, M. Production, characteristics and use of ferrochromium slags. International Ferroalloys Congress, 11th, 2005.
6. VEREIN DEUTSCHER EISENHUTTENLEUTE. *Slag Atlas*. 2nd Edition Dusseldorf: Verlag Stahleisen GmbH, 1995.