



## **INVESTIGAÇÃO DE INCLUSÕES NÃO METÁLICAS EM AÇO DE BAIXO CARBONO DESOXIDADO AO ALUMÍNIO NA ETAPA DE REFINO**

**Marcolino Fernandes Neto**

Pesquisador Recém Doutor, FEM/DEMA/UNICAMP e DEMAR/FAENQUIL,  
[marcolin@fem.unicamp.br](mailto:marcolin@fem.unicamp.br)

**Jose Carlos dos Santos Pires**

Doutorando, FEM/DEMA/UNICAMP, [pires@fem.unicamp.br](mailto:pires@fem.unicamp.br)

**Carlos Ângelo Nunes**

Professor, DEMAR – FAENQUIL, [cnunes@demar.fauenquil.br](mailto:cnunes@demar.fauenquil.br)

**Amauri Garcia**

Professor Titular / Departamento de Engenharia de Materiais / UNICAMP,  
[amaurig@fem.unicamp.br](mailto:amaurig@fem.unicamp.br)

***Resumo.** As inclusões não metálicas são prejudiciais às propriedades mecânicas de todos os tipos de aços fabricados no mundo inteiro. Quanto maior o tamanho da inclusão, presente na estrutura de um determinado tipo de aço, maior será o seu efeito prejudicial à qualidade deste aço. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho é investigar o tamanho, a quantidade, a forma e a composição química de inclusões endógenas formadas ao longo do processo de refino do aço de baixo carbono, desoxidado ao alumínio, em função do tempo de tratamento deste aço no forno panela, buscando assegurar a flotação das inclusões de tamanho acima de 25  $\mu\text{m}$ . Essa investigação foi realizada com o auxílio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV), acoplado a um sistema de análise por energia dispersiva (EDS). A partir desse trabalho foi possível conhecer melhor a natureza das inclusões, o tempo necessário para assegurar a flotação de grandes inclusões, a eficiência de captação das inclusões pela escória e o grau de limpeza do aço estudado ao longo do seu processo de refino, visando obter um produto siderúrgico de melhor qualidade.*

***Palavras chave:** inclusões não metálicas, refino de aço, MEV/EDS*

### **1. INTRODUÇÃO**

O refino secundário ou metalurgia da panela é um processo de tratamento dos aços que ficou conhecido em todo mundo nos últimos dez anos. No Brasil, esse processo é utilizado por quase todas as siderúrgicas. A prática de refino dos aços teve início com a verificação de que certos processos metalúrgicos podem ser realizados de forma mais eficiente fora das condições oxidantes presentes nos fornos de elaboração dos aços. A partir daí, vários processos foram desenvolvidos no sentido de melhorar a desoxidação, remover grande quantidade de inclusões indesejáveis, desulfurar o aço, modificar as inclusões de óxidos e sulfetos que permanecem no banho e desgaseificar os aços a níveis de poucos ppm de hidrogênio e nitrogênio.

O refino dos aços em fornos panela visa: reaquecer o aço líquido; homogeneizar a temperatura e a composição química do banho; melhorar a flotação de inclusões não metálicas; dessulfurar com escória sintética; desfosforar com agentes fluxantes especiais; desgaseificar a vácuo para hidrogênio

e nitrogênio; descarburar aços comuns e aços ligas, tais como aços inoxidáveis, sem que ocorram perdas excessivas por oxidação de ligas e ferro. Assim, utilizar-se do refino secundário significa trabalhar para obter aços de boa qualidade.

Vários trabalhos (Finardi, 1997, Gatellier, 1995 e Fernandes Neto, 2001) mostram que uma das grandes causas que prejudica a qualidade dos aços são as inclusões não metálicas. Sabe-se que a formação de inclusões é uma consequência inevitável das reações químicas que ocorrem durante o processo de fabricação dos aços. Deste modo, todos os tipos de aços contém inclusões não metálicas de alguma espécie, no mínimo em pequenas quantidades. Apesar do volume proporcionalmente pequeno, tais inclusões influenciam as propriedades mecânicas, a trabalhabilidade, a usinabilidade e o acabamento superficial dos produtos siderúrgicos. A intensidade da nocividade dessas inclusões depende da composição química, tamanho, morfologia e distribuição das mesmas nos aços.

De acordo com Faulring (1997) e Yavoiskiy (1975), as inclusões não metálicas são formadas principalmente durante a etapa de desoxidação dos aços líquidos no refino em forno panela. Quando estas partículas não são captadas pela escória, elas são encontradas no aço solidificado, deteriorando as propriedades mecânicas do mesmo.

No caso do aço desoxidado ao alumínio, destinado ao lingotamento contínuo (LC) na forma de tarugos, tem-se o grande inconveniente da rápida obstrução de válvulas calibradoras do fluxo de aço líquido pelas inclusões sólidas de alumina que se depositam nas paredes do orifício destas válvulas, interrompendo o fluxo de aço num tempo relativamente curto. Além dessas inclusões prejudicarem a capacidade de produção da máquina de LC, afetam diretamente a qualidade do aço. Surge, então, a necessidade de controlar a composição química dessas inclusões para resolver o problema operacional e também da sua deformabilidade, particularmente no caso de aços destinados à trefilação de arames com pequenos diâmetros.

Vários trabalhos (Gatellier, 1997, Furusadi, 1995, Wilcox, 1997 e Tanaka, 1994) mostram que a deformabilidade das inclusões é função de sua composição química e o seu controle é realizado na etapa final de refino e durante o lingotamento. No caso da desoxidação do aço líquido utilizando somente o silício, ele não é suficiente para evitar a formação de porosidades superficiais e subsuperficiais. Durante o reaquecimento dos tarugos para a laminação, as porosidades superficiais e subsuperficiais são recobertas por uma camada de óxido que se transforma durante o processo de laminação em farpas ou escamas que se apresentam de modo heterogêneo no produto laminado. São extremamente prejudiciais para o acabamento superficial de peças usinadas e trefiladas, e provocam rupturas durante a trefilação de arames.

De acordo com Finardi (1997) e Báez (1968), as inclusões não metálicas resultantes da desoxidação apresentam massa específica menor do que o aço líquido e tendem a ser transportadas até a superfície superior do banho. A velocidade de transporte depende da massa específica, do tamanho e da forma destas inclusões e também da massa específica e da viscosidade do aço líquido. Assim, a velocidade de ascensão das inclusões no seio do aço líquido, assumindo forma esférica e condições de escoamento laminar, pode ser calculada pela seguinte lei de Stokes:

$$V_a = [2 g r^2 (\rho_a - \rho_i)] / 9\eta \quad , \quad (1)$$

onde:

$V_a$  – velocidade de ascensão da inclusão (cm/s);

$g$  – aceleração da gravidade ( $981 \text{ cm/s}^2$ );

$r$  – raio da inclusão (cm);

$\rho_a$  - massa específica do aço líquido ( $\text{g/cm}^3$ );

$\rho_i$  - massa específica da inclusão ( $\text{g/cm}^3$ );

$(\rho_a - \rho_i)$  - diferença de massa específica entre o aço líquido e a inclusão ( $3 \text{ g/cm}^3$  para aço e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ );

$\eta$  - coeficiente de viscosidade do aço ( $0,025 \text{ g/s.cm}$ ).

Como a velocidade de ascensão “ $V_a$ ” de uma inclusão é diretamente proporcional ao seu raio “ $r$ ”, isto implica que a flotação de uma inclusão é tanto mais difícil quanto menor o seu tamanho.

Deste modo, conhecendo-se as dimensões do forno panela, é possível determinar o tamanho máximo das inclusões que podem ficar retidas na etapa de desoxidação do aço. A velocidade de subida de uma inclusão de alumina ( $Al_2O_3$ ) de  $3\mu m$  de diâmetro, calculada pela lei de Stokes, é de 2 cm/h, o que torna impossível a eliminação dessas inclusões nas condições práticas de fabricação do aço sem a agitação e injeção de argônio no banho. Já para o caso de uma inclusão de alumina de  $100\mu m$ , a velocidade é de 39,24 cm/min. Estas considerações mostram como é importante, para aumentar a velocidade de ascensão das inclusões no forno panela, a injeção de argônio no banho, porque as bolhas de argônio tendo maior diâmetro e sendo menos densas do que as inclusões, interceptam-nas e sobem, favorecendo sua eliminação.

Segundo Báez (1968), para dimensões normais de panelas utilizadas no processo de tratamento do aço foi estabelecido experimentalmente que somente inclusões menores que  $30\mu m$  podem permanecer no aço líquido, por mais que 30 minutos. Por outro lado, diversos investigadores acreditam que a utilização da lei de Stokes para determinar a velocidade de subida das inclusões é limitada e somente aplicável em inclusões sólidas com diâmetro inferior a  $20\mu m$ . Evidentemente que, na aciaria, tem-se movimento turbulento que invalida quase que integralmente a lei de Stokes (considera fluxo laminar estável), mas conforme trabalhos experimentais russos, citados por Báez (1968), existe uma primeira aproximação teórica do fenômeno.

De acordo com Blais (1997), a grande maioria dos procedimentos padrões de guia para caracterização de inclusões consiste em comparar a forma, o tamanho e a distribuição (densidade) de inclusões não conhecidas a outras de composição química conhecidas. Outras técnicas usa a escala de reflexão de uma imagem digital para classificar a natureza química das inclusões. Isto é possível, pois, na microscopia óptica, óxidos tendem a aparecer mais escuro do que os sulfetos. Esta diferença pode então ser explorada pelo uso de um sistema de análise de imagem para classificar as inclusões baseados em níveis de intensidade da coloração dos pontos das áreas que as representam. Nenhuma dessas técnicas pode especificar qual tipo de óxido ou sulfeto presentes na amostra, ou seja, elas não dá uma lista da composição química elementar das inclusões.

A preocupação com a melhoria contínua do controle do processo e da qualidade dos aços tem direcionado às pesquisas na busca de desenvolvimento de métodos mais precisos para caracterização de inclusões não metálicas presentes nos mesmos. Como os padrões de guia para caracterização química de inclusões são essencialmente qualitativos, mais recentemente, as pesquisas têm sido conduzidas para investigar a possibilidade de usar análise de imagens, MEV, EDS para obter mais detalhes sobre a composição química das inclusões.

Quanto maior o tamanho da inclusão, presente na estrutura de um determinado tipo de aço, maior será o seu efeito prejudicial à qualidade deste aço. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho é investigar o tamanho, a quantidade, a forma e a composição química de inclusões endógenas formadas ao longo do processo de refino do aço de baixo carbono, desoxidado ao alumínio, em função do tempo de tratamento deste aço no forno panela, buscando assegurar a flotação das inclusões de tamanho acima de  $25\mu m$ . Essa investigação foi realizada com o auxílio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV), acoplado a um sistema de análise por energia dispersiva (EDS). A partir desse trabalho foi possível conhecer melhor a natureza das inclusões, o tempo necessário para assegurar a flotação de grandes inclusões, a eficiência de captação das inclusões pela escória e o grau de limpeza do aço estudado ao longo do seu processo de refino, visando obter um produto siderúrgico de melhor qualidade.

## **2. METODOLOGIA**

A investigação do tamanho, forma, quantidade e composição química das inclusões endógenas formadas ao longo do processo de refino do aço SAE 1015 desoxidado ao alumínio, em função do tempo de tratamento deste aço em forno panela, foi realizado por meio de amostras colhidas em uma corrida numa companhia siderúrgica nacional. As amostras foram coletadas através de amostradores apropriados para tal tarefa da seguinte maneira: 1. – antes do vazamento do aço do convertedor LD para o forno panela; 2. - após o vazamento do aço para o forno panela (início do

refino do aço em forno panela); 3. – após adição de Al (desoxidante); 4. – 5 minutos após adição de Al; 5. – 10 minutos após adição de Al; 6. – após adição de CaSi; 7. – 10 minutos após adição de CaSi (final de refino do aço em forno panela) e 8. - no distribuidor da máquina de lingotamento contínuo (MLC) na forma de tarugo.

As amostras foram preparadas pelo método metalográfico convencional sendo que as inclusões presentes nas amostras foram observadas com o auxílio do microscópio eletrônico de varredura (MEV) acoplado a um sistema de análise por energia dispersiva (EDS), obtendo assim, a composição química, a quantidade, a forma e o tamanho de tais inclusões. Figura (1) apresenta resumidamente as etapas seguidas para a identificação de inclusões pelo método metalográfico convencional.

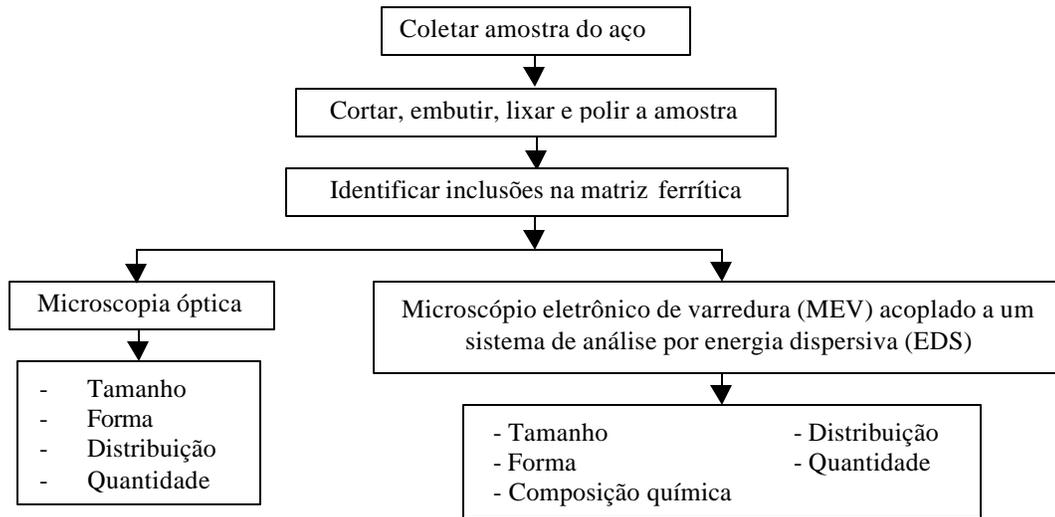


Figura 1. Identificação de inclusões não metálicas pelo método metalográfico convencional.

A escolha de um aço de baixo teor de carbono (SAE1015) desoxidado ao alumínio deve-se ao fato de que o alumínio é um elemento altamente desoxidante e é adicionado ao aço líquido para reduzir a porcentagem de oxigênio dissolvido no mesmo. Quanto menor for o teor final de carbono no aço líquido maior será a porcentagem de oxigênio e, conseqüentemente, maior será a quantidade de inclusões formadas. Portanto, em uma amostra de um aço de baixo teor de carbono desoxidado ao silício é possível encontrar vários tipos de inclusões não metálicas de diferentes tamanhos, formas e composição química.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tabela (1) mostra a seqüência de coletas das amostras em função do tempo de elaboração do aço SAE 1015 desoxidado ao alumínio. Nota-se que o tempo de tratamento do aço no forno panela foi de aproximadamente 2 horas e 24 minutos.

Tabela 1. Seqüência de coletas das amostras em função do tempo de fabricação do aço.

AMOSTRA	CONDIÇÃO	LOCAL	TEMPO
1	Final de elaboração do aço	Convetedor LD	14:51
2	Início de refino do aço	Forno Panela	15:01
3	Após adição de Al	Forno Panela	16:43
4	5 minutos após adição de Al	Forno Panela	16:48
5	10 minutos após adição de Al	Forno Panela	17:58
6	Após adição de CaSi	Forno Panela	17:15
7	Final de refino do aço	Forno Panela	17:25
8	15 minutos após o início de lingotamento	Distribuidor - MLC	18:00

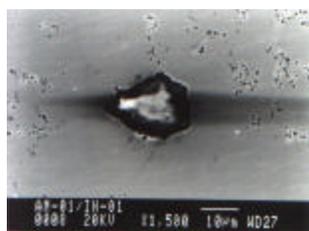
Os resultados da composição química, tamanho e forma das inclusões observadas nas amostras preparadas através do método metalográfico convencional e analisadas através do MEV/EDS encontram-se na Tabela (2). Figuras (2 a 6) apresentam as fotografias dessas inclusões.

Tabela 2. Composição química, tamanho e forma das inclusões observadas nas amostras preparadas pelo método metalográfico convencional.

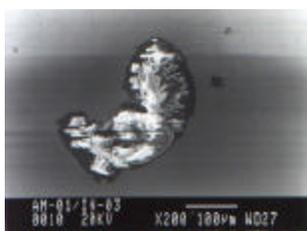
<b>Amostra 1 - antes do vazamento do aço do convertedor LD para o forno panela</b>			
Elemento químico % em peso	Figura 2a arredondada - 20µm	Figura 2b irregular - 200µm	Figura 2c irregular - 150µm
Al	68,68	51,02	----
Si	----	6,82	98,83
S	2,43	----	0,38
Ca	23,66	38,65	----
Mn	----	1,60	----
Mg	----	----	----
Fe	5,23	1,91	0,79
<b>Amostra 2 – início de refino do aço no forno panela</b>			
Elemento químico % em peso	Figura 3a arredondada – 60µm	Figura 3b arredondada - 80µm	Figura 3c redonda – 45µm
Al	33,69	43,66	14,76
Si	28,71	20,41	35,58
S	----	----	0,35
Ca	5,33	3,30	2,46
Mn	29,88	22,41	44,32
Mg	----	----	----
Fe	2,39	10,22	2,16
<b>Amostra 3 – após adição de Al</b>			
Elemento químico % em peso	Figura 4a redonda - 158µm	Figura 4b redonda - 180µm	Figura 4c redonda - 230µm
Al	49,64	30,90	43,39
Si	22,00	30,90	----
S	----	----	5,18
Ca	18,77	32,03	----
Mn	6,21	2,39	4,51
Mg	----	2,88	0,34
Fe	3,38	0,89	46,68
<b>Amostra 4 –5 minutos após adição de Al</b>			
Elemento químico % em peso	Figura 5a irregular - 500µm	Figura 5b arredondada – 170µm	Figura 5c irregular - 340µm
Al	35,27	34,53	60,08
Si	48,68	36,93	19,65
S	----	----	----
Ca	----	----	----
Mn	3,06	21,69	17,23
Mg	----	----	----
Fe	12,98	6,87	3,04
<b>Amostra 5 – 10 minutos após adição de Al</b>			
Elemento químico % em peso	Figura 6a arredondada – 138µm	Figura 6b redonda – 43µm	Figura 6c redonda – 127µm
Al	1,93	8,02	16,39
Si	20,56	26,79	14,96
S	----	0,23	0,40
Ca	6,35	2,28	47,60
Mn	0,90	38,02	11,89
Mg	19,82	----	4,70
Fe	50,43	8,02	4,06

Continuação da Tabela 2. Composição química, tamanho e forma das inclusões observadas nas amostras preparadas pelo método metalográfico convencional.

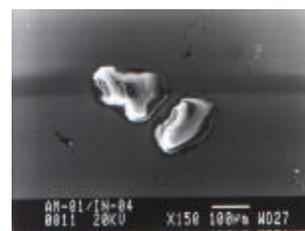
<b>Amostra 6 - após adição de CaSi</b>			
Elemento químico % em peso	Figura 7a redonda - 370µm	Figura 7b irregular - 35µm	Figura 7c irregular - 180µm
Al	30,36	25,53	53,98
Si	35,75	----	35,29
S	----	14,57	----
Ca	7,54	56,56	----
Mn	23,38	----	1,04
Mg	----	----	----
Fe	2,97	3,34	10,48
<b>Amostra 7 – final de refino do aço no forno panela</b>			
Elemento químico % em peso	Figura 8a redonda – 150µm	Figura 8b redonda – 450µm	Figura 8c redonda – 10µm
Al	20,85	52,96	----
Si	8,91	23,75	----
S	0,94	1,57	34,62
Ca	62,43	0,99	----
Mn	0,17	----	21,08
Mg	6,32	13,63	0,10
Fe	0,37	7,09	44,21
<b>Amostra 8 – no distribuidor da MLC</b>			
Elemento químico % em peso	Figura 9a arredondada - 10µm	Figura 9b arredondada - 7µm	Figura 9c arredondada - 15µm
Al	17,62	13,30	32,19
Si	----	----	0,19
S	19,98	7,18	17,12
Ca	52,97	13,31	38,76
Mn	0,34	0,39	1,21
Mg	----	----	----
Fe	9,09	65,83	10,53



(a)



(b)



(c)

Figura 2. Fotografias de inclusões observadas na amostra coletada no convertedor LD antes do vazamento do aço para o forno panela.



(a)

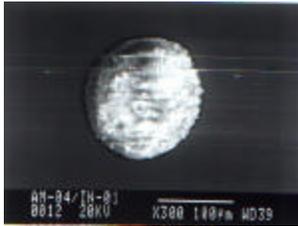


(b)

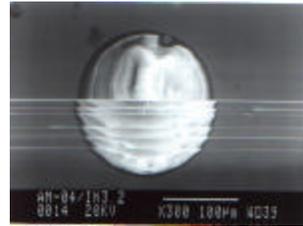


(c)

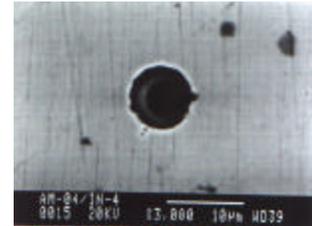
Figura 3. Fotografias de inclusões observadas na amostra coletada após o vazamento do aço para o forno panela (início do refino do aço em forno panela).



(a)



(b)

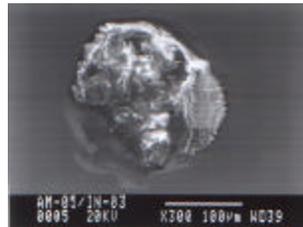


(c)

Figura 4. Fotografias de inclusões observadas na amostra coletada após adição de Al.



(a)

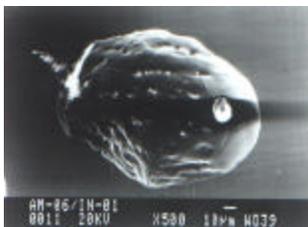


(b)



(c)

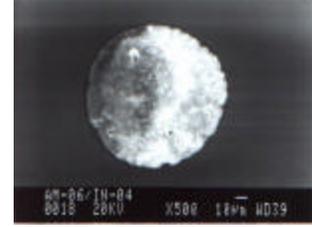
Figura 5. Fotografias das inclusões observadas na amostra coletada após 5 minutos de adição de Al.



(a)

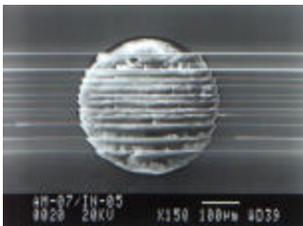


(b)

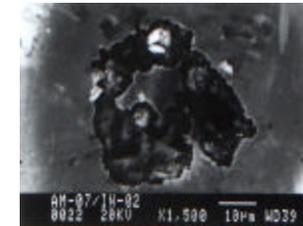


(c)

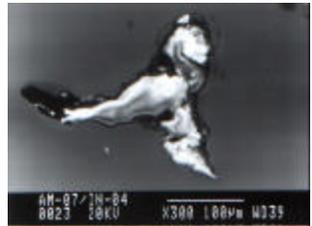
Figura 6. Fotografias de inclusões observadas na amostra coletada após 10 min de adição de Al.



(a)

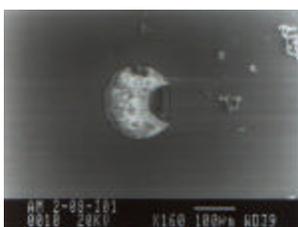


(b)



(c)

Figura 7. Fotografias de inclusões observadas na amostra coletada após adição de CaSi.



(a)



(b)



(c)

Figura 8. Fotografias de inclusões observadas na amostra coletada após 10 minutos de adição de CaSi (final de tratamento do aço no forno panela).

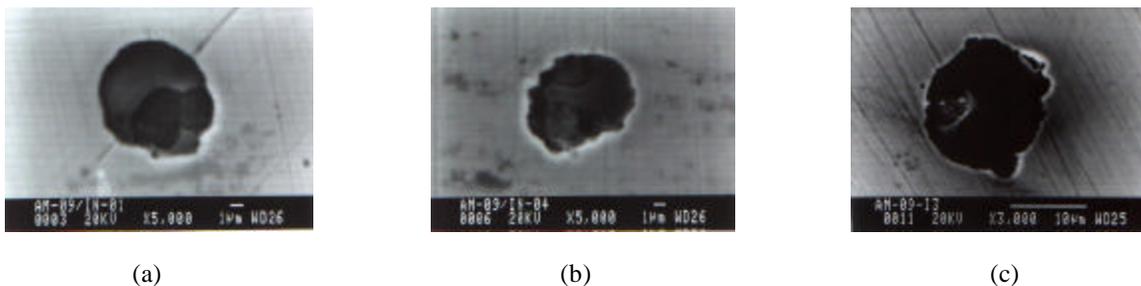


Figura 9. Fotografias das inclusões observadas na amostra coletada no distribuidor da máquina de lingotamento contínuo.

O aço SAE 1015 desoxidado ao alumínio é um aço de baixo carbono, baixo silício, baixo alumínio e alto manganês. Tabela (3) apresenta a porcentagem em peso da composição química do aço estudado.

Tabela 3. Porcentagem em peso da composição química do aço SAE 1015 desoxidado ao alumínio.

% C	% Mn	% Si	% Al	% S	% Ca	% P	% N <sub>2</sub>
0,14	0,354	0,076	0,027	0,009	0,008	0,015	0,0024

O refino ou tratamento do aço SAE 1015, desoxidado ao alumínio, inicia-se com a adição de alumínio, durante o vazamento do aço do convertedor LD para o forno panela. Assim, a desoxidação inicia com a adição de alumínio, durante o vazamento, e vai até o lingotamento contínuo. Ao longo do refino do aço, bolhas de CO vão sendo eliminadas pela queima do carbono e inclusões não metálicas, na forma de óxidos, vão sendo formadas (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ; SiO<sub>2</sub> ; MnO ; FeO ; etc) e fixadas na escória. A escória é sempre baseada em CaO para fixar a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e MgO para proteger o refratário da panela. Esta escória pode ou não ser rica em SiO<sub>2</sub> de acordo com a desoxidação do aço. No caso do aço desoxidado ao alumínio, a escória deve ser livre de sílica para evitar a reação química de formação de alumina, expressa pela seguinte equação:



O tempo de aproximadamente 2 horas e 25 minutos de tratamento do aço no forno panela mostrou não ser suficiente para garantir a flotação e incorporação das grandes inclusões na escória, conforme pode ser verificado na Tabela (2) através da redução do tamanho das inclusões encontradas nas amostras do aço. Esses dados mostram que o tempo de tratamento do aço no forno panela não está de acordo com os dados citados na literatura. Conforme dados da literatura, somente inclusões menores que 30 µm podem permanecer no aço líquido por mais que 30 minutos de tratamento do aço em forno panela. Assim, os dados experimentais indicaram que o tempo necessário para garantir a flotação de inclusões acima de 25 µm ao longo do tratamento do aço estudado, desde a etapa de vazamento do aço do convertedor LD até o distribuidor da máquina de lingotamento contínuo, foi de aproximadamente 3 hora.

De acordo com a lei de Stokes, a redução subsequente da quantidade de inclusões ao longo do processo de refino dos aços é um resultado do transporte dessas inclusões para a escória. Quando a escória não as capturam, elas permanecem no aço e vão deteriorar as propriedades mecânicas do produto final.

Devido às adições dos elementos químicos Al, Ca, Si e Mn ao banho durante o processo de refino do aço e também pela tendência ao equilíbrio termodinâmico entre os componentes da escória e/ou revestimento refratário básico do forno panela com os elementos químicos dissolvidos no banho, as inclusões não metálicas observadas nas amostras colhidas antes, depois e após o refino

do aço em forno panela apresentaram as seguintes composições químicas:  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{MnO} - \text{MgO} - \text{FeO}$ .

Como não é possível garantir a flotação de inclusões de diâmetros menores que 25  $\mu\text{m}$  do aço líquido, uma solução prática é a produção de aços contendo inclusões deformáveis. Neste sentido, o controle dos elementos químicos Al, Si, Ca, Mn, Mg e O, dissolvidos no aço líquido e da composição química da escória é necessário para minimizar a quantidade, tamanho e composição química (plasticidade) das inclusões de óxidos.

#### 4. CONCLUSÕES

A análise de inclusões não metálicas, a partir de amostras obtidas antes, durante e após o processo de refino do aço SAE 1015, desoxidado ao alumínio em forno panela, permite que sejam extraídas as seguintes conclusões:

- 1) a coleta de amostras nas várias etapas do processo de tratamento do aço analisado neste trabalho, permitiu conhecer melhor a evolução do tamanho, da forma, da composição química das inclusões presentes nesse tipo de aço. Essa metodologia pode ser empregada também para outros tipos de aços de interesse para a siderurgia;
- 2) As principais composições químicas das inclusões em aços de baixo carbono desoxidado ao alumínio são as seguintes:  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{MnO} - \text{MgO} - \text{FeO}$ .
- 3) Para um período de tempo de aproximadamente 3 horas, ao longo do processo de tratamento do aço líquido, foi possível flotar as inclusões de diâmetro maiores que 25  $\mu\text{m}$ .

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo e ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio fornecido ao longo deste trabalho.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Báez, H. N.; Libanati, C. M.; Vassalo, D. I.; Wortman, O.; Zaretsky, Z., 1968, “Identificação e Origem de Inclusões Não-Metálicas nos Aços”, Metalurgia – ABM, Vol. 24, Nº 128, pp. 523-534.
- Blais, C.; L’Espérance, G.; LeHuy, H.; Forget, C., 1997, “Development of a Integrated for Fully Characterizing Multiphase Inclusions and Its Application to Calcium-Treated Steels”, Materials Characterization, Vol. 38, pp. 25-37.
- Faulring, G. M., 1998, “Inclusion Modification in Semi-Killed Steels”, Electric Furnace Conference Proceedings, NY, pp.87-98.
- Fernandes Neto, M., 2001, “Análise de Inclusões Não-Metálicas em Aço de Baixo Carbono Desoxidado ao Alumínio Produzido por Lingotamento Contínuo” Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, pp. 216, Tese (Doutorado).
- Finardi, J., 1997, “Desoxidação e Controle de Inclusões em Aços para Lingotamento Contínuo na Forma de Tarugos” Trabalho Apresentado na Conferência Internacional de Dessulfuração e Controle de Inclusões, ABM, Volta Redonda, RJ, pp. 265-283.
- Furusadi, Y.; Kawasaki, S.; Kanazuka, Y.; Takeb, T.; Hata, H., 1992, “Production of Clean Steel by Bloom Caster”, Steelmaking Conference Proceedings” pp. 397-403.
- Gatellier, C.; Gaye, H.; Lehmann (IRSID), J., 1995, “Origine des Inclusions dans les Aciers Peu Alliés”, La Revue de Métallurgie-CIT, pp. 541-553.
- Gatellier, C.; Jacquemot, A.; Henry, J. M.; Olette, M. H. R., 1977, “Controle da Morfologia das Inclusões nos Aços Desoxidados pelo Alumínio”, Metalurgia – ABM, Vol. 33, No 234, pp. 275-283.

- Tanaka, H.; Nishihara, R.; Miura, R.; Tsujino, R.; Kimura, T.; Nishi, T.; Imoto, T., 1994, "Technology for Cleaning of Molten Steel in Tundish", ISIJ International, Vol. 34, N<sup>o</sup> 11, pp. 868-875.
- Wilcox, D. P.; Whitwood, M. M.; Dyson, D. J., 1997, "Representation and Interpretation of Composition of Inclusions", Ironmaking and Steelmaking, Vol. 24, N<sup>o</sup> 3, pp. 243-248.
- Yavoiskiy, V. O., 1975, "New Investigation of the Desoxidation Process of Steel, Formation and Modification of Non-Metallic Inclusions During Cooling of Steel Ingot", Transaction ISIJ, Vol. 15, pp. 493-502.

## **INVESTIGATION OF NON-METALLIC INCLUSIONS IN ALUMINIUM KILLED LOW CARBON STEEL IN THE REFINING PHASE**

Abstract: Non-metallic inclusions are harmful to the mechanical properties for steel products. As greater the size of the inclusion, presents in the steel microstructure, more reduction in mechanical properties occurs. Therefore, the objective of this work is to investigate the size, the quantity, the shape and the chemical composition of non-metallic inclusions formed throughout the refining process utilizing aluminium to desoxide low carbon steel in function of the treatment time in a ladle furnace to ensure the flotation of inclusions bigger than 25  $\mu\text{m}$ . Scanning electron microscope (SEM), and the energy dispersive spectrometry (EDS) were used to characterize the shape, size and chemical composition of these inclusions. Thus, it was possible to show the shape, size and chemical composition of each inclusions, the necessary time to ensure flotation of large inclusions, the efficiency of the captation of inclusions by slag and the level of cleanliness of the studied steel throughout its refining process in such a way as to obtain a higher quality steel product.

Key words: non-metallic inclusions, steel refining, SEM/EDS