

COMPARAÇÃO ENTRE AS ROTAS DE LINGOTAMENTO CONVENCIONAL E CONTÍNUO¹

*Uilson Nascimento²
Marcelo Francisco Pimentel³
Joel Jochelavicius⁴*

Resumo

Inclusões não - metálicas são impurezas formadas principalmente por óxidos presentes no aço líquido. Estas são originadas, na maioria das vezes, de impurezas presentes nos elementos de liga, por produtos de desoxidação, por reoxidação do banho, pelo contato com a escória e pelo desgaste dos refratários. Elas podem causar problemas no lingotamento contínuo como, por exemplo, o entupimento da válvula submersa. A caracterização e controle de inclusões não - metálicas formadas durante o processo de fabricação do aço é fundamental na determinação das propriedades que o aço apresentará durante sua utilização. O objetivo do trabalho é comparar as duas rotas de lingotamento: convencional e contínuo. Esta comparação constará de uma revisão bibliográfica e análise de inclusões não - metálicas através de microscopia ótica.

Palavras-chave: Rota de lingotamento; Inclusões não - metálicas.

COMPARISON BETWEEN INGOT AND CONTINUOUS CASTING ROUTES

Abstract

Non-metallic inclusions are impurities created mainly by oxides presents on liquid steel. These are mainly impurities presents on the alloying and originated by deoxidation, bath reoxidation, contact with the slag and refractories degradation. They can cause problems on continuous casting like blocking the submerge valve. The control of non-metallic inclusion in the steel manufacturing is essential to define the steel characteristics during its utilization. The main point of this research is to compare two casting routes (ingot and continuous casting). This comparison will contain a bibliographical review and analysis of non – metallic inclusion using optical microscopy.

Key words: ingot casting route; non-metallic inclusions.

¹ *Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ*

² *Técnico de Produto e Processos / Aços Villares – Sidenor*

³ *Engenheiro de Produto e Desenvolvimento / Aços Villares – Sidenor*

⁴ *Supervisor Engenharia de Produto e Desenvolvimento / Aços Villares - Sidenor*

1 INTRODUÇÃO

O mercado mundial de Aços para Construção Mecânica compreende aplicações bastante diversificadas, atendendo Forjadores, Mineradores, Máquinas, Equipamentos, Revenda, Parafuseiros, entre outras. Dentre estas áreas, o setor de atividade de Rolamentos e Molas são representantes de uma parcela de significativa importância, tanto em termos quantitativos como pelas características inerentes à aplicação crítica pela segurança requerida nestes materiais. A Villares, ao longo dos anos, tem exercido papel relevante na produção de Aços para esta aplicação.

Desde maio de 2003, a empresa vem atuando no mercado utilizando duas rotas de lingotamento (Contínuo e Convencional). O principal objetivo deste trabalho é comparar as inclusões não - metálicas obtidas nas rotas de lingotamento convencional e contínuo.

2 CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

2.1 Características do Lingotamento Convencional

Lingotes são peças de aço de forma simples, com seção transversal reta quadrada, retangular, poligonal ou redonda, com uma certa conicidade, entre a parte superior e a base, destinada a permitir a sua desmoldagem das lingoteiras.

Após o aço líquido ser fundido ou vazado no molde (lingoteira), a solidificação inicia-se, a partir das paredes do molde, em direção ao centro do lingote. A última parte do lingote que se solidifica é o centro da peça.

Para evitar o aparecimento de vazios ao longo de todo o comprimento do lingote, é usado o artifício de manter líquida a parte superior do mesmo, através de elementos exotérmicos, fazendo assim com que esse aço líquido alimente e preencha os vazios que vão se formando nas partes inferiores do lingote.

Dessa forma, o volume de vazios provocados pela contração irá se localizar na parte superior do lingote, que funciona como um massalote alimentador.

Fundição e solidificação de um Lingote :

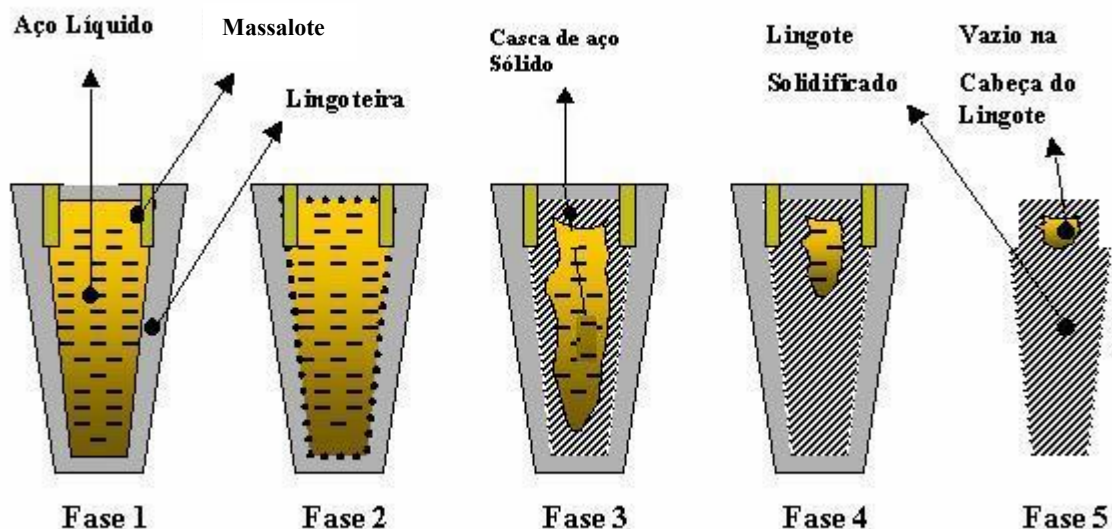


Figura 1. Croqui das fases de solidificação de um lingote.

Fase 1 : O aço líquido é vazado no molde (lingoteira).

Fase 2 : Inicia-se a solidificação do aço, formando-se uma casca

Fase 3 : Prossegue a solidificação, com o aumento da espessura da casca sólida e o início do surgimento do vazio na parte superior do lingote.

Fase 4 : A solidificação está quase completa, restando apenas uma pequena porção de aço líquido e um vazio, na parte superior do lingote.

Fase 5 : Todo o aço líquido, vazado na lingoteira, transformou-se em uma peça sólida, que é o lingote e que tem um vazio na sua parte superior.

Da forma como são produzidos, os lingotes não podem ser utilizados diretamente na laminação dos produtos acabados, salvo os pequenos lingotes que eram antigamente usados na laminação direta de vergalhões e produtos acabados comuns .

Assim, antes de serem utilizados nas laminações, os lingotes têm que sofrer uma operação de desbaste primário, que irá produzir os tarugos, blocos ou placas, estes sim, adequados à laminação de produtos acabados.

Características que impedem a utilização de lingotes diretamente na laminação dos produtos acabados:

- Os lingotes têm a forma, as dimensões e o peso unitário inadequados ao seu emprego direto na laminação dos produtos acabados.
- A estrutura cristalina dos lingotes é muito grosseira e com má distribuição de inclusões e segregações.
- A camada superficial dos lingotes apresenta defeitos grosseiros e graves, como inclusões de refratário, bolhas trincas, incrustações metálicas, etc.
- Os lingotes devem ser submetidos ao descarte das partes inferior (“Pé”) e superior (“Cabeça”), para eliminação das regiões com vazios (“Rechupe”), e concentração de impurezas (“Segregação”), defeitos grosseiros, etc.

Os tarugos de lingotamento convencional são obtidos após as seguintes etapas:

1ª: Obtenção do aço Líquido

2ª: Lingotamento convencional

3ª: Aquecimento de Lingotes em fornos - poço.

4ª: Desbaste primário dos lingotes

5ª: Obtenção de Tarugos, Blocos ou Placas.

2.2 Características do Lingotamento Contínuo

A partir da década de 1960, a produção de tarugos, blocos e placas, destinadas às laminações de acabamento, passaram, pouco a pouco, a ser realizadas via processo de lingotamento contínuo, ao invés do tradicional processo de lingotamento convencional.

Neste processo o aço líquido é vazado da panela em um recipiente próprio conhecido como distribuidor (“Tundish”), passando daí para moldes de cobre refrigerados, que têm as seções transversais com as formas e dimensões dos tarugos, blocos ou placas, que são adequados ao uso após reaquecimento.

Nesses moldes de cobre, convenientemente refrigerados, inicia-se a solidificação do aço líquido, pela formação de uma parede sólida, junto ao molde, enquanto o aço do núcleo permanece líquido.

Pôr meio de dispositivos apropriados, o material desliza pêlos moldes e se desloca, continuamente, formando uma peça única, na saída de cada molde.

À medida que vai saindo dos moldes e sendo deslocada, a parte central das peças vai se solidificando rapidamente, até tornar-se totalmente sólida, com a forma e dimensão dos moldes.

Cada lingotamento contínuo é equipado com um ou mais moldes, cada um correspondendo a um veio de produção de tarugos, blocos ou placas.

As peças fundidas (tarugos, blocos ou placas), após saírem dos moldes, são cuidadosamente guiadas e suportadas pôr conjuntos de rolos, enquanto são resfriadas e se solidificam completamente.

Após a solidificação completa, os tarugos, blocos ou placas de cada veio do lingotamento contínuo são divididos, pôr meio de corte em tesouras mecânicas ou pôr maçaricos, em peças de comprimentos adequados ao seu uso na laminação.

Após serem coletadas em um leito, as peças são enviadas para a laminação sendo estocadas para posterior enformamento ou, eventualmente sendo enformadas diretamente, a quente, nos fornos contínuos de reaquecimento.

Com o extraordinário aumento da quantidade de aço que passou a ser produzida para uso nas laminações, o processo de lingotamento contínuo foi sendo modificado e foi recebendo novos recursos tecnológicos, visando com isso, aumentar sua produtividade e melhorar as qualidades dos materiais produzidos.

Com todos esses recursos tecnológicos, atualmente podem ser produzidos em lingotamento contínuo quase todos os tipos de Aços utilizados para laminação.

Características que favorecem a utilização de tarugos oriundos de lingotamento contínuo:

- A forma, as dimensões e o peso unitário dos tarugos de lingotamento contínuo são adequados ao seu emprego direto, como matéria prima nas laminações.
- A estrutura cristalina dos tarugos do Lingotamento contínuo é razoavelmente fina e homogênea com inclusões pequenas e bem distribuídas pela seção.
- A superfície dos tarugos de Lingotamento contínuo geralmente apresenta menos defeitos grosseiros e graves, como inclusões de refratários, bolhas, trincas, incrustações metálicas, etc.

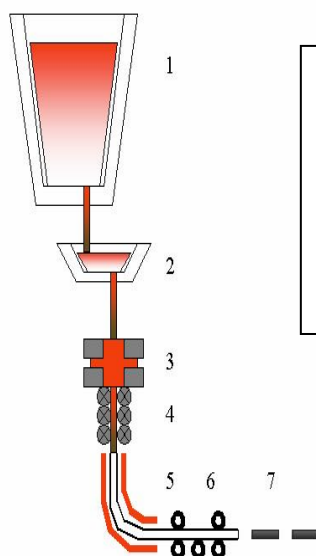
Os tarugos de Lingotamento contínuo são obtidos após as seguintes etapas

1ª: Obtenção do aço líquido

2ª: Lingotamento Contínuo

3ª: Obtenção de Tarugos, Blocos ou Placas.

Croqui: Equipamento de Lingotamento Contínuo.



- Fase 1** : Panela com aço líquido.
Fase 2 : Distribuidor (Tundish).
Fase 3 : Molde de cobre, com resfriamento primário
Fase 4 : Avental de rolos, com resfriamento secundário.
Fase 5 : Zona de dobramento, com resfriamento secundário.
Fase 6 : Rolos de Arraste e de endireitamento
Fase 7 : Dispositivo de corte

Figura 2. Lingotamento Contínuo

2.3 Comparação entre os Processos de Produção de Tarugos para Laminação: Lingotamento Convencional X Lingotamento Contínuo

Na Figura esquemática abaixo, pode-se comparar os processos de produção de tarugos via lingotamento convencional e via lingotamento contínuo.

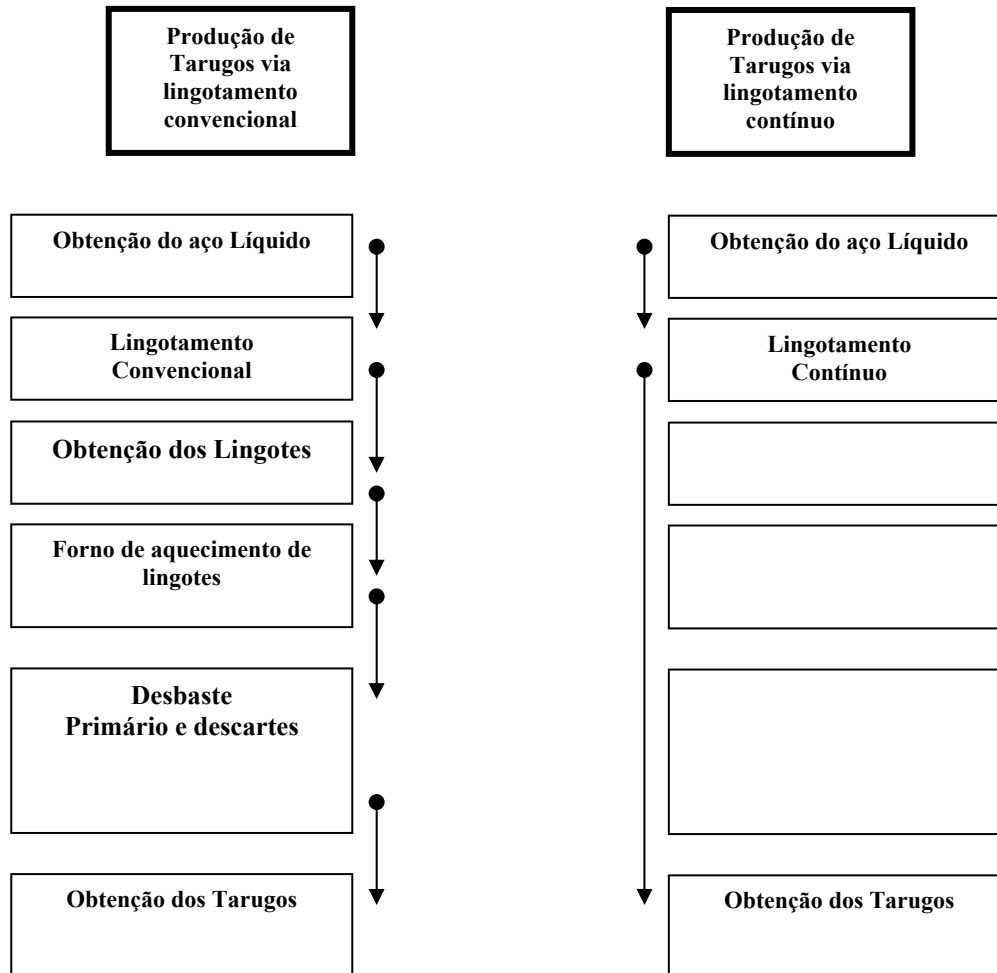


Figura 3. Processos de produção de tarugos para laminação.

Como pode ser facilmente visto, no processo de fabricação de tarugos via lingotamento contínuo, há uma redução significativa de fases de produção pela eliminação dos estágios correspondentes ao aquecimento dos lingotes, ao desbaste primário e aos descartes de cabeça e pé.

Isso significa uma redução de perdas da ordem de 15% e uma redução dos custos de cerca de 22%, ou seja:

- **Rendimento Metálico** do processo (em relação a aço líquido = 100%):
 - Tarugos via Lingotamento Convencional..... = 80/82%
 - Tarugos via Lingotamento Contínuo..... = 95/96%

Em função dessas grandes vantagens, a partir do início do emprego do processo de lingotamento contínuo em escala industrial, a quantidade de tarugos fabricados pelo processo via lingotes foi diminuindo e a maior parte dos tarugos, passou a ser produzida via processo de lingotamento contínuo.

Atualmente, estima-se que cerca de 95% dos tarugos para Laminação sejam produzidos via lingotamento contínuo no mundo todo.

2.4 Qualidade de Tarugos

Lingotamento convencional X Lingotamento Contínuo

Os tarugos para a laminação produzidos via lingotes apresentam defeitos grosseiros em níveis bem mais elevados que os defeitos encontrados nos tarugos produzidos via Lingotamento contínuo.

Além disso, geralmente os tarugos produzidos via lingotamento convencional apresentam um certo grau de descarbonetação superficial originada no processo de aquecimento desses lingotes..

Pôr essas razões, uma grande parte desses tarugos passa pôr uma operação de eliminação de defeitos, conhecida como condicionamento.

O condicionamento dos tarugos é executado, geralmente pôr escarfagem ou esmerilhamento dos pontos defeituosos, ou em casos graves, de toda a superfície desses tarugos.

Nos tarugos produzidos pôr lingotamento contínuo o seu nível de defeitos superficiais e internos é de menor gravidade para a qualidade dos produtos acabados.

No entanto, alguns defeitos podem ocorrer nos tarugos produzidos pôr lingotamento contínuo, sejam internos ou externos e surgem sempre durante a fase de solidificação e resfriamento do aço.

Quando surgem defeitos nos tarugos de lingotamento contínuo, eles podem afetar a qualidade dos produtos acabados e, portanto, é importante que sejam corretamente identificados, para que sejam tomadas medidas corretivas para garantir boa qualidade nos produtos acabados.

Estrutura de solidificação

A estrutura que se forma imediatamente após a solidificação determina as propriedades do produto final, não somente no caso de peças de fundição que já apresentam essencialmente a forma definitiva, mas também naqueles produtos que serão trabalhados para a produção de chapas, fios ou forjados. Embora se acredita que eventuais defeitos de estrutura bruta de solidificação sejam eliminados durante a etapa de conformação plástica de lingotes, não ocorre exatamente isso na prática. Mesmo que determinados defeitos desapareçam macroscopicamente com o processo de deformação, geralmente a maioria deles é conduzidas até o produto acabado. As características mecânicas desse produto dependem do tamanho de grão, espaçamentos dendríticos, espaçamentos lamelares ou fibrosos, das heterogeneidades de composição química, do tamanho, forma e distribuição das inclusões, da porosidade formadas etc. Todos esses aspectos da microestrutura dependem fortemente das condições de solidificação. A partir dessas análises, muitos problemas de interesse prático começaram a ser desvendadas, e processos tradicionais, como a fundição e o lingotamento, incorporaram sensíveis inovações tecnológicas. Atualmente nas grandes usinas siderúrgicas, o volume mais substancial de aço é produzido pôr lingotamento contínuo e com sofisticado nível de automação do processo. Os resultados das pesquisas na solidificação dos materiais permitiram ampliar sua faixa de interesse dentro das engenharias e de outras áreas de ciência aplicada.

2.5 Inclusões não metálicas

São partículas não - metálicas, em geral de pequenas dimensões, dispersas na matriz metálica.

As inclusões interrompem a matriz metálica e acarretam concentração de tensões, pôr impedir a distribuição uniforme da tensão. A forma e o tamanho das inclusões têm efeito sobre a concentração de tensões.

As inclusões podem ser classificadas sob vários aspectos, como, pôr exemplo, quanto à origem, composição química e propósito.

2.5.1 Origem

Quanto à origem, as inclusões são classificadas em exógenas e endógenas.

- a) Exógenas - Inclusões de origem externa, resultantes da entrada de escória juntamente com o metal, erosão mecânica do refratário do forno e de reações químicas entre o refratário do forno e o metal (e/ou escória)
- b) Endógenas – Inclusões de origem internas, resultantes de reações químicas, transformações e precipitações que ocorrem dentro do metal. Como exemplo, podem-se citar formações de óxidos, sulfetos, fosfetos, nitretos e carbonetos.

2.5.2 Composição química

Quanto à composição química, as inclusões são classificadas em metálicas e não metálicas.

- a) Metálicas – Quando as inclusões estão sob a forma de elemento puro, como no caso do chumbo e do bismuto.
- b) Não metálicas – Quando as inclusões estão sob a forma combinada, como, pôr exemplo, óxidos, sulfetos, fosfetos, nitretos e carbonetos.

2.5.3 Propósito

Quanto ao propósito, as inclusões são classificadas em desejáveis e indesejáveis.

- a) Desejáveis – Quando as inclusões são produzidas propositalmente com algum fim específico, como no caso do chumbo e do sulfeto de manganês, para proporcionar melhoria da usinabilidade ou, como no caso dos nitretos de alumínio, para evitar crescimento dos grãos austeníticos dos Aços. Portanto, as inclusões nem sempre são malélicas.
- b) Indesejáveis – Quando as inclusões surgem não intencionalmente.

2.6 A Formação das Inclusões Não- metálicas Durante o Processo de Fabricação do Aço

O tipo, o tamanho e a composição das inclusões não - metálicas variam nos diversos estágios que compõem o processo de fabricação do aço. Pequenas mudanças nas várias operações que possibilitam a produção do aço podem ter um grande efeito sobre as inclusões não - metálicas resultantes. Na análise da formação das inclusões não - metálicas, as seguintes características do processo de fabricação do aço são importantes: composição química do refratário, a prática de desoxidação, a composição das ligas desoxidantes e os procedimentos das operações de vazamento e lingotamento.

No controle das inclusões não - metálicas, a retirada da maior quantidade possível das inclusões provenientes da desoxidação é imprescindível para obtenção de aços de qualidade. A quantidade de inclusões não - metálicas presentes no aço

caracteriza seu grau de limpeza interna. A limpeza interna é um importante fator que afeta a ductilidade, resistência á fadiga, a conformabilidade, a tenacidade, a soldabilidade, etc. É extremamente importante a eliminação da maior quantidade de inclusões remanescentes no metal líquido.

2.6.1 Eliminação de inclusões não- metálicas

Os mecanismos de eliminação das inclusões não - metálicas estão intimamente ligados à sua capacidade de flotação. Pôr sua vez, a flotabilidade das inclusões está relacionada ao seu tamanho. A eficiência com a qual as inclusões são removidas decresce com a redução no tamanho da inclusão. Conseqüentemente, a aglomeração das inclusões favorece a sua flotação para interface metal- escória.

Assim, um dos pontos críticos do processo de remoção das inclusões é a aglomeração. A agitação do aço líquido, ou melhor, a turbulência provocada pôr essa agitação pode resultar em um contato mais freqüente entre as inclusões, as quais são aglomeradas. A aglomeração das inclusões também pode ocorrer nas superfícies das bolhas. Quando possuem velocidade de flotação menor do que aquela da recirculação do aço líquido, essas bolhas constituem excelentes sítios para aglomeração de inclusões. A etapa controladora da eliminação de inclusões é, portanto, a flotação dessas inclusões para a escória, sendo o mecanismo controlador da limpeza interna dos aços no que diz respeito a óxidos.

Assim, é importante que a escória tenha capacidade de absorver e dissolver as inclusões, quando estas chegam à interface metal - escória.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

(Nesta seção é feita à descrição do material utilizado no trabalho e dos métodos de análise química e metalográfica) utilizados para obtenção dos resultados experimentais.

3.1 Material Utilizado

Os ensaios foram realizados em amostras retiradas da uma corrida de aço DIN 100Cr6 processada em Lingotamento convencional e contínuo na Aços Villares, usina de Pindamonhangaba - SP

3.2 Análise Química

Foi realizada análise química em amostras do lingotamento contínuo e do material laminado conforme as normas ASTM E 1085, E 415, E 1019.

3.3 Análise de microinclusão

A análise de microinclusão foi feita conforme a norma ASTM E 45.

3.3.1 Preparação dos corpos de prova para análise metalográfica.

As amostras de aço foram retiradas de barras de 29,00mm de diâmetro e preparadas com o objetivo de se fazer análise de inclusões.

As amostras foram cortadas em uma cortadeira abrasiva e fresadas, te tal forma que a superfície para o exame micrografico:

- Ficasse paralela ao eixo longitudinal da amostra;
- Tivesse aproximadamente 160mm².

Após serem fresadas, as amostras foram embutidas com resina.

Posteriormente, as amostras passaram por uma etapa de lixamento. Para o lixamento, utilizou-se uma seqüência de lixas de carvão de silício com as seguintes granulometrias: 220, 320, 400 e 600.

A obtenção de uma superfície plana e especular foi, então, ultimada, através do polimento das amostras sobre um disco giratório de feltro, sobre o qual se aplicaram pequenas quantidades de pasta de diamante. No polimento, utilizou-se pasta de diamante com granulometrias 6 μm e 1 μm , nessa ordem.

Após preparação metalográfica, os corpos de prova foram submetidos a uma análise de inclusões através de microscopia ótica. A microscopia ótica foi realizada no Laboratório Metalúrgico da Villares.

4 Resultados e discussão

4.1 Resultados da análise química

Na Tabela 1, tem-se o resultado da análise química realizada em uma amostra retirada durante o lingotamento e do material laminado.

Tabela 1. Tabela comparativa dos resultados da análise química realizada em amostras do lingotamento e do material laminado.

Composição Química	Amostra de Panela	Amostra do Ling. Convencional	Amostra do Ling. Contínuo
C	1,012%	1,022%	1,020%
Si	0,250%	0,240%	0,240%
Mn	0,300%	0,290%	0,280%
P	0,007%	0,006%	0,006%
S	0,008%	0,006%	0,009%
Ni	0,110%	0,110%	0,110%
Cr	1,440%	1,410%	1,400%
Mo	0,050%	0,040%	0,050%
Cu	0,170%	0,160%	0,170%
Al	0,009%	0,008%	0,009%
Ti	8ppm	10ppm	8ppm
Sn	0,016%	0,014%	0,016%
Ca	0,0002%	0,0002%	0,0002%
O ₂	-	10 ppm	9 ppm

Comparando-se o lingotamento convencional com o lingotamento contínuo, verifica-se que praticamente não há diferença entre os resultados da análise química realizada em amostras do material laminado.

4.2 Resultados de microinclusão

Na Tabela 2, têm-se os resultados da análise de microinclusão realizada em amostras retiradas das duas rotas de lingotamento.

Tabela 2. Resultados da análise de microinclusão.

Amostra	Ling. Convencional								Ling. Contínuo							
	AF	AG	BF	BG	CF	CG	DF	DG	AF	AG	BF	BG	CF	CG	DF	DG
1	1,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5	1,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5
2	1,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5	1,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5
3	1,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5
4	1,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5
5	1,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5
6	1,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5	1,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5

Obs.: Inclusões A= Sulfeto; B = Alumina; C Silicato; D = Óxidos Globulares

Nas Figuras 3 e 4, têm-se as fotos das microinclusões encontradas em amostras retiradas das rotas de lingotamento convencional e contínuo.

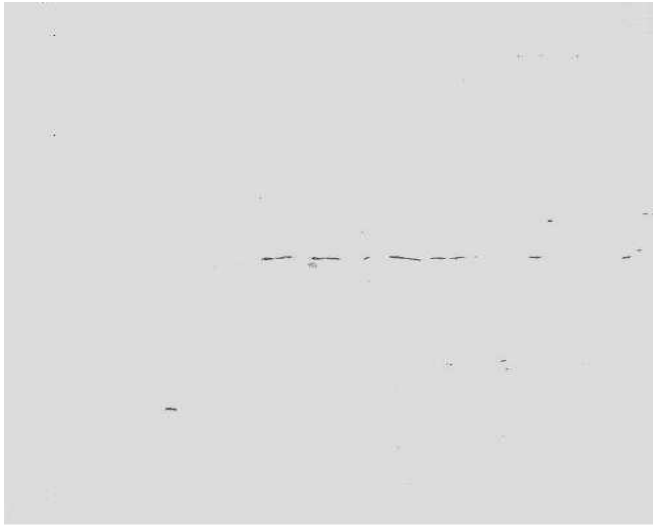


Figura 3. Foto de microinclusão Ling. Convencional
Sem ataque químico. 100x



Figura 4. Foto de microinclusão Ling. Contínuo
Sem ataque químico. 100x

Considerando-se os resultados da análise metalográfica, verificou-se que as microinclusões encontradas nas amostras do lingotamento contínuo são mais arredondadas que as microinclusões das amostras do lingotamento convencional.

5 CONCLUSÃO

Quando se considera o tipo de microinclusões encontradas nas amostras do lingotamento convencional e lingotamento contínuas, verifica-se que praticamente não há diferença entre elas.

Pôr outro lado, considerando os aspectos morfológicos existe uma pequena diferença entre as microinclusões do lingotamento convencional e as microinclusões do lingotamento contínuo. As microinclusões do lingotamento contínuo são mais arredondadas. E dependendo da solicitação mecânica que o produto final é submetido, as inclusões arredondadas são menos favoráveis a iniciação de trincas, tornando o material menos suscetível à fragilização iniciada em microinclusões.

BIBLIOGRAFIA

- 1 MONTEIRO, Edil Patury. Tratamentos térmicos, químicos e mecânicos dos aços, ferros fundidos e não-ferrosos. Volta Redonda : 1981 v. V. 1. Cap. X: Inclusões, p. 259-275
- 2 KIESSLING, R.; LANGE, N. non-metallic inclusions in steel. The metals society. London: 1976. 60p. Part III: The origin and behaviour of inclusions and their Influence on the properties of steels, p. 1-50.
- 3 CARRINGTON, K. F. Implementation and Development of Ladle Metallurgy for Production of Clean Steel. Jones & Laughlin Steel Corporation, Pittsburgh, PA, p. 132-136.
- 4 JOO, S.; GUTHRIE, R. I. L.; DOBSON, C. J. Modelling of heat transfer, fluid flow and inclusion in tundishes. Steelmaking Conference Proceedings, p. 401-408, 1989.
- 5 TANGNUCHI, S.; KIKUCHI, A. Tetsu-to Hagané, v. 78, p. 527, 1992.
- 6 FRUEHAN, R. J. Ladle metallurgy principles and practices. A publicatio of the Iron and Steel Society, ISS – AIME, Warrendale, 1985.
- 7 ASTM E 415. Test Method for Optical Emission Vacuum Spectrometric Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel. 1999.
- 8 ASTM E 1019. Test Methods for Determination of Carbon, Sulfur, Nitrogen, and Oxygen in Steel and in Iron, Nickel, and Cobalt Alloys. 2003.
- 9 ASTM E 1085. Test Method for X-Ray Emission Spectrometric Analysis of Low-Alloy Steels. 2000.