

CARBURAÇÃO LOCALIZADA: UM TIPO DE DEFEITO GRAVE EM FIO MÁQUINA ORIGINADO NO LINGOTAMENTO CONTÍNUO DE TARUGOS¹

*Sandro Gonçalves Silva²
Rogério Ermelindo de Souza³
Raimundo da Silva Oliveira⁴
Alexandre José da Silva⁵*

Resumo

Este trabalho apresenta um tipo de defeito em aço que provavelmente ainda não foi relatado na literatura. Com a utilização de técnicas convencionais de caracterização metalográfica e microdureza e um breve teste em laboratório de tratamentos térmicos este trabalho objetiva a publicação do defeito e iniciar estudos para identificação das causas fundamentais.

Palavras-chave: Lingotamento; Laminação; Trefilação; Defeito.

MICRO SUPERFICIAL CARBON CONCENTRATION DEFECTS IN STEEL CARBON

Abstract

This work presents a kind of defect in steel that probably has not been reported in literature. With the use of metallographic conventional techniques, microhardness and a brief heat treating lab testing this work tries to report this defect and initiate studies to understand it.

Keywords: Continuous casting; Rolling mill; Drawing; Defect.

¹ *Contribuição técnica ao 3º Seminário de Trefilação: Arames, Barras e Tubos de Metais Ferrosos e Não-ferrosos, 28 a 30 de novembro de 2012, São Paulo, SP.*

² *M. Sc. Engenheiro Metalúrgico – Doutorando EEIMVR - Universidade Federal Fluminense. sandro.goncalves@oi.com.br.*

³ *Engenheiro Metalúrgico – Graduado pela UFMG. rogerioermer.souza@uol.com.br.*

⁴ *Técnico Metalúrgico – IFBA. raimundooliveira@gmail.com.*

⁵ *Prof. Dr. Ing. Orientador EEIMVR-UFF- Universidade Federal Fluminense ajs@eeimvr.uff.*

6 1 INTRODUÇÃO

Em raras oportunidades na siderurgia pode-se observar o fenômeno da micro carburação localizada sub superficialmente nos aços laminados. Este problema quando ocorre é aleatório, podendo ou não causar uma interrupção no processo de laminação de tarugos e trefilação de arames. Interrupções nos processos de laminação e trefilação proporcionam graves perdas de produtividade e qualidade. Entretanto, quando não interrompe a laminação, passa normalmente pelo processo finalizando o produto em bobinas ou carretéis, o defeito então, causará uma interrupção no processo de trefilação convencional ou laminação a frio de fio máquina.

As ocorrências deste defeito têm sido acompanhadas na rotina de produção há cerca de dez anos e buscas literárias vêm sendo feitas, sem êxito na obtenção de referência bibliográfica que possa orientar para o entendimento e solução do problema de lingotamento contínuo.

Estes defeitos ocorrem no material na forma de uma trinca central longitudinal nos arames trefilados com aspecto superficial semelhante à dobra serrilhada de laminação, provocando sua abertura ao meio como pode ser observada na Figura 1. Estudos do processo têm comprovado que é de fácil sua identificação quanto a sua origem no processo de solidificação quando se observam seções do aço laminado por metalografia óptica com simples ataque por reativo de Nital a 2%. É evidenciada a diferença nas quantidades de grãos perlíticos localizadas em torno do defeito.

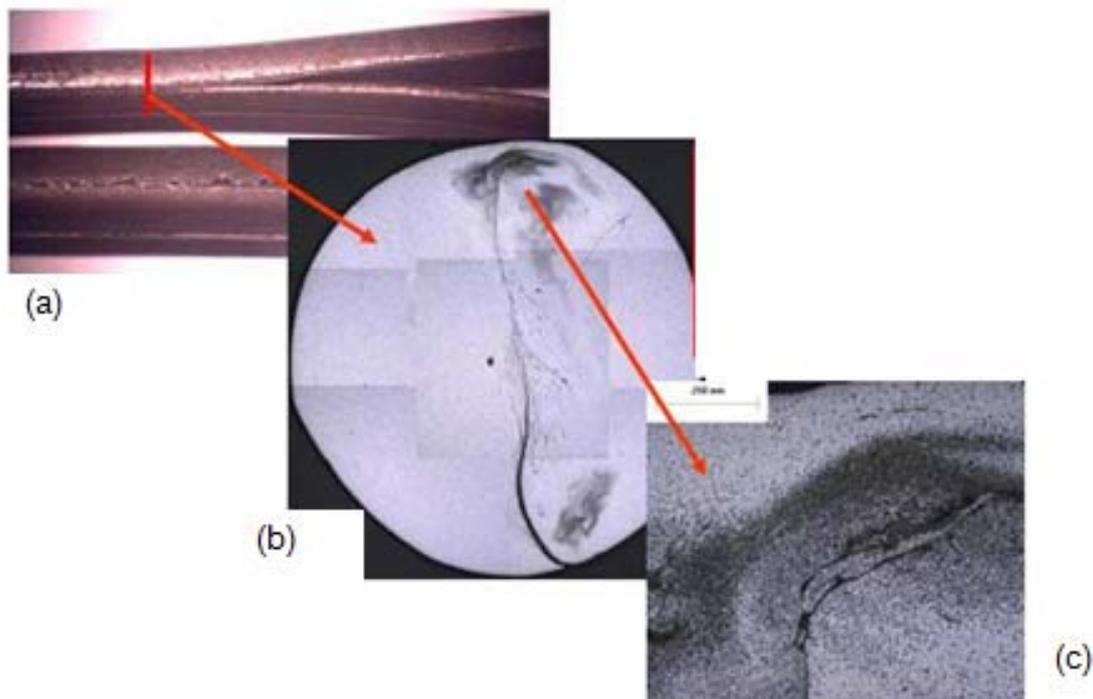


Figura 1. Aspecto do fio máquina de aço ao carbono com trinca longitudinal, com abertura ao meio (a), seção transversal na extremidade da região dividida com ataque de reativo nital a 2% ampliada 50x (b) e detalhe com ampliação de 500x (c).

Uma hipótese formulada baseia-se no fato de que o lingotamento contínuo de aços em moldes de cobre refrigerado com água é utilizada a injeção de óleo vegetal (soja) ou mineral que pode carburar o aço (figura 2). Óleo é utilizado para diminuir o atrito entre a casca do aço solidificada e a parede do molde.⁽¹⁾ Assim seria possível que o

carbono contido no óleo encontrasse condições para difundir por alguma falha formada na superfície da pele recém solidificada e se concentrar em seu entorno. Este microdefeito, ainda não foi relatado na literatura e sua presença causa um expressivo impacto na produtividade da laminação e trefilação de fios de aço motivando assim estudos para seu entendimento e controle. Neste trabalho um teste foi feito para provocar a carburação com o óleo de lingotamento contínuo e verificar a hipótese do óleo ser um possível fornecedor de carbono para o defeito.

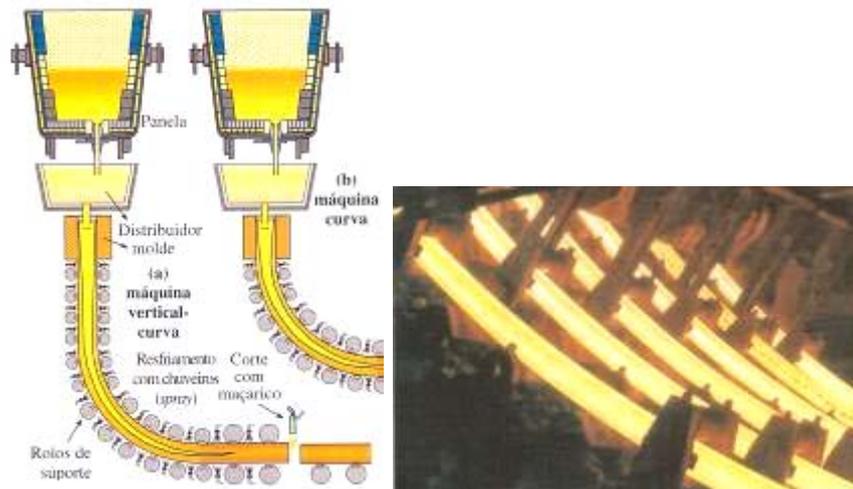


Figura 2. Esquema do processo de lingotamento contínuo de tarugos.⁽²⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A técnica utilizada para caracterização visual do defeito foi a metalografia, na qual uma pequena amostra de aço é cortada, embutida num disco de baquelite, lixada nas granas de 100, 200, 400 e 600, em seguida polidas em pano do tipo feltro umedecido com álcool etílico PA com abrasivo de diamante em pasta com partículas de 1 micrometro e, finalmente, para revelação dos contornos de grãos do aço a reação química com uma solução de 2 ml de ácido nítrico com 98 ml de álcool etílico PA por 15 segundos.⁽³⁾ Após a revelação da microestrutura a amostra é observada em microscópio óptico com capacidades ampliativas de 50x, 100x, 200x, 500x e 1.000x. Para registro da imagem visualizada um sistema de captura de imagem digital controlada por programa de análise e tratamento de imagem foi utilizado para sua gravação em mídia eletrônica.

Realizaram-se ensaios de microdureza Vickers na forma de uma malha de 10x13 medições espaçadas em aproximadamente 0,1 mm sobre o defeito para identificar o gradiente de dureza numa seção transversal do mesmo.

Para testar a hipótese do carbono contido no óleo de soja poder difundir para o interior da estrutura cristalina formando cementita e grãos perlíticos, um corpo de provas da mesma qualidade do aço foi retirado da fase intermediária da laminação a quente, perfurado com broca de 8 mm de diâmetro com profundidade de 50 mm, óleo de soja foi colocado no orifício e vedado com um parafuso e soldagem com vareta de adição TIG (Tungsten Inert Gas). Em seguida o corpo de provas foi aquecido em forno de tratamento térmico de laboratório a 1.000°C, mantido nesta temperatura durante 1 hora (após o encharque de 1,5 hora) e resfriado lentamente para ser analisado por metalografia (Figura 3).

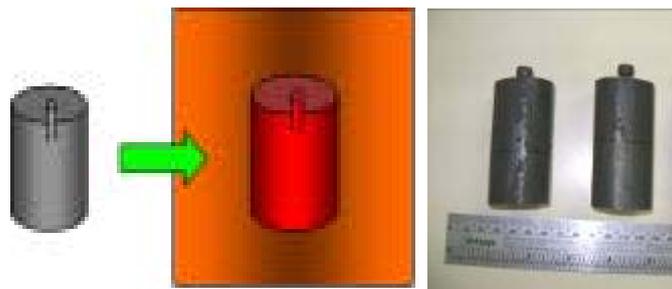


Figura 3. Esquema de corte e perfuração do corpo de provas.

Foram coletadas amostras de tarugos com defeitos de pele dupla, trinca transversal e porosidade e as amostras foram analisadas pela metalografia.

Uma avaliação de variáveis de processo que podem causar o defeito foi relacionada para observação.

3 RESULTADOS

A Figura 4 apresenta a variedade de formas de micro carburação que foram colecionadas ao longo destes últimos 10 anos de observação. Claramente, se observa com a técnica convencional de metalografia a distinção entre as regiões de concentração de grãos perlíticos em torno de uma trinca.

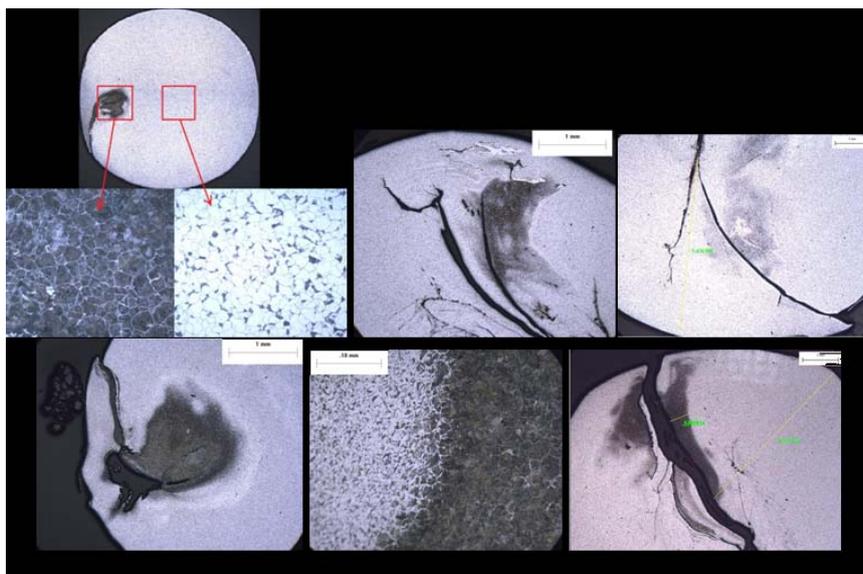


Figura 4. Aspectos dos defeitos registrados em metalografia com ampliações entre 50x e 1.000x. Reativo Nital a 2%.

O ensaio de malha de microdureza mostrou que existe uma diferença relevante entre as propriedades mecânicas da matriz ferrítica e a região carburada observado nas Figuras 5 e 6. Provavelmente esta diferença de resistência mecânica induz a ruptura durante o processo de conformação a quente na laminação e também no processo de trefilação.

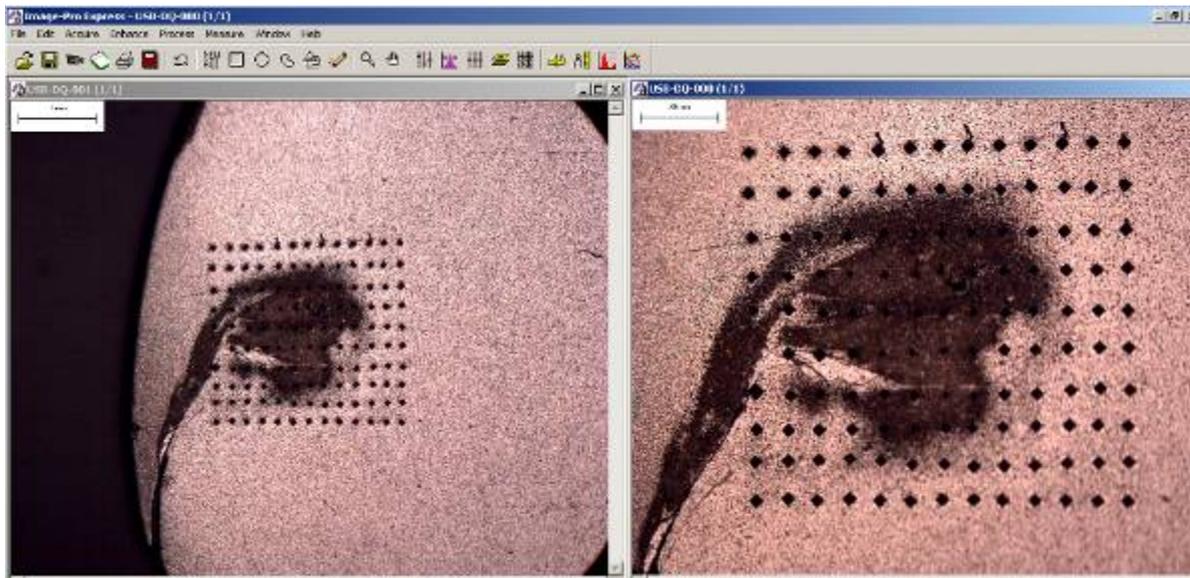


Figura 5. Impressões de microdurezas dispostas em malha de 10x13 pontos de medição. Metalografias com reagente de nital a 2% com 50 e 100 vezes de aumento, respectivamente.

Variação da dureza Vickers na superfície do defeito

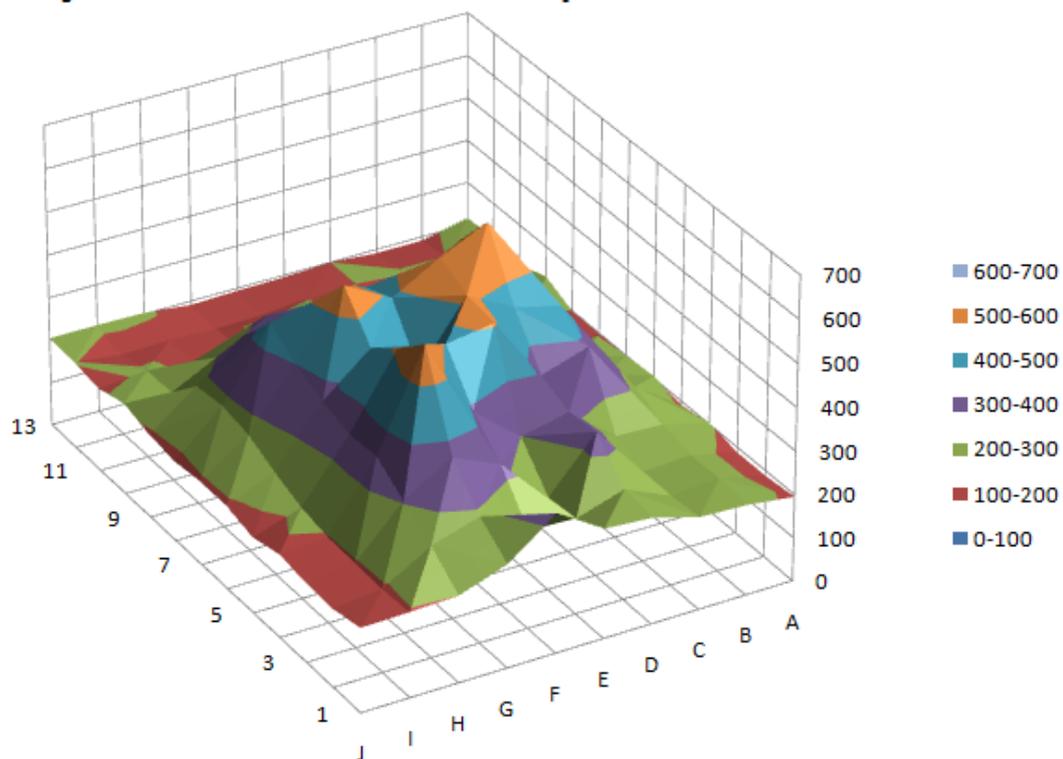


Figura 6. Superfície de microdureza Vickers com carga de 0,2 N.

Comprovou-se que o óleo de soja utilizado em lingotamento contínuo de aço é capaz de produzir a carburação da superfície onde se estabelece o contato. A Figura 7 mostra o resultado do teste em laboratório. Este fenômeno de carburação da microestrutura aparentemente é semelhante ao que se observa durante o processo de tratamento térmico dos aços para cementação superficial.⁽³⁾

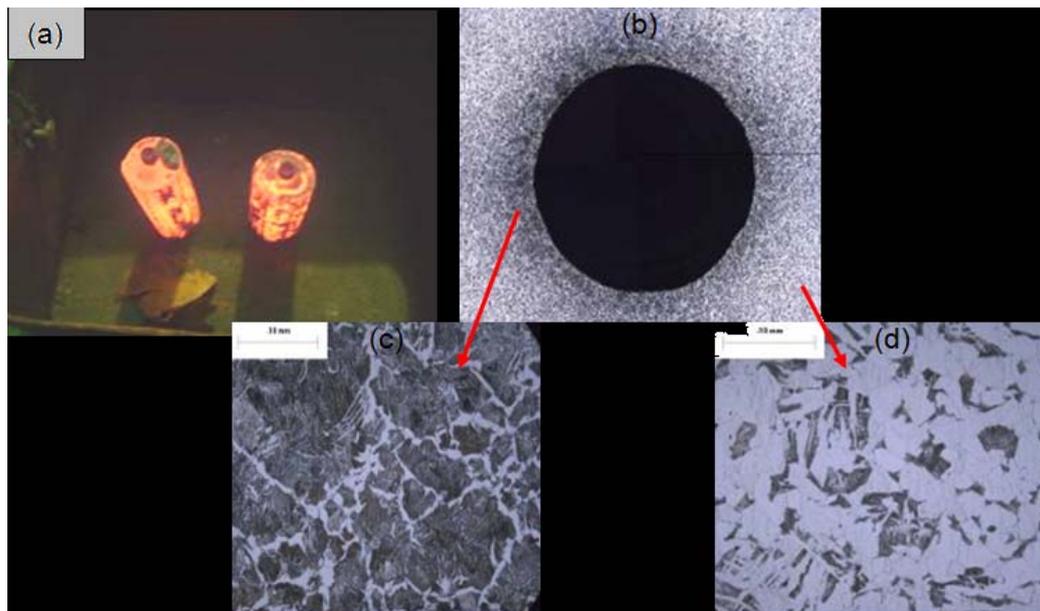


Figura 7. Corpo de prova cilíndrico com furo de broca de 8 mm (a). Seção transversal da região perfurada com ataque nital 2% (ampliação de 50x) mostrando uma região ao redor do esboço da furação levemente escurecida. (b). Detalhe da região escurecida mostrando uma matriz perlítica com ferrita proeutetóide nos contornos de grãos (ataque nital 2% e ampliação de 1.000x) (c) e região afastada da zona de carburação (d).

As amostras de tarugos coletadas com defeitos de pele dupla, trinca transversal e porosidade após análise metalográfica evidenciou a presença da microcarburação poucos milímetros abaixo do defeito da superfície do defeito (Figura 8).

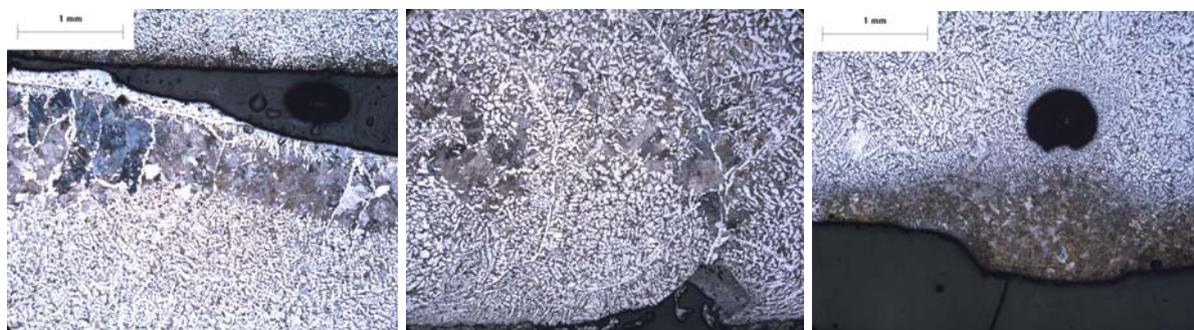


Figura 8. Amostra de pele dupla (a), trinca transversal (b) e porosidade (c) a 100x de ampliação em microscópio óptico e ataque com reativo de nital a 2%.

4 DISCUSSÃO

Não foi encontrado na literatura alguma referência a este tipo de defeito onde seria possível um comparativo de sua forma e características com relação à este trabalho.⁽⁴⁻¹²⁾

Aparentemente o defeito surge no fio máquina e arame trefilado com aspecto semelhante aos defeitos formados por dobras de laminação e porosidades em fundidos. A comprovação de sua relação com o processo de solidificação no molde é evidenciado pela forma geométrica interna do defeito que neste caso tem contornos irregulares e no presente caso está acompanhado de uma intensa carburação em sua periferia.

Frente à identificação da origem, o processo de lingotamento contínuo foi verificado em suas principais variáveis de processo relacionados à estabilidade⁽¹³⁻¹⁶⁾ do nível de

aço líquido no molde do lingotamento contínuo: lubrificação,⁽¹⁷⁻²⁰⁾ oscilação, turbulência do jato (distribuidor ao molde), condições dos rolos extratores, controle de nível, agitação eletromagnética (*stirrer*)⁽²¹⁻²⁴⁾ e vida do molde.

Foram encontradas oportunidades de melhoria em algumas variáveis analisadas e seqüencialmente foram sendo eliminadas na ordem da Tabela 1.

Tabela 1. Variáveis com problema, corretivas, melhorias e resultados observados em ordem de atuação

Variável	Problema	Corretiva/melhoria	Resultado
Lubrificação	Uso de óleo de soja de baixo ponto de fusão	Utilização de óleo mineral	Redução de ~80% de ocorrências em clientes
Oscilação	Não encontrado	Nenhuma	-
Turbulência do jato	Operação com menos de 5t de aço no distribuidor	Padronização e treinamento	Redução de respingos e perdas por gota fria
Rolos extratores	Desgaste de ~2 cm de diâmetro	Substituição de todos os rolos extratores	Eliminação total das ocorrências em clientes
Controle de nível	Fontes radioativas com meia vida ultrapassada	Substituição das fontes de Cobalto 60 e calibração do controle de nível	Redução de ~90% de sucatas de processo na laminação
Agitação eletromagnética	Desarme de agitadores freqüentes	Reposição de sensores de água queimados.	Não mensurado
Vida do molde	Utilização de moldes com mais de 350 corridas produzidas	Avaliação da superfície interna do molde	Não mensurado

5 CONCLUSÕES

Com a utilização da técnica metalográfica é possível identificar sem nenhuma dificuldade a presença do defeito.

É necessário que haja uma fonte de carbono em alguma fase do processo de fabricação do aço quando ele ainda está à temperatura em torno de 1.000°C ou acima.

O óleo utilizado na redução do atrito entre a casca solidificada do tarugo e a parede do molde de cobre tem a capacidade de fornecer carbono para infiltrar-se e difundir na rede cristalina formada pelos átomos de ferro e combinar com o mesmo formando a microestrutura perlítica.

A importância de identificar o defeito e sua causa fundamental tem relevante importância financeira que motiva o aprofundamento dos estudos em seu mecanismo de formação no processo de lingotamento contínuo do aço. Não foi possível relacionar a uma única causa fundamental.

Este tipo de defeito não foi encontrado na literatura técnica disponível.

Este defeito é capaz de ocasionar interrupções nos processos de laminação, trefilação e gerar perdas de produtos.

A metodologia de caracterização do defeito através da malha de medições de dureza indica um gradiente severo resistência mecânica localizada na microestrutura.

Agradecimentos

À comissão organizadora do 3º Seminário de trefilação da ABM.

À Universidade Federal Fluminense pela caracterização e apoio nesta proposta de tema de doutorado.

Aos co-autores pelo apoio com a coleta, identificação, consultoria e elaboração deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 **Garcia, A., Spim, J. A., dos Santos, C. A. e Cheung, N.** *Lingotamento contínuo de aços*. São Paulo, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2006.
- 2 **Rizzo, E. M. S.** *Introdução aos processos siderúrgicos*. São Paulo, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2005.
- 3 **Chiaverini, V** *Aços e Ferros Fundidos*. 4ª edição, São Paulo, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, ABM, 1981.
- 4 ASTM International. **ASTM E 381** .*Standard Method of Macroetch Testing Steel Bars, Billets, Blooms, and Forgings*. West Conshohocken, United States : s.n., April, 2001.
- 5 **Kumar, Suni.** *An expert system to diagnose quality problems in the continuous casting of steel billets*. Department of metals and materials engineering., The university of British Columbia. Columbia, Canada : s.n., 1991.
- 6 **Ghosh, A.** Sadhana, *Segregation in cast products*Vol. 26, Parts 1 & 2, February–April 2001, pp. 5–24. © Printed in India, Kanpur, India : Indian Institute of Technology, 2001, Vol. 26.
- 7 **Pinheiro, C. A. M.** *Mould thermal response, billet surface quality and mould-flux behaviour in the continuous casting of steel billets with powder lubrication*. Columbia : The University of British Columbia, 1997.
- 8 **Bhadeshia, H. K. D. H.** *Low-carbon steels: the calculation of mixed-microstructures & their mechanical properties*. Cambridge, U. K. : Department of Materials Science and Metallurgy, 2000.
- 9 **Bezerra, M. C. C., Valadares, C. A. G. e Capocchi, J. D. T.**. *Estudo do efeito do carbono na aplicação de fluxantes para lingotamento contínuo de aços*. São Paulo : s.n., Out-dez de 2008, Tecnologia em Metalurgia e Materiais, pp. p. 65-71.
- 10 **Thomas, B. G., Jenkins, M. S. e Mahapatra, R. B.** [ed.] *Investigation of strand surface defects using mould instrumentation and modelling*. Minerals and Mining Institute of Materials. 6, Urbana, IL, USA : Maney Publishing (c) IOM Communications Ltd, 2004, Ironmaking and Steelmaking, Vol. 31, pp. 485-494. DOI 15.1179/030192304225019261.
- 11 **Pihura, Dervi.** *BLOWHOLES IN CONTINUOUS CAST BLOOMS* Zenica, Travnik 1, Bosna i Hercegovina : KOVINE, ZLITINE, TEHNOLOGIJE 33, 1999. ISSN 1318-0010
- 12 **K. Ayata, et al.** *Improvement of billet surface quality by ultra-high-frequency electromagnetic casting*. Kobe, Japan : La Revue de Métallurgie, 2001.
- 13 **Ray, M. et al.** Solidification control in continuous casting of steel. *Sadhana, Vol. 26, Parts 1 & 2, February–April 2001, pp. 179–198.* © Printed in India. India, February-April de 2001, Vol. 26, pp. 179-198.
- 14 **Chandra, S.** *Heat transfer, oil lubrication and mould tapers in steel billets casting machines*. Department of Metal and Material Engineering, The University of British Columbia. Columbia, Canada : The University of British Columbia, 1992.
- 15 **Kim, M., et al.** *Control of mold level in continuous casting based on a disturbance observer*. Department of Electrical Engineering, Pohang University of Science and Technology, 790-784 Pohang, Republic of Korea, Pohang, Republic of Korea : Elsevier, 2011, Vols. 790-784.
- 16 **Kima, K. et al.** Control of mold level in continuous casting based on a disturbance observer. [ed.] Elsevier Ltd. *Journal of Process Control*. 13 de July de 2011, 21, pp. 1022– 1029.

- 17 **Tsutsumi, K. et al.** *Effect of properties of mold powder entrapped in molten steel in a continuous casting process.* The South African Institute of Mining and Metallurgy, South African : VII International Conference on Molten Slags Fluxes and Salts, 2004.
- 18 **Thomas, B. G., Moitra, A. e McDavid, R.** *Simulation of longitudinal off - corner depressions in continuously - cast steel slabs.* No 4, Warrendale : Iron and Steelmaker (ISS Transactions), April de 1996, Vol. 23, pp. 57-70.
- 19 **Wolańska N., Lis A.K., Lis J..** *Microstructure investigation of low carbon steel after hot deformation.* Vol 20. January 2007. Journal os Achievements in materials and manufacturing engineering. *Journal os Achievements in materials and manufacturing engineering – AMME.* January de 2007, Vol. 20.
- 20 *Potential Lubricants for Continuous Casting of Steel: Polyol Esters of Partially Hydrogenated Soybean Acids.* *Journal of the american oil chemists' society.* 10, 1972, Vol. 49, pp. 552-554.
- 21 **Danieli, Co.** EMS - ElectroMagnetic Stirrer. *Danieli Rotelec - Catálogo de fornecedor.*
- 22 **ZHU, H. Y. and Miaoyong.** *Effect of electromagnetic stirring in mold on the macroscopic quality of high carbon steel billet.* No 6, Shenyang : ScienceDirect, 3 de March de 2009, Acta Metall., Vol. 22, pp. 461-467.
- 23 **Sahoo P.P., Kumar A., Halder J. and RAJ M.** *Optimisation of Electromagnetic Stirring in Steel Billet Caster by Using image processing technique for improvement in billet quality.* 4, Jamshedpur, India : Tata Steel, 2009, ISIJ International, Vol. 49, pp. 521-528.
- 24 **Raj, M. e Pandey, J. C.** *Optimisation of electromagnetic stirring in continuously cast steel billets using ultrasonic C-scan imaging technique.* *Ironmaking and Steelmaking.* No 4, 2008, Vol. 35, pp. 288-296.