

AVALIAÇÃO DE DEFEITOS SUPERFICIAIS TIPO ESCAMA EM BARRAS DE AÇO TREFILADAS

Leoneros Acosta Barbosa¹Geraldo André Fagundes²Leila Teichmann³Afonso Reguly⁴

Resumo

Este trabalho apresenta diferentes técnicas de caracterização de defeitos superficiais tipo escama em barras trefiladas buscando a determinação de sua causa raiz para uma diminuição do sucateamento destes produtos.

Palavras-chave: Defeitos de superfície; Escamas; Barra trefilada.

EVALUATION OF SLIVER SURFACE DEFECTS IN COLD-DRAWN STEEL BARS

Abstract

This work shows different characterization techniques used for the evaluation of sliver surface defects in cold-drawn bars aiming to decrease the volume of scrap in those products.

Key words: Surface defect; Slivers; Cold-drawn bars.

1 INTRODUÇÃO

Escama é um defeito superficial que tem o aspecto de lascas de materiais, tendo forma, distribuição e dimensões variadas. Uma característica geralmente observada é que o interior da escama do fio máquina apresenta-se, muitas vezes, preenchido com carepa ou substâncias não metálicas. É um tipo de defeito superficial, que pode ocorrer paralelamente à direção de laminação, podendo surgir em ambas as faces, e em qualquer lugar ao longo da largura de barras de aço trefiladas.

Segundo Madias e Reda,⁽¹⁾ as escamas são sobreposições de metal com extensão maior que a profundidade e consecutivamente maior que a largura. Logo, os defeitos analisados são na sua maioria rasos e extensos. As escamas podem ter diversas origens, desde a Aciaria (usualmente profundas, descarbonetadas, com presença de óxidos e de oxigênio), da Laminação (participação dos fornos de reaquecimento, dos passes intermediários e até mesmo do acondicionamento dos tarugos). Pode ocorrer um tipo especial de escama com origem nas operações de manuseio, onde descontinuidades superficiais são sobrepostas na superfície do material formando uma escama encruada e sem a presença de óxidos.

A determinação da origem deste tipo de defeito não é trivial sendo utilizadas diferentes técnicas de caracterização de forma a permitir uma conclusão confiável. A análise por microscopia óptica mostra-se ser uma técnica pouco eficaz na determinação da causa

raiz do defeito permitindo somente a diferenciação entre prováveis origens. A análise através de microscopia eletrônica de varredura e EDS tem demonstrado grande eficiência na determinação das origens dos defeitos observados. Este artigo aborda uma metodologia para caracterização do defeito superficial tipo escama, sendo apresentados defeitos representativos das diferentes causas raiz observadas no processo produtivo da empresa Gerdau AEP. Para as análises realizadas foram apresentadas as diferentes características que podem auxiliar na identificação da possível origem do defeito.

2 METODOLOGIA

A metodologia empregada para análise consistiu em caracterização visual dos defeitos em lupa estereoscópica, e análises metalográficas em microscópio óptico e em microscópio eletrônico de varredura (MEV), juntamente com análise via microsonda acoplada ao MEV, trabalhando com as técnicas de espectrometria de dispersão de energia (EDS). As barras trefiladas rejeitadas

¹ Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e dos Materiais (PPGEM) – UFRGS.

Atualmente Engenheiro de Processos junto a Oerlikon Balzers Coating.

² Assessor Técnico de Laminação – GERDAU – Aços Especiais Piratini.

³ Assistente de Pesquisa e Desenvolvimento – GERDAU - Aços Especiais Piratini.

⁴ Professor, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e dos Materiais (PPGEM) – UFRGS.

durante a inspeção por correntes parasitas, foram recolhidas e levadas ao equipamento de inspeção por partículas magnéticas para localização e caracterização visual dos defeitos.

As regiões das barras apresentando defeitos foram seccionadas para análise em laboratório. Primeiramente, uma análise macrográfica dos defeitos foi realizada em lupa estereoscópica (Zeiss Stemi SV11), com sistema de aquisição digital de imagens. Após esta análise foram retiradas três amostras de cada barra contendo o defeito do tipo escama, como indicado na Figura 1. Uma amostra do defeito em seção transversal, uma amostra com seção de topo do defeito e uma amostra de região próxima ao defeito, porém, sem indicação visual deste. Para o seccionamento das amostras foram utilizadas máquinas de disco abrasivo Buehler Abrasimatic 2 e Struers Secotom-10. As amostras em seção transversal dos defeitos foram embutidas em baquelite em uma máquina Struers LaboPress-3, sendo preparadas conforme procedimento metalográfico padrão.

A caracterização microestrutural das amostras foi realizada em um microscópio óptico Olympus BX-60M. Buscando deter-

minar a causa raiz dos defeitos observados foi seguida a sequência de análise apresentada na Tabela 1.

As micrografias realizadas em amostras sem ataque mostram as regiões onde há oxidação e presença de inclusões perto do defeito. Já as micrografias com Nital 2%, além de revelarem o padrão microestrutural do aço analisado, delimitam a extensão de uma possível descarbonetação bem como possíveis linhas de deformação do material ou crescimento anormal de grão. O reagente Picral foi empregado para determinação do tamanho de grão.

O reagente de cromato alcalino ressalta a região onde há presença de oxigênio, nitidamente as regiões oxidadas, sendo que esta região torna-se esbranquiçada. Já os reagentes de Oberhoffer e Stead determinam áreas com segregação de fósforo e enxofre (indicando defeito oriundos do tarugo) e delimitam marcas de deformação, uma das características de defeitos típicos de laminação. Detalhes sobre a preparação e composição destes reagentes metalográficos são apresentados na Norma ABNT NBR 8108: Ataque com Reativos Metalográficos em Ligas Ferrosas.⁽²⁾

As amostras foram ainda analisadas em um microscópio eletrônico de varredura Phillips XL - 20 para caracterização por microsonda de regiões de interesse junto aos defeitos. Para a análise química com ajuda do MEV/EDS, ainda foram analisadas as amostras com seção de topo do defeito, deixando a região do defeito intacta, apenas levantando ou retirando a aba superior do defeito tipo escama sendo ali realizada a análise química.

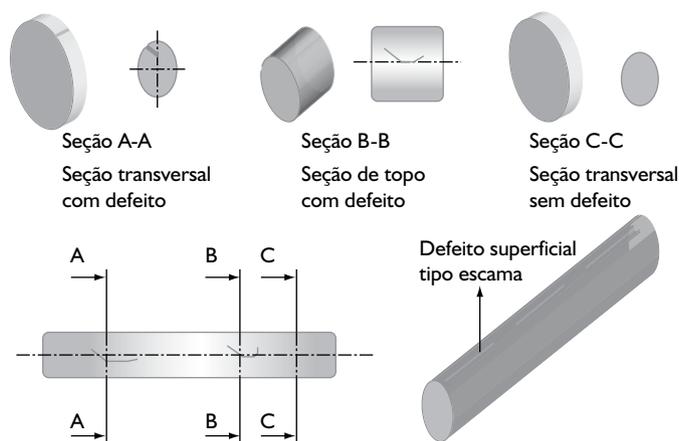


Figura 1. Desenho esquemático da metodologia de retirada de amostras dos defeitos presentes nas barras de aço trelladas.

Tabela 1. Identificação das análises realizadas para determinação da origem do defeito tipo escama.

Reagente/método	Revela	Como identificar
Partículas magnéticas	Distribuição do defeito	Defeito contínuo identifica defeito tipo dobra de laminação
Lupa estereoscópica	Morfologia do defeito	Permite a diferenciação entre marcas de manuseio e escamas
S/ Ataque (microscopia óptica)	Oxidação Presença de inclusões	Inclusões vítreas identificam defeitos oriundos da aciaria
Nital (microscopia óptica)	Microestrutura Descarbonetação Linhas de deformação	Fusão parcial ou total no contorno de grão indica superaquecimento ou queimados que é um defeito oriundo da laminação Descarbonetação pode ser oriunda da laminação ou aciaria Marcas de deformação identificam defeitos oriundos da laminação
Stead ou Oberhoffer (Microscopia óptica)	Segregação de Fósforo e enxofre Linhas de deformação	Região não atacada pelo reagente é a que apresenta segregação de P e S, problema oriundo da aciaria Marcas de deformação identificam defeitos oriundos da laminação ou aciaria
Cromato Alcalino (Microscopia óptica)	Ressalta região com presença de oxigênio	Regiões esbranquiçadas identificam defeitos que podem ser oriundos da aciaria ou laminação
Picral (Microscopia óptica)	Distribuição e tamanho de grão	Mudança de tamanho de grão: grão menor próximo ao defeito identifica defeito de aciaria (trinca de solidificação)
Microscopia Eletrônica - EDS	Análise da superfície do defeito e análise química qualitativa	Determinação da composição química e do tamanho das inclusões presentes no defeito e em sua proximidade

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Macro Análise

O estudo da frequência, localização, espaçamento de um defeito é a primeira tarefa necessária para estudar sua origem. Discutem-se, separadamente, as características gerais dos defeitos e a observação a olho nú, com lupa esteroscópica e partículas magnéticas (magnaflux) é um bom recurso para se diferenciar escamas de outros tipos defeitos.

3.1.1 Análise por partículas magnéticas

As macroestruturas observadas nas Figuras 2a e 2b tem como objetivo determinar a posição dos defeitos em relação à barra. Pode-se ainda observar a distribuição dos defeitos ao longo da mesma diferenciando escama de dobra de laminação que é um defeito contínuo.

3.1.2 Lupa esteroscópica

Para observação de defeitos superficiais em tarugos não há possibilidade de se limpar previamente a superfície do tarugo com jato de esferas ou decapagem. Logo, a observação da superfície da barra, com carepa, só permite analisar defeitos muito grosseiros e muitas vezes não permite observar trincas transversais, porosidade superficial e muitos detalhes da superfície que auxiliam na determinação das causas dos defeitos.

Nas Figuras 2c e 2d podem ser observados os defeitos tipo escama, caracterizados por uma lasca fina de metal presa à barra

em um ponto. Pode-se também observar que a parte externa da lasca apresenta-se brilhante, diferentemente do restante da barra, enquanto a parte interna do defeito apresenta-se rugosa com ou sem preenchimento com carepa/óxidos.

3.1.3 Sem ataque químico

Na observação sem ataque, pode ficar clara a origem do defeito caso sejam observadas macroinclusões associadas. A observação metalográfica deve ser completada com análise por EDS, para estabelecer a provável origem da macroinclusão.

A Figura 3a apresenta uma imagem obtida por microscópio óptico, sem ataque químico, de uma secção transversal da barra na região do defeito. Pode ser observado a presença de inclusões não metálicas. Esta análise permite, também, a determinação da morfologia e espessura do óxido observado. Uma maior espessura no óxido formado pode indicar que o defeito já estaria presente antes mesmo da laminação.

3.2 Análise por Microscopia Óptica

3.2.1 Reagente Nital 2%

Segundo Madias e Redá,⁽¹⁾ o ataque com Nital permite definir bem os contornos dos grãos

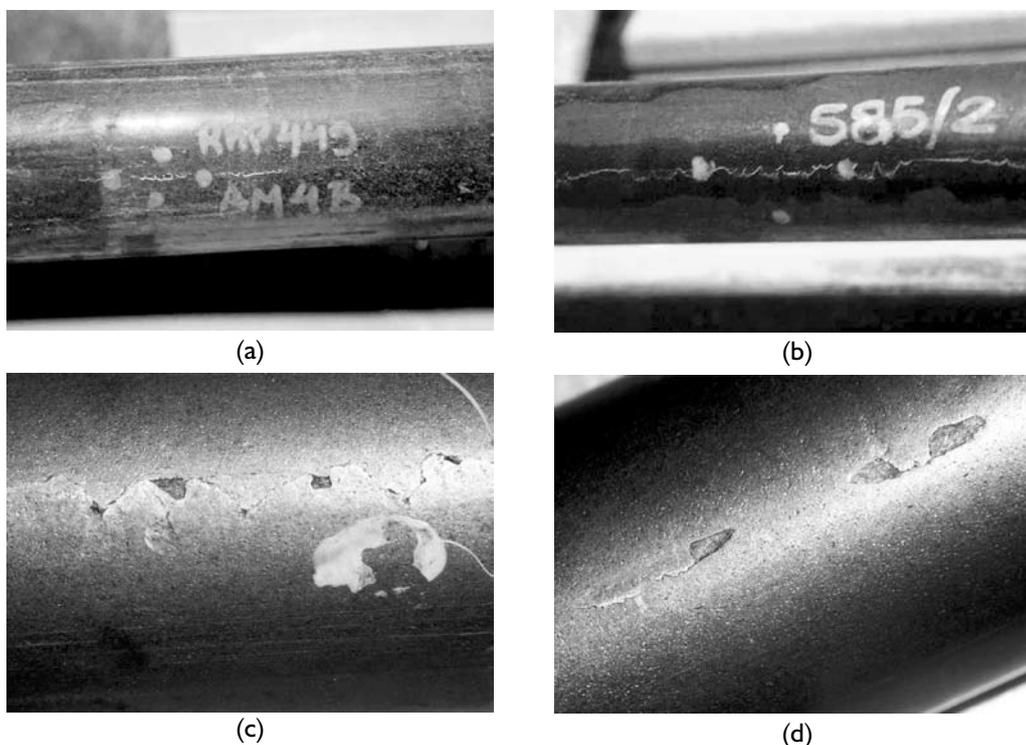


Figura 2. Macroanálise mostrando barras de aço ABNT 9254 a) e b) análise com partículas magnéticas, c) e d) barra analisada com lupa esteroscópica.

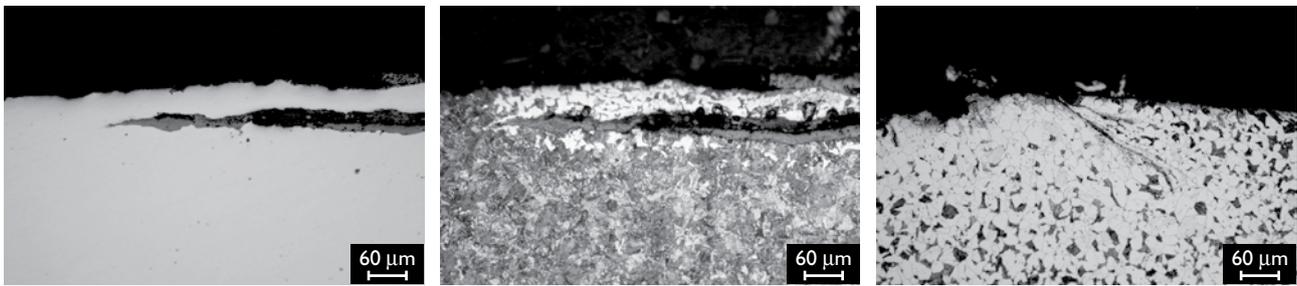


Figura 3. Corte em seção transversal de defeitos tipo escama observados em barras treiladas de aço ABNT 9254. a) sem ataque onde evidencia-se a presença de óxido na superfície interna; b) ataque Nital 2 % onde observa-se a presença de óxido associada a descarbonetação superficial do defeito; e c) ataque Nital 2% sendo evidenciado marcas de deformação plástica associada ao defeito.

de ferrita e obscurece a perlita. Possibilita também, observar a descarbonetação, o crescimento anormal de grão, a estrutura bandeada, a segregação central e as linhas de escoamento em defeitos submetidos a deformação.

Nas Figuras 3b e 3c, observam-se imagens obtidas por microscópio óptico de amostras atacadas com Nital 2%. Este ataque permite a verificação da microestrutura da região, bem como a presença de marcas de deformação sugerindo que o defeito foi ocasionado no processo de laminação. Também se pode observar a presença de óxidos e descarbonetação na superfície ou nas proximidades do defeito, embora estas características não indiquem a provável origem do defeito.

3.2.2 Reagente cromato alcalino

Segundo Madias e Redá,⁽¹⁾ o cromato sódico alcalino obscurece a martensita rapidamente, a ferrita mais devagar e a região com alto teor de oxigênio não é atacada, permanecendo com cor clara. Normalmente a faixa atacada fica ao redor do defeito. A magnitude da penetração de oxigênio fica revelada pela largura da faixa.

A Figura 4a apresenta uma imagem de uma amostra atacada com o reagente de cromato alcalino. Observam-se regiões esbranquiçadas nas proximidades do defeito, indicando a penetração de oxigênio. Se a penetração de oxigênio for muito profunda nas vizinhanças do defeito pode se supor que o defeito seja oriundo do tarugo. Porém pouca penetração ou ausência de oxigênio não significa que o defeito seja oriundo de laminação, pois o defeito pode estar presente no tarugo e aflorar no processo de laminação.

3.2.3 Reagente Stead ou Oberhoffer

Os reagentes de Oberhoffer ou de Stead são utilizados para estudar fenômenos relacionados com a segregação. Estes reagentes apresentam o inconveniente de serem muito sensíveis a limpeza anterior ao ataque da amostra. Quaisquer impurezas presentes na superfície polida resultam em dificuldades na análise.

Nas Figuras 4b e 4c são apresentadas amostras atacadas com os reagentes Stead e Oberhoffer, utilizados para visualizar segregações de fósforo e enxofre na direção do interior da barra, associada a poro subsuperficial, conforme Madias e Redá.⁽¹⁾ Estes aspectos não são observados com Nital 2%. Pode-se observar ainda nas Figuras 4b e 4c regiões mais claras, que indicam zonas ricas em fósforo ou enxofre. Com este reagente ainda pode-se observar na Figura 4b as linhas de deformação decorrentes do processo de conformação do material, indicando uma provável origem no processo de laminação.

Segundo Meyette e Elliott,⁽³⁾ em geral, o fósforo e algum enxofre são segregados próximos a *blowholes* (bolhas de gás retidas durante etapa de solidificação). Caso os reagentes Stead ou Oberhoffer revelem segregação de fósforo próximo ou abaixo da falha, pode ser deduzido que está falha é devida a *blowholes* introduzidos no lingotamento contínuo.

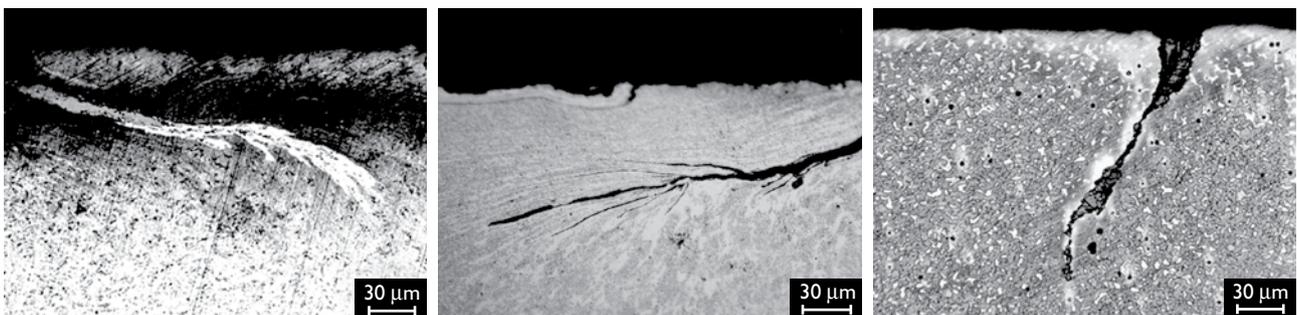


Figura 4. Corte seção transversal em barras treiladas de aço ABNT 1045 contendo defeito tipo escama. Reagentes utilizados: a) cromato alcalino; b) Stead; e c) Oberhoffer.

De acordo com Tsai, Sammon e Hazelton,⁽⁴⁾ Emling e Waugaman,⁽⁵⁾ Nakamura et al.⁽⁶⁾ e Sidorenko e Bonilla,⁽⁷⁾ os *blowholes* são originados pela variação do nível do aço líquido no molde. Esta variação é ocasionada pelo entupimento de válvula e tubos pela alumina.⁽⁶⁾ Portanto, a presença de *blowholes* indica alumina no distribuidor do lingotamento contínuo e sugere que o defeito esteja presente já a partir do tarugo.

Segundo Tsai, Sammon e Hazelton,⁽⁴⁾ os defeitos oriundos de tarugo trincado podem apresentar uma variedade de formas. Um defeito multi-linha, variando em espessura, é típico de origem de tarugos trincados. Caracterizado por grãos finos e equiaxiais e óxidos internos dispersos nas vizinhanças do defeito e uma microestrutura normal afastado da região com falha. A variação do tamanho de grão de grosseiro para fino é o resultado do trabalho a quente localizado. A presença de óxidos nesta região atua como ancorador dos contornos de grão impedindo seu crescimento. A carepa não removida acaba sendo reduzida pelo carbono presente no aço durante o recozimento dificultando sua observação.

3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura e Análise por EDS

Os defeitos podem ser observados no microscópio eletrônico de varredura após uma limpeza da amostra ou em amostras preparadas para caracterização metalográfica. A observação da superfície dos defeitos é bastante importante no estudo de defeitos superficiais em barras trefiladas. A caracterização de amostras polidas, sem ataque ou com ataque, não proporciona maiores informações que as obtidas pela análise no microscópio óptico. Segundo Ray, Dhua e Jha,⁽⁹⁾ o mais importante é a possibilidade de realizar análise em microsonda EDS, para assegurar a identificação dos constituintes da carepa, sulfetos e óxidos, e ter um conjunto interessante de estudo onde a análise química pontual

fornece informação útil para definir a origem de diversos defeitos.

Nas Figuras 5a e 5b são apresentadas imagens obtidas através de microscopia eletrônica de varredura, sendo na Figura 5a uma imagem da secção transversal da barra na região do defeito, e na Figura 5b a imagem na superfície da barra, apresentando o defeito.

O microscópio eletrônico de varredura permite uma excelente visualização da topografia dos defeitos, apresentando alta resolução e grande profundidade de foco. Além disto, analisando-se as amostras sem recobrimento com ouro ou carbono, evidencia-se a presença de inclusões vítreas devido às suas características de condutividade elétrica. Estas inclusões são visualizadas como pontos brancos e brilhantes, como observados nas Figuras 5a e 5b.

Acoplado ao microscópio eletrônico de varredura o espectrômetro de dispersão de energia -EDS, permite uma análise química pontual qualitativa e/ou semi-quantitativa através do espectro de raios X emitidos pelos elementos químicos presentes em uma determinada área ou ponto da amostra. Com isto, consegue-se determinar a composição de inclusões presentes nas amostras.

As Figura 5c e 5d apresentam espectros de dispersão de energia obtidos através da microsonda EDS, das inclusões presentes nas amostras. Observa-se a presença dos picos de emissão de vários elementos, notadamente de cálcio, alumínio e oxigênio, sugerindo que estes defeitos

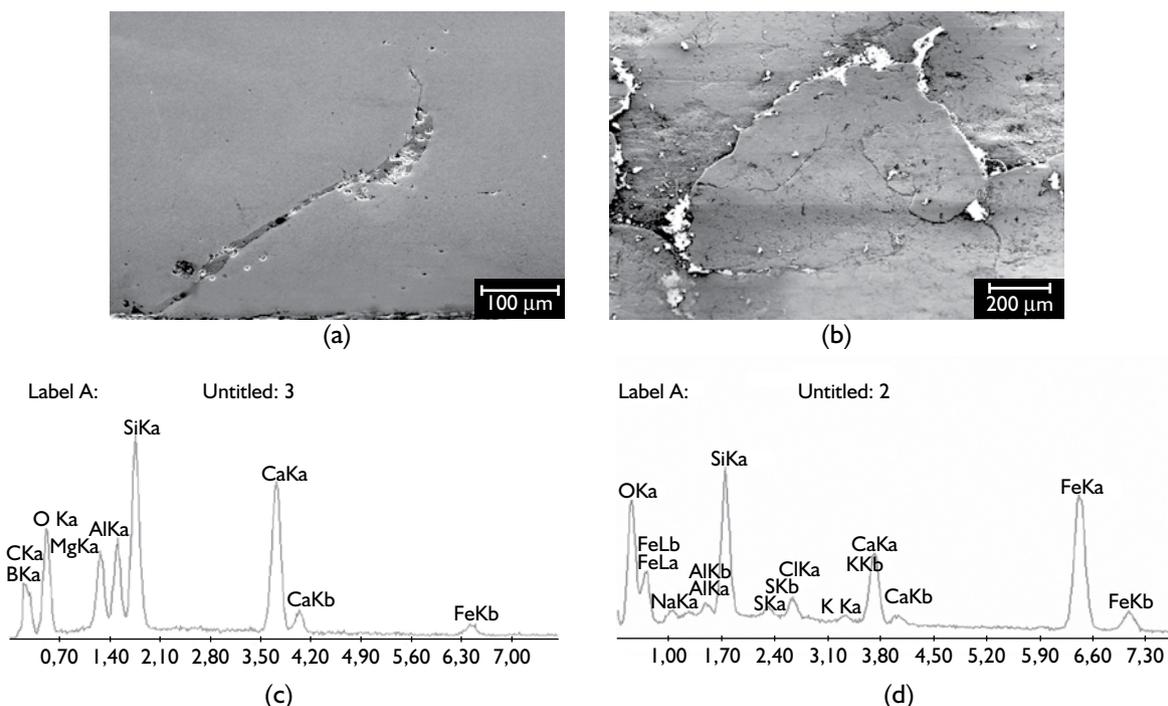


Figura 5. Análise por microscopia de varredura na região com o defeito juntamente com seu EDS.

são oriundos da aciaria já estando presentes no tarugo.^(10,11) Através da análise química, via EDS, das inclusões presentes próximos ou no interior do defeito pode-se sugerir qual etapa do processo produtivo de obtenção do tarugo foi determinante para a ocorrência do defeito.

4 CONCLUSÕES

A determinação da origem de defeitos tipo escama em amostras de barras de aço trefiladas pode ser realizada, utilizando-se diferentes ataques metalográficos, seguida de análise em microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura e EDS.

A inspeção visual e macrografias via partículas magnéticas permitem a caracterização da distribuição dos defeitos na barra.

A análise por técnicas de microscopia óptica com diferentes reagentes permite uma diferenciação entre as prováveis causas

dos defeitos sendo, no entanto, pouco eficaz na determinação da causa raiz do defeito.

A análise por microscopia eletrônica de varredura juntamente com a microanálise por EDS mostrou grande eficiência na determinação das origens dos defeitos observados.

Agradecimentos

Os agradecimentos vão ao CNPq Conselho Nacional Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro e ao técnico em metalurgia Jair Leopoldo Janoski - Gerda - Aços Especiais Piratini pela gentileza de ceder as micrografias e macrografias para confecção deste artigo.

REFERÊNCIAS

- 1 MADIAS, J.; REDA, L. **Defeitos em produtos longos de aços ao carbono e baixa liga**. Buenos Aires: Instituto Argentino de Siderurgia, 2004.
- 2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8108**: ataque com reativos metalográficos em ligas ferrosas. Rio de Janeiro, 1983.
- 3 MEYETTE, C.L.; ELIOTT, V.E. A method for determining the origin of surface defects in rolled steel products. **Transactions of the AIME**, v. 176, p. 201-18, 1948.
- 4 TSAI, H.T.; SAMMON, W.J.; HAZELTON, D.E. Characterization and countermeasures for sliver defects in cold rolled products. In: STEELMAKING CONFERENCE, 73, 1990, Detroit. **Proceedings...** Warrendale: Iron & Steel Society, 1990. p. 49-59.
- 5 EMLING, Z.H.; WAUGAMAN, T.A. Subsurface mold slag entrainment in ultra low carbon steel. In: STEELMAKING CONFERENCE, 77, 1994, Chicago. **Proceedings...** Warrendale: Iron & Steel Society, 1994. p. 371-379.
- 6 NAKAMURA, H.; KOHIRA, S.; KUBOTA, J.; KONDO, T.; SUZUKI, M.; SHIRATANI, Y. Technology for production of high quality slab at high speed casting. In: STEELMAKING CONFERENCE, 75, 1992, Toronto. **Proceedings...** Warrendale: Iron & Steel Society, 1992. p. 409-415.
- 7 SIDORENKO, D.; BONILLA, C. Quality evaluation of billet surface at ivaco rolling mills. **Iron and Steelmaker**, v. 25, n. 4, p. 35-9, Apr. 1998.
- 8 CHAKRABORTY, S; HILL, W. Reduction of alumina sliver at great lakes no. 2 CC. In: STEELMAKING CONFERENCE, 77, 1994, Chicago. **Proceedings...** Warrendale: Iron & Steel Society, 1994. p. 389-95.
- 9 RAY, S.K.; DHUA, S.J. Electron-probe microanalysis: some applications in the assessment of steel product quality. **X-Ray Spectrometry**, v. 28, n. 1, p.41-50, Jan.-Feb. 1999.
- 10 HERRERA, G.; SANTOS, R. Improvement in surface quality and internal cleanliness of thin-slab casting at HYLSA. **Iron & Steel Technology**, v. 2, n. 9, p.34-40, Sept. 2005.
- 11 BOMMARAJU, R.; JACKSON, T; LUCAS, J.; SKOCZYLAS, G. Design, development and applications of mold powder to reduce sliver. **Iron and Steelmaker**, v. 19, n. 4, p. 21-27, Apr. 1992.

Recebido em: 13/02/07

Aceito em: 13/08/07

Proveniente de: SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO – PROCESSOS E PRODUTOS LAMINADOS E REVESTIDOS, 43., 2006, Curitiba. São Paulo: ABM, 2006.