

METODOLOGIA PARA CARACTERIZAÇÃO DO DEFEITO SUPERFICIAL TIPO ESCAMA EM BARRAS TREFILADAS¹

*Leoneros Acosta Barbosa²
Antonio Ricardo Stadtländer³
Afonso Reguly⁴

Resumo

O presente trabalho aborda apenas o defeito superficial tipo escama em barras trefiladas efetuando-se uma metodologia para caracterização salientando-se as origens e causas mais prováveis.

Palavras-chave: Defeito superficial; Escamas; Barra trefilada.

A METHODOLOGY FOR THE CHARACTERIZATION OF SLIVER SURFACE DEFECTS IN COLD-DRAWN BARS

Abstract

This work is centered in the evaluation of sliver defects in bar. A characterization methodology and most probable causes and origin are presented.

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

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

² Mestrando, Programa de Pós – Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e dos Matérias (PPGEM) – UFRGS. * leoneros@demet.ufrgs.br

³ Mestrando, Programa de Pós – Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e dos Matérias (PPGEM) – UFRGS.

⁴ Professor, Programa de Pós – Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e dos Matérias (PPGEM) – UFRGS.

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 a direção de laminação podendo surgir em ambas faces e em qualquer lugar ao longo da largura da barra trefilada. Tem origem predominantemente na aciaria, mas pode ser de laminação incluindo a participação dos fornos de reaquecimento, dos passes desbatadores e até mesmo do acondicionamento do semiproduto. Este artigo aborda um método para caracterização da origem do defeito superficial tipo escama visando aumentar a qualidade superficial de aços.

Origem dos Defeitos Superficiais – Aciaria

O defeito superficial tipo escama na sua maioria é oriundo de parâmetros não adequados de aciaria, tais como: pó fluxante incrustado, escória da panela ou do tundish no molde, reoxidação e trincas de solidificação.

Origem dos Defeitos Superficiais - Pó fluxante do Molde

Segundo Bommaraju et al.,⁽¹⁾ as escamas são predominantemente inclusões não metálicas complexas incrustadas no aço durante o processo de lingotamento e solidificação. Inclusões não metálicas complexas incrustadas são devidas à interação do pó fluxante/aço líquido, especialmente nas vizinhanças da válvula submersa. Esta interação pode ser teorizada em termos de: arraste do fluxante líquido para dentro do aço líquido e adesão de fluxante líquido sobre a camada solidificada.

Isto acontece devido a duas causas: interação mecânica e a reação química ocorrendo na interface escória/metal. A alta velocidade de vazão do aço no molde por um lado pode arrastar e incrustar o pó fluxante líquido no tarugo. Por outro lado, onde há baixa velocidade do aço, vórtices que puxam a escória para dentro do aço podem ser criados.

A intensa transferência de massa na interface escória/aço dá lugar a uma turbulência interfacial devido à diminuição da tensão interfacial para um mínimo. Esta turbulência pode misturar a interface escória/metal. Sendo assim, a dispersão de escória no aço líquido se torna extremamente fácil durante tal estado.

Ainda segundo Tsai, Sammon e Hazelton,⁽²⁾ a incidência de escamas causada por tarugos trincados foi reduzida sensivelmente devido à troca de pó fluxante tipo frita para um pó esférico semicôncavo. O pó esférico tem uma densidade de corpo menor proporcionando um excelente isolamento do menisco. Ele funde uniformemente e produz uma suave e mais uniforme taxa de transferência de calor do molde, o qual é essencial para a redução de trincamento superficial.

Origem dos Defeitos Superficiais - Escória da Panela ou do Tundish no Molde/ reoxidação

Segundo Chakraborty,⁽³⁾ a razão para geração de alumina tem sido traçada pela reoxidação do aço fundido na panela por FeO da escória. O progressivo depósito de partículas de alumínio, com carregamento cíclico no bocal do distribuidor conduzem à formação de aglomerados de alumina nas corridas subseqüentes. A ocasional remoção do aglomerado dos bocais e subseqüente encrustamento na casca sólida próximo a superfície do tarugo conduz a formação de escamas no resfriamento. Segundo Tsai, Sammon e Hazelton,⁽²⁾ a utilização de válvula submersa no distribuidor com furos permite que o argônio chegue ao bocal através de centenas de canais, provando ser mais eficaz que o bocal refratário permeável na manutenção do fluxo através do aço líquido.

Um nível de flutuação no banho alto indicaria a presença de alumina. Isto indica que há um entupimento dos tubos e válvulas pela alumina. Se for realizado o desentupimento da válvula submersa mexendo nesta escória (rooding) teremos a formação de blowholes. Logo, os blowholes indicam a presença de alumina. Comprova-se que a porcentagem de FeO na escória tem uma relação direta com a porcentagem de alumina no banho. Quanto mais FeO na escória mais alumina terá no banho.

Segundo Tsai, Sammon e Hazelton,⁽²⁾ mantendo o selamento com cortina de argônio previne-se a formação de aluminatos largos de reoxidação no aço. O desenho da saia e o tipo de refratário também foram mudados para reduzir a incidência de falhas na capa e para melhorar a entrega de argônio para o selamento. Como resultado a agregação de nitrogênio da panela para o distribuidor caiu de 6 ppm para 3 ppm em média, indicando também a redução de oxigênio.

A escória da panela que é drenada da panela para o distribuidor, tem um efeito deletério na limpeza do aço. Escória em excesso reduz as capacidades fluxantes da escória do distribuidor e pode se incrustar diretamente no aço. Para reduzir a incidência de carregamento da escória da panela, o fluxo da panela é desligado quando está com quatro toneladas de aço restantes na panela (valor relativo à capacidade da panela utilizada por Tsai, Sammon e Hazelton.⁽²⁾ O impacto na produção é substancial (por volta de 1%). Entretanto, esta prática tem provado ser bastante eficaz na redução de carregamento de escória.

Origem dos Defeitos Superficiais – Escória

De acordo com Sidorenko e Hill,⁽⁴⁾ bolhas de gás ou inclusões podem ser arrastadas para baixo da superfície durante o lingotamento e quando estão subindo, aderem-se à frente de solidificação no raio interno. A literatura refere-se à causa como sendo originada em altos rendimentos do lingotamento ou cisalhamento da escória do molde devido à alta velocidade na interface escória/aço. Antes de serem capturadas, as inclusões podem aglomerar-se em torno das bolhas de gás que estão subindo. Durante o subseqüente recozimento, o gás arrastado pode expandir-se, causando o empolamento da superfície.

Para melhorar a distribuição das inclusões e o arraste das bolhas pode-se providenciar um maior comprimento vertical. Nakamura et al.⁽⁵⁾ e Emling e Waugaman⁽⁶⁾ sugerem que um comprimento vertical ideal seria em torno de 2,5 à 3m.

Segundo os experimentos realizados por Nakamura et al.,⁽⁵⁾ utilizando-se um modelamento físico simulando condições de lingotamento com e sem injeção de gás, foram observados os seguintes mecanismos: sem injeção de gás ocorre o arraste junto à saída da válvula, se esta está pouco submersa e junto à parede do molde, devido à recirculação do metal líquido; com a injeção de gás o padrão de recirculação modifica-se e forma-se uma espuma com o gás que sobe junto à válvula. Eventualmente esta espuma aproxima-se do bocal de saída da válvula, sendo arrastada pelo fluxo de metal líquido.

Ensaio mostraram que desoxidando primeiro com o Al e depois com o Mn ou com Al e Mn juntos, a reprodução dos filmes de galaxita é fácil. Para visualizar o que acontece, o aço foi acalmado com 0,05% de Al em excesso, depois adicionado o FeMn e temperado menos de 10 segundos depois, mostrando que mesmo antes do FeMn ter chance de dissolver ou mesmo fundir, o filme de MnO no contorno do FeMn, havendo ar, será parcialmente reduzido pelo Al metálico presente no aço líquido fazendo um filme tenaz de galaxita conforme a reação $4\text{MnO} + 2\text{Al} = \text{MnAl}_2\text{O}_4 + 3\text{Mn}$. Esse filme previne qualquer dissolução de Mn incrustado. Ao contrário, quando o Mn é adicionado primeiro e misturado bem, não acontece desenvolvimento nas mesmas condições experimentais.

Há indicações que algum local com alta concentração de Mn seja protegida da difusão por separação física do aço líquido. As propriedades cristalográficas dos espinélios (aluminato de Mn) dão a alta estabilidade além daquela deduzida pela afinidade combinada de Al e Mn com o Oxigênio no aço líquido.

Origem dos Defeitos Superficiais – Trincas

Trincas são descontinuidades que partem da superfície do fio máquina, penetrando perpendicular ou obliquamente ao mesmo. Elas têm diferentes comprimentos e, em geral, são retilíneas podendo, entretanto ser oblíquas ou perpendiculares com relação ao eixo longitudinal do fio máquina.

Nas trincas de tarugos são observadas zonas descarbonetadas e a presença de carepa, indicando que ela existe antes do último reaquecimento ou, no caso presente, mostrando que se trata de uma trinca proveniente do lingote.

Trincas em Lingotes

As trincas aparecem em lingotes como consequência de tensões a que ficam submetidas as camadas externas dos lingotes ao curso da solidificação. Estas tensões têm a seguinte origem:

- Tensão residual consequente da contração de resfriamento;
- Pressão ferrostática;
- Tensão de transformação;
- Tensões locais devido à irregularidade no resfriamento.

Mecanismos de Formação de Trincas

Existem diversos mecanismos propostos para explicar a formação de trincas. Muitos pesquisadores associaram esta ocorrência à existência de estruturas frágeis e de baixa resistência num domínio de temperatura logo abaixo da linha “solidus”. Estas estruturas, não resistindo às tensões normalmente existentes, romperiam formando trincas. O aparecimento de trincas ocorreria no momento em que os filmes líquidos não pudessem mais alimentar as zonas interdendríticas com fortes concentrações de tensões. Também de acordo com Tsai, Sammon e Hazelton,⁽²⁾ 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. O defeito é usualmente de aspecto negro, entretanto, na inspeção pode aparecer branco ou brilhante. Caracterizado por grãos finos e equiaxiais e óxidos internos dispersos, a primeira metade mostra uma microestrutura normal enquanto abaixo é mostrada a região afetada, sendo notada a troca de grão de grosso para fino. A troca de microestrutura é causada devido a trabalho a quente localizado. O grão não cresce devido ao seu ancoramento pelos óxidos. A carepa não removida reduz-se após o recozimento.

Definição Dobras de Laminação

Segundo Meyette e Elliott,⁽⁷⁾ dobras são trincas longas que usualmente tem um comprimento interno originados por práticas de laminação com defeito.

Nas dobras de laminação a seção transversal da barra é cortada e preparada. Se forem observadas características como estruturas fibrosas, devem ser empregados os ataques Oberhoffer's ou Stead. As fibras são curvadas acentuadamente ao redor das escamas voltadas para o interior e a distância em volta da escama é na forma de um arco. Isto indica que as trincas são resultado da rugosidade na laminação. Dobras apresentam trincas cheias com carepa e na sua margem as superfícies são descarbonetadas.

Este tipo de defeito é o resultado da rugosidade superficial durante o processamento do tarugo.

Origem das Dobras:

As dobras são quase sempre resultado de um rebatimento que contribua para a formação de rebarba quando da laminação. Esta fatalmente conduz a formação de dobras.

As rebarbas podem se originar de:

- Aço com tendência a forte alargamento;
- Calibragem mal adaptada ou má regulagem dos cilindros;
- Guias descentradas;
- Variação na velocidade de laminação;
- Não uniformidade de temperatura em uma barra;
- Defeitos internos no perfil laminado, tais como vazio ou segregação forte, os quais prejudicam o comportamento normal da deformação;
- Perfis "magros" os quais não preenchem devidamente os canais e podem provocar rebarbas;

Outras Origens:

Além de rebarba – motivo principal das dobras – devem ser ressaltados os seguintes fatores:

- Arestas vivas no perfil a serem laminados provenientes, por exemplo: de um acondicionamento imperfeito do semiprodutos;
- Riscos profundos no produto provocador por guias, tubos, etc.

Maneiras de se evitar a Formação de Dobras:

Para se evitar a formação das dobras os seguintes fatores devem ser observados:

- Qualidade do produto a ser laminado, evitando defeitos internos e de acondicionamento;
- Calibragem e regulagem do trem (perfis, guias, cilindros, tubos, etc.);
- Regularidade na velocidade de laminação e na distribuição de temperaturas.

Conseqüência das Dobras:

Ao contrário das trincas, as dobras, principalmente quando muito próximas à superfície do fio máquina, podem se destacar na trefilação causando conseqüências como entupimento de fieira e fragmentos, podendo causar fraturas.

METODOLOGIA

A metodologia empregada para análise consistiu em caracterização visual dos defeitos em lupa de baixo aumento e análises metalográficas em microscópio ótico e em microscópio eletrônico de varredura, juntamente com análise via microsonda acoplada ao microscópio eletrônico (EDS). Algumas barras trefiladas, dos feixes rejeitados na inspeção por correntes parasitas, foram escolhidas aleatoriamente e levadas ao equipamento de partículas magnéticas Magnaflux para localização e caracterização visual dos defeitos, assim como foi realizada a descrição da composição e freqüência dos defeitos existentes nas barras, conforme a Figura 1. Logo após, foram cortadas em máquinas de disco abrasivo, em duas ou três amostras, dependendo da dimensão do defeito, conforme a Figura 2. Após foram embutidas e preparadas conforme procedimento metalográfico padrão.

Para análise e determinação da origem dos defeitos tipo escama em microscópio ótico foram empregados os reagentes listados na tabela 1. As amostras embutidas foram ainda levadas ao microscópio eletrônico de varredura para caracterização via microsonda de regiões de interesse, como de óxidos e inclusões. Para a análise química com ajuda do MEV/EDS, ainda foram cortadas amostras das barras trefiladas no sentido longitudinal, deixando a região do defeito intacta, apenas levantando ou retirando a aba superior do defeito tipo escama para ali realizar a análise química. Análises transversais também foram realizadas em área adjacente ao defeito e na outra extremidade da barra, para poder comprovar que regiões próximas ao defeito têm aspectos diferenciados das regiões mais afastadas. Já para a determinação das dimensões dos defeitos analisados, foi utilizado o método segundo a Figura 3.

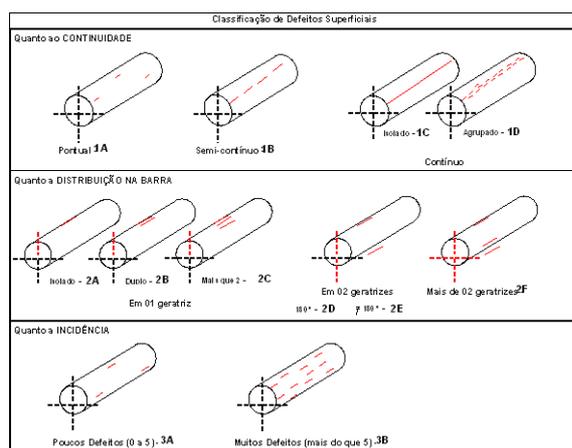


Figura 1. Classificação dos defeitos superficiais.

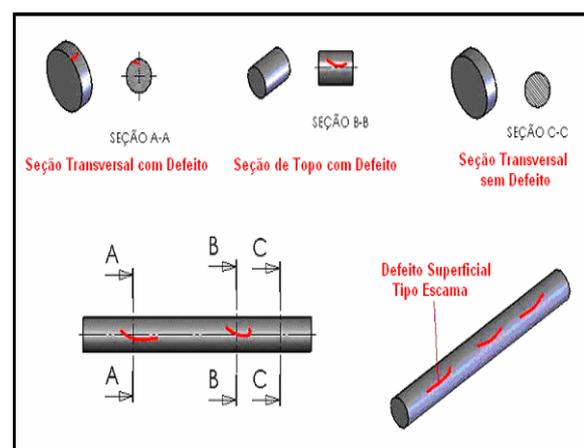


Figura 2. Corte das barras trefiladas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises realizadas nas barras trefiladas de várias qualidades de aços analisadas demonstraram que as origens dos defeitos tipo escamas estão distribuídas segundo a Figura 4. Mais de 96% de defeitos tipo escamas estão relacionados à aciaria. Uma larga porcentagem das categorias era muito rasa para ser identificada. Um estudo preliminar indicou que havia os seguintes mecanismos iniciais para a formação desse tipo de defeito: (a) mecanismo de incrustamento de escória (inclusões complexas)(Figura 5, a e b), (b) remoção incompleta de trincas superficiais do tarugo (Figura 6(b)), (c) além de marcas de guia ou de rolos de laminação (Figura 6(a)). Os defeitos relacionados à aciaria são resultado de aluminatos e inclusões complexas (CNI's) ou tarugos trincados. Partículas não-metálicas causam escamas durante o processo de laminação porque sua deformabilidade é muito menor que a do metal. Trincas causam escamas porque a superfícies das trincas são oxidadas no forno de reaquecimento e não irão caldear na laminação. Fluxos diferentes nos dois lados das trincas forçam a formação de escamas na sua superfície.

Tabela 1. Reagentes utilizados.

Reagente	Revela	Como identificar
S/ ataque	- Oxidação - Presença de inclusões	Inclusões vítreas identificam defeito oriundo da aciaria.
Nital	- 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 defeito oriundo da laminação.
Stead	- 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 defeito oriundo da laminação.
Cromato Alcalino	- Ressalta região com presença de oxigênio	Regiões esbranquiçadas identificam defeito que pode ser oriundo da aciaria ou laminação.
Acido Picrico e álcool	- Distribuição e Tamanho de grão	Mudança de tamanho de grão: grão menor próximo ao defeito identifica defeito de aciaria (trinca de solidificação).

Um estudo, segundo Tsai, Sammon e Hazelton,⁽²⁾ indicaram que tarugos com as melhores classificações de qualidade (sem anomalias), mas tendo tanto trincas como aluminatos identificados antes do preparo de tarugos, foram mandados para processamento sem condicionamento. Os índices de escamas nesses tarugos foram muito maiores daqueles livres de defeitos.

Na Figura 7(a) observa-se a distribuição das inclusões complexas encontradas na região transversal das amostras analisadas e Figura 7(b) o tamanho médio das mesmas. Nestas amostras foram realizadas as medições para determinar o diâmetro médio de inclusões encontradas perto e longe do defeito tipo escama, observada na Figura 8(a). Na Figura 8 (b) apresentam-se as dimensões dos defeitos analisados.

Contramedidas

Para a prevenção deve-se reduzir a oportunidade de haver incrustamento de não metálicos e promover bastante tempo de flotação para retirada das inclusões complexas. Aluminatos (produtos de desoxidação ou reoxidação) são a principal causa de escamas. Este defeito pode ser reduzido melhorando e implementando novas práticas de limpeza do aço, minimizando a formação e aumentando a flotação

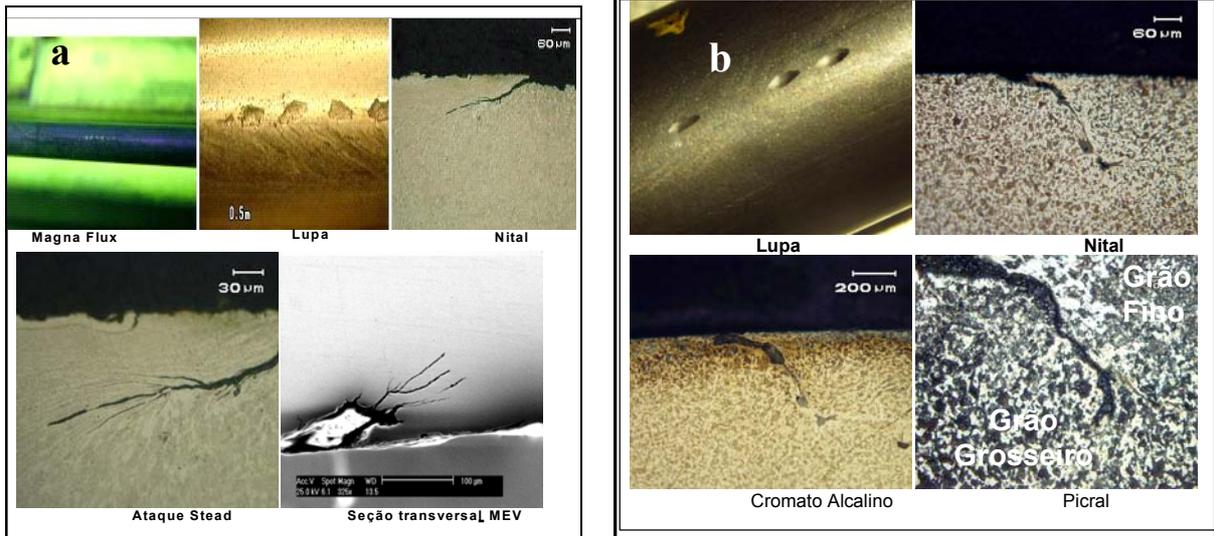


Figura 6. Características microestruturais de defeitos. (a) laminação, (b) trincas de solidificação.

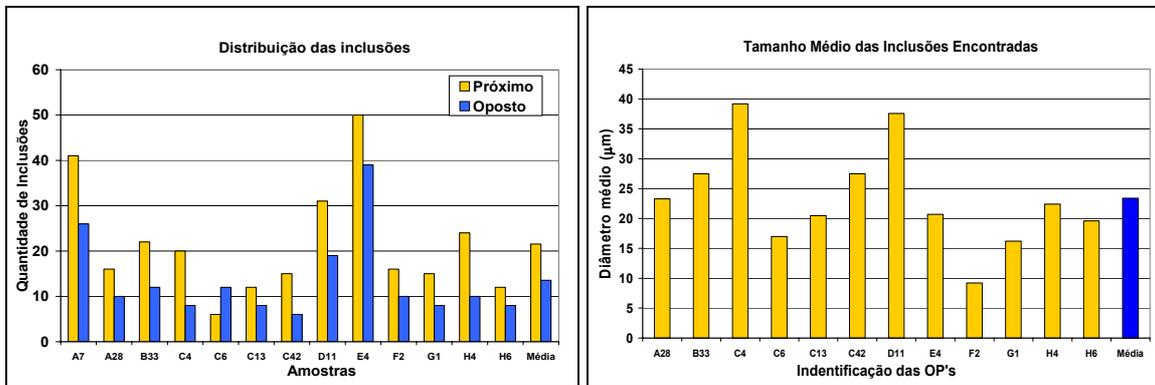


Figura 7. Distribuição das inclusões (a) e tamanho médio das inclusões (b).

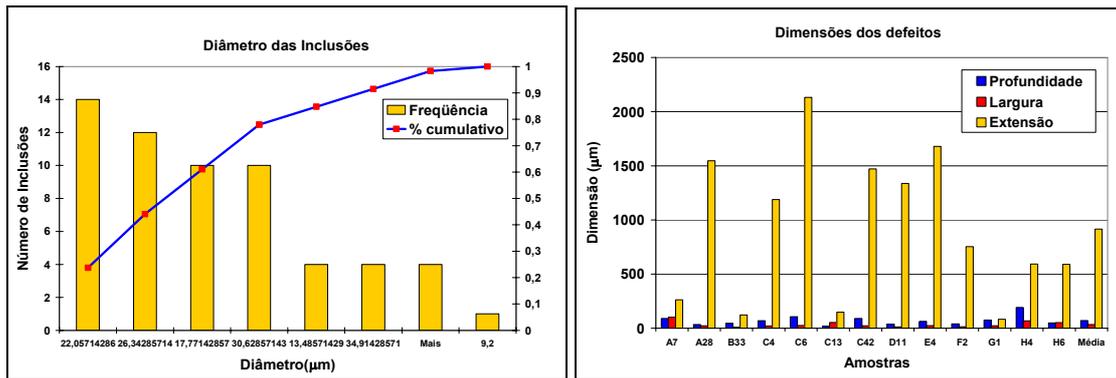


Figura 8. Diâmetro médio das inclusões (a) e Dimensionamento do defeito (b).

CONCLUSÕES

Através das análises realizadas nas barras trefiladas com defeitos tipo escama, conclui-se que as principais origens dos defeitos tipo escama são oriundos do tarugo. Dentre os mecanismos que ocasionariam este tipo de defeito, destacam-se incrustamento de inclusões complexas e de aluminatos e tarugos trincados.

Os dados estatísticos comprovam que em média existem mais inclusões próximas ao defeito. A maior porcentagem das inclusões apresenta diâmetro entre 17 e 30 μ m com um diâmetro médio de 26 μ m. Os defeitos analisados são na sua maioria rasos e extensos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- 1 Bommaraju, R.; Jackson, T.; Lucas, J.; Skoczylas, G. “**Design, Development and Applications of Mold Powder to Reduce Sliver**”. Iron and Steelmaker, pp. 21-27, Abril 1992.
- 2 Tsai, H. T.; Sammon, W. J.; Hazelton, D. E. “**Characterization and Countermeasures for Sliver Defects in Cold Rolled Products**”. Steelmaking Conference Proceedings, pp. 49-59, 1990.
- 3 Chakraborty, S.; Hill, W. “**Reduction of Alumina Sliver at Great Lakes no. 2 CC**”. Steelmaking Conference Proceedings, pp. 389-395, 1994.
- 4 Sidorenko, D.; Bonilla, C. “**Quality Evaluation of Billet Surface at Ivaco Rolling Mills**”. Iron and Steelmaker, pp. 35-39, Abril 1998.
- 5 Nakamura, H.; Kohira, S.; Kubota, J.; Kondo, T.; Suzuki, M.; Shiratani, Y. “**Technology for Production of High Quality Slab at High Speed Casting**”. Steelmaking Conference Proceedings, pp. 409-415, 1992.
- 6 Emling, Z. H.; Waugaman, T. A. “**Subsurface Mold Slag Entrainment in Ultra Low Carbon Steel**”. Steelmaking Conference Proceedings, pp. 371-379, 1994.
- 7 Meyette, C. L.; Elliott, V.E. “**A Method for Determining the Origin of Surface Defects in Rolled Steel Products**”. Transactions of the AIME, v. 176, pp. 201-218, 1948.
- 8 Herrera, G. and Santos, R.; “**Improvement in Surface Quality and Internal Cleanliness of Thin-Slab Casting at HYLSA**”. September 2005.