

## **Caracterização de dobras de laminação por metalografia e microscopia óptica**

Marcos Chogi Iano<sup>(1)</sup>

Faculdade de Tecnologia de Sorocaba – São Paulo – Brasil  
e-mail: iano@fatecsorocaba.edu.br

Mauro Pancera<sup>(2)</sup>

Faculdade de Tecnologia de Sorocaba – São Paulo - Brasil  
e-mail: mauropancera@ig.com.br

### Resumo

As dobras de laminação durante o processo de fabricação do aço, são depressões oxidadas na superfície do produto, na direção de laminação. Essas dobras constantemente são preenchidas de óxidos e apresenta sua superfície intensamente descabonetada. As ferramentas de investigação mais comuns para detecção destes defeitos são as inspeções visuais, magna-flux (partículas magnéticas), líquidos penetrantes, ultra-som e microscopia. Neste estudo, empregamos as técnicas metalográficas para auxiliar a visualização através do microscópio. Os corpos de prova foram retirados das barras no sentido transversal após inspeção visual ou através de partículas magnéticas. Os resultados das análises indicaram dobras com profundidades de 0.30 e 0.51mm.

Palavras-chave: dobras, laminação, metalografia e microscopia.

## **a) Introdução**

A competitividade e a busca de constante aprimoramento das organizações industriais fazem com que o monitoramento de todas as atividades e principalmente, do sistema produtivo, ganhe grande importância. Deste modo, no processo de produção de aço a laminação tem papel fundamental na qualidade final deste produto. Visando acompanhar e aprimorar o processo de conformação mecânica na forma de barra, lingote, placa, fio, ou tira [1], este estudo acompanhou várias corridas para levantar as causas de um dos defeitos mais comuns desta etapa de fabricação que são as chamadas dobras. Realizou-se o monitoramento das etapas de passagem do material entre os rolos onde o material sofre compressões [2,3] e conseqüentemente tensões elevadas, etapa realizada geralmente a quente. Depois dessa fase segue-se uma nova etapa de laminação a quente para transformar o produto no perfil semi-acabado. A laminação a frio vem em seguida com o intuito de finalizar esta etapa, proporcionando propriedades mecânicas interessantes ao material [4,5,6]. Durante a primeira fase de laminação (blooming) [7,8] a proporção de redução ganha importância, uma vez que nesta etapa o defeito de dobra pode começar a surgir. Grandes reduções de perfil em uma única passada podem comprometer todas as etapas seguintes. Inserido neste contexto este trabalho visa apontar algumas ações de cunho prático para minimizar a ocorrência deste defeito.

## **b) Objetivos**

- Neste trabalho procuramos identificar os defeitos de dobra utilizando técnicas de metalografia e microscopia;
- Caracterizar estes defeitos através de imagens fotográficas;
- Promover ações corretivas para minimizar a ocorrência deste tipo de defeito.

## **c) Revisão bibliográfica**

As dobras de laminação durante o processo de fabricação do aço são depressões oxidadas na superfície do produto, na direção de laminação, em geral bastante profundas sendo sua penetração não radial. Essas dobras constantemente são preenchidas de óxidos e apresenta sua superfície intensamente descarbonetada. No caso de material forjado pode ser intermitente no sentido longitudinal ou transversal. Este tipo de defeito é produzido por um alargamento lateral do material submetido a passadas com reduções elevadas e que em passadas sucessivas provoca sua dobra em um dos seus lados (podendo ocorrer em ambos os lados). Outro mecanismo de geração destes defeitos pode ser oriundos dos cantos “vivos” em produtos semi-acabados gerados por canais mal reconicionados, mal calibrados ou ainda através de forjamento e/ou laminação incorretos.

A redução total atingida por laminação a frio geralmente varia de 50 a 90% [9,10,11]. Quando se estabelece o grau de redução em cada passe de laminação, deseja-se uma distribuição tão uniforme quanto possível nos diversos passes sem haver uma queda acentuada em relação à redução máxima em cada passada.

Normalmente, a porcentagem de redução menor é feita na última passada para permitir um melhor controle do aplainamento, bitola e acabamento superficial [12].

#### **d) Materiais e métodos**

Os corpos de prova foram retirados das barras no sentido transversal, após inspeção visual ou através de partículas magnéticas. Através das técnicas investigativas empregando o processo de magna-flux e recalque realizado numa máquina de ensaio de tração com capacidade de 40 toneladas, aplicando uma redução de 2:1.

Posteriormente o corpo de prova foi cortado ao meio e empregado as técnicas de micrografia convencional, ou seja, desbaste efetuado com lixas de 120 granas (fita) em seguida com lixas de 220, 320, 400 e 600 granas. O espelhamento dos corpos de prova foi realizado através de pasta diamantada com granulação 3 $\mu$ m no pré-acabamento e 1 $\mu$ m para acabamento final, seguido de limpeza em álcool absoluto. O reativo utilizado, quando necessário, foi uma solução alcoólica de ácido nítrico a 3%v.v. (nital) empregado por imersão a frio por aproximadamente 8 segundos. A análise foi produzida através de microscopia óptica utilizando-se de um microscópio com ampliação de 50 vezes.

#### **e) Resultados e discussões**

Através da figura 1, podemos visualizar uma fratura característica de dobramento, uma vez que o posicionamento desta trinca se fez em posição radial e com desenvolvimento curvo. Neste corpo de provas detectou-se ainda o surgimento de outra fratura de dimensão inferior, localizada a 180° em relação à primeira (figura 2).

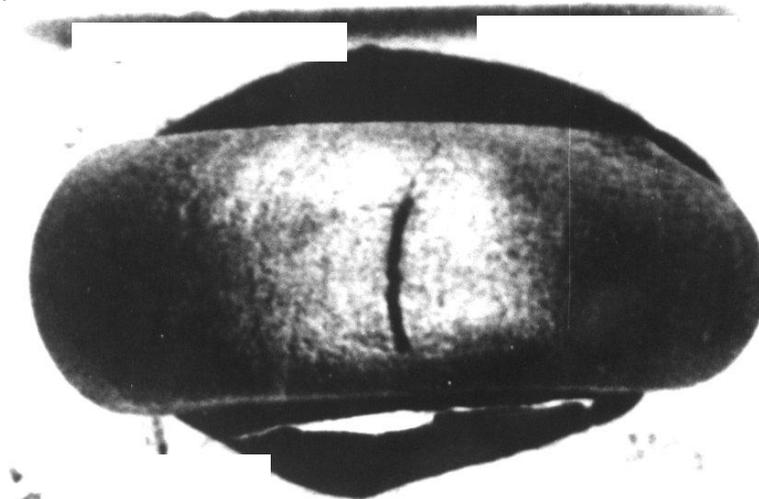


Figura 1- Amostra recalcado com fratura radial

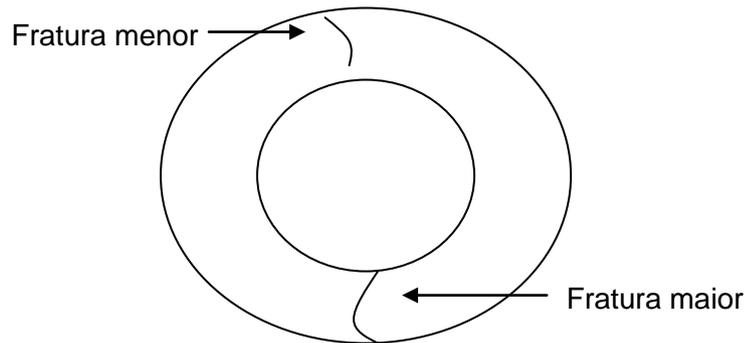


Figura 2- Esquema do posicionamento das fraturas na amostra

Para comparação e facilitação da visualização das dobras, foram confeccionados amostras com diferentes acabamentos (ataque químico), a fim de promover contrastes variáveis nas imagens captadas pelo microscópio e posteriormente fotografadas. Na figura 3, é mostrado um corpo de provas sem o ataque químico final, o que gerou a visualização da fratura na cor escura. Esta fratura possui uma profundidade de aproximadamente 0,30 mm, com preenchimento de óxidos, fator que gera o aspecto de escurecimento desta região.

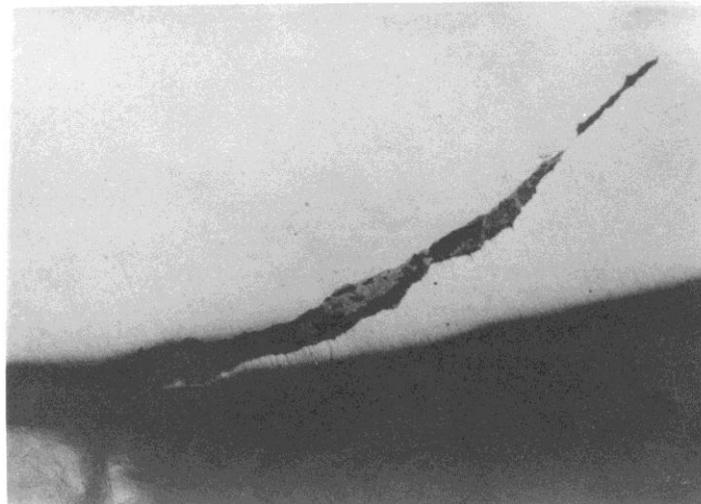


Figura 3- Amostra sem ataque químico

A outra amostra foi atacada (figura 4), gerando uma imagem onde se pode verificar uma dobra de aproximadamente 0,51 mm de profundidade, além disso, uma região levemente descarbonetada (indicada pela seta).

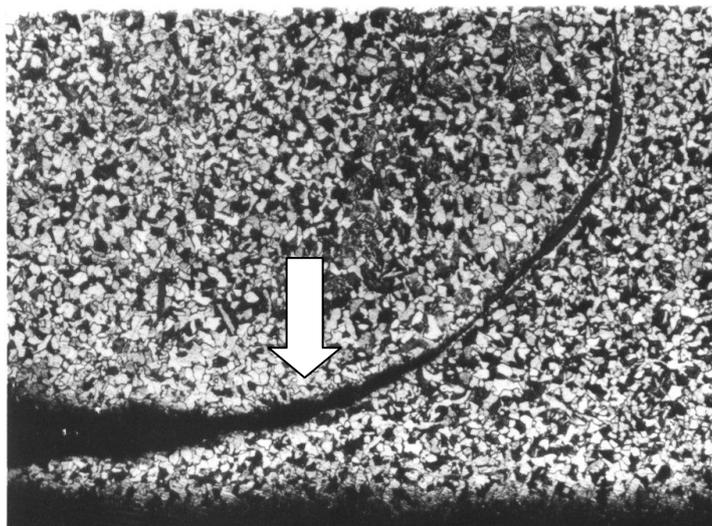


Figura 4- Amostra atacada com reagente químico

Na figura 5, também não atacada com reagentes químicos, pode-se visualizar a diferenciação de contraste em relação à figura 4, uma vez que são amostras retiradas de regiões próximas. Outra informação interessante, diz respeito à evolução do crescimento da dobra, visto na região inicial na figura 3, e região central nas figuras 4 e 5.

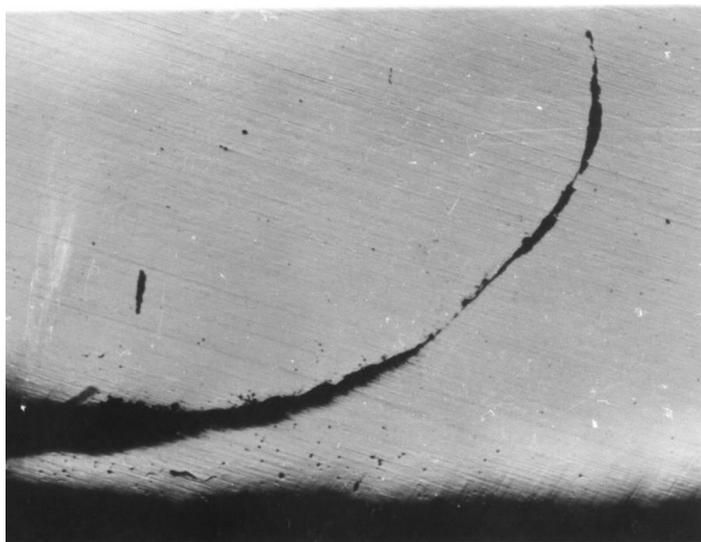


Figura 5 – mostra uma diferença de profundidade

#### f) Conclusões

Os corpos de provas foram retirados de barras originárias de palanques de cantos não arredondados, o que comprova a grande incidência na geração deste tipo de defeito com estas características. A adequação nos planos de passadas durante o desenvolvimento do processo de laminação, por meio da calibração adequada dos cilindros, evitará reduções drásticas e conseqüentemente o surgimento dos cantos “vivos”. Além destes procedimentos duas outras ações são

recomendáveis: (i) suprimir a ocorrência de rebarbas nos lingotes ou semi-acabados, (ii) arredondamento dos cantos produzidos durante a escarfaagem ou esmerilhamento das zonas recondicionadas.

### **g) Referências bibliográficas**

- [1] HOILE, S. (October 2000), "Materiais science and technology", 1079-1093.
- [2] GORNI, A. A.; VALLIN, P. S. S. (2003), "Efeito da Recristalização Dinâmica na Resistência à Deformação de Aços Processados no Laminador de Tiras à Quente", *40º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos* – Vitória (E.S).
- [3] HULKA, K. (2000), "High strength extra deep drawing quality sheet", *CBMM On-line Technical Report*.
- [4] OUCHI, C. et. al. (March 1982), "Transactions of the ISIJ", 214-222.
- [5] SENUMA, T. et. al. (June 1998), "ISIJ Internacional", 587-594.
- [6] KWON, O. & MIN, K. Z. (May 1994), "In: Physical Metallurgy of if Steels", *Proceedings. The Iron and Steel Institute of Japan, Tokyo*, 9-12.
- [7] LOUREIRO, F. G. E outros. (Setembro 2000), "In: XXXVII Seminário de Laminação", *Anais. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Curitiba*, "
- [8] BORATTO, F. et. al. (1988), "In: Thermec '88", *Proceedings. Iron and Steel Institute of Japan, Tokyo*, p. 383-390.
- [9] BLECK, W. Et al. (September 1993), "Steel Research", 396-400.
- [10] RUIZ-APARICIO, L. et. al. (1993) "In: International Symposium on Low-Carbon Steels for The 90's", *Proceedings. TMS, Warrendale*, 419-426.
- [11] SILVA, J. M. S. et. al. (1997), "In: II Congresso Internacional de Tecnologia Metalúrgica e de Materiais", *Anais. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, São Paulo*.
- [12] GORNI, A.A.; SILVEIRA, J. H. D.; FILHO, C. A. (2002), "Efeito do Processo de Laminação a Quente sobre as Propriedades Mecânicas de Chapas Finas de Aços I.F Laminados a Frio", *39º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Ouro Preto (MG)*.

### **Contato**

(1) Professor Dr., Av. Eng. Carlos Reinaldo Mendes, 2015, Alto da Boa Vista – Sorocaba – SP.

Tel. (15) 32282366  
e-mail: [iano@fatecsorocaba.edu.br](mailto:iano@fatecsorocaba.edu.br)

(2) Professor, Av. Eng. Carlos Reinaldo Mendes, 2015, Alto da Boa Vista – Sorocaba – SP.  
Tel. (15) 32282366  
e-mail: [mauropancera@iq.com.br](mailto:mauropancera@iq.com.br)