

REDUÇÃO DO ÍNDICE DE DEFEITOS SUPERFICIAIS EM TUBOS SEM COSTURA LAMINADOS A QUENTE ¹

Oswaldo Alves Ferreira Neto ²
Leonardo Luiz Siqueira Mathias ³
Fabrício Batista Vieira ⁴
César Nery de Abreu ⁵
Hélio Rezende ⁶
Luís Carlos de Mendonça ⁷

Resumo

No primeiro semestre de 2003, o índice de rejeição de tubos produzidos na Laminação Automática cresceu abruptamente, devido à ocorrência de defeitos que, em geral, apresentavam um aspecto comum que mostrava a extensa sobreposição de uma parte da superfície do tubo sobre a outra. Esses defeitos são conhecidos como “dobras de matéria-prima”. Após análises realizadas em amostras, foi constatado que tais defeitos ocorriam graças a outras irregularidades pré-existentes ao processo de laminação, em especial à qualidade superficial das barras lingotadas. A partir daí, foram avaliados vários fatores que poderiam prejudicar a qualidade superficial dos produtos lingotados e levar à conseqüente geração de dobras na laminação. Chegou-se à conclusão de que a presença de trincas longitudinais em barras lingotadas e variação irregular do nível do aço no molde eram causas fundamentais da geração de dobras na laminação. Para que as causas fossem minimizadas, foram sugeridos a adoção de diferentes práticas na produção e lingotamento do aço, como escolha de pós-fluxantes, uso de sucata apropriada e manutenção periódica da máquina de lingotamento contínuo.

Palavras-chave: Aciaria; Trincas longitudinais em barras; Dobras de matéria-prima.

REDUCTION OF THE INCIDENCE OF SUPERFICIAL DEFECTS IN SEAMLESS HOT ROLLED TUBES

Abstract

In the first semester of 2003, the incidence of rejection of tubes produced in the Automatic Rolling Plant grew abruptly, due to occurrence of defects that, in general, presented a common aspect that showed the extensive overlapping of one part of the surface of the pipe on the other. These defects are known as "raw material folds". After analyses carried through in samples, it was evidenced that such defects occurred due to other preexisting irregularities in the rolling process, in special in the superficial quality of the casted bars. From there, some factors that could harm the superficial quality of the casted bars produced and lead to a consequent generation of folds during the rolling process, had been evaluated. It has been concluded that the presence of longitudinal cracks in casted bars and irregular variation of the level of steel in the mold of casting were basic causes of the generation of folds in the lamination and, so for minimizing the causes, it was suggested the adoption of different practical in the production and casting of the steel, such as choice of casting powder, appropriate scrap iron used and periodic maintenance of the machine of continuous casting.

Key words: Steelmaking; Longitudinal cracks in casted bars; Raw material folds

¹ Trabalho apresentado no XXXVII Seminário de Aciaria - Internacional, 21 a 24 de maio de 2006, Porto Alegre, RS

² Engenheiro Metalurgista, Departamento de Pesquisa & Desenvolvimento da Área Siderúrgica da V&M do BRASIL S.A.

³ Engenheiro Metalurgista, Universidade Federal de Minas Gerais.

⁴ Engenheiro Metalurgista, M. Sc., Departamento de Aciaria da V&M do BRASIL S.A.

⁵ Engenheiro Civil, Departamento de Aciaria da V&M do BRASIL S.A.

⁶ Engenheiro Metalurgista, Gerente do Departamento de Aciaria, V&M do BRASIL S.A

⁷ Estagiário de Engenharia Metalúrgica, Departamento de Pesquisa & Desenvolvimento da Área Siderúrgica da V&M do BRASIL S.A

1 INTRODUÇÃO

1.1 Laminação Automática

A Laminação Automática produz tubos na faixa de bitola de 168,3 a 355,6mm (6" a 14"), parede de 5,60 a 38,0mm e comprimento de 6,0 a 14,5m. No processo de produção, barras de 1,98m a 6,30m de comprimento, são aquecidas em um forno rotativo, a uma temperatura de 1280°C. Depois de aquecidas, as barras são perfuradas e alongadas em um laminador oblíquo.

A Laminação Automática utiliza, como matéria prima para confecção de tubos sem costura, blocos ajustados nas bitolas 180mm, 194mm e 230mm.

As ocorrências de desvios de qualidade que podem ser detectadas nos tubos são subdivididas nas seguintes categorias:

- Defeitos internos:
 - buraco, risco, ondulação, outros;
- Defeitos externos:
 - Trinca;
 - Dobra de laminação;
 - Dobra de matéria prima;
 - Defeitos mecânicos a quente/frio, buraco, espiral, ondulação;
- Inclusão;

Neste trabalho é apresentado o procedimento de melhoria para a redução do índice de defeitos em produtos laminados a quente (*dobras por matéria-prima*), no setor de Laminação Automática. Esses defeitos são apontados como apresentando sua origem na matéria prima processada.

1.2 Descrição/Características de uma Dobra

A caracterização de uma dobra, de uma forma mais ampla, pode ser feita através de análises macroscópicas e metalográficas. De uma forma geral, as dobras apresentam um aspecto comum que mostra a sobreposição de uma parte da superfície do tubo sobre a outra. A visão macroscópica de uma dobra é mostrada na Figura 1 (a). Normalmente, por experiência, os defeitos muito extensos nos laminados são atribuídos à matéria-prima processada (tarugos ou barras de lingotamento contínuo). A caracterização de defeitos como pré-existentes ao processo de laminação é feita através de análises metalográficas (Figura 1 (b)). A principal característica da dobra de matéria-prima é a descarbonetação devido à exposição à atmosfera oxidante durante o reaquecimento nos fornos de laminação. Outra característica importante no defeito (dobra) presente no tubo é a isenção de elementos fragilizantes (inclusões) em seu interior.

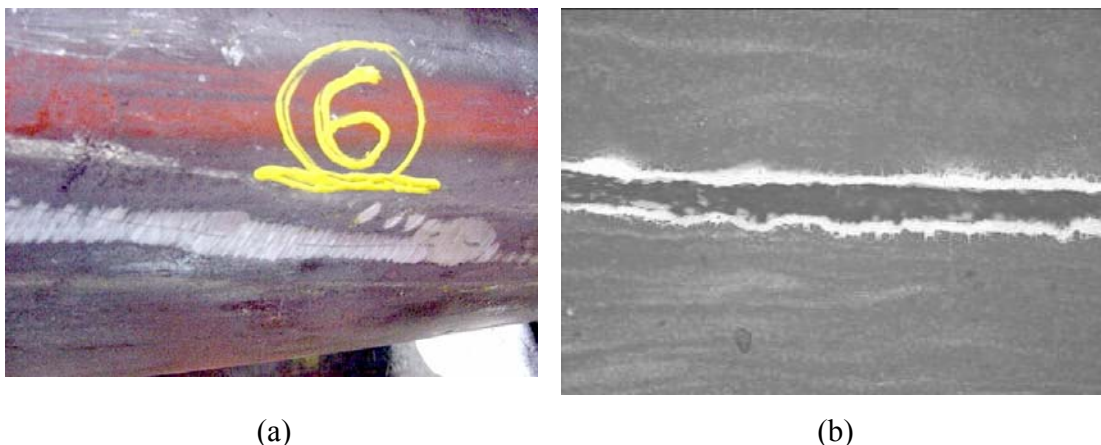


Figura 1. (a) Tubo do aço N80 produzido na Laminação Automática, demonstrando a ocorrência de dobra de matéria prima com esmerilhamento.; (b) Visão micrográfica da dobra, ataque com cromato alcalino, ampliação 256X.

2 METODOLOGIA

2.1 A Inter-relação entre Dobras de Matéria Prima nos Tubos Laminados e a Ocorrência de Trincas Longitudinais em Barras Lingotadas

Durante os meses de março, abril, maio e junho de 2003 as ocorrências de dobras de matéria-prima na laminação automática, com uma maior quantidade de tubos sucataados, tornaram-se muito freqüentes. No mesmo período, as ocorrências de trincas longitudinais nas barras lingotadas tornaram-se também mais intensas. A inspeção visual realizada nas barras lingotadas detectou maiores quantidades de trincas longitudinais nos aços médio carbono e alto manganês.

Para tentar levantar algumas causas do aparecimento de dobras de matéria-prima, foi realizada uma experiência de laminação de tubos a partir de barras com trincas longitudinais, detectadas nas inspeções de produções de aços.

A experiência revelou que houve o aparecimento de dobras em todos os tubos cujas barras apresentavam trincas, enquanto que, nas barras sem defeitos, as dobras não ocorreram. Com isso, ficou comprovada a hipótese de que o aparecimento de trincas longitudinais nas barras lingotadas é uma das causas diretas da ocorrência de dobras no processo de laminação de tubos.

Dessa forma, todo o trabalho passou a ser focado nas causas que poderiam levar a ocorrências de trincas longitudinais nas barras lingotadas visando dessa forma reduzir as incidências de dobras de matéria-prima na Laminação Automática.

2.2 Análise do Processo

Diversas podem ser as causas da ocorrência de trincas nas barras lingotadas. Na Figura 2 observa-se um diagrama de causa e efeito para o aparecimento de trincas, construído através de um *brainstorming*.

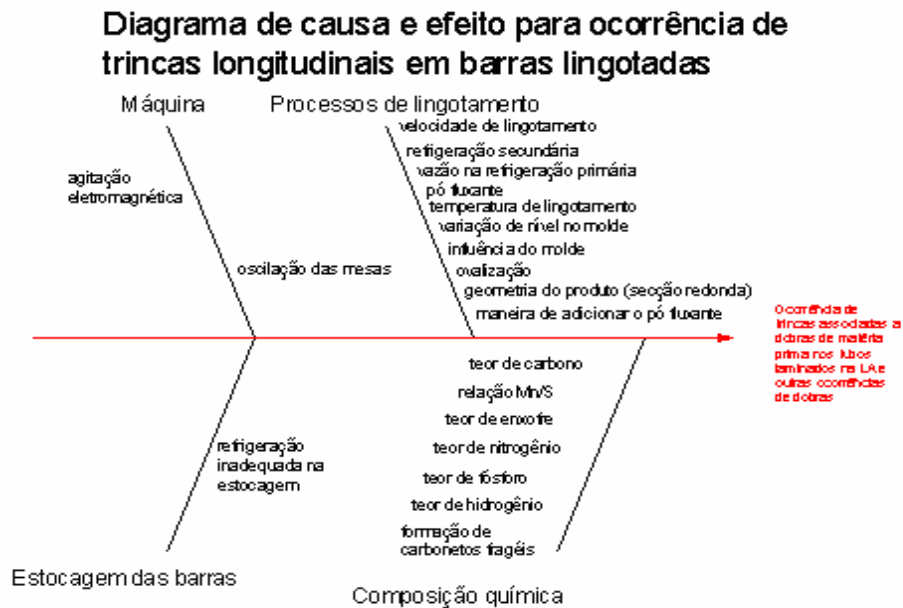


Figura 2. Diagrama de causa e efeito para a ocorrência de trincas longitudinais em barras lingotadas.

Procurou-se comprovar, mediante diversos experimentos, a relação causa e efeito dos diversos fatores aparentes listados no Diagrama de Ishikawa da figura 2 a fim de determinar as reais causas fundamentais da ocorrência de trinca longitudinal nas barras lingotadas e sua correspondente relação com as ocorrências de dobras nos produtos laminados.

2.2.1 Ovalização

As barras lingotadas da V & M do BRASIL possuem geometria cilíndrica. A ovalização ocorre quando a seção da barra possui variações quanto ao seu diâmetro, fazendo com que ela tenha um aspecto ligeiramente elíptico. O limite máximo de ovalização permitido para liberação das barras para laminação é de 2,4%. Realizou-se uma experiência com um lote de barras lingotadas, que apresentavam ovalização acima de 2,4%, e amassamento, com ausência de trincas longitudinais. As barras com até 4,5% de ovalização relativa foram enviadas à Laminação Automática para laminação experimental.

Não foram constatadas dobras após a laminação dessas barras para redução de diâmetro. As barras então foram liberadas para a Laminação Automática, e não houve registro de aparecimento de dobras.

2.2.2 Tipo de pó fluxante

Apenas um mesmo tipo de pó fluxante era utilizado para qualquer qualidade de aço produzida, porém a mudança da utilização do pó palpável 18 NV pelo pó esférico 512 SV DS havia ocorrido recentemente com o objetivo de diminuir o

desgaste das válvulas submersas, e assim aumentar o número de corridas por seqüencial. Com o agravamento do aparecimento das dobras, uma tentativa de mudança do pó fluxante para as qualidades com elevada indicação de dobras foi feita, qualidades essas que também apresentaram elevadas ocorrências de trincas. Retornou-se ao uso do pó fluxante de menor viscosidade, o que diminuiu imediatamente o aparecimento das trincas longitudinais nas barras lingotadas e também a grande ocorrência de dobras de matéria-prima nos tubos.

A partir dessa constatação de causa e efeito, elaborou-se a padronização da utilização de diferentes pós fluxantes para as diferentes qualidades de aço, a fim de evitar a ocorrência de trincas em barras e conseqüentemente dobras em tubos.

2.2.3 Amplitude elevada na variação de nível de aço

Durante inspeção de barras, o setor de Ajustagem detectou um número excessivo de defeitos (incrustação de pó), somente em barras do veio 4. Após sucateamento das barras defeituosas, as barras dadas como conformes foram liberadas normalmente para o processo de laminação gerando também elevado número de defeitos nos tubos laminados.

Após o rastreamento de informações sobre o processo produtivo, os gráficos de controle de nível do Lingotamento Contínuo, apresentaram uma irregularidade. Detectou-se que a amplitude do controle de nível do veio 4 estava visivelmente maior que as dos demais, sendo 4 mm para o veio 1, 6 mm para os veios 2 e 3, e 18 mm para o veio 4. Assim, fica comprovada a evidência de que a amplitude elevada do controle de nível é uma causa de problemas de qualidade nas barras que também pode levar a geração de defeitos nos tubos.

2.2.4 Irregularidades na refrigeração secundária

Durante a inspeção via método eletro-magnético, foram detectadas dobras de matéria-prima em corridas do aço 41B30H. O defeito foi evidenciado na amostra fornecida ao setor de Qualidade da Aciaria e se apresentou como uma dobra espiral curta.

Após o levantamento das informações referentes ao processo de fabricação do aço, constatou-se que houve irregularidades no equipamento de refrigeração secundária (denominada *câmara de spray*) do Lingotamento Contínuo. Ao verificar o checklist da câmara de spray, foi verificado que o equipamento possuía bicos entupidos em segmentos dos veios 2 (A e B) e 4 (A). Uma anormalidade desse tipo acarreta num resfriamento irregular das barras no lingotamento, favorecendo a solidificação em regiões onde o funcionamento dos bicos de spray é satisfatório. Esse fenômeno pode gerar trincas internas e externas nas barras, e também é apontado como um dos fatores que favorecem o aparecimento de dobras na laminação a partir de suas trincas.

2.2.5 Influência de composição química dos aços

Os tubos dos aços de qualidade VMB250 COR e VMB350 COR são produzidos para aplicações estruturais na construção civil. Eles são laminados e logo após

são transformados em perfis quadrados. Acreditava-se que defeitos superficiais nos perfis, detectados após inspeção, fossem causados pela presença do elemento cobre em alta concentração no aço, além da utilização de sucata de cobre imprópria para uso (elevados teores de Sn e Zn). A análise química da sucata utilizada para a produção do aço VMB350 COR está disposta na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química da sucata utilizada na produção do aço VMB350 COR

Zn	Sn	Pb	Cu	Fe	Al	Ni
37,87	0,11	2,76	58,51	Residual	Residual	Residual

Com a substituição dessa sucata por uma outra somente constituída à base de fios de cobre (cobre eletrolítico, 99% puro, livre de Sn e outros elementos), juntamente com adições de Ni (0,15%), os defeitos foram praticamente eliminados, pois o Ni, em certas quantidades, inibe a ação fragilizante do cobre.

2.2.6 Variação irregular de nível de aço no molde

Esse fator é considerado como altamente relacionado com a qualidade superficial das barras produzidas por diversos casos já registrados. Um exemplo claro dessa relação de causa e efeito é mostrado a seguir na fabricação do aço N80, na bitola 194 mm, em que fortes variações de nível de aço no molde foram verificadas. A tabela abaixo demonstra o resultado da inspeção de qualidade dos tubos pelo método eletro-magnético na Laminação Automática.

Tabela 2. Resultado da inspeção dos tubos laminados na Laminação Automática

datarot	aco	corrida	diametr	parede	ttuboind	ttuboins	ttuborec	ttuborej	dompinc	domprec	domprej
9/5/1903	N80	58331	244,5	10,03	30	93	2	5	10	0	3
10/5/1903	N80	58332	244,5	10,03	25	93	0	6	7	0	1
10/5/1903	N80	58333	244,5	10,03	10	90	0	2	0	0	0
8/5/1903	N80	58334	244,5	10,03	36	86	0	4	1	0	0
8/5/1903	N80	58335	244,5	10,03	12	41	0	0	0	0	0
8/5/1903	N80	58336	244,5	10,03	7	15	0	0	0	0	0
9/5/1903	N80	58336	244,5	10,03	16	39	0	2	0	0	0
Totais					136	457	2	19	18	0	4
Percentuais					29,76	-	0,44	4,16	3,94	0	0,88

Observa-se que o índice de indicação de tubos por dobra de matéria-prima foi alto, ultrapassando o limite máximo estabelecido como aceitável (1,41%).

2.2.7 Influência do molde de lingotamento

Até então, a influência das condições superficiais dos moldes de lingotamento contínuo não era bem conhecida. Foram encontradas trincas longitudinais em 06 barras de uma produção de aços. Após a laminação dessas barras foi constatado excesso de dobras superficiais. Ao inspecionar os blocos remanescentes, detectou-se que as trincas apareciam associadas ao um friso contínuo nos blocos, que também foram observados nas 06 barras citadas anteriormente.

Após investigação, foi encontrado um defeito no interior do molde usado nas corridas relacionadas a essas barras.

As barras defeituosas foram separadas em grupos, de acordo com a característica do defeito apresentado. Desses grupos foram retirados alguns blocos, que foram enviados para os setores de laminação para testes.

Realizou-se uma experiência, que teve como objetivo avaliar o resultado, após laminação, de uma corrida com 15 blocos isentos de defeitos superficiais a olho nu e outra corrida com 6 blocos que apresentaram frisos longitudinais.

Os tubos produzidos a partir das barras da experiência não apresentaram dobras. De acordo com os resultados apurados, acredita-se que as trincas e os frisos possivelmente ocorridos e não detectados em outros blocos produzidos possam ter sido leves, e assim não causaram dobras de matéria-prima nos produtos laminados. Porém acredita-se que defeitos de maiores proporções nas paredes dos moldes têm um potencial elevado para a geração de trincas na superfície de barras lingotadas que podem vir a comprometer a utilização desses produtos em processos de conformação mecânica a quente.

2.2.8 Influência da agitação magnética no segmento

Objetivando melhorar as condições de refrigeração das barras lingotadas, seria necessário modificar o posicionamento dos agitadores eletromagnéticos inferiores na máquina de lingotamento contínuo. Assim testou-se o seu desligamento em diversas qualidades produzidas, nas bitolas 180 e 230mm, em uma série de experimentos para verificar a influência sobre a qualidade da superfície interna dos tubos laminados a partir de barras submetidas a esse experimento.

As tabelas a seguir revelam o resultado da experiência.

Tabela 3. Resultado da laminação de tubos na LA, das diversas qualidades produzidas para o teste de agitação eletromagnética na bitola 230 mm

Laminação LA							
Ligado				Desligado			
Corrida	Qualidade	nº tubos inspecionados	nº tubos com defeitos internos	Corrida	Qualidade	nº tubos inspecionados	nº tubos com defeitos internos
45477	41B30HM	7	0	45478	41B30HM	9	0
45479	41B30HM	12	1	45480	41B30HM	18	0
45526	K55	14	0	45527	K55	14	0
45528	K55	16	0	45529	K55	14	0
45530	K55	12	1	45531	K55	14	0
45532	K55	15	0	45533	K55	12	0
45534	K55	20	0	45535	K55	20	0
45536	K55	18	0	45537	K55	10	1
45538	K55	3	0	45539	K55	6	0

Tabela 4. Resultado da laminação de tubos na LA, das diversas qualidades produzidas para o teste de agitação eletromagnética na bitola 180 mm

Laminação LA							
Ligado				Desligado			
Corrida	Qualidade	nº tubos inspecionados	nº tubos com defeitos internos	Corrida	Qualidade	nº tubos inspecionados	nº tubos com defeitos internos
45455	K55	17	0	45456	K55	16	0
45475	15B24H	2	0	45476	15B24H	9	0
45616	N80	24	0	45615	N80	28	1
45618	N80	20	1	45617	N80	4	0
45620	N80	16	0	45619	N80	16	0

Observa-se, no entanto, que o efeito da agitação eletromagnética não é significativo, pois, em ambos os testes, quase nenhum defeito interno foi constatado. Tanto para a bitola de 230 mm como para a bitola 180mm não houve diferença entre os resultados, sendo assim, pode-se concluir que a agitação eletromagnética no segmento não é um fator relevante para as ocorrências de dobras internas nos tubos produzidos na LA.

2.3 Avaliação da Taxa de Retorno Econômico da Solução

Com a implementação do projeto, o índice de rejeição de tubos sofreu um decréscimo acentuado, conforme mostra a figura abaixo.



Figura 7. Evolução do índice de tubos sucitados com a implementação do projeto no período entre janeiro de 2003 e janeiro de 2005

3 CONCLUSÕES

Após a explanação dos casos anteriormente descritos, pode-se chegar às seguintes conclusões:

- A geração de dobras de matéria-prima nos tubos laminados tem duas causas fundamentais: ocorrência de trincas longitudinais nas barras lingotadas e variação irregular do nível de aço no molde;
- Barras ovalizadas cuja ovalização atingiu até 4,5% não provocam o aparecimento de dobras de matéria prima na laminação para aços comuns. As dobras ocorrem se, por ventura, as barras ovalizadas estiverem acompanhadas de trincas;

- É necessário conhecer previamente as características do aço a ser lingotado (se o aço tem tendência a agarramento, por exemplo), para se determinar o tipo de pó fluxante a ser utilizado para o lingotamento. A natureza de um pó fluxante pode interferir na taxa de transferência de calor do aço para o molde originando trincas longitudinais nas barras lingotadas;
- O trabalho de manutenção preventiva e os cuidados com os equipamentos durante a operação são fundamentais para se garantir o perfeito funcionamento de todo o sistema de controle de nível de aço no molde;
- É muito importante a manutenção constante da câmara de spray, a fim de evitar a refrigeração irregular da superfície das barras, o que pode ocasionar trincas longitudinais nos produtos lingotados;
- Os insumos utilizados para a fabricação de aço influem significativamente na qualidade do mesmo. O tipo de sucata de cobre deve ser devidamente selecionado, pois insumos impuros – com presença de estanho - podem ser nocivos à qualidade do aço produzido e gerar elevada quantidade de trincas longitudinais e outros defeitos que não podem ser detectados durante a inspeção visual. Esses defeitos podem gerar o padrão típico de dobras de matéria-prima após laminação;
- Os moldes de lingotamento devem ser verificados minuciosamente quanto às suas condições internas (presença de imperfeições, material incrustado ou se há defeitos no recobrimento de cobre).

REFERÊNCIAS

- 1 AZEVEDO, F. R. C. **Metalografia e análise de falhas**: Casos selecionados (1933-2003). São paulo: IPT, 2004.
- 2 SCHWERDTFEGGER, K. Short course on quality control in continuous casting. Belo Horizonte; AISIT, 2004