

REDUÇÃO SUCATA DE QUALIDADE POR EMPENO EM BARRA CHATA MOLA¹

Rodrigo Luiz Gobbi do Nascimento²

Jéveson Batista dos Santos³

Marco Aurélio Silva⁴

Alexandre Carlos Domingues Vasconcelos⁵

Resumo

Neste trabalho analisaram-se os fatores que influenciam na geração do empeno da barra chata produzida na especificação SAE 5160 empregada na produção feixe de molas, estruturas metálicas para construção civil, implementos agrícolas etc. O empeno causa inúmeros problemas operacionais durante o processo de laminação, além de ser um fator limitante para atender os requisitos de qualidade demandada pelo mercado. A metodologia utilizada (MASP) envolveu a caracterização do defeito, análise do fenômeno na área, levantamento das causas fundamentais e plano de ação. Dentre as ações realizadas que permitiu a obtenção redução de empeno da barra chata laminada em 68%, destacam-se a proteção lateral e cobertura do leito de resfriamento, sobreposição de duas barras nos pentes do leito de resfriamento e alteração dos parâmetros críticos de produção.

Palavras-chave: Empeno; Barra chata; Sucata.

REDUCTION OF WARPING IN SPRING STEEL FLAT BARS

Abstract

The purpose of this paper was analyze the factors that influence the generation of warping in flat bar produced in the specification SAE 5160 used to produce springs, metal structures for civil construction, agricultural implements etc. The warping causes numerous operational problems during the rolling mill process, besides being a limiting factor to meet the quality requirements demanded by the market. The methodology used (MASP) involved the characterization of the defect, analysis of the phenomenon in the production area, analysis of root causes and action plan. Among the actions taken which has resulted in reduction of warping flat bar by 68%, it is highlighted: side protection and coverage of the cooling bed, two overlapping bars in combs of the cooling bed and modification of critical production parameters.

Key words: Warping; Flat bar; Cobble.

¹ Contribuição técnica ao 49º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 22 a 25 de outubro de 2012, Vila Velha, ES, Brasil.

² Técnico de Processo – ArcelorMittal Cariacica.

³ Especialista de Produtos – ArcelorMittal Cariacica.

⁴ Gerente de Engenharia de Manutenção – ArcelorMittal Cariacica.

⁵ Supervisor do Laminador Leve – ArcelorMittal Cariacica.

1 INTRODUÇÃO

Na laminação podem-se classificar os defeitos em estruturais, superficiais e de forma. Entre os defeitos de forma mais comuns são ondulação e empeno. Este último defeito de forma caracteriza-se por um desvio lateral de retinidade da barra que se origina no processo de produção e que, quando não é passível de recuperação via endireitadeira, leva ao sucateamento ou mesmo à reclamação de clientes quando não detectado pela inspeção.

As normas de produtos especificam valor máximo para empeno. No caso da barra chata (BCH) o valor máximo especificado é 2 mm/m, ou seja, não pode haver uma flecha total maior que 12 mm em uma barra de 6 m e também não pode ser encontrado empeno localizado maior que 2 mm em cada metro.

As barras mostradas abaixo na figura 1 apresentam empeno grosseiro acima dos valores especificados e tolerados pelas normas e clientes.



Figura 1. Empeno em barra chata durante resfriamento no leito.

Neste trabalho foi utilizada a ferramenta MASP – Metodologia de Análise e Solução de Problemas, objetivando a redução de ocorrência deste defeito durante a laminação das barras chatas SAE 5160, atendendo às especificações técnicas dos clientes e das normas de forma padronizada e segura.

1.1 Revisão Bibliográfica

Diversos modelos matemáticos têm sido utilizados no intuito de prever a estrutura final do material e, conseqüentemente, as suas propriedades mecânicas. Estes estudos levam em consideração diversas etapas do processo de laminação, iniciando-se no forno de reaquecimento, trem de laminação e, por fim, o leito de resfriamento, sendo este último de grande importância, pois grande parte dos produtos laminados a quente são resfriados em barras retas sobre leitos de resfriamento.⁽¹⁾

Nesta última etapa do processo, os modelos matemáticos levam em consideração comprimento das zonas de resfriamento, os diagramas de resfriamento contínuo dos aços e o processo de transferência de calor no intuito de prever a microestrutura do produto laminado.^(1,2)

O processo de transferência de calor durante o resfriamento do produto laminado ocorre a partir de sua superfície através dos fenômenos de convecção, radiação e condução.

O resfriamento não é, geralmente, homogêneo ao longo da seção e comprimento do produto.

Observou-se o efeito do resfriamento não homogêneo durante a produção de vergalhão pelo processo *thermex*, no qual detectou uma diferença nas propriedades mecânicas (alongamento, limite de resistência e limite de escoamento) nas extremidades das barras, oriunda da diferença de temperatura, onde as pontas das barras são mais frias em relação ao restante do produto.⁽³⁾

Efeito semelhante também foi observado em outros estudos que durante o processo de resfriamento de tubos, em leito de resfriamento e após o processo de têmpera, uma distribuição heterogênea da temperatura ao longo do produto era capaz de gerar tensões residuais que, se excederem o limite de escoamento, ocasionarão deformações plásticas (empenamento).^(4,5)

As tensões residuais podem ser de origem térmica e de transformações de fase. As tensões de origem térmica são tensões que surgem numa peça devido a gradientes de temperatura, que podem levar à deformação plástica inesperada ou fratura.^(6,7) As tensões provenientes das transformações de fases produzem variações de volume tanto mais sensíveis quanto mais drásticas as condições de resfriamento e mais complexas as formas das peças.⁽⁷⁾

2 METODOLOGIA

A metodologia empregada para análise da ocorrência de empeno, visando adotar medidas para evitar ou minimizar o surgimento deste defeito foi o MASP - Metodologia de Análise e Solução de Problemas de acordo com as etapas abaixo:

- *Identificação do problema:* Nesta etapa houve o levantamento dos dados históricos referente à quantidade de produto sucateado por empeno em relação à quantidade produzida, de janeiro a dezembro de 2010. Além disso, foi feita uma estratificação do defeito empeno por tipo de produto/aço.
- *Análise de Fenômeno:* Nesta etapa, o defeito de empeno foi estratificado por espessura e análise do problema na área de produção;
- *Análise de Processo:* Foi utilizada a ferramenta *Brainstorming* a fim de detectar as principais causas de ocorrência do defeito;
- *Plano de ação:* Após a definição das principais causas do defeito, elaborou-se o plano de ação contendo as principais medidas para redução de empeno em barra chata SAE 5160 na Linha Leve.

2.1 Identificação do Problema

A Figura 2 apresenta a evolução do índice de sucata por empeno na Linha Leve, de janeiro a dezembro de 2010. Observe que há uma redução no índice a partir de março com estabilidade até outubro, subindo a partir de novembro até alcançar o máximo realizado ao longo de todo o ano, em dezembro.

Índice de sucata na Linha Leve por Empeno (%)
 $\text{Índice}_{EP} = 100 \cdot \text{peso sucata} / \text{peso produzido no período}$
 2010



Figura 2. Evolução da sucata por empeno na Linha Leve em 2010

A Figura 3 mostra a estratificação da sucata por empeno por tipo de produto, onde 59,7% estão concentradas em barra chata SAE 5160 (BCH Mola).

Sucata na Linha Leve por Empeno por Produto
 Produção 2010

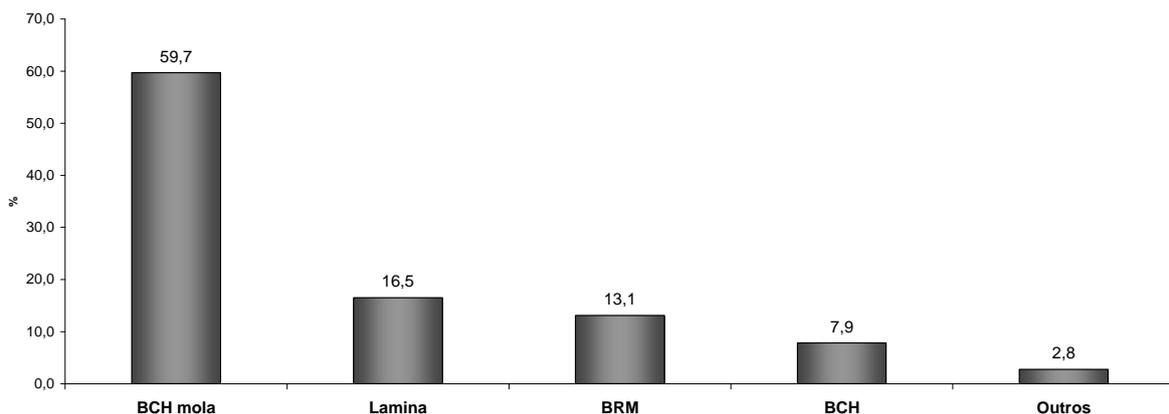


Figura 3. Evolução da sucata por empeno por tipo de produto na Linha Leve em 2010

2.2. Análise de Fenômeno

Na etapa de análise de fenômeno foi realizada a estratificação da ocorrência do defeito empeno por espessura e observação do defeito na área.

2.2.1 Estratificação por espessura

Na estratificação por espessura nota-se que 61,5% das ocorrências do defeito estiveram presentes na faixa de espessura menor ou igual a 11 mm, conforme Figura 4.

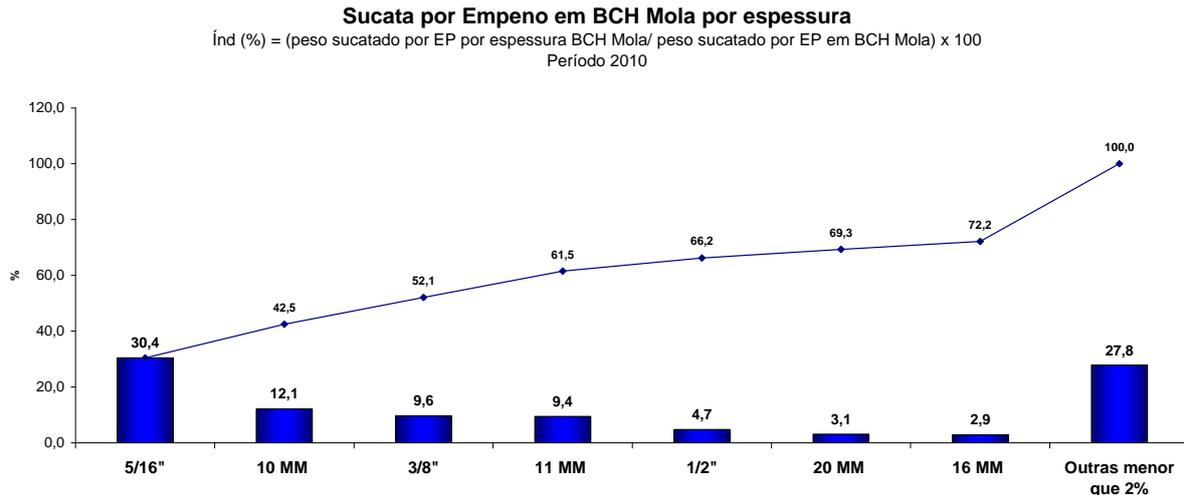


Figura 4. Sucata por empeno em BCH Mola por espessura.

2.2.2 Observação do defeito na área

Foram observados durante o processo de laminação os seguintes fenômenos:

- (a) **Contração da barra:** Devido à perda de temperatura, mostrada na Figura 5.



Figura 5. Contração da barra no leito de resfriamento.

- (b) **Dilatação da barra:** Na transformação de fase, ocorre a dilatação da barra, que pode encontrar qualquer obstáculo (pentes, calha fixa, borra de maçarico) que impeça o seu movimento ocasionando o empeno, conforme Figura 6.
- (c) **Contração da barra:** Ocorre uma contração da barra, porém com menor intensidade com relação às etapas anteriores, também mostrada na Figura 6.

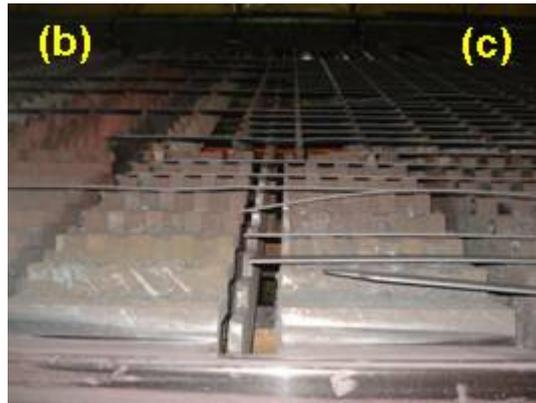


Figura 6. Dilatação e contração da barra no leito de resfriamento.

Após a ocorrência dos fenômenos físicos apresentados acima, o resultado final da barra é um empeno localizado na extremidade, conforme apresentado na Figura 7.



Figura 7. Resultado da dilatação e contração do material no leito de resfriamento.

Além disso, ainda foram verificados os seguintes pontos:

- ao caminhar sob o leito nota-se que a região próxima a grelha fixa está quente e em direção ao carro transferidor a sensação de calor vai diminuindo sendo que próximo às extremidades do leito, já se encontra frio;
- barras com diferenças de espessura entre um lado e outro (redução irregular) empenam;
- barras com temperatura irregular ao longo das mesmas empenam;
- tesoura 2 acoplada / desacoplada causa amassamento da ponta das barras e gera empeno;
- ar saindo da T2 em direção ao leito de resfriamento causa empeno;
- existe corrente de ar frio vindo da linha média – áreas desprotegidas;
- o leito apresenta resfriamento irregular;
- pentes dos leitos desalinhados causam empeno; e
- borra de oxicorte na área de amostragem causam empeno.

2.3 Análise de Processo

Com o intuito de verificar as possíveis causas foi realizado um Brainstorming e as causas fundamentais foram dispostas no Diagrama de Ishikawa, conforme Figura 8.

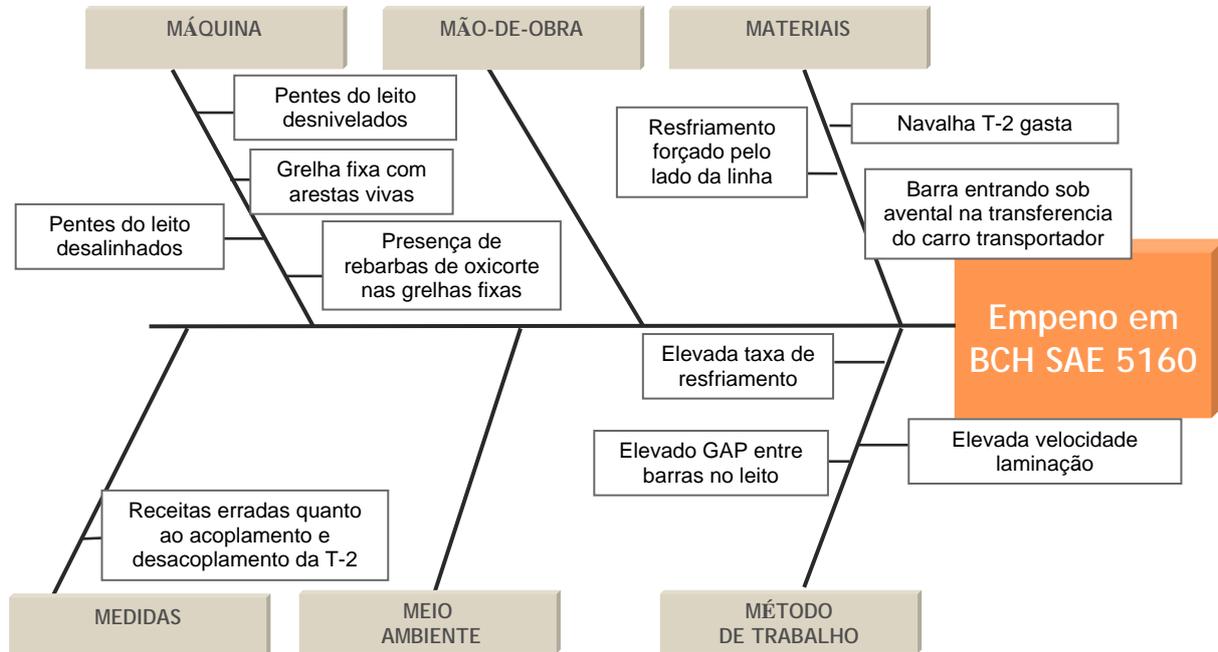


Figura 8. Diagrama de Ishikawa para o defeito empeno em barra chata SAE 5160.

2.4 Plano de ação e Resultados finais

Segue abaixo as principais ações tomadas para redução do defeito empeno:

- analisar a viabilidade técnica para alterar o atual sistema de troca de curva de reaquecimento (sistema automático de troca);
- atualizar padrão, acrescentando o sistema de troca automática de curva de reaquecimento, momento de troca de curvas e treinar os operadores do posto central;
- padronizar a rotina de limpeza das grelhas próximo a área de retirada de amostras;
- realizar alinhamento e nivelamento do leito de resfriamento (pentes, grelha e rolo alinhador);
- realizar topografia no leito e definir frequência de alinhamento e nivelamento do leito, elaborando plano de manutenção preventiva;
- colocar chapa de alumínio na lateral do leito, próximo a oficina de guias da posição 01 à 48;
- efetuar estudo de posição de parada para colocação de duas barras no leito.
- realizar teste de colocação de duas barras por pente no leito de resfriamento, nas bitolas 2.1/2 x 5/16", 2.1/2 x 1/4", 60 x 8, 60 x 9, 2.1/4 x 5/16" e 2.1/4 x 1/4";
- confeccionar guia específica na tesoura 3 para separação de barras que serão dobradas no leito de resfriamento;

- alterar desenho do perfil de corte da navalha da tesoura 2 da barra chata fina do grupo 2a e 2b (estreita e fina);
- calcular e revisar o comprimento dos tarugos eliminando, se possível, peças desiguais no leito de resfriamento;
- identificar as bitolas de barra chata sae 5160 com calibração em canto vivo, e alterá-las para raio metade; e
- analisar as aberturas das guias de entrada do acabador nas barras chatas dos grupos 2C (larga), e reduzir as aberturas para eliminar torção de cabeça.

A Figura 9 apresenta o resultado da sucata de qualidade em barra chata SAE 5160 por empeno na Linha Leve após a execução do plano de ação.

Índice de Sucata na Linha Leve por Empeno em BCH mola

$\text{Índice}_{EP} = 100 \cdot \text{peso sucata} / \text{peso produzido no período}$
2011

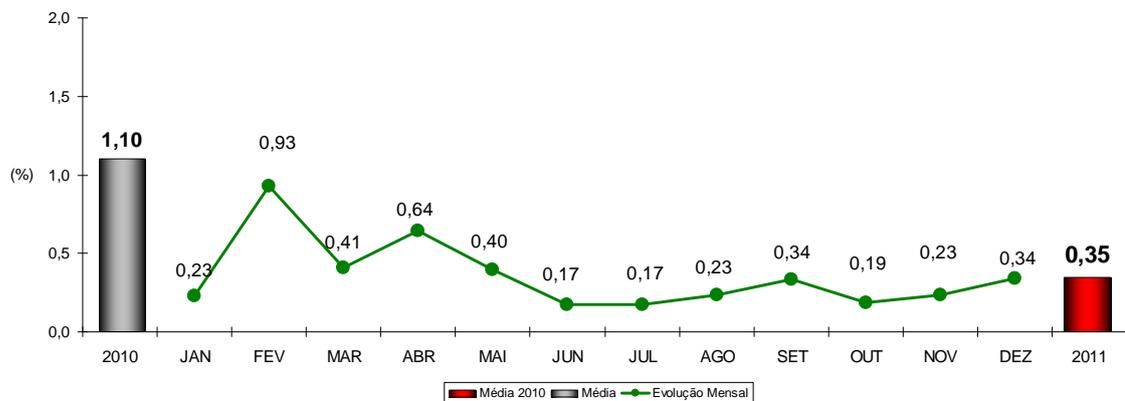


Figura 9 - Evolução da sucata por empeno em BCH SAE 5160 na Linha Leve em 2011.

E, a Figura 10 mostra o resultado da redução da sucata em barra chata SAE 5160, mostrada acima, contribuiu significativamente para a redução da sucata por empeno geral da Linha Leve em 2011.

Índice de sucata na Linha Leve por Empeno (%)

$\text{Índice}_{EP} = 100 \cdot \text{peso sucata} / \text{peso produzido no período}$
2011

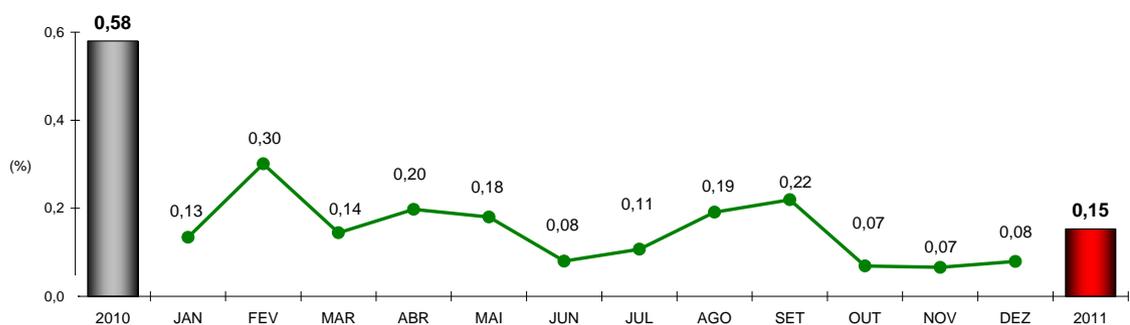


Figura 10 - Evolução da sucata por empeno na Linha Leve em 2011.

3 CONCLUSÃO

O projeto proporcionou uma redução de 68% no índice de sucata por empeno em barra chata SAE 5160 em relação a 2010, além de uma redução no empeno geral da Linha Leve de 74%.

Destacam-se ainda outros ganhos como: aumento da performance do laminador, redução de paradas operacionais, redução de retrabalho para desempenho das barras, aumento da satisfação dos clientes, redução de risco de acidentes devido à exposição dos operadores para ajuste do laminador, aumento do atendimento ao programa de produção, e aumento da competitividade da usina, por meio da redução dos custos variáveis.

Agradecimentos

Os autores agradecem às equipes de operação e manutenção pelo apoio na realização do trabalho e pelos excelentes resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

- 1 ANELLI, E., Application of Mathematical Modelling to Hot Rolling and Controlled Cooling of Wire Rods and Bars, ISIJ, v. 32, Nº 3, p. 440-449, 1992.
- 2 PADILHA, A.F; SICILIANO J.R. Encruamento, Recristalização, Crescimento de grão e Textura, São Paulo, Associação Brasileira de Metalurgia e Metais, 2005, 232 p.
- 3 ALVES FILHO, Cláudio Henrique Macedo. Análise da Influência da Taxa de Resfriamento no Gradiente Microestrutural de Barras Laminadas a Quente Tratadas Termicamente. 2004. 128 folhas. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Paraná, 2004.
- 4 DAMASCENO, Jorge. Modelagem Física, em Escala Real, do Processo de Resfriamento de Tubos em um Leito Contínuo. 2004. 61 folhas. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte, 2004.
- 5 PEIXOTO, R.G; ANDRADE, R.M. Metodologia para Análise de Tensões em Tubos de Aço no Processo Resfriamento em um Leito Contínuo. In: 60º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2005, Belo Horizonte, Brasil. Anais, 2005.
- 6 KRAUSS, G. Steels: Heat Treatment and Processing Principles. 2st ed., Colorado, ASM International, 1990, 496p.
- 7 CALLISTER, W.D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. Quinta Edição, Rio de Janeiro, Editora LTC, 2002, 578 p.