

REDUÇÃO DA OVALIZAÇÃO EM BOBINAS A QUENTE DE UM AÇO COM $C_{eq} \geq 0,58\%$ PRODUZIDO NO LTQ DA CST ¹

Sergio de Oliveira Lima Júnior ²

João Batista Ribeiro Martins ³

André Carvalho Prado ⁴

Luiz Fernando Silva Volpato ⁵

Caetano Nunes da Silva ⁶

Resumo

Com base na demanda de mercado interno de bobinas laminadas a quente, a CST iniciou em Janeiro de 2003 o desenvolvimento de aços médio C / alto Mn para atendimento ao mercado de relaminação. No entanto, estes aços durante a produção, na etapa de bobinamento, é submetido a condições similares ao tratamento usado para esferoidização da cementita na perlita, ou seja, aquecimento em torno da temperatura eutetóide Ar_1 . Esta condição favorece o coalescimento da cementita na perlita que reduz a resistência a quente destes aços. A redução da resistência é tão grande que dependendo do peso e da temperatura de extração na bobinadeira a mesma entra em colapso, não resistindo ao próprio peso. Esta condição gera um defeito de forma conhecido como ovalização devido ao formato oval que a bobina apresenta. A ovalização acarreta uma série de dificuldades operacionais que reduz a produtividade e aumenta o risco de quebra do equipamento, perdas devido a descartes de material ou até impedimento de processamento em linhas posteriores, gerando sucata do material. Este trabalho tem por objetivo apresentar a redução dos valores de ovalização conseguida através da análise do fenômeno do coalescimento no bobinamento e dos ajustes nas variáveis de processo que permitiram, mesmo com aumento do peso de bobina e redução da espessura laminada a quente.

Palavras-chave: Coalescimento; Cementita; Ovalização; Bobinas a quente.

¹ *Contribuição Técnica ao 42º Seminário de Laminação, Processos e Produtos Laminados e Revestidos, Santos, SP, 25 a 28 de Outubro de 2005*

² *Engenheiro Especialista em Controle Técnico de LTQ, CST, Vitória, ES*

³ *Engenheiro Especialista em Desenvolvimento de Produtos, CST, Vitória, ES*

⁴ *Engenheiro de Assistência Técnica a Clientes, CST, Vitória, ES*

⁵ *Gerente da Seção de Acabamento e Despacho de Bobinas da CST, Vitória, ES*

⁶ *Engenheiro Especialista em Controle Técnico de LTQ, CST, Vitória, ES*

1 INTRODUÇÃO: ANÁLISE DO FENÔMENO DE COALESCIMENTO

O coalescimento é um tratamento térmico de recozimento tradicional com a finalidade de obter carbonetos de ferro (Fe_3C) na forma esferoidal com o objetivo de reduzir a resistência mecânica e aumentar a ductilidade.⁽¹⁾ Usualmente é obtido através do aquecimento do aço em temperaturas próximas da temperatura eutetóide (Ar_1), seguido de resfriamento lento até a temperatura ambiente. A Figura 1 apresenta um ciclo térmico típico do tratamento de coalescimento da cementita para aços hipoeutetóide.⁽²⁾ Este coalescimento também é chamado de esferoidização da cementita formando uma microestrutura típica denominada de esferoidita, conforme mostra a Figura 2. Quando este coalescimento ocorre no final da laminação a quente, no momento da extração da bobina na bobinadeira, em temperaturas próximas à temperatura eutetóide (entre 550 a 700°C), facilita-se a ovalização das mesmas pela queda da resistência mecânica.⁽³⁾

A ovalização (OV) é avaliada através da diferença entre o diâmetro interno maior ($D_{\text{máx}}$) e o menor ($D_{\text{mín}}$) medidos em um dos dois lados da bobina, conforme a Equação 1. O valor da ovalização obtida na CST chegou a um valor máximo de 140mm.

$$\text{OV} = D_{\text{máx}} - D_{\text{mín}} \quad (\text{em milímetros}) \quad (1)$$

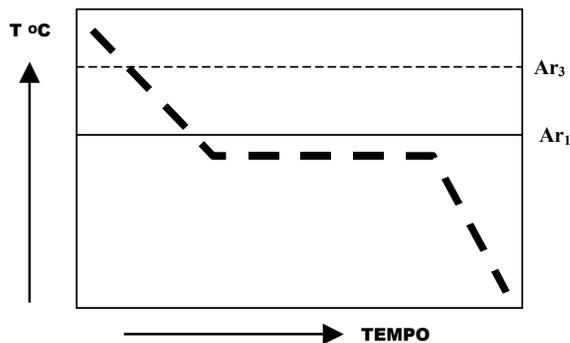


Figura 1. Condição de tratamento térmico utilizado para coalescimento da cementita.

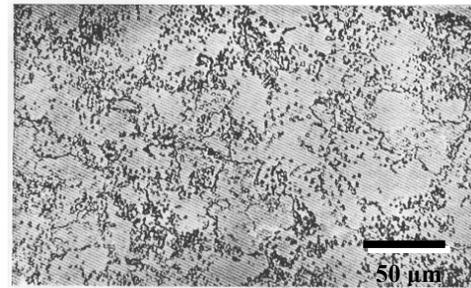


Figura 2. Microestrutura típica de carbonetos coalescidos. Ataque nital 2%.

Variáveis de processamento, tais como, temperatura de bobinamento, taxa de resfriamento no intervalo de temperatura de 550 a 700°C e a composição química do material são fatores que influenciam o coalescimento da cementita. Como o coalescimento é um processo difusional, quanto maior o tempo de permanência na temperatura de bobinamento e menores taxas de resfriamento, maior a esferoidização. A composição química tem um fator relevante no processo de coalescimento, no entanto a mesma geralmente é definida pela aplicação final do aço.

Em relação à espessura da bobina, quanto menor mais provável se torna a ocorrência da ovalização devido ao aumento de área para deslizamento entre as espiras, o que facilita o colapso. A Figura 3 mostra uma bobina ovalizada.



Figura 3. Bobina laminada a quente apresentando grande ovalização.

O conhecimento dos efeitos das variáveis de processo no coalescimento da cementita e a obtenção de valores de ovalização menores que 50mm são de grande importância para viabilizar a produção em larga escala deste material, mantendo a produtividade e rendimento do processo produtivo compatíveis com o resultado obtido pelos aços que não apresentam este fenômeno e atendendo a aplicação final do produto.

2 EXPERIÊNCIA EM ESCALA INDUSTRIAL

2.1 Processamento na Laminação a Quente

Para o processo de laminação foram utilizadas placas cujas faixas de composição química por elemento são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química do aço.

% C	% Mn	% P	% S	% Si	% Al
0,27 a 0,34	1,20 a 1,55	0,04 (máx.)	0,05 (máx.)	0,30 (máx.)	0,020 a 0,080

Em termos de evolução das experiências, este processo pode ser dividido em três etapas distintas: a primeira, em Jan/03 quando as primeiras bobinas foram produzidas; a segunda, após os primeiros ajustes, nas laminações de Mar e Abr/03; a terceira, após ajustes adicionais, à partir das bobinas produzidas em Ago/03, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros de processamento nas diferentes etapas

	1ª Etapa Jan/03	2ª Etapa Mar e Abr/03	3ª Etapa Ago/03 em diante
Parâmetros envolvidos no processo	Laminação inicial	Primeiras experiências	Revisão dos planos de experiência
Espessura de pedido (mm)	2,00 e 2,65	2,25	2,00
Peso médio de bobina (t)	18	11	24
Tensão de bobinamento (MPa)	10	14	26
Resfriamento com água durante bobinamento*	Não	Sim	Sim
Resfriamento com água após bobinamento*	Não	Sim (40segundos)	Sim (40segundos)
Temperatura de bobinamento (°C)	625	590	590
Empilhamento em 2 camadas	Liberada	Restringida	Liberada (em Ago/04)
Eixo da bobina	Horizontal	Horizontal	Horizontal

* nas bobinadeiras

2.2 Processamento no Laminador de Acabamento

Após laminação a quente do aço e resfriamento das bobinas, as mesmas são processadas no laminador de acabamento (Skin Pass), para correção da planicidade e eliminação da ovalização oriunda do LTQ.

O processamento de bobinas ovalizadas no laminador de acabamento pode causar uma distribuição de esforços inadequada sobre os segmentos do mandril da desbobinadeira, o que torna ainda mais crítico com o processamento a altas velocidades. Para minimização desta criticidade, adotou-se um procedimento operacional especial com dois aspectos: restrição da velocidade de processamento para estas bobinas ovalizadas; definição do posicionamento das mesmas sobre o mandril durante carregamento na desbobinadeira para diminuir o esforço lateral sobre os segmentos do mandril (Figura 4).

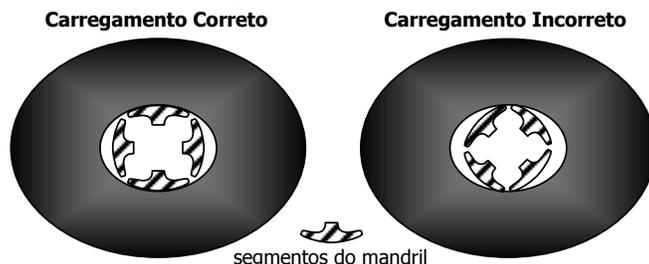


Figura 4. Posição de carregamento de bobina ovalizada no mandril do LA.

Além disto, o processamento no laminador de acabamento é ainda mais crítico pelo fato do limite de resistência (LR) deste material, em torno de 650MPa, superar o limite especificado para a linha, que é 600MPa.

2.3 Caracterização

Para caracterização deste material foram utilizados: ensaio de tração na temperatura ambiente (tensão limite de escoamento, tensão limite de resistência, alongamento total), análise microestrutural ótica e medição de ovalização. Os valores obtidos são apresentados e discutidos no item 3.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Independentemente da temperatura, do uso de resfriamento com água e do tempo de permanência na bobinadeira após o bobinamento, todas as bobinas apresentaram microestruturas com traços de cementita coalescida como mostra a Figura 5. Isto se deve ao fato de que a temperatura usada no bobinamento coincide com a faixa de temperatura de coalescimento da cementita. Como a massa de material é muito grande, mesmo usando um resfriamento adicional na bobinadeira a bobina esferoidiza porque o interior da bobina permanece na temperatura de coalescimento da cementita contida na perlita. Para evitar o coalescimento seria necessário bobinar em temperaturas muito baixas (≤ 450 °C) para passar pela zona de esferoidização com velocidade de resfriamento maior, no entanto isso provocaria um aumento na resistência mecânica e uma redução na ductilidade que dificultaria a laminação a frio posterior. A Figura 6 mostra o efeito da temperatura de bobinamento nas propriedades mecânicas de tração, onde é verificado aumento tanto da tensão limite de escoamento quanto do limite de resistência e a diminuição do alongamento com a redução da temperatura de bobinamento de 625°C para 590°C.

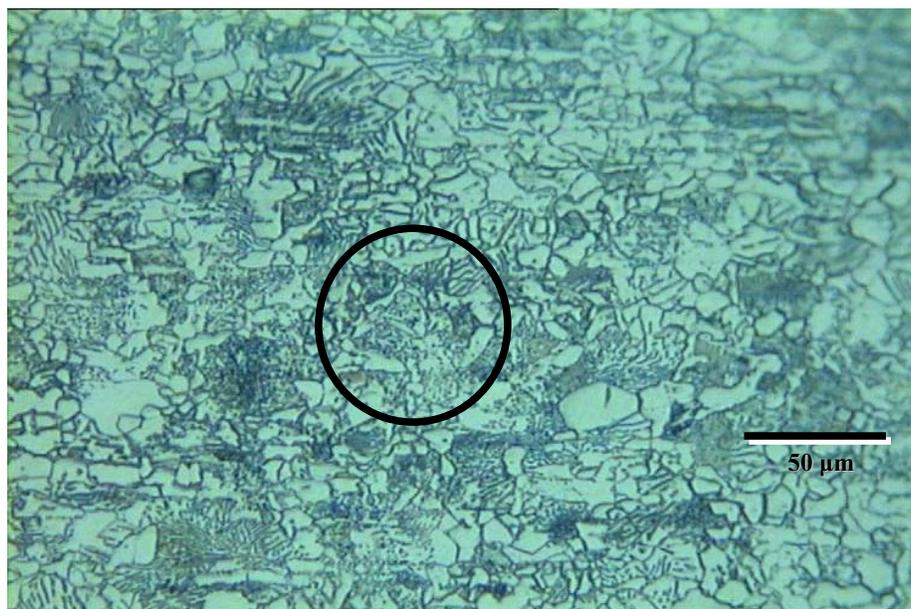


Figura 5. Microestrutura típica encontrada em todas as bobinas analisadas, mostrando pequenas regiões (em destaque) de cementita esferoidizada. Ataque nital 2%.

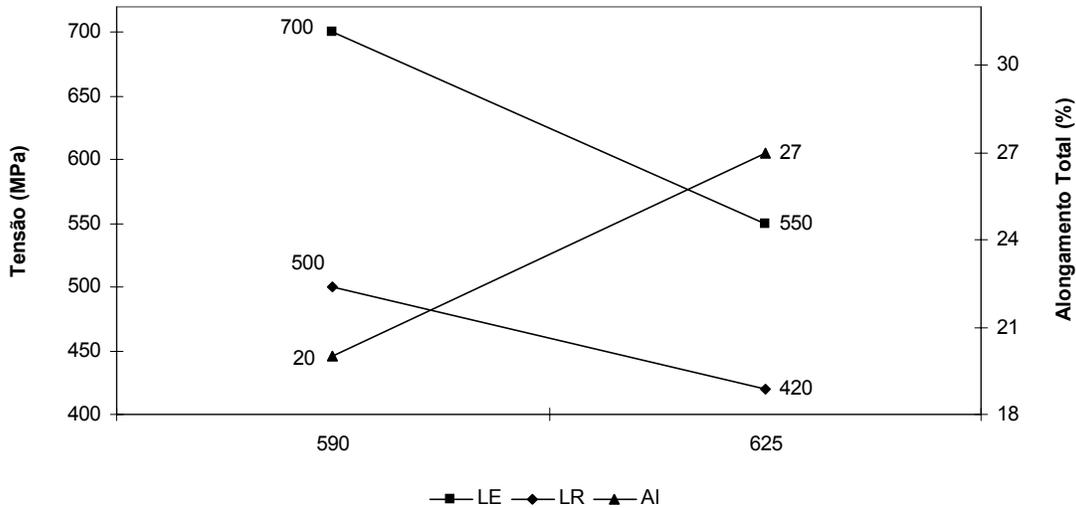


Figura 6. Efeito da temperatura de bobinamento na tensão limite de escoamento, tensão limite de resistência e alongamento total.

O resultado obtido na primeira etapa mostrou que o uso da temperatura de bobinamento de 625°C provocou ovalização em valores dispersos desde 20mm até 130mm. O processo nesta etapa apresentava-se fora de controle, como mostra a Figura 7. Na etapa seguinte, com a redução da temperatura de bobinamento para 590°C, a permanência de 40 segundos com uso de resfriamento na bobinadeira antes da extração da bobina bem como um aumento na tensão de bobinamento para 14MPa, possibilitou uma redução na ovalização para valores máximos de 80mm como mostra a Figura 8. Estas alterações aumentaram a resistência a quente da bobina no momento da extração, no entanto o peso testado era baixo, o que provocou redução na produtividade no laminador.

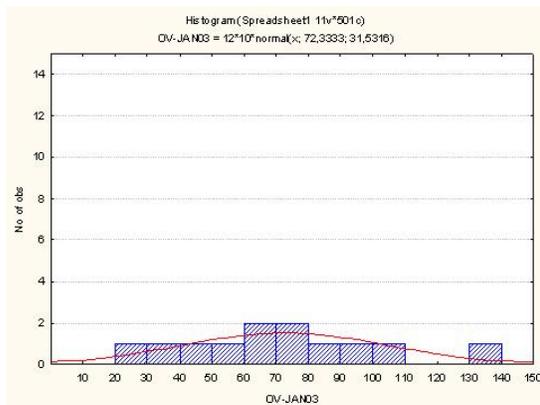


Figura 7. 1ª Etapa (Jan/03)

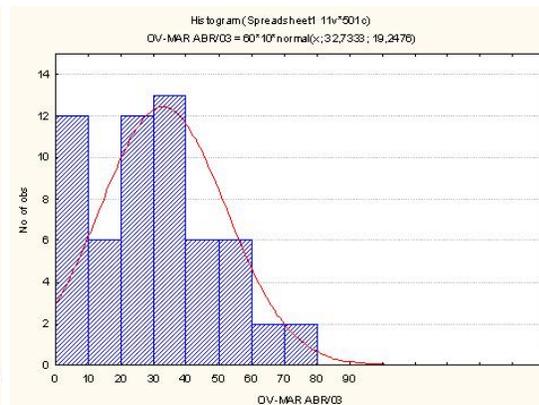


Figura 8. 2ª Etapa (Mar e Abr/03)

Na terceira etapa, foi objetivado o aumento de peso de 11t para 24t, permitindo um aumento na produtividade do laminador. A única alteração feita foi na tensão de bobinamento, aumentada de 14 para 26 MPa. Mesmo ocorrendo esferoidização da cementita em pequenas regiões como mostrado na Figura 5, as ações combinadas de redução da temperatura de bobinamento, aumento da tensão de bobinamento e

uso de resfriamento por 40 segundos antes da extração da bobina, possibilitaram o aumento do peso de bobina para 24t com valores de ovalização que permitem o processamento posterior no laminador de acabamento como mostra a Figura 9.

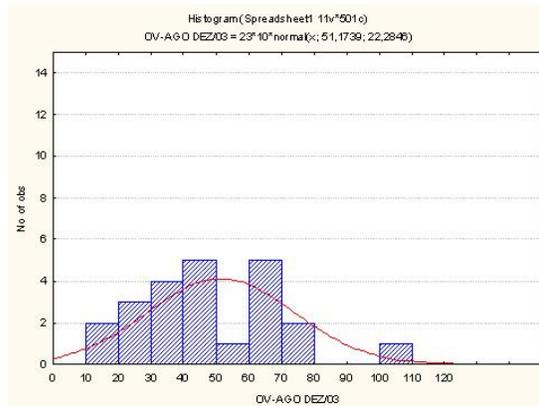


Figura 9. 3ª Etapa (Ago/03 em diante)

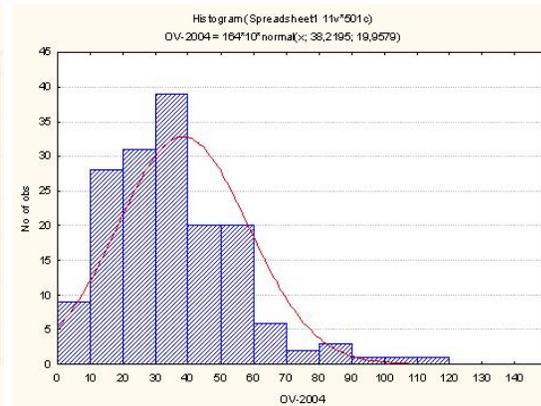


Figura 10. Resultado em 2004

O acompanhamento desde então mostrou que a ovalização se manteve em patamares máximos de 70mm (Figuras 10 e 11). Esta evolução no controle do processo, com base no entendimento do fenômeno de ovalização, explicado pela queda da resistência a quente provocada pelo coalescimento da cementita, permitiu também reduzir a espessura da tira laminada de 2,65mm para 2,00mm como mostra a Figura 12.

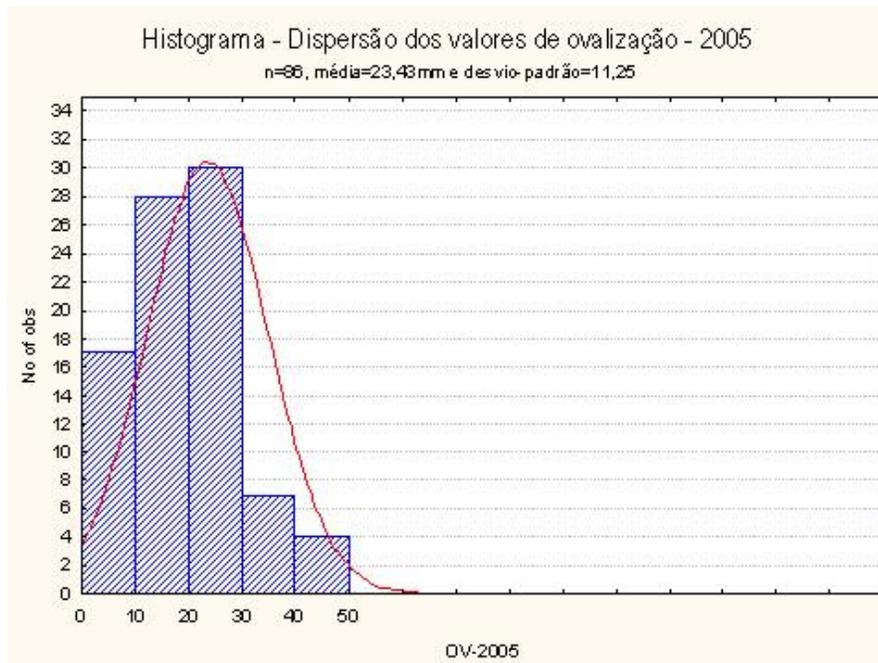


Figura 11. Resultado em 2005 (até Maio)

Dentro da etapa 3 (Ago/03 até Mai/05), Figuras 9, 10 e 11, tendo em vista que não houve alteração de parâmetros, a melhora é atribuída ao maior domínio dos procedimentos operacionais para laminação deste tipo de material.

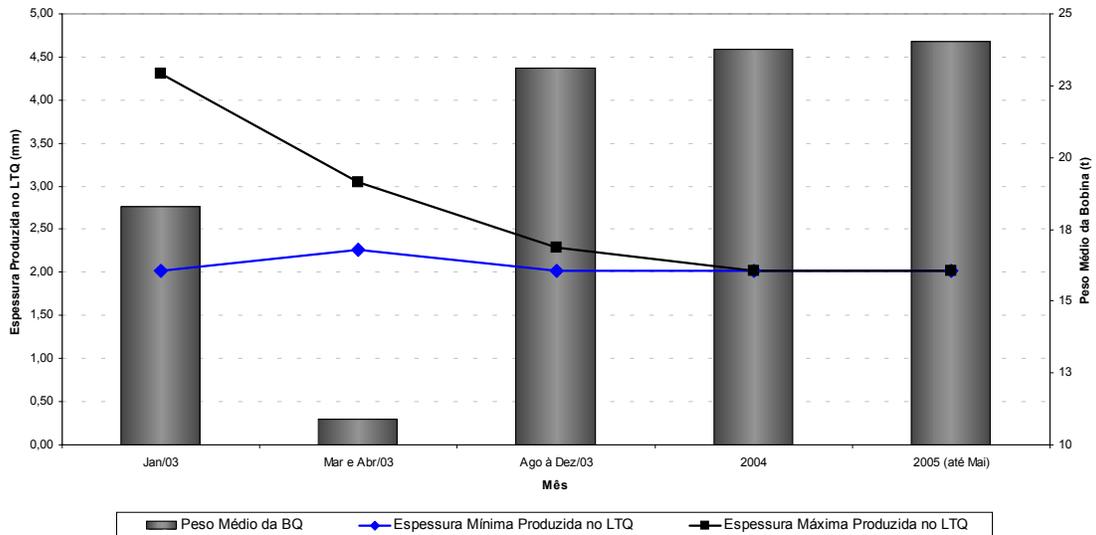


Figura 12. Redução da espessura no LTQ mesmo com evolução do peso de BQ.

Com base nos resultados obtidos foi possível também aumentar o percentual de bobinas aprovadas, de 25% em janeiro de 2003 para 100% em maio de 2005, conforme mostra a Figura 13.

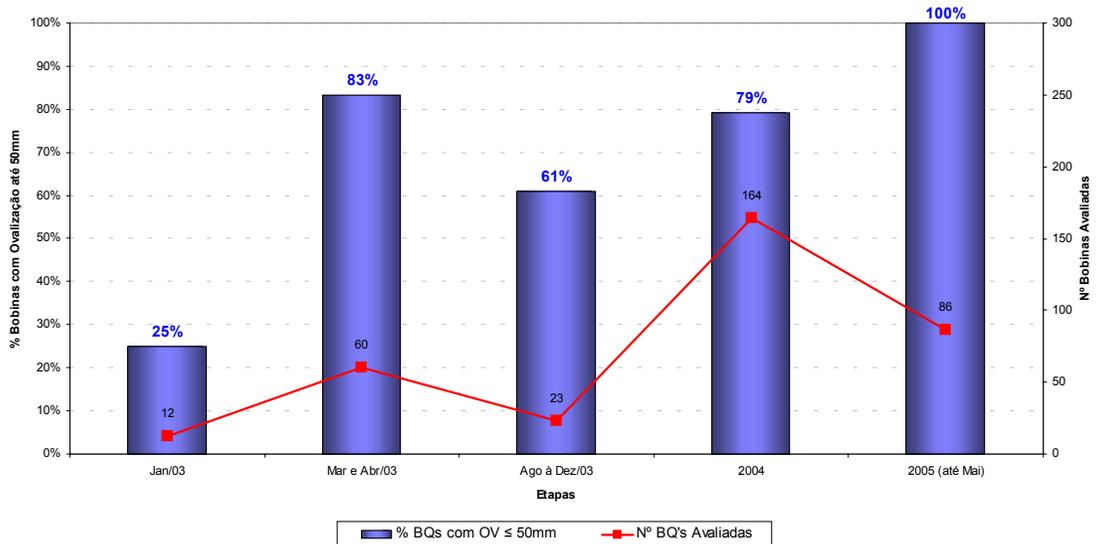


Figura 13. Evolução do percentual de bobinas com ovalização até 50mm

4 CONCLUSÕES

- 1) Todas as bobinas analisadas apresentaram regiões com perlita coalescida, independente da temperatura de bobinamento, em função da faixa de temperatura coincidir com a zona de esferoidização do aço;
- 2) Devido ao coalescimento de pequenas ilhas de perlita durante o bobinamento no intervalo de temperatura de 550 a 700 °C, na etapa final de laminação a quente, ocorre uma queda na resistência a quente do aço gerando a ovalização;

- 3) A redução da temperatura de bobinamento teve um significativo efeito de redução na ovalização devido ao aumento da resistência a quente do aço no momento do bobinamento;
- 4) A permanência da bobina por 40 segundos no mandril com resfriamento intenso, permitiu a diminuição da temperatura de suas espiras externas, aumentando a resistência a quente, o que também contribuiu para reduzir a ovalização;
- 5) O uso da temperatura de bobinamento de 590°C juntamente com o uso de resfriamento com água na bobinadeira, o aumento da tensão de bobinamento para 26 MPa e a permanência por 40 segundos na bobinadeira antes da extração da bobina, foi efetivo para a redução da ovalização de 140mm para 50mm, permitindo a fabricação em escala industrial deste material com atendimento pleno à aplicação final;
- 6) Nas bobinas com ocorrência de ovalização, os procedimentos adotados para o processamento no laminador de acabamento mostraram-se adequados para minimização do efeito da ovalização, sem comprometimento mecânico dos equipamentos;
- 7) A ação de todas as variáveis combinadas permitiu o aumento do peso de bobina de 11 para 24 toneladas, a redução da espessura da tira laminada para 2,00mm e a garantia de valores aceitáveis de ovalização ($OV \leq 50\text{mm}$);
- 8) Pela experiência adquirida na produção de aços no LTQ da CST no período de Janeiro de 2003 à Maio de 2005, incluindo outras qualidades de aço, os seguintes fatores – e suas combinações – levam a um aumento da probabilidade de ocorrência de ovalização em valores acima de 50mm: a) Menor espessura; b) Maior temperatura de bobinamento; c) Maior Carbono equivalente; d) Maior peso médio de bobina e e) Eixo de transporte da bobina na horizontal.

REFERÊNCIAS

- 1 **Steel: A Handbook for Materials Research and Engineering: Fundamentals**, Springer-Verlag, v. 1, 1992.
- 2 HONEYCOMBE, R. W. K., **Aço: Microestrutura e Propriedades**, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1982, p. 201-235.
- 3 KRAUSS, G., **Principles of Heat Treatment of Steel**, ASM, Metal Park-Ohio, 1982, p. 187-228.

REDUCTION OF COLLAPSING IN HOT COILS WITH EQUIVALENT CARBON $\geq 0,58\%$ PRODUCED AT CST HSM⁽¹⁾

Sergio de Oliveira Lima Júnior⁽²⁾

João Batista Ribeiro Martins⁽³⁾

André Carvalho Prado⁽⁴⁾

Luiz Fernando Silva Volpato⁽⁵⁾

Caetano Nunes da Silva⁽⁶⁾

Abstract

On the basis of the domestic market demand of hot rolled coils, CST started in January of 2003 the medium C/ high Mn steel development for attendance to the re-rolling market. However, these steels during hot rolling production, in the stage of coiling, it is submitted to the similar conditions used in spheroidizing treatment for the cementite into pearlite, or either, heating around the eutectoid temperature Ar_1 . This condition favors the spheroidizing of the cementite that reduces the hot strength of the steel. The reduction of the strength is so great that depending on the weight and the temperature of extraction in the downcoiler, the coil collapses, not resisting its own weight. This condition generates a coil shape defect called coil collapsing due to the oval format that this coil presents. The coil collapsing causes a series of operational difficulties that reduces the productivity and increases the equipment break risk, losses due material cuts or until impossibility of next line process, generating scraping of the coil. The objective of this paper is to present the reduction of coil collapsing values obtained through the analysis of the phenomenon of the spheroidizing during coiling process and the adjustments in the hot rolling process parameters, even increasing coil weight and reducing strip thickness.

Key words: Spheroidizing; Cementite; Coil collapsing; Cot coils.

⁽¹⁾ *Technical Contribution to 42nd Rolling Seminar Processes, Rolled and Coated Products, October 25th to 28th, 2005 - Santos - SP*

⁽²⁾ *HSM Process Engineer, CST, Vitória, ES*

⁽³⁾ *Product Development Engineer, CST, Vitória, ES*

⁽⁴⁾ *Customer Technical Assistance Engineer, CST, Vitória, ES*

⁽⁵⁾ *Dispatch and Finishing Lines Process Manager, CST, Vitória, ES*

⁽⁶⁾ *HSM Process Engineer, CST, Vitória, ES*