



REDUÇÃO DE OVALIZAÇÃO EM BOBINAS DE AÇOS “DUAL PHASE” NO LTQ DA ARCELORMITTAL TUBARÃO*

Gleyson Marcos Barbosa¹

Ronan Jacolo²

Artem Marmulev³

Vitor Leonardo Ferreira Areas⁴

Danilo Gonçalves de Olideira⁵

Vitor Bogacy Ney⁶

Claudemir Dassie⁷

Flávio José Saraiva Rodrigues⁸

Gabriel Alves Godinho⁹

Resumo

A forma cilíndrica de bobinas a quente semi-acabadas é essencial para permitir normalidade nas operações posteriores de transporte e utilização. Entretanto tal forma, que é conferida pela bobinadeira, pode ser perdida devido um fenômeno chamado “ovalização”. Com este problema as bobinas assumem uma forma oval, o que pode gerar diversos transtornos, tais como comprometer a inserção da bobina nos mandril do processo seguinte, prejudicar o processo de desbobinamento e colocar em risco a segurança das operações de estocagem nos pátios e transporte. Esta contribuição técnica tem como objetivo mostrar as recentes atividades realizadas por uma equipe multifuncional de 3 diferentes unidades do grupo ArcelorMittal em busca de alternativas para controle da ovalização sem gerar efeitos colaterais indesejados no ciclo produtivo.

Palavras-chave: Ovalização; Bobinas laminadas a quente; Aços bifásicos, Transformação de fase

MASTERING COIL SAGGING OF DUAL PHASE HRC AT ARCELORMITTAL TUBARÃO

Abstract

For Hot rolled coil (HRC), as semi-finished product, the coil shape is essential to allow normal further handlings and downstream processes as well. The round shape is given by the Coiler, however, it can be lost due the phenomena "Coil Sagging". Due this problem, the coil assumes an oval shape that can disturb the mandrel insertion, uncoiling process and the safety of stacking yard.

The aiming of this technical paper is to present the development performed by 3 units of ArcelorMittal group in order to master coil sagging on Dual Phase HRC without any other collateral effects on the production cycle.

Keywords: Coil Sagging; Coil Collapse; Hot Rolled Coil; Phase Transformation.

¹ M.Sc., Engenheiro Metalurgista, Especialista em Processo de Laminação a Quente, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo, Brasil

² Dr. Ing., ArcelorMittal R&D Mazières Automotive Product, Maizières-Lès-Metz, França

³ Dr. Ing., ArcelorMittal R&D Maizières Process, Maizières-Lès-Metz, França

⁴ Engenheiro Metalurgista, Especialista em Processo de Laminação a Quente, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo, Brasil

⁵ Engenheiro Eletricista, Engenheiro Especialista em Processo de Laminação a Frio, ArcelorMittal Vega, São Francisco do Sul, Santa Catarina, Brasil

⁶ Eng., Especialista em Controle de Qualidade, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo, Brasil

⁷ Eng., Especialista em Controle de Qualidade, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo, Brasil

⁸ M.Sc., Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Desenvolvimento de, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo, Brasil

⁹ Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Desenvolvimento de, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo, Brasil

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



1 INTRODUÇÃO

A regularidade da forma cilíndrica de bobinas laminadas a quente é importante para garantir a normalidade nas suas movimentações com pontes rolantes, transportes e aplicações. Entretanto, tal forma pode ser perdida devida o fenômeno chamado de “ovalização”, que, quando ocorre, pode ser iniciado desde a retirada da bobina do mandril da bobinadeira (Figura 1), até nos pátios de resfriamento, quando as bobinas são estocadas com o “olho” na horizontal.

O defeito de forma ovalização é quantificado pela diferença entre os diâmetros medidos no eixo vertical e horizontal, conforme a equação 1. Tal parametrização é útil para a especificação dos limites necessários para garantir êxito nas operações posteriores. Na apuração da ovalização, podem ser considerados como referência os diâmetros interno ou externo, conforme conveniência do sistema de medição a ser utilizado.

$$OV = D_{\max} - D_{\min} \quad (1)$$

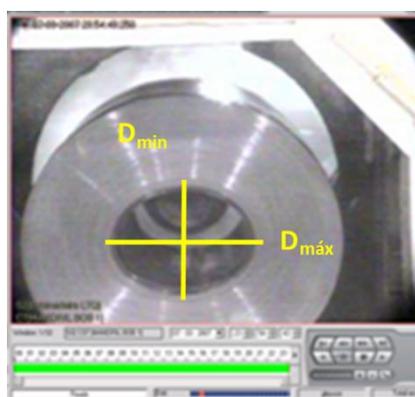


Figure 1. Exemplo do defeito de forma “ovalização”.

A ovalização pode gerar diferentes complicações, em diferentes etapas dos processos industriais. Dentre os vários transtornos, destacam-se:

- A) Acidentes operacionais: tal risco existe principalmente quando o nível de ovalização é superior ao limite de segurança para a operação em questão. A figura 2 ilustra um acidente durante um processo de transporte automático de bobinas. Nesta ocorrência o achatamento da bobina fez com que a mesma não se encaixasse no berço do carro de transporte (interferências mecânica indicadas por setas vermelhas), com isto, no momento de movimentação houve uma colisão que gerou o tombamento do carro de transporte (indicada por seta amarela).

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



A – Vista frontal



B – Vista lateral

Figura 2. Colisão causada entre bobina ovalizada e o berço do carro de transporte.

- B) Necessidade de retrabalho em linhas de reprocessamento para recuperar a forma cilíndrica. Tal transtorno causa impacto direto no custo e tempo de entrega, que por sua vez implicam em perdas de materiais (descarte), ocupação de equipamento e elevação de custo. Sabendo das limitações de processamento, quando a ovalização for superior a 50mm as bobinas são direcionadas para retrabalho em linhas de processamento antes de serem despachadas para Vega do Sul;
- C) Dificuldade de inserção em mandril. Casos extremos, quando não há possibilidade de inserção no mandril, podem resultar em sucateamento do material;
- D) Dificuldade para girar a bobina em berços motorizados, geralmente utilizados nas etapas de preparação de bobina para decapagem;
- E) Danos a equipamentos: variação na corrente elétrica dos motores e vibração/esforços dos componentes mecânicos que ocorrem devido aos solavancos causados durante desbobinamento de material ovalizado;
- F) Risco de queda de material em pátios de estocagem: em casos de empilhamento de bobinas susceptíveis a ovalização nas camadas inferiores;
- G) Arranhão superficial devido deslizamento de espiras no momento de desbobinamento.

Ante as consequências associadas à ocorrência de ovalização, várias experiências foram conduzidas no Laminador de Tiras a Quente (da ArcelorMittal Tubarão, em Serra-ES) visando o controle deste fenômeno em bobinas laminadas a quente de aços “Dual Phase” destinados à Laminação a Frio (da ArcelorMittal Vega, em São Francisco do Sul-SC), que são susceptíveis a este problema. Nas abordagens iniciais foram estabelecidas ações de contenção que ajudaram a mitigar tal defeito de forma, mas geravam efeitos colaterais:

- Resfriamento diferenciado no Topo e Corpo das BQ. Esta iniciativa estabelecia uma menor temperatura de bobinamento no Topo, de forma a aumentar a resistência no núcleo da bobina, tornando-a mais apta a suportar o próprio peso. Entretanto esta prática alterou significativamente a microestrutura típica do aço “dual-Phase” como laminado a quente (ferrita-perlita) a partir do aparecimento de fases aciculares (bainita e/ou martensita). Esta prática resultou numa elevada diferença em propriedades mecânicas entre a ponta e cauda das bobinas, e conseqüentemente, num aumento significativo do índice de rupturas de solda no Laminador de Tiras a Frio. As regiões de transição de resistência mecânica no topo resultaram em perturbações nos controles de espessura e tensão entre vãos (conforme

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



exemplificado na Figura 3), sendo que, em casos extremos, essas variações dispararam o sistema de proteção do Laminador de Tiras a Frio causando parada da linha de Decapagem e Laminação.

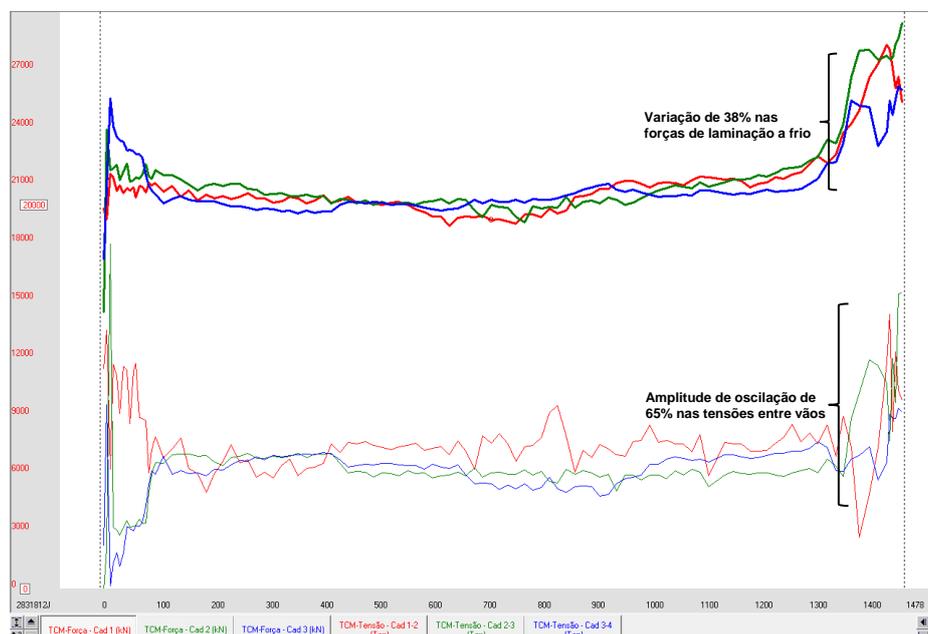


Figura 1 – Gráfico de força e tensão entre vãos no Laminador de Tiras a Frio de bobina com resfriamento diferenciado no topo. As variações indicadas coincidem com as regiões de maior resistência mecânica da bobina (devido menores temperaturas de bobinamento no LTQ).

- Aumento da permanência de Bobina no Mandril da Bobinadeira. Esta iniciativa estabelecia a retenção da bobina no mandril por mais 40 segundos além do tempo normal de processamento, no intuito de restringir qualquer alteração de forma da bobina durante as transformações metalúrgicas no material. Entretanto, esta iniciativa além de impactar na produtividade do Laminador de Tiras a Quente, também diminuía a vida útil do mandril, pois a retenção de material a temperaturas elevadas prejudicava a lubrificação interna do mesmo, causando desgaste prematuro nas superfícies internas de contato e necessidade de troca antecipada do equipamento.

Diante de tais consequências, surgiu a necessidade de buscar novas alternativas para controle da ovalização que permitissem interromper as práticas de resfriamento diferenciado no topo e retenção da bobina no mandril. Assim, foi formado um novo grupo de trabalho, composto por equipes técnicas da ArcelorMittal Tubarão, ArcelorMittal Vega e do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Maizieres (França) com o intuito de não só permitir a interrupção das práticas que geravam efeitos colaterais indesejados no ciclo produtivo, mas também melhorar o resultado de ovalização. Como a ovalização em aços “Dual Phase” também pode estar relacionada à transformação de fase não totalmente finalizadas na mesa de resfriamento (ROT- Run Out Table), esforços foram direcionados para diminuir a fração de transformação de fase não finalizada antes do bobinamento. As causas convencionais de ovalização, tais como fluência devido ao próprio peso, atrito insuficiente entre espiras e baixa tensão de bobinamento não foram inseridas no escopo de trabalho do grupo formado.

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Aços Utilizados

Neste trabalho foram utilizados aços “Dual Phase” da série DP600 e DP780 na condição de bobinas laminadas a quente a serem direcionadas para Laminação a Frio. A Tabela 1 indica a composição química dos aços estudados.

Tabela 1. Composição química dos aços estudados, %peso

Steel	C	Mn	Cr	Si	Mo
DP 600	0,10	1,80	0,35	0,25	0,010
DP 780	0,15	1,90	0,25	0,25	0,100

2.2 Modelo para predição de propriedades mecânicas após Laminação a Quente

Um modelo metalúrgico foi desenvolvido pelo Centro de Pesquisas ArcelorMittal Maizieres [1-3] para estimar a microestrutura e propriedades mecânicas dependendo das condições de processo e composição química dos aços. Este modelo é resultante da combinação de modelos de transformação de fase e modelo térmico. Ele permite prever o caminho térmico seguido por uma tira e a evolução das frações volumétricas de diferentes constituintes da microestrutura. A evolução da temperatura calculada da tira na mesa de resfriamento leva em consideração o calor liberado pela transformação de fase, cuja cinética é influenciada pelas condições de resfriamento.

2.3 Equipamentos: Mesa de resfriamento e Bobinadeiras

Mesa de resfriamento da tira com comprimento total de 105m, ilustrada pela Figura 4. Sistema de resfriamento forçado Laminar flow tipo sifão com 71,44 m de comprimento, com quinze bancos de resfriamento e alta densidade de resfriamento (vazão máxima de 12.500 m³/h). O sistema de resfriamento da tira no laminador de tiras a quente da ARCELORMITTAL TUBARÃO permite a definição da estratégia de resfriamento mais adequada para cada tipo de material, com sete estratégias diferentes, algumas apresentadas na figura 5.



Figura 4 – Foto ilustrativa da mesa de resfriamento do LTQ da ArcelorMittal Tubarão

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

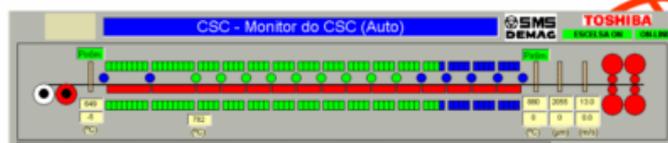


Estratégias de Resfriamento

CÓDIGO 01

Rápido no Início

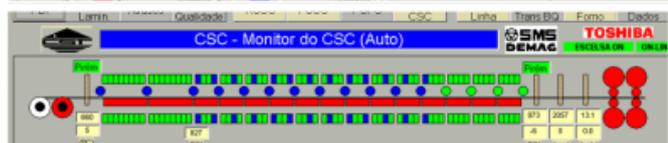
Face A/B



CÓDIGO 13

Tarde Distribuído

Face A/B



CÓDIGO 04

Tarde Lento

Face A/B



Figura 5 – Exemplos de Estratégia de Resfriamento da ArcelorMittal.

Duas bobinadeiras hidráulicas com peso máximo de bobina igual a 40 t, sistema de ajuste de abertura de acordo com a largura medida da tira e abraçadores com ajuste hidráulico, conforme ilustrado na Figura 6. O diâmetro interno das bobinas é 762 mm e o diâmetro externo máximo igual a 2.100 mm. Após as bobinadeiras as bobinas passam por uma máquina de marcação que imprime o código de identificação das mesmas.

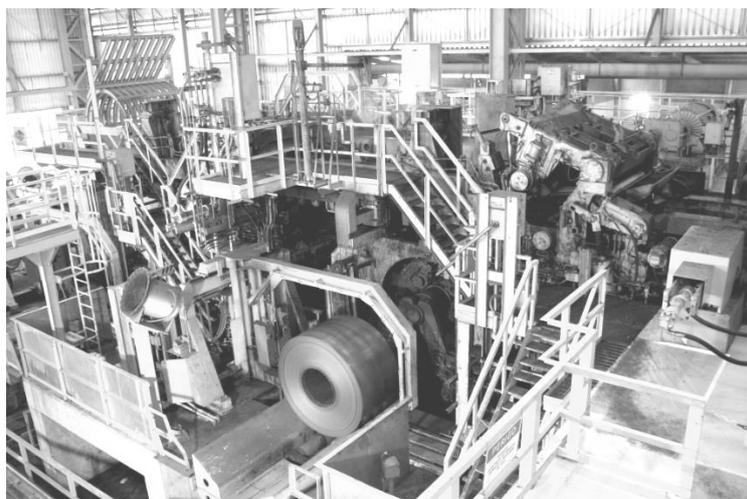


Figura 6 – Foto ilustrativa das bobinadeiras do LTQ da ArcelorMittal Tubarão

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Otimização dos Parâmetros de Processo para Redução da Fração não Transformada de Austenita antes do Bobinamento

O modelo matemático foi usado para avaliar a fração não transformada de austenita antes do bobinamento assim como a otimização do processo para minimizar esta fração. As primeiras simulações com dados do processo industrial indicaram uma fração significativa de austenita não transformada na mesa de resfriamento (cerca de 20% para DP 600 e 35% para DP 780). Para acelerar a transformação de fase na mesa de resfriamento vários parâmetros potenciais foram considerados nas simulações: estratégia de resfriamento, velocidade da tira, espessura de esboço, temperatura final de laminação e temperatura de bobinamento. As simulações foram

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



realizadas para avaliar o efeito desses diferentes parâmetros no início e cinética da transformação de fase.

De acordo com as simulações, uma significativa redução da fração não transformada da austenita não poderia ser obtida somente pela alteração isolada de um desses parâmetros. Entretanto, somando os efeitos individuais, reduções expressivas poderiam ser obtidas, tal como 10% nos aços DP600 e de 15% nos aços DP780 (Figura 7).

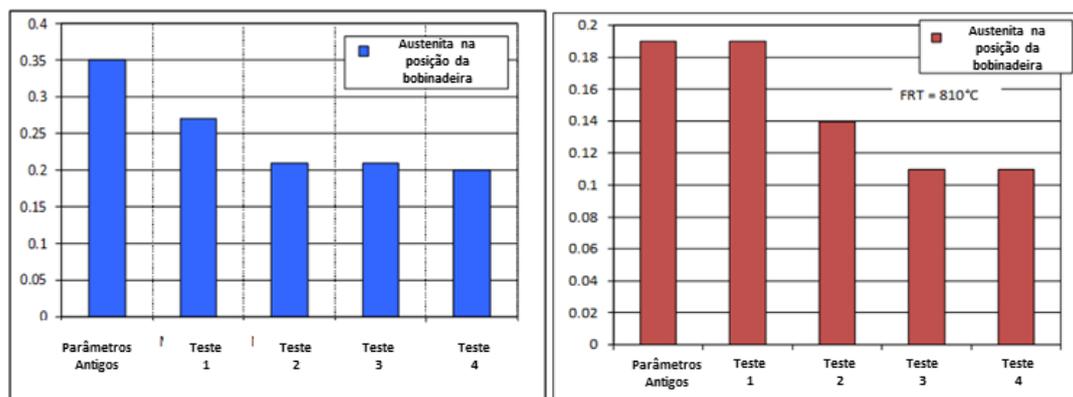


Figura 7. Efeito da Temperatura Final de Laminação na fração não transformada de austenita antes do início de no aço DP780 (esquerda) – Efeito da Temperatura de Bobinamento na fração não transformada de austenita antes do bobinamento em DP600 (direita)

Baseado nos resultados das simulações, novos parâmetros foram escolhidos para testes industriais. De acordo com a figura 8, as modificações permitiram:

- Antecipar o início da transformação de fase na mesa de resfriamento
- Acelerar o processo de transformação

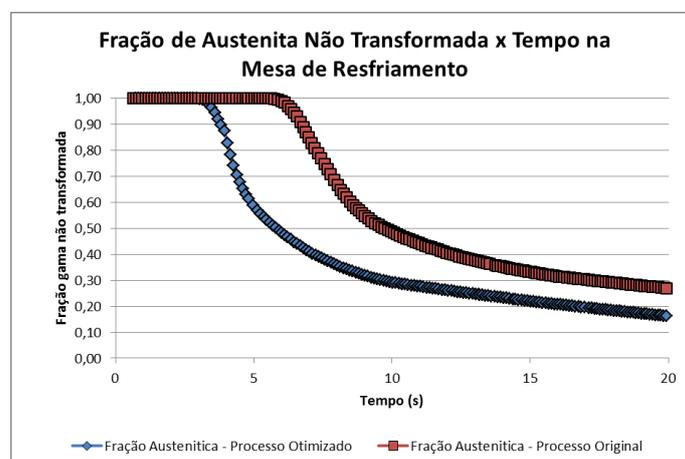


Figura 8. Evolução da transformação da austenite na mesa de resfriamento (processo original x processo otimizado para o aço DP780)

3.2 Identificação Especial para Bobinas Susceptíveis à Ovalização

Para aumentar a segurança nas operações de estocagem e transporte, as bobinas susceptíveis à ovalização tem empilhamento proibido. Esta ação visa também evitar o agravamento da ovalização, caso venha a ocorrer.

Para facilitar a identificação dessas bobinas, foi desenvolvida uma marcação especial onde é acrescido o termo “NE” no final da identificação da bobina, com o significado padronizado de “Não Empilhar”.

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



Figura 9 – Marcação Especial para bobinas susceptíveis à ovalização. NE = Não Empilhar

3.3 Resultados das Implementação Industrial das Ações para Redução da Ovalização

Com base nas recomendações, testes industriais foram realizados resultando na redução da ovalização, para os dois tipos de aços avaliados, conforme demonstrado nas figuras 10 e 11.

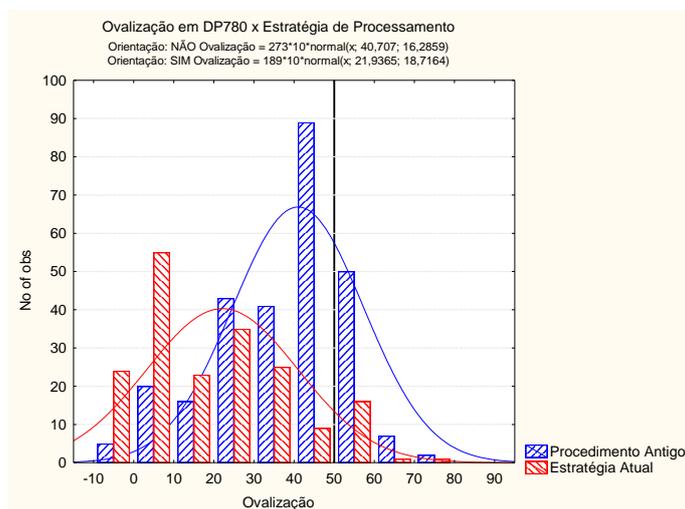


Figura 10 – Ovalização obtida com Procedimento Antigo e após implementação das modificações. Aço DP 780.

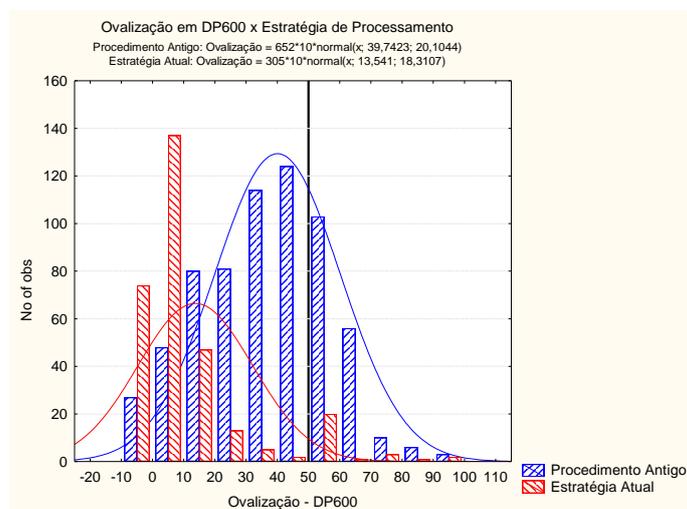


Figure 11 - Ovalização obtida com Procedimento Antigo e após implementação das modificações. Aço DP 600.

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



Teste t-Student indicou que o nível de ovalização do Procedimento Novo (otimizado) é estatisticamente menor que o Procedimento antigo, a um nível de 0,05 de significância. Entretanto, como alguns dos grupos avaliados não apresentaram uma clara distribuição normal, optou-se a realizar também o teste não paramétrico de Mann-Whitney para verificar se o nível de ovalização obtida com o Procedimento Novo (otimizado) é estatisticamente menor que o Procedimento Antigo (figura 12).

Verificação de Diferença entre as populações – Teste Não Paramétrico de Mann-Whitney

DP780		DP600	
Mann-Whitney Test and CI: Procedimento Novo; Procedimento Antigo		Mann-Whitney Test and CI: Procedimento Novo; Procedimento Antigo	
	N Median		N Median
Procedimento Novo	189 20,000	Procedimento Novo	300 5,000
Procedimento Antigo	273 45,000	Procedimento Antigo	642 40,000
Point estimate for ETA1-ETA2 is -20,000		Point estimate for ETA1-ETA2 is -30,000	
95,0 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-24,998;-15,000)		95,0 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-30,000;-25,001)	
W = 29663,0		W = 73423,0	
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 < ETA2 is significant at 0,0000		Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 < ETA2 is significant at 0,0000	
The test is significant at 0,0000 (adjusted for ties)		The test is significant at 0,0000 (adjusted for ties)	

Figura 12 – Resumo do software Minitab utilizado para realização do Teste Mann-Whitney para verificação da redução da ovalização com os novos procedimentos utilizados em escala industrial.

Após implementação do novo método a quantidade de bobinas com ovalização acima de 50mm teve redução de 55% nos aços DP780 e de 67% nos aços DP600 (figura 13). Soma-se a esses resultados à ausência dos efeitos colaterais indesejados relatados na introdução desta contribuição técnica.

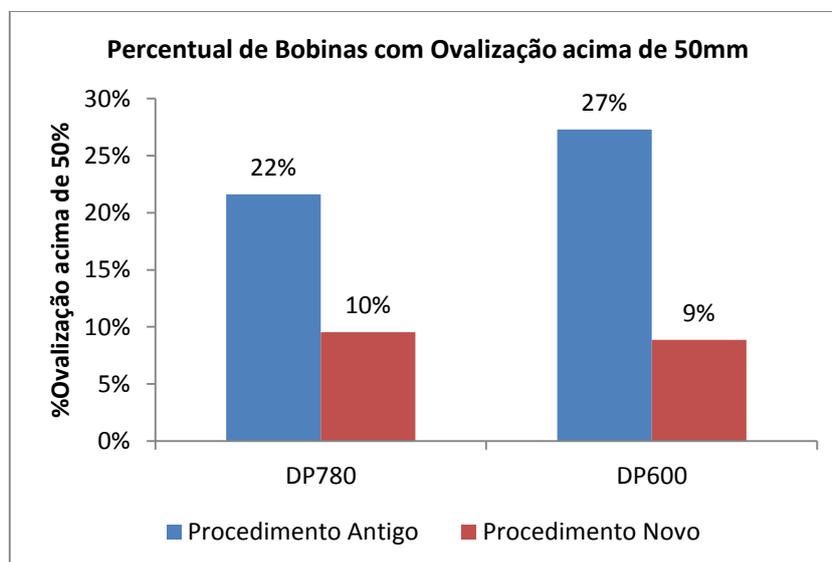


Figura 13 – Redução de Ovalização após implementação das novas práticas operacionais

Em termos financeiros, o presente trabalho resultou numa economia anual da ordem de US\$ 680.600 sendo:

- US\$ 335.000 com redução de custos de manutenção devido a eliminação dos fatores que causavam redução da vida útil dos mandris;
- US\$ 110.000 com a redução de defeitos superficiais (deslizamento de espiras) que eram potencializados pela condição irregular de mandris;
- US\$ 20.600 com a redução de retrabalhos para correção de ovalização;
- US\$ 215.000 com a redução de rupturas de solda no LTF.

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



As ações tomadas no Laminador de Tiras a Quente para melhora dos resultados de ovalização não impactaram as propriedades mecânicas dos produtos laminados a frio.

4 CONCLUSÃO

Foi demonstrado que as ações para influenciar o início e cinética da transformação da austenita na mesa de resfriamento do LTQ da ArcelorMittal impactaram positivamente ovalização em aços da série Dual Phase 780 e 600. Baseado nestes fatos, novos procedimentos operacionais foram estabelecidos para controle de ovalização no LTQ.

As ações tomadas permitiram a eliminação de práticas operacionais de resfriamento diferenciado no topo e retenção da bobina no mandril da bobinadeira, que outrora foram estabelecidas para controle de ovalização, mas geravam efeitos colaterais indesejados tanto na LTQ quanto no LTF.

A “Ovalização” reduzida significamente. Foi percebida e redução de 55% a 67% da necessidade de retrabalho, resultando em maior disponibilidade das linhas de acabamento para outros clientes, menor custo e menor risco de atrasos na entrega. A economia financeira obtida com este trabalho é da ordem US\$ 680.600/ano.

REFERÊNCIAS

- 1 Lung T, Kandel M, Quidort D, De Lassat Y. Revue de Métallurgie, Cah. Inf. Tech. 2003; 100: 173.
- 2 Huin D, Grandemange D, Maugis PH, Herman G. ThermoMechanical Processing Conference 2008, Sept. 2008, Padua.
- 3 Perlade A, Grandemange D, Lung T. Ironmaking and Steelmaking, 2005, (32) p.299.

* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.