

DESENVOLVIMENTOS TECNOLÓGICOS PARA O CONTROLE DA PLANICIDADE EM TIRAS LAMINADAS A QUENTE NA LAMINAÇÃO DE ACABAMENTO DA CST – ARCELOR BRASIL ¹

Caetano Nunes da Silva ²
Luciano Torres Sequeira ³
Gustavo de Martin Sarnaglia ⁴
Quintino Ribeiro Sobrinho ⁵
Luiz Renato de Araújo Amorim ⁶

Resumo

O laminador de acabamento da CST – Arcelor Brasil tem como principal objetivo a melhoria da planicidade em tiras laminadas a quente, sendo dotado de avançados recursos tecnológicos para isto. Desde o início das suas operações, em 2002, houve uma grande evolução no processo de laminação de acabamento, destacando-se diversas ações que resultaram em um melhor controle da planicidade, como ajustes nos valores visados de alongamento, revisões da regra de programação do laminador, ajustes no *set-up*, melhorias no controle automático do fim de processamento, implantação do controle automático das forças de flexão dos cilindros (*bending*) e implantação da classificação automática de qualidade das bobinas. A combinação destes avanços possibilitou explorar melhor todo o potencial tecnológico do equipamento, propiciando uma melhoria nos resultados e o atendimento aos requisitos de planicidade cada vez mais restritos exigidos pelo mercado.

Palavras-chave: Planicidade; Tiras a quente; Laminação de acabamento.

TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS IN CST'S SKIN PASS RELATED TO HOT ROLLED STRIPS FLATNESS CONTROL

Abstract

The main objective of CST's hot skin pass mill is to improve the flatness results in the hot rolled strips. To reach this objective, the mill is provided with advanced technologies for flatness improvement. Since the start-up in 2002, there was a great evolution in the skin pass process, outstanding several actions that results in a better control of flatness, as the target elongations adjustments, scheduling rules revision, improvements in the slow down control, set-up adjustments, improvements of the automatic elongation, speed and tension controls, implementation of bending forces automatic control and implementation of coil quality classifier. These different actions make possible to better explore all the technological potential of the mill, allowing an improvement in the results and in the satisfaction of the market needs regarding flatness requirements.

Key words: Flatness; Hot rolled strip; Skin pass.

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Engenheiro de materiais, MSc, Especialista em Laminação de Tiras a Quente da CST, Vitória, ES*

³ *Engenheiro metalurgista, Especialista em Laminação de Tiras a Quente da CST, Vitória, ES*

⁴ *Engenheiro eletricitista, MSc, Especialista de Manutenção de Controle de Processo da CST, Vitória, ES*

⁵ *Engenheiro mecânico, Especialista de Manutenção Mecânica da CST, Vitória, ES*

⁶ *Engenheiro metalurgista, Especialista de Controle Metalúrgico de Tiras a Quente da CST, Vitória, ES*

1 INTRODUÇÃO

A planicidade é uma característica de qualidade intrínseca dos produtos planos de aço, claramente percebida e que vem sendo demandada em tolerâncias cada vez mais restritas pelo mercado. Caracteriza-se principalmente pela presença de ondulações resultantes da acomodação de regiões mais alongadas, as quais costumam concentrar-se no centro ou nas bordas das tiras, conforme ilustrado na Figura 1.

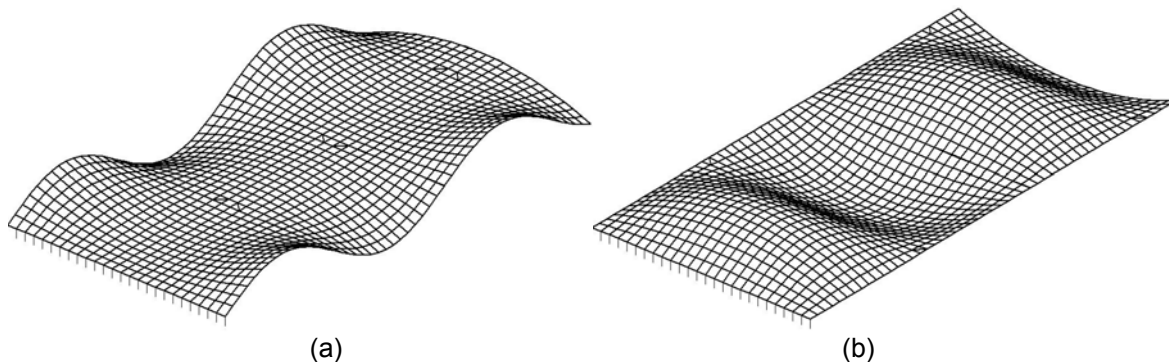


Figura 1: Exemplo ondulações de borda (a) e ondulações centrais (b).

As ondulações são comumente originadas pela laminação diferenciada ao longo da largura da tira, conforme exemplificado na Figura 2.

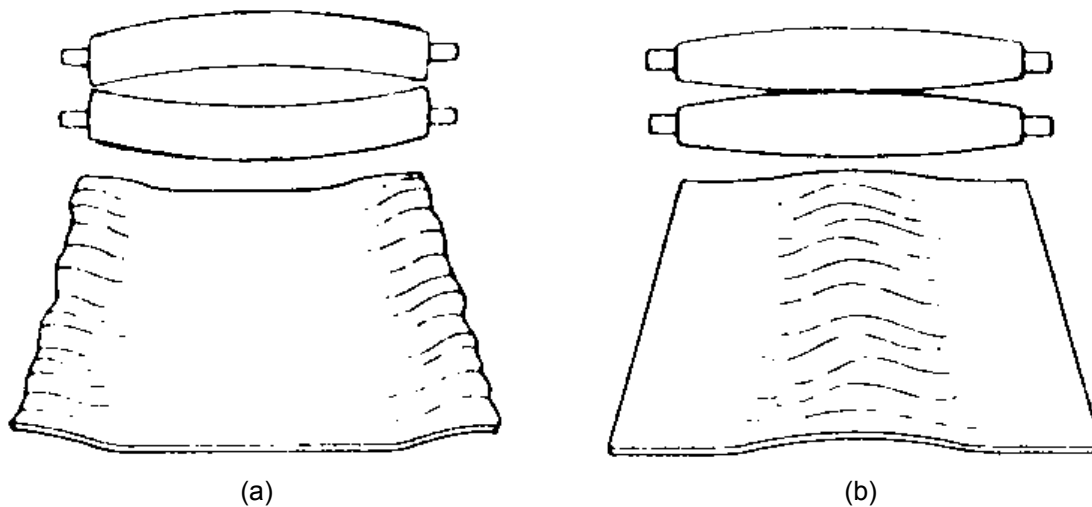


Figura 2: Ondulações de borda causadas pela flexão dos cilindros (a) e ondulações centrais causadas pelo coroamento excessivo dos cilindros (b).

As ondulações porventura formadas durante a laminação a quente, podem ser eliminadas através do processamento a frio das bobinas em um laminador de acabamento, aplainadora ou desempenadeira. Nestes processos de correção da planicidade, a tira é submetida a alongamentos diferenciados ao longo da largura, maiores nas regiões sem ondulações e menores nas regiões onduladas.

O complexo industrial de laminação de tiras a quente da CST – Arcelor Brasil, inaugurado em 2002, inclui um Laminador de Acabamento (LA) com capacidade nominal para a produção de 750.000 t/ano, que tem como principal objetivo a melhoria da planicidade. O interesse no desenvolvimento do processo de laminação de acabamento justifica-se pela importância da planicidade como uma característica claramente percebida pelos clientes, pelas exigências crescentes de tolerâncias restritas de planicidade (especialmente em laminados a quente para aplicação direta) e pela vocação técnica do Laminador de Tiras a Quente (LTQ) da CST – Arcelor Brasil para explorar nichos de mercado em que a obtenção de uma planicidade adequada é crítica (tiras finas e largas).

O laminador de acabamento da CST - Arcelor Brasil é dotado de recursos tecnológicos de última geração como uma cadeira de laminação quádrupla com força máxima de 13.000kN, cilindros hidráulicos para controle da flexão dos cilindros (forças de *bending* positivas e negativas), medição e controle automático do alongamento. Na Figura 3 é mostrada a vista lateral do laminador.

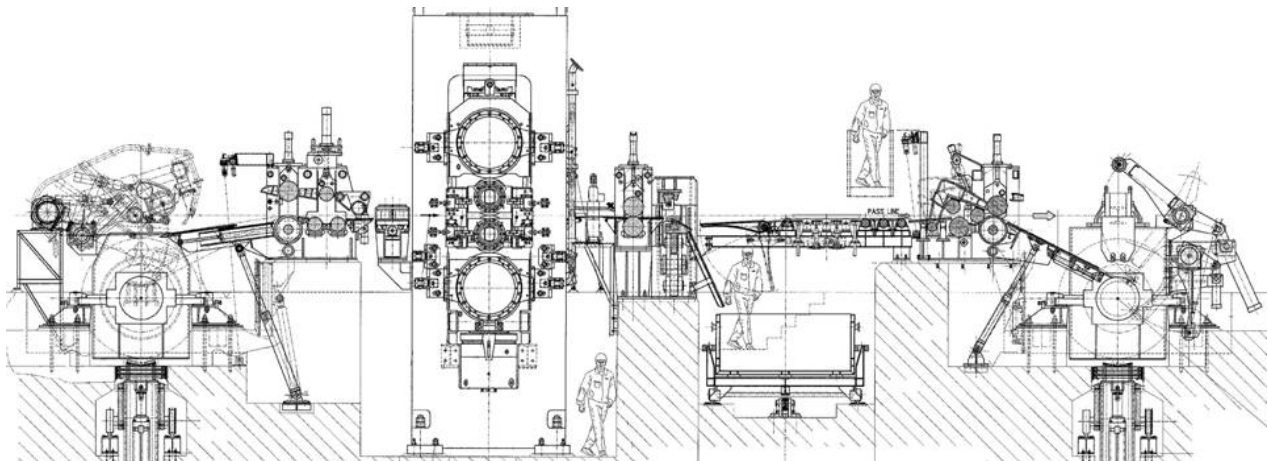


Figura 3: Vista lateral do laminador de acabamento da CST – Arcelor Brasil.

O controle de alongamento é totalmente automatizado. Ao ser carregada na linha, cada bobina recebe automaticamente um valor de alongamento visado. A medição do alongamento é feita através da diferença de velocidade entre o rolo puxador de entrada e o rolo puxador de saída. O valor medido retro-alimenta o sistema de controle, que atua sobre a força de laminação e sobre as tensões de desbobinamento e bobinamento até se atingir o alongamento visado.

O controle de planicidade possui forte intervenção do operador, pois não possui sistema automático de medição. Desta forma, o operador deve observar visualmente a ocorrência de ondulações na saída do laminador e atuar sobre as forças de flexão (*bending*) e nivelamento dos cilindros, até a obtenção de um material visualmente sem ondulações. Esta atuação se dá conforme ilustrado na Figura 4. Quando necessário, o operador pode recorrer também a ajustes nos valores das tensões e força de laminação, em detrimento do controle de alongamento.

Neste trabalho será apresentado o histórico de desenvolvimento do processo de laminação de acabamento na CST – Arcelor Brasil, destacando-se os principais avanços relacionados ao controle da planicidade.

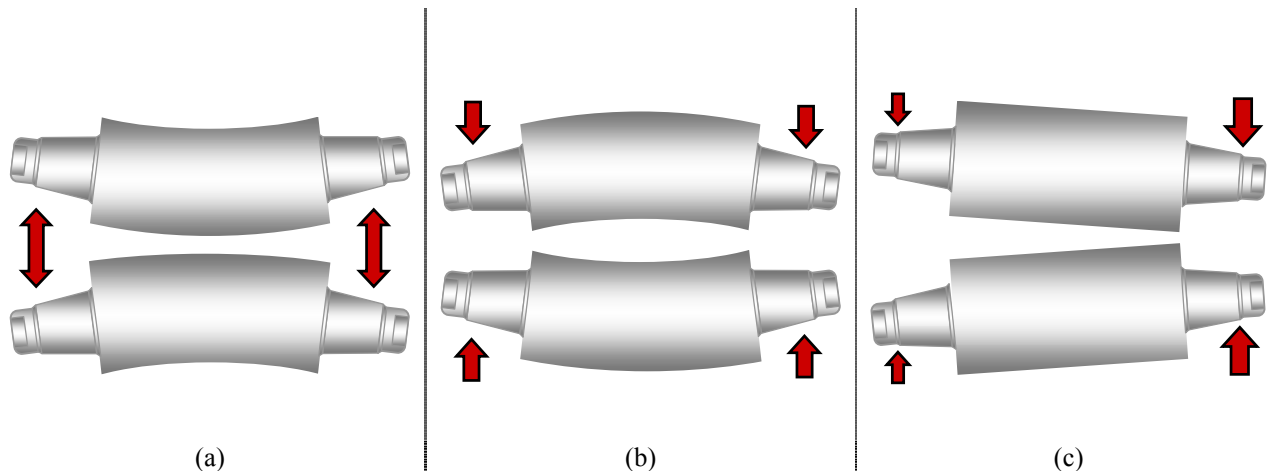


Figura 4: Principais formas de atuação para correção da planicidade – (a) *bending* positivo para correção de ondulações de borda; (b) *bending* negativo para correção de ondulações centrais e (c) nivelamento dos cilindros para correção de ondulações assimétricas.

2 DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO

O laminador de acabamento da CST – Arcelor Brasil iniciou suas operações em Outubro de 2002. Ainda antes do início das operações, as equipes envolvidas passaram por um longo processo de preparação que envolveu treinamentos teóricos e práticos, tanto nas dependências da CST – Arcelor Brasil quanto em equipamentos de outras usinas.

Esta preparação adequada permitiu que após o início das operações e ao longo do ano de 2003 os esforços fossem direcionados com sucesso para o comissionamento dos equipamentos, evolução e estabilização da produção, sendo que no fim de 2003 o ritmo de produção já superava a capacidade nominal de 750.000 t/ano.

A partir de 2004 o foco voltou-se para a evolução nos resultados de planicidade final das bobinas processadas no laminador de acabamento, visando o atendimento às demandas de aplicações mais críticas que começavam a ser exploradas.

Foi então iniciado um esforço contínuo de caracterização dos problemas, capacitação técnica dos envolvidos e prospecção de oportunidades de melhorias. Destacam-se aqui a realização de inúmeras visitas a clientes para a verificação das aplicações e suas criticidades, a realização de eventos para capacitação de pessoal, desde palestras para operadores até o desenvolvimento de um projeto de mestrado, a realização de trabalhos de *benchmark* junto a empresas com equipamentos similares, incluindo visitas a laminadores de acabamento no México e Venezuela, e a contratação de uma assistência técnica sobre planicidade junto a uma reconhecida fornecedora de tecnologias para a indústria siderúrgica mundial.

A Figura 5 sumariza as principais ações que retratam o desenvolvimento de processo no laminador de acabamento da CST – Arcelor Brasil, as quais serão detalhadas na continuidade deste trabalho.

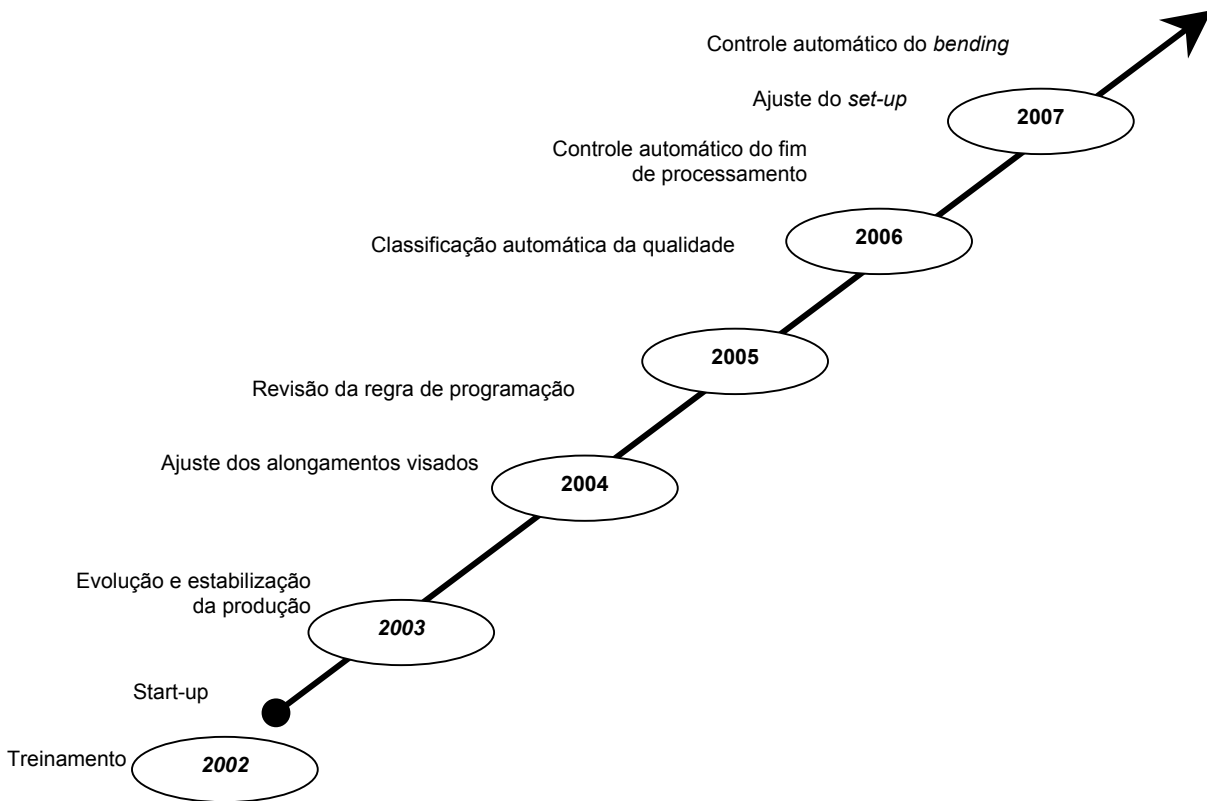


Figura 5: Evolução no desenvolvimento de processo no laminador de acabamento da CST.

2.1 Ajuste dos Alongamentos Visados

A correção da planicidade no laminador de acabamento depende da aplicação de um alongamento suficiente para promover a laminação diferenciada ao longo da largura. Através de uma avaliação detalhada das ocorrências de ondulações após a laminação de acabamento, foi verificado que estas se concentravam em dimensões críticas para a obtenção de uma boa planicidade no LTQ, especialmente em tiras finas e largas. Concluiu-se que os alongamentos então aplicados não estavam sendo suficientes para a correção das ondulações,^[1] tendo sido necessários alguns ajustes como os exemplificados na Tabela 1.

Tabela 1: Alongamentos visados no laminador de acabamento para aços baixo-C.^[1]

Dimensão:	Alongamento visado anterior:	Novo alongamento visado:
1,50 x 1.200 mm	0,70 %	1,00 %
3,00 x 1.500 mm	0,60 %	0,80 %

Destaca-se também, o fato de que a definição dos valores visados de alongamento varia de acordo com as características do material. Para materiais mais largos, por exemplo, foram definidos alongamentos visados mais baixos, de forma a reduzir a diferença entre as forças de laminação necessárias para promover estes alongamentos. Com forças de laminação similares, a flexão dos cilindros também é

similar, havendo menor necessidade de utilização das forças de flexão dos cilindros (*bending*) e dispensando-se o uso de cilindros com coroamento mecânico diferenciado.

2.2 Revisão da Regra de Programação

Outro problema identificado através da avaliação detalhada das ocorrências de ondulações após a laminação de acabamento, foi a ocorrência de ondulações em bobinas largas processadas no fim da campanha dos cilindros de trabalho do laminador de acabamento.

Investigando os perfis de desgaste dos cilindros ao fim das campanhas, observou-se uma clara tendência de concentração do desgaste nas regiões dos cilindros próximas das bordas da largura média laminada, gerando uma coroa positiva no centro da mesa dos cilindros. Esta coroa positiva, presente no fim das campanhas, resultava em uma tendência à formação de ondulações centrais em materiais estreitos, que podia até ser compensada através da utilização de forças de *bending*, no entanto, em materiais largos, não havia como a correção da planicidade ser efetiva.^[1]

A partir desta avaliação, a regra de programação do laminador de acabamento foi revisada, determinando-se que o seqüenciamento das bobinas ao longo das campanhas dos cilindros deve ser feito dos materiais mais largos para os mais estreitos.

Para não comprometer a flexibilidade de programação e movimentação das bobinas, as largas foram agrupadas em cinco diferentes faixas representativas. As campanhas dos cilindros devem ser iniciadas com a faixa de larguras maiores e ser encerrada com a de larguras menores. Ao longo das campanhas não devem ser misturadas bobinas com larguras de faixas diferentes e cada faixa de larguras possui um limite de quilometragem máximo que pode ser laminado dentro da mesma campanha.

2.3 Classificação Automática da Qualidade de Bobinas

Para auxiliar na tomada de decisões para a melhoria dos resultados de qualidade, é essencial um sistema que avalie estes resultados e dê um retorno imediato para o operador. A planicidade é avaliada visualmente e através de medições manuais na mesa de inspeção, sendo a partir destas observações que o operador atua na correção da planicidade. No entanto, o laminador de acabamento da CST – Arcelor Brasil também conta com medições automáticas de alongamento e espessura, as quais passaram a ser coletadas, analisadas e classificadas automaticamente pelo sistema conhecido como *Coil Classify*. O *Coil Classify* do laminador de acabamento utiliza a mesma estrutura já empregada com pleno sucesso para a classificação da qualidade de bobinas no LTQ da CST – Arcelor Brasil, classificando a bobina em aprovada, pendente para análise ou passível de retrabalho, conforme mostrado na figura 6.

2.4 Controle Automático do Fim de Processamento

Na condição operacional definida durante o comissionamento do laminador, ao faltarem 8 espiras para o término da bobina iniciava-se um ciclo automático que preparava a linha para a saída do material da desbobinadeira, conhecido como ciclo de

slow down. Este ciclo incluía entre outras ações a estabilização da velocidade em 50m/min, a redução em 40% das tensões de desbobinamento e bobinamento e a retirada do rolo de pressão. Todas estas ações trazem prejuízos para o controle da planicidade, provocando instabilidades justamente em uma região da tira em que a planicidade proveniente do LTQ já é crítica (ponta). A avaliação das ocorrências de ondulações após a laminação de acabamento revelou que esta região da tira é a que concentra o maior número de ocorrências.

Consulta de Resultados - Laminador de Acabamento (01/11/2006 10:34:58)																		
Bobina Filha	Bobina Mãe	Coil Classify		Prime	Data LA	Número Chance	Pedido	Nome Cliente	Norma Cliente	Sub Divisão	Skin Pass	Peso Filha	Peso Mãe	EP (Média)	LG (Média)	AL (Média)	CM BQ	Km Cilindro
		ESP	ALONG															
6809145	6809145	P	Y		02/09/06 14:55:50	HMO90212	B400372-01	SIGNONTE	CST-SF-30			24.420	24.530	2,01	1,238	0,47	1,250	210
68092062	6809206	P	P		02/09/06 15:18:18	HMO90201	C200433-04	STC	EN1 0025 S235 J			9.930	0	1,90	1,011	0,95	662	211
68092061	6809206	P	P		02/09/06 15:18:18	HMO90201	C200433-04	STC	EN1 0025 S235 J			9.740	19.790	1,91	1,011	0,94	647	210
68092881	6809288	P	P		02/09/06 15:36:09	HMO90201	C200434-10	SODIMAC S.A.	ASTM A570-36			10.150	20.400	1,95	1,011	0,99	660	212
68092882	6809288	P	P		02/09/06 15:36:09	HMO90201	C200434-10	SODIMAC S.A.	ASTM A570-36			10.120	0	1,94	1,011	1,00	662	212
68097812	6809781	P	P		02/09/06 15:49:20	HMO90201	C200434-09	SODIMAC S.A.	ASTM A570-36			9.760	0	2,03	1,011	1,00	609	214
68097811	6809781	P	P		02/09/06 15:49:20	HMO90201	C200434-09	SODIMAC S.A.	ASTM A570-36			10.030	20.260	2,04	1,011	1,01	623	213
68098171	6809817	P	P		02/09/06 16:05:57	HMO90201	C200433-04	STC	EN1 0025 S235 J			8.070	19.570	1,91	1,013	0,93	534	214
68098172	6809817	P	H		02/09/06 16:05:57	HMO90201	C200433-04	STC	EN1 0025 S235 J			8.090	0	1,92	1,013	0,98	534	215
68098173	6809817	P	H		02/09/06 16:05:57	HMO90201	C200433-04	STC	EN1 0025 S235 J			3.330	0	1,96	1,013	0,85	213	215
68092891	6809289	P	P		02/09/06 16:28:09	HMO90201	C200434-10	SODIMAC S.A.	ASTM A570-36			10.120	20.380	1,94	1,012	1,00	662	216
68092892	6809289	P	P		02/09/06 16:28:09	HMO90201	C200434-10	SODIMAC S.A.	ASTM A570-36			10.200	0	1,93	1,012	0,98	669	216
68098121	6809812	P	P		02/09/06 16:37:22	HMO90201	C200433-04	STC	EN1 0025 S235 J			9.780	19.840	1,91	1,009	0,94	649	217
68098122	6809812	P	Y		02/09/06 16:37:22	HMO90201	C200433-04	STC	EN1 0025 S235 J			9.900	0	1,91	1,009	0,95	660	218

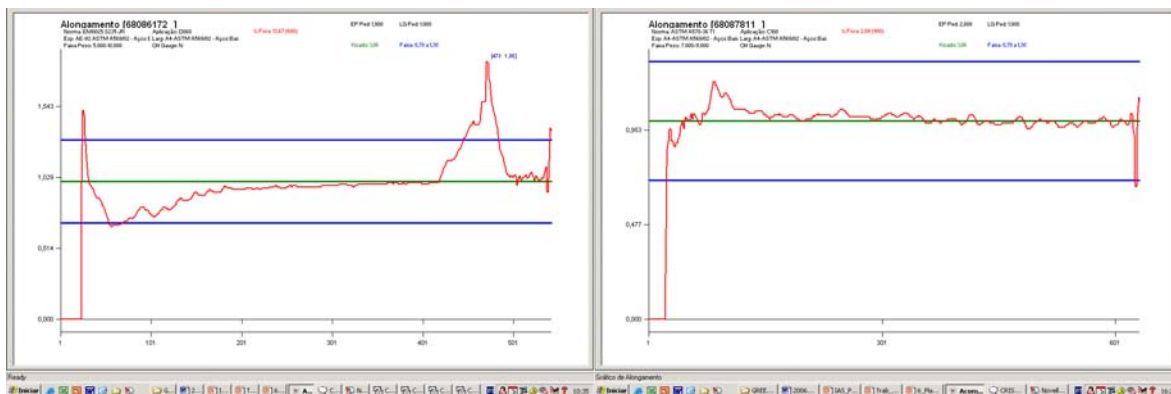


Figura 6: Exemplo da tela de resultados do sistema de classificação automática de qualidade das bobinas. As colunas à esquerda indicam a classificação para cada bobina (P - Prime, R - Recovery e H - Hold) e os gráficos abaixo ilustram dois casos de resultados de alongamento ao longo do comprimento da bobina (Hold para o gráfico da esquerda e Prime para o gráfico da direita).

O primeiro ponto avaliado foi a definição deste comprimento correspondente a 8 espiras para o *slow down*. Através da avaliação do tempo de resposta das ações promovidas durante o *slow down* e dos possíveis erros embutidos nas medições utilizadas para a definição deste comprimento, verificou-se que este comprimento estava super dimensionado, tendo sido possível reduzir este número para 4 espiras sem a verificação de efeitos indesejáveis. Além de diminuir praticamente para a metade o comprimento instável no fim do processamento, a manutenção do processamento a velocidades mais altas por um comprimento maior representou também um leve aumento de produtividade.

Um segundo ponto avaliado foi a atuação sobre o rolo de pressão da desbobinadeira, o qual tem como objetivo evitar a formação do defeito quebra de superfície. Na Figura 7 é mostrada a desbobinadeira do laminador de acabamento, com o rolo de pressão apoiado sobre a tira.

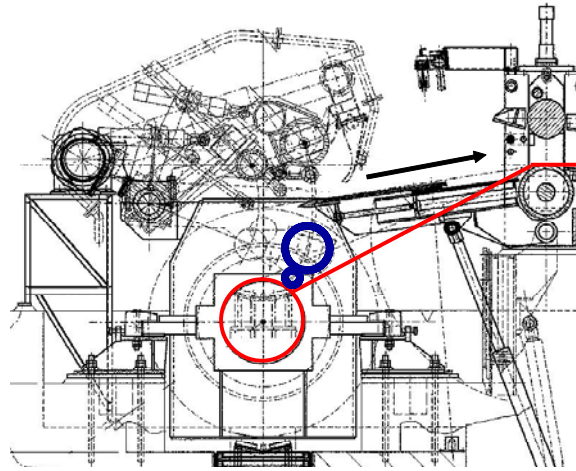


Figura 7: Desbobinadeira do laminador de acabamento com o rolo de pressão apoiado sobre a tira.

Ao ficar apoiado sobre a tira, este rolo estabelece uma tensão no material. Ao ser levantado, durante o *slow down*, esta tensão era perdida, trazendo uma instabilidade que prejudicava a correção da planicidade nestes metros finais da bobina.

Após a verificação de laminadores similares que trabalhavam com o rolo de pressão até o fim do processamento e da realização de uma análise de riscos específica para o equipamento da CST – Arcelor Brasil, foi implementada uma alteração na lógica de controle para manter o rolo atuando até o fim do processamento.^[2] A atuação do rolo até o fim do processamento resultou em uma maior estabilidade na tensão de entrada nos metros finais, com conseqüente melhoria da planicidade.

Outro ponto avaliado foi a redução em 40% das tensões de desbobinamento e bobinamento praticada durante o *slow down*, a qual tinha o intuito de evitar que ao sair da desbobinadeira a tira pudesse golpear e vir a danificar alguma parte do equipamento. Esta redução das tensões trazia forte impacto sobre a correção da planicidade e sobre a força de laminação necessária para promover o alongamento visado, provocando ainda mais instabilidades no fim da bobina.

Fazendo o mapeamento do processo, concluiu-se que os possíveis riscos decorrentes da saída do material da desbobinadeira sob altas tensões estavam relacionados somente a tensão de desbobinamento. Os riscos relacionados à tensão de bobinamento só se justificariam para o momento em que o fim da tira passasse pela cadeira de laminação, no entanto, o laminador é parado e tem a tensão aliviada antes deste momento. Assim sendo, foi alterada a lógica de controle que passou a não mais reduzir a tensão de bobinamento durante o *slow down*.

Por fim, a medição do alongamento, que não só é utilizada para o julgamento final da qualidade da bobina como também para o controle automático de alongamento, é feita através da diferença de velocidades entre o rolo puxador de entrada e o rolo puxador de saída, sendo que quanto mais baixas as velocidades de processamento, maior o erro embutido nesta medição. Por este motivo, esta medição simplesmente não

era realizada em velocidades iguais ou inferiores a 50m/min, o que novamente prejudicava o controle do processo durante o *slow down*, cuja velocidade de estabilização é justamente de 50m/min.

Após a verificação de laminadores similares que trabalhavam com a medição contínua do alongamento independente da velocidade e de uma avaliação dos erros embutidos na medição do alongamento no laminador da CST – Arcelor Brasil, foi alterada a velocidade mínima para medição do alongamento de 50m/min para 30m/min, passando a permitir um maior domínio do processo, especialmente durante o *slow down* [2].

2.5 Ajuste do *Set-up*

O laminador de acabamento da CST possui um sistema de *set-up* automático que define os valores iniciais de força de laminação, tensões de desbobinamento e bobinamento, e força de *bending* para cada bobina a ser processada. Os valores são obtidos a partir de tabelas que consideram diferentes variáveis para a definição dos valores de *set-up*. Apesar de disponível desde o *start-up*, o sistema de *set-up* não vinha sendo utilizado em função de os valores preenchidos nas tabelas, durante o comissionamento, não satisfazerem a contento as necessidades operacionais.

Para o ajuste do *set-up* de tensões de desbobinamento e bobinamento, levou-se em consideração o fato de que estas tensões concentram-se nas regiões menos alongadas da seção transversal da tira, favorecendo com isto o alongamento destas regiões e a correção das ondulações, sendo que, quanto mais altas forem estas tensões, mais efetiva será a correção. Assim sendo, buscou-se ajustar estas tabelas de *set-up* sempre com as tensões máximas permitidas de acordo com a especificação do equipamento, o que só dependia da espessura da tira.

Para o ajuste do *set-up* de força de laminação, considera-se que esta força deva ser a mais próxima possível da necessária para se atingir o alongamento visado. Desta forma, irá se exigir uma atuação mínima do controle automático de alongamento.

Foram avaliadas várias equações clássicas para o cálculo da força de laminação, mas os resultados calculados foram muito diferentes dos valores reais obtidos. Como forma de preencher as tabelas de *set-up* de força de laminação recorreu-se então a análises históricas dos valores reais obtidos. Foram analisados os resultados de centenas de bobinas, separando-as de acordo com suas dimensões, resistência e alongamentos visados. Para cada uma destas bobinas foi verificado o valor real de força, obtido após a atuação do controle automático de alongamento. A partir do agrupamento destes resultados, foram preenchidas as tabelas de *set-up*.

Os ajustes implementados no *set-up* de tensões e força de laminação ainda encontram-se em fase de avaliação, sendo esperada uma redução da necessidade de atuação do operador sobre o ajuste das variáveis e também da necessidade de atuação do controle automático de alongamento, com um conseqüente aumento no acerto de alongamento no início do processamento.

Para o ajuste do *set-up* da força de *bending*, é necessário conhecer o perfil transversal da tira a ser laminada e o perfil de flexão dos cilindros, de modo a buscar uma força de *bending* que torne a flexão dos cilindros coerente com o perfil transversal da tira. Caso se consiga esta coerência não deve haver variação entre a planicidade

inicial e final no laminador de acabamento,^[3] cabendo ao operador a atuação somente em caso de desvios.

O perfil transversal da tira já é medido durante a produção no LTQ e o perfil de flexão dos cilindros pode ser calculado a partir da força de laminação estimada. Na Figura 8 são mostrados resultados experimentais que comprovam a relação entre a variação da planicidade e a diferença entre o perfil transversal da tira e a flexão dos cilindros dividida pela espessura da tira.

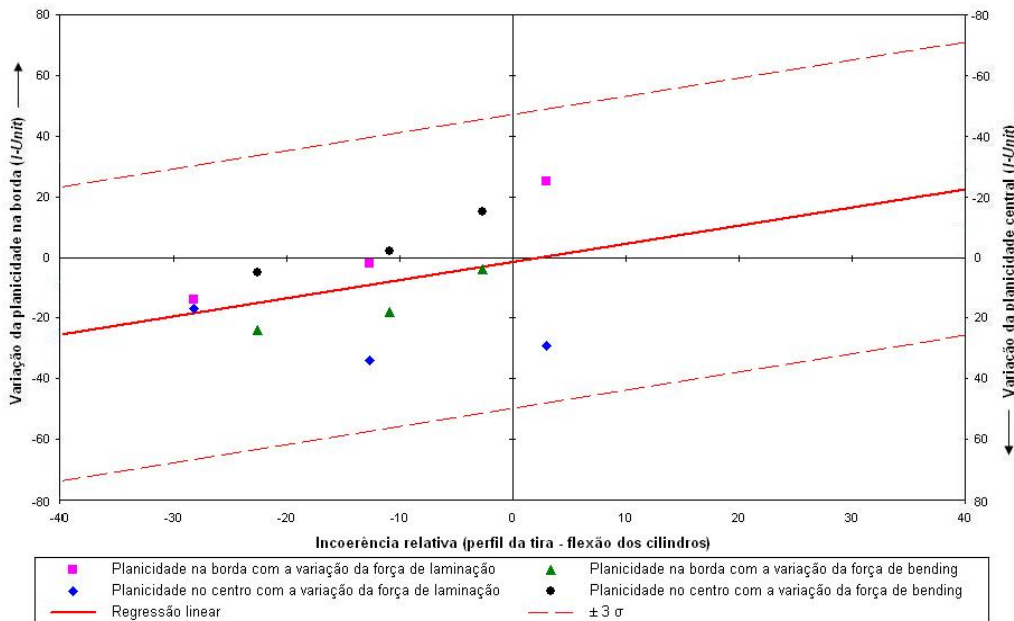


Figura 8: Resultados experimentais mostrando a relação entre a incoerência perfil da tira - flexão dos cilindros e a variação da planicidade na borda e no centro.^[3]

Por depender da validação da eficácia do *set-up* de força de laminação (força estimada), o *set-up* de força de *bending* ainda não está em utilização. Com a implantação do *set-up* da força de *bending*, pretende-se reduzir a necessidade de correção pelo operador no início do processamento.

2.5 Controle Automático do *Bending*

Conforme apresentado anteriormente, toda a atuação nas forças de *bending* para a correção da planicidade era realizada manualmente pelo operador, enquanto a força de laminação é alterada automaticamente pelo controle automático de alongamento. Como a força de laminação é uma das variáveis influentes na flexão dos cilindros, uma variação muito grande desta força em função do controle automático de alongamento, exige do operador uma correção da força de *bending*, para que a variação na flexão dos cilindros não prejudique a planicidade.

Conhecendo-se o comportamento da flexão dos cilindros com a variação da força de laminação e com a variação da força de *bending*, pode-se estimar qual a correção necessária da força de *bending* para compensar uma variação na força de laminação. Este controle foi desenvolvido e implementado no laminador de acabamento da CST – Arcelor Brasil, tendo-se reduzido a necessidade de correção da força de

bending pelo operador, melhorando assim o acerto da planicidade, especialmente nos trechos de acelerações e desacelerações em que há variações significativas na força de laminação. A Figura 9 ilustra um exemplo de uma bobina ao longo da qual a força de *bending* foi variando automaticamente, seguindo a tendência de variação da força de laminação.

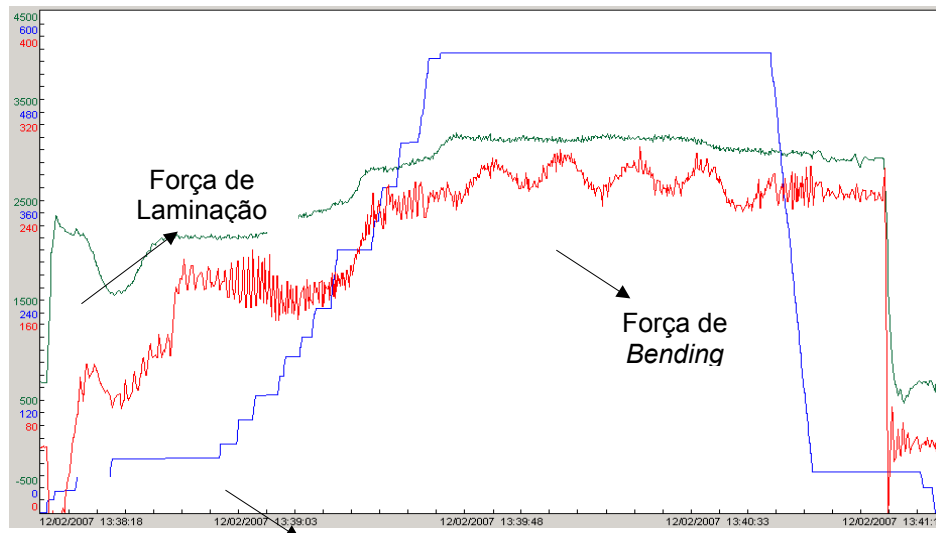


Figura 9: Exemplo da variação da Força de Bending acompanhando as variações da força de laminação.

3 CONCLUSÕES

Os avanços alcançados no processo de laminação de acabamento da CST – Arcelor Brasil vem permitindo explorar o grande potencial tecnológico que este equipamento possui, resultando em significativas melhorias nos resultados de planicidade e no atendimento aos requisitos exigidos pelo mercado. Mais do que isso, estes desenvolvimentos levaram à formação de uma sólida base de conhecimentos que vem permitindo uma melhoria contínua para atender aos desafios futuros.

REFERÊNCIAS

- 1 SILVA C.N., COSTA A.F.L., MACHADO E.A., ROQUE C.M.O.L., CARVALHO V.R., DEL CARO H.; “Melhoria dos resultados de planicidade em bobinas laminadas a quente na CST”, In: Anais do 42º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos, ABM, Santos-SP, Outubro de 2005.
- 2 SILVA, C.N., SEQUEIRA, L.T., SARNAGLIA, G.M., SOBRINHO, Q.R., DORNELAS, F.C., DADALTO, J., “Desenvolvimentos recentes no hot skin pass da CST para o controle de planicidade em tiras laminadas a quente”, In: Anais da 16ª Conferência de Laminação do IAS - Instituto Argentino de Siderurgia, San Nicolas, Argentina, Nov. 2006.
- 3 SILVA, C.N., ARAÚJO, F.G.S., FAGUNDES, J., COTA, A.B., “Efeito da flexão dos cilindros na laminação de encruamento sobre a planicidade de tiras de aço”, Revista Matéria, COPPE - UFRJ, Rio de Janeiro - RJ, Mar. 2007 (envio).