

OTIMIZAÇÃO DA POTÊNCIA E AUMENTO DA VELOCIDADE DO LAMINADOR DE TIRAS A FRIO DE AÇOS SILICIOSOS DA ACESITA¹

Carlos Lovato Neto²
Enguelber Sant'Anna Stutz³
Geraldo Magela Ferreira⁴
Jadir AssisBarros⁵
Reginaldo Cavalieri⁶
Rogério Henrique Reis⁶
Rone Silva Silveira⁶
Ronne Ferreira Pires⁷
Sergio Rolla Guimarães⁵

Resumo

Diante da crescente demanda do mercado por aços elétricos de alta performance, a ACESITA buscou intensificar estudos que viabilizassem maximizar a produção dos gargalos da linha, aumentando a produtividade dos equipamentos. Um trabalho estruturado foi iniciado para que se alcançassem meios de aproveitar todo o potencial do Laminador N° 2 da Acesita (LB2) com idéias criativas, de curto prazo de implantação e baixo valor de investimento. Juntamente com outros projetos destinados a aumentar o Índice de Funcionamento do Laminador, foi vislumbrada a possibilidade de se aumentar a velocidade máxima do LB2 de 800 m/min para 1050 m/min. A partir de dados extraídos do software que monitora as variáveis de processo do laminador, foi constatada a existência de uma folga de potência nos motores de acionamento e que, com soluções racionais e de baixo custo, seria possível aumentar a velocidade máxima de processo no mesmo. Após análise criteriosa, foram introduzidas novas funções de controle no LB2, feita adequação e introduzidas novas proteções, reformadas as máquinas elétricas e substituídos os componentes mecânicos desgastados. A otimização do processo e a sintonia do AGC (Automatic Gauge Control) foram feitas em etapas, após a liberação do equipamento para rodar no novo patamar de velocidade. Os resultados obtidos com a implantação desse projeto demonstram um aumento da ordem de 5 % na produção global e um incremento na oferta dos aços de grão não orientado (GNO) para o mercado.

Palavras-chave: Aumento velocidade LB2; Laminador a frio; Otimização potência

POWER OPTIMIZATION AND SPEEDING-UP OF ACESITA'S COLD MILL FOR SILICON STEEL

Abstract

In face of the increasing market demand for electrical silicon steels, Acesita pursued intensify the studies that would cater for production maximization on a short and medium run, in order to increase equipment productivity with consequent production increase, preferably on a short run and with low investment cost. Due to the fact that the Silicon Plant has been operating at its limit production capacity in the past three years and the market trend is showing a continuous increase in the consumption of electrical silicon steels, efforts are being exercised to continue to meet the demand. This factor kindled the creation and implementation of the LB2 speed increase project to 1050 m/min. Studies have been carried out and it was verified that LB2 Mill has enough spare power capacity, which, with reasonable solutions and relatively low cost, will allow for the increase of mill process speed. The speed increase project consisted mainly of the preparation of the electric controls and drives, substitution of Mill motor armature, substitution of the gear/motor coupling – pinion box, inspection and replacement of six bearings of the Mill stand pinion box drive. The implementation of the project provided a 9% increase in the Mill productivity, which represented a production increase of 20,000 tons/years.

Key words: LB2 speed increase ; Acesita's cold mill; Power optimization.

¹ *Contribuição Técnica ao 43º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 17 a 20 de outubro de 2006, Curitiba – PR – Brasil.*

² *M.Sc. Engenharia Mecânica – Engenheiro da Gerência de Metalurgia e Processo da ACESITA.*

³ *Engenheiro Elétrico da Gerência de Laminação a Frio de Siliciosos da ACESITA.*

⁴ *Engenheiro Eletricista da Gerência de Manutenção de Siliciosos da ACESITA.*

⁵ *Engenheiro Mecânico da Gerência de Engenharia de Equipamentos da ACESITA.*

⁶ *Analista Técnico da Gerência de Manutenção de Siliciosos da ACESITA.*

⁷ *Engenheiro de Automação da Gerência de Automação da ACESITA*

1 INTRODUÇÃO

A laminação de tiras a frio de aços elétricos da ACESITA é composta de uma linha preparadora, uma linha de recozimento e decapagem, um laminador reversível do tipo Sendzimir e duas linhas de acabamento destinadas respectivamente aos aços elétricos de grão orientado e grão não orientado. Diante da crescente demanda do mercado por aços siliciosos, a ACESITA intensificou esforços que viabilizassem a maximização da produção, aumentando as produtividades de seus produtos no equipamento gargalo, ou seja, no Laminador de Tiras a Frio N° 2 – LB2.

Após a grande reforma feita neste equipamento em 2003, foi possível monitorar todas as variáveis de processo importantes e estudar em que condições o laminador trabalha em cada produto. Foi constatado que para algumas condições, havia disponibilidade de potência no LB2 e que, com soluções racionais e um custo extremamente baixo seria possível aumentar a velocidade máxima de processo de laminação.

A partir desta constatação, alguns outros estudos foram realizados a fim de viabilizar a implantação do projeto. Adequações nos controles elétricos e substituições de alguns componentes mecânicos foram necessários para que a velocidade máxima do laminador fosse aumentada de 800 m/min para 1050 m/min.

O objetivo deste trabalho é mostrar como uma equipe multidisciplinar da ACESITA aumentou a produtividade dos produtos laminados e incrementou a produção global do equipamento gargalo em aproximadamente 5 %.

2 DESENVOLVIMENTO

Avaliação da Planta

Para explorar uma produção maior do laminador LB2, sem troca ou implantação de novos equipamentos, foi necessário avaliar a capacidade dos equipamentos com relação à potência instalada e potência demandada pelo processo. Foi feita uma análise da potência instalada versus potência demandada atual com um estudo de otimização para a potência demandada pelo processo com o aumento da velocidade.

Foi verificado que as potências demandadas são diferentes para cada tipo de aço e passe de laminação. Foi constatada capacidade oculta de velocidade dos motores principais do laminador, capacidade até então mascarada pelo fabricante, que instalou placa com as características dos motores, informando valores limites de velocidade abaixo do máximo que as máquinas poderiam trabalhar. Ou seja, definiu a limitação de potência do equipamento abaixo do que na prática poderia ser explorado.

Potência Máxima Disponível

O Laminador de tiras a frio N° 2 - LB2, tem potência nominal instalada de 3.690 kw e potência máxima utilizável de 6.080 KW. De acordo com os dados do projeto original, em regime contínuo, o equipamento pode trabalhar, com corrente nominal de 7.260 Ampères. Por até 2 horas, pode atuar com uma sobrecarga de até 25%, o que equivale a 9.075 Ampères. Em regime não contínuo, com duração máxima de 30 minutos, pode trabalhar com até 50% de sobrecarga, o que equivale a 10.890 Ampères. E por fim, segundo a curva de carga, ou curva de tempo inverso, essas máquinas podem

trabalhar com até 100% de sobrecarga, desde que seu funcionamento não ultrapasse a 2 minutos, alcançando uma corrente de 14.520 Ampères.

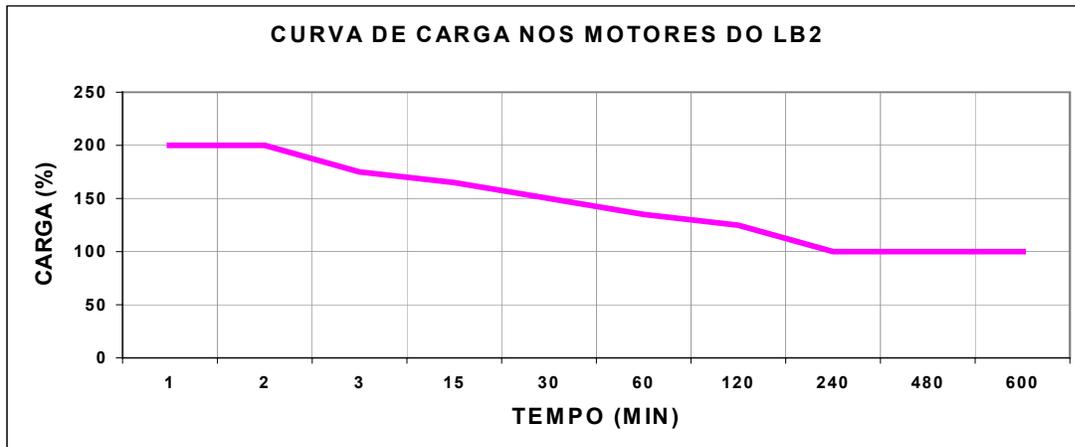


Figura 1. Curva de carga nos motores do laminador

Perfil de Carga Demandado ao Laminador LB2

A partir dos levantamentos realizados numa amostragem de tempo suficientemente grande, foi constatado que em regime normal de operação, mesmo atingindo a sua velocidade nominal (800 m/min), o perfil de carga de laminação do LB2 não é um sistema de operação contínua. Foi observado que, para todos os produtos processados, o tempo gasto para preparação, inversão de passes, introdução e retirada de bobinas, retirada de sucata e etc., são longos o suficiente para descaracterizar o processo como contínuo.

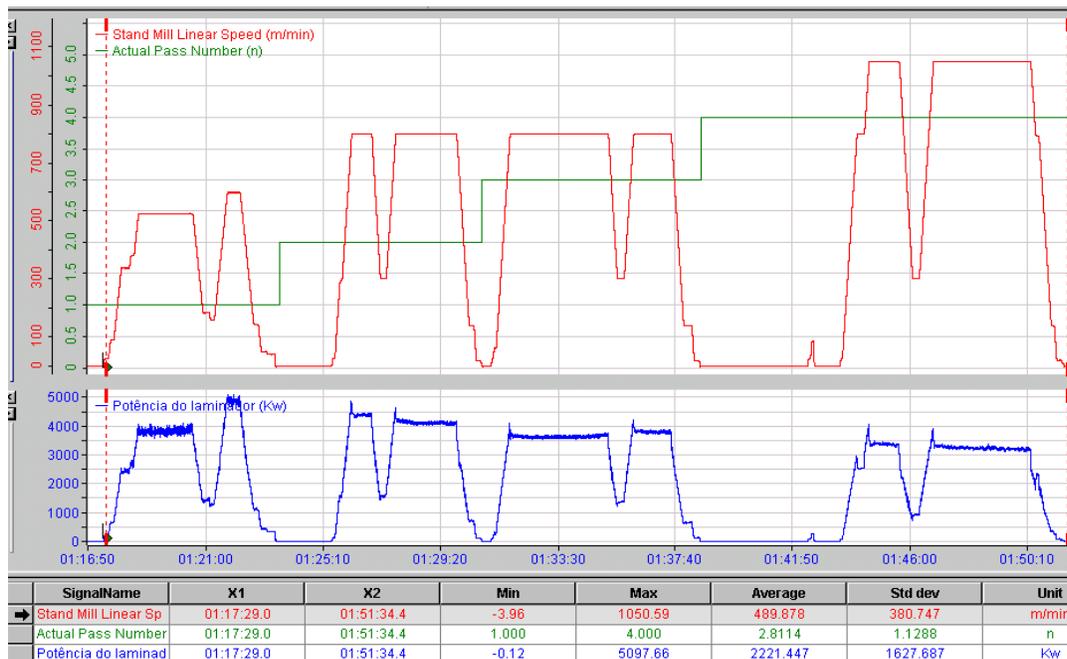


Figura 2. Carga do laminador (KW) para o aço silício de grão não orientado. Fonte IBA analyzer LB2.

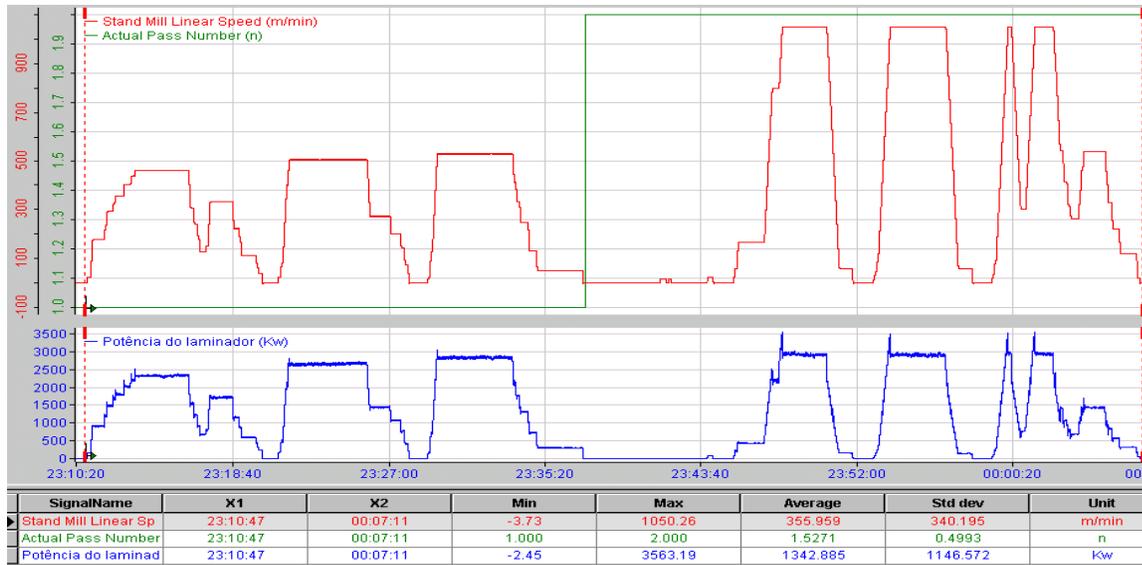


Figura 3. Carga do laminador (KW) para o aço silício de grão orientado. Fonte IBA analyzer LB2.

As paradas intermitentes do laminador por motivos inerentes ao processo proporcionam refrigeração dos motores. Isto facilita explorar as máquinas, em regime de sobre carga mais severa. Daí ser possível aumentar a velocidade máxima do laminador à valores superiores aqueles originalmente explorados.

Avaliação da Potência Máxima do LB2 em Função da Velocidade

Considerando que o Laminador trabalha com corrente máxima limitada em 10400 Ampères, que corresponde a uma potência disponível de 6080 kw, foi realizado levantamento das potências demandadas para os diferentes aços laminados em seus distintos passes de laminação. Desta forma, foi definida a capacidade máxima de carga dos motores da cadeira de laminação do LB2. A partir dos dados de placa dos motores e de informações do fabricante obtém-se a potência disponível x velocidade. Considerando potência elétrica $P = E \times I$

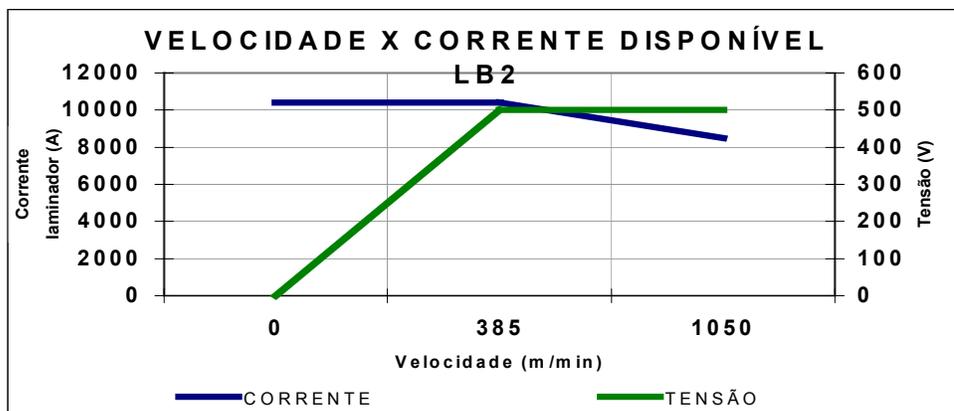


Figura 4. Determinação da capacidade máxima de carga dos motores do LB2.

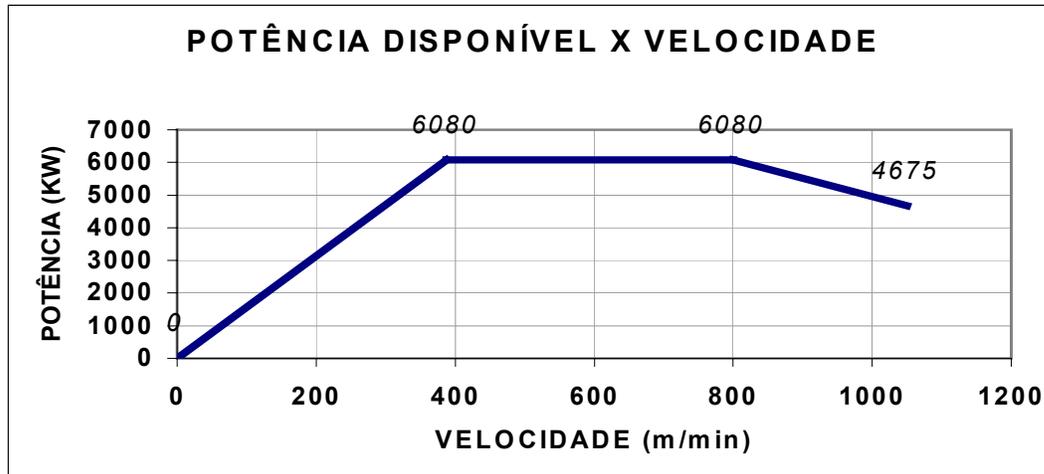


Figura 5. Potência disponível do Laminador em função da velocidade

Determinação do Limite de Velocidade do Laminador em Função da Potência Demandada para Todos os Aços Produzidos

Sabe-se que a potência disponível no Laminador para uma velocidade máxima de 800 m/min é de 6080 KW. No entanto, em função das proteções dos motores, a medida que aumenta-se a velocidade, a potência disponível deverá diminuir. A relação entre potência disponível e velocidade é definida pela equação das duas retas que se interceptam no ponto onde a velocidade é igual a 800 m/min. A potência demandada é definida por uma reta do tipo $y = ax$, enquanto a reta da potência máxima disponível é $y = a'x + b$. A partir daí pode-se calcular o novo limite de velocidade de cada passe de laminação para os diferentes aços processados, como segue.

- A potência demandada é linear em função da velocidade, isto dá uma equação com origem em 0 (zero):

$$y = ax$$

onde;

y = potência,

a = coeficiente de inclinação da reta, $\Delta P/\Delta v$

x = velocidade em m/min

- A equação do gerador de função implementada no sistema de controle RMC para velocidade superior a 800 m/min é uma linear do tipo:

$$y = a'x + b$$

Como a reta considerada é para valores superiores a 800 m/min, temos:

$$y = a'(x - 800) + b \quad a' = \frac{\Delta P}{\Delta V} \quad a' = \frac{(4675 - 6080)}{(1050 - 800)} \quad a' = -5,62$$

então: :

$$-5,62 = \frac{(y - 6080)}{(x - 800)} \quad y = -5,62x + 10576$$

y = potência,

a' = coeficiente de inclinação da reta para velocidades superiores a 800m/min

b = deslocamento da reta em relação à origem.

Então, igualando as equações tem-se a velocidade limite, disponível para operação.

$$ax = a'x + b \quad ax = -5,62x + 10576$$

Exemplo de cálculo da velocidade máxima para aço P920B, 1013 mm de largura, passes 2, 3 e 4 (Potência demandada conhecida).

Passe 2:

$$a = \frac{\Delta P}{\Delta V} = \frac{4400}{800} = 5,5$$

$$5,5x = -5,62x + 10576$$

$$11,12x = 10576$$

$$x = 951,0m / \text{min}$$

Passe 3:

$$a = \frac{\Delta P}{\Delta V} = \frac{3800}{800} = 4,75$$

$$4,75x = -5,62x + 10576$$

$$x = 1019,0m / \text{min}$$

Passe 4:

$$a = \frac{\Delta P}{\Delta V} = \frac{2150}{800} = 2,68$$

$$2,68x = -5,62x + 10576$$

$$x = 1274,0m / \text{min}$$

Obs: O limite será estabelecido em 1050 m/min em função dos motores do Laminador

Efetuando os cálculos anteriores para todos os aços siliciosos amostrados, obtém-se a seguinte tabela:

Tabela 1. Potência demandada por passe para os materiais laminados no LB2

Sumário do aumento de velocidade e potência no LB2							
Plano de passe por material		Potência do Laminador		Limitações			
Produto	Passe	Atual a 800 m/min	Caso ideal a 1050 m/min	Limite mecânico		Limite elétrico	
				kw	Vel. m/min	kw	Vel. m/min
P920Bx1013	1	4000	-				
	2	4400	5720	4400	800	5000	921
	3	3800	4940	3800	800	4500	1019
	4	2150	2800	2800	1050	2800	1050
P920Bx1087	1	4000	-				
	2	5300	6890	5300	800	5600	850
	3	4250	5500	4250	800	5000	950
	4	2600	3500	3500	1050	3500	1050
P999Ex1040 GOBI	1	6000	-	-			
	2	6000	-	-			
	3	6000	-	-			
P999Ex1040 GOBF	1	4000	5200	4000	800	4800	1000
	2	2000	2600	2600	1050	2600	1050m/min

A avaliação das potências demandadas na tabela acima, mostra que em todos os passes de laminação, existe folga de potência, que poderia ser transformado em aumento de velocidade, para os materiais da família GNO (Grão não Orientado) e o GOBF (Bobina Final de Grão Orientado) ainda que em valores diferentes para cada passe. O quadro acima mostra ainda que o aço tipo GOBI (Bobina Intermediária de Grão Orientado), mesmo trabalhando a 800 m/min, é o material que exige maior potência do laminador.

Embora tenha sido constatada folga de potência no laminador para se aumentar a velocidade de processo a partir do 2º passe de laminação, esta não foi realizada de imediato em função das restrições mecânicas encontradas na caixa de pinhão do laminador. Estudos realizados mostraram limites restritivos que deveriam ser eliminados para permitir explorar mais potência do laminador, para velocidades acima de 800 m/min. Por esse motivo, a velocidade de processo, inicialmente, ultrapassou os 800 m/min somente no último passe do dos aços GNO, aços estes que não demandam altas potências durante processo de laminação, alcançando 1050 m/min. Após a retirada das limitações mecânicas detectadas na caixa de pinhão, o laminador passaria a operar obedecendo os limites de potência e velocidade definidos na tabela 01 acima.

Avaliação das Máquinas CC e Conversores CA/CC

Com o desenvolvimento do projeto de Revamp do LB2, foi necessário realizar análise criteriosa das máquinas e dos conversores CA/CC, visto que o LB2 trabalhava em regime de sobrecarga por tempos considerados longos se comparado com outros laminadores. Trabalhar em sobre carga é prática comum neste tipo de equipamento. Mas determinados critérios e precauções devem ser tomadas.

Dados dos Motores CC

- Bobinadeiras esquerda e direita:

Potência nominal: 2x1200kw

Corrente nominal: 2430 Ampères

Vel angular: 0 a 345/1099 rpm

Regime de trabalho: Contínuo

Sobre carga: 25 % : 2 horas ; 60% 0,5hora; 100% 2minutos

- Laminador:

Potência nominal: 3x1200kw

Corrente nominal: 2430 Ampères

Vel angular: 0 a 345/690 rpm

Regime de trabalho: Contínuo

Sobre carga: 25 % : 2 horas ; 60% 0,5hora; 100% 2minutos

Resultados da Análise Inicial realizada

Os motores do Lb2 estavam em condições de conservação consideradas ótimas; As máquinas suportam as sobre cargas previstas, sem riscos; Os dados de placa dos motores de acionamento da cadeira do Laminador são diferentes dos dados de placa

dos motores de acionamento das bobinadeiras mas os motores são iguais; As dimensões físicas dos 07 motores são as mesmas.

Sendo iguais, os motores de acionamento da cadeia do Laminador poderiam rodar com velocidade superior aquela especificada na placa dos motores.

Os Controles de Automação

Considerando o alto nível de automação do LB2 existente, os controles possuem recursos suficientes para controlar, gerenciar e proteger o equipamento sob circunstâncias de exploração de potência mais severas, com segurança e precisão.

É possível gerenciar potência, tração, velocidade, corrente, torque, etc, pelo tipo de material, pela taxa de redução e pelo passe de laminação sem riscos para o equipamento.

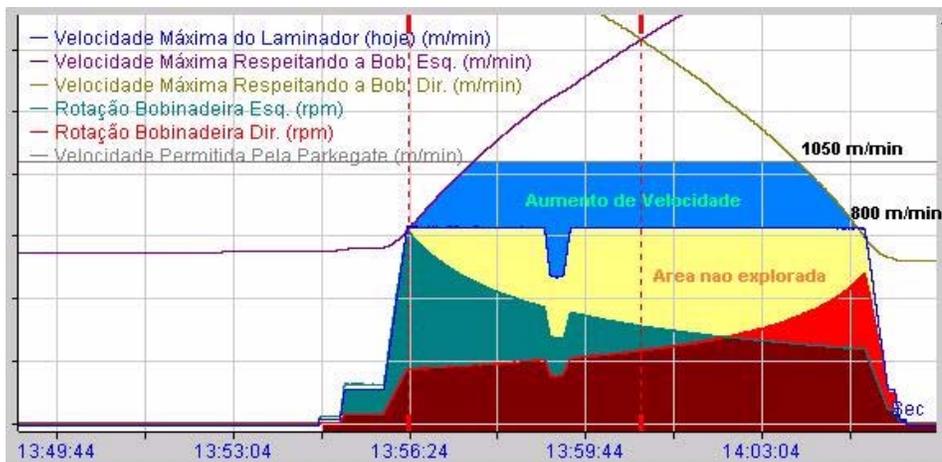


Figura 6. Estratégia de controle para otimização da potência instalada

Estratégia de Controle

Foi implementado no sistema de controle do Laminador, uma rotina de software para gerenciamento da máxima velocidade de laminação baseada na máxima velocidade angular das bobinadeiras e diâmetro atual. A função fornece o limite dinâmico da velocidade máxima do Laminador ao longo da bobina em processo

Gerenciamento da corrente máxima do laminador

Foi implementado função de software para gerenciar todo o tempo, a máxima corrente permitida dos motores do laminador para altas velocidades. Este gerenciamento possui limite dinâmico e configurável, o limite da velocidade máxima é alterado, sempre que a corrente do laminador aproxima do valor previamente definido como limite.

Dimensionamento da faixa de controle de tensão e velocidade

A faixa de tensão de trabalho varia de 0 a 24 toneladas e a velocidade máxima será alterada de 800 para 1050 m/min, usando todas as máquinas disponíveis. O limite de velocidade máxima é adaptável com a potência das máquinas, cadeia de laminação e bobinadeiras para cada passe de laminação e taxa de redução utilizada.

Estabilidade dos sistemas de controle

A atual estabilidade do laminador, referente a: tensão na tira, velocidade de laminação e espessura final do material, foram mantidos nos mesmos níveis originais.

Avaliação mecânica da cadeira de laminação e componentes girantes envolvidos.

Para conhecer com mais precisão o limite mecânico da cadeira de laminação e dos componentes mecânicos envolvidos (principalmente as partes girantes), cujo aumento de velocidade intensificaria o desgaste dos componentes, um estudo específico sobre estes itens foi desenvolvido. Foi contratada uma empresa credenciada pela T. Sendzimir Inc, responsável por fornecimento de equipamentos siderúrgicos, para emitir parecer sobre o impacto do aumento de velocidade do LB2 nos componentes mecânicos da cadeira de laminação - caixa de pinhão, rolos defletores, rolos tensores e redutores das bobinadeiras.

O trabalho constou de um parecer com duas posições ou fases distintas. O primeiro definiu até quanto a velocidade do Laminador LB2 poderia chegar sem impactar ou atingir os limites dos componentes mecânicos envolvidos. Os parâmetros elétricos dos motores principais foram tomados como referência para o valor do limite de velocidade. A partir destes dados foi definido o limite de velocidade do Laminador como sendo 1050m/min. Em seguida analisado o impacto deste incremento de velocidade nos componentes mecânicos do Laminador.

Todas as partes mecânicas estavam adequadas para suportar o aumento de velocidade, exceto 06 rolamentos internos da caixa de pinhão da cadeira de laminação. Estes rolamentos apresentavam restrições de velocidade para rotação angular maior que 1100 rpm que seria a nova demanda a partir da implantação do projeto.

3 CONCLUSÕES

Constatada disponibilidade de potência significativa e viável de ser aproveitada, o projeto foi implantado. Foram introduzidas novas funções de controle no Laminador, feita adequação das proteções existentes e introduzidas proteções redundantes nos controles para assegurar a robustez do equipamento.

O ponto relevante de restrição mecânica ao aumento de velocidade do LB2 foi a caixa de pinhão de acionamento da cadeira de laminação. Devido à desgastes e rolamentos internos com limites técnicos de velocidade sendo ultrapassados para a nova situação proposta, 06 rolamentos tiveram que ser substituídos.

A otimização do processo e a sintonia do Controle automático de Espessura AGC foi feita pela equipe da Acesita, em etapas, após a liberação do equipamento para produzir no novo patamar de velocidade seguindo um plano de adequação e domínio tecnológico do processo.

4 RESULTADOS

Projeto implantado em duas etapas. O Laminador tem operado a 1050 m/min, todos os parâmetros de processo têm se mantido em níveis satisfatórios.

Etapa 01:

Adaptação dos controles elétricos, reajustes de proteções, manutenção nos motores de acionamento da cadeira de laminação e troca do acoplamento motor/caixa de pinhão. Aumento de 5% ou 6000 toneladas na capacidade de produção anual de aços siliciosos GNO.

Etapa 02:

Adequação da caixa de pinhão para aumentar a velocidade de processo nos passes intermediários do aço GNO P920. Aumento de 4% ou 4800 toneladas na capacidade de produção anual de aços siliciosos GNO.

Agradecimentos

ABB Ltda: Ernesto Jimenez; Flávio Bragaia; Lindenberg
Parkegate Engineering: John Meadan; David Parkin

BIBLIOGRAFIA

- 1 Acesita, aços siliciosos – Grão Orientado, Grão Não Orientado - Catálogo
- 2 HITACHI LTD., Operating manual
- 3 Sendzimir, Technical Manual
- 4 Parkegate Engineering, LB2 Mill speed increase feasibility study