

MODERNIZAÇÃO DO LAMINADOR A FRIO QUÁDRUO REVERSÍVEL DA BRASMETAL WAEZHOLZ¹

Celso Tadeu Bielskis ²

Resumo

O objetivo da modernização do laminador foi o ganho da sua produtividade com o aumento da velocidade de laminação em cinquenta por cento. Para que o objetivo fosse atingido com segurança diversos aspectos foram avaliados. Nesse trabalho foram focados dois aspectos: a influência da nova velocidade na laminação a frio e a necessidade de adaptação ou substituição de equipamentos auxiliares do processo. A verificação da influência da nova velocidade no processo foi feita através de simulações baseadas em cálculos encontrados na literatura. No caso dos novos equipamentos destacam-se: o controle de espessura sem contato por raios-X e a utilização de nitrogênio líquido durante a laminação de acabamento (skin pass).

Palavras-chave: Taxa de deformação; Laminação a frio; Nitrogênio.

¹Contribuição Técnica ao 42º Seminário de Laminação – Processo e Produtos Laminados e Revestidos; Santos, SP, Outubro de 2005.

²Supervisor de Manutenção da Brasmetal Waelzholz S.A. Ind e Com – cbielskis@brasmetal.com.br

1 INTRODUÇÃO

A Brasmetal Waelzholz S.A. é uma das principais empresas especializadas em relaminação a frio de fitas de aço. A empresa é resultado de uma joint - venture entre a Brasmetal Companhia Brasileira de Metalurgia e o grupo alemão C. D. Waelzholz, uma das maiores empresas da Europa no segmento, com mais de 175 anos de experiência em relaminação de aços.

Adotando uma política de manter-se competitiva, atender às novas demandas de mercado e, principalmente, liderar tecnologicamente, a Brasmetal Waelzholz mantém uma rotina de investimentos na inovação de seu processo.

Dentro do elenco de inovações importantes que foram realizadas em 2004, destaca-se a modernização de um dos seus principais laminadores quádruplo reversível a frio. O objetivo da modernização foi o ganho da produtividade, com o aumento de 50% na velocidade do laminador, associada à inovação tecnológica do equipamento.

O laminador entrou em operação em 1986, e originalmente o seu acionamento era em corrente contínua. Em 1996 o laminador recebeu a primeira modernização com a substituição dos conversores CA/CC existentes por conversores de última geração, porém, os motores originais em CC foram mantidos. Como se sabe, os motores de CC necessitam de maiores cuidados de manutenção, e no caso específico do laminador, devido ao longo período de operação, as intervenções passaram a ser mais freqüentes. Este fato e à necessidade do aumento da produtividade foram fatores determinantes na tomada de decisão para a modernização do equipamento.

2 INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE NO PROCESSO DE LAMINAÇÃO

A velocidade de laminação influencia a taxa de deformação média, como pode ser visto na Equação 1. Aumentando a taxa de deformação também ocorrerá um aumento da resistência a deformação, a relação entre a resistência a deformação média e a taxa de deformação pode ser expressa pela Equação 2.

Por outro lado, encontra-se na literatura, que sob altas velocidades, ou sob altas reduções o efeito da velocidade na resistência a deformação é pequeno.

$$\dot{\epsilon} = \frac{V_p \cdot \sqrt{\frac{2}{D \cdot (h_1 - h_2)}} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2}}{1,155} \quad (1)$$

$$\bar{\sigma} = 1,15 \cdot \bar{\epsilon}^n \cdot k \quad (2)$$

Para avaliar quais seriam os efeitos da nova velocidade, foi elaborada uma planilha para simular o processo com um acréscimo de 50% na velocidade.

Para que os cálculos fossem validados, foi feita uma comparação entre os valores medidos e os coletados.

A elaboração da planilha seguiu as seguintes etapas:

1º etapa -. Inicialmente foi escolhida uma qualidade de material que tivesse uma produção representativa dentro do processo, dessa família de material foram selecionados diversos rolos originados de diferentes bobinas vindas da laminação a quente. Do processamento destes rolos, através do supervisor do laminador, foram

extraídas informações como: espessura inicial e desejada em cada passe, velocidade de laminação, largura da chapa, força de laminação, diâmetro dos cilindros de laminação, potência de laminação e tração.

2º etapa -

Cálculo do torque total, Md .

$$Md = \frac{716,2.N}{n_{rpm}} \quad (3)$$

Cálculo do momento resistente, Mdz , devido ao atrito dos mancais.

$$Mdz = F.\mu.D' \left(\frac{D}{Da} \right) \quad (4)$$

Cálculo do momento de laminação, Mdo .

$$Mdo = Md - Mdz \quad (5)$$

Cálculo do torque, Ms , sem influencia da tração.

$$Ms = Mdo - \left[\left(\frac{\sigma_{br} h_i - \sigma_{ba} h_1}{2} \right) . R.b.0,001 \right] \quad (6)$$

3º etapa - Cálculo do cilindro achatado R'

$$R' = R. \left(1 + \frac{c.F}{b.\Delta h} \right) \quad (7)$$

$$ld' = \sqrt{R'.\Delta h} \quad (8)$$

4º etapa - Cálculo do braço de alavanca, a .

$$a = \frac{Mdo}{2.F} \quad (9)$$

5º etapa - Cálculo da força de laminação, P , sem influencia da tração.

$$P = \frac{Ms}{2.a} \quad (10)$$

6º etapa - Cálculo da tensão média de deformação, $\bar{\sigma}$

$$\bar{\sigma} = \frac{1000.P}{ld'.b} \quad (11)$$

7º etapa - Cálculo do coeficiente de resistência a deformação, k .

$$k = \frac{\bar{\sigma}}{1,15.\bar{\varepsilon}^n} \quad (12)$$

$$\bar{\varepsilon} = 0,4 \ln \frac{h_i}{h_0} + 0,6 \ln \frac{h_i}{h_1} \quad (13)$$

8º etapa – Conhecido o valor de k pode ser calculada (equação 2) a resistência a deformação média, $\bar{\sigma}$. O esforço de laminação sob influência da tração, F , foi calculado pela equação de Hessenberg e Sims e comparado com o esforço medido. O valor de k foi corrigido até que o erro entre o valor do esforço medido e do esforço calculado fosse inferior a 10%

$$F = P \cdot \left[1 - \frac{1}{3 \cdot \bar{\sigma}} \cdot (2\sigma_{br} + \sigma_{ba}) \right] \quad (14)$$

Nomenclaturas:

$\dot{\epsilon}$	Taxa de deformação	m	Coeficiente de deformação
V_p	Velocidade periférica dos cilindros	l_d'	Arco de contato
D	Diâmetro dos cilindros de trabalho	b	Largura da tira
R	Raio do cilindro de trabalho	σ_{br}	Tração de ré
D'	Diâmetro do pescoço cilindro de encosto	σ_{ba}	Tração avante
D_a	Diâmetro da mesa do cilindro de encosto	N	Potência
h_i	Espessura inicial	n_{rpm}	Rotação dos cilindros
h_1	Espessura na entrada	$\Delta h = h_1 - h_2$	
h_2	Espessura final	F	Força de laminação sob influência da tração
$\bar{\epsilon}$	Deformação média	c	Para cilindro de aço $2,2 \times 10^{-4} \text{ mm}^2/\text{kg}$
n	Coeficiente de encruamento		

3 PERIFÉRICOS NECESSÁRIOS À NOVA VELOCIDADE

Para garantir o desempenho da máquina na nova faixa de velocidade, equipamentos periféricos como redutores, rolamentos de cilindros, acoplamentos, freios, eixos de transmissão dos cilindros de trabalho, sistema de refrigeração da chapa e medidores de espessura foram avaliados e substituídos ou adaptados para a nova condição de trabalho.

Dos periféricos citados, dois merecem destaque em função do investimento envolvido e da implantação de um novo conceito dentro do processo de laminação da Brasmatal Waelzholz. Esses dois itens são:

- Medidores de espessura sem contato através de raios-X
- Utilização de nitrogênio líquido durante a laminação de acabamento (Skin-Pass).

3.1 Medidores de Espessura

O controle da espessura na laminação a frio é de grande importância, principalmente porque uma das principais características do produto relaminado é objetivar uma faixa de tolerância restrita.

Dois métodos são comumente aplicados:

- A medição sem contato.
- A medição com contato.

Originalmente, no laminador, o tipo de medição utilizado era a medição com contato. Neste tipo de medidor um sensor com uma ponta de diamante e núcleo de ferrite entra em contato com a chapa, e com a variação de espessura, é emitido um sinal de corrente para um amplificador, neste amplificador é possível a leitura da variação da espessura.

Baseado na experiência que tínhamos com o medidor com contato e pelos altos índices de intervenções de manutenção que geravam, foi optado pela medição sem contato através de raios-X. Neste tipo de medidor, os raios-X são emitidos por uma fonte de radiação que passa através da chapa que está sendo medida, um detector situado no lado oposto mede a intensidade da radiação, isto é, quando a radiação passa através da chapa, uma parte é absorvida pelo material e a outra parte chega no detector que mede a intensidade e gera uma corrente proporcional a espessura da tira.

O conjunto de medição adquirido pela Brasmetal Waelzholz (vide Figura 1) é composto de três medidores, um para medição de espessura no lado de entrada, um para a medição da espessura no lado da saída do laminador e, ainda no lado de saída, um medidor adicional para avaliação do perfil transversal da tira. Também foi incluso no escopo de fornecimento um software para o tratamento estatístico dos dados obtidos e medidores de velocidade a laser. A utilização do medidor de velocidade a laser foi fundamental para o desempenho do AGC (Automatic Gauge Control) na nova faixa de velocidade.



Figura 1. Medidores de espessura longitudinal e transversal por raios-X.

3.2 Refrigeração e Lubrificação da Chapa

Na laminação a frio, além da função principal que é a redução do atrito e conseqüentemente à redução dos esforços, o lubrificante deve proporcionar a preservação dos cilindros (resfriamento), proteção contra a corrosão da superfície, a limpeza da chapa, remoção de partículas e um acabamento superficial de boa qualidade.

A execução da laminação a frio de desbaste é praticamente impossível de ser executada sem a presença de lubrificantes, porém na laminação de acabamento, em função das baixas reduções envolvidas, isto é possível, e em alguns casos, é feito sem a utilização do lubrificante para que seja evitada a presença de corrosão superficial da chapa decorrente de lubrificantes solúveis em água.

No caso da laminação de acabamento, para melhorar as condições de refrigeração sem comprometer a qualidade superficial do material, foi adotada uma tecnologia inovadora, a laminação com o uso do nitrogênio líquido em substituição a emulsão aquosa. Esta nova tecnologia foi desenvolvida e patenteada, em nível

mundial, pela empresa alemã de relaminação de aço, coligada da Brasmatal Waelzholz, a C. D. Waelzholz em parceria com a Air Products.

Devido a características como: baixa temperatura (-196°C), facilidade de evaporação sem deixar resíduos e ser inerte, o nitrogênio líquido possibilitou o aumento da velocidade com excelentes resultados quanto à qualidade do produto relaminado. Os aspetos que envolvem a qualidade podem ser destacados como: a excelente limpeza superficial da chapa, a uniformidade de rugosidade, a eliminação de rejeições devido à oxidação e a possibilidade de desenvolvimento de novos produtos que precisam ser isentos de óleo.

Na Figura 2, através de análise termográfica, pode ser verificado o desempenho da laminação a seco, com emulsão aquosa e com o uso de nitrogênio líquido para a redução de 1% na espessura.

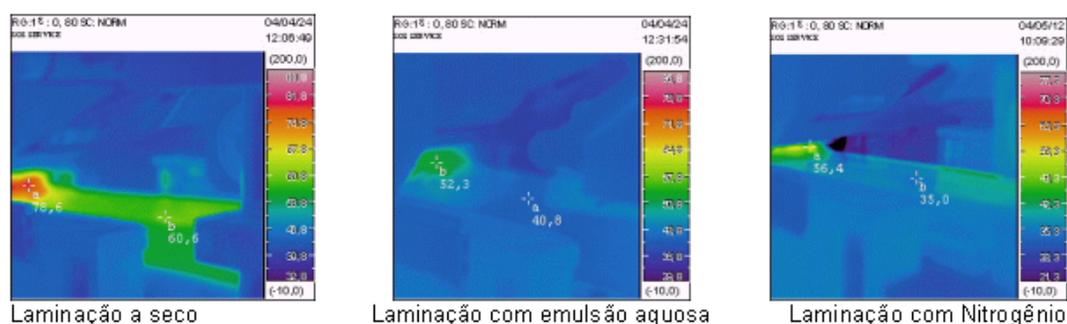


Figura 2. Análise termográfica de materiais laminados a frio.

4 DEFINIÇÃO DO ESCOPO DE FORNECIMENTO E FORNECEDORES

Por se tratar do principal laminador da Brasmatal Waelzholz, houve um critério rigoroso para a seleção dos fornecedores, principalmente do acionamento e dos medidores de espessura.

A seleção dos fornecedores e a definição do escopo de fornecimento, foi feita em conjunto, com a C.D.Waelzholz, durante reuniões realizadas em Diadema e em Hagen na Alemanha. Esta etapa do trabalho seguiu o seguinte cronograma:

Etapa	Participantes	Local	Mês/Ano
Solicitação das propostas - acionamento	BW	Diadema	Fev/03
Solicitação das propostas - medidores	CDW	Hagen	Fev/03
Seleção do fornecedor - acionamento	BW/CDW	Diadema	Abr/03
Reunião preliminar para elaboração da proposta consolidada - acionamento	BW/CDW/Fornecedor	Diadema	Abr/03
Elaboração da proposta consolidada - acionamento	BW/CDW/Fornecedor	Hagen	Jun/03
Avaliação e definição do fornecedor - medidores	BW/CDW	Hagen	Jul/ago/03

5 PLANEJAMENTO E INSTALAÇÃO

Definido o escopo técnico e de fornecimento, o desafio era a instalação dos novos equipamentos e periféricos com a menor interferência possível para o processo produtivo do laminador.

Para que isso ocorresse à execução do projeto foi dividido em duas etapas:

- Troca dos medidores
- Troca do acionamento

E estas etapas foram subdivididas em outras duas:

- Preparação
- Instalação

5.1 Planejamento e Instalação dos Medidores

A limitação do espaço existente no laminador, as dimensões dos novos medidores (maiores que os originais) e a inclusão de um medidor para a medição do perfil foram as maiores dificuldades para a execução do projeto, e as alterações efetuadas no laminador, necessárias para a instalação dos novos medidores, demandaram muita criatividade do pessoal de projeto da Brasmetal Waelzholz.

A programação necessária para a preparação, instalação e comissionamento foram feitos conforme Tabela 1 e 2 respectivamente.

Tabela 1. Cronograma de preparação - Medidores

Etapa	Status da máquina	Previsão	Mês/ano
Projeto para a adaptação dos medidores no laminador	Sem parada	2 Meses	Set a out/03
Modificações na máquina para a instalação dos novos medidores	Com parada	72hs	Dez/03
Projeto, fabricação e montagem das bases para medidores.	Sem parada	3 meses	Jan a Mar/04
Preparação dos leitos e passagem dos cabos	Sem parada	1mês	Mar/04
Montagem dos painéis elétricos novos	Sem parada	1mês	Jun/04
Adaptação dos púlpitos de comando	Com parada	2 paradas de 16hs	Jun/04
Montagem da janela de proteção	Com parada	2 paradas de 16hs	Jun/04
Preparação do sistema de refrigeração	Com parada	8hs	Jun/04
Preparação da infraestrutura para comunicação entre o sistema novo e o AGC	Sem parada	1mês	Mai/04
Montagem e comissionamento dos medidores	Com parada	72hs	Jul/04

Tabela 2. Cronograma de Instalação - Medidores

Etapa	Turno			Previsão	Dia da parada
	1º	2º	3º		
Desmontagem dos medidores antigos	x			8hs	1º
Modificações na máquina para a montagem	x	x	x	24hs	1º
Montagem dos medidores novos	x			8hs	2º
Ligação elétrica dos medidores		x	x	16hs	2º
Ligação dos novos equipamentos nos púlpitos	x	x	x	48hs	1º/2º
Comissionamento pelo fornecedor	x	x		32hs	2º/3º
Retorno do equipamento em operação	X				4º

5.2 Planejamento e Instalação do Acionamento

Assim como no medidor de espessura, para se obter êxito durante a parada para a instalação dos motores, a preparação antecipada foi fundamental.

A programação foi feita conforme a tabela 3 para a preparação e conforme a Tabela 4 para a instalação e comissionamento.

Tabela 3. Cronograma de preparação - Acionamento

Etapa	Status da máquina	Previsão	Mês/ano
Preparação da nova sala elétrica	Sem parada	3meses	Set a nov/03
Definição e compra dos novos acoplamentos, peças reposição redutores, freios e cardans.	Sem parada	5meses	Nov/03 a mar/04
Projeto e fabricação das novas bases dos motores	Sem parada	3meses	Jan a mar/04
Projeto para adaptação do manifold de nitrogênio		1mês	Set/03
Montagem do painel de média tensão	Com parada	72hs	Dez/03
Montagem trafo 13,2kV/ 0,69V	Sem parada	1 mês	Mar/04
Montagem dos painéis dos Drivers	Sem parada	2meses	Abr a mai/04
Montagem dos leitos e passagem dos cabos	Sem parada	1mês	Mai/04
Instalação do sistema de refrigeração da sala	Sem parada	1mês	Mai/04
Pré-montagem dos motores nas bases e montagem dos acoplamentos	Sem parada	15 dias	Jun/04
Montagem da tubulação para nitrogênio	Sem parada	1mês	Mai/04
Montagem do manifold para nitrogênio	Com parada	72hs	Dez/04
Teste em vazio dos motores	Sem parada	72hs	Jul/04
Montagem e comissionamento	Com parada	120hs	Jul/04

Tabela 4. Cronograma de Instalação – Acionamento

Etapa	Turno			Previsão	Dia da parada
	1º	2º	3º		
Desmontagem dos motores e bases antigas	x			8hs	1º
Montagem e alinhamento com laser dos motores e bases novas	x	x	x	24hs	1º
Ligação dos motores	x	x	x	24hs	1º/2º
Comissionamento	x	x		72hs	2º ao 5º
Retorno do equipamento em operação	x				6º

6 RESULTADOS OBTIDOS

6.1 Influência da Velocidade no Esforço de Laminação

No gráfico 1 pode ser observada a variação do erro obtido entre o esforço de laminação medido e o calculado através da planilha de simulação.

No gráfico 2 é demonstrada, a partir de simulação, a variação do esforço de laminação com o incremento da velocidade.

No gráfico 3 pode ser verificado que a taxa de deformação aumenta com o aumento da velocidade de laminação.

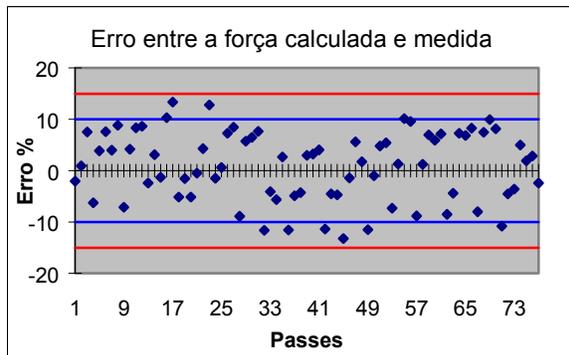


Gráfico 1

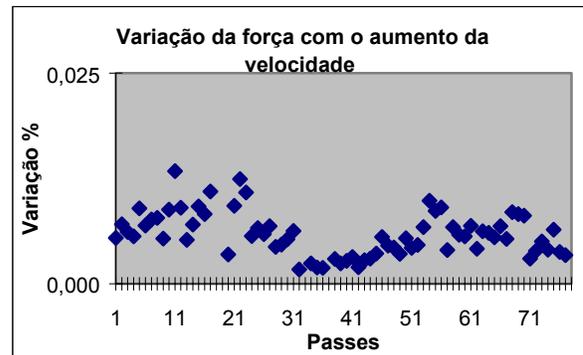


Gráfico 2

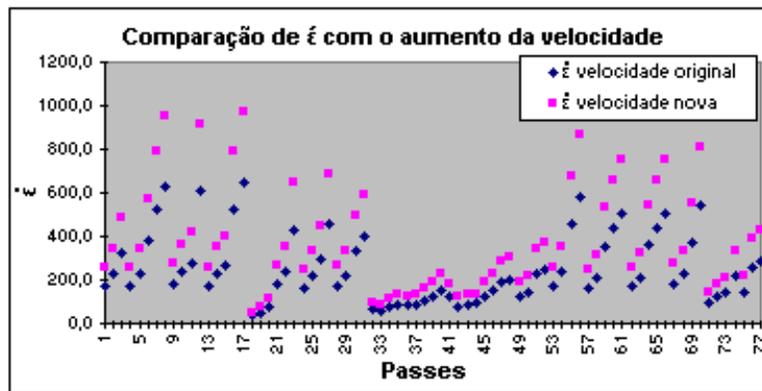


Gráfico 3

6.2 Configuração do Laminador

6.2.1 Acionamento

Tabela 5. Configuração do acionamento

Parâmetro	Antes da reforma	Após a reforma
Acionamento	Corrente contínua	Corrente alternada
Potência desenrolador	80 kW	80 kW
Potência enrolador	250 kW	370 kW
Potência gaiola	600 kW	1000 kW
Velocidade Marcha 1	140 m/min	210 m/min
Velocidade Marcha 2	200 m/min	300 m/min
Velocidade Marcha 3	400 m/min	600 m/min
Tensão	440 V	690 V

6.2.2 Medidores

Tabela 6. Configuração dos medidores

Parâmetro	Antes da reforma	Após a reforma
Tipo de medição	Com contato	Sem contato – Raios-X
Medição de perfil	Não	Sim
Precisão de medição	0,01mm	0,1% da espessura
Medição de velocidade	Gerador de pulsos	Raio Laser

6.3 Comparação entre a parada programada e realizada

Etapa	Parada programada	Parada realizada
Medidor	72 hs	75 hs
Acionamento	120 hs	72 hs

7 CONCLUSÕES

- Foi verificado experimentalmente que, no caso específico do laminador, o aumento de velocidade, mantendo-se as características de torque, não interferiria no esforço de laminação. Este fato foi confirmado com a entrada em operação do laminador com a nova velocidade, visto que não foi necessária a alteração nos planos de passe.
- O aumento da taxa de deformação não alterou significativamente a resistência a deformação.
- A medição de velocidade a laser foi fundamental para o desempenho do AGC. Com a medição por taco gerador de pulsos havia um escorregamento entre a tira e o rolete onde o taco estava acoplado, no caso da medição com laser este escorregamento não existe e a medição é mais precisa.
- Com a nova configuração do laminador houve um ganho de aproximadamente 20% na produtividade da máquina.
- O novo processo de laminação com nitrogênio líquido dentro da nova faixa de velocidade, apresentou inúmeras vantagens como:
 - Excelente acabamento de superfície quanto à limpeza e brilho;
 - Uniformidade de acabamento para superfície superior e inferior bem como início e final de rolo;
 - Maior uniformidade de rugosidade;
 - Eliminação de problemas de rejeição por oxidação e falta de aderência em materiais revestidos;
 - Redução de etapas de pré-tratamento, principalmente para produtos revestidos;
 - Possibilidade de novos desenvolvimentos de produtos devido a produção de tiras isentas de óleo.
- O novo sistema de controle de espessura por raios-x permitiu trabalharmos com velocidades de laminação ainda maiores; reduziu a zero as paradas de equipamento para manutenção e calibração; eliminou problemas de defeitos de superfície originados pelo contato entre o medidor e a tira (processo anterior era por contato) além de ter possibilitado o conhecimento e tratamento estatístico dos valores reais de espessura ao longo da tira e de seu perfil transversal.
- Fornecedores confiáveis, planejamento, preparação antecipada e a motivação de todos os envolvidos foram fatores determinantes para se atingir o objetivo.

REFERÊNCIAS

- 1 BW NEWS. São Paulo: Brasmetal Waelzholz S.A., set. 2004.
- 2 HELMAN, H. et al. **Fundamentos da laminação**: produtos planos. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1988.
- 3 PLAUT, R.L. **Laminação dos aços**: tópicos avançados. 3.ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1984.
- 4 POLUKHIN, P. et al. **Rolling Mill Practice**. Trad. de Nicholas Weinstein. Moscou: Peace Publishers
- 5 TSELIKOV, A. I; NIKITIN, G.S; ROKOTYAN, S.E. **The theory of lengthwise rolling**. Trad. de V. Afanasyev. 1.ed. Moscou: Mir Publishers, 1980.
- 6 UNDERWOOD, L.R. **The rolling of metals**: theory and experiment. 2.ed. Londres: Chapman & Hall Ltd, 1952. v.1.

Abstract

The purpose of the rolling mill modernization was the improvement on the productivity with the raise on rolling speed in fifty percent. To reach this aim with safety conditions some aspects were analyzed. On this paper were checked two mains aspects: the influence from the new speed on the cold rolling process and the need to adapt or replace some auxiliary equipment. The influence of the speed on the rolling process was checked through simulations according some calculations found in the literature. In case of new equipments was detached: the thickness control without contact through x-ray and the use of liquid nitrogen used during the skin-pass.

Key-words: Strain rate; Cold rolling; Nitrogen