LAMINAÇÃO DE PERFIS QUADRADOS NA LAMINAÇÃO AUTOMÁTICA DA V & M DO BRASIL[1]

Eduardo Eustáquio Vilaça Dupin[2]
Cristiano Caldeira dos Santos[3]
Ronan Veríssimo da Silva[4]
Júlio César Ferreira[5]
Edesio Edmur[6]
Romero Pereira da Silva[7]

Resumo
Atualmente na V & M do Brasil, perfis quadrados são produzidos pelo processo de conformação a frio por uma empresa terceirizada situada dentro da usina Barreiro. Através da utilização de uma nova calibragem para as duas últimas cadeiras de laminação do Laminador Redutor/Calibrador, pode-se mudar o perfil de laminação de tubos redondos para quadrados. Foi realizado o teste de laminação de um produto, apresentando ótimos resultados dimensionais e de qualidade superficial interna e externa. Laminações teste estão programadas para validação da calibragem e avaliação da capabilidade do processo em toda a faixa de produção da Laminação Automática até dezembro de 2008. Os resultados destas laminações servirão de base para aprovação de investimento para adaptação completa da linha de laminação da Laminação Automática da V & M do Brasil para laminar perfis quadrados e retangulares em escala comercial.
Palavras-chave: Perfis quadrados; Laminação a quente; Tubos sem costura; Laminação com mandris.

ROLLING SQUARE PROFILES AT THE PLUG MILL FROM V & M DO BRASIL

Abstract
Nowadays at V & M do Brasil, square profiles are manufactured by cold rolling on an outsourcing company in the Barreiro Mill site. With the advent of a new pass and groove design for the last two stands of the Sizing Mill, it was possible to modify the rolling profile from round to square. Great results were obtained during a test rolling performed to evaluate the geometry dimensions and surface quality. Rolling tests are scheduled until December 2008 in order to evaluate the pass design through the total Plug Mill's range of production and assure process capability. Those results will support a new investment in order to adapt the Plug Mill facility to produce square and rectangular profiles in a commercial basis.
Key words: Square profiles; Hot rolling; Seamless tubes rolling; Plug mill.

[1] *Contribuição técnica ao 45° Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 21 a 24 de outubro de 2008, Ipojuca - Porto de Gainhas - PE*
[2] *Engenheiro Mecânico, MSc, Engenheiro de Processo - Laminação Automática, V & M do Brasil.*
[3] *Engenheiro Mecânico, Gerente de Produção - Laminação Automática, V & M do Brasil.*
[4] *Engenheiro Mecânico, Engenheiro Sênior - Laminação Contínua, V & M do Brasil.*
[5] *Engenheiro de Produção, Engenheiro de Processo - Laminação Automática, V & M do Brasil.*
[6] *Engenheiro Mecânico, Engenheiro Sênior - Engenharia e Ampliação, V & M do Brasil.*
[7] *Administrador de Empresa, Coordenador Técnico - Oficina Central - Manutenção e Utilidades, V & M do Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Atualmente na V & M do Brasil, perfis quadrados e retangulares são produzidos pelo processo de conformação a frio por uma empresa terceirizada situada dentro da usina Barreiro. A matéria-prima para produção destes perfis são tubos de aço sem costura fabricados nos dois departamentos de laminação da V & M do BRASIL. São eles: Laminação Automática e Laminação Contínua.

Este trabalho apresenta o processo de desenvolvimento e adaptação do Laminador Calibrador (Redutor), último estágio do processo de deformação a quente na Laminação Automática, para a laminação de perfis quadrados e retangulares.

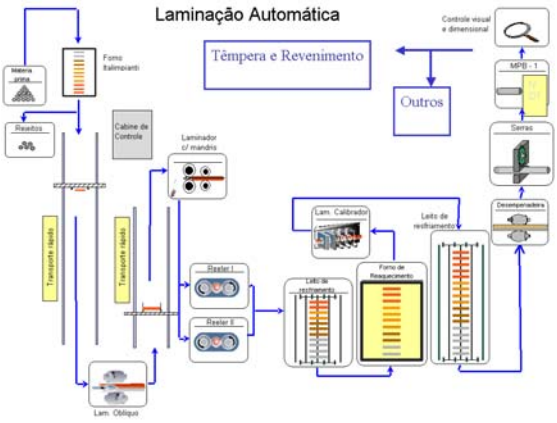
1.1 O Departamento de Laminação Automática

A Laminação Automática da V & M do Brasil possui uma capacidade instalada de 260.000 tons/ano para tubos de aço sem costura, na faixa de bitola de 168,3 a 365,1 mm (6" a 14"), parede de 5,9 mm a 38,0 mm e comprimento de 4,5 m a 14,5 m.

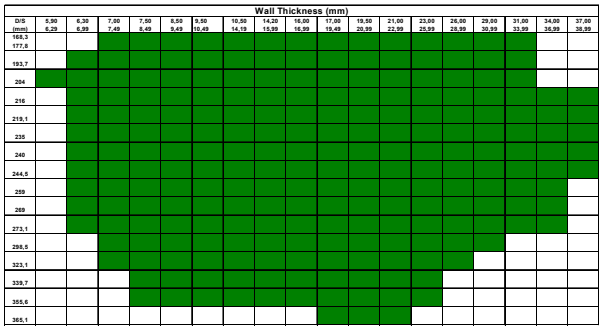
O seu processo inicia-se a partir de blocos fornecidos pela Aciaria da Usina Barreiro. Os blocos são aquecidos em um forno de soleira caminhante e então, perfurados e alongados em um moderno Laminador Oblíquo (Perfurador). O bloco perfurado, chamado de lupa, passa por mais dois processos, um de laminação com mandril interno (Laminador com Mandris), onde a espessura de parede final é objetivada, e outro de alisamento (Laminador Alisador), com expansão do diâmetro externo.

Dando continuidade ao processo de deformação a quente, o tubo sofre um reaquecimento em forno de soleira caminhante que confere a ele estado austenítico para, em seguida, ser reduzido no Laminador Calibrador (Redutor) às suas dimensões finais.

Após o processo a quente, os tubos seguem para a área de desempeno, corte, acabamento, inspeção não destrutiva e tratamento térmico em uma moderna instalação de Têmpera e Revenimento.



(a) Fluxo do processo de laminação



(b) Geometria de produção

Figura 1. Laminação Automática.

1.2 O Laminador Calibrador

O Laminador Calibrador (Redutor) é último estágio do processo de conformação a quente, onde o tudo reaquecido, em estado austenítico, é reduzido às suas dimensões finais. Este laminador consiste em um conjunto de 10 cadeiras/gaiolas consecutivas de três rolos.

(a) **(b)**

Figura 2. Laminador Calibrador.

As cadeiras possuem rolos em arranjo triangular, com apenas um eixo de acionamento principal. A rotação é transmitida aos demais rolos por sistema de engrenagens. As cadeiras estão dispostas com um ângulo de 60° entre si. Elas provocam uma pequena deformação no tubo para que se possa atingir a dimensão final do produto. Um número menor de cadeiras é utilizado de acordo com a redução total requerida. Não se utiliza mandril interno neste estágio de deformação do material.

Figura 3. Cadeira do Laminador Calibrador.

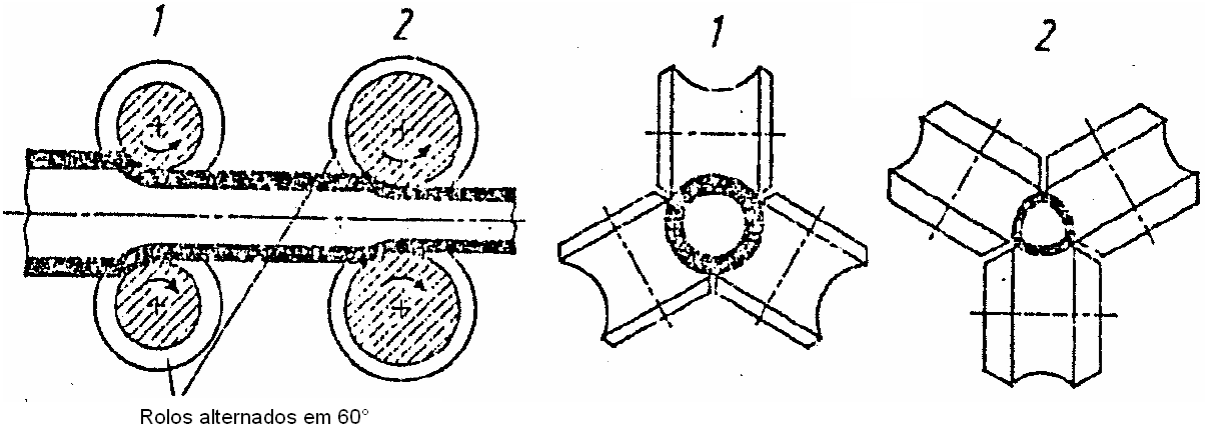


Figura 4. Representação esquemática do processo de redução no Laminador Calibrador.

O laminador possui três acionamentos independentes, sendo o primeiro alimentando as cadeiras de 1 a 8, e os dois últimos para as cadeiras 09 e 10, chamadas cadeiras acabadoras. As rotações dos motores são ajustadas para que não haja tração longitudinal, ou seja, não há estiramento e conseqüente redução da espessura de parede do tubo. Ao contrário, acontece um pequeno engrossamento da espessura de parede.

Devido à independência dos acionamentos das cadeiras acabadoras, uma alteração de projeto e calibragem permite mudar o perfil de laminação de tubos redondos para quadrados e retangulares.

1.3 Perfis MSH - Perfis Estruturais

Os perfis estruturais circular, quadrangular e retangular laminados a quente, conhecidos comercialmente por perfis MSH (***M****annesmann-****S****tahlbau-****H****ohlprofile*), do grupo Vallourec & Mannesmann Tubes, são amplamente utilizados na arquitetura metálica moderna por sua elegância e leveza. Entretanto seu uso não se restringe apenas às aplicações em engenharia civil na construção de edifícios, pontes, galpões industriais, estádios, plataformas, etc. Os perfis MSH são também amplamente empregados em engenharia mecânica na fabricação de equipamento agrícolas, guindastes, sistemas de carregamento, etc.

Sua tecnologia vem sendo desenvolvida a vários anos no departamento de laminação da V & M Deutschland GmbH (Alemanha), usina de Düsseldorf-Rath.

A laminação de perfis quadrados e retangulares acontece no último estágio do processo de conformação a quente no Laminador Calibrador. As duas últimas cadeiras de laminação, cadeira acabadoras, com três rolos em arranjo triangular, são substituídas por cadeiras com quatro rolos em arranjo quadrangular, referente aos quatro lados do perfil. Devido à independência dos acionamentos destas cadeiras, é possível uma alteração da velocidade para garantir a geometria (espessura de parede) e qualidade superficial requerida.

Os perfis dos rolos são projetados considerando a deformação mínima e máxima necessária entre as cadeiras 8 e 9 (interface entre a forma redonda e quadrangular/retangular), e cadeiras 9 e 10 (redução do perfil quadrangular/retangular).

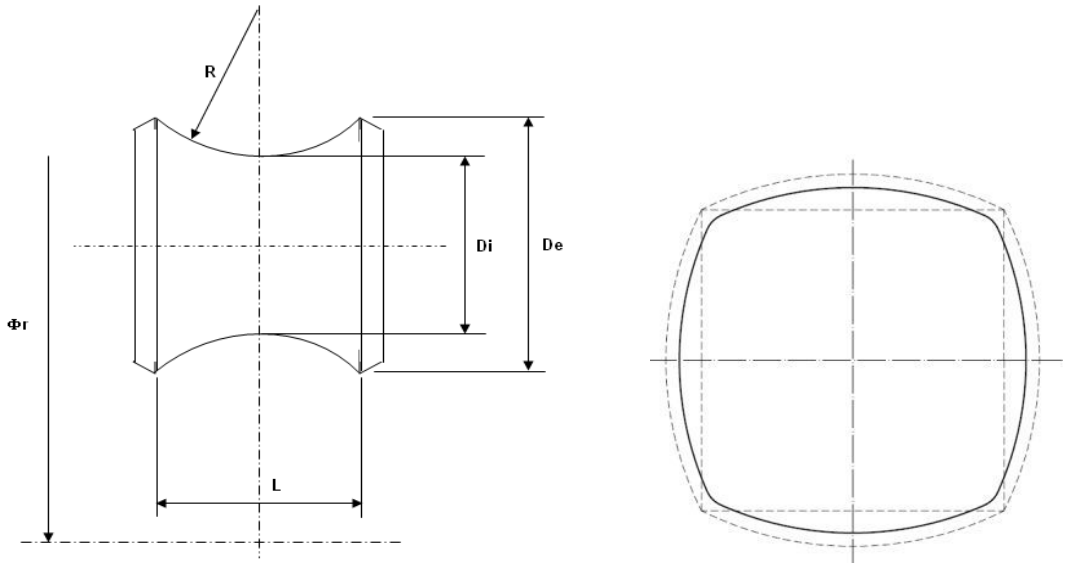
2 DESENVOLVIMENTO

Para a realização do teste de laminação foi criado um projeto de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento). Foi escolhido o perfil 254 mm x 254 mm para o teste de laminação. Os rolos das cadeiras foram usinados seguindo calibragem específica, para a cadeira intermediária (cadeira 09) e cadeira acabadora (cadeira 10).

A calibragem de perfis, basicamente, leva em consideração os seguintes aspectos:

- Tipo de aço e temperatura de laminação;
- Diâmetro do tubo na cadeira 8 (última cadeira redonda);
- Espessura de parede do tubo na cadeira 8;
- Diâmetro entre eixos das cadeiras: eixo motor e eixo livre;
- Redução máxima de diâmetro.

Abaixo, um esquema geral de geometria dos rolos:



(a) Esquema de calibragem dos rolos **(b)** Geometria do perfil no calibrador

Figura 5. Esquema de calibração do Laminador Calibrador para laminação de perfis.

Onde:

R = Raio do calibre
De = Diâmetro externo do rolo
Di = Diâmetro interno do rolo
L = Largura do rolo
Φr = Distância entre eixos

O projeto da nova cadeira foi desenvolvido pelo Departamento de Engenharia e Ampliação da V & M do Brasil, baseado no projeto alemão da usina Düsseldorf-Rath.

Fonte: V & M Deutschland GmbH.

Figura 6. Cadeira de laminação - Laminador Calibrador - usina de Düsseldorf-Rath.

As cadeiras possuem quatro rolos em arranjo quadrangular, referente aos quatro lados do perfil. Por ser um teste piloto de laminação, para reduzir o tempo de fabricação, as duas cadeiras foram fabricadas em construção de aço laminado ao invés de fundidas.

(a) **(b)**

Figura 7. Fabricação das cadeiras acabadoras para laminação de perfis - Laminador Calibrador.

(a) Cadeira Intermediária **(b)** Cadeira Acabadora

Figura 8. Cadeira de laminação de perfis - Laminador Calibrador.

Devido ao arranjo quadrangular, as cadeiras possuem dois eixos horizontais de acionamento principal, eixo motor. O eixo dos rolos verticais é livre, ou seja, não há transmissão de rotação do eixo motor para eixo livre.

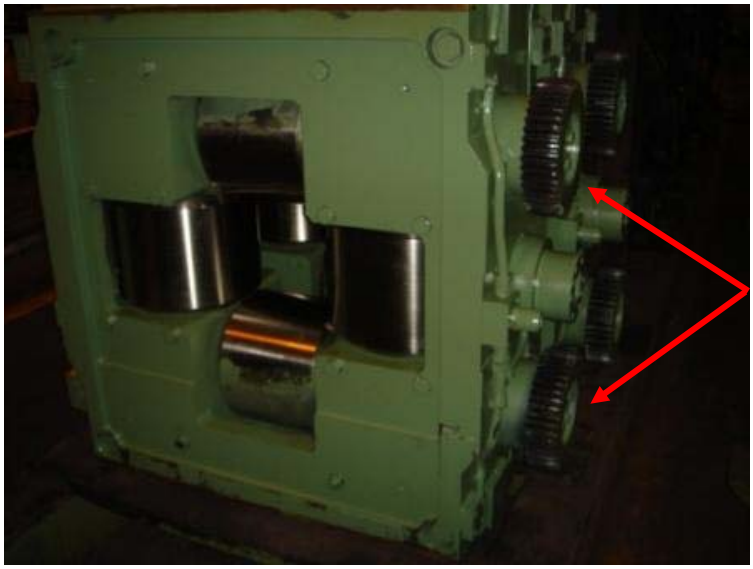


Figura 9. Cadeira de laminação de perfis - Laminador Calibrador.

2.1 Adaptação da saída do Laminador

A saída do Laminador calibrador é composta de uma linha de rolos em forma de “V” e funis guias para orientar a saída do tubo. Foram necessárias adaptações nesta saída para permitir a saída do perfil. Foram confeccionadas capas para “encamisar” alguns rolos da linha de rolos e guias em “U” para prevenir o desalinhamento do perfil em caso de empenamento.

(a) Guias em “U”

(b) Capas para linha de rolos

Figura 10. Peças para adaptação da saída do Laminador Calibrador.

2.2 Preparação do Laminador e Teste de Laminação

A preparação e o teste de laminação foram realizados logo após o término da produção normal da semana.

(a) Montagem da guias em “U”

(b) Capas para linha de rolos

Figura 11. Preparação da saída do Laminador Calibrador.

(a) Produção normal

(b) Adaptação para laminação de perfis

(c) Produção normal

(d) Adaptação para laminação de perfis

Figura 12. Saída do Laminador Calibrador.

Após montagem das adaptações, o laminador e a saída foram alinhados.

Figura 13. Visão do alinhamento da saída do Laminador Calibrador.

Para este teste, foram selecionados como matéria-prima, alguns tubos de diâmetro 339,7 mm, espessura de parede nominal 13,20 mm. O objetivo principal foi validar a calibragem utilizada para o perfil 254 mm x 254 mm e conhecer algumas variáveis envolvidas durante a laminação de perfis. Estas peças foram reaquecidas a 950°C para então serem laminadas no laminador Calibrador.

Figura 14. Laminador Calibrador – adaptado para laminação de perfis.

Abaixo, uma seqüência de fotos durante a laminação e dos perfis acabados.

(a) Saída do laminador

(b) Linha de rolos

(c) Mesa de saída do laminador

(d) Perfis frios nos boxes

Figura 15. Laminação teste de perfis quadrados – Laminação Automática.

(a) Ponta do perfil – aspecto da região de "mordida"

(b) Pé do perfil

Figura 16. Extremidades (ponta e pé) do perfil quadrado.

Durante a laminação de um dos perfis, produziu-se o que chamamos de "Stecker", que consiste na interrupção via desarmamento dos motores do laminador durante a passagem do tubo. Através do "Stecker" pode-se estudar a geometria e deformação durante as reduções do tubo redondo para o perfil quadrado.

(a) Retirando o “Stecker” **(b)** “Stecker”

Figura 17. Laminação interrompida – fabricação do “Stecker”.

As medidas dimensionais dos perfis estão dentro das tolerâncias previstas em norma para perfis quadrados laminados.

Estatística Descritiva:

Variable	Média	D.Pad.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Lado do Perfil (B)	253,84	0,470	252,70	253,50	253,90	254,00	255,80
Espessura Parede (T_0)	13,731	0,505	12,800	13,400	13,670	14,000	15,700
Esp. Par. Canto (T_1)	15,381	0,495	14,200	15,000	15,300	15,700	17,100
Raio de Canto (C_1)	15,536	1,406	13,170	14,310	15,500	16,500	19,500
X_1 , X_2	0,5533	0,402	0,0000	0,0800	0,7450	0,9400	0,9900

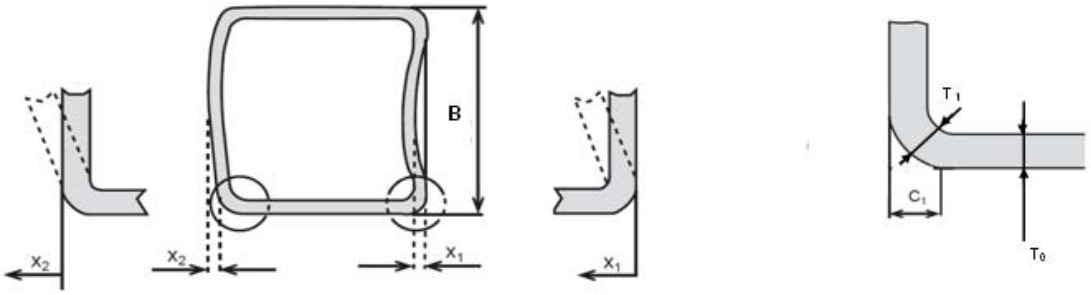


Figura 18. Perfil quadrado – pontos de medição.

Não foram verificados defeitos superficiais internos e externos nos perfis laminados. Foi verificada uma quantidade maior de carepa aderida ao perfil, causada pelo tempo excessivo de permanência dos tubos no forno de reaquecimento durante os experimentos.

3 COMENTÁRIOS FINAIS

Este trabalho mostrou a seqüência de desenvolvimentos na Laminação Automática da V & M do Brasil para adaptação do Laminador Calibrador, último estágio do processo de deformação a quente, para um teste de laminação de perfis quadrados.

O teste de laminação realizado apresentou ótimos resultados dimensionais e de qualidade superficial interna e externa. Laminações teste estão programadas para validação da calibragem e avaliação da capabilidade do processo em toda a

faixa de produção da Laminação Automática até dezembro de 2008. Os resultados destas laminações servirão de base para aprovação de investimento para adaptação completa da linha de laminação da Laminação Automática da V & M do BRASIL para laminar perfis quadrados e retangulares em escala comercial.

Agradecimentos

Agradecemos à V & M Deutschland GmbH pela parceria nas informações técnicas trocadas.
À Superintendência de Laminação Automática da V & M do Brasil pelos recursos disponibilizados, e às suas equipes nos departamentos de laminação, manutenção e qualidade.
Aos departamentos de Engenharia e Ampliação, e Manutenção e Utilidades da V & M do Brasil responsáveis pelo projeto, fabricação e montagem das cadeiras de laminação e demais peças de adaptação.