

LAMINAÇÃO DE CANTONEIRAS: UMA VISÃO DOS DIVERSOS MÉTODOS DE CALIBRAÇÃO E GUIAGEM¹

José Aparecido Pereira²

Resumo

Cantoneira é um dos produtos com maior range de aplicação, desde a construção metálica pesada até as aplicações super leves em serralheria. Para a laminação deste produto existem diversos métodos de calibração tais como borboleta, plana ou a combinação entre si, além de canais abertos ou fechados. Diversos fatores influenciam a escolha do método a ser usado, se destacando a dimensão do produto, o lay-out do laminador, a dimensão dos cilindros, guias disponíveis, a potência dos motores e a dimensão do tarugo, bloco ou esboço disponível. Neste trabalho estes aspectos são abordados e analisados.

Palavras-chave: Calibração; Cantoneira; Métodos; Guiagem.

ANGLES ROLLING: A VISION OF THE SEVERAL METHODS OS ROLL PASS DESIGN AND GUIDING

Abstract

Angle is a rolled product with a wide range of applications covering since the heavy metallic construction up to locksmiths super light accessories. For the rolling of this product there are several roll pass design methods such as butterfly, flat or a mix of both, beyond open and closed grooves. Several factors influence the choice of the method to be used so it must be taken in care the product dimension, the rolling mill lay-out, the roll dimensions, available guides, motor power and the dimension of the billet, bloom or stock available. In this paper all these issues are addressed and analyzed.

Key words: Roll pass design; I beam; Gothic; Diagonal.

¹ *Contribuição técnica ao 50º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 18 a 21 de novembro de 2013, Ouro Preto, MG, Brasil.*

² *Engenheiro Mecânico - Consultor de Laminação – ArcelorMittal Cariacica, Cariacica, ES, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Existem 3 tipos de cantoneiras (Figura 1):

- a) Abas iguais
- b) Abas desiguais
- c) Bulbo

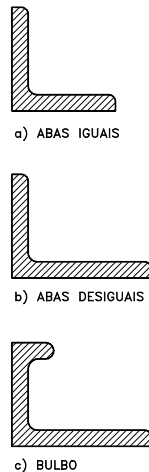


Figura 1 – Tipos de cantoneiras.

Praticamente 100% da produção no Brasil é de Abas Iguais, as de Abas Desiguais caíram em desuso e as do tipo Bulbo têm uso restrito à indústria naval.

2 CARACTERIZAÇÃO DA CANTONEIRA

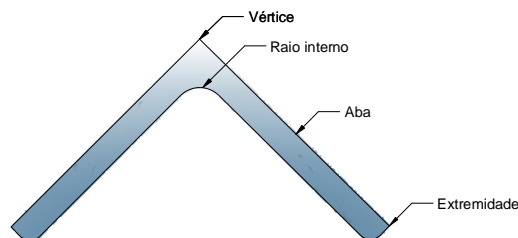


Figura 2 – Componentes da cantoneira.

A largura e espessura da aba caracterizam a dimensão da cantoneira (Figura 2). No Brasil se tem cantoneiras milimétricas e em polegadas. As milimétricas são usadas principalmente em torres de eletrificação as cantoneiras em polegada são usadas no mercado distribuidor para uso geral. O raio interno é determinado por norma e o vértice é normalmente vivo, porem isto não está previsto em norma, podendo ser usado um pequeno raio principalmente para reduzir a concentração de tensão no canal do cilindro superior. A extremidade pode ter canto vivo ou não o que não afeta a aplicação final do produto.

3 MÉTODOS DE CALIBRAÇÃO

3.1 Método por Dobramento

Neste tipo de calibração as abas são retas e são reduzidas e dobradas gradualmente em canais fechados. O ângulo do vértice inicia com 145 a 125° no primeiro passe até 90° no passe acabador (Figura 3).⁽¹⁾

Desvantagens:

- canais muito profundos, reduzindo a resistência dos cilindros;
- grandes diferenças nas velocidades periféricas;
- grande desgaste dos canais e
- alta potência de acionamento.

Atualmente este processo não é mais usado

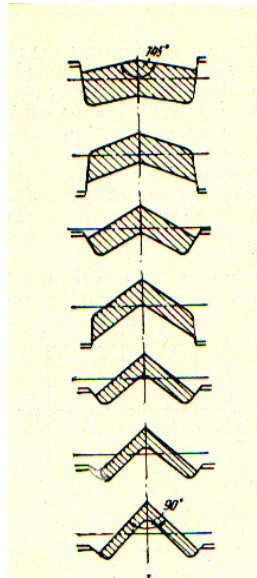


Figura 3 – Método por dobramento.

3.2 Método Plano com Passe de Borda

Este processo que também não é mais usado e é formado de passes planos abertos com a formação do vértice com passes de borda para controle da largura. O dobramento final é feito no canal acabador o que gera grande desgaste além de ser um passe instável (Figura 4).⁽¹⁾

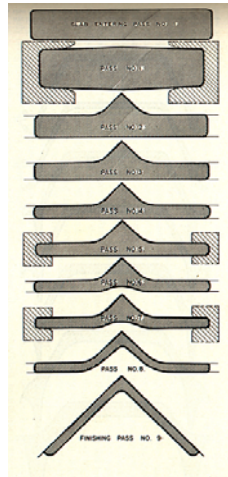


Figura 4 – Método plano.

3.3 Método Plano com Canais Abertos e Fechados

Neste tipo de calibração (Figura 5) a partir do segundo passe o ângulo do vértice é constante e igual a 90° e a aba é formada por um trecho reto e uma saliência no meio formando o vértice. Os canais são abertos e fechados sendo que estes têm a função de controlar a largura.⁽¹⁾

Vantagens:

- pequena profundidade dos canais e
- nos canais abertos diversas larguras podem ser laminadas no mesmo jogo de canais e
- o passe de borda tem a função de controlar a largura dos passes subsequentes
- desvantagens:
- dificuldade de agarre no passe acabador;
- grande largura ocupada pelos canais na mesa do cilindro.

3.4 Método Borboleta

A calibração borboleta é uma evolução das duas anteriores e tem características geométricas bem definidas (Figura 6):

- o ângulo do vértice se reduz gradativamente de 145° a 125° no primeiro passe até 90° no passe líder;
- a aba é formada por um trecho reto formando o vértice e uma curvatura na extremidade;
- os canais são fechados com abertura alternada ora para baixo ora para cima, sendo que normalmente a abertura do líder é para cima, ao contrário da figura 6
- o raio do vértice decresce a partir do primeiro passe até atingir de 0 a 2 mm no passe líder;
- o raio interno decresce até atingir o valor do raio no último passe e
- as paredes do canal fechado são inclinadas de modo a evitar agarramento e para facilitar a recuperação do canal na usinagem.

As vantagens são as seguintes:

- canais com profundidade reduzida;
- possibilidade de grandes reduções, devido ao fato das reduções serem predominantemente diretas e

- melhor aproveitamento dos cilindros.

Desvantagens são as seguintes:

- os últimos canais têm que ser específicos para um gama pequena de espessuras de aba.⁽¹⁾

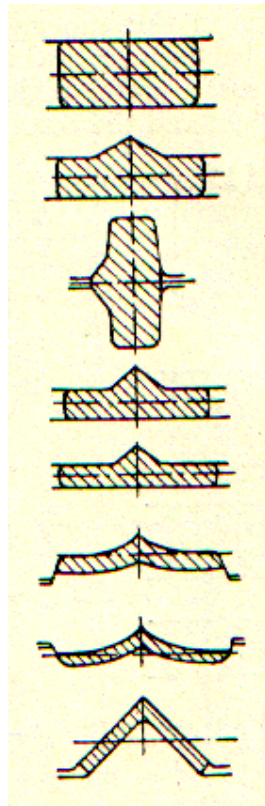


Figura 5 – Método plano com canais fechados.

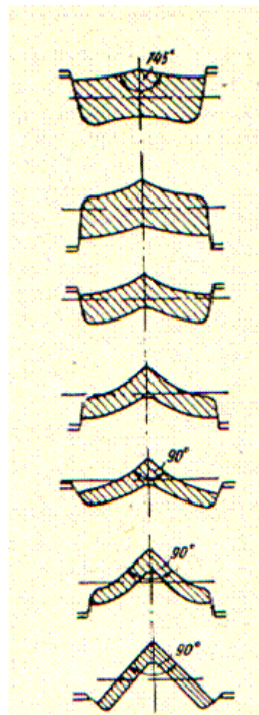


Figura 6 – Método Borboleta.

Na Figura 7 é mostrada uma calibração com 7 passes para 50x5 e 6mm (2)

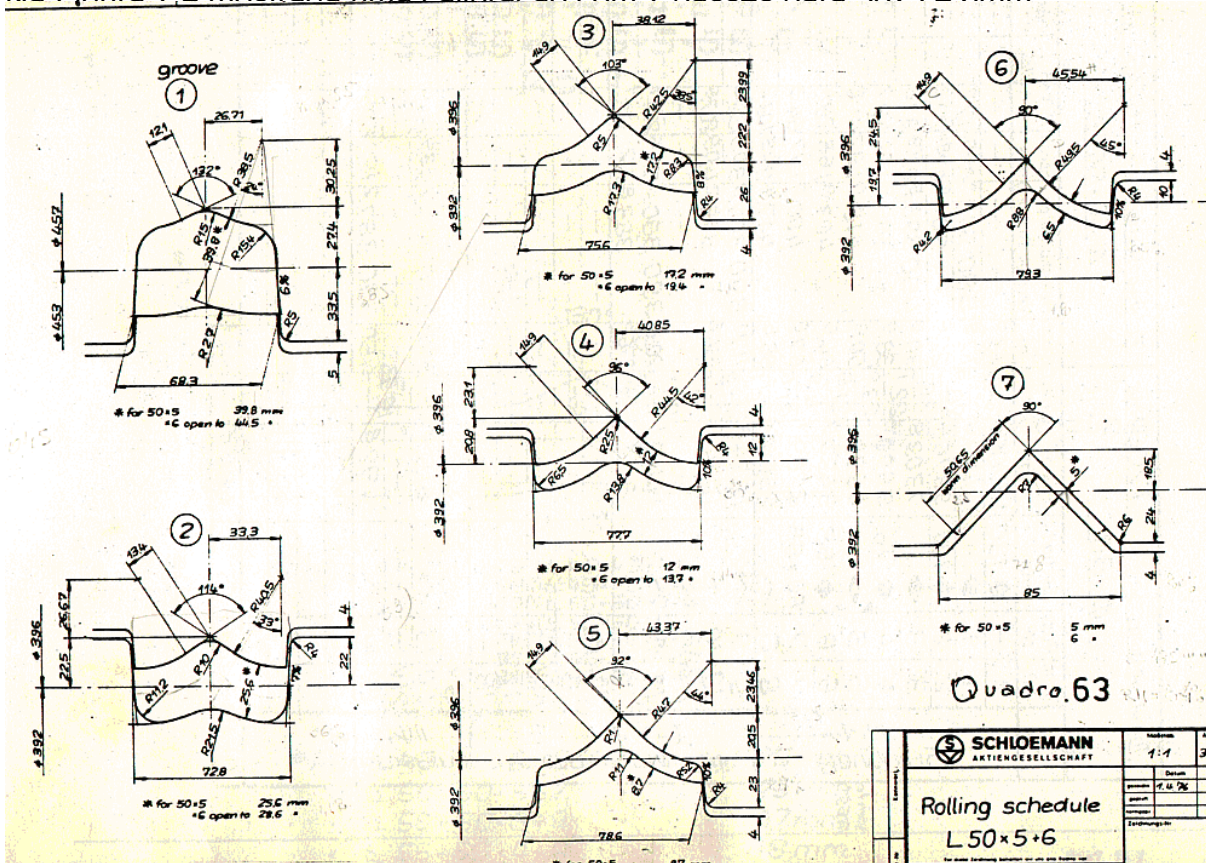
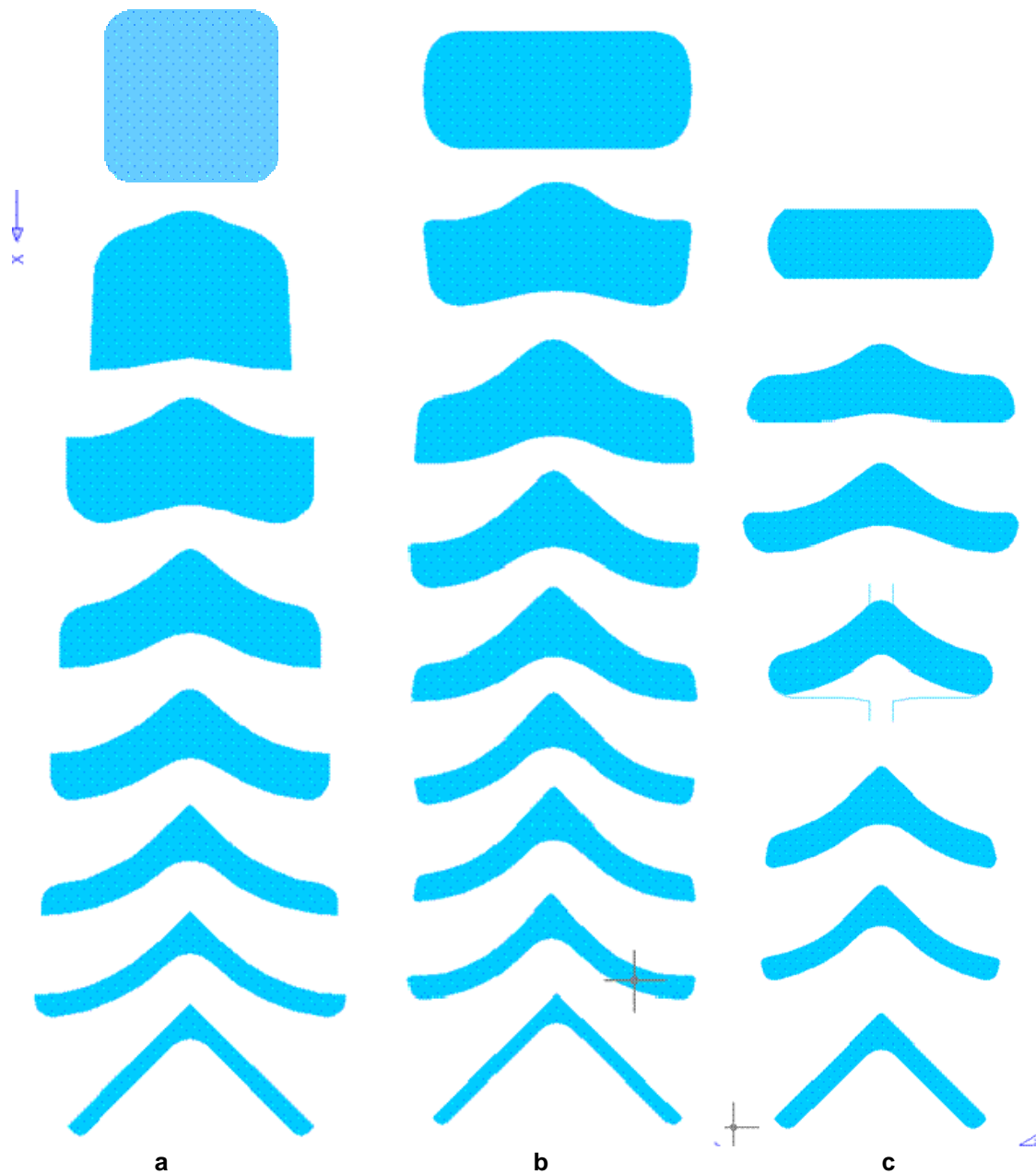


Figura 7 – Método Borboleta com 7 passes

Na calibração borboleta o esboço inicial pode ser um quadrado ou um retângulo. A Figura 8a mostra um exemplo a partir de um quadrado. Na Figura 8b o esboço é um retângulo e visualmente se pode observar que é esta opção é mais estável nos primeiros passes. O passe de borda (Figura 8c) é usado para controlar a largura para entrada nos passes seguintes, isto permite que os passes anteriores sejam usados para diversas espessuras (Exemplo: Cantoneiras milimétricas e em polegadas com abas próximas).



Figuras 8 – Método Borboleta a partir de quadrado, retângulo e com passe de borda

3.5 Método Borboleta para Abas Desiguais

- A calibração de cantoneiras de abas desiguais segue os mesmos princípios das abas iguais.
- Os canais são posicionados com as extremidades no mesmo nível de modo que o empuxo horizontal seja igual evitando deslocamento dos cilindros.



Figura 9 – Calibração borboleta para abas desiguais.

3.6 Calibração com Canais Abertos

- As cantoneiras podem ser laminadas em canais abertos.
- Neste tipo de calibração a dimensão das abas é controlada pelos passes de borda.

- Cantoneiras com diferentes espessuras podem ser laminadas nos mesmos canais.
- Cantoneiras com diferentes abas podem ser laminadas nos mesmos canais.
- O estoque de cilindros é reduzido.
- Esta calibração exige bom controle na centragem das guias em relação aos canais para evitar abas desiguais.

Neste exemplo são usados 2 canais acabadores, o que contribui para melhora da qualidade superficial

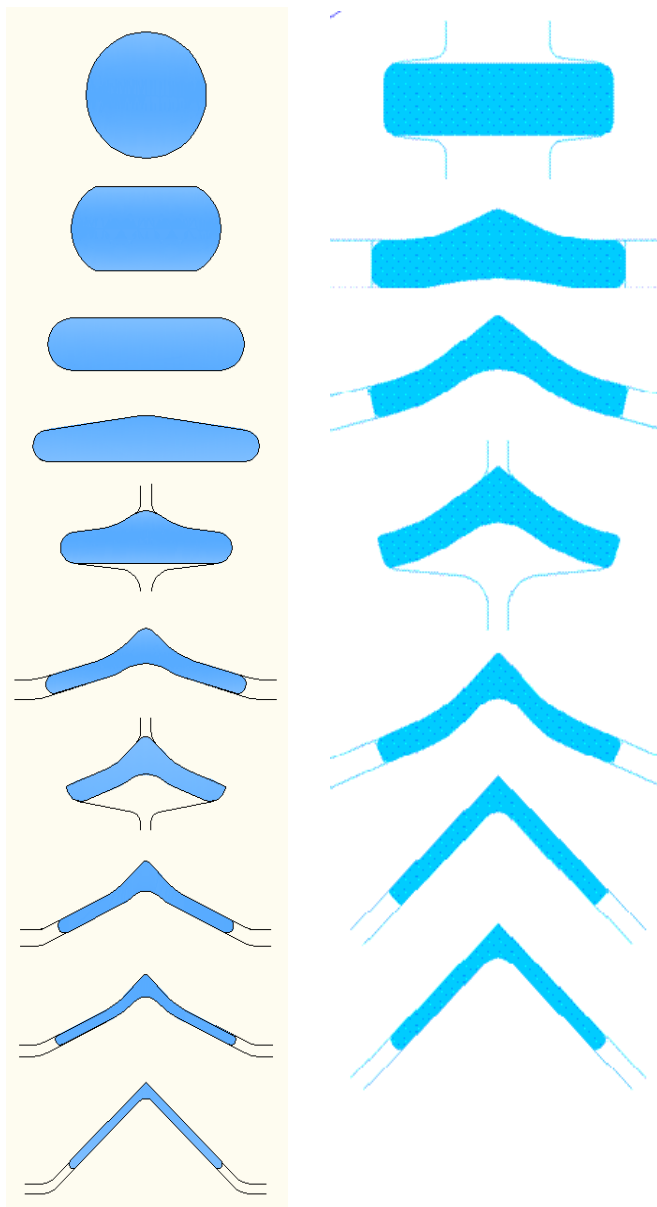


Figura 10 – Calibração com canais abertos.

3.7 Calibração com 3 Passes Perfilados

Um método simples de produzir cantoneiras é com 3 passes perfilados tendo como esboço inicial um passe chato (Figura 11).

- O passe chato é obtido através de um passe de borda que controla a sua largura.

- O primeiro esboço é um canal aberto e aqui é fundamental a centragem da guia para evitar abas desiguais.
- O passe seguinte é um canal de borda que controla a largura e forma o ângulo de 90°.
- O acabador é um canal normal.

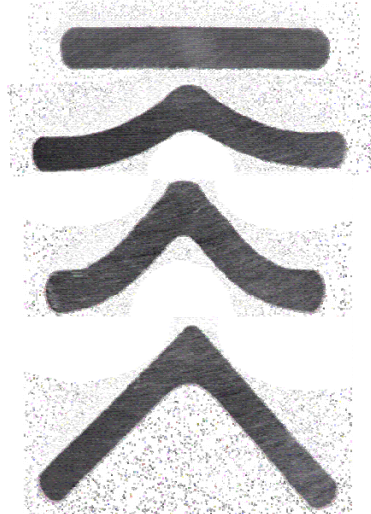


Figura 11 – Calibração com 3 passes perfilados.

3.8 Método para Pequenas Cantoneiras

Para a laminação de pequenas cantoneiras (5/8" a 1") pode ser aplicado um método bastante simples que consiste basicamente de 3 passes: chato, borda com dobramento e acabador. Este método permite a produção destas dimensões com um número mínimo de passes (Figura 12).

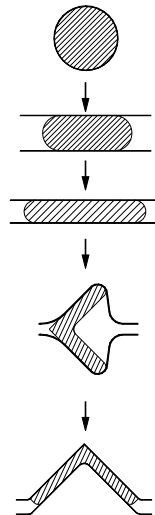


Figura 12 – Calibração para pequenas cantoneiras.

4 DESENVOLVIMENTO DE CALIBRAÇÃO

As calibrações de cantoneiras podem ser desenvolvidas por diversos métodos:

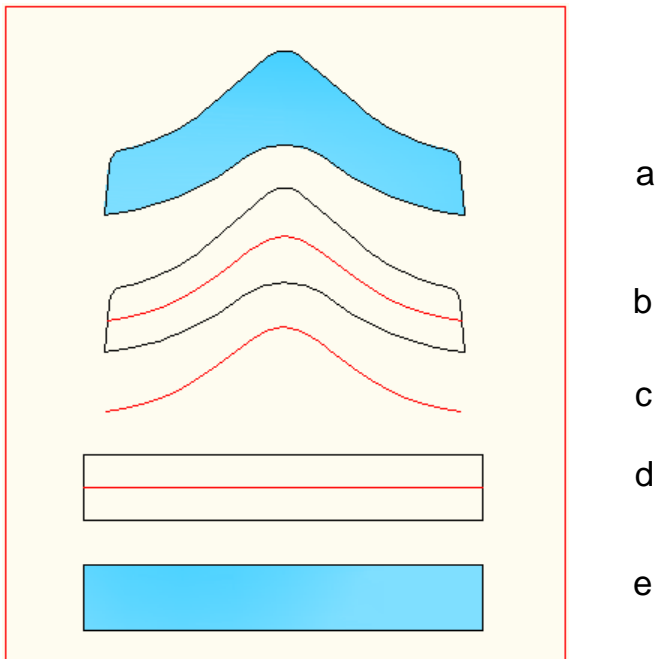
- cálculo do alargamento;
- simulação por elementos finitos (fem);

- analogia;
- análise de amostras.

4.1 Cálculo do Alargamento

Transformando-se o passe de cantoneira em retângulo equivalente. Isto é possível desde que se adote o fator de alargamento adequado, que neste caso vai ser maior que 1 devido à influência do ângulo do vértice.

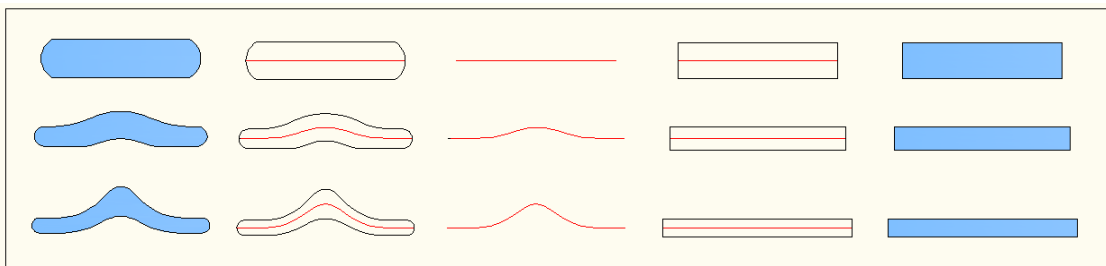
Exemplo e seqüência para transformação (Figura 13)



a – Passe de 35mm de espessura por 205mm de largura. Calcula-se a seção $S = 8452\text{mm}^2$; b – Traça-se a linha neutra em vermelho; c – Calcula-se o comprimento da linha neutra: $LN = 227\text{mm}$; d – Divide-se a seção pela linha neutra e encontra-se a altura média: $AM = 37,2\text{mm}$; e – Finalmente se tem o retângulo equivalente: $37,2 \times 227\text{mm}$.

Figura 13 – Retângulo equivalente.

No exemplo abaixo (Figura 14) 3 passes são transformados em retângulos equivalentes usando o método acima.



Passe	Dimensão	Seção	Linha Neutra	Altura Média
1	25 x 105	2522	105,0	24,0
2	13 x 114	1757	115,8	15,2
3	10 x 117	1449	124,8	11,6

Figura 14 – Retângulo equivalente.

Este método é descrito em mais detalhes no trabalho “Cálculo de calibração de cantoneira por microcomputador” deste autor e publicado pela Revista Metalurgia e Materiais – Janeiro 1993.⁽³⁾

4.2 Simulação por Elementos Finitos (FEM)

Através do FEM é possível fazer a simulação do alargamento do passe e verificar assim o preenchimento dos canais. Na Figura 15 são mostrados dois exemplos de simulação sendo um canal fechado e outro aberto. Para esta simulação é necessário que o calibrador faça o projeto dos canais, isto é o programa não desenvolve a calibração. De qualquer modo esta é uma ferramenta cara e somente disponível em grandes empresas.

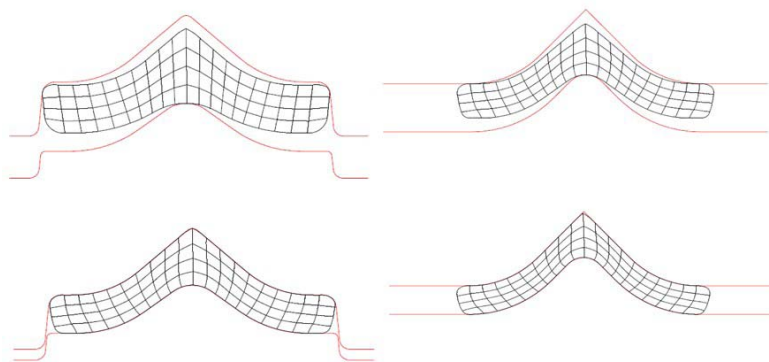


Figura 15 – Calibração por elementos finitos.

4.3 Calibração Por Analogia

Quando se necessita desenvolver a calibração de uma nova bitola e se tem uma com dimensão próxima é possível fazê-lo por analogia e regra de três.

Exemplos:

- 38,10 x 3,16mm para 40 x 3mm => Todas as dimensões dos canais de 38,10 são multiplicadas por 1,05
- 60 x 5mm para 65 x 5mm => Todas as dimensões dos canais de 60 são multiplicadas por 1,08

Este método é válido quando todas as outras variáveis do processo permanecem iguais (Diâmetro de cilindros, temperatura, velocidade, etc).⁽⁴⁾

4.4 Calibração por Análise de Amostras

Este método é usado para corrigir uma calibração existente onde se coleta amostras de todos os passes e se observa:

- reduções de seção;
- preenchimento dos canais (*overfill* ou *underfill*);
- preenchimento dos vértices;
- corrente dos motores;
- condições de agarre.

A partir destas observações se corrige as reduções e largura dos canais

5 REDUÇÕES, QUANTIDADE DE PASSES E OUTROS PARÂMETROS

O projeto de calibração de cantoneiras vai depender dos seguintes fatores:⁽³⁾

- Lay-out do laminador;
- potência dos motores;
- torque dos redutores e transmissões;
- esboço inicial disponível;
- calibrações de produtos similares já produzidos;
- método a ser escolhido;
- a partir destas informações se definem:
 - quantidade de passes perfilados: para o método borboleta normalmente varia de 5 a passes
 - as reduções são decrescentes e normalmente variam de 35% nos primeiros passes até 15% no canal no passe acabador, sendo que neste passe este valor não deve ultrapassar a 20% para evitar desgaste prematuro do canal.

Parâmetros que compõem o projeto de um canal – Calibração borboleta (Figura 16):

- A - espessura da aba: principal componente que determinará a redução de seção;
- B - largura: definida em função do alargamento;
- R – raio superior da aba;
- D – raio da extremidade: É decrescente e se alterna entre o cilindro inferior e superior;
- I – raio do vértice: Decrescente até chegar a 0 ou próximo deste valor (1 a 2mm) nas cantoneiras mais pesadas para evitar concentração de tensões;
- J – raio interno da aba: Decrescente até se chegar ao valor estabelecido pela norma;
- L – parte reta da aba: Normalmente próximo a 30% do valor da aba do produto final;
- C - ângulo do vértice: Normalmente varia de 135° no primeiro passe a 90° no último para o método borboleta. Outros métodos mantêm este ângulo em 90° na maioria dos passes;
- G - ângulo da extremidade: Facilita a saída da barra do cilindro e permite a recuperação do canal na usinagem.

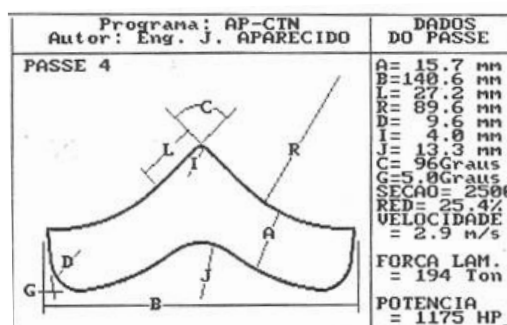


Figura 16 – Parâmetros.

6 SISTEMA DE GUIAGEM

Depois da correta calibração, o sistema de guiagem é o mais importante para obtenção de qualidade e produtividade em cantoneira.

As guias de entrada secas apresentam o inconveniente do rápido desgaste que levam a instabilidade operacional gerando defeitos no produto e paradas para a correção.

O ideal é que todas as guias de entrada sejam roletadas para prevenir estes problemas. Para os passes preparadoras o ideal é a bipartida de 4 roletes, já que os 4 roletes evitam variações laterais e o fato de ser bipartida permite que uma mesma guia seja usada para diversos passes e diversos tamanhos de cantoneira (Figura 17). Na saída dos canais preparadores normalmente se usa uma guia seca de ferro fundido com o formato aproximado do canal (Figura 18).

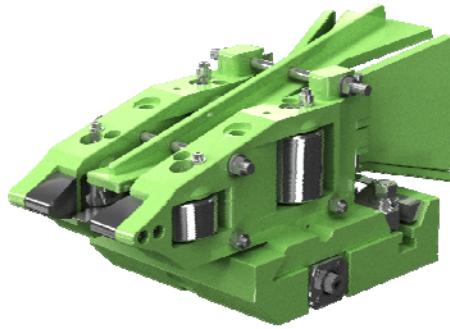


Figura 17 – Guia de entrada de 4 rolos.



Figura 18 – Guia estática de saída.

No passe acabador a guia de 3 rolos é imbatível sendo usada praticamente em todos os laminadores do mundo desde pequenas dimensões (25mm) até às maiores (150mm) (Figura 19).

Na guia de 3 rolos o perfil dos rolos deve ser exatamente igual ao perfil do canal e o ajuste da abertura ser feito através de um gabarito para garantir o perfeito contato da barra com os rolos, além disto a guia deve ser posicionada alguns milímetros acima do canal inferior para forçar a barra contra o canal superior e assim garantir a estabilidade evitando variações da dimensão das abas.

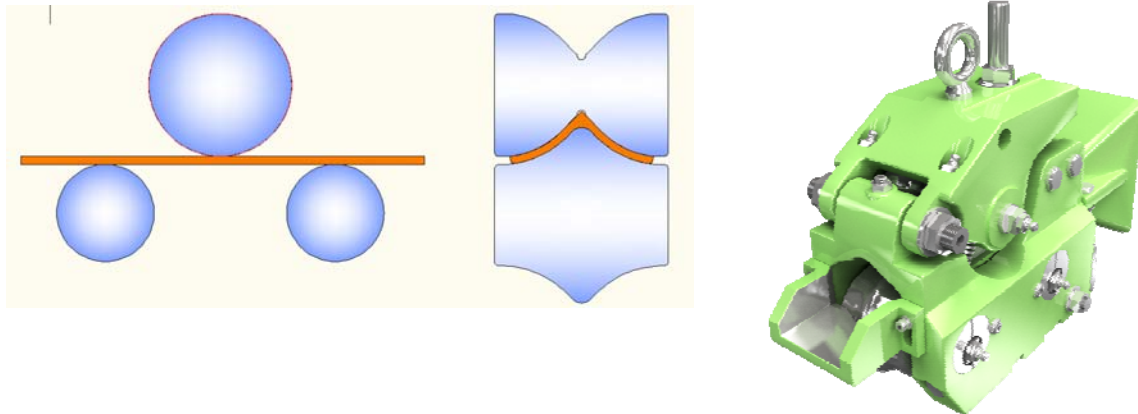


Figura 19 – Guia de 3 rolos.

Na saída do canal acabador também se usa guias secas de ferro fundido. Um opção é a guia de 5 rolos que funciona com uma endireitadeira e garante uma cabeça da barra reta que é fundamental para entrada na desempenadeira em linha.

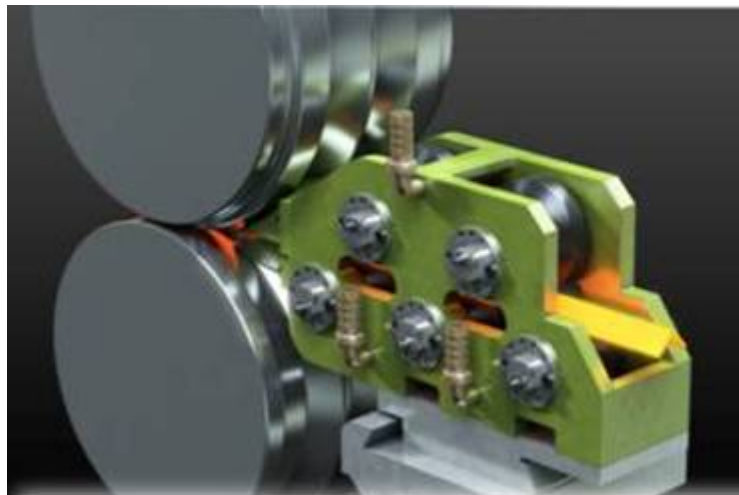


Figura 20 – Guia de saída de 5 rolos

7 CONCLUSÃO

Como foi mostrado o processo de Laminação de Cantoneiras envolve diversas opções e variáveis que devem ser analisados pelo profissional da área para que o caminho a ser seguido seja o mais adequado às condições da planta, tais como layout, capacidade dos equipamentos, nível do pessoal operacional, disponibilidade para investimento entre outros

REFERÊNCIAS

- 1 W. TRINKS, Fundamentos de la Laminacion, Madrid, GráficasOscas, S.A.1964
- 2 FERRAZ, Mario José de Oliveira, Calibração de Produtos Não Planos, São Paulo, ABM, 1977.
- 3 PEREIRA, José Aparecido, Metalurgia e Materiais – Vol 49-Nº 413, São Paulo, 1993
- 4 SIMEÃO, Sebastião de Oliveira, Laminação e Calibração de Produtos Não Planos de Aço, São Paulo, ABM, 1987,