



CALIBRAÇÃO GÓTICA VS. CALIBRAÇÃO DIAGONAL PARA PERFIL I - VANTAGENS E DESVANTAGENS¹

José Aparecido Pereira²

Resumo

Existem três tipos de Calibração de Perfil I: Gótica – Diagonal – Universal. Neste trabalho são apresentadas as características das calibrações Gótica e Diagonal, baseando-se na literatura disponível e de exemplos práticos de aplicação em diversas plantas. Vantagens e desvantagens de cada uma são mostradas e comparadas indicando que a decisão sobre o tipo a ser usado depende das características de laminador.

Palavras-chave: Calibração; Perfil I; Gótica; Diagonal

ROLL PASS DESIGN FOR I BEAM – VANTAGES AND DISADVANTAGES

Abstract

There are 3 types of Roll Pass Design for I Beam: Gothic – Diagonal – Universal. In this paper are presented the characteristics of the Roll Pass Design Gothic and Diagonal. The paper is based on the available technical books and practical examples of application in several plants. Vantages and disadvantages are shown and compared. The decision about the type to be used depends on the characteristics of each Rolling mill.

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

¹ *Contribuição técnica ao 49º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 22 a 25 de outubro de 2012, Vila Velha, ES, Brasil.*

² *Engenheiro Mecânico - Gerente de Laminação – ArcelorMittal Cariacica.*

1 INTRODUÇÃO

Na produção de **Perfil I** podem ser utilizados três métodos de calibração: Gótica, Diagonal ou Universal, ou ainda a combinação entre si de dois métodos tais como: Gótica – Universal e Diagonal – Universal (Figura 1). A calibração Universal é usada em cadeiras universais que nem todo laminador dispõem. Neste trabalho é apresentada a comparação entre os métodos Gótico e Diagonal, mostrando as vantagens e desvantagens de cada um.

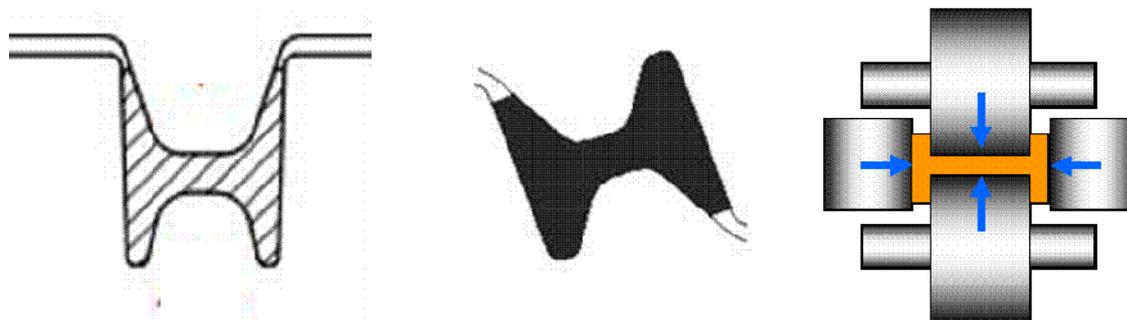


Figura 1 – Calibração: Gótica – Diagonal – Universal.

2 PARTES DE UM CANAL DE PERFIL I

Um canal de Perfil I é composto de três partes: Flange aberto – Flange fechado e Alma (Figura 2). Alma recebe pressão direta dos cilindros e pode se dizer que tem o comportamento similar à laminação de uma barra chata. O Flange aberto é formado por dois cilindros que giram no mesmo sentido mas que apresentam um movimento relativo entre as paredes do flange como se fosse um moinho. Neste canal a pressão é indireta e a redução de seção se dá na espessura. O Flange fechado é formado por um único cilindro e não há movimento relativo entre as suas paredes. A pressão é indireta e a redução é feita principalmente na altura como num passe de borda. Normalmente a redução de seção no flange aberto é maior do que no flange fechado.

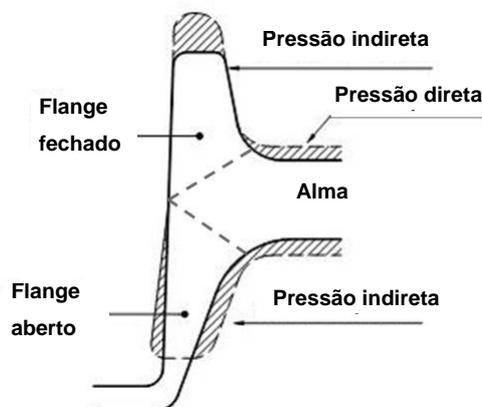


Figura 2 – Partes de um canal de Perfil I.

3 CANAL GÓTICO E CANAL DIAGONAL

No Canal Gótico os flanges estão localizados no mesmo lado na parte superior ou inferior. No caso do Canal Gótico os flanges abertos e fechados em localizados em lados diametralmente opostos (Figura 3).

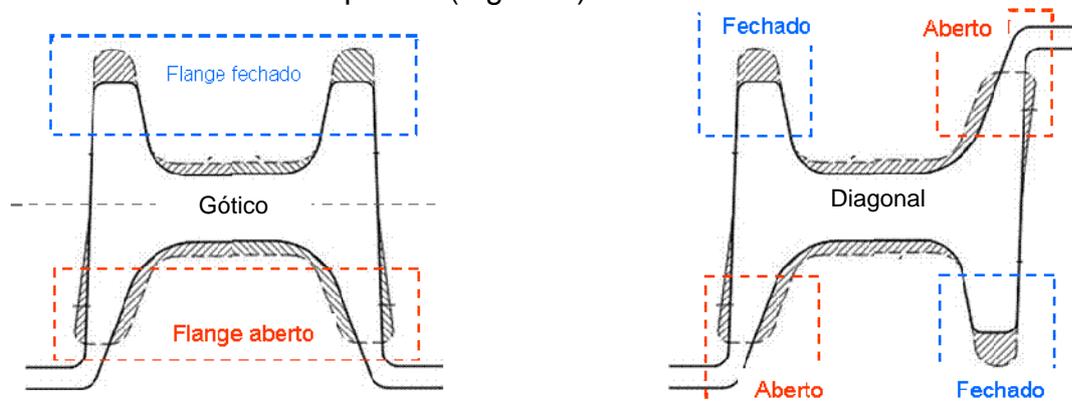


Figura 3 – Posição do flange fechado e aberto no canal Gótico e Diagonal.

Três exemplos de calibração são mostrados na Figura 4.

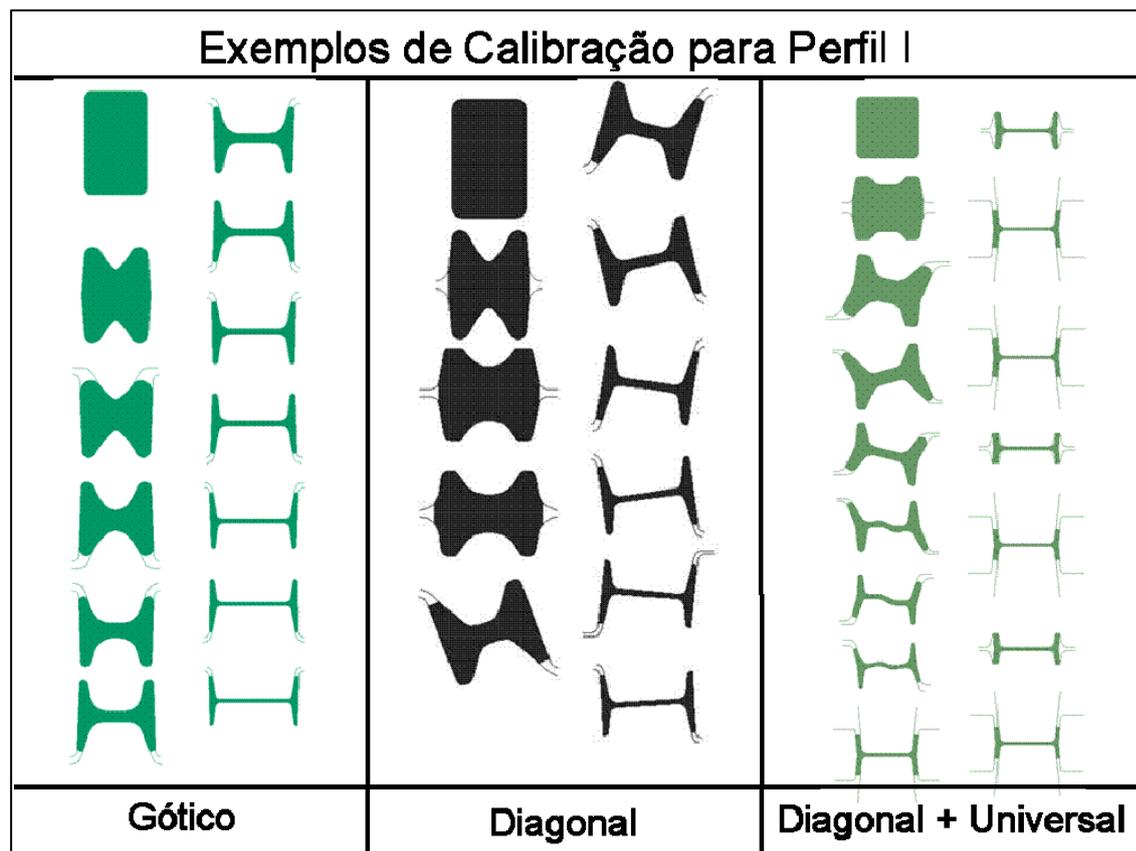


Figura 4: Calibração Gótica – Calibração Diagonal - Diagonal + Universal.

Nas Figuras 5 e 6 são mostradas outros exemplos de calibrações Gótica e Diagonal e na Figura 7 um cilindro com calibração Diagonal.

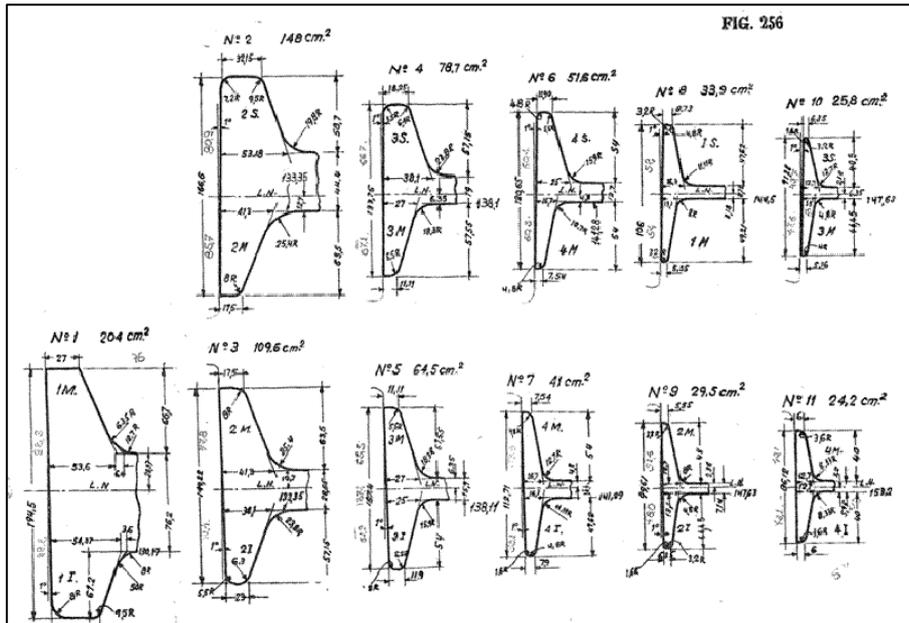


Figura 5 – Calibração gótica. ⁽¹⁾

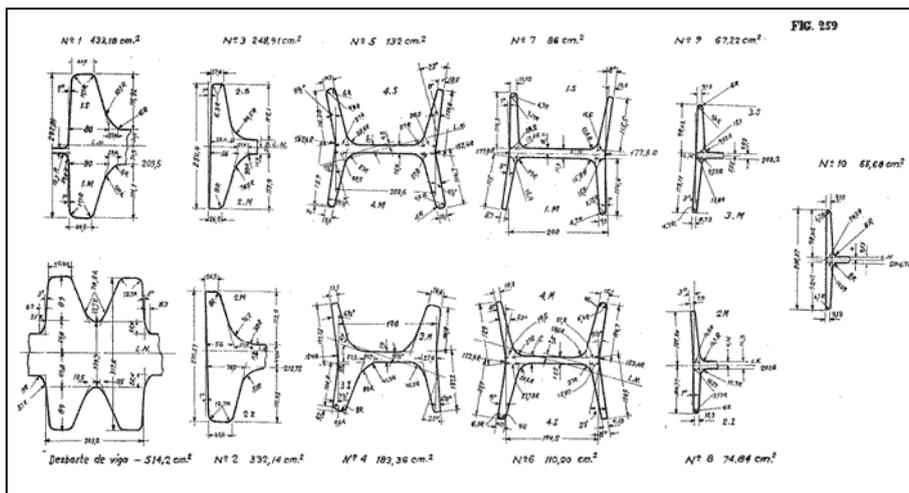


Figura 6 – Calibração diagonal. ⁽¹⁾

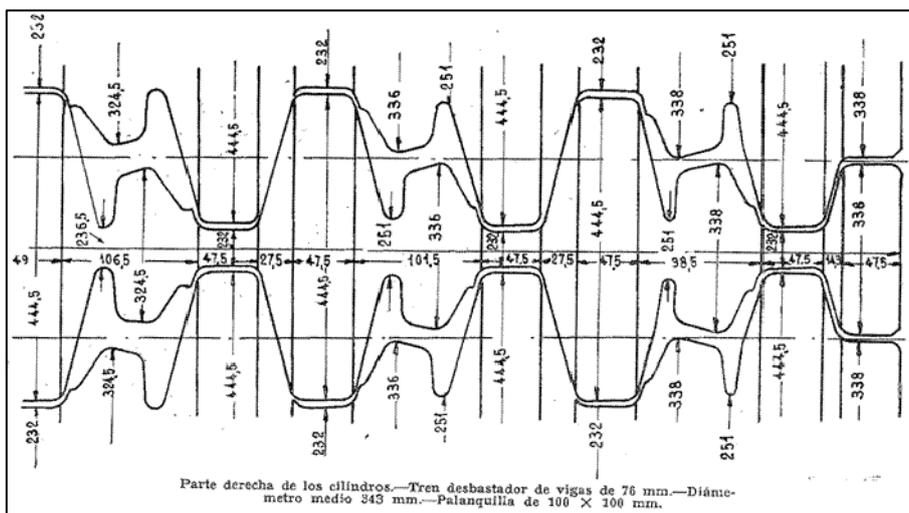


Figura 7 – Cilindro con calibração diagonal. ⁽¹⁾

4 ESBOÇO INICIAL NA CALIBRAÇÃO GÓTICA

A preparação do esboço que alimentará a Calibração Gótica é normalmente feita em um canal tipo faca que recebe uma barra retangular na posição vertical (Figura 8). O vértice do canal faca exerce uma pressão direta no centro da barra, esta pressão direta causa uma redução de seção na área central que se alongará, este alongamento se dará em toda a barra. Para que as partes laterais se alonguem é necessário que haja redução de seção que se dará pela redução na altura, Esta redução de altura se dá por pressão indireta uma vez que nenhuma parte do canal toca nesta extremidade.

Esta redução por pressão indireta ocorre no passe faca e em todos os passes da calibração gótica, por isto é necessário um esboço retangular com 2,3 vezes a altura da viga⁽¹⁾ (Figura 9).

Exemplos:

Perfil I – S6” – $A=85\text{mm} \Rightarrow H = 2,3 \times 85 = 195\text{mm}$

Perfil IPN 160mm – $A=74\text{mm} \Rightarrow H = 2,3 \times 74 = 170\text{mm}$

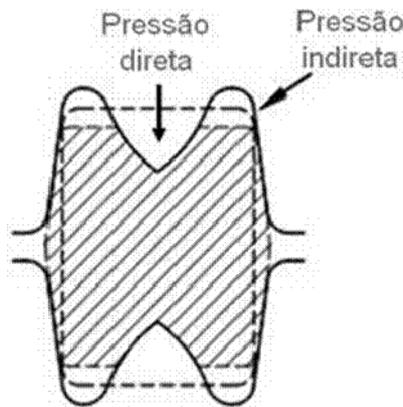


Figura 8 – Esboço para calibração gótica.

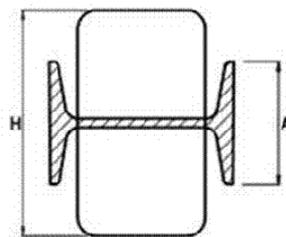


Figura 9 – Relação entre dimensões.

Devido à grande altura do esboço inicial os canais são profundos (G), este canal profundo gera um cilindro com grande diâmetro (Figura 10). Cilindros de grande diâmetro e canais profundos têm inconvenientes tais como: custo alto e Concentração de tensões.

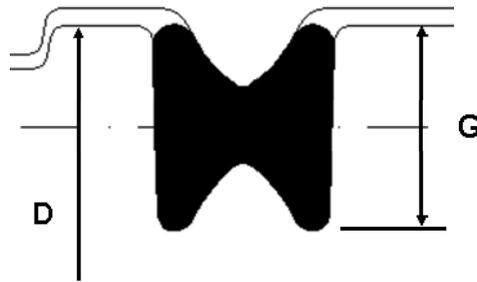


Figura 10 – Canais profundos X Cilindros com grande diâmetro.

5 ESBOÇO INICIAL NA CALIBRAÇÃO DIAGONAL

Para a calibração diagonal um esboço com grande altura não é necessário, pois como os canais são inclinados não há uma grande redução de altura nos flanges (Figura 11). Exemplo Perfil I - S4" – $A = 64\text{mm} \Rightarrow H = 1,5 \times 64 = 96\text{mm}$.

Como a altura do esboço inicial não é alta, a profundidade do canal (G) é também baixa e com isto o diâmetro dos cilindros não é grande.

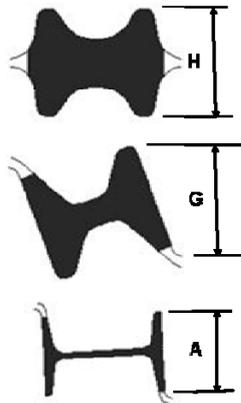


Figura 11 – Canais menos profundos X Diâmetros menores.

6 DISTRIBUIÇÃO DE CANAIS NA CALIBRAÇÃO DIAGONAL

No flange aberto do canal diagonal há uma força axial de separação que tende a deslocar os cilindros (Figura 12). Os cordões de freio são usados para evitar este deslocamento, então durante a passagem da barra estes cordões trabalham friccionando um contra o outro. Estes cordões duplos têm a desvantagem de ocupar muito espaço na mesa dos cilindros.

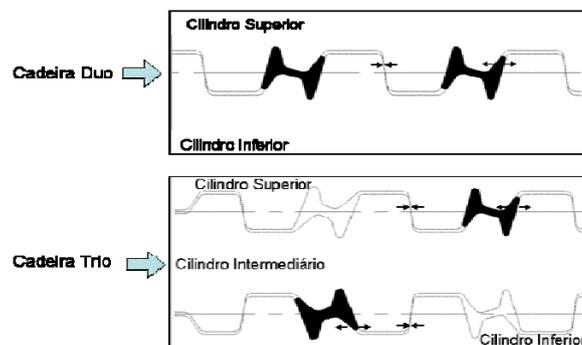


Figura 12 – Força axial e posicionamento dos cordões.

7 DISTRIBUIÇÃO DE CANAIS NA CALIBRAÇÃO GÓTICA

Na calibração Gótica, em uma operação normal, não há uma força de separação dos cilindros então não é necessário o uso dos cordões de freio. Como os cordões são únicos estes não ocupam demasiado espaço na mesa do cilindro (Figura 13).

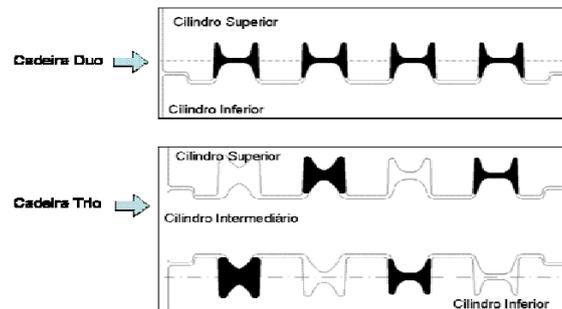


Figura 13 – Ausência de força axial e posicionamento dos cordões.

8 CALIBRAÇÃO GÓTICA – REDUÇÃO DE SEÇÃO ENTRE AS PARTES DO CANAL

A simulação por elementos finitos (FEM) (Figura 14) mostra a interação entre as três partes do canal durante a sua conformação. A extremidade do esboço na posição **A** tem quase que as mesmas dimensões do flange fechado então a redução de seção nesta parte é muito baixa e está mais concentrada no fundo do canal que trabalha como um passe de borda. A espessura do esboço na parte **B** é maior do que no flange aberto, então há uma grande redução nesta parte do canal. Na alma do canal também ocorre uma redução significativa. Estas diferentes reduções nas partes do canal tendem a criar diferentes alongamentos e devido a isto o esboço tende a puxar em direção ao flange fechado o que pode provocar o enrolamento no cilindro.

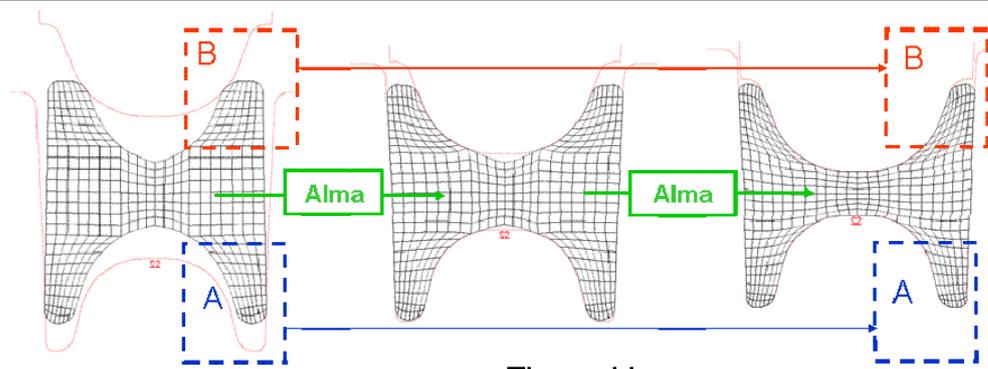


Figura 14 – Interação entre as partes do canal gótico.

9 – CALIBRAÇÃO DIAGONAL – REDUÇÃO DE SEÇÃO ENTRE AS PARTES DO CANAL

Como na calibração gótica a redução no flange aberto é maior do que no flange fechado, mas como os flanges estão em lados opostos não ocorre a tendência de enrolamento do esboço no cilindro. Como os canais são inclinados maiores

reduções podem ser obtidas além de reduzir o atrito entre a barra e as paredes do canal (Figura 15) Este processo é normalmente usado para perfis mais leves.⁽¹⁾

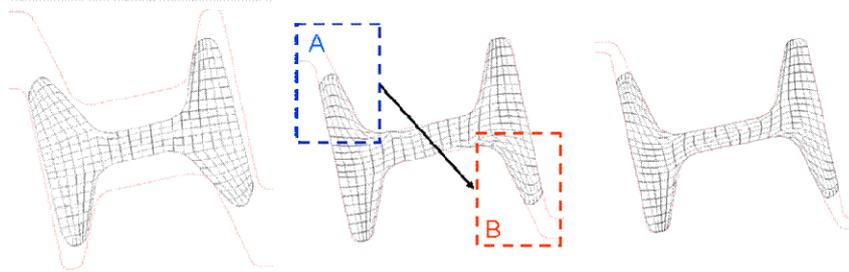


Figura 15 – Interação entre as partes do canal diagonal.

10 CALIBRAÇÃO GÓTICA – REDUÇÃO NAS DIFERENTES PARTES

A Figura 16 mostra um exemplo real de distribuição de redução de redução entre as diferentes partes dos canais que foram divididos em três partes segundo o critério definido por Suppo.⁽²⁾

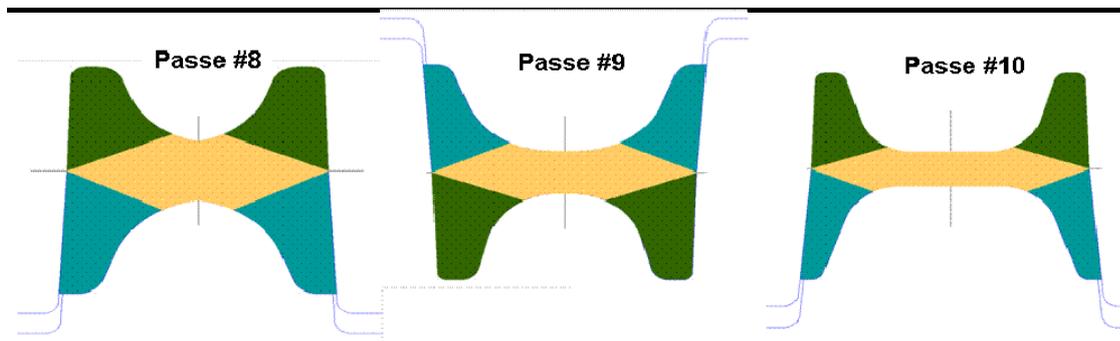


Figura 16 – Critério para divisão entre as partes do canal.

A Tabela 1 mostra as diferentes reduções entre o flange superior, flange inferior e alma.

No passe #9 as reduções são de 26%, 17% e 20% com uma redução total de 21%, então a diferença de redução entre as diferentes partes não é tão grande. A redução no flange inferior do canal #10 (34%) é muito alta comparada com as outras partes (15% e 17%), então o esboço tende a se alongar mais na parte inferior criando a tendência de enrolamento no cilindro.

Tabela 1 – Reduções de entre as diferentes partes do Perfil I

| Parte do canal | Passe #8 | Passe #9 | | Passe #10 | |
|-----------------|-----------------|-----------------|---------|-----------------|---------|
| | mm ² | mm ² | Redução | mm ² | Redução |
| Flange Superior | 1557 | 1146 | 26% | 979 | 15% |
| Flange Inferior | 1668 | 1389 | 17% | 917 | 34% |
| Alma | 1438 | 1153 | 20% | 962 | 17% |
| Total | 4663 | 3688 | 21% | 2858 | 23% |

11 CALIBRAÇÃO GÓTICA – ENROLAMENTO NO CILINDRO

A pequena inclinação do canal e o atrito entre o esboço e o canal cria um efeito cunha que somado com a diferença de redução de seção entre o flange aberto e fechado cria a tendência de enrolamento no cilindro (Figura 17). Dependendo da pressão da barra enrolada no cilindro, o cilindro pode ser quebrado causando perda de produtividade, aumento dos custos e atrasando a entrega do produto ao cliente.

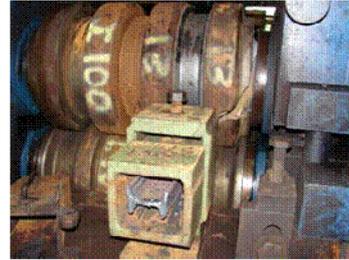
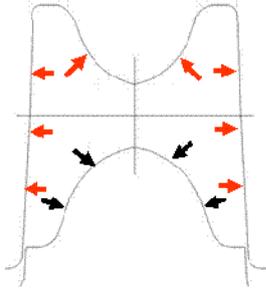


Figura 17 – Pressões, atrito e enrolamento de barra

12 CALIBRAÇÃO GÓTICA – BOAS PRÁTICAS PARA EVITAR ENROLAMENTO NO CILINDRO

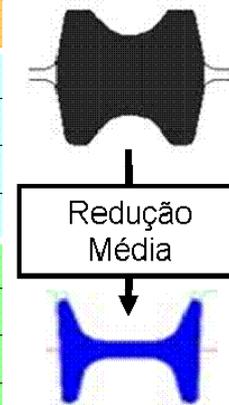
- Pequena diferença de reduções entre o flange aberto e o flange fechado;
- Correto posicionamento da linha de centro do canal;
- Lubrificação do flange fechado;
- Controle do desgaste do canal;
- Rígida fixação do barrão e da guia de saída;
- Projeto e ajustes corretos da guia de saída;
- Controle do desgaste da guia de saída;
- Controle das folgas dos spindles, cardans e trevos; e
- Uso da correta relação entre manganês e enxofre do aço ($Mn/S > 30$).

13 CALIBRAÇÃO GÓTICA E DIAGONAL – REDUÇÕES MÉDIAS

A Tabela 2 mostra os dados de diferentes projetos de calibrações em diferentes plantas, com uma variação da redução média de 16% a 21%. A redução média foi calculada a partir do esboço inicial até o último passe e apresenta uma média global de 18%.

Tabela 2 – Tipo de calibração – Número de passes e Redução média

| Projeto | Perfil | Tipo de Calibração | Número de passes | Redução Média - % |
|---------|---------|--------------------|------------------|-------------------|
| A | IPN 100 | Gótica | 8 | 19 |
| B | IPN 100 | | 9 | 17 |
| C | S 6" | | 11 | 16 |
| D | S 4" | | 9 | 16 |
| E | IPN 80 | Diagonal | 9 | 18 |
| F | S 4" | | 7 | 21 |
| G | W 4" | | 6 | 17 |
| H | W 6" | | 8 | 18 |



14 CALIBRAÇÃO DIAGONAL – CONTROLE DE TORÇÃO

Como na Calibração Diagonal existe uma tendência de torção pode se usar uma guia de rolos na saída que permite evitar a torção (Figura 18).



Figura 18 – Guia para evitar torção na calibração diagonal.

15 CALIBRAÇÃO GÓTICA E DIAGONAL – VANTAGENS E DESVANTAGENS

A Tabela 3 mostra as vantagens e desvantagens entre a calibração Gótica e Diagonal, o que auxilia ao calibrador tomar a decisão a respeito do melhor processo a ser adotado.



Tabela 3 – Vantagens e desvantagens entre os tipos de calibração

| Tópico | Gótico | | Diagonal | |
|-------------------------|---------------------------------|---|---|---|
| | | | | |
| Enrolamento no cilindro | Alta tendência | D | Baixa tendência | V |
| Reusinagem de canal | Grande redução no diâmetro | D | Pequena redução de diâmetro | V |
| Alargamento do canal | Alargamento no líder e acabador | D | Pequeno alargamento no líder e acabador | V |
| Diâmetro do cilindro | Grande diâmetro | D | Diâmetro menor | V |
| Qualidade superficial | Deficiente | D | Boa qualidade | V |
| Cordão de freio | Não tem necessidade de freios | V | Necessidade de freios | D |
| Quantidade de canais | Maior quantidade por cilindro | V | Menor quantidade por cilindro | D |
| Esboço inicial | Esboço com grande altura | D | Esboço com pequena altura | V |
| Torção | Sem tendência de torção | V | Tendência de torção | D |
| Dimensão do flange | Controle deficiente | D | Bom controle | V |

16 CONCLUSÕES

Numa visão geral a calibração pelo método diagonal tem maiores vantagens do que a Gótica, sendo mais recomendada para os perfis menores. A correta escolha depende do lay-out do laminador, das dimensões dos cilindros e do sistema de guiagem disponível. Um fator decisivo é largura da mesa do cilindro tendo em vista a instalação dos cordões de freio.

Agradecimentos

O autor agradece às equipes das usinas da ArcelorMittal da Acindar(Argentina), LaPlace(USA), Costa Rica e Luxemburgo(Departamento de Pesquisas) pelo apoio na realização do trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 W. TRINKS, Fundamentos de la Laminacion,
- 2 SIMEÃO, Sebastião de Oliveira, Laminação e Calibração de Produtos Não Planos de Aço, São Paulo, ABM, 1987.