

DETERMINAÇÃO E APLICAÇÃO DO COEFICIENTE DE ALARGAMENTO DE CANTONEIRAS USANDO A FÓRMULA DE EKELUND*

José Aparecido Pereira⁷

Resumo

Este trabalho descreve uma nova metodologia para análise de calibração de cantoneira bem como realizar alterações de calibrações existentes, usando para isto a fórmula de Ekelund. O ponto chave da metodologia é a transformação dos passes de cantoneira em passes planos e a determinação dos coeficientes de alargamento de cada passe. O levantamento dos fatores foi baseado em projetos existentes e em amostras coletadas em laminadores

Palavras-chave: Cantoneira; Alargamento; Ekelund; Calibração.

DETERMINATION OF THE ANGLE SPREAD FACTOR BY USING THE EKELUND FORMULA

Abstract

This paper describes a new methodology for the analysis of an angle pass design and existing projects analysis, using for this the Ekelund formula. The key point of the methodology is the transformation of the angle passes in flat ones and determining the spread coefficient of each pass. The survey of the coefficient was based on existing designs and samples collected in rolling mills.

Keywords: Angles; Spread; Ekelund; Roll Pass Design.

¹ *Engenheiro Mecânico, Consultor, J. A. Pereira Consultoria de Engenharia, Vila Velha, Espírito Santo, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

A fórmula de Ekelund foi desenvolvida para cálculo de alargamento em passes planos de produtos longos. Diversos softwares foram desenvolvidos para adaptar esta fórmula para canais de produtos longos (Quadrados, Redondos, Ovais, Passes de borda, entre outros) usando os retângulos equivalentes e os respectivos fatores de alargamento. Os passes de cantoneira podem ser transformados em passes planos (Chatos) através do cálculo da seção, do comprimento da fibra média e da altura média, e partir daí fazer a determinação do coeficiente de alargamento que varia em função da geometria do passe. A literatura sobre o assunto é escassa⁽¹⁾.

2 MÉTODOS

A fibra média e a altura média vão determinar o retângulo equivalente. Para determinação dos retângulos equivalentes vai ser feito o cálculo da seção e da fibra média de cada passe através do AutoCad.

2.1 Cálculo da seção e da fibra média

Para a determinação do retângulo equivalente são seguidos os seguintes passos:

- Levantamento do desenho do canal (Figura 1)

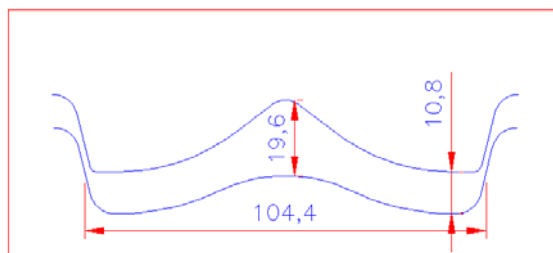
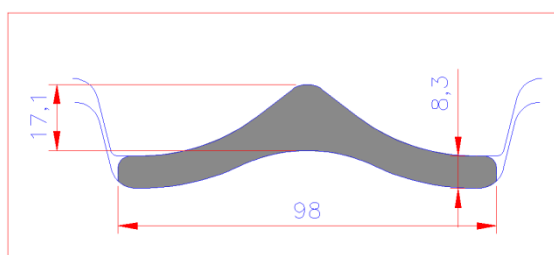


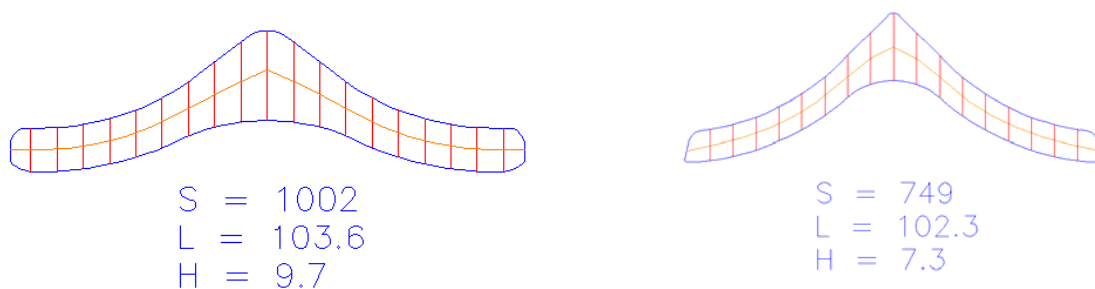
Figura 1 – Desenho do canal

- Ajuste do desenho do canal com as dimensões do passe partir de do padrão técnico ou das amostras, as dimensões devem ser consideradas a quente (Figura 2)



• Figura 2 – Dimensões do passe

- Cálculo da seção e do comprimento da fibra média usando o AutoCad. A fibra média (em amarelo) representa a espinha dorsal do passe⁽³⁾. (Figura 3)



• Figura 3 – Seção, Fibra Média e Altura Média

- Dividindo-se a seção pela fibra média se acha a altura média. O **Retângulo Equivalente** é determinado pelo comprimento da fibra média e da altura média.

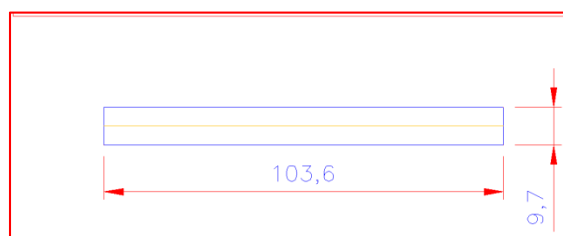


Figura 3 – Fibra Média e Altura Média (Retângulo equivalente)

2.2 Método de calibração

Dentre os diversos métodos de calibração de cantoneiras foi escolhido o método borboleta misto com um passe de borda intermediário partindo de um redondo com dois passes chatos e cinco passes perfilados. O passe de borda tem a finalidade de ajustar a largura dos passes além de promover um dobramento aproximando-se o ângulo de 90°.

A bitola escolhida é a cantoneira de 55 x 3,5mm e os dados vão ser baseados em projetos em operação e análise de amostras (Figura 4).

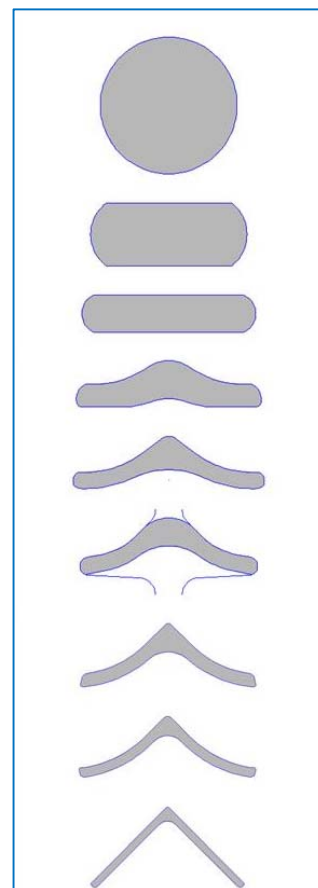


Figura 4 – Sequencia de passes

2.3 Dimensões e dados básicos

Na Tabela 1 são mostrados os dados básicos calculados pelos métodos acima descritos, sendo que a **Fibra Média** e a **Altura Média** definem o **Retângulo Equivalente**.

Cantoneira 55 x 3,5mm - Dimensões Básicas							
Cadeira	Formato	Espessura	Largura	Seção	Redução	Fibra Média	Alt. Média
10		74,0	74,0	4299		70,0	61,4
11		35,3	80,0	2409	44,0	80,0	30,1
12		19,0	89,0	1627	32,5	89,0	18,3
13		11,9	95,0	1352	16,9	96,3	14,0
14		8,3	98,0	1002	25,9	103,6	9,7
15		8,6	91,2	980	2,2	99,8	9,8
16		6,7	91,2	749	23,6	102,3	7,3
17		4,9	89,8	535	28,6	103,3	5,2
18		3,5	55,8	368	31,2	106,3	3,5

Tabela 1 – Dimensões básicas

2.4 Determinação do coeficiente de alargamento

Como a fórmula de Ekelund tem resolução complexa (Figura 5), já que a variável B1 se encontra nos dois lados da equação, foi desenvolvida uma planilha no Excel que em conjunto com o programa Solver encontra a largura do passe laminado (B1).

$$B1 = \sqrt{8 \times A \times Ld \times \Delta H - 4 \times A \times Ld \times (H0 + H1) \times \ln \frac{B1}{B0} + B0^2}$$

$$A = \frac{1.6 \times \mu \times \sqrt{R \times \Delta H} - 1.2 \times \Delta H}{H0 + H1}$$

Figura 5 – Fórmula de Ekelund

Quando se trata de canais de passes de barras (Quadrados, redondos, ovais, chatos, etc.) são usados coeficientes de alargamento diferenciados de acordo com o formato do canal para determinação da largura da barra laminada.

Em se tratando de passes de cantoneiras esses coeficientes não são bem conhecidos, mas a análise de amostras e a literatura⁽¹⁾ mostram que dependendo do formato da barra de entrada e de saída eles podem variar bastante, na maioria das

vezes causando um alargamento bem maior do que os calculados por Ekelund. Neste trabalho são mostrados os primeiros passos no estudo e determinação destes coeficientes, que pelas análises realizadas apresentam grande variabilidade e os fatores que o influenciam ainda não são bem conhecidos.

Neste caso os coeficientes vão ser determinados a partir do projeto de calibração da cantoneira 55x3,5mm, bem como no seu padrão técnico de operação elaborado a partir da operação e análise de amostras. Os coeficientes vão ser ajustados em função da largura calculada por Ekelund e da largura do retângulo equivalente da cantoneira em análise.

A Tabela 2 mostra os dados de entrada e de saída (em azul) da planilha, sendo que para obtenção de resultado final, todos os resultados de “Delta” devem estar zerados. Na cadeira em que estiver acima de zero o Solver deverá usado sucessivamente em todas as cadeiras para se obter o resultado final.

Ekelund + Solver - Dados									
Cantoneira 55 x 3,5mm - Padrão Técnico									
	Cad 10	Cad 11	Cad 12	Cad 13	Cad 14	Cad 15	Cad 16	Cad 17	Cad 18
Tipo	RD	CH	CH	CT	CT	BC	CT	CT	AC
Altura (mm)	58,1	30,1	18,3	15,0	9,7	99,6	7,3	5,2	3,5
Largura Calculada	74,0	83,0	90,6	94,2	109,9	9,9	102,2	104,3	106,3
Seção Calculada	4299	2500	1656	1412	1066	988	746	542	368
Red. Calculada		41,8	33,7	14,7	24,5	7,3	24,5	27,3	32,2
Diâmetro		385	385	365	385	385	385	385	385
Luz		6,6	16	3,1	4,9	12,7	3,6	3,3	3,5
Temperatura (°)		1000	977	953	946	930	919	910	902
Coeficiente Alargamento		100%	100%	280%	280%	70%	165%	150%	140%
Delta		0	5	0	457	133	0	0	0

Tabela 2 – Entrada e saída de dados

A Figura 6 mostra a tela de resolução da cadeira 14 em conjunto com o Solver, onde se pode observar que a diferença (Delta) está maior que zero e a largura do passe é igual a 109,9mm.

Cadeira 14		
Resolução - Ekelund + Solver		
Descrição	Variáveis	Dados
Altura de entrada	H0	15,0
Largura de entrada	B0	94,2
Altura de saída	H1	9,7
Coefficiente de alargamento	CA	280%
Ângulo de agarre	a	9,9
Redução em altura	DH	5,3
Diametro de trabalho	DT	358
Projeção arco de contato	Ld	30,8
Material do cilindro	Fº Fº	0,8
Coefficiente de atrito	CT	0,4
Temperatura da barra	t	977

Calculo	$(B1^2 - B0^2)$	Diferença
632	1090	457
Largura Calculada	LC	109,9

Figura 6 – Tela da cadeira 14 + Solver

Após o acionamento do Solver a diferença vai para zero e a largura do passe passa para 103,9mm (Figura 7)

Cadeira 14		
Resolução - Ekelund + Solver		
Descrição	Variáveis	Dados
Altura de entrada	H0	15,0
Largura de entrada	B0	94,2
Altura de saída	H1	9,7
Coefficiente de alargamento	CA	280%
Ângulo de agarre	a	9,9
Redução em altura	DH	5,3
Diametro de trabalho	DT	358
Projeção arco de contato	Ld	30,8
Material do cilindro	Fº Fº	0,8
Coefficiente de atrito	CT	0,4
Temperatura da barra	t	977

Calculo	$(B1^2 - B0^2)$	Diferença
669	669	0
Largura Calculada	LC	103,9

Figura 7 – Tela da cadeira 14 + Solver

Após o acionamento do Solver em todas as cadeiras, temos o resultado final mostrando as larguras, seções, reduções e coeficientes. Mostra também a dimensão das abas no produto acabado bem como a diferença entre o passe calculado e largura do canal.

Ekelund + Solver - Dados									
Cantoneira 55 x 3,5mm - Padrão Técnico									
	Cad 10	Cad 11	Cad 12	Cad 13	Cad 14	Cad 15	Cad 16	Cad 17	Cad 18
Tipo	RD	CH	CH	CT	CT	BC	CT	CT	AC
Altura (mm)	58,1	30,1	18,3	15,0	9,7	99,6	7,3	5,2	3,5
Largura Calculada	74,0	83,0	90,6	94,1	103,9	10,0	102,3	104,4	106,4
Seção Calculada	4299	2500	1656	1412	1008	991	746	543	368
Red. Calculada		41,8	33,8	14,7	28,6	1,7	24,7	27,3	32,2
Diâmetro		385	385	365	385	385	385	385	385
Luz		6,6	16	3,1	4,9	12,7	3,6	3,3	3,5
Temperatura (°)		1000	977	953	946	930	919	910	902
Coeficiente Alargamento		100%	100%	280%	280%	70%	165%	150%	140%
Delta		0	0	0	0	0	0	0	0
		Aba a frio		55,0	Diferença de abas		0,0		
Largura do canal				96,30	103,60		102,30	104,50	106,30
Diferença				-2,2	0,3		0,0	-0,1	0,1

Tabela 3 – Entrada e saída de dados

2.5 Análise dos resultados do coeficiente de alargamento

Observa-se que para esta cantoneira os coeficientes de alargamento dos passes perfilados variaram de 280 a 140%. Sendo que o passe de borda ficou em 70%. Neste caso os valores maiores foram nos dois primeiros passes onde a mudança de forma é mais abrupta. Neumann em Kalibrieren von Walzen (pag 169) reporta coeficientes variando de 50 a 300% dependendo do ângulo e formato do passe⁽²⁾.

2.6 Análise dos resultados de redução de seção

Na Tabela 3 se pode observar que a cadeira 11 está com redução muito alta para um passe chato e que a cadeira 18 como cadeira acabadora está com redução também alta. O ideal é que as reduções nos passes de cantoneira não passem de 27% para prevenir sobrecarga no acionamento e aumentar a vida útil dos canais. A cadeira 13 está com redução baixa e é a oportunidade de equalizar as reduções. Vão ser feitas alterações nas alturas dos passes e a partir dos coeficientes de alargamento vão ser calculadas as novas larguras e identificada a necessidade ou não de alterações na largura dos canais e também checar a dimensão das abas no passe acabador..

2.7 Alterações das reduções dos passes




Na Tabela 4 são mostradas as alterações introduzidas e os resultados obtidos nas reduções (destaque verde), larguras (em azul) dos canais e dimensão da aba acabada que ficou no nominal. Observa-se que para manter o tamanho da aba acabada foi necessário abrir 1,0 mm na cadeira 15. A largura dos passes mostra a necessidade de um grande aumento de largura nas cadeiras 13 e 14 (9,4 e 8,0mm) e um ajuste menor nas cadeiras 16 e 17(1,1 e 0,7mm)

Ekelund + Solver - Dados									
Cantoneira 55 x 3,5mm - Ajuste de Reduções									
	Cad 10	Cad 11	Cad 12	Cad 13	Cad 14	Cad 15	Cad 16	Cad 17	Cad 18
Tipo	RD	CH	CH	CT	CT	BC	CT	CT	AC
Altura (mm)	58,1	35,3	19,0	12,3	8,5	100,6	6,5	4,7	3,5
Largura Calculada	74,0	82,5	93,1	105,7	111,6	9,1	103,4	105,2	106,3
Seção Calculada	4299	2763	1768	1300	949	916	672	494	368
Red. Calculada		35,7	36,0	26,5	27,0	3,5	26,6	26,5	25,6
Diâmetro		385	385	365	385	385	385	385	385
Luz		6,6	16	3,1	4,9	12,7	3,6	3,3	3,5
Temperatura (°)		1000	977	953	946	930	919	910	902
Coefficiente Alargamento		100%	100%	280%	280%	70%	165%	150%	140%
Delta		0	0	0	0	0	0	0	0
		Aba a frio		55,0	Diferença de abas		0,0		
Largura do canal				96,30	103,60		102,30	104,50	106,30
Diferença				9,4	8,0		1,1	0,7	0,0

Tabela 4 – Entrada e saída de dados

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da análise comprova a ocorrência de coeficientes de alargamento diferenciados em relação à geometria e posição dos passes. A metodologia, usando os coeficientes predeterminados, permitiu ajustar as reduções de seção levando estes valores para níveis balanceados nas diversas cadeiras do laminador. (Tabela 5)

Cantoneira 55 x 3,5mm - Dimensões Básicas - Ajustadas							
Cadeira	Formato	Espessura	Largura	Seção	Redução	Fibra Média	Alt. Média
10		74,0	74,0	4299		70,0	58,1
11		35,3	82,5	2763	35,7	82,5	35,3
12		19,0	93,1	1768	36,0	93,1	19,0
13		10,2	104,4	1300	26,5	105,7	12,3
14		7,1	106,0	949	27,0	111,6	8,5
15		7,9	92,0	916	3,5	9,1	100,6
16		5,9	92,3	672	26,6	103,4	6,5
17		4,4	91,7	494	26,5	105,2	4,7
18		3,5	55,8	368	25,6	106,3	3,5

Tabelas 5 – Dimensões básicas - Ajustadas

4 CONCLUSÃO

A metodologia utilizada com o uso do Solver mostra ser o caminho correto, nesta fase inicial, a ser trilhado para a análise, correção e desenvolvimento de Calibração de Cantoneiras. Esta metodologia, que já está sendo usada na prática, é um desenvolvimento recente e será enriquecida e ampliada a partir de mais resultados práticos que poderão ser armazenados em um banco de dados, permitindo análise com métodos estatísticos e através do desenvolvimento de um software com mais recursos e interação gráfica. Este software também será capaz de desenvolver uma nova calibração a partir de parâmetros pré-estabelecidos pelo calibrador.

REFERÊNCIAS

- 1 Horst Kuhene. Open Pass Angle Design. Institute of Roll Design Seminar. 2000.
- 2 Dr. Horst Neumann. Kalibrieren von Walzen. Leipzig: VEB Doutscher Verlag;1976
- 3 SMS. Manual - Roll Pass Design Training. Dusseldorf. Schoemann-Siemag AG;1975