

Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia de Produção
Processos de Conformação e Não Convencionais
Março de 2003

Professor João Fernando Gomes de Oliveira

I - CORTE EM CHAPAS ATRAVÉS DE FACAS

Baseado em resumo elaborado pelo Professor Dino Ferraresi

I. CORTE EM CHAPAS ATRAVÉS DE FACAS

- 1.1- Facas paralelas de seção retangular
- 1.2- Facas paralelas de seção trapezoidal
- 1.3- Facas inclinadas
- 1.4- Facas de inclinação variável
- 1.5- Facas circulares
- 1.6- Facas paralelas fixas em tambores rotativos.

1.1 - Facas paralelas de secção retangular

1.1.1 - Estudo analítico simplificado.

Seja o corte da chapa de espessura h através das facas F e F', representado na figura 1.1. Devido à elasticidade do material, à medida que as facas se aproximam, aumenta a superfície de contato entre a chapa e as facas. A força P_c , originada pela penetração das facas, se afasta do plano AA', aumentando o momento de inclinação da chapa $P_c.a$. Devido este momento haverá um momento antagonista $P_n.c$ (figura 1.1.) dado pela igualdade:

$$P_c.a = P_n.c \quad (1.1)$$

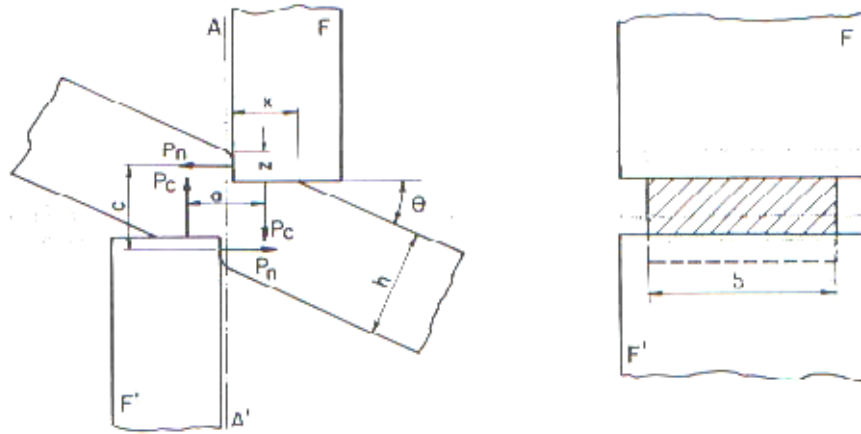


Figura 1.1 – Corte em chapas através de facas paralelas de seção retangular.

Considerando pequeno o jogo entre as facas, tem-se aproximadamente:

$$a = x \cdot$$

Sendo: $c = \frac{h}{\cos \theta} - z$, tem-se

$$P_c \cdot x = P_n \left(\frac{h}{\cos \theta} - z \right) \quad (1.2)$$

O material sendo homogêneo, a pressão específica p normal às superfícies $b \cdot x$ e $b \cdot z$ é a mesma. Logo.

$$P = \frac{P_c}{b \cdot x} = \frac{P_n}{b \cdot z}$$

Ou ainda,

$$P_n = P_c \cdot \frac{z}{x} = P_c \cdot \operatorname{tg} \theta \quad (1.3)$$

Substituindo-se (1.3) em (1.2) resulta

$$P_c \cdot \frac{z}{\operatorname{tg} \theta} = P_c \cdot \operatorname{tg} \theta \left(\frac{h}{\cos \theta} - z \right),$$

ou ainda

$$z = \operatorname{tg}^2 \theta \cdot \frac{h}{\cos \theta} - \operatorname{tg}^2 \theta \cdot z,$$

$$z(1 + \operatorname{tg}^2 \theta) = h \left(\frac{\operatorname{tg} \theta \cdot \operatorname{sen} \theta}{\cos^2 \theta} \right).$$

Mas, $(1 + \operatorname{tg}^2 \theta) \cdot \cos^2 \theta = 1,$

então: $\frac{z}{h} = \operatorname{tg} \theta \cdot \operatorname{sen} \theta.$ (1.4)

Logo o ângulo varia com a penetração das facas. Para θ pequeno, pois este estudo refere se somente à fase inicial de deformação da chapa, tem-se a relação:

$$\frac{z}{h} \cong \operatorname{tg}^2 \theta \quad (1.5)$$

Estas relações são aproximadas, porém permitem um estudo analítico simples e bem próximo da realidade.

A força de penetração das facas pode ser dada pela expressão

$$P_c = p \cdot b \cdot x = p \cdot b \cdot \frac{z}{\operatorname{tg} \theta} \quad (1.6)$$

Substituindo-se (1.5) em (1.6) tem-se

$$P_c = p \cdot b \cdot \sqrt{h \cdot z} \quad (1.7)$$

Logo, admitindo-se p constante, P_c cresce em função de z segundo uma parábola (figura 1.2). Essa variação P_c continua até se iniciar a deformação por cisalhamento da chapa (ponto A da figura 1.2). Tem-se a igualdade

$$P_c = \left(\frac{h}{\cos \theta} - 2 \cdot z \right) b \cdot \tau \quad (1.8)$$

Onde τ é a tensão de cisalhamento da chapa. O valor máximo de P_c se dá um pouco antes de τ atingir o valor máximo τ_r .

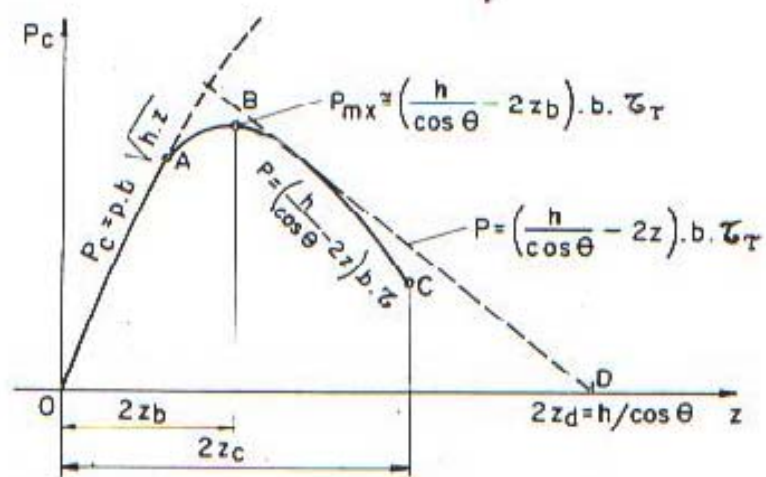


Figura 1.2 – Representação da variação de P_c em função de z .

Continuando o deslocamento das facas tem-se rápido decréscimo de P_c pois, além da profundidade z aumentar com o deslocamento das facas, a tensão de cisalhamento diminui. A reta tracejada da figura 1.2 representa a variação de P_c para o caso da tensão de cisalhamento τ_r e a relação $h/\cos\theta$ de serem constantes.

A verdadeira curva que dá a seqüência de variação de P_c em função do deslocamento das facas é obtida experimentalmente (figura 1.4).

Examinando-se a secção de corte de uma chapa de espessura considerável (figura 1.3) pode-se notar três fases distintas:

a) Fase de deformação do material, dada pela equação $P_c = p.b\sqrt{h.z}$ (curva OA da figura 1.2)

b) Fase de corte propriamente dita, dada pela equação $P_c = \left(\frac{h}{\cos\theta} - 2.z\right)b.\tau$.

c) Fase de destacamento do material, iniciando-se no ponto C, definido pela abcissa $2.z_c$ da figura 1.2. A fase de corte b) é brilhante enquanto que a fase de destacamento c) é opaca e granular.

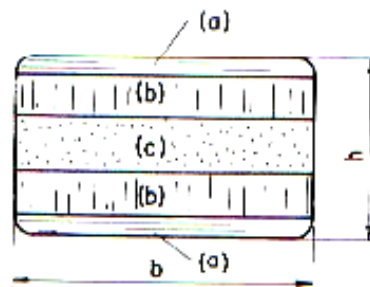


Figura 1.3 – Seção de uma barra cortada com facas paralelas.

1.1.2 Pressão específica de corte

A equação (1.8) pode ser escrita sob forma

$$P_c = \left[\left(\frac{1}{\cos\theta} - \frac{2.z}{h} \right) \tau \right] b.h, \text{ ou}$$
$$P_c = k_c . b.h \quad (P_c \text{ em kg}^*)$$
$$(b \text{ e } h \text{ em mm})$$
$$(k_c \text{ em kg}^*/\text{mm}^2) \quad (1.9)$$

onde

$$k_c = \left(\frac{1}{\cos\theta} - \frac{2.z}{h} \right) \tau \quad (1.10)$$

é a pressão específica de corte, referida à área total $b \cdot h$, para determinada profundidade z . O termo $2.z/h$ é denominado profundidade relativa de corte ε .

De acordo com a equação 1.10, a pressão específica de corte k_c varia com a profundidade relativa de corte e com a tensão de cisalhamento τ do material, a qual varia também com a profundidade z , vista anteriormente. A variação de k_c é obtida experimentalmente para cada material, em condições de ensaio semelhantes às operações normais de corte em chapas. Além destes fatores, influenciam secundariamente, o jogo entre as facas e a velocidade de corte. A espessura da chapa influi somente para variações muito grandes de h (acima de 10mm). O termo $1/\cos\theta$, para o caso de utilização de prensa chapas com facas de seção trapezoidal, pode ser adotado como sendo igual a 1.

A figura 1.4 apresenta a variação de k_c em função da profundidade relativa de corte para diferentes materiais. A figura 1.5 apresenta a influência da temperatura no valor de k_c , para o aço ABNT 1020.

Para determinar o valor da força máxima de corte P_c é necessário conhecer o valor máximo da pressão específica de corte, ou seja k_{cmx} , interessa o valor da profundidade relativa de corte correspondente ao destacamento do material (ponto C da figura 1.2). A tabela I.a apresenta os valores de k_{cmx} e ε_c para o caso de corte a frio em chapas de aço carbono. Quando o material em questão não se encontra na figura 1.4 ou na tabela I.1 pode-se estimar os valores k'_{cmx} e ε''_c através das relações aproximadas:

$$K'_{cmx} \cong K_{cmx} \frac{\sigma'_r}{\sigma_r}$$
$$\varepsilon'_c \cong \varepsilon_c \frac{\delta'}{\delta} \quad (1.11)$$

Onde,

σ'_r e δ' representam a resistência a ruptura e alongamento do material a ser cortado e σ_r e δ representam a resistência a ruptura e o alongamento do material dado pela tabela I.1 ou pelo gráfico 1.4.

k_{cmx} e ε_c representam a pressão específica de corte máxima e a profundidade relativa de corte no destacamento para o material dado pela tabela ou pelo gráfico 1.4. Em vários materiais pode-se adotar também a relação aproximada.

$$k_{cmx} \cong \tau_r = 0,7 \text{ a } 0,8 \cdot \sigma_r \quad (1.12)$$

MATERIAL	Composição química em porcento										σ'_s kg/mm ²	σ_r kg/mm ²
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni					
1	0,16	0,23	0,34	0,018	0,006	1,42	4,31		58,5	11,0		
2	0,75	0,31	0,63	0,028	0,220	0,15	-		58,5	100,8		
3	0,40	0,33	0,55	0,024	0,027	1,10	0,13		44,8	83,8		
4	0,14	0,70	0,50	0,020	0,020	13,00	8,50		-	60,0		
5	0,47	0,23	0,58	0,027	0,030	0,050	-		35,4	67,3		
6	0,20	0,24	0,52	0,026	0,030	0,040	-		42,6	53,7		
7	0,15	0,20	0,40	0,040	0,040	0,200	0,30		18,0	38,0		

MATERIAL	k_{cmx} (kg/mm ²)	δ (%)	ε_c	ρ (kg/mm ³)
1	75	9	0,16	9,7
2	61	10,8	0,16	7,4
3	54	16,6	0,33	15,0
4	47	45,0	0,40	12,4
5	46	19,7	0,23	8,5
6	38	21,7	0,35	10,4
7	28	32,0	0,41	9,7
Cobre	16	-	0,42	5,7
Zinco	15	-	0,41	5,2
Duro- alumínio	13	-	0,13	1,3

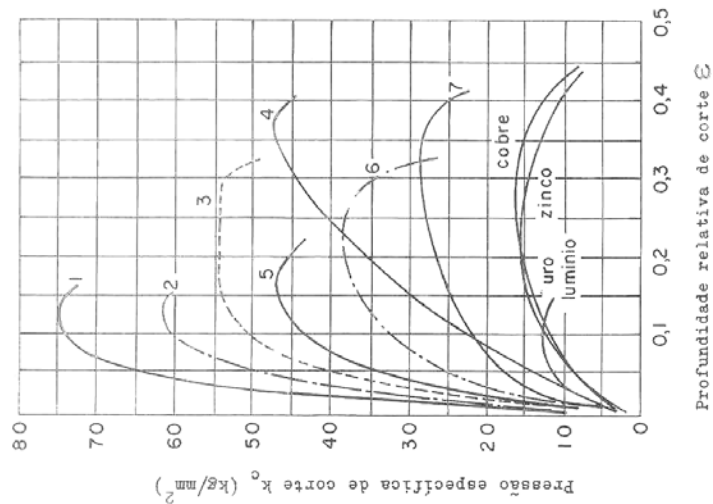


Tabela I.1 e Gráfico 1.4 – Variação de K_c em função de ε

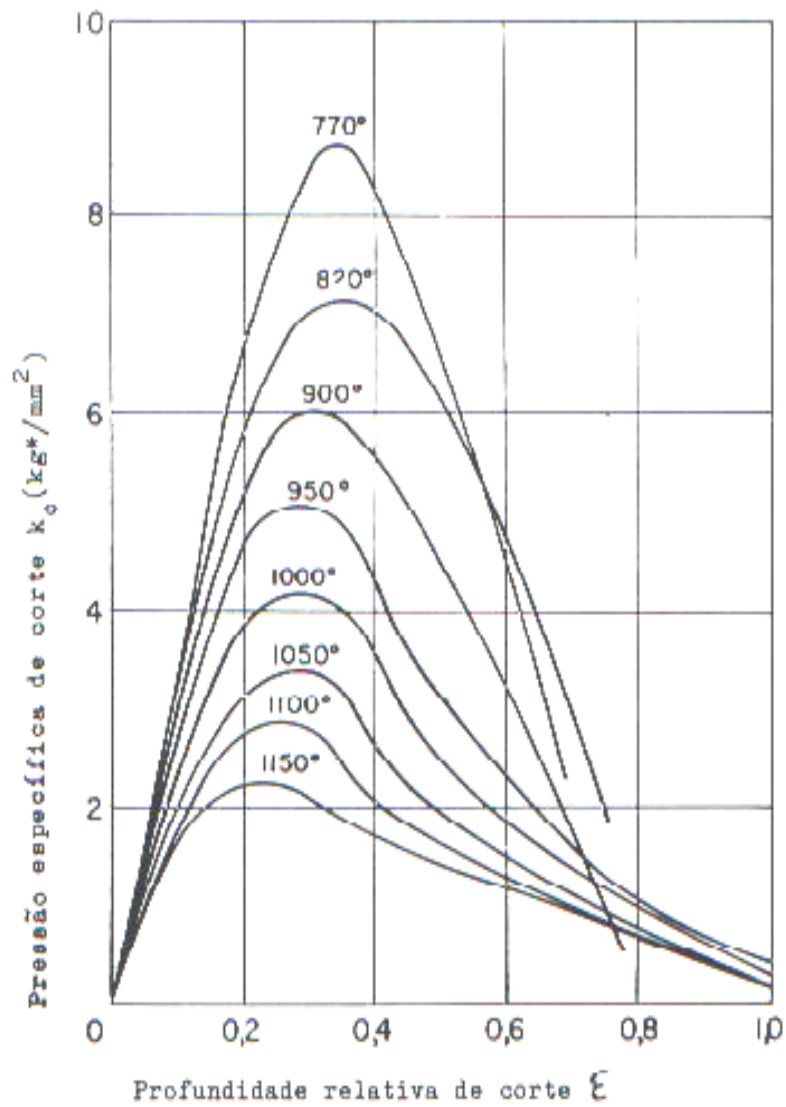


Fig. 1.5 - Pressão específica de corte em função da profundidade relativa de corte do aço ABNT 1020, para diferentes temperaturas (curvas obtidas numa tesoura de barras).

Qualidade de material	C Máxima %	Mn %	Alongamento (h=3mm) δ_{50mm} (%)	Resistência a ruptura σ_r (kg/mm ²)	Pressão específica de corte k_{cmx} (kg*/mm ²)	Profundidade relativa de corte ϵ_c	Trabalho específico de corte ρ (kg*mm/mm ³)
Chapa fina laminada a quente CFQ (p/estampagem)							
EM	0,1	0,2-0,5	32	32	26	0,55	11
EP	0,1	0,2-0,5	36	30	24	0,6	12
EEP	0,1	0,2-0,5	39	29	23	0,7	13
Chapa fina laminada a frio CFF (p/estampagem)							
EM	0,1	0,2-0,5	26	38	31	0,4	10
EP	0,1	0,2-0,5	31	36	29	0,45	10,5
EEP	0,1	0,2-0,5	34	34	28	0,5	11
Chapa fina laminada a quente CFQ (comum)							
Comum	0,15	0,2-0,6	26	38	31	0,45	12
1020	0,18	0,3-0,6	25	39	33	0,45	12,5
1035	0,38	0,6-0,9	18	51	40	0,40	12,5
1050	0,55	0,6-0,9	15	63	50	0,35	13,5
Chapa fina laminada a frio CFF (comum)							
Comum	0,15	0,2-0,6	17	42	34	0,4	9,5
1020	0,18	0,3-0,6	15	44	37	0,35	10,5
1035	0,38	0,6-0,9	12	56	45	0,3	10,5

Nota: Os valores das chapas finas laminadas a quente se referem à espessura de 3mm, para chapas mais finas, acrescentar 10% aos valores de ρ e k_{cmx} . Os valores das chapas laminadas a frio se referem a espessura de 1mm, para chapas mais finas acrescentar 10% aos valores ρ e k_{cmx} . As designações para as chapas de estampa se referem ao projeto de especificação brasileira P-EB 188 da ABNT.

Tabela I.a – Valores de k_c e ϵ_c para diversos materiais.

1.1.3 - Trabalho específico de corte

O trabalho de corte é dado pela expressão (figura 1.6)

$$T = \int_0^{2Z_c} P \cdot 2dz \quad (1.13)$$

Sendo $p_c = k_c \cdot b \cdot h$,

$$\varepsilon = \frac{2z}{h}, \text{ ou ainda, } 2dz = h d\varepsilon$$

tem-se

$$T = \int_0^{\varepsilon_c} k_c \cdot b \cdot h^2 \cdot d\varepsilon = b \cdot h^2 \int_0^{\varepsilon_c} k_c \cdot d\varepsilon$$

Define-se trabalho específico de corte o termo

$$\rho = \int_0^{\varepsilon_c} k_c \cdot d\varepsilon \quad (\text{kg} \cdot \text{mm} / \text{mm}^3) \quad (1.14)$$

Que corresponde a área do diagrama $k_c = f(\varepsilon)$, obtido experimentalmente (tabela I.1). A fórmula

$$\boxed{T = b \cdot h^2 \cdot \rho} \quad (\text{kg} \cdot \text{mm}) \quad (1.15)$$

permite calcular facilmente o trabalho de corte, conhecendo-se o valor ρ . Através do produto $b \cdot h^2$, pelo trabalho específico de corte (figura 1.6 b), que praticamente independente das dimensões da chapa, obtém-se o trabalho de corte (figura 1.6 a).

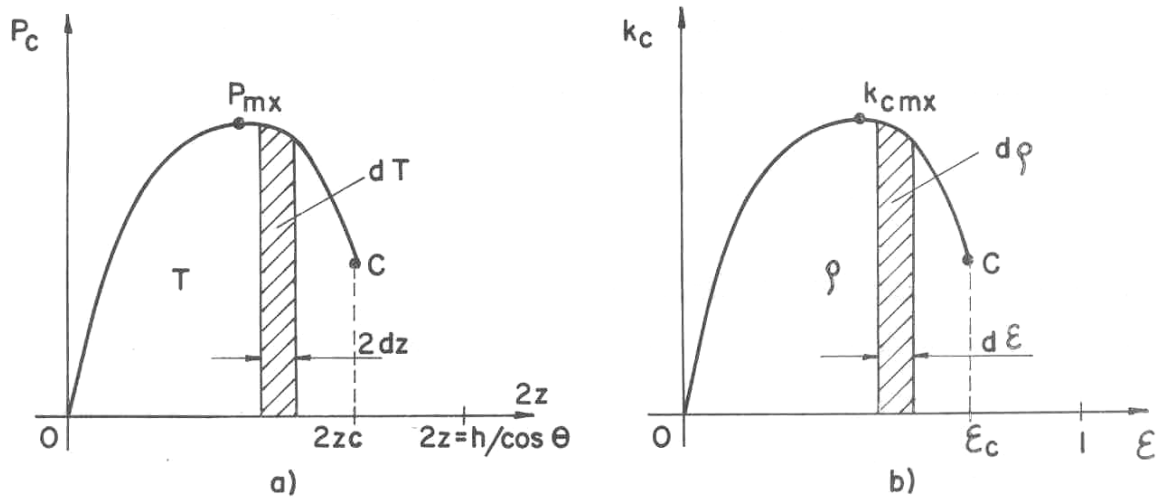


Figura 1.6 – Diagramas da força de corte e da pressão específica de corte em função da penetração das facas e da deformação específica de corte respectivamente.

Quando o material em questão não se encontra na tabela I.1, pode-se estimar o valor de ρ de modo análogo ao indicado pela equação 1.11.

$$\rho' = \rho \frac{\sigma'_r}{\sigma_r} \cdot \frac{\delta'}{\delta} \quad \rho \quad (1.16)$$

1.1.4 - Determinação experimental das grandezas k_c e ε_c e ρ para um determinado material .

Para tanto se utilizam estampos dinamométricos especiais que permitem medir a variação da força de corte em função do deslocamento do punção (figura 1.7). Estes estampos são aplicados em prensas excêntricas de curso variável e que apresentam a possibilidade de se variar à velocidade de corte. O punção do estampo pode ser aplicado a várias matrizes permitindo-se variar o jogo entre o punção e a matriz. Desta forma, tornam-se possíveis diversos arranjos experimentais. Assim, para uma chapa de determinado material, traça-se o diagrama experimental da força em função do deslocamento. Através da fórmula 1.9 e da expressão

$$\varepsilon = 2z/h$$

tem-se o diagrama da pressão específica de corte em função da profundidade relativa de corte. Este diagrama nos fornece os valores de ε_c e ρ .

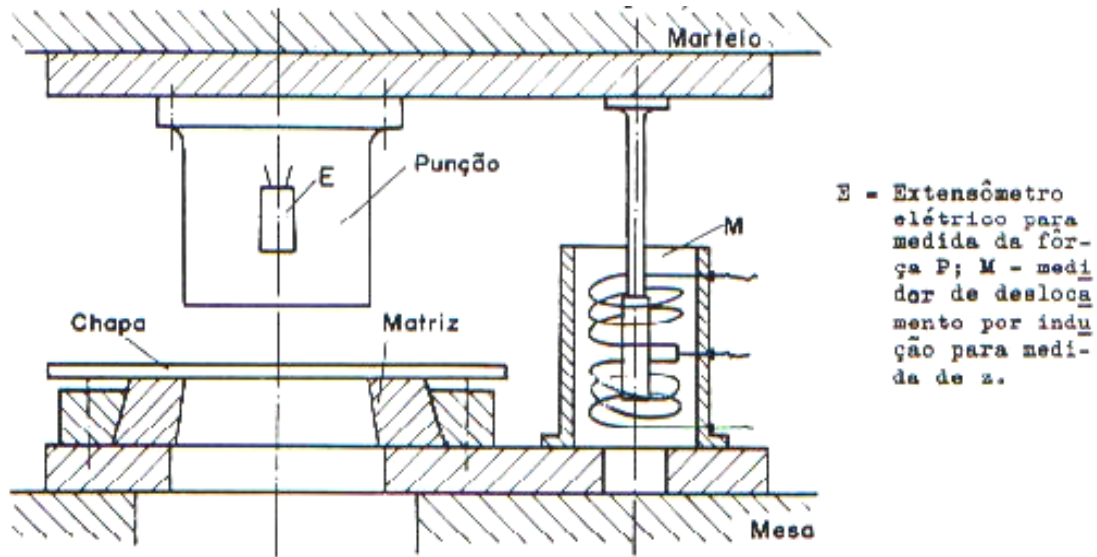


Figura 1.9 – Esquema de um punção dinamométrico para a medição da força de corte em função do deslocamento

1.2 - Facas paralelas de seção trapezoidal

Vimos no caso de corte em chapas através de facas paralelas de seção retangular, que a medida que as facas se aproximam, a força de corte P_c se afasta do plano AA' da figura 1.1. Em consequência disto tem-se um momento giro $M=P.a$, o qual dá origem a uma força normal P_n dada pela fórmula 1.3.

$$P_n = P_c \cdot \operatorname{tg} \theta$$

O valor de θ é da ordem de 10 a 20°, resultando

$$P_n = 0,18 \text{ a } 0,30 P_c .$$

Consegue-se diminuir P_n utilizando-se prensa-chapas ou facas de seção trapezoidal. O prensa chapa exerce um momento antagonista ao dado pelas facas, reduzindo o valor de θ para 5 a 10° (figura 1.10). o valor de P_n passa a ser

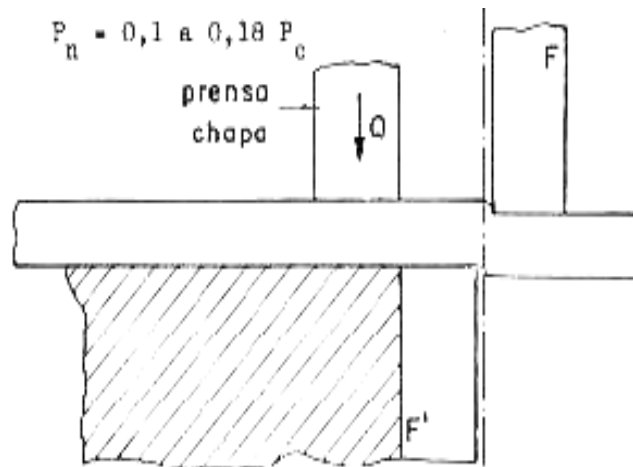


Figura 1.10 – Emprego do prensa chapas para reduzir o ângulo de giro da chapa e a força tangencial.

A faca de seção trapezoidal, com um ângulo de cunha β menor de 90° , permite melhorar as condições acima. Com a existência do ângulo β , a força P de corte pode ser interpretada como a resultante das forças P_1 e P_2 , como mostra a figura 1.11. O braço da alavanca a' torna-se menor que o valor a apresentado na figura 1.1. Logo,

$$M' = P_c \cdot a' < P_c \cdot a$$

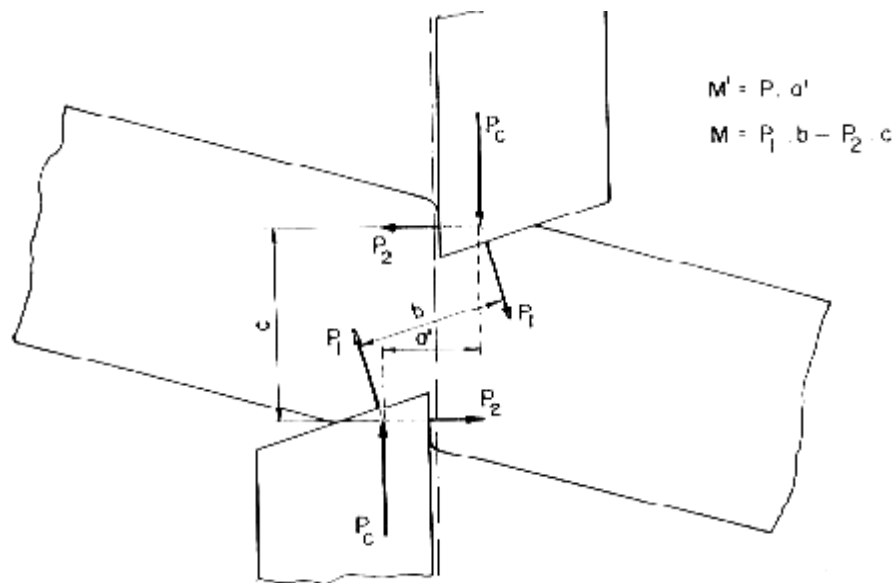


Figura 1.11 – Corte em chapas através de facas trapezoidais. Decomposição da força P_c

Com o emprego do prensa chapa e de facas de seção trapezoidal, o ângulo θ fica reduzido para 2 a 7° e $P_n = 0,04$ a $0,12 P_c$.

1.3 - Facas inclinadas

O corte através de facas inclinadas é utilizado em materiais de espessura pequena em relação a largura. Devido a inclinação das facas (figura 1.12), tem-se a cada instante somente uma parcela da área total a ser cortada, resultando uma força de corte P_c bem menor que no caso de facas paralelas. Esta parcela da área total de corte é representada pelo triângulo MNR.

Tomando-se neste triângulo uma superfície elementar de largura d_x , a uma distância x de MN, tem-se segundo a equação 1.9:

$$dP = k_c \cdot h \cdot d_x \quad (1.17)$$

A profundidade relativa de corte ε para esse elemento de corte, a uma distância x de MN é

$$\varepsilon = \frac{2z}{h} = \frac{x \cdot \text{tg} \lambda}{h} \quad (1.18)$$

Como se viu anteriormente, a pressão específica de corte k_c varia com ε , isto é, $k_c = f(\varepsilon)$. Sendo h e λ constantes tem-se $k_c = f''(x)$. Isto nos permite construir um diagrama de k_c em função de x . Prefere-se construir a curva $q_x = k_c \cdot h$ em função de x , conforme mostra a figura 1.12.

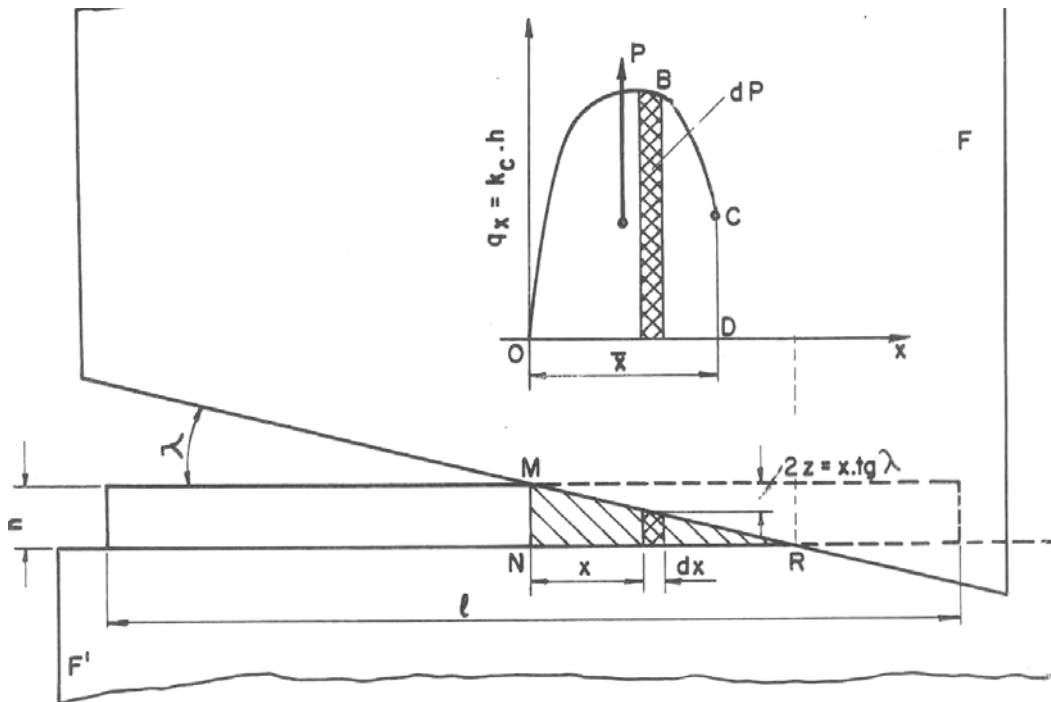


Figura 1.12 – Corte de chapas através de facas inclinadas

q_x representa, assim, a força de corte P_c por unidade de comprimento da faca. Tem-se então, analogamente a equação (1.17).

$$dP = q_x \cdot dx. \quad (1.19)$$

O valor da força P necessário ao corte do triângulo MNR é

$$P_c = \int_0^{\bar{x}} k_c \cdot h \cdot dx = \int_0^{\bar{x}} q_x \cdot dx \quad (1.20)$$

P_c é dado, portanto, pela área limitada pela curva OBCD da figura 1.12. A distância \bar{x} define o ponto C de destacamento da chapa, onde

$$\bar{x} = \frac{\varepsilon_c \cdot h}{tg\lambda} \quad (1.21)$$

Diferenciando-se a igualdade 1.18 tem-se:

$$d_x = \frac{h}{tg\lambda} d\varepsilon$$

Logo

$$P_c = \int_0^{\varepsilon_c} k_c \cdot h \cdot \frac{h}{tg\lambda} d\varepsilon$$

ou simplesmente

$$\boxed{P_c = \frac{h^2}{tg\lambda} \int_0^{\varepsilon_c} k_c \cdot d\varepsilon = \frac{h^2 \cdot \rho}{tg\lambda}} \quad (\text{kgf}) \quad (1.22)$$

Logo, a força de corte para o caso de facas inclinadas é proporcional ao trabalho específico de corte ρ , o qual por sua vez não depende não depende somente de τ e sim do trabalho de deformação do material. Quanto maior ε_c , tanto maior a força de corte. O trabalho de corte da chapa pode ser calculado através do produto entre a força e o deslocamento, conforme esquematizado na figura 1.13.

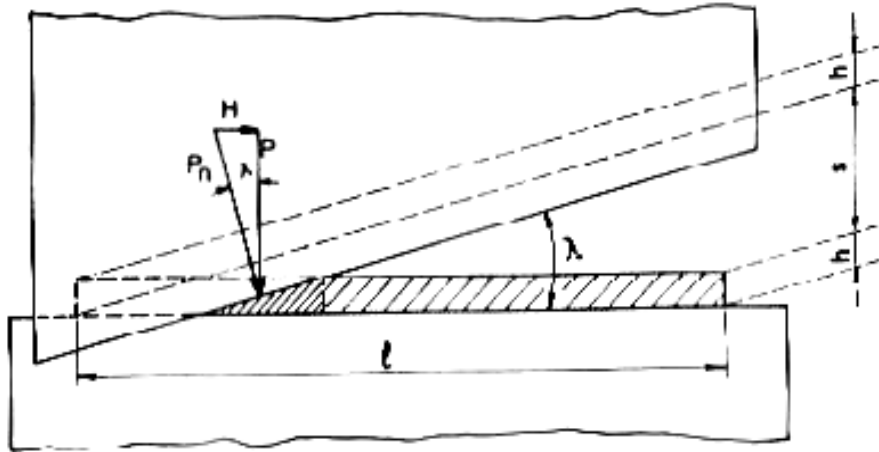


Figura 1.13 – Determinação do Trabalho de corte para o caso de facas inclinadas

$$T = P_c \cdot s + 2 \frac{P_c \cdot h}{2}$$

$$T = P_c (s + h) = P_c \cdot l \cdot \text{tg} \lambda$$

ou

$$\boxed{T = l \cdot h^2 \rho} \quad (\text{hg}^* \cdot \text{mm}) \quad (1.23)$$

Comparando-se esta fórmula com a 1.15, vê-se que teoricamente o trabalho de corte independente do ângulo de inclinação λ . Esta condição é válida desde que admitamos o mesmo valor da pressão específica de corte, tanto para facas paralelas como para inclinadas. A figura 1.14 apresenta uma comparação da como inclinadas. A figura 1.14 apresenta uma comparação da variação da força de corte P_c para ambos os casos.

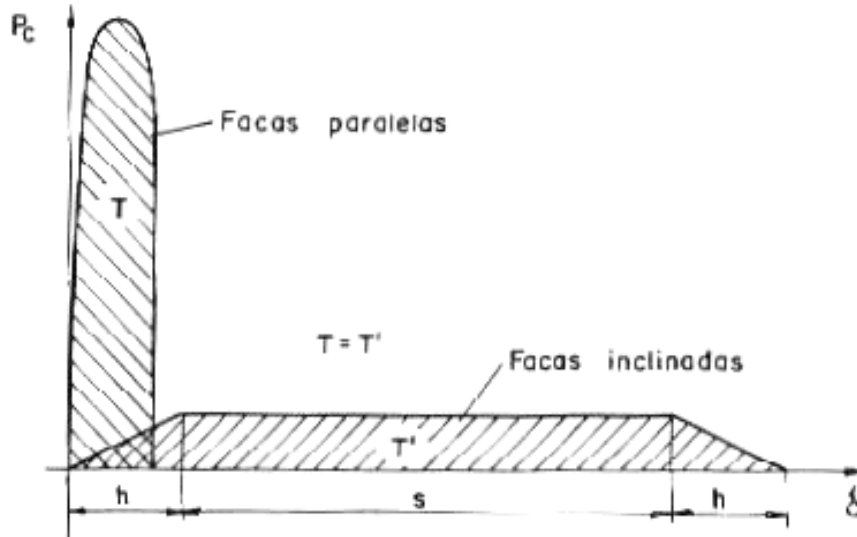


Figura 1.14 – Comparação do diagrama da força de corte em função do curso para facas paralelas e inclinadas.

O ângulo de inclinação, λ da faca não pode ser grande devido ao flexionamento da chapa (figura 1.15).

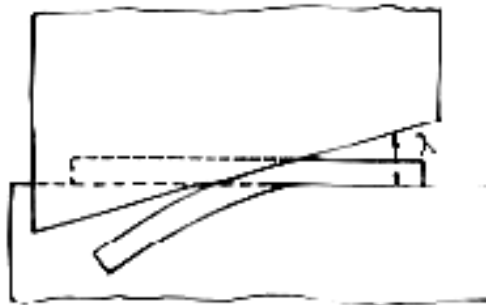


Figura 1.15 – Flexionamento da chapa devido ao uso de ângulo de inclinação excessivo.

Além disso, um valor alto de λ pode provocar o escorregamento da chapa nas facas, quando não houver preense-chapas. De acordo com a figura 1.13, deve-se ter sempre a condição:

$$H < \mu \cdot P_c \therefore \quad \text{tg}\lambda = \frac{H}{P_c} < \mu \quad (1.23)$$

Onde μ é o coeficiente de atrito estático da chapa com a faca. Em geral tem-se os seguintes valores para λ :

$$\begin{array}{lll} \lambda = 5 \text{ a } 10^0 & \text{para} & h > 10\text{mm} \\ \lambda = 1,5 \text{ a } 4^0 & \text{para} & h < 10\text{mm} \end{array}$$

Do mesmo modo que no caso do corte de chapas através de facas paralelas, para se diminuir o ângulo de giro da chapa, utilizam-se facas de secção trapezoidal, com $\beta = 80$ a 85° . O ângulo β não pode ser pequeno, devido a flexão da chapa no plano horizontal (figura 1.16). A figura 1.17 apresenta os ângulos recomendados para o corte de chapas através de facas inclinadas.



Fig. 1.16 - Flexão da chapa devido a um ângulo de cunha β da faca pequeno.

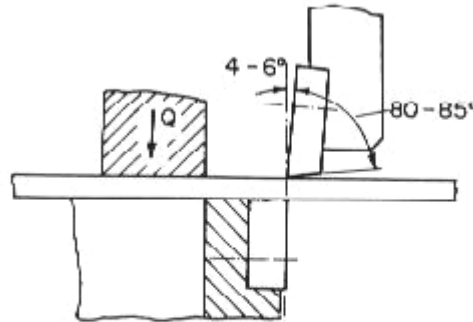


Fig. 1.17 - Valores recomendados dos ângulos das facas.

1.4- Facas de inclinação variável

As facas articuláveis apresentam geralmente o ângulo de inclinação λ variável. Como foi visto anteriormente, quando λ é grande, a chapa tende a escorregar nas facas. Isto acontece principalmente no início do corte (figura 1.18).

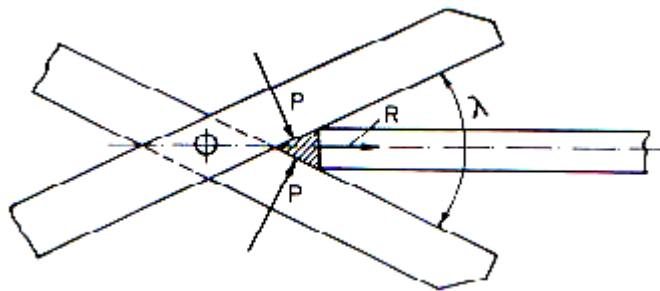


Fig. 1.18 – Corte com ângulo de inclinação variável.

Para diminuir a variação do ângulo λ (principalmente no início do corte) utilizam-se facas curvas. A figura 1.19 apresenta o esquema de uma tesoura manual empregada em pequenas oficinas de funilaria. Tem-se as relações:

$$M = P_c \cdot x = F \cdot L$$

$$F = P_c \frac{X}{L} = \frac{h^2 \cdot \rho}{\text{tg} \lambda} \frac{X}{l} \quad (\text{kgf}) \quad (1.24)$$

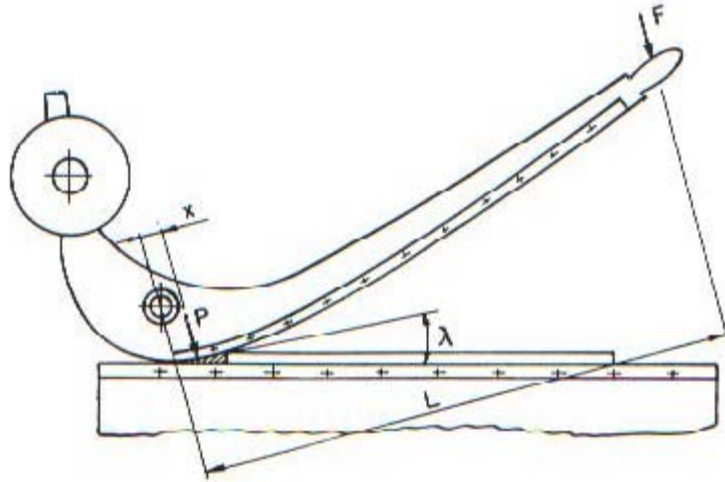


Fig. 1.19 – Tesoura manual de chapas

1-15 -Facas circulares

As facas circulares são utilizadas no corte de tiras de chapas, em operações de grande produção. A figura 1.20 apresenta o caso de duas facas circulares de mesmo diâmetro e eixos paralelos. Sejam MT e NT os arcos de contato das facas com a chapa, os quais podem ser admitidos como retos. Logo a seção de chapa a ser cortada num instante dado apresenta a forma triangular. Analogamente ao estudo do corte através de facas inclinadas, tem-se para um elemento de largura dx , à uma distância x de MN:

$$dP = k_c \cdot h \cdot dx$$

A profundidade relativa de corte para um elemento vale

$$\varepsilon = \frac{2z}{h} = \frac{2 \cdot x \cdot \operatorname{tg} \lambda}{h}$$

e

$$x = \frac{\varepsilon \cdot h}{2 \cdot \operatorname{tg} \lambda}$$

Sendo λ e h constantes, a pressão específica k_c pode ser tomada como função do comprimento x . Logo o produto $q_x = k_c \cdot h$ representa a força de corte por unidade de comprimento em função de x . A área limitada pela curva OBCD representa a força de corte

$$P_c = \int_0^{\bar{x}} q_x \cdot dx = \int_0^{\bar{x}} k_c \cdot h \cdot dx$$

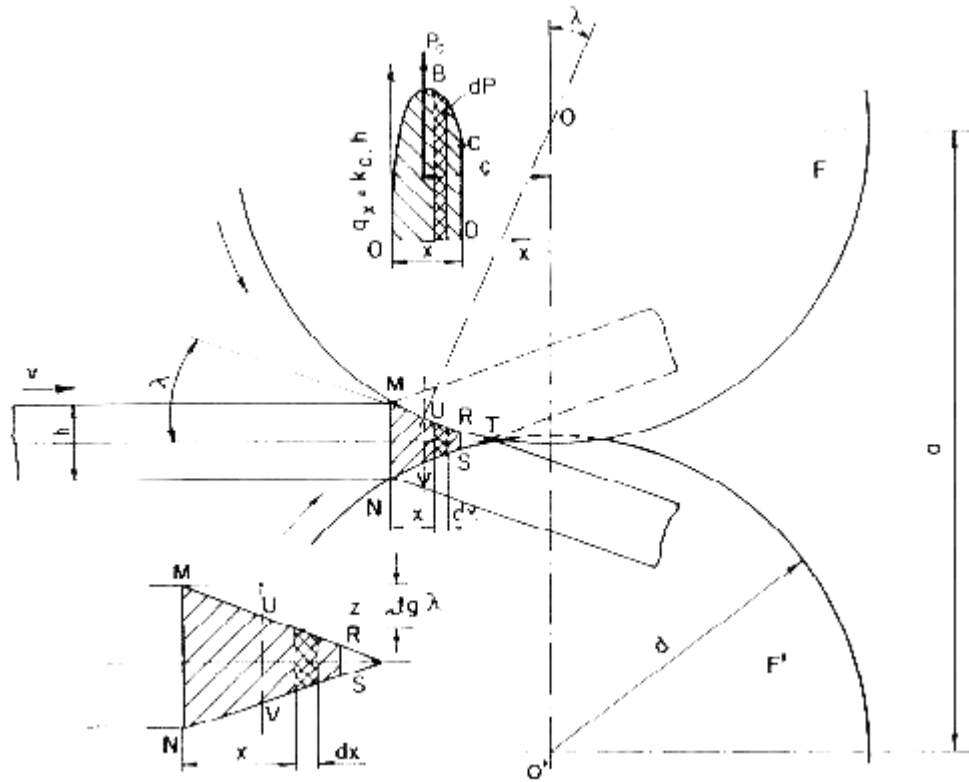


Fig. 1.20 – Corte em chapa através de facas circulares de eixos paralelos.

Mudando-se a variável x por ε tem-se

$$P_c = \int_0^{\varepsilon_c} k_c \cdot h \cdot \frac{h}{2 \cdot \text{tg} \lambda} d\varepsilon$$

$$P_c = \frac{h^2}{2 \cdot \text{tg} \lambda} \int_0^{\varepsilon_c} k_c d\varepsilon$$

Portanto

$$P_c = \frac{h^2 \cdot \rho}{2 \cdot \text{tg} \lambda} \tag{1.25}$$

Esta força está aplicada no ponto correspondente ao centro de gravidade da curva $q_x = f(x)$. Para simplificar os cálculos, admite-se que a linha de ação de P_c esteja a uma distância $x_c/2$ de MN.

Logo a linha de ação de P_c passa pelos pontos U e V, situados no meio das cordas MR e NS respectivamente. A distância da linha de ação de P_c aos eixos das facas será

$$C = \frac{d}{2} \text{sen } \lambda \quad (1.26)$$

Logo o momento de torção de cada faca é

$$M = P_c.C = P_c \frac{d}{2} \text{sen } \lambda \quad (1.27)$$

O ângulo λ . É definido pelas seguintes relações geométricas:

$$a = \overline{UV} + 2 \cdot \frac{d}{2} \cos \lambda.$$

$\overline{UV} = h - z_c = h - \frac{\varepsilon_c \cdot h}{2}$, lembrar que o segmento UV está na região média da seção em corte e, portanto, se somado a $2z_c/2$ resultará na espessura h da chapa.

$$a = h \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{2} \right) + 2 \cdot \frac{d}{2} \cos \lambda$$

$$\cos \lambda = \frac{a - h \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{2} \right)}{d} \quad (1.28)$$

Admite-se que nos pontos U e V não há escorregamento entre as facas e a chapa. Logo, a velocidade da chapa é (figura 1.21).

$$V = v_f \cdot \cos \lambda. \quad (\text{m/s}) \quad (1.29)$$

Onde v_f é a velocidade circunferencial da faca.

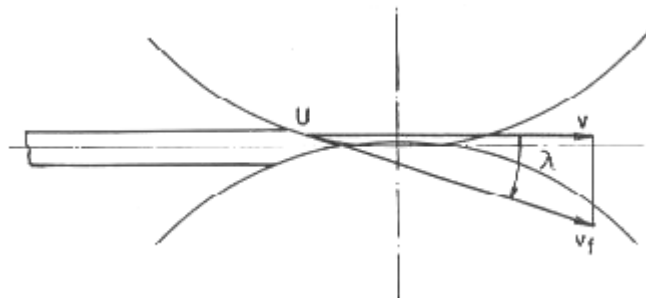


Fig. 1.21

A potência de corte será:

$$N = \frac{2.M.\omega}{75}, \text{ ou}$$

$$N = \frac{2.M.2.V_f}{75.d}$$

$$N = \frac{2.P.d.V.\text{sen } \lambda}{75.d.\text{cos } \lambda} = \frac{2.P.V.\text{tg } \lambda}{75}$$

Substituindo-se P pela equação 1.25, tem-se:

$$N = \frac{h^2.V.\rho}{75}$$

Onde (N em CV)

(h em mm)

(P em kg*.mm/mm³)

(V em m/s)

Em geral o ângulo λ . É da ordem de 12 a 22°, o que corresponde à relação

$$d = 35 \text{ a } 70h$$

A espessura das facas é da ordem 0,06 a 0,1d e a penetração das facas varia de 1 a 5mm. A velocidade da chapa é dada pela tabela abaixo

Espessura da chapa h(mm)	Velocidade (m/s)
2 - 5	1,0 a 2,0
5 - 10	0,5 a 1,0
10 - 20	0,25 a 0,5

1.6 – Facas paralelas fixas em tambores rotativos

São empregadas no corte de placas de chapa fina, em operação de grande produção (exemplo: fabricação de chapas retangulares nas siderúrgicas).

O tambor porta-facas pode apresentar uma ou várias facas, dependendo da dimensão final da chapa cortada, do diâmetro do tambor e da relação entre a velocidade do tambor e da chapa. O comprimento da chapa cortada é

$$l = v.t \tag{1.30}$$

onde V é a velocidade da chapa (m/s) e t é o tempo de corte dado por

$$t = \frac{\pi \cdot d}{V_f} \cdot \frac{1}{n_f} \quad (1.31)$$

onde : d = diâmetro do tambor, medido na ponta da faca (figura 1.22); em mm;
 V_f = velocidade periférica da faca, em m/s;
 n_f = número de facas aderidas ao tambor.

Substituindo-se (1.31) em (1.30) tem-se

$$\ell = \pi \cdot d \cdot \frac{V}{n_f \cdot V_f} \quad (\text{mm}) \quad (1.32)$$

Para que a chapa não se curve durante a operação, o produto $V_f \cdot \cos \beta$ (projeção de V_f sobre a direção de V) é um pouco maior que V . Nos cálculos aproximados toma-se $V = V_f \cdot \cos \beta$.

De acordo com a figura 1.22, têm-se as relações:

$$a = 2\left(\frac{d}{2} \cos \beta\right) + h$$

$$a = \frac{d}{2} + \frac{d}{2} - f$$

$$\text{logo } \cos \beta = 1 - \frac{h+f}{d} \quad (1.33)$$

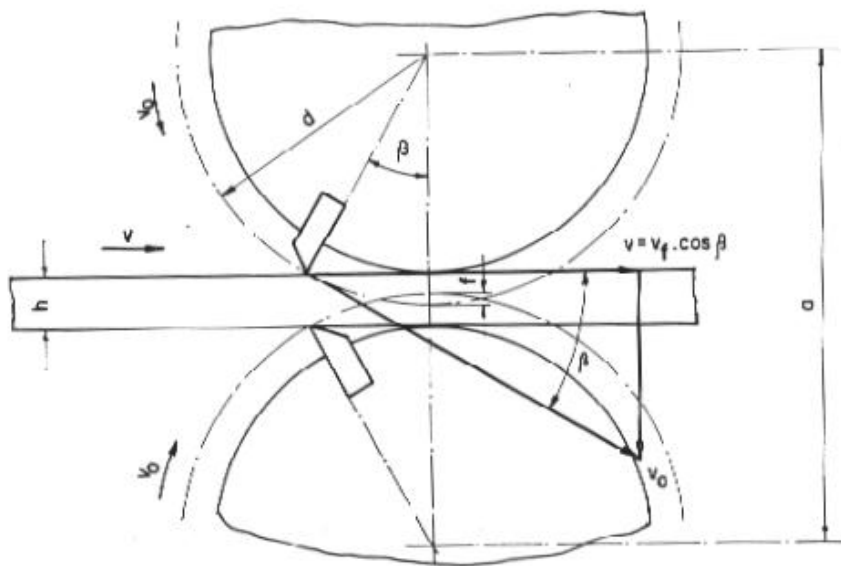


Figura 1.22 – Corte em chapas através de facas aderidas em tambores.

Substituindo-se tem a relação aproximada

$$\ell = \frac{\pi}{n_f}(d - f - h) \quad (1.34)$$

O momento de torção de cada tambor, durante o corte da chapa pode ser dado pela relação:

$$M_t = F_t \cdot d/2$$

onde F_t é a força tangencial da faca, dada pela relação (figura 1.23):

$$F_t = P_c \cdot \text{sen } \beta.$$

A potência média de corte é

$$N = \frac{T \cdot n_c}{60 \cdot 75 \cdot 1000} \text{ (CV)}$$

onde,

T = trabalho de corte da chapa, em kg*mm

$$= b \cdot h^2 \cdot \rho.$$

n_c = número de cortes por minuto

$$= n_f \cdot n$$

n = rotação do tambor, em r.p.m.

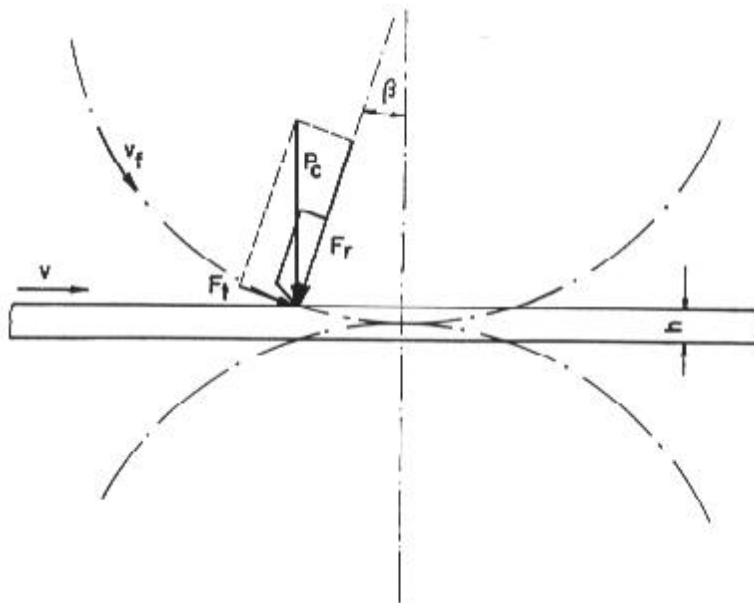


Fig 1.23 – Decomposição da força de corte P nas componentes F_t e F_r

Substituindo-se

$$N = \frac{b.h^2.\rho.n_f.n}{60.75.1000}$$

ou ainda

$$N = \frac{b.h^2.\rho.n_f.V_f}{d.75} \text{ (cv)}$$

(1.35)

b, h, d em mm

v_f em m/s

ρ em kg*.mm/mm³