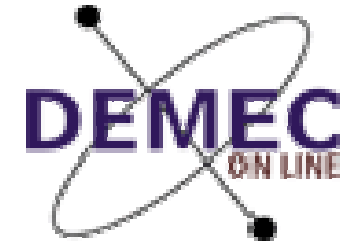




Labconf

Laboratório de Conformação Mecânica - UFPR



Manufatura de Chapas Metálicas

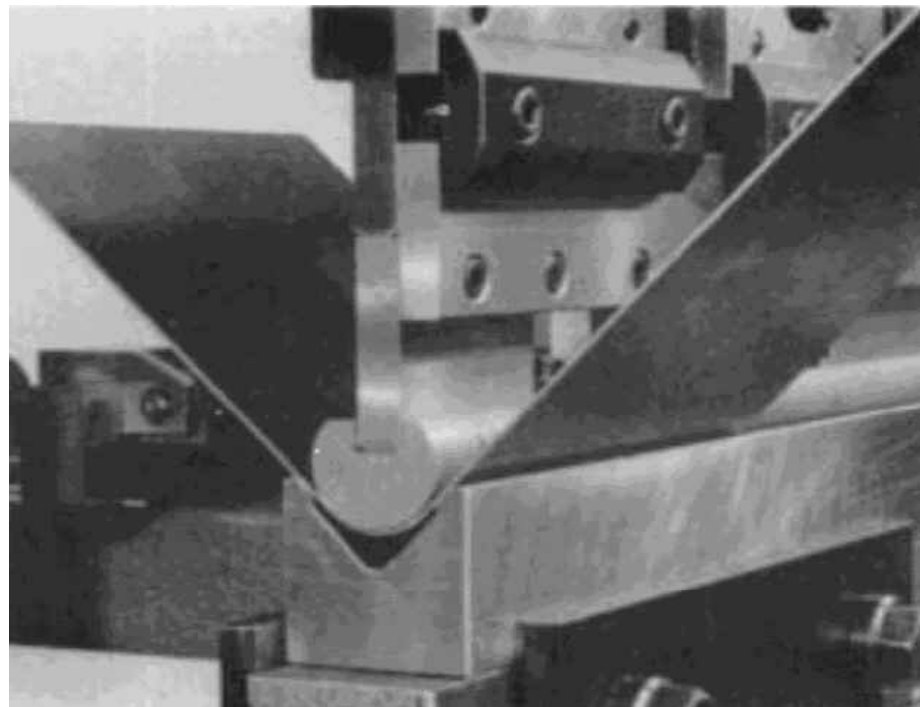
Dobramento

Prof. Paulo Marcondes, PhD.
DEMEC / UFPR

O que é dobramento ?



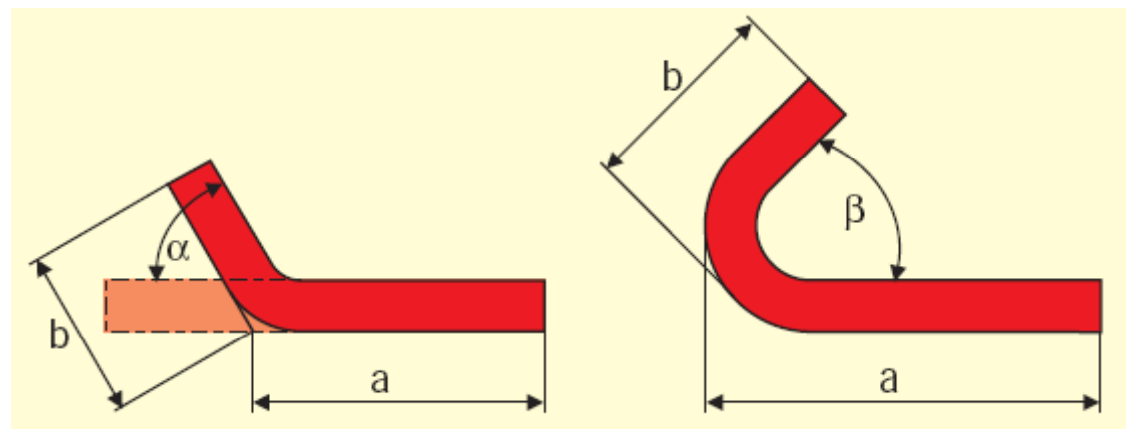
- ⌘ Dobramento é usualmente definido como "a deformação plástica de uma chapa metálica ao longo de uma linha reta".



Dobramento

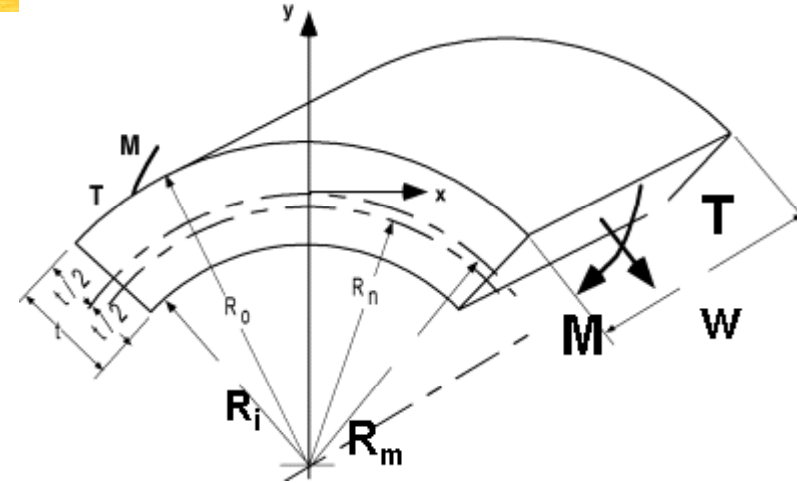
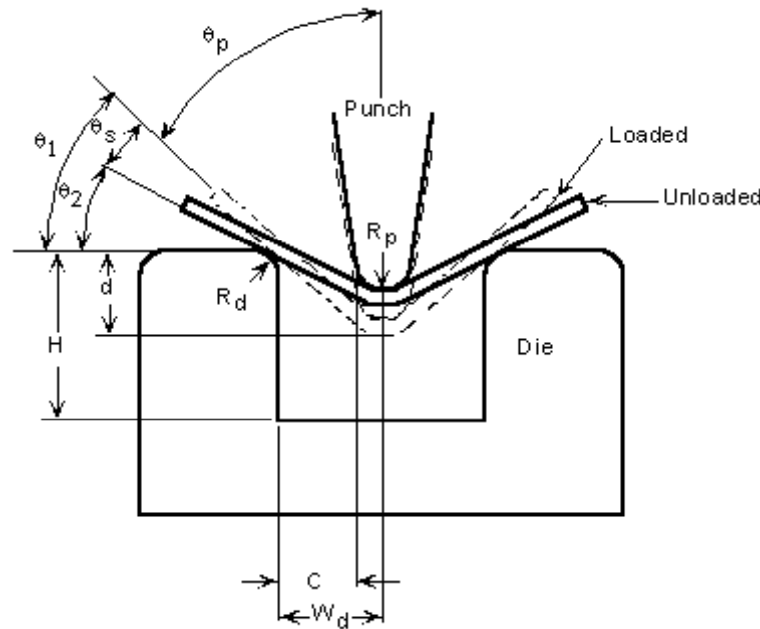


Variáveis de dobramento



- Estiramento (alongamento trativo na superfície externa)
- Compressão paralela (superfície interna)
- Linha neutra (comprimento original)

Símbolos e terminologia do dobramento



R_i : Raio interno de dobramento
 R_o : Raio externo de dobramento
 R_m : Raio de meia superfície
 R_p : Raio de punção
 R_d : Raio de matriz
 C : Folga

W_d : Abertura meia matriz
 R_n : Raio neutro de dobramento circular
 T : Espessura da chapa
 θ : Ângulo de dobramento
 θ_s : Ângulo de 'Springback'
 H : Altura da matriz

Dobramento reto



A deformação é confinada na região de dobramento

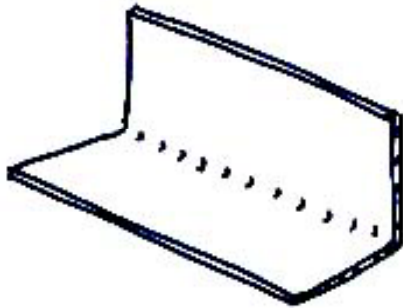
Variáveis:

Espessura da chapa

Raio e ângulo de dobramento

Módulo elástico

Fratura por deformação do material

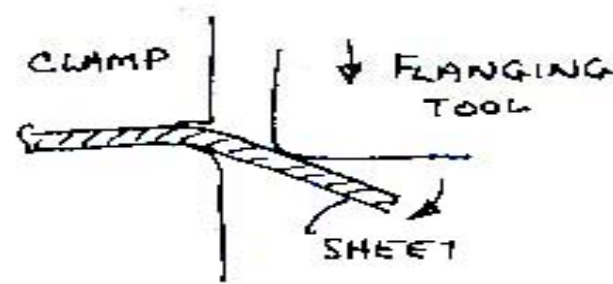


Considerações de processo:

‘Springback’

Fissura ou rachamento

Dobramento reto

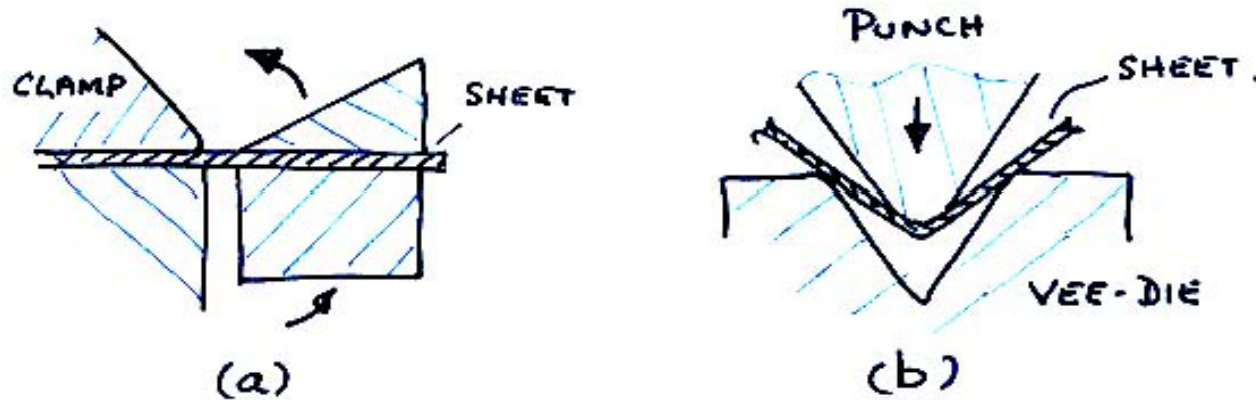


(d)

Matriz de deslizamento (*Flanging*):

**Frequentemente usado com estampagem.
Comum na indústria automotiva.**

Dobramento reto



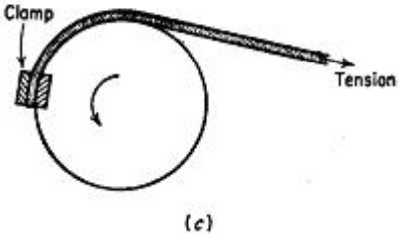
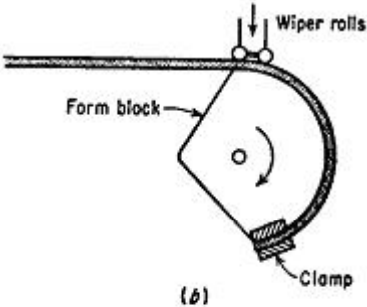
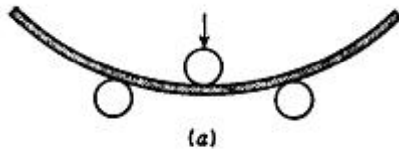
Dobramento plano:

A beirada da chapa é presa e dobrada para cima.

Dobramento em prensa e matriz tipo V:

A folha desliza na matriz e o atrito pode influenciar o processo.

DOBRAMENTO CURVO



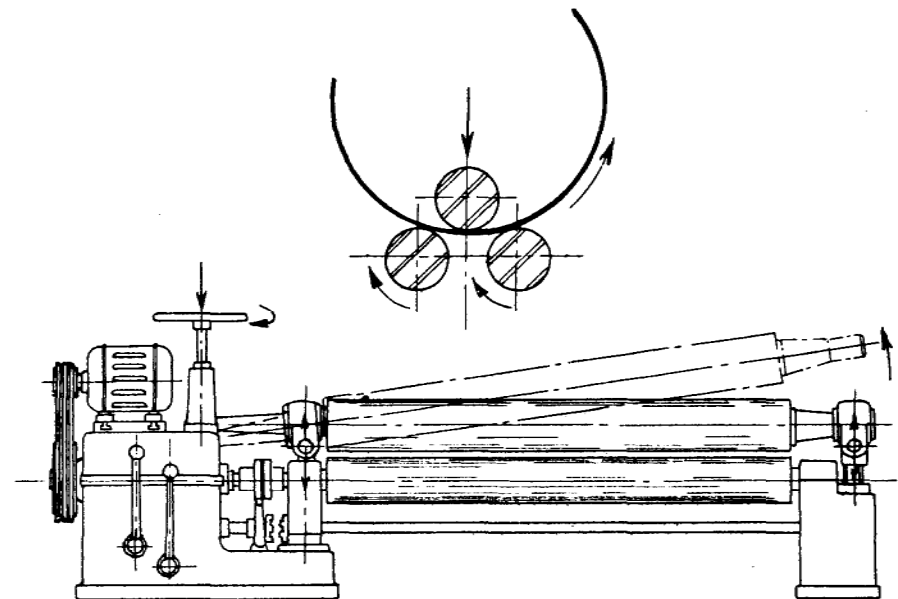
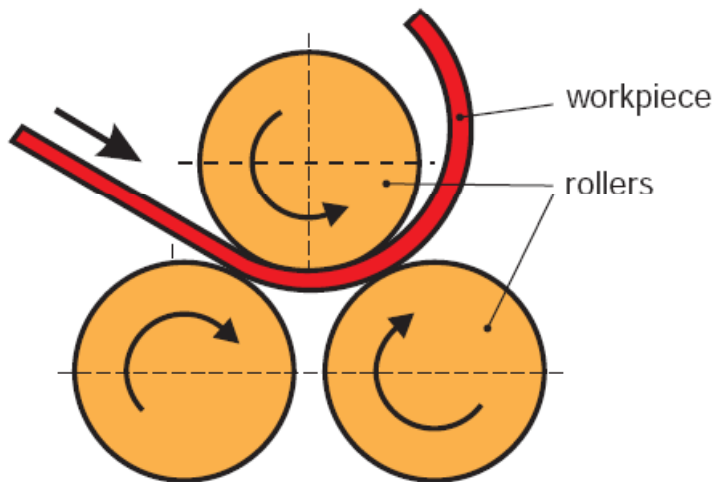
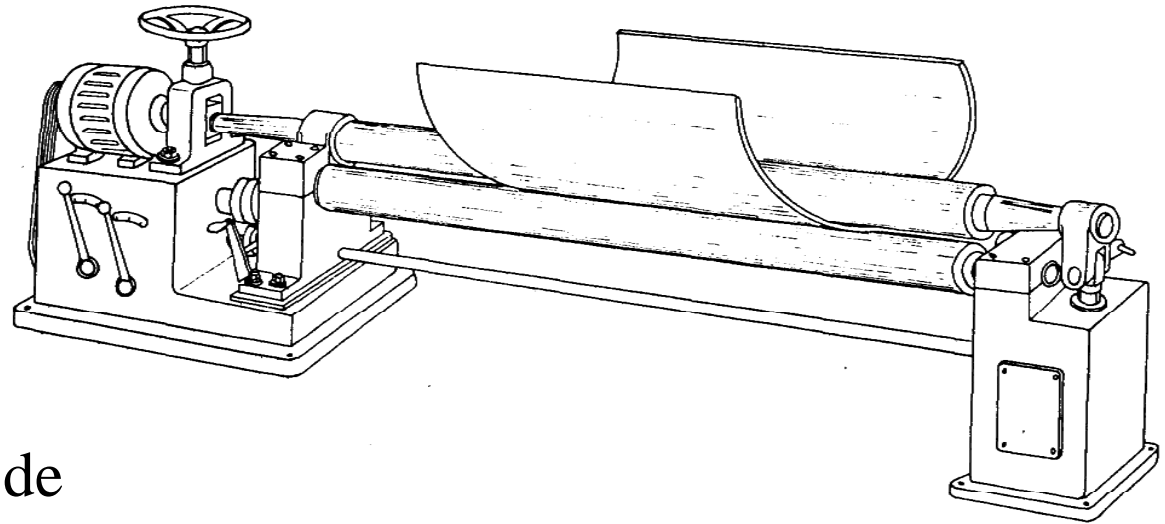
Methods of bending and contouring.
(a) Three-roll bender; (b) wiper-type benders;
(c) wrap forming.

DOBRAMENTO CURVO



CURVATURA – CALANDRAS

A curvatura cilíndrica ou cônica é obtida por meio de *calandras*.



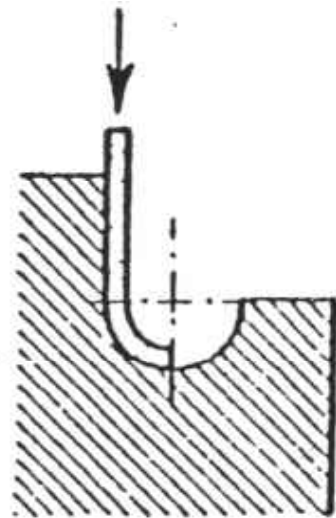
Outras variedades de dobramento



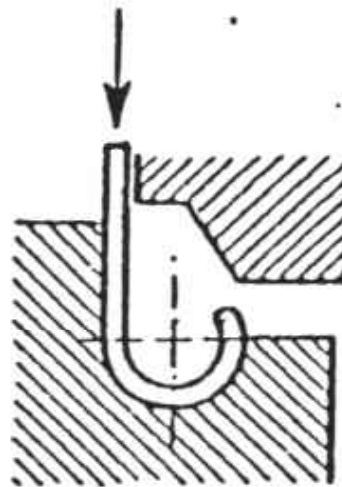
Outras variedades de dobramento:

- Enrolamento (*curling*)
- Recravamento e agrafamento (*hemming*)
- Flangeamento (*flanging*)
- Repuxamento (*spinning*)

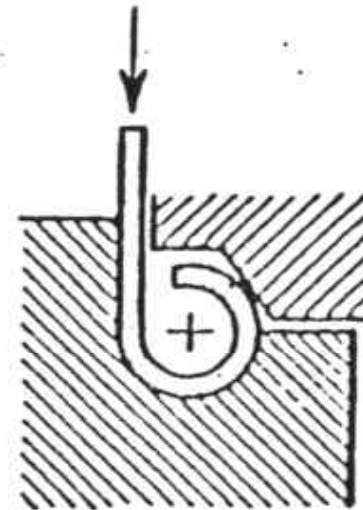
Dobramento por enrolamento



- a -



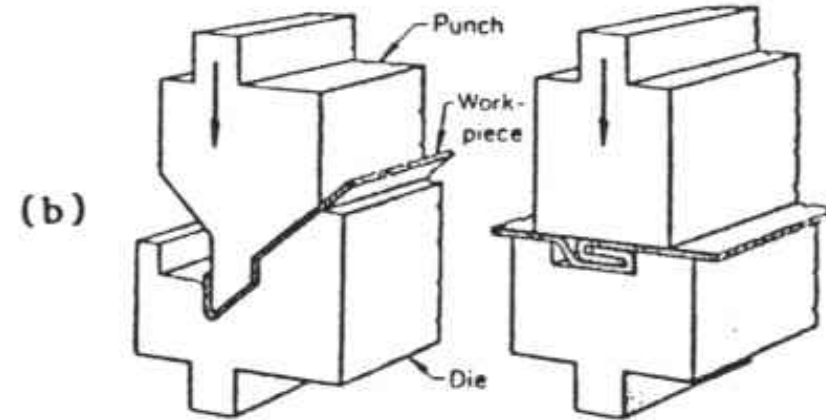
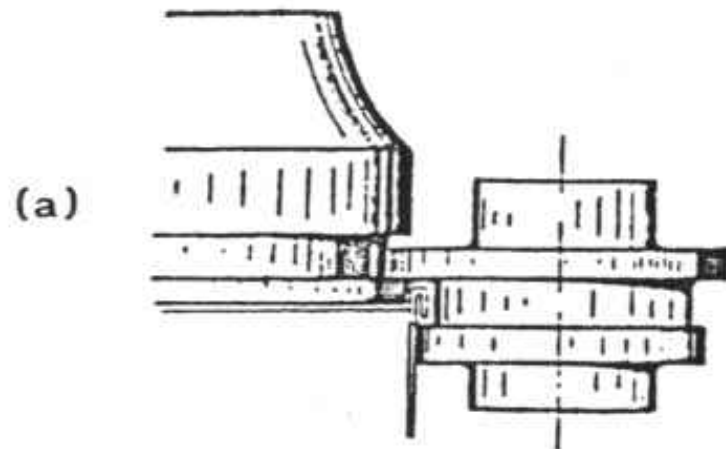
- b -



- c -

Enrolamento.

Dobramento (recravamento / agrafamento)

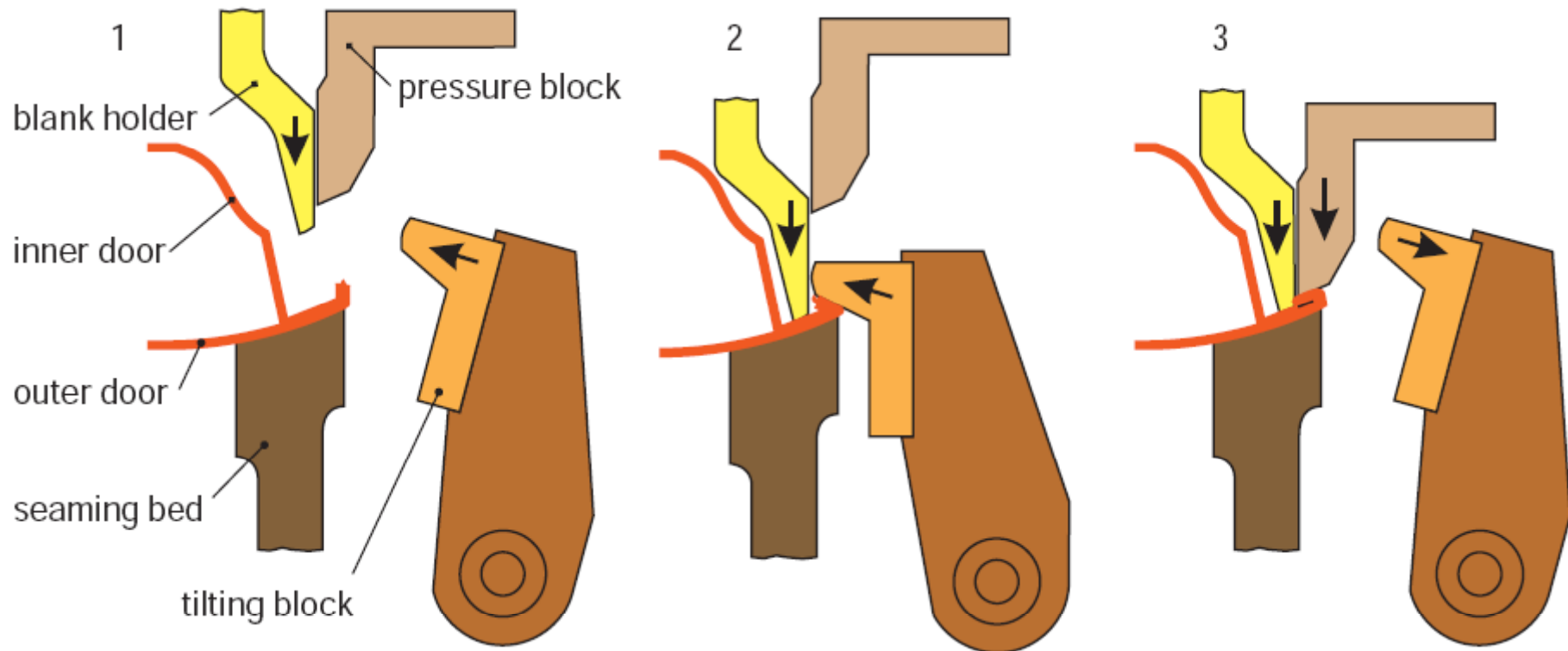


(a) Recravamento e (b) Agrafamento.

Dobramento



Matriz de agrafamento (*hemming die*)



Dobramento por repuxamento

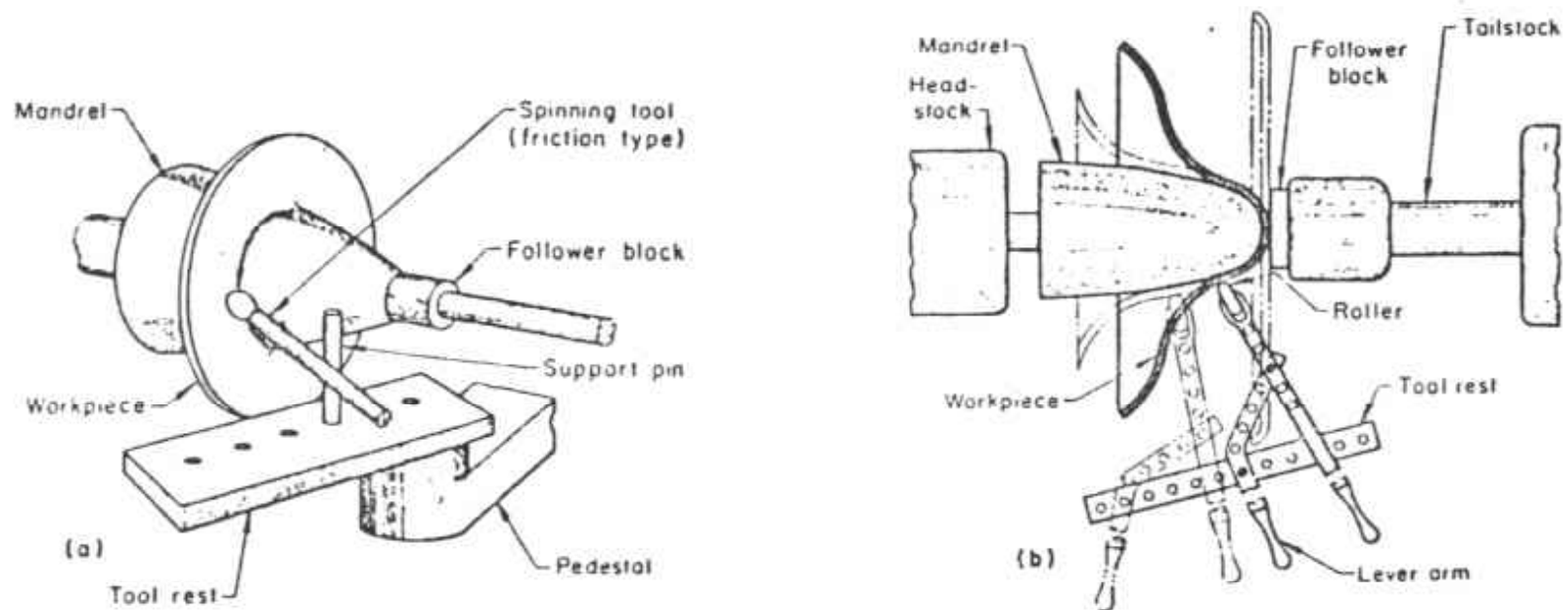
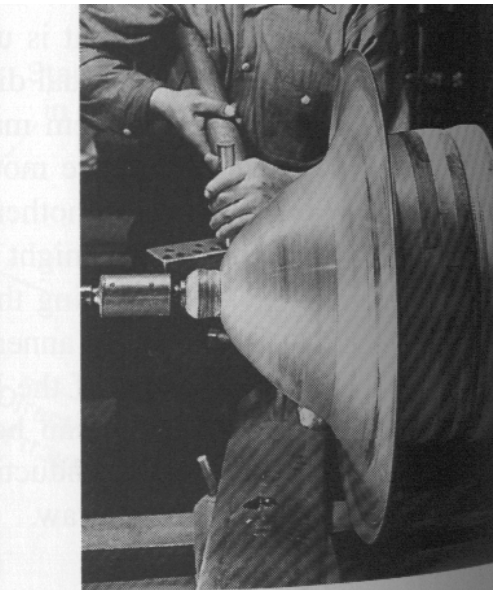
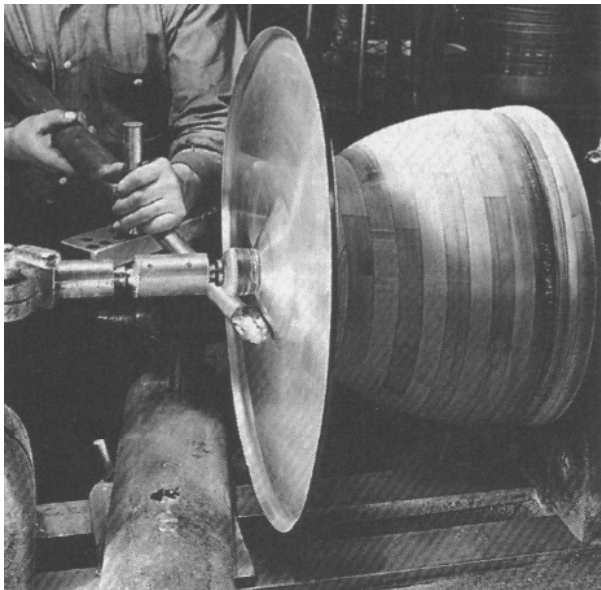
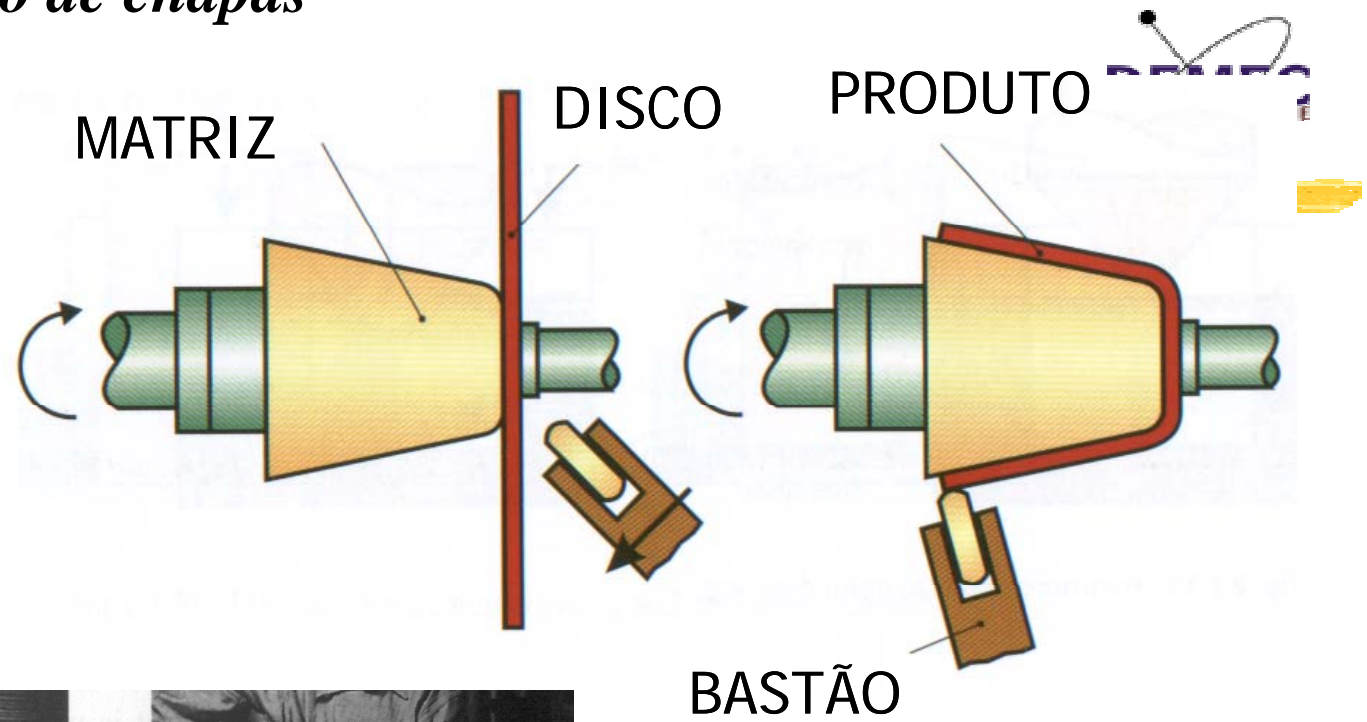
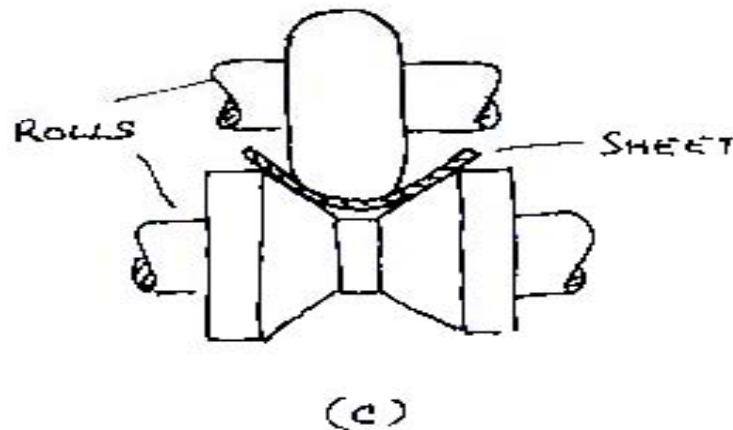


Fig.VII.4.18 - Repuxamento manual em um torno: (a) com ferramenta de fricção; (b) com ferramenta de rolete.

Processo de repuxo de chapas



Dobramento em rolos



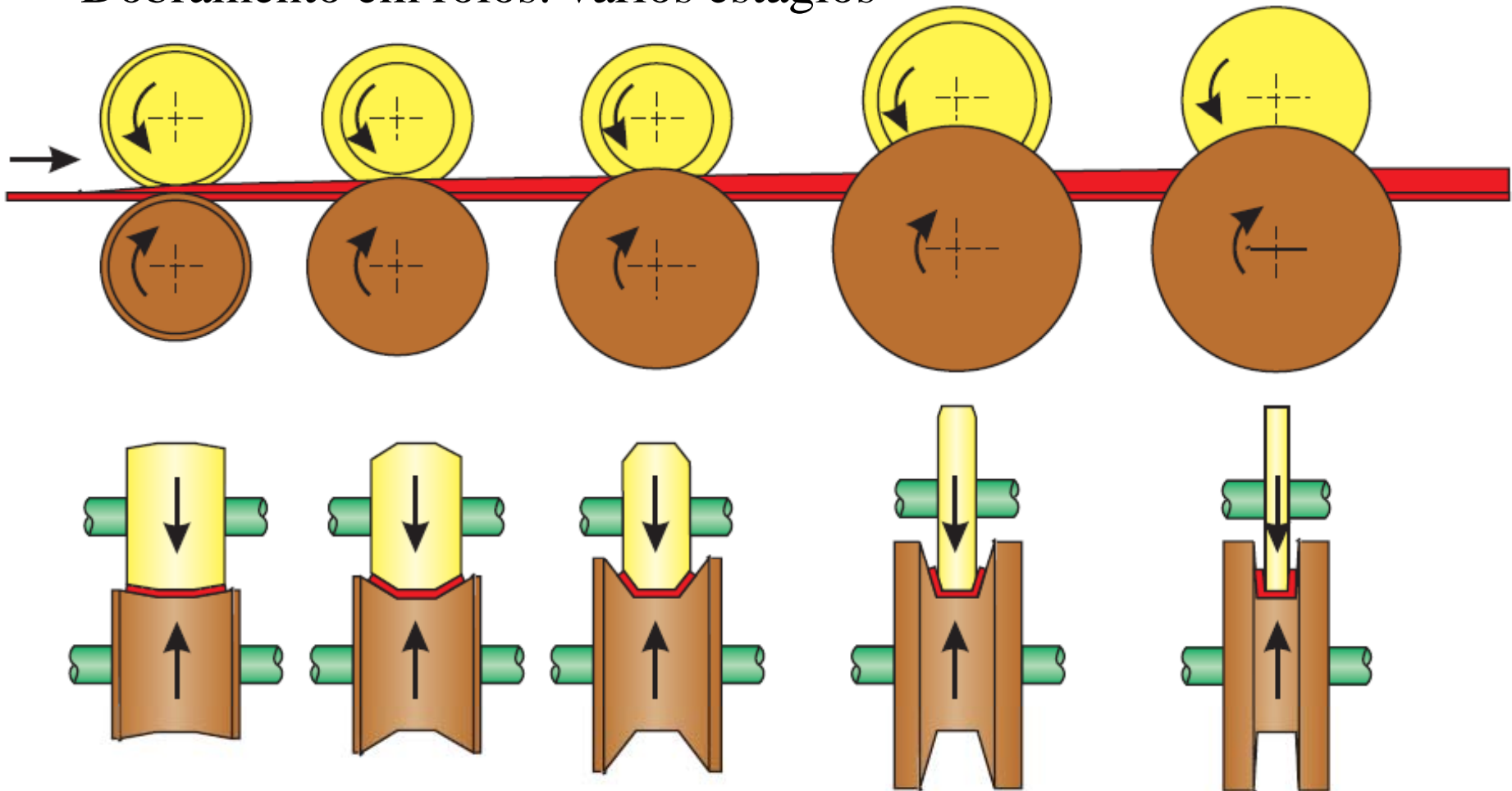
Dobramento em rolos ('Roll Forming'):

Processo contínuo para produzir, calhas, tubos, perfis.

Pode apresentar rachadura, ondulamento e 'springback'.

Dobramento

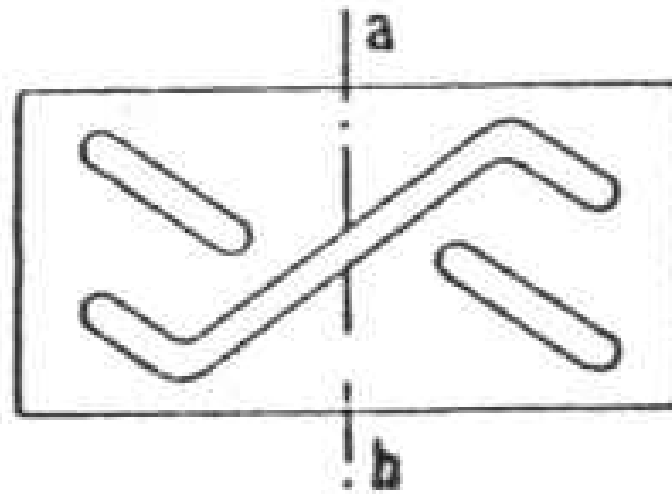
Dobramento em rolos: vários estágios

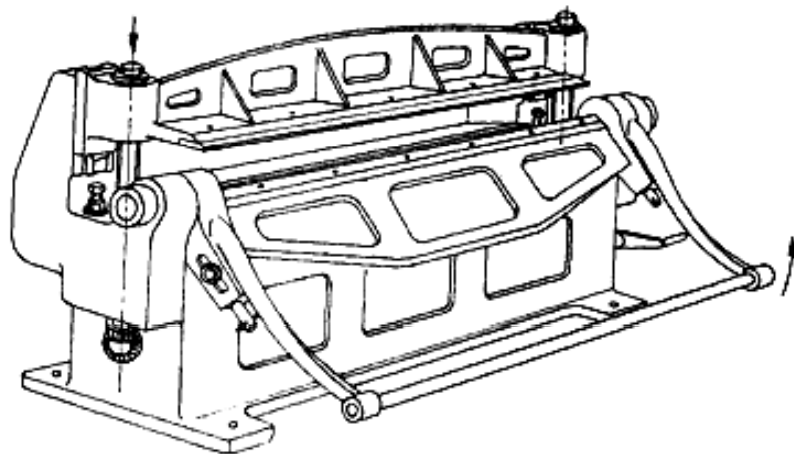


Nervuramento

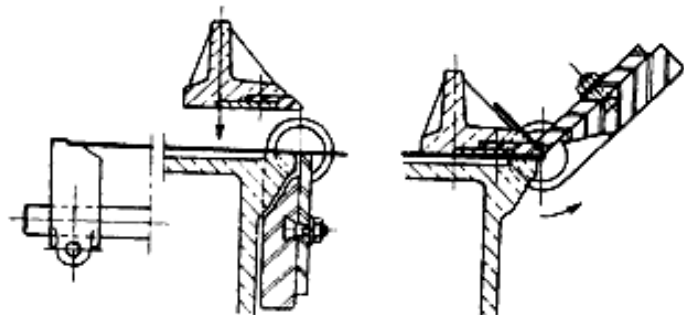


Aumentar a rigidez de chapas finas através de nervuramento.

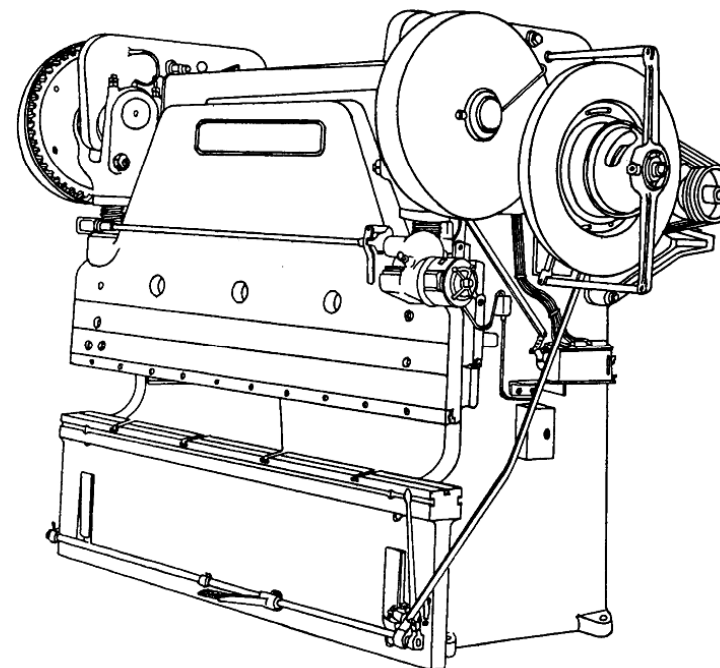




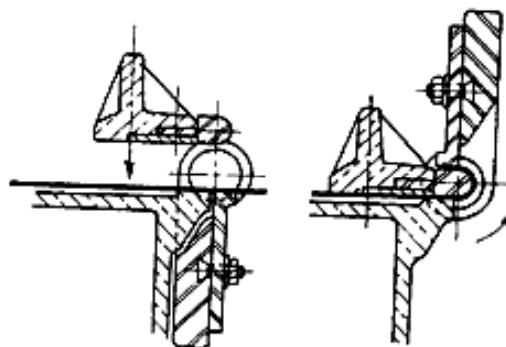
Dobramento em Dobradeiras



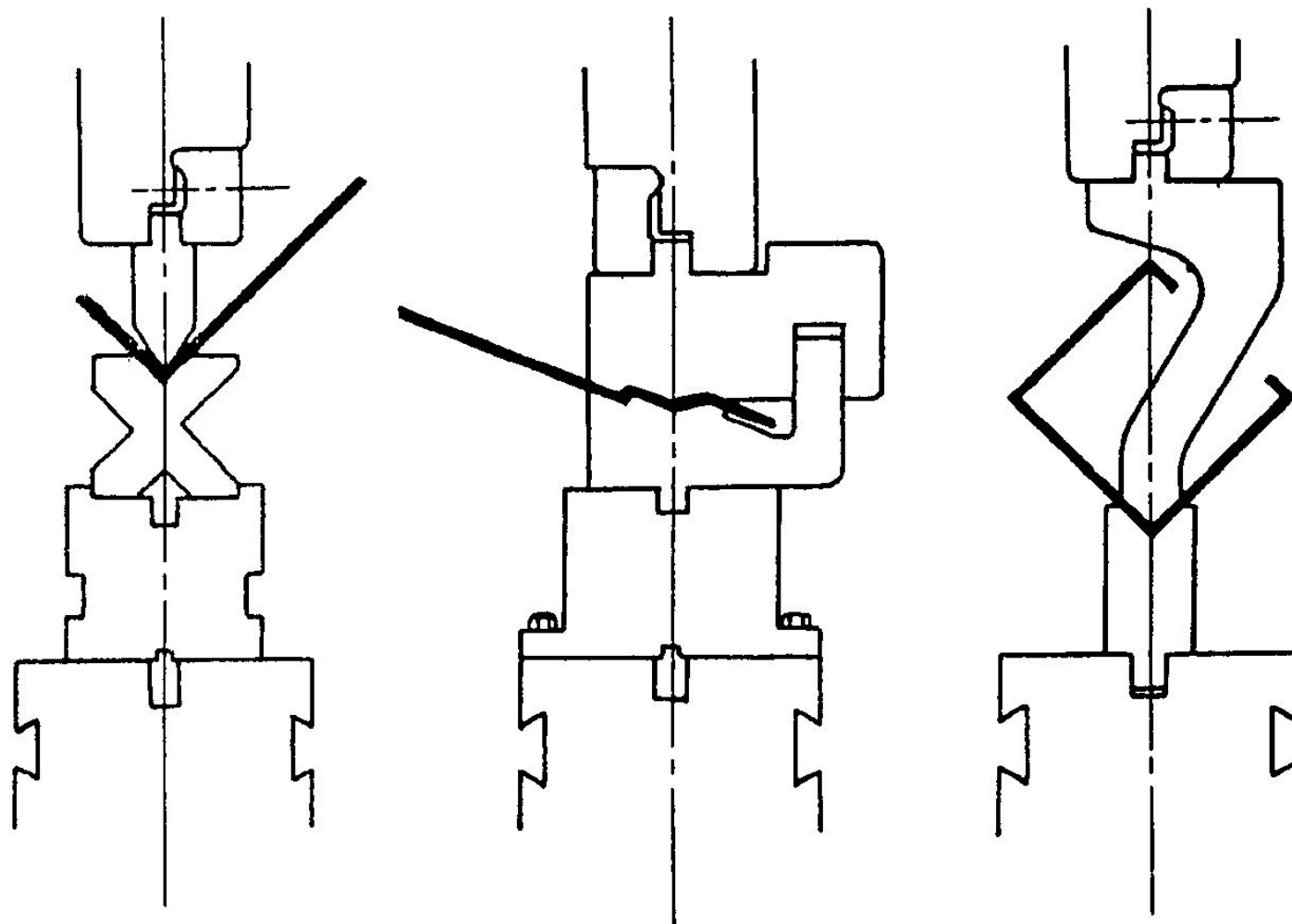
Exemplos de dobra com a máquina acima



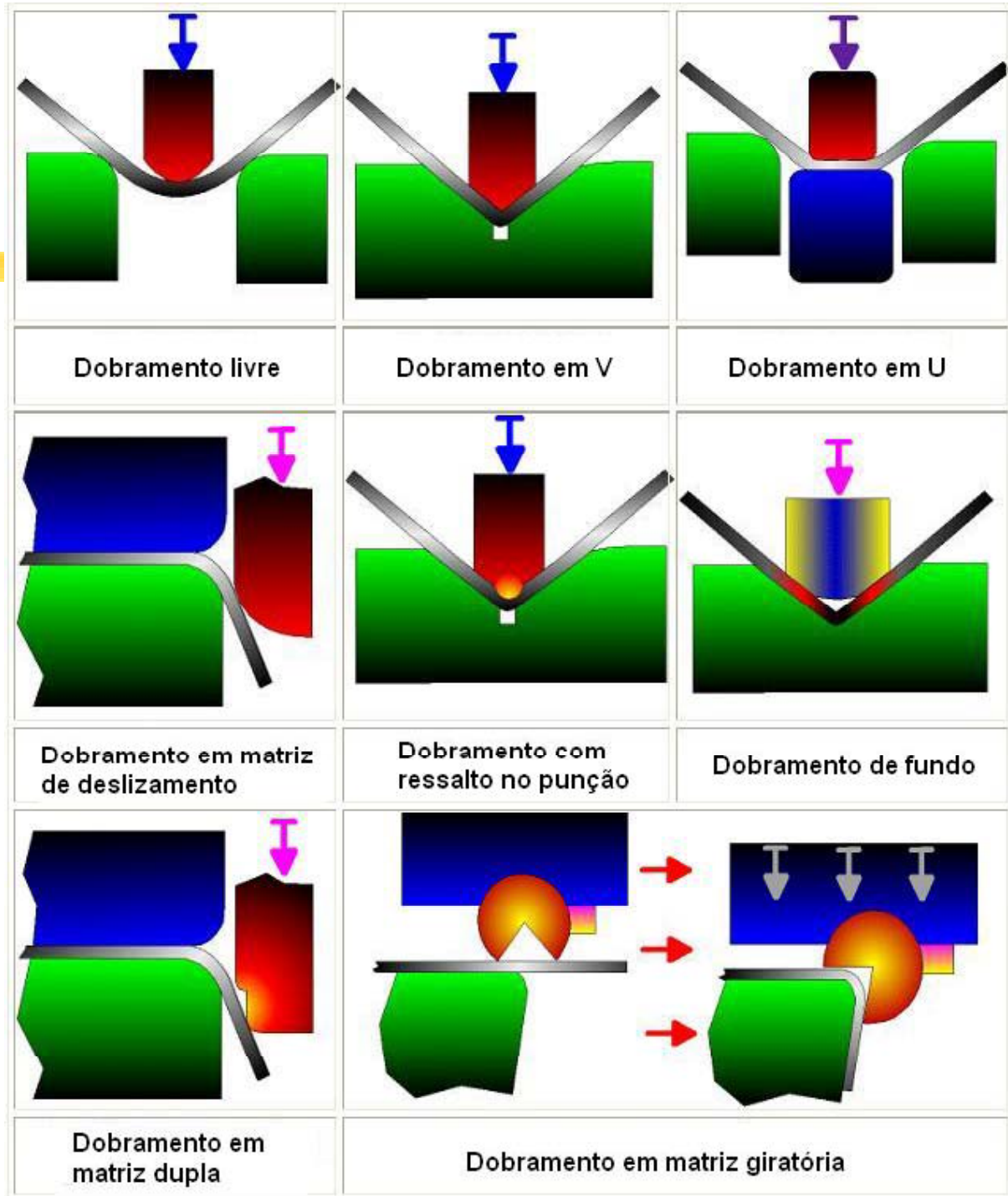
Dobradeira motorizada



DOBAMENTO PROGRESSIVO



Dobramento Em matriz



Dobramento giratório (*Rotary bending*)

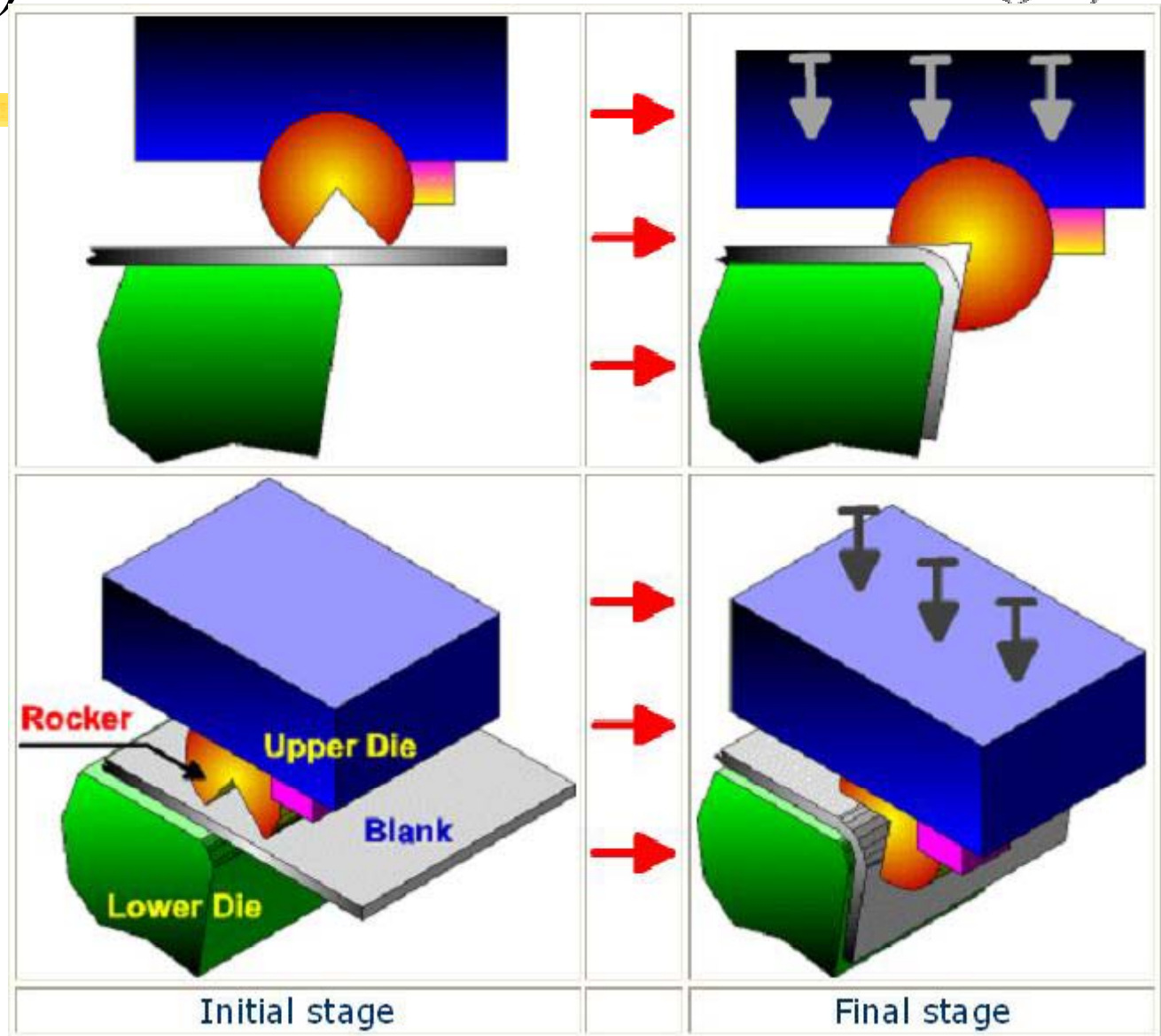


Dobramento giratório (*Rotary bending*) é o processo de dobramento usando **um balancim ao invéz de um punção**.

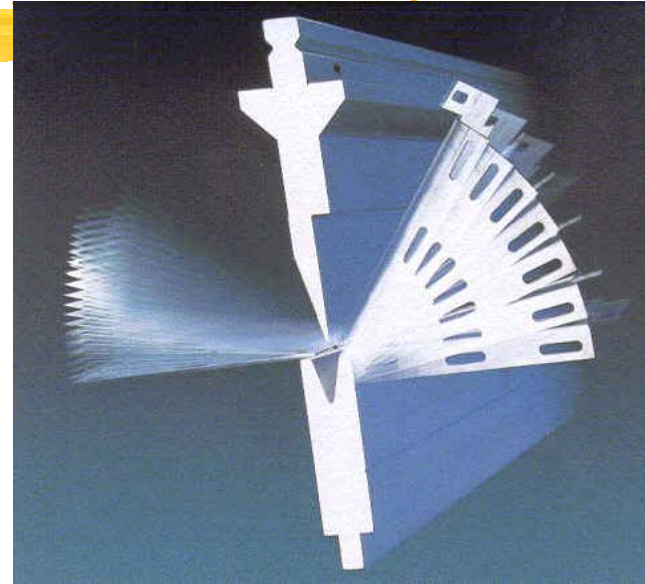
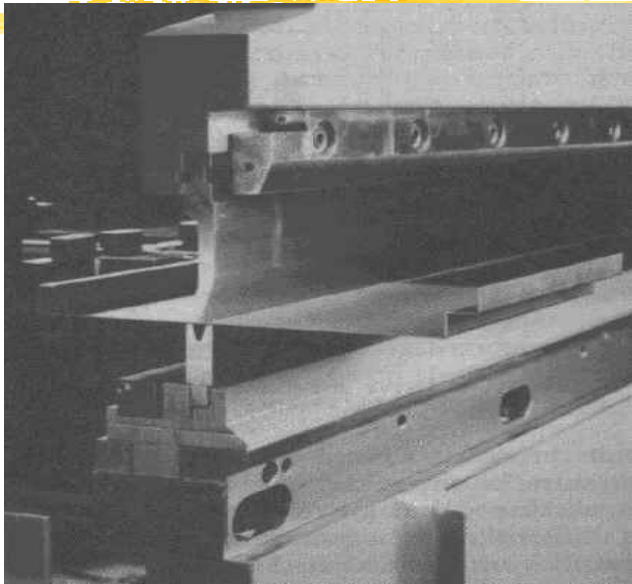
As vantagens são:

- a) Não necessita de *blankholder*
- b) Há uma compensação do *springback* pelo sobredobramento
- c) Requer uma força menor
- d) Pode dobrar com mais de 90 graus

Dobramento giratório (*Rotary bending*)

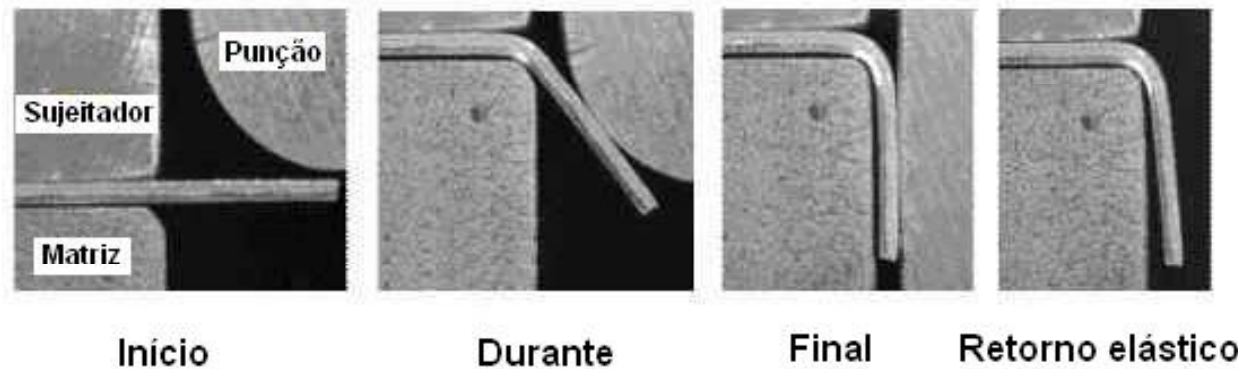


Para aplicações industriais, as seguintes previsões são cruciais durante o projeto



- Controle da forma e da qualidade da parte curvada – molejo de retorno (*springback*), tensões residuais (*residual stresses*), enrugamento (*wrinkling*) e/ou rachamento (*splitting*)
- Avaliação da capacidade de dobramento (*Bendability*) (que determina o raio mínimo de curvatura sem fratura)
- A previsão de forças de dobra

Springback (Retorno Elástico, Molejo de Retorno)



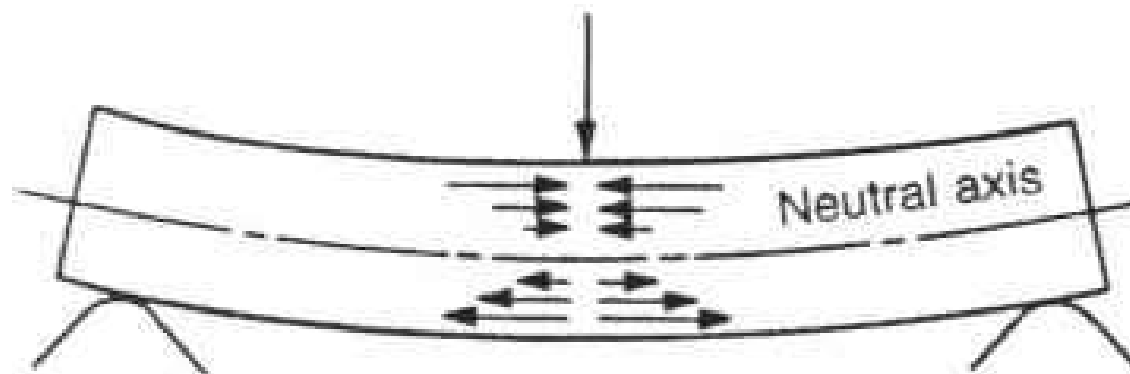
Springback é definido como a recuperação elástica do material após descarregar as ferramentas.

Springback resulta em uma mudança dimensional na peça curvada.

Dobramento

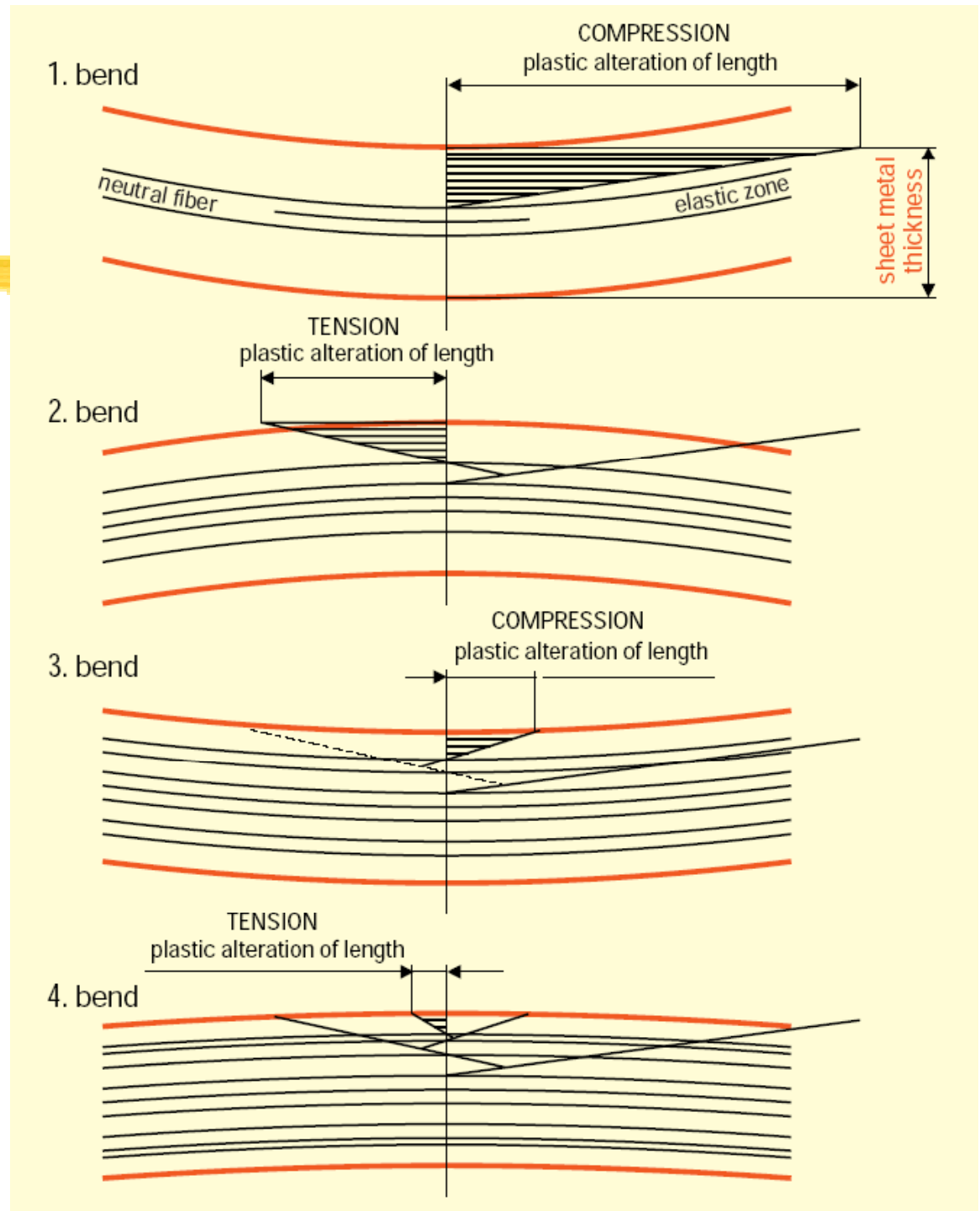


Limites elásticos no dobramento simples



Dobramento

Tensões residuais na chapa metálica



Raio mínimo de dobramento



$$R_{\min} = t \times \left(\frac{50}{r} - 1 \right)$$

Onde

t: espessura da chapa

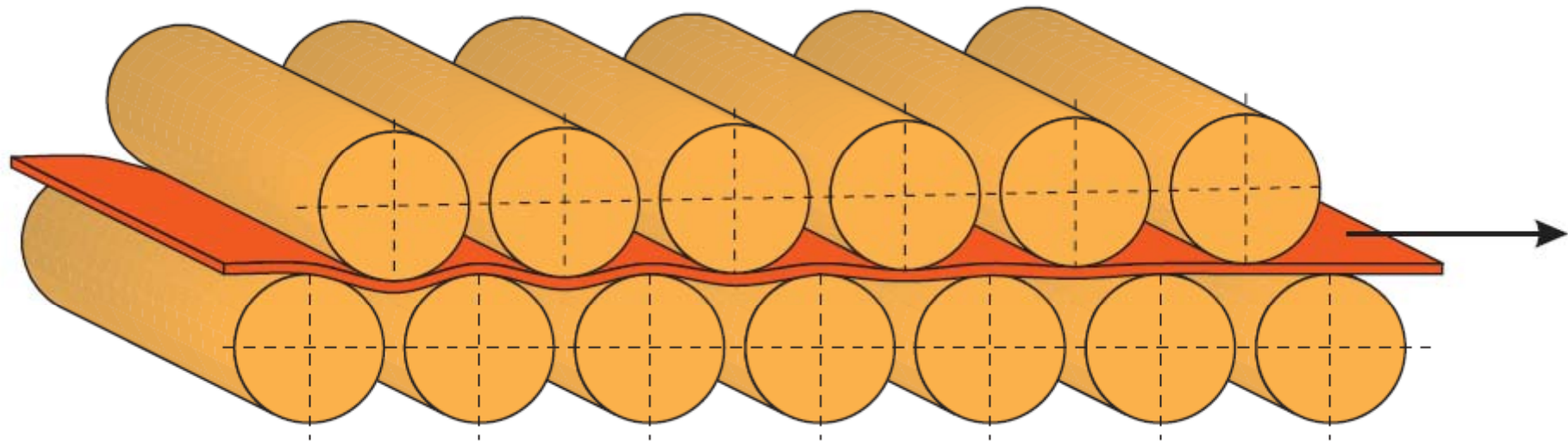
R_{\min} : raio mínimo de dobramento

r: redução em área (%) para um dado material em teste de tração.

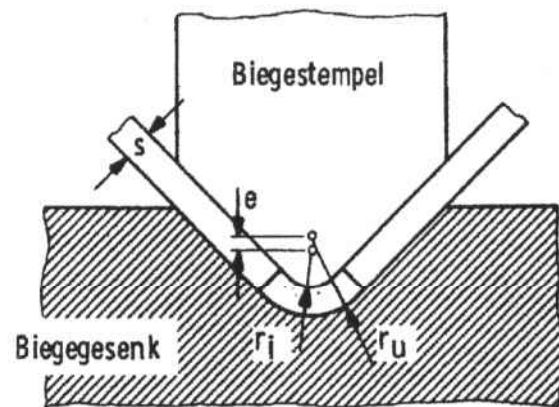
Dobramento



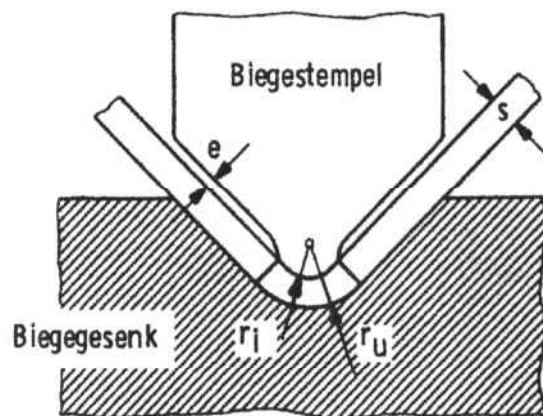
Endireitador de rolos com 13 rolos



Dobramento / retorno elástico



$$\begin{aligned} s &< 1,5 \text{ mm} \\ r_u &= r_i + 1,08 s \\ e &= 0,08 s \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} s &\geq 1,5 \text{ mm} \\ r_u &= r_i + 1,1 s \\ e &= 0,1 s \end{aligned}$$

Nas figuras no lado esquerdo encontram-se dois métodos para evitar o retorno elástico.

O dois métodos trabalham com uma diminuição da espessura da chapa no canto dobrado.

Na figura acima esta diminuição é causado por um aumento do raio da matriz.

Na figura embaixo por um ressalto na ponta do punção.

Retorno Elástico

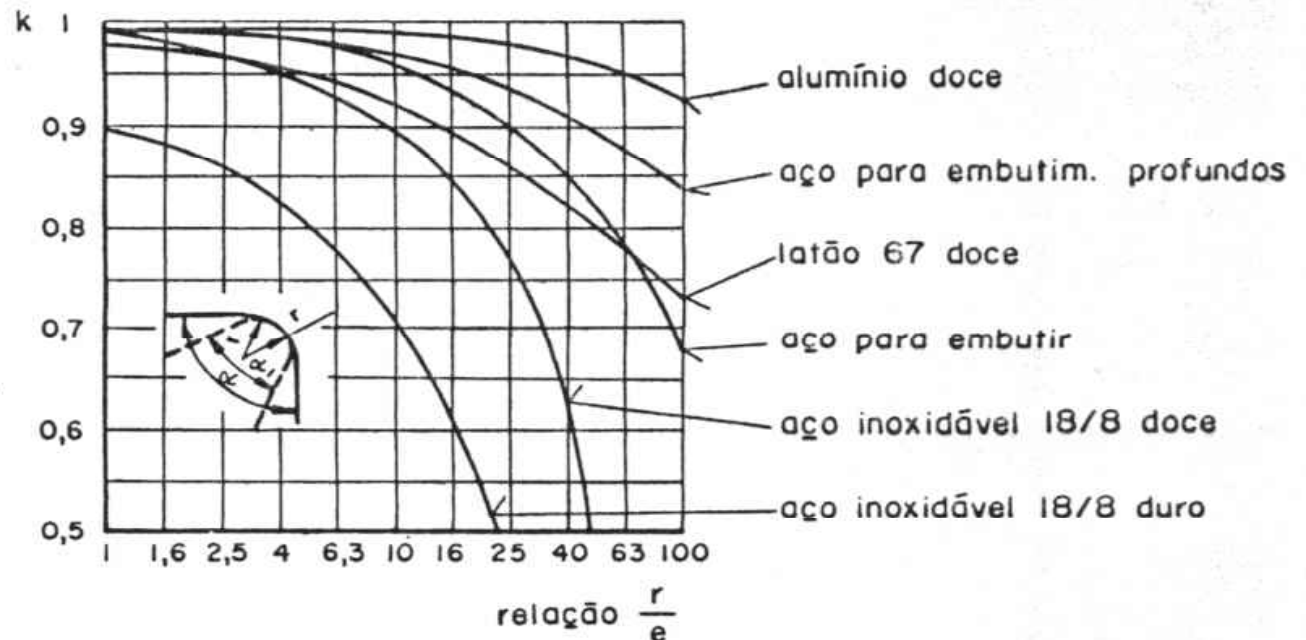
Apenas para orientação, podemos considerar que, para compensar o efeito do retorno elástico e se obter o produto com curvatura r e ângulo α , é necessário que o punção apresente um raio r' e a dobra seja feita com ângulo α' :

$$r' = k (r + 0,5e) - 0,5e$$

$$\alpha' = k\alpha$$

O retorno elástico depende do material e da relação r/e . É maior nos materiais mais duros.

VALORES DE k



Regras gerais de projeto de peças dobradas ou enroladas



1- O raio de dobramento ou de enrolamento deve ser apropriado.

Tipo de Material	$R_{d \min}$
mole	$1/2 h$
duro (chapas para embutimento e repuxamento)	h
muito duro	$3h$

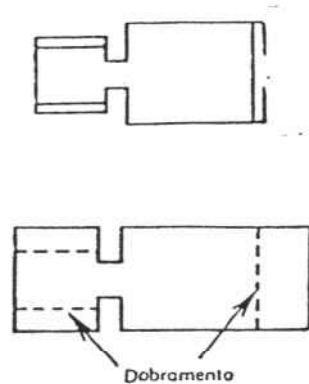
Valores recomendados para os raios mínimos de dobramento (h e a espessura da chapa).

Regras gerais de projeto de peças dobradas ou enroladas

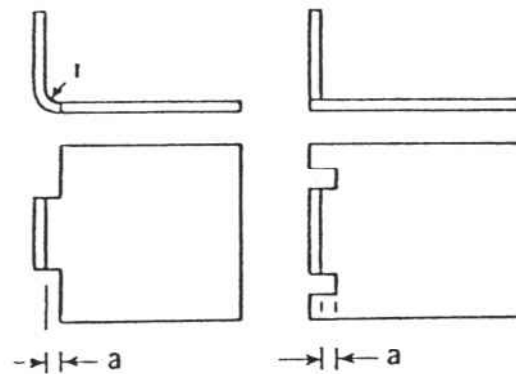


2- Os lados da parte de dobrar devem ser normais à linha de dobramento.

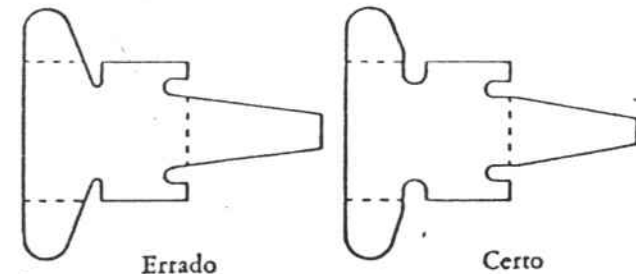
Cuidados para reduzir as solicitações do material e das ferramentas



Os lados da peça a dobrar devem ser normais à linha de dobramento.



Prever uma distância livre "a", pelo menos igual ao raio de curvatura, porém, nunca inferior a 0,5 mm.

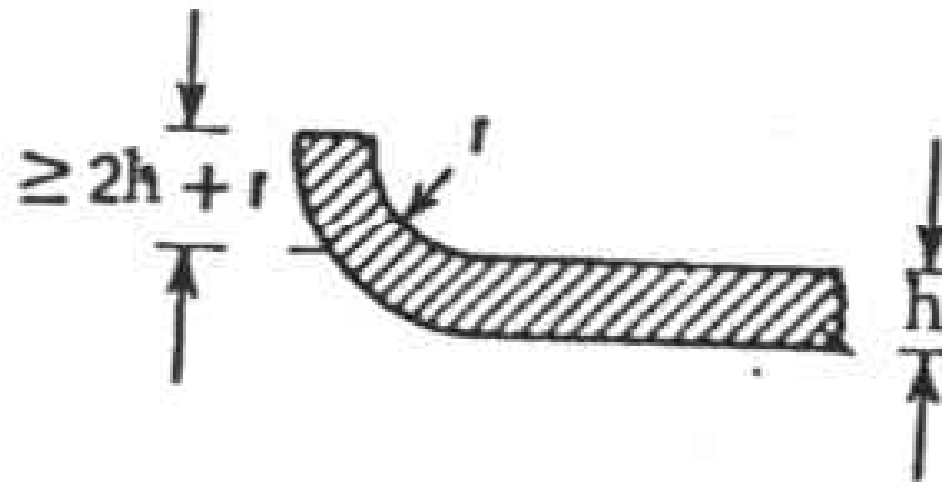


A peça errada não obedece a regra 2.

Regras gerais de projeto de peças dobradas ou enroladas



3- A altura mínima dos rebordos não deve ser inferior a duas vezes a espessura da chapa, mais o raio de dobramento.

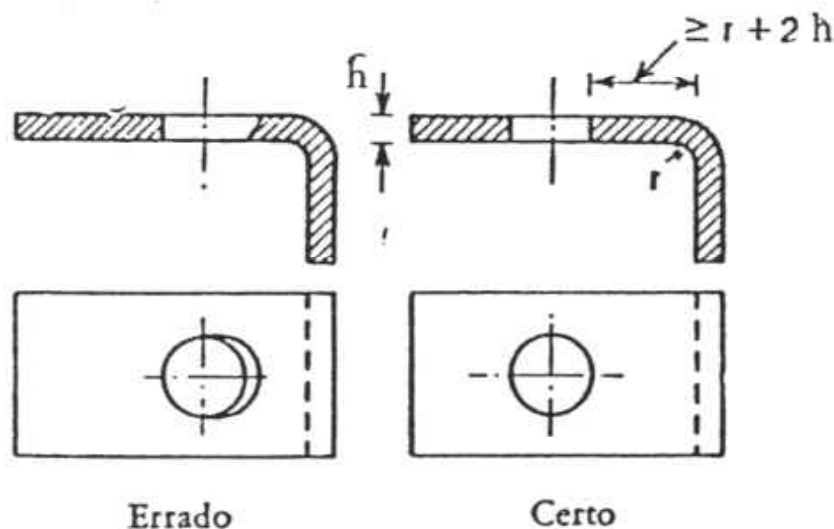


Altura mínima dos rebordos.

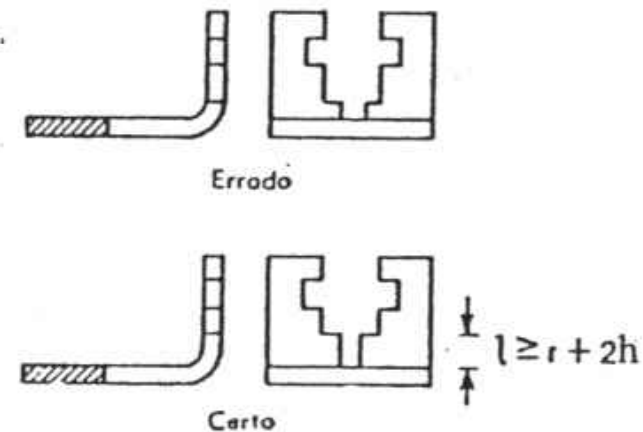
Regras gerais de projeto de peças dobradas ou enroladas



4- Furos e entalhes puncionados no recorte devem manter uma distância apropriada da linha de dobramento.



Furos puncionados no recorte devem ter uma distância grande da linha de dobramento. Caso isto não for possível, abrir o furo depois da peça pronta.

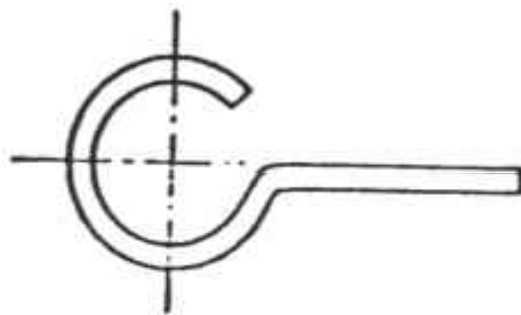


Os cantos recortados devem ser tratados como rebordos (regra 4).

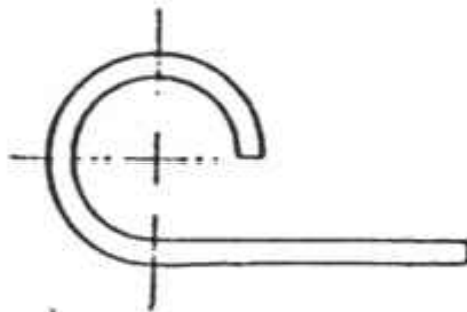
Regras gerais de projeto de peças dobradas ou enroladas



5- No enrolamento exige-se que a rebarba fique para o lado interno e que a peça se prolongue tangencialmente ao olhal.



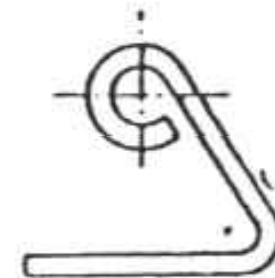
Difícil execução



Certo



Difícil execução



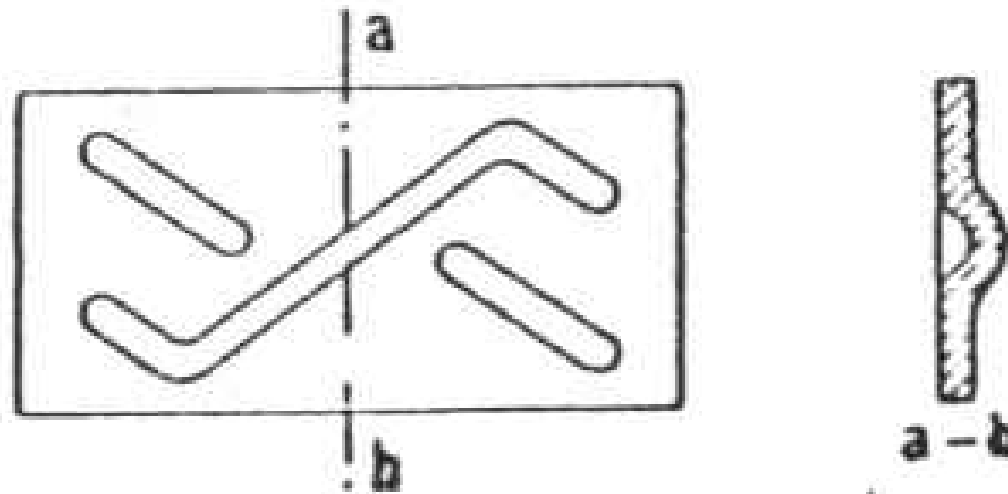
Certo

O enrolamento com ferramentas deve obedecer a regra 5.

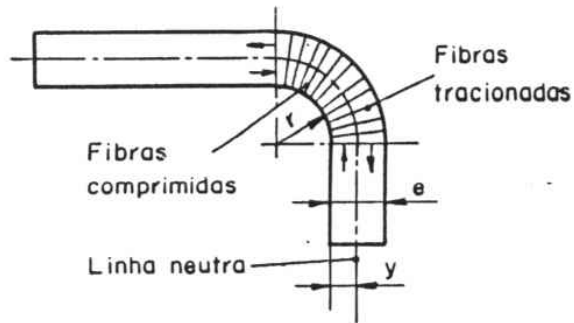
Regras gerais de projeto de peças dobradas ou enroladas



6- Aumentar a rigidez de chapas finas através de nervuramento.



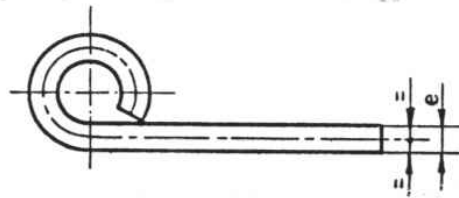
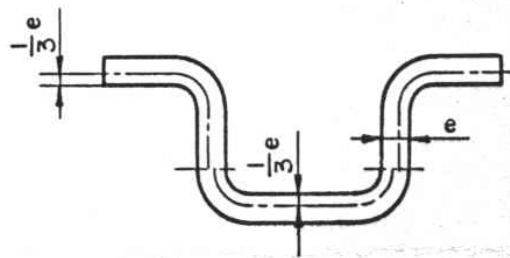
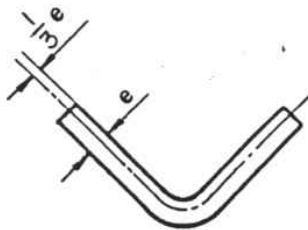
Reforço por nervuramento.



A linha neutra não se encontra sempre na metade da espessura da chapa.

A experiência aconselha considerar a linha neutra localizada à:

- 1 – 1/2 da curvatura interna $p/$ $e \leq 1 \text{ mm}$ ou quando a peça é enrolada;
- 2 – 1/3 da curvatura interna $p/$ $e > 1 \text{ mm}$
- 3 – 1/5 da curvatura interna quando a dobra é obtida com ferramentas providas de sujeitadores.



Alguns autores relacionam y com r/e , isto é:

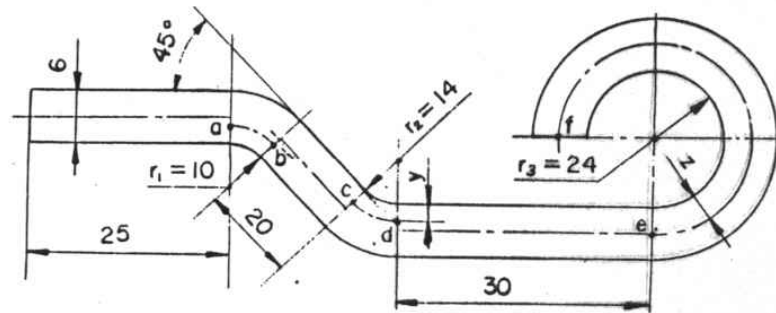
$$y = B \frac{e}{2}$$

r/e	$\leq 0,5$	0,8	1,2	2,0	3,0	> 5
B	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1



Posição da
linha neutra
em peças
dobradas

O comprimento da tira é a soma de segmentos e arcos medidos ao longo da linha neutra.



Exemplo

Determinar a largura da tira para obter o perfil da figura.

Sendo a chapa com $e > 1 \text{ mm} \therefore y = \frac{1}{3} e = 2 \text{ mm}$

Para a parte enrolada $z = \frac{1}{2} e = 3 \text{ mm}$

Logo:

$$ab = 1/8 \cdot 2 \pi (r_1 + y) = 1/8 \cdot 2 \cdot 3,14 (10 + 2) = 9,42 \text{ mm}$$

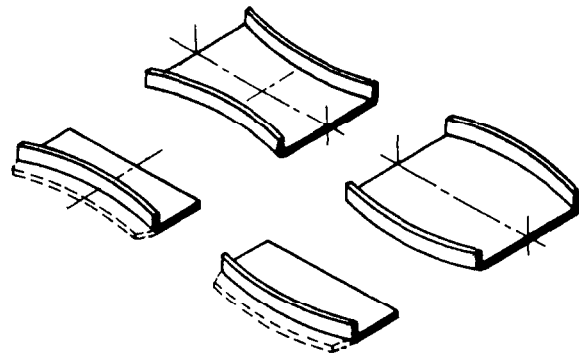
$$cd = 1/8 \cdot 2 \pi (r_2 + y) = 1/8 \cdot 2 \cdot 3,14 (14 + 2) = 12,56 \text{ mm}$$

$$ef = 3/4 \cdot 2 \pi (r_3 + z) = 3/4 \cdot 2 \cdot 3,14 (24 + 3) = 127,17 \text{ mm}$$

$$L = 25 + 9,42 + 20 + 12,56 + 30 + 127,17 = 224,15 \text{ mm}$$

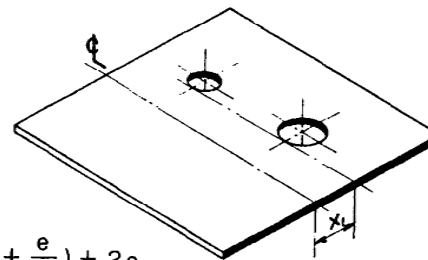
Desenvolvimento das peças dobradas

CONSELHOS E ARTIFÍCIOS

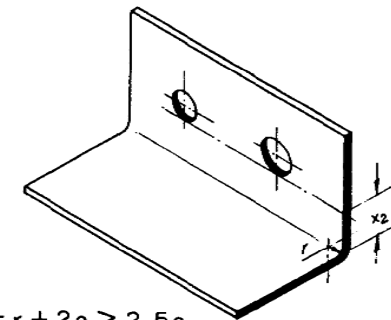


Se a dobra for em curva, aconselha-se estampar duas peças juntas por vez e depois separa-lás por meio de corte. Assim evitam-se escorregamentos irregulares.

No caso de dobra de chapa furada, para que os furos não fiquem ovalizados, devemos respeitar o seguinte:



$$x_1 = 0,25 \cdot \left(r + \frac{e}{2} \right) + 2e$$



$$x_2 = r + 2e > 2,5e$$