



Labconf

Laboratório de Conformação Mecânica - UFPR



Embutimento, Estiramento e Operações combinadas

**Prof. Paulo Marcondes, PhD.
DEMEC / UFPR**

Processo de Estampagem

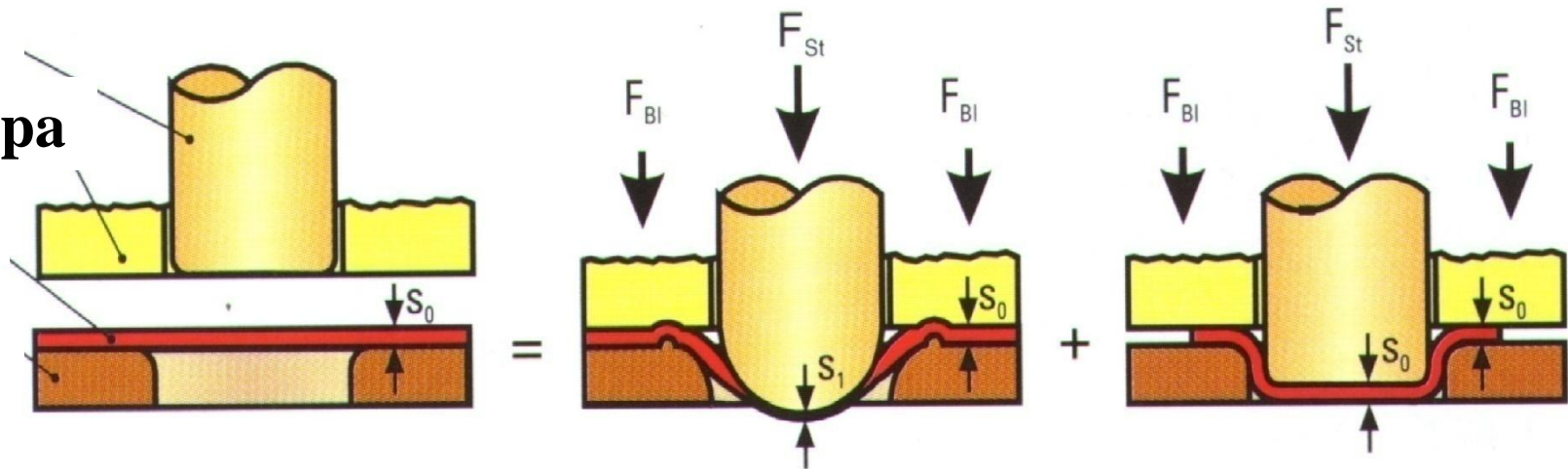
Estampagem = Estiramento + Embutimento Profundo

Punção

Pr. Chapa

Chapa

Matriz



No processo de estampagem ocorre simultaneamente o estiramento e o embutimento profundo

Problemas:

Rupturas
Ondulações

Rugas
Retorno elástico

Diferentes áreas de atrito

⌘ Influência do atrito na estampagem profunda ou estiramento

⊞ Flange $\mu \Rightarrow 0 / 1$

⊞ Matriz $\mu \Rightarrow 0 / 1$

⊞ Fundo $\mu \Rightarrow 1 / 0$

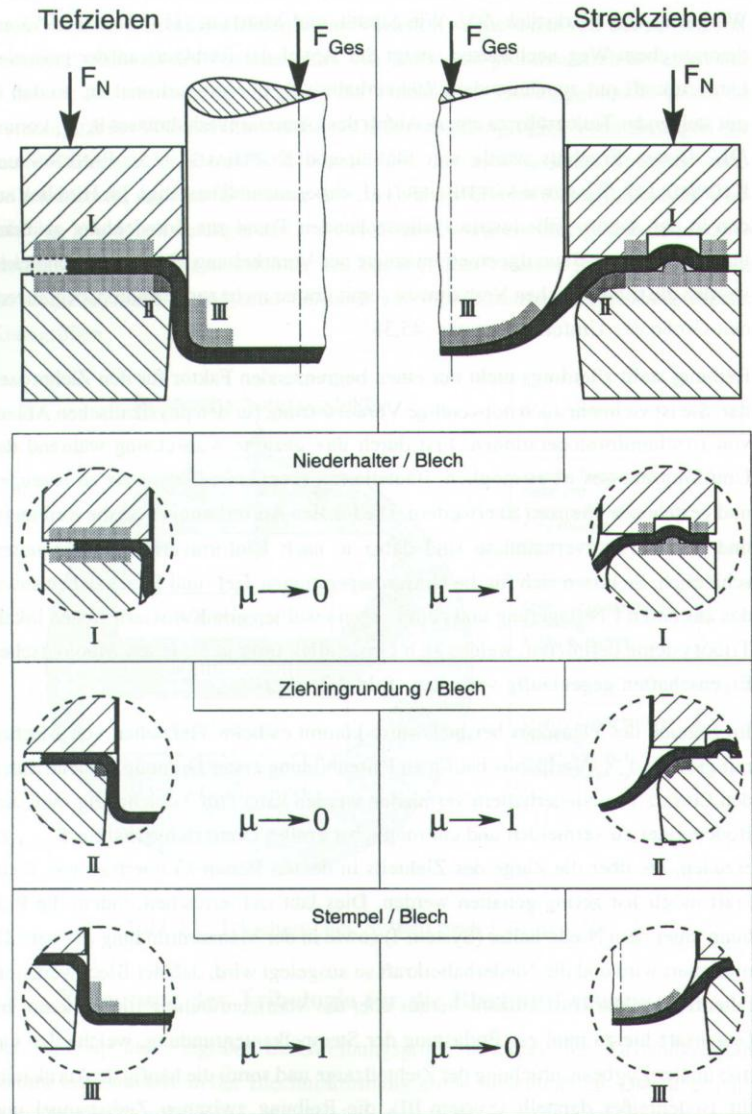


Bild 2.2: Tribologische Systeme bei der Blechumformung (nach /117/)

'Draw Bead'

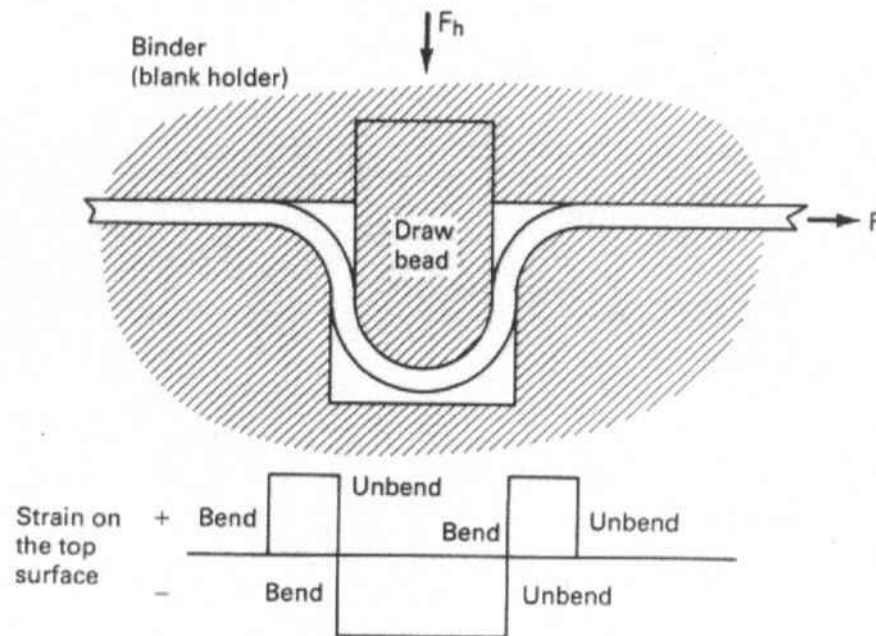
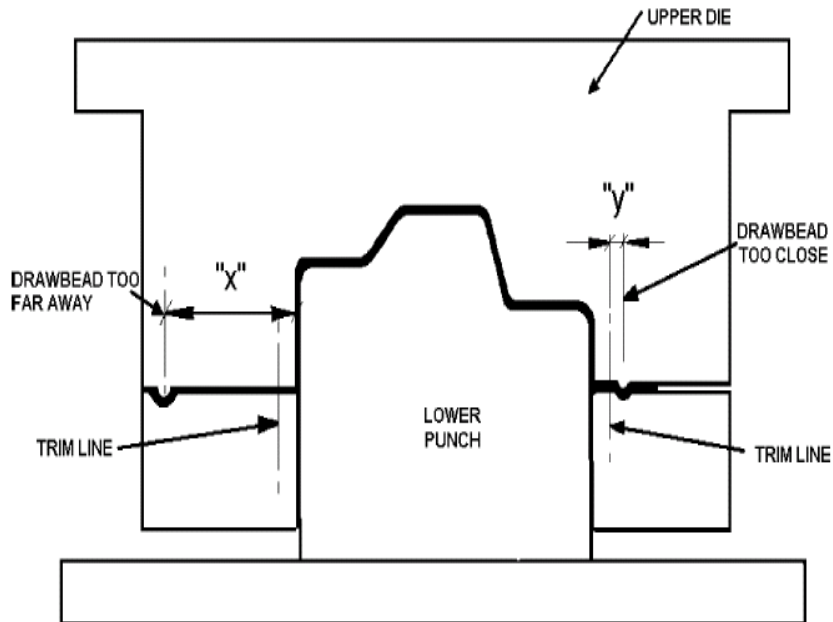


Figure 16-3 The bending and unbending as a strip is drawn over a draw bead. The strains on the bottom surface are indicated schematically.

DRAW BEADS – Onde usar



A posição dos ‘draw beads’ (cordões) é crucial para sua efetividade.

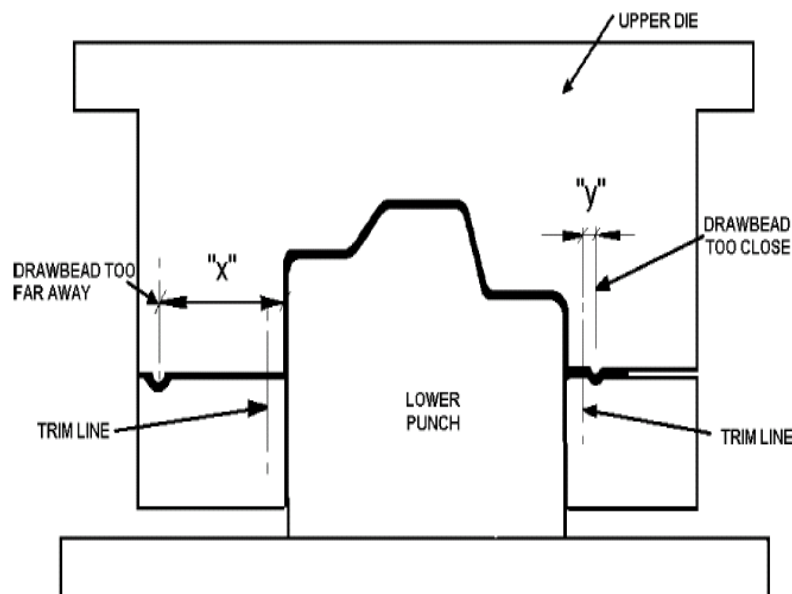


Deve estar próximo da região de deformação e perpendicular ao fluxo de material.

Se o ‘draw bead’ estiver muito longe da linha de guarnição e/ou linha de abertura do punção, como no caso da dimensão “x”

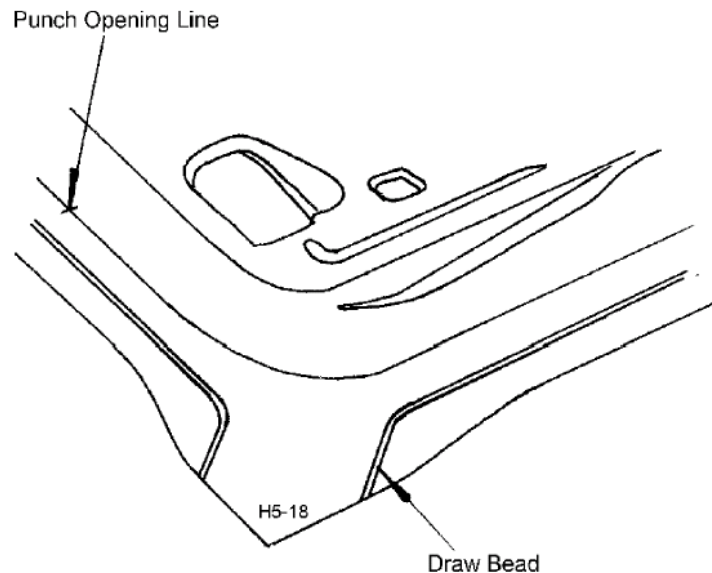
o ‘draw bead’ não está oferecendo força suficiente para controlar o fluxo de material durante a conformação.

DRAW BEADS – Onde usar



No caso da dimensão “y”, se o cordão estiver muito próximo da linha de guarnição, o material puxado sobre o cordão pode ultrapassar a linha de guarnição (trim line), e será visível no produto final.

DRAW BEADS – Marcas deixadas pelos beads

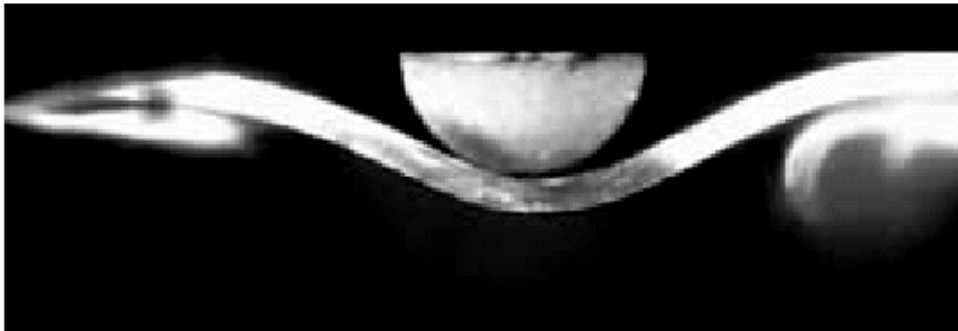


‘Draw beads’ geralmente conseguem um máximo efeito no controle quando colocados perpendicularmente ao fluxo de material.

Isso pode ser examinado através das marcas feitas na flange pelos cordões.

Obs. *Para reduzir o fluxo de material entre as faces não é bom simplesmente aumentar a pressão.*

DRAW BEADS – Tipos

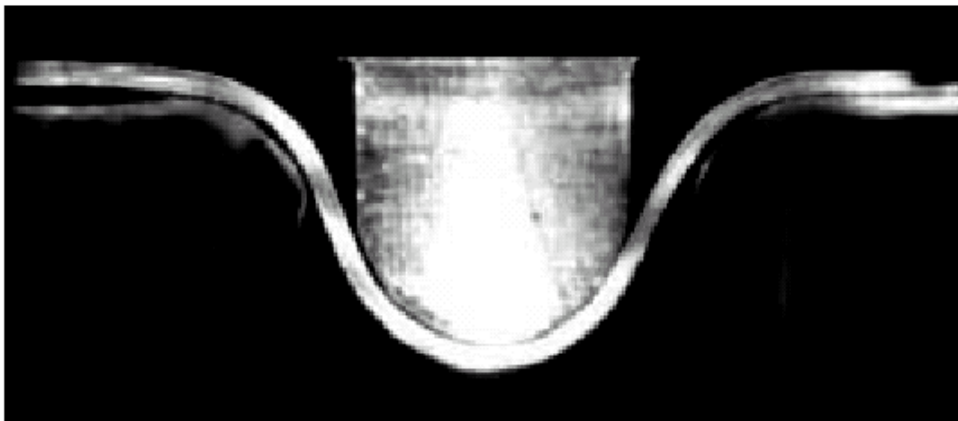


37-percent bead penetration, $t = 1.2$ mm

Sheetmetal movement →

Imagens de uma chapa metálica movimentando-se sobre um ‘draw bead’ redondo.

Na foto superior, com *baixa penetração*, o raio da chapa é muito diferente do raio do ‘bead’.



87-percent bead penetration, $t = 0.7$ mm

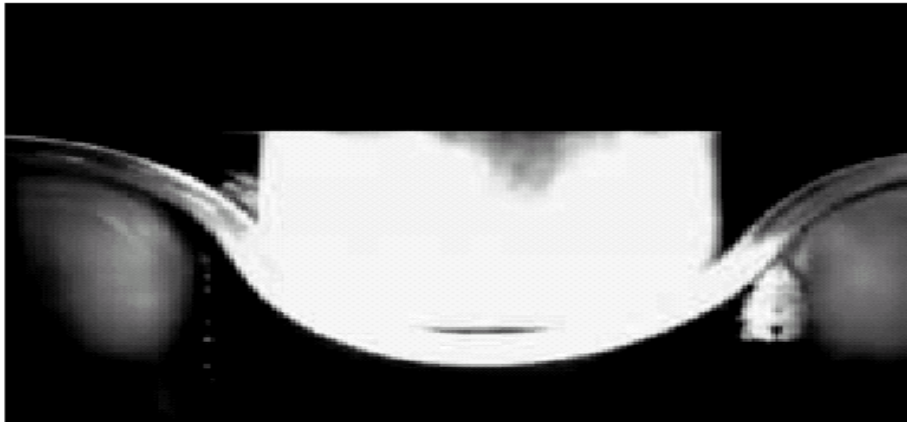
Sheetmetal movement →

Na foto inferior, com uma *alta penetração*, a chapa assume o raio do ‘bead’.

DRAW BEADS – Tipos



33-percent bead penetration, t = 1.2 mm
Sheetmetal movement →



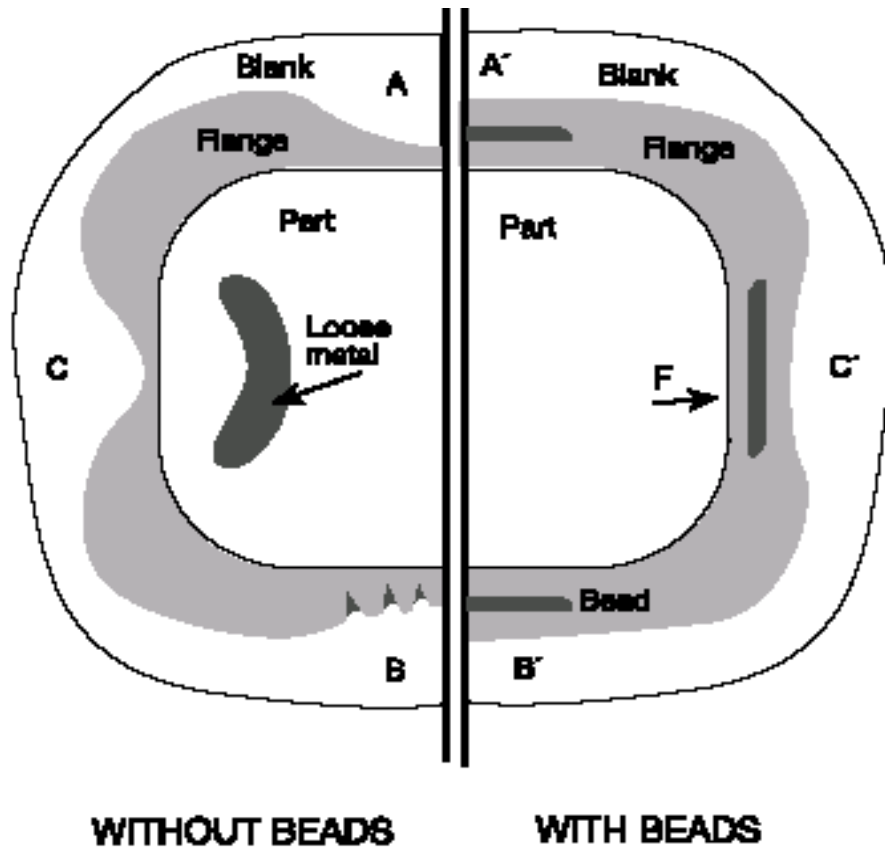
76-percent bead penetration, t = 1.2 mm
Sheetmetal movement →

Imagem da chapa metálica movendo-se sobre um **bead quadrado**.

Na foto superior, com uma *baixa penetração*, a chapa basicamente ignora a geometria do ‘bead’.

Na foto inferior, com uma *alta penetração*, a chapa assume um raio bastante acentuado.

DRAW BEAD – Comparativo



Defeitos corrigidos pelos 'beads' são:

- Falta de controle do fluxo de material na flange;
- Empenamento da flange e
- Perda de material na parte central.

EMBUTIMENTO PROFUNDO

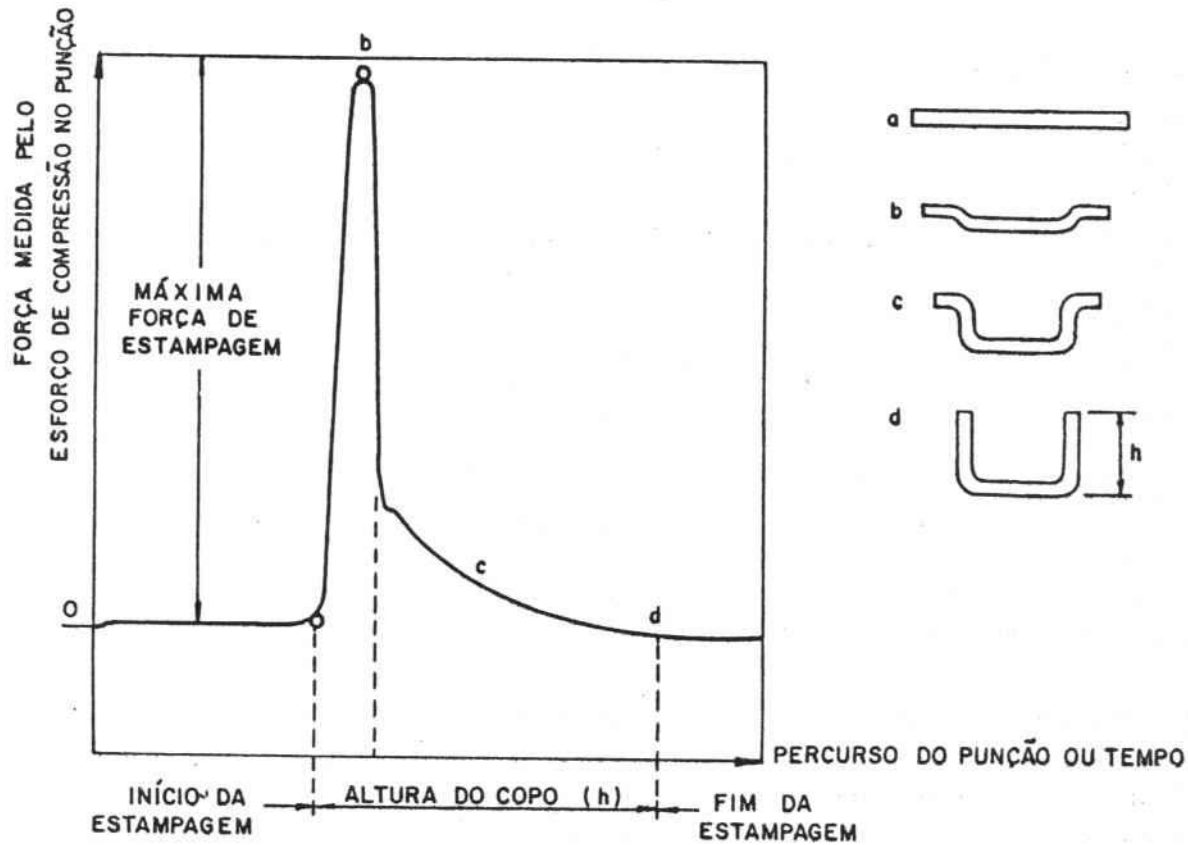


Figura 5.6 - Esforços de estampagem medidos no punção (Eary-Reed, fig. 66, p. 89)

EMBUTIMENTO PROFUNDO

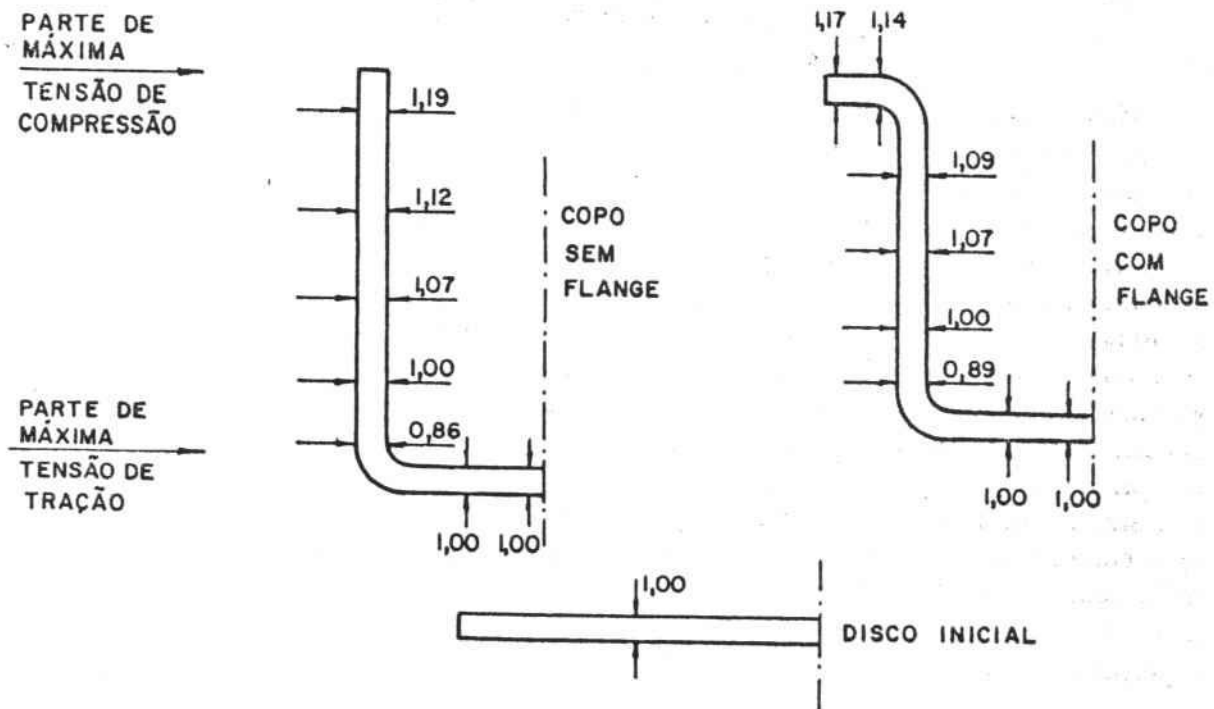
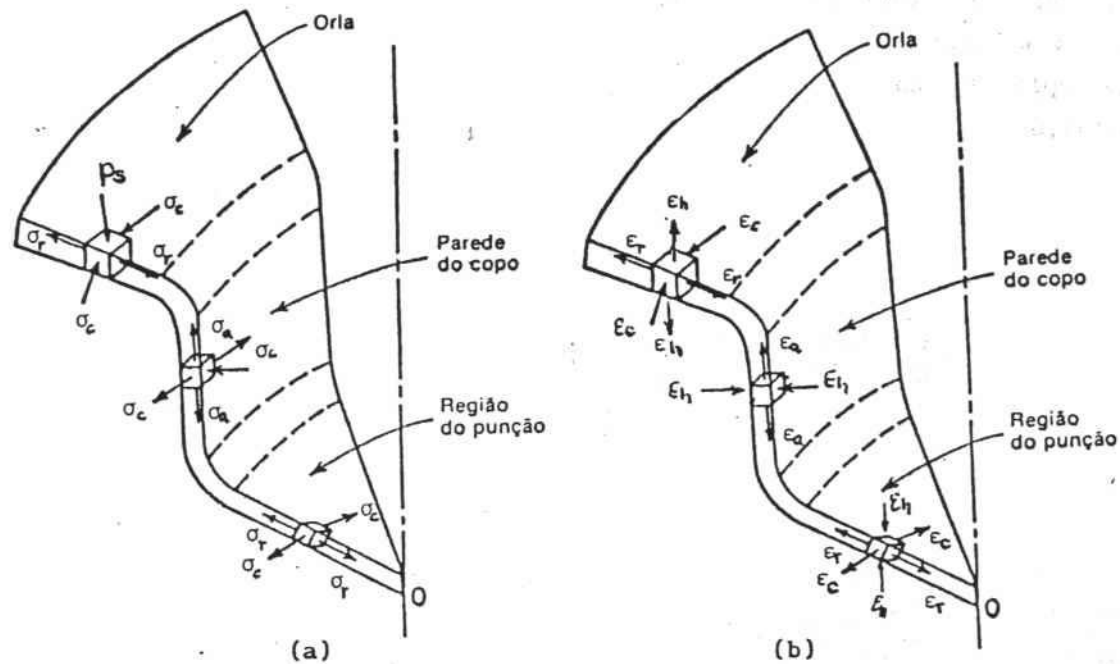


Figura 5.7 - Variação de espessuras em mm das paredes do copo (Eary-Reed, figs. 63, 64, pp. 86-87)

EMBUTIMENTO PROFUNDO

- Estados de Deformação no Embutimento de um Copo Cilíndrico

O metal fica submetido a três tipos diferentes de deformação



- (a) Estados de tensão e (b) estados de deformação em diferentes regiões de um copo cilíndrico durante o embutimento.

EMBUTIMENTO PROFUNDO



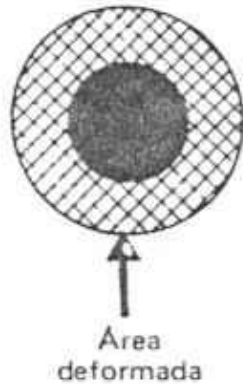
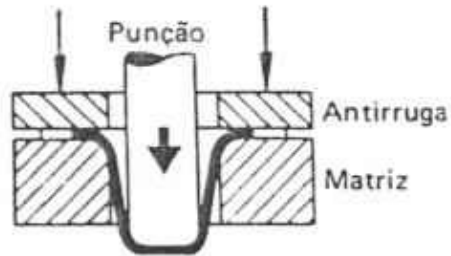
(a) no centro do recorte, sob a cabeça do estampo, o metal sofre um estiramento biaxial com conseqüente afinamento, e o estado de tensão decorrente é uma tração biaxial balanceada;

(b) na periferia do recorte (flange) o metal é puxado radialmente para dentro da boca da matriz; a circunferência externa decresce continuamente da D_0 para D_1 , ficando submetida a uma deformação compressiva na direção tangencial (circunferencial) e a uma deformação trativa na direção radial, o que resulta num certo aumento da espessura à medida que o material se move para dentro;

(c) na parede do copo, se não há trefilação, tem-se tração com deformação plana (isto é, a parede estira-se e afina). O metal que passa sobre o raio da matriz é primeiro dobrado e depois endireitado ao mesmo tempo que sofre uma tração, o que resulta em um afinamento que compensa no todo ou em parte o espessamento devido à contração circunferencial

MODOS DE DEFORMAÇÃO

a) Estampagem profunda



b) Estiramento

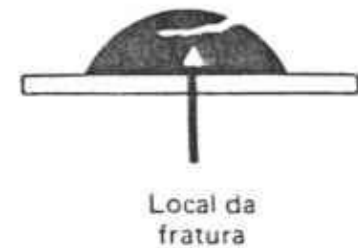
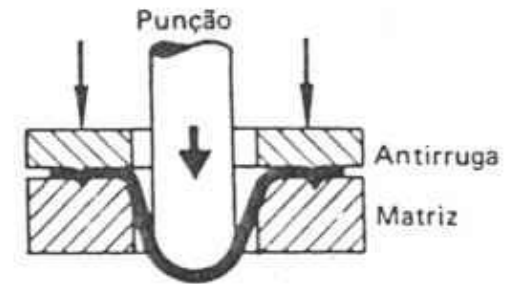


FIGURA 2.5. - Classificação dos Modos de Deformação.

Classificação dos defeitos



- Defeitos primários → limite de conformabilidade →
 - ruptura
 - rugas
- Defeitos secundários:
 - (1º Grupo) Ajustamento da peça ao ferramental →
 - Defeitos superficiais →
 - Arranhões, marcas.
 - Linhas de distensão.
 - Superfície quebrada.
 - Imprecisão nas dimensões
 - Estufamento (Puckering)
 - Ondulação e rugas
 - (2º Grupo) Rigidez de forma →
 - Retorno elástico (Spring back)
 - Oil canning, drumming (baixa resistência à flexão)
 - Empeno
 - Defeitos de forma do produto final em geral

Razão de Embutimento



A **razão de embutimento** (β) é definida como a relação entre o diâmetro da geratriz e o diâmetro do punção.

$\beta = \text{Diâmetro do blank} / \text{diâmetro do punção}$

O β deve ser menor do que 2 no primeiro embutimento e menor do que 1,3 nos embutimentos seguintes (aço para embutimento profundo).

$$\beta = D / d_1$$

$$\beta_1 = d_1 / d_2$$

$$\beta_n = d_n / d_{n+1}$$

Reembutimento

- Reembutimento direto
- Reembutimento inverso

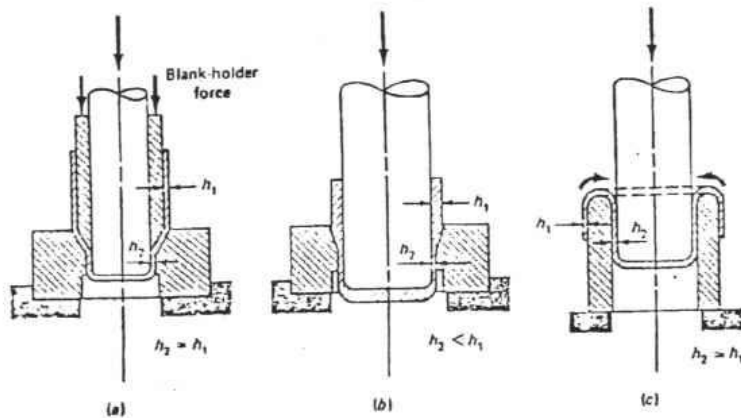
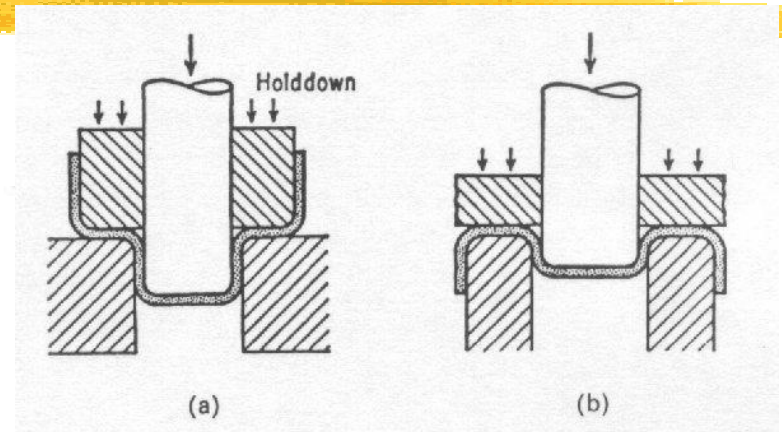
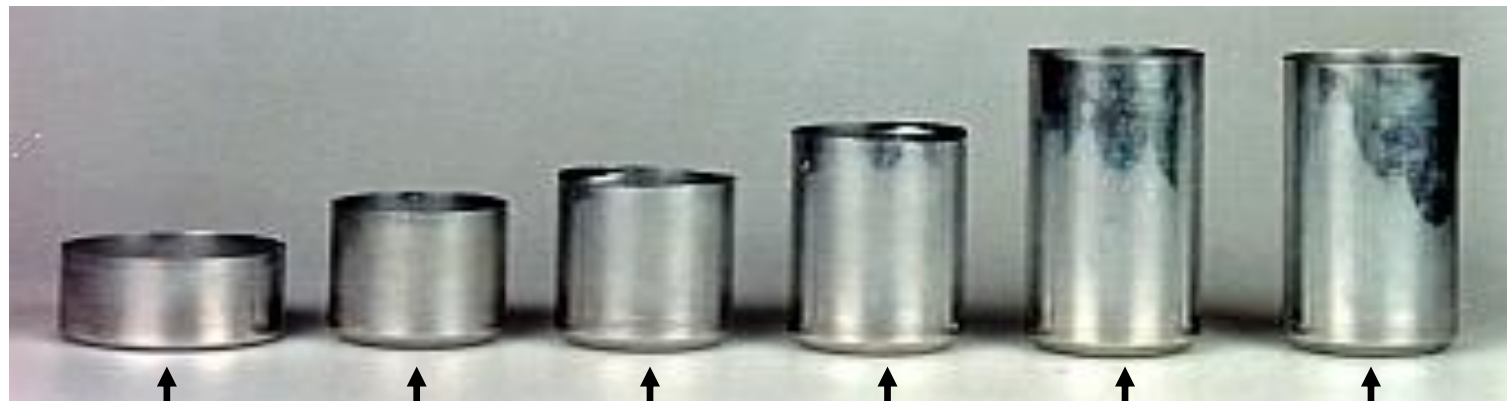
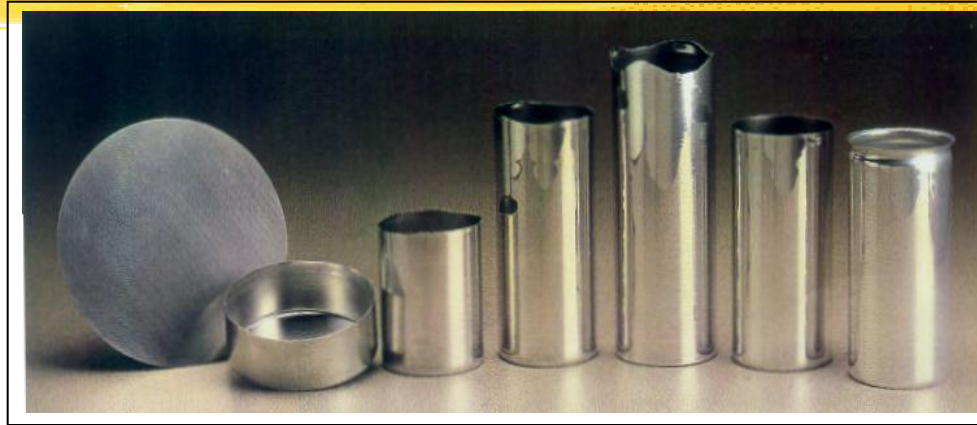


Fig.VII.6.9 - Conformação ulterior de uma peça embutida por (a) reembutimento direto; (b) reembutimento inverso; (c) trefilação ("ironing").



Embutimento, reembutimento e “ironing”



Cup

Redraw
Cup

First
Iron

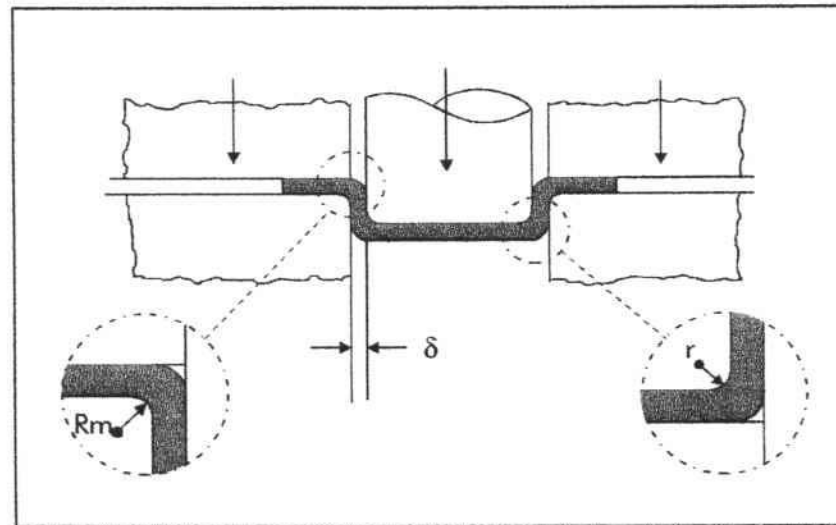
Second
Iron

Third
Iron

Trimmed
Can

EMBUTIMENTO PROFUNDO

A Fig apresenta, como referência, os intervalos recomendados para o raio da matriz R_m , o raio do punção r e a folga matriz - punção δ em função da espessura do blank.



Material	R_m	r	folga (δ)
Aço carbono	4 a 8 e	2 e	1,05 a 1,15 e
Aço inox austenítico	5 a 8 e	4 e	1,20 a 1,40 e
Aço inox ferrítico	7 a 15 e	5 e	1,15 a 1,20 e
Aço inox martensítico	7 a 15 e	5 e	1,15 a 1,20 e

e = espessura do material

Planejamento e cálculo do processo



⌘ Cálculo do tamanho do blank

⌘ Cálculo das forças:

Força da conformação : Punção

Força de pressão na chapa: Prendedor de Chapas

⌘ Planejamento e desenho da ferramenta:

Folga e Raios de Punção e de Matriz,
Materiais e Superfícies

Cálculo do tamanho do blank



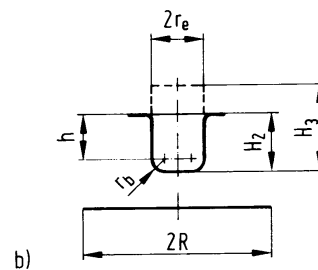
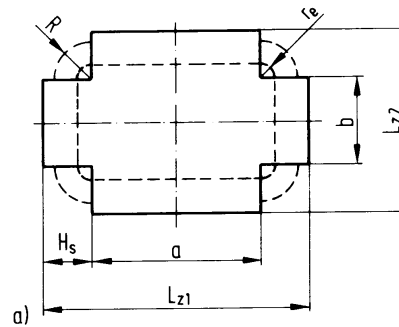
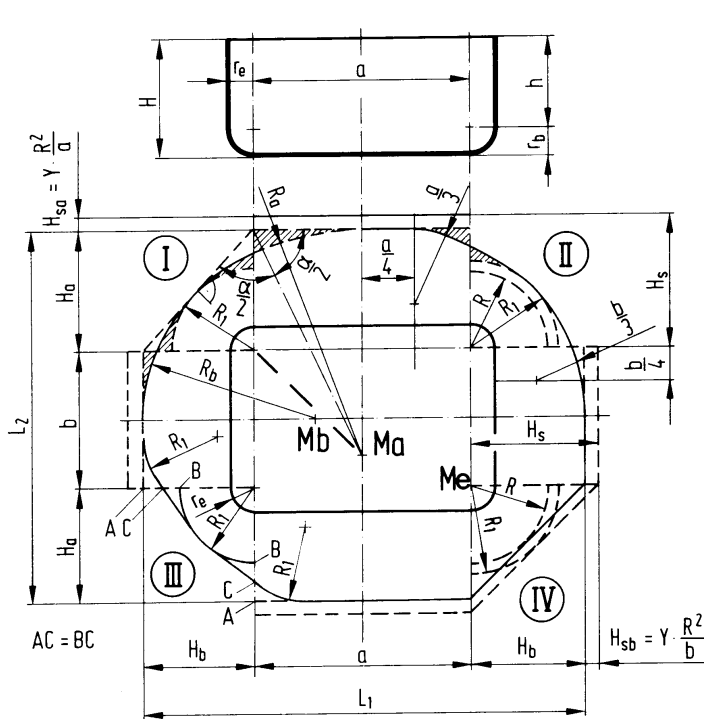
⌘ Superfície do blank \cong Superfície da peça

⊞ Normalmente a espessura fica mais ou menos igual!

⌘ Peças de rotação-simétricas:

⊞ $D_{\text{Blank}} = \text{Raiz} (4/\pi * \text{Superfície da peça})$

Projeto da geratriz



$$R = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4}{\pi} \Sigma A}$$

$$= \frac{1}{2} \sqrt{\begin{matrix} \text{Boden} \\ \text{Bodenrundung} \\ \text{Zarge} \\ \text{Flansch} \end{matrix}}$$

O projeto da geratriz de corpos prismáticos é feito considerando:

=> as regras da planificação de peças para dobra nas partes lineares e

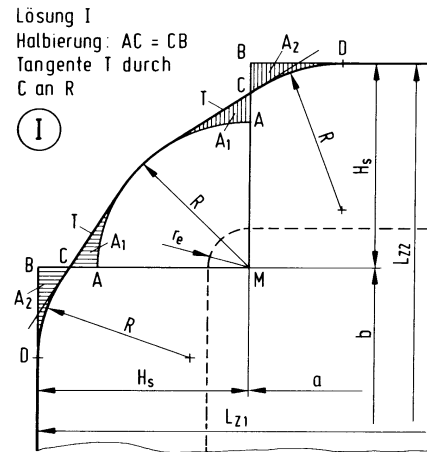
=> as regras para peças redondas nos cantos.

Projeto da geratriz

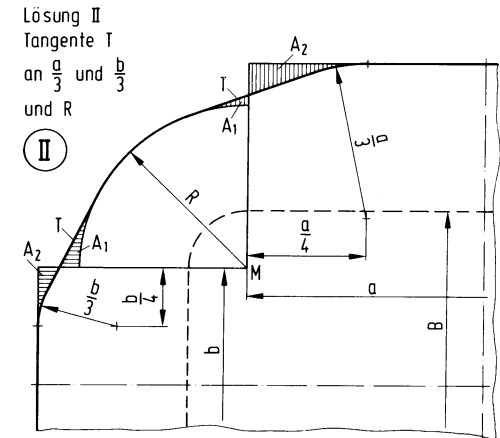
Para a otimização da geometria nos cantos existem diferentes métodos mostrados na figura no lado.

Todas estas otimizações servem para diminuir o flange da peça o máximo possível.

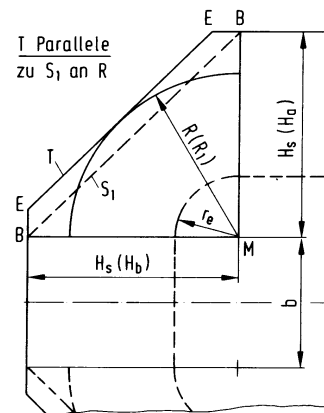
Isto é necessário para facilitar o escoamento do material. (um flange grande, que fica em contato com o prensa chapa, atrapalha o escoamento devido ao atrito.)



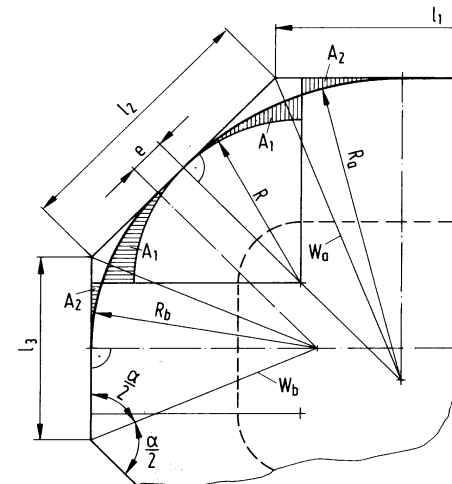
Tangente durch $H_s - R$ an R



Tangente an R und $\frac{a}{3}, \frac{b}{3}$ (Abstand $\frac{a}{4}, \frac{b}{4}$)



1. Schritt: Tangente T an R parallel zur Eckenverbindung B-B: neue Ecken E-E

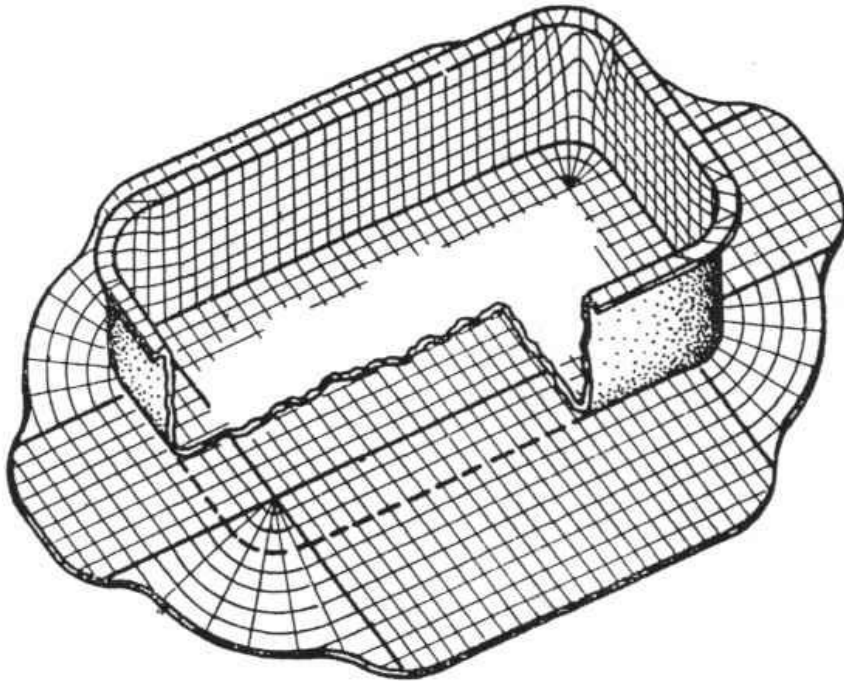


2. Schritt: Konstruktion der Winkelhalbierenden W_a und W_b

Lösung III
Winkelhalbierende als Bestimmungshilfe für den Übergangsradius R_a und R_b (Schnitt mit der Mittelsenkrechten der kürzeren Schenkel)

III

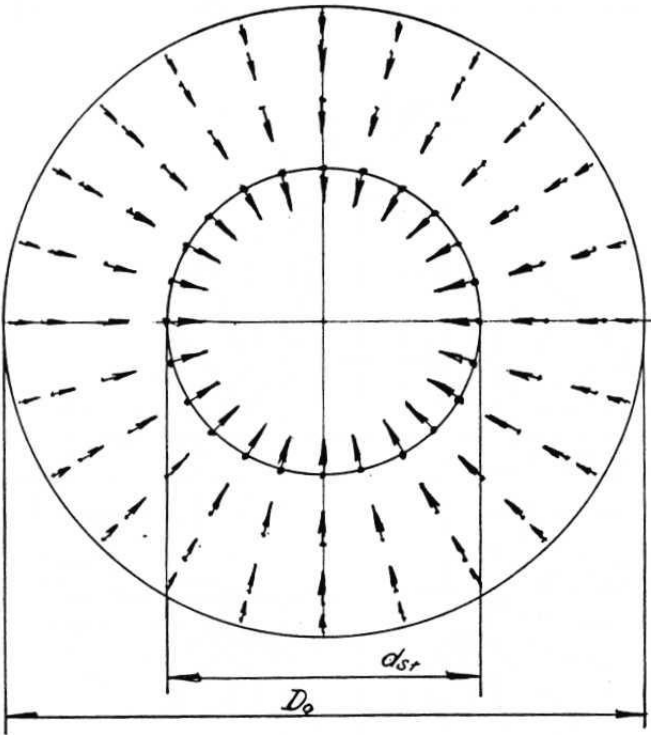
Projeto da geratriz



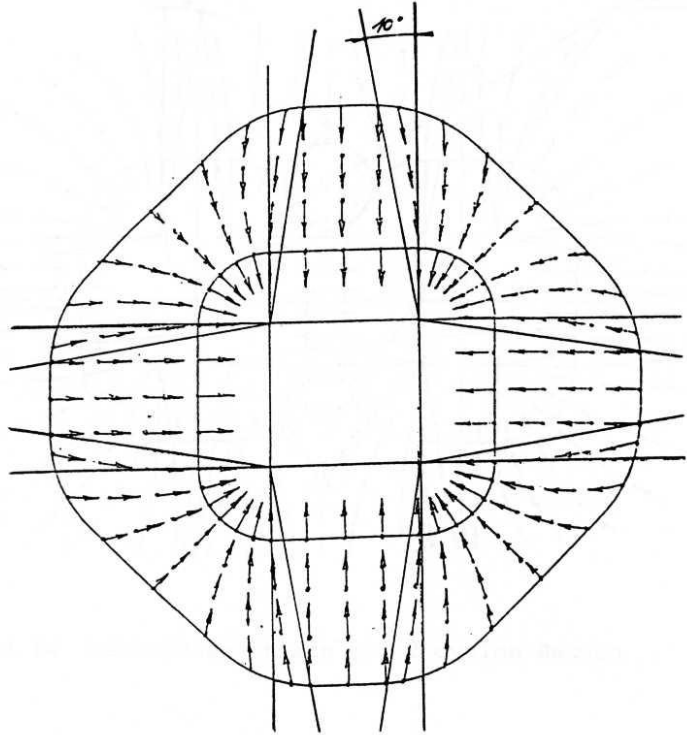
- A determinação analítica não é sempre possível.
- Usa-se o artifício da chapa quadriculada.
- Traça-se um reticulado em um blank cortado intuitivamente e vai se fazendo as devidas correções após a estampagem.

Estudo de fluxo do material

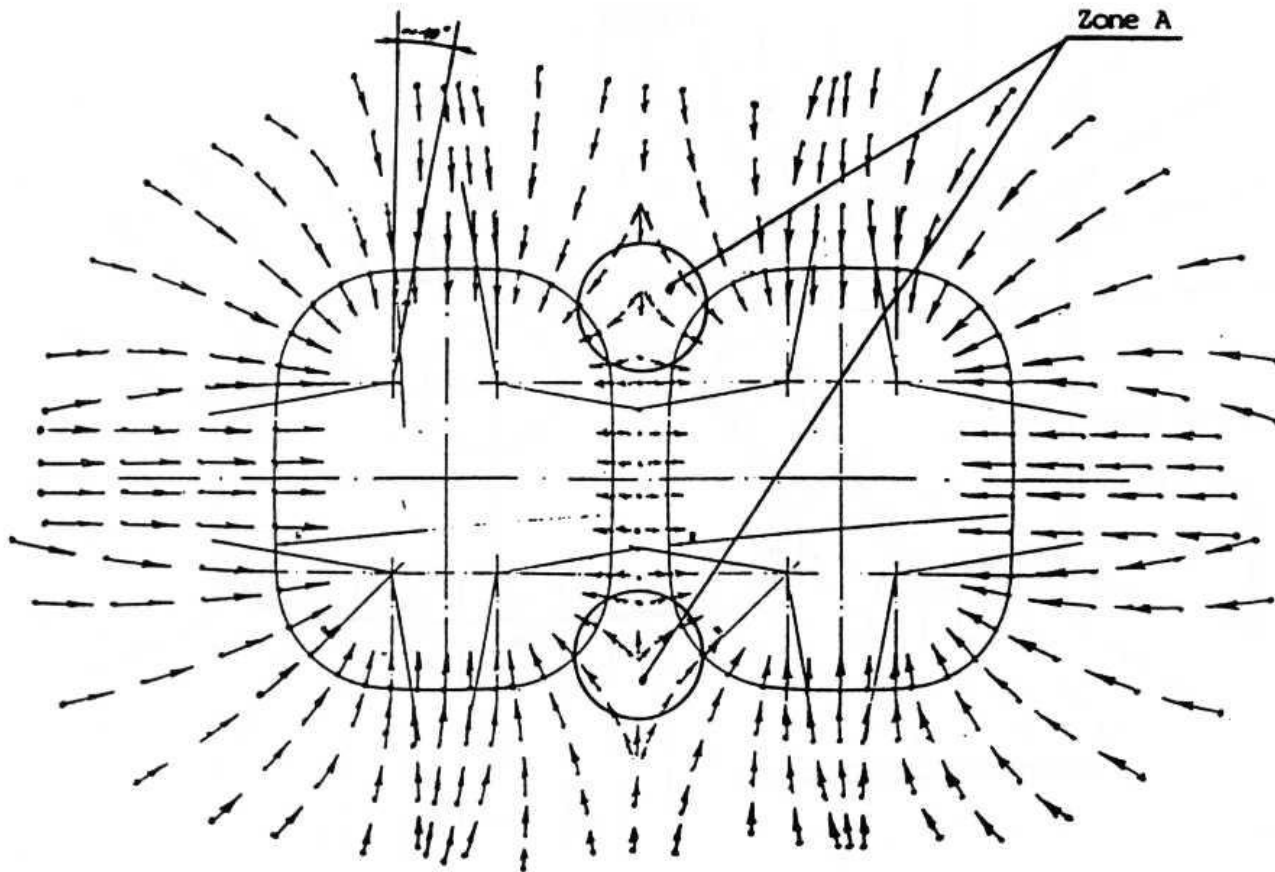
⌘ Peça Rotacional



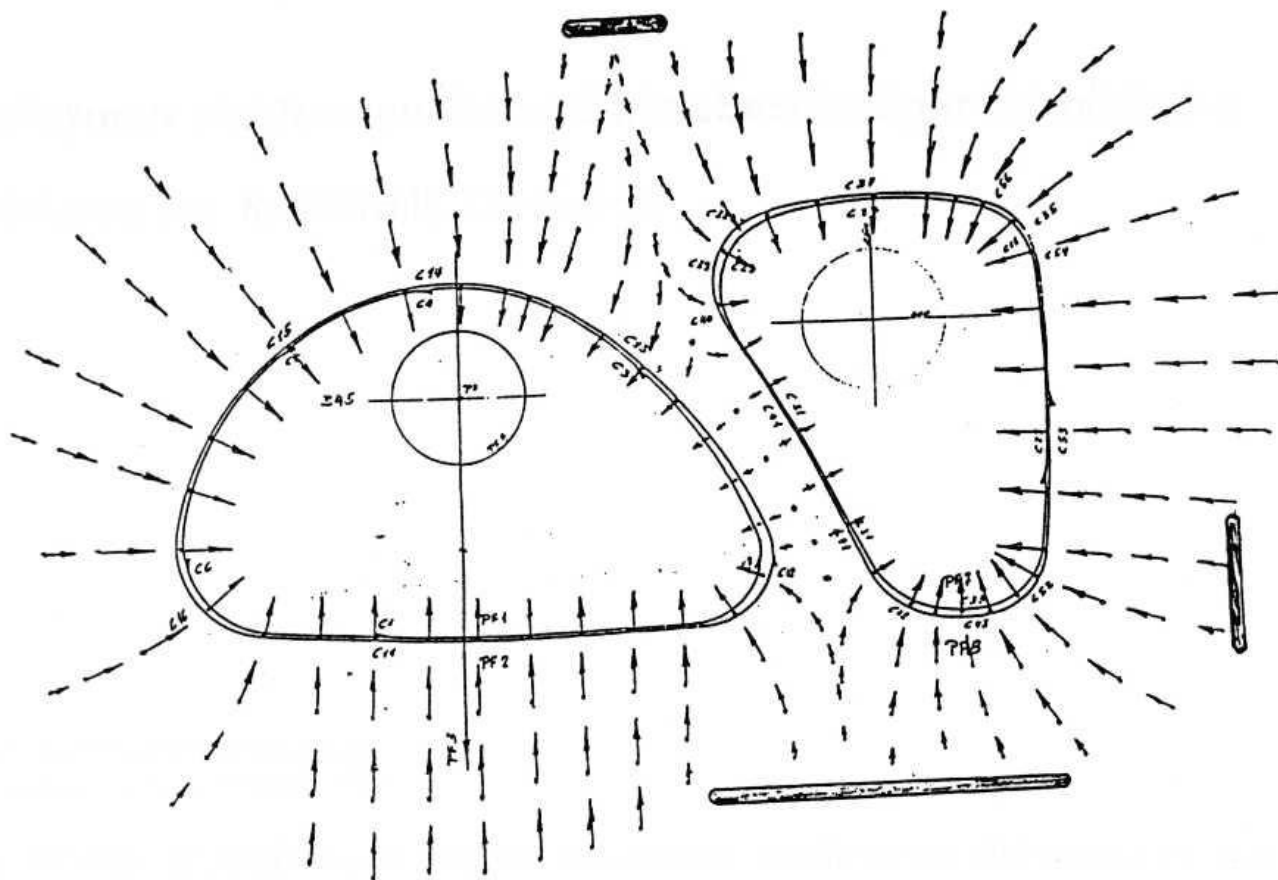
⌘ Peça Retangular



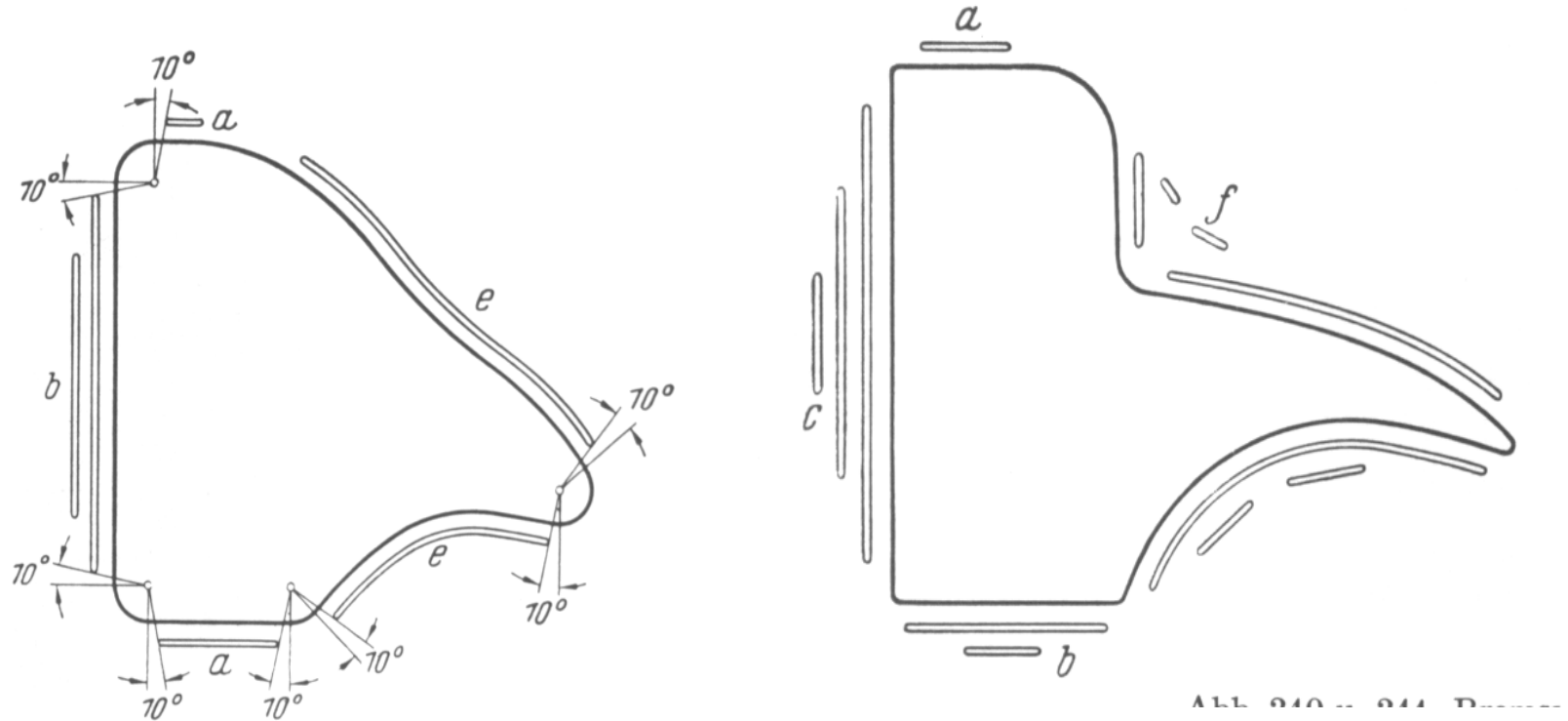
Fluxo do material em peça dupla



Fluxo do material em peça assimétrica



Controle de fluxo de material



- ⌘ Quebra-rugas (esticadores) para homogenizar ou equilibrar as tensões no contorno da peça travante ou deslizante

Cálculo da força de conformação:

$$\text{⌘} \quad F = F_{\text{Con}} + F_{\text{Atrito}} + F_{\text{Dob}}$$

⌘ Força de Conformação segundo Siebel:

$$F_{\text{con}} = \pi * D_{\text{punção}} * e * k_f * \ln \beta \quad \{\beta = D_{\text{blank}}/d_{\text{punção}}\}$$

$$F = 1,3 \dots 1,5 * F_{\text{con}} \quad (+ \text{Atrito e Dobra})$$

Cálculo da força no prensa chapa



⌘ Força do Prensa Chapa segundo Siebel:

$$p_N = LR/400 * [(\beta-1)^2 + d_{\text{punção}}/200 \text{ e}]$$

⌘ Valores comuns de Pressão:

Aço EEP: 1 - 2 MPa

Alumínio: 0,5 - 1 Mpa

Aço 304: 2 - 5 Mpa

Cobre: 0,5 - 1 MPa

⌘ Rupturas (70% dos problemas): => **Diminuir as tensões no flange**

- ☒ Diminuir tamanho do blank (se possível);
 - ☒ Diminuir atrito, polir superfície da matriz (esp. raio!);
 - ☒ Usar melhor lubrificante, Ex. plástico, poliuretano;
 - ☒ Aumentar raio da matriz (diminui perdas de dobra);
 - ☒ Aumentar raio do punção (usar conformação do fundo);
 - ☒ Fazer mais passos no processo e
- ☒ **Controle das deformações com diagrama DLC (CLC).**

⌘ **Rugas (20% dos problemas):**

=> Aumentar pressão na chapa ou as tensões radiais

☒ **Rugas na Flange:**

- ☒ **Aumentar a carga do prensa chapa e**
- ☒ **Usar um material mais macio.**

☒ **Rugas entre Punção e Matriz:**

- ☒ **Aumentar a tensão radial e redução da tensão tangencial (porém aumenta também o estiramento no fundo) e**
- ☒ **Evitar áreas livres sem contato com a ferramenta.**

⌘ Retorno elástico (10% dos problemas) => Diminuir tensões residuais!

- ☑ Usar um material mais macio, com menor resistência (se possível);
- ☑ Evitar zonas menos plastificadas na peça (aumento de estiramento no fundo);
- ☑ Evitar raios muito grande (maior parte elástica) e
- ☑ Aumentar a estabilidade da peça (rigidez).

Defeitos comuns



Rugas ocorrem porque não há um controle adequado ao ***escoamento do material*** (pela força de restrição).

Soluções:

- Ajustar o bloco controlador de parada
- Pressão de nitrogênio
- Pistão auxiliar (dupla ação)
- Ajustar “draw beads”
- Redimensionar o “blank”

Como uma última alternativa:

- Usar ‘***saliência de metal***’ para remover o material livre que não sofreu deformação.

Defeitos comuns



Trincas e rupturas ocorrem pelas razões opostas as rugas.



Demasiado ou pequena restrição ao **fluxo de material**.

Solução:

- Permitir que material adicional escoe para o ponto desejado.

Obs. Uma boa regra é facilitar o escoamento do material a 90° de onde a ruptura ocorreu.