

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais  
PMT-2521 – Conformação Mecânica dos Materiais Metálicos

# Estampagem

# Definições

- Processo pelo qual uma chapa fina (espessura muito menor do que as outras duas dimensões) é prensada contra uma matriz, assumindo a forma da cavidade

# Produtos



# Classificação

- Estampagem profunda ou embutimento
- Conformação em geral (dobramento)

O processo de corte sempre está presente, independente do tipo de estampagem

# Estampagem profunda

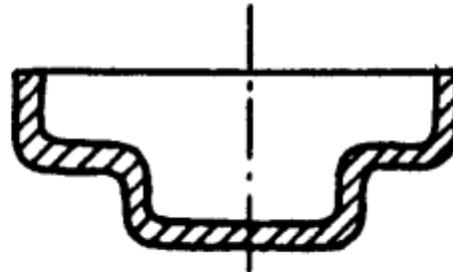
- Estampagem, reestampagem e estampagem reversa
- Estampagem e reestampagem de caixas
- Conformação rasa com estampagem e reestampagem de painéis
- Conformação profunda com estampagem de painéis

# Estampagem profunda

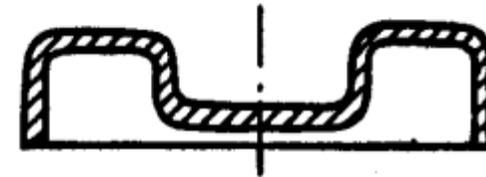
## CONFORMAÇÃO DE COPOS (VISTAS EM CORTES DE PERFIL COM SIMETRIA AXIAL)



ESTAMPAGEM



REESTAMPAGEM

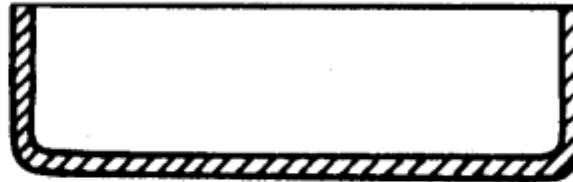


REESTAMPAGEM  
REVERSA

## CONFORMAÇÃO DE CAIXAS (2 VISTAS EM CORTES DE PERFIL DE CADA PEÇA)



ESTAMPAGEM



REESTAMPAGEM



# Estampagem profunda

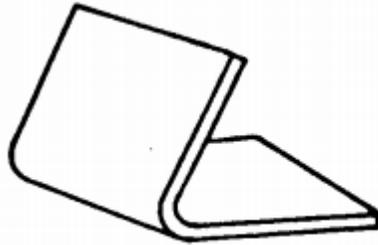
- Produtos são, em geral, sólidos de revolução
- Podem ter o fundo plano ou esférico, e paredes laterais inclinadas
- Tensões existentes em qualquer plano vertical passando pelo eixo de simetria são iguais
- Probabilidade de enrugamento na flange ou fissura nas laterais é igual

# Estampagem profunda

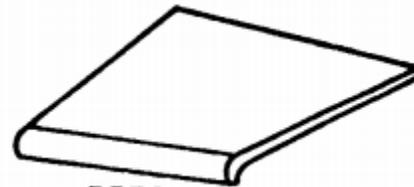
- Na conformação de caixas, a distribuição de tensões em planos diferentes que passam pelo centro de simetria é diferente
- Reestampagem consiste em deformar a parte central do material já estampado, para dimensões diferentes, de dentro para fora da peça
- Reestampagem reversa é feita de fora para dentro da peça.

# Conformação em geral

**DOBRAMENTO**



**FLANGEAMENTO**

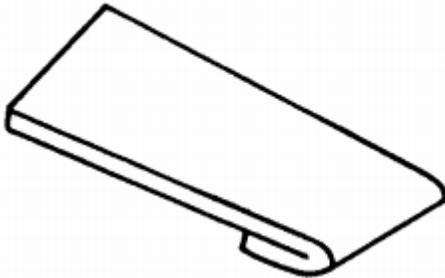


**RETO**

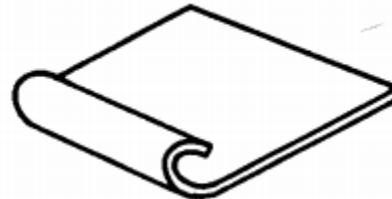


**DE FURO**

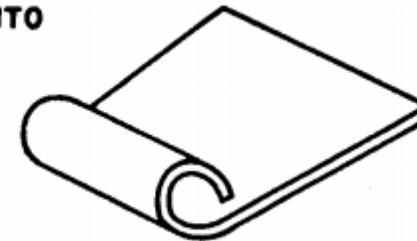
**REBORDAMENTO**



**ENROLAMENTO**



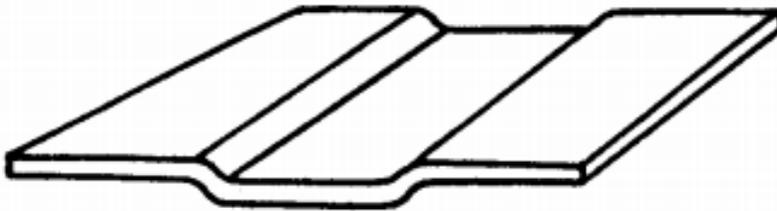
**PARCIAL**



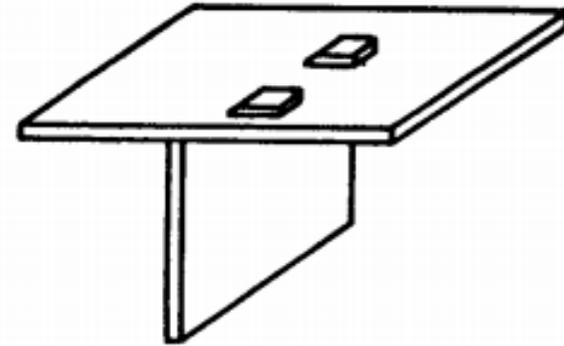
**TOTAL**

# Conformação em geral

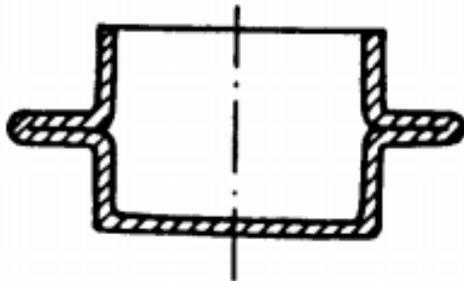
**NERVURAMENTO**



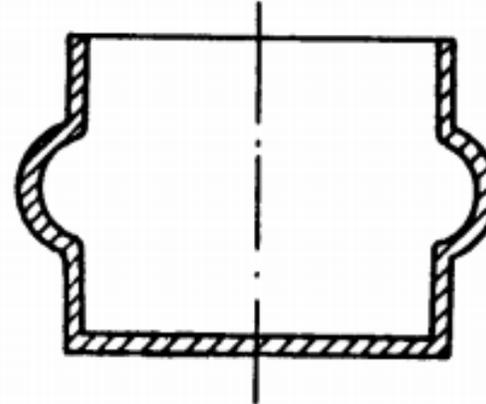
**ESTAQUEAMENTO**



**PREGUEAMENTO**

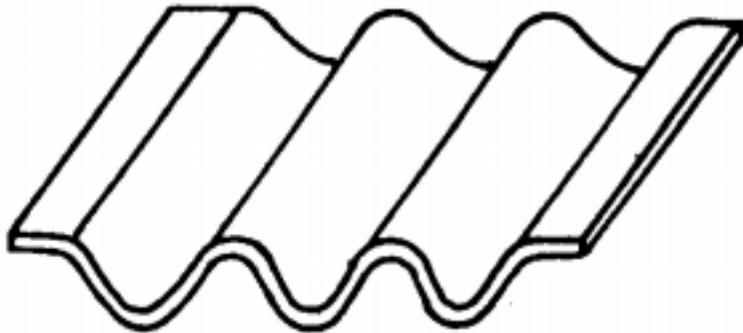


**ABAULAMENTO**

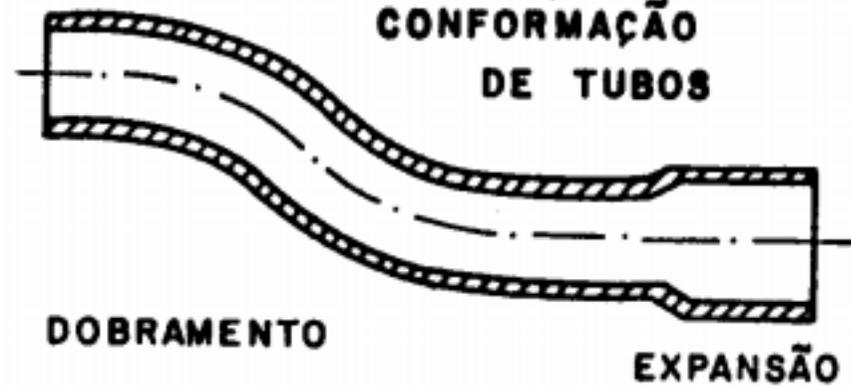


# Conformação em geral

**CORRUGAMENTO**



**CONFORMAÇÃO  
DE TUBOS**



# Conformação em geral

- Peças iniciais podem ser simples pedaços de tiras
- Dobramento pode ser feito em qualquer ângulo, com raios diversos
- Quando o dobramento é feito em uma pequena região próxima à extremidade, chama-se flangeamento

# Conformação em geral

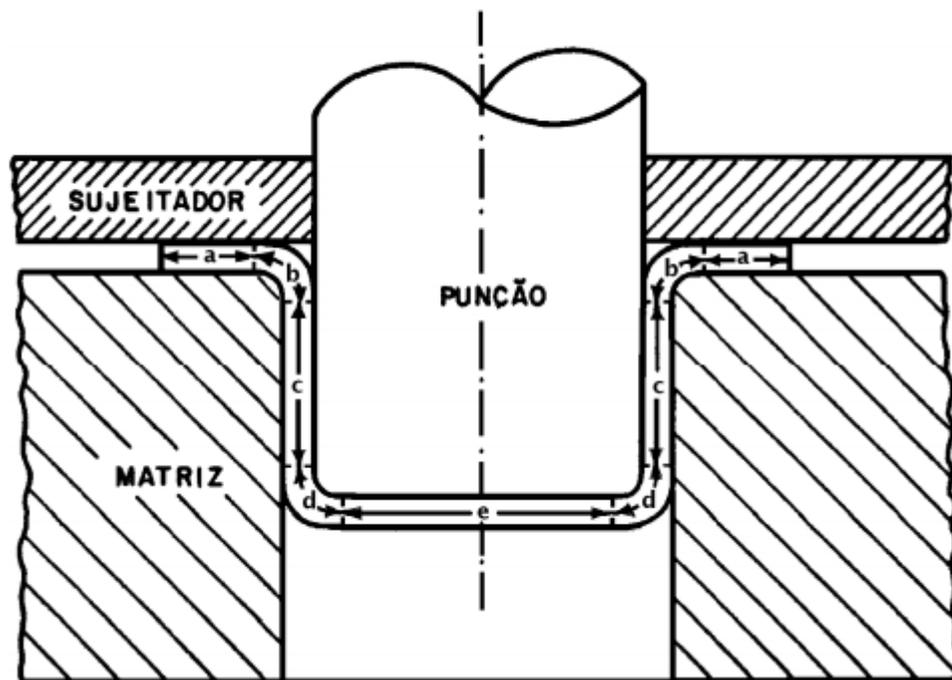
- Rebordamento – Dobramento completo da borda –
  - aumentar a resistência da borda da peça
  - conferir acabamento final e evitar superfícies cortantes
- Nervuramento – dá maior rigidez à peça e por razões estéticas de acordo com o projeto

# Conformação em geral

- Estaqueamento – operação de dobramento visando à formação de duas ou mais peças
- Enrugamento – feito em geral para permitir a montagem da peça em um conjunto
- Abaulamento de tubos – confere forma para fins funcionais
- Corrugamento – aplicado a chapas para produção de telhas

# Mecânica da estampagem

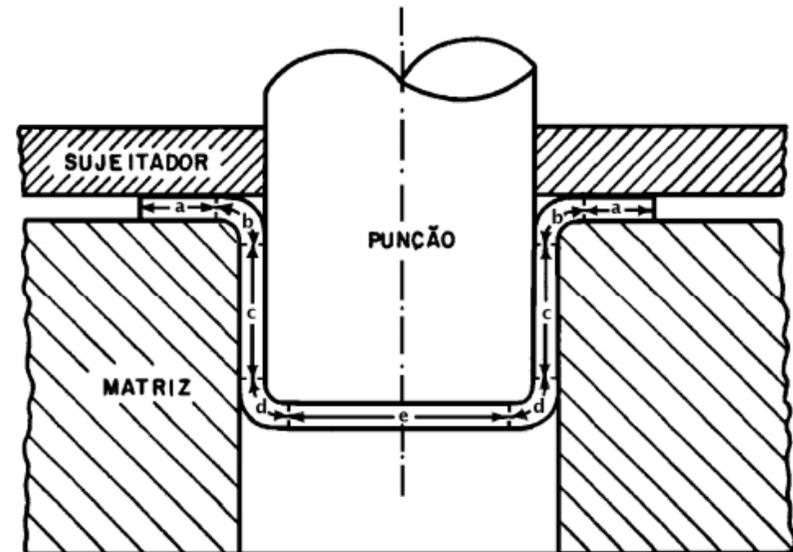
- Estampagem profunda



- a = Região da aba do copo
- b = Região do dobramento da matriz
- c = Região lateral do copo
- d = Região do dobramento no punção
- e = Região no fundo do copo
- D = Diâmetro do disco inicial
- Volume do disco = volume do copo

# Mecânica da estampagem

- O disco metálico deforma-se em direção à cavidade circular (ação do punção)
- A aba movimentada-se em direção à cavidade (ação do sujeitador)



# Mecânica da Estampagem

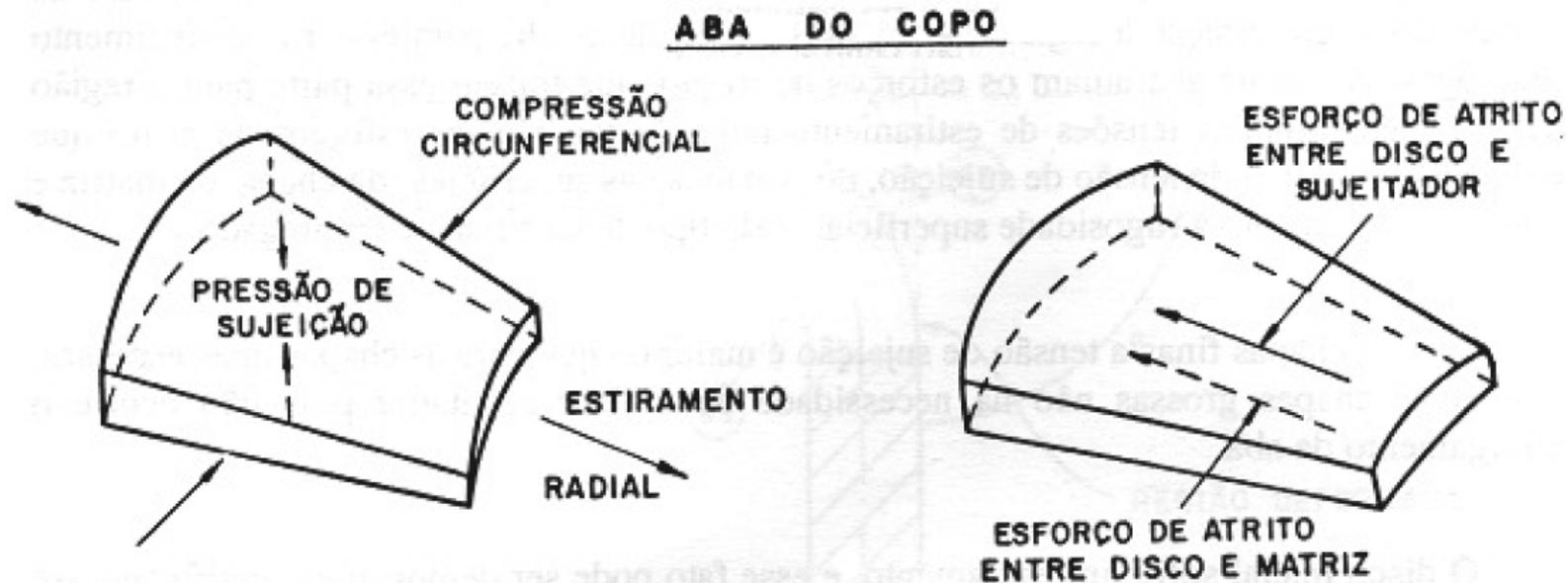
- Na aba, ocorre redução gradual da circunferência do disco metálico.
- Nela atuam esforços na direção das tangentes dos círculos concêntricos à região central
- Esses esforços são chamados de compressão circunferencial e tendem a enrugar a chapa nessa região
- Esse enrugamento é evitado por uma compressão (pressão de sujeição) aplicada pelo sujeitador

# Mecânica da Estampagem

- Esforços na aba
  - A pressão de sujeição deve ser alta para evitar as rugas e baixa para permitir o deslizamento da aba na direção da cavidade
  - Na aba existem também esforços de tração, que trazem a aba na direção da cavidade (estiramento radial) e esforços de atrito
  - Atrito depende da pressão de sujeição, condições superficiais e de lubrificação.

# Mecânica da estampagem

- Esforços na aba



- Chapas finas – tensão de sujeição é maior.
- Para chapas grossas, não há necessidade de tensão de sujeição

# Mecânica da estampagem

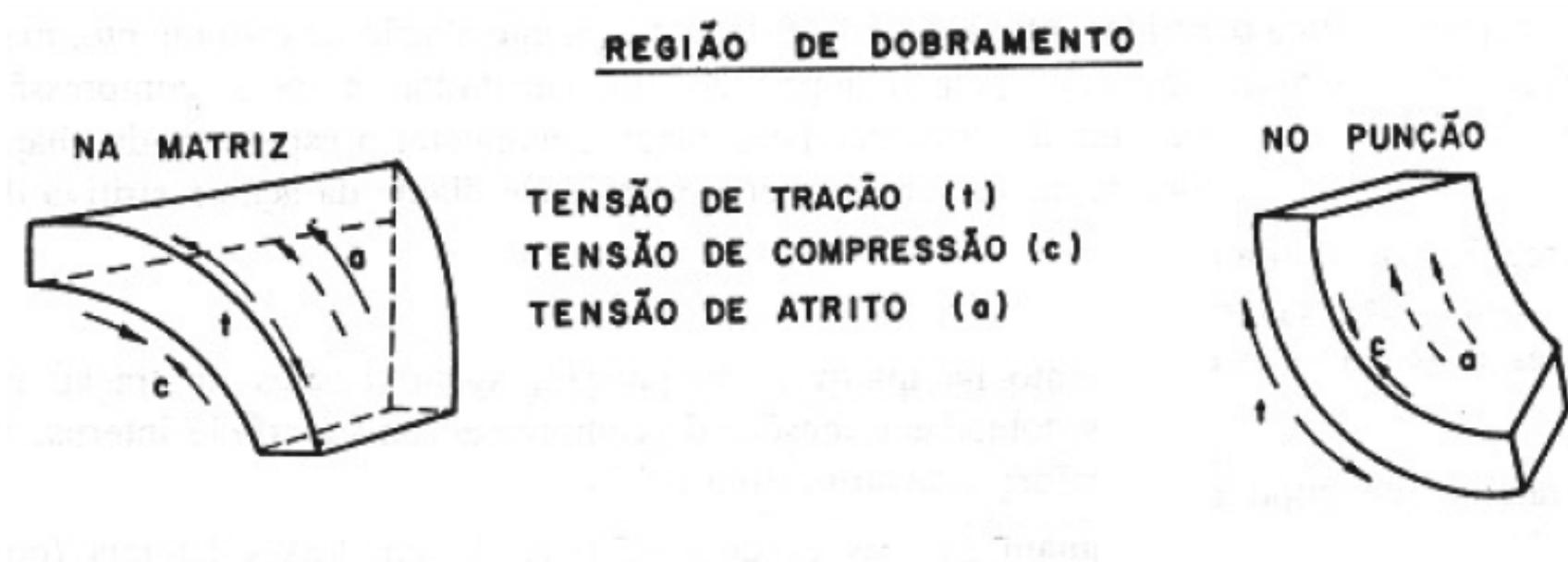
- O disco de metal inicial sofre um estiramento
- A deformação plástica é devida ao estiramento e à extrusão do material causada pela pressão de sujeição e pela compressão circunferencial
- Tensão circunferencial tende a aumentar a espessura do material nessa região

# Mecânica da estampagem

- Na região de dobra agem tensões de tração na parte externa e de compressão na parte interna
- O atrito na região está ligado a essas tensões
- Existe uma linha neutra, que não sofre esforços mecânicos

# Mecânica da Estampagem

- Esforços na dobra



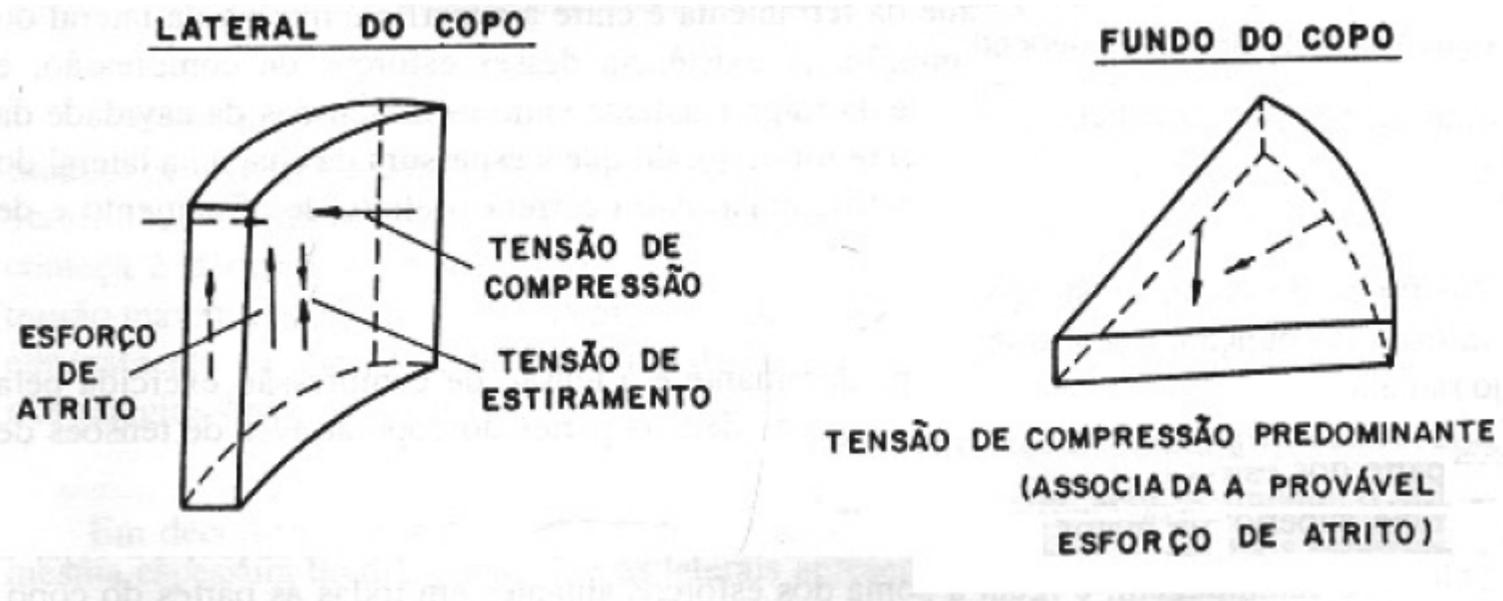
# Mecânica da estampagem

- As laterais do copo estampado atuam
  - tensões de tração (causam o estiramento do copo)
  - Tensões de compressão (causam afinamento da parede)
  - Esforços de atrito entre o metal e a parede da matriz/parede do punção
- As tensões de compressão e forças de atrito dependem da folga da ferramenta. Se a folga for maior do que a espessura da chapa, não ocorre o afinamento nem o atrito

# Mecânica da estampagem

- No fundo do copo há predominantemente tensões de compressão exercida pelo punção
- Essas tensões de compressão são transmitidas ao resto do copo por meio de tensões de tração radial

# Mecânica da estampagem



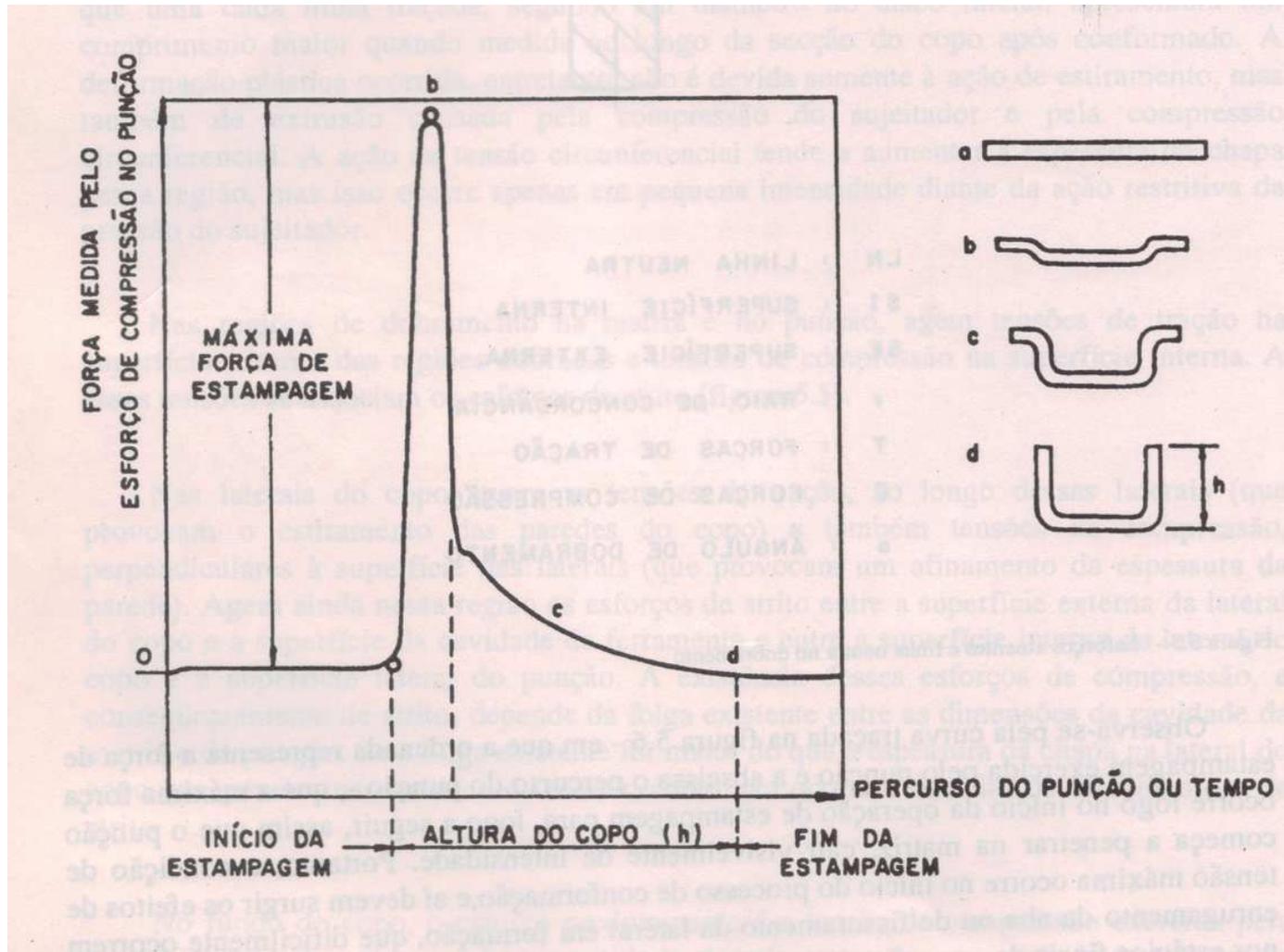
# Mecânica da Estampagem

- Maior parte do atrito ocorre na aba
- Esforço total feito pelo punção é a soma dos esforços atuantes na peça
- Se as tensões superarem o limite de resistência do material ocorrerá estrição e possivelmente fissura do material

# Mecânica da estampagem

- Força máxima ocorre logo no início do processo.
- Após o punção penetrar na matriz, a força cai sensivelmente
- Máxima tensão ocorre no início
  - Enrugamento da aba e fissura nas laterais ocorrem nesses estágios

# Mecânica da Estampagem



# Mecânica da estampagem

- Ao longo da operação, as paredes do copo apresentam espessuras diferentes por conta dos diversos estados de tensão
  - Fundo mantém espessura próxima à inicial
  - Laterais ficam mais espessas na borda e junto à dobra inferior
- Borda superior tem a maior tensão de compressão, e a parte inferior da lateral tem a maior tensão de tração

# Mecânica da estampagem

- Esforço da estampagem serve como indicativo da severidade do processo
- O nível de esforço depende principalmente do atrito e da intensidade de pressão de sujeição
- Outros fatores podem ser considerados para redução da severidade de conformação
- Para fabricação de peças de formato irregular, pode-se restringir a deformação em regiões da cavidade mudando a condição de atrito (rugosidade superficial)

# Mecânica da estampagem

- Fatores que podem ser usados para reduzir a severidade do processo
  - Maiores raios da matriz e do punção na região de dobramento
  - Utilização de inclinação na superfície superior da matriz
  - Utilização de cavidade cônica anterior à cavidade cilíndrica
  - Sujeitador que inicia a conformação

# Dobramento de chapas

- Peça inicial na forma de tira
- Esforços são aplicados em direções opostas para causar flexão e deformação plástica
- Superfície plana é transformada em duas superfícies concorrentes em ângulo, com raio de concordância na junção

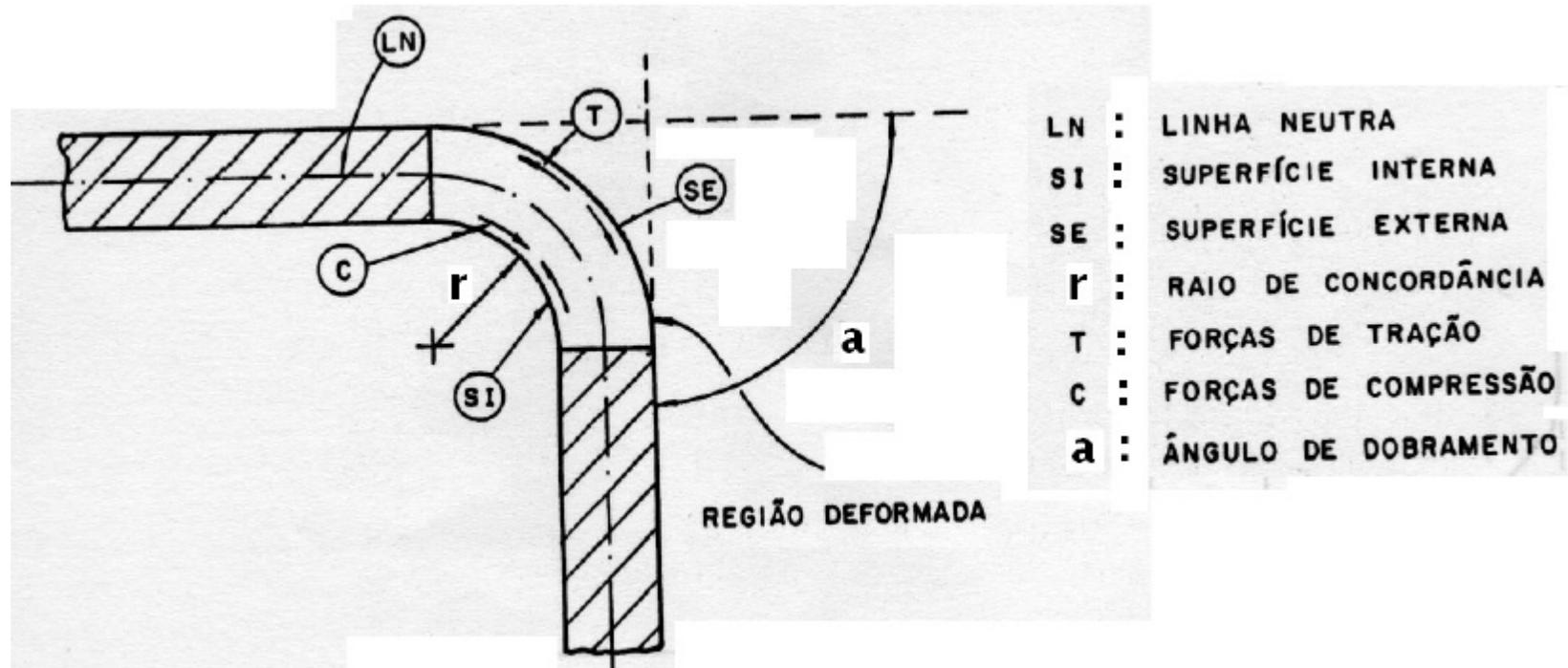
# Dobramento de chapas

- Esforços se concentram na região de concordância das duas superfícies
- Na parte interna ocorrem tensões de compressão
  - Nesta parte da região de concordância tende a haver enrugamento
- Na parte externa ocorrem tensões de tração
  - Neste parte tende a ocorrer a fratura do material

# Dobramento de chapas

- Uma vez que as tensões se invertem ao longo da espessura há um ponto em que a tensão é zero, chamado ponto neutro
- O lugar geométrico dos pontos neutros ao longo da chapa é a linha neutra
- O comprimento da linha neutra não se altera
- Esta linha é usada como referência para a correspondência de dimensões entre o esboço inicial e a peça conformada
- Antes da conformação, a linha neutra estaria no meio da espessura; Após a conformação, ela se desloca em direção à superfície interna

# Dobramento de chapas



# Dobramento de chapas

- A deformação causa diminuição da espessura (devido às tensões de tração) e aumento de largura (devido às tensões de compressão)
- Como a largura é muito maior do que a espessura, a deformação plástica é muito mais significativa na espessura
- Se a tensão de tração ultrapassa o limite de resistência, pode haver início de estrição e fissura da chapa na dobra
- Na parte interna pode ocorrer enrugamento

# Dobramento de chapas

- Os menores níveis de deformação plástica ocorrem para:
  - Ângulos de dobramento menores
  - Raios de curvatura maiores
  - Menor espessura de chapa

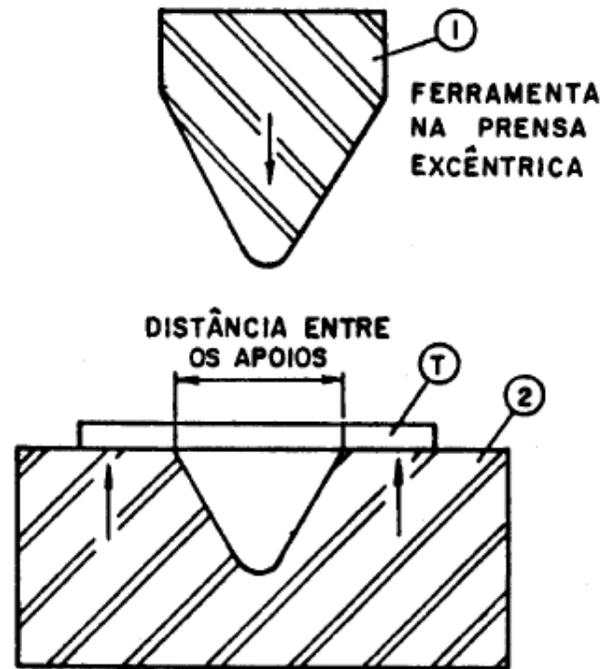
# Dobramento de chapas

- O dobramento da chapa deve ser feito com ângulo maior do que o ângulo especificado para a peça final, devido ao retorno elástico
- Retorno elástico aumenta com:
  - Aumento do LE
  - Diminuição do raio de dobramento
  - Aumento do ângulo de dobramento
  - Aumento da espessura da chapa

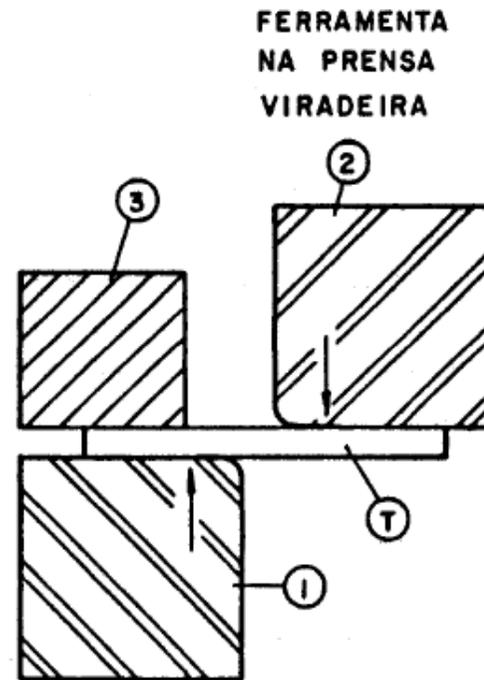
# Dobramento de chapas

- Força de dobramento aumenta instantaneamente quando o punção toca o esboço e decresce até que se complete o dobramento
- Raio de curvatura
  - 1 a 2 vezes o raio para materiais moles
  - 3 a 4 vezes o raio para materiais duros

# Ferramentas de dobramento



(a)



(b)

COMPONENTES DA FERRAMENTA

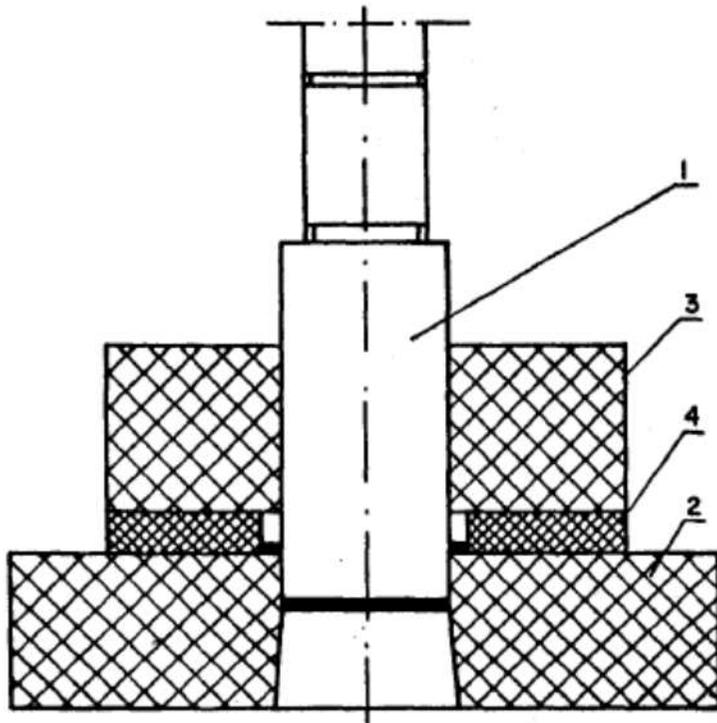
- 1 - PUNÇÃO
- 2 - MATRIZ
- 3 - SUJEITADOR

T - ESBOÇO NA FORMA DE UM PEDAÇO DE TIRA

# Corte

- Ferramentas de corte ou “estampos de corte” são constituídas basicamente de uma matriz e um punção
- A forma da peça cortada é determinada pela seção transversal do punção e da matriz
- O fio de corte é composto pelos perímetros do punção e do orifício da matriz

# Corte



## COMPONENTES DA FERRAMENTA:

- 1-** PUNÇÃO
- 2-** MATRIZ
- 3-** GUIA DO PUNÇÃO E RETENTOR DA CHAPA CORTADA
- 4-** GUIA DA CHAPA NA MATRIZ

# Corte circular

- Operação em que os fios de corte são facas circulares
- Usados para produtos planos contínuos, cortando tiras largas em tiras de larguras menores
- Praticamente todas as fábricas que fazem laminação também fazem corte
- Outros nomes: *slitting*, refilamento

# Corte circular

*Espaçador  
de aço*

*Espaçador  
de  
borracha*



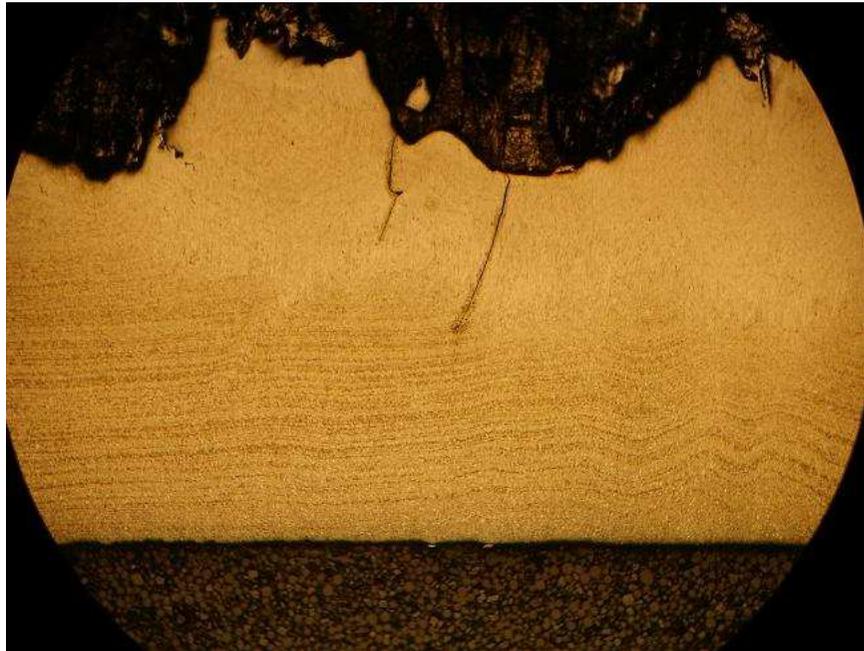
*Faca*

# Corte

- A qualidade do corte vai ser principalmente definida pela folga na ferramenta
- A folga é dependente da espessura e das propriedades do material
- Existe muita dificuldade em se estimar a folga adequada
- Folgas muito fechadas ou abertas geram cortes inadequados para o material.

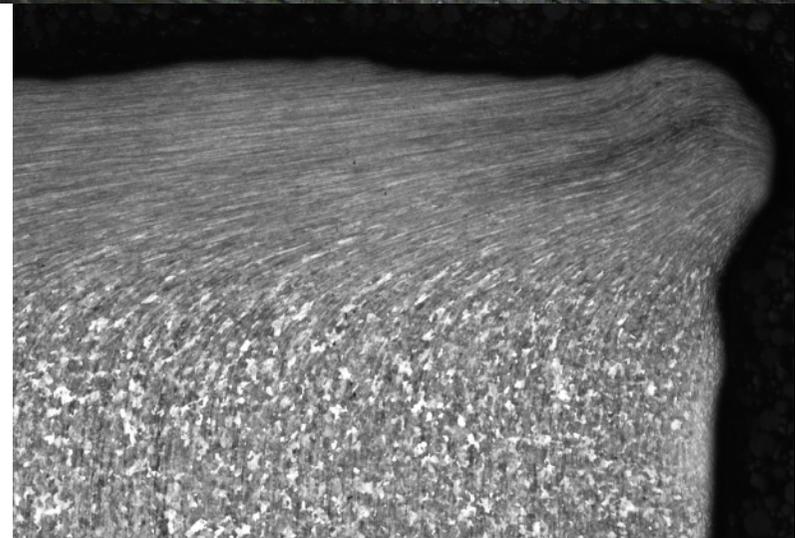
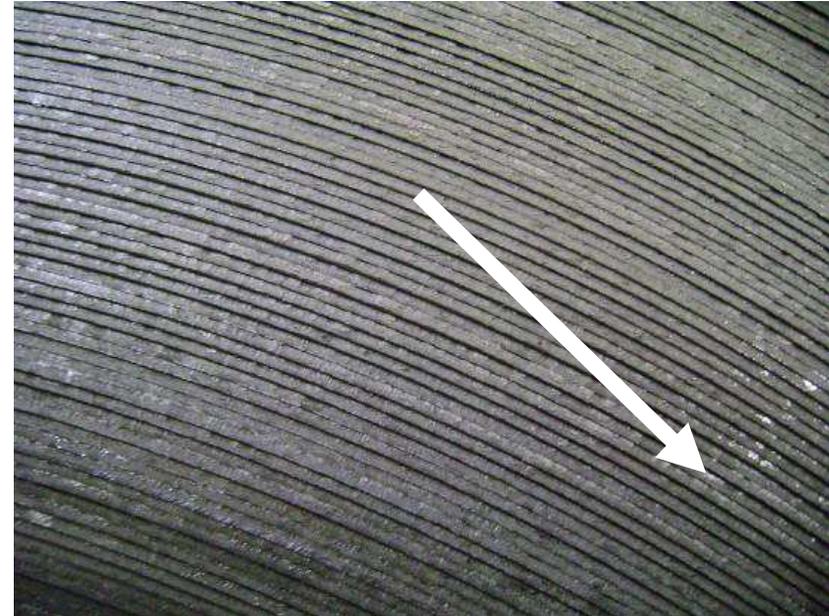
# Corte

- Folgas muito abertas ou ferramentas com perda de afiação causam arraste do material, resultando no que se chama “corte cisalhado”



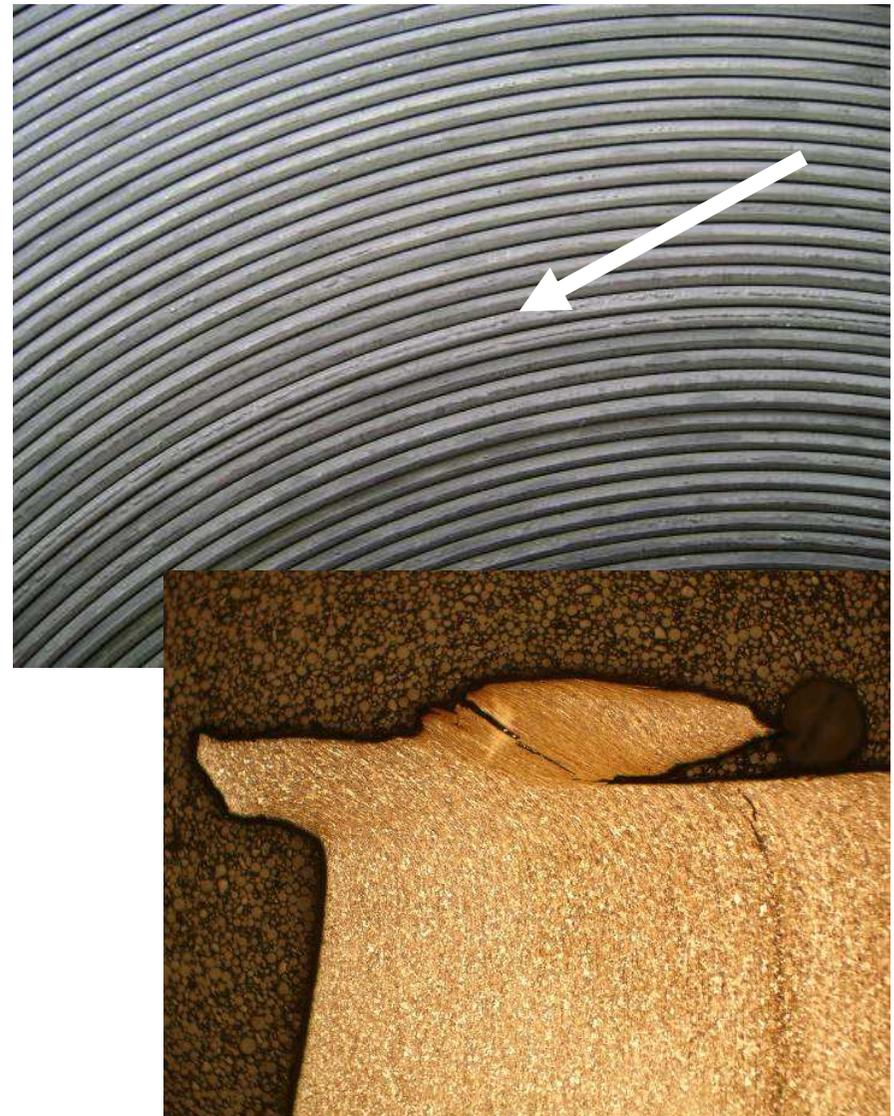
# Corte

- Folgas muito fechadas deformam excessivamente o material e causam o que se chama de “corte brilhante”
- É um corte esteticamente bonito, mas de péssima qualidade



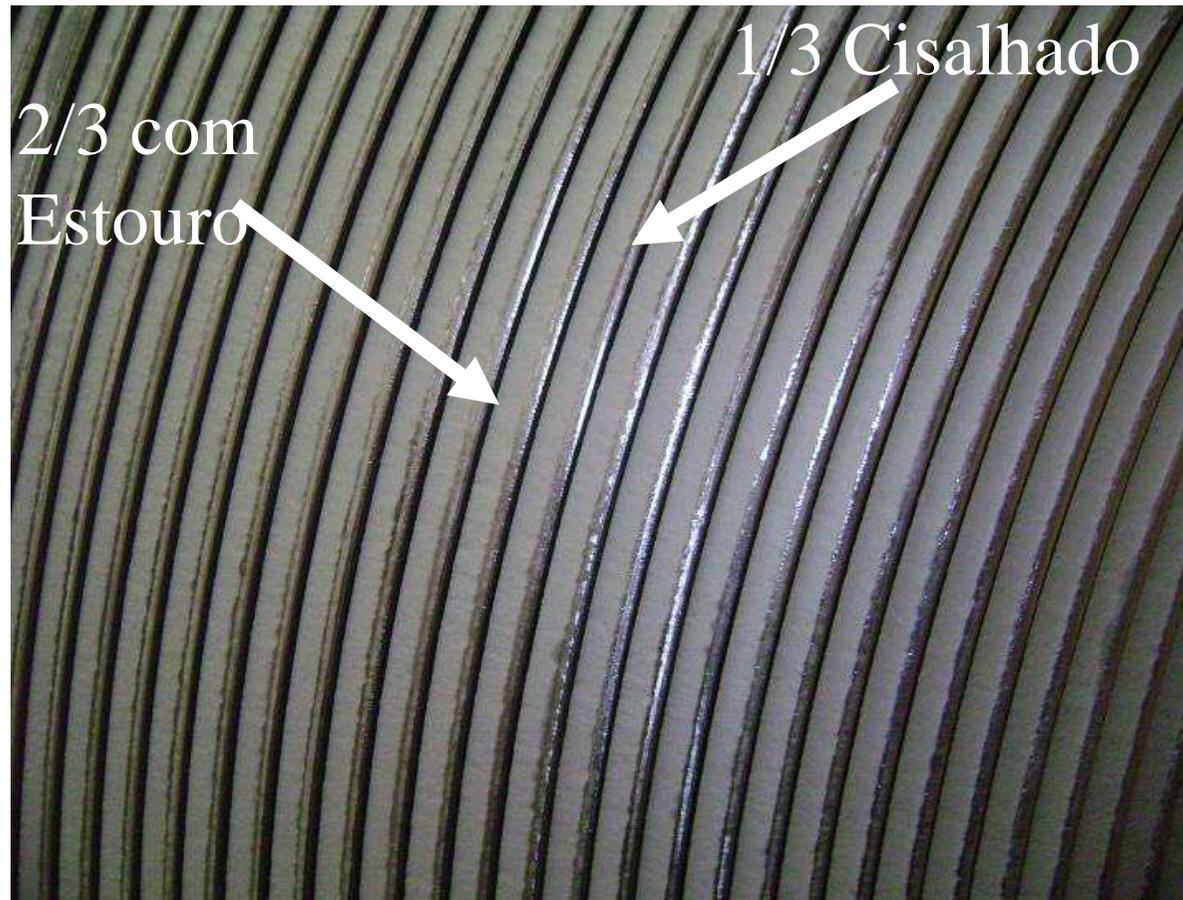
# Corte

- Folgas um pouco mais abertas do que o ideal causam encaroçamento da borda cortada
- Ocorre um início de arraste, e o acúmulo de material ajusta a espessura à folga



# Corte

- A condição de corte ideal apresenta  $1/3$  da espessura da chapa cisalhada e  $2/3$  estourados



# Corte

- O esforço de corte aliado ao atrito durante o corte causa deterioração do fio de corte após um grande número de peças
- Uma ferramenta pode chegar a cortar 20.000 a 30.000 peças sem necessidade de retificação (punção cilíndrico pequeno)
- Em geral, podem-se realizar cerca de 40 retíficas e reafiações em um estampo de corte
- Isso dá 800.000 a 1.200.000 peças

# Corte

- A distribuição da peça deve ser feita de forma a minimizar as sobras, melhorando o aproveitamento do material
- A quantidade de peças produzidas em um único golpe define a complexidade da ferramenta

# Corte

- Como você posicionaria o corte de

1 - Uma espátula?



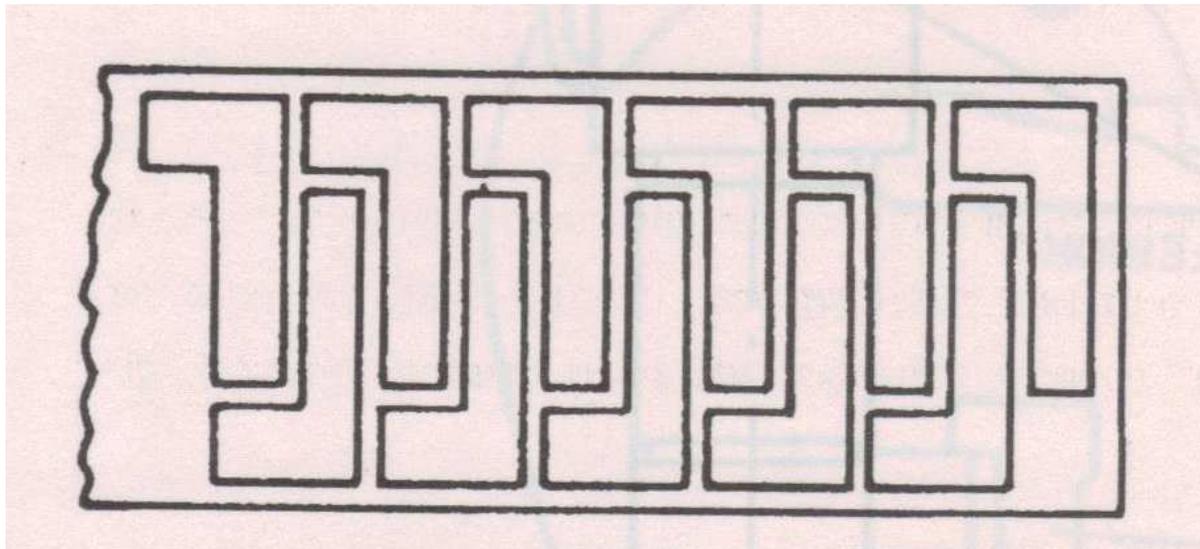
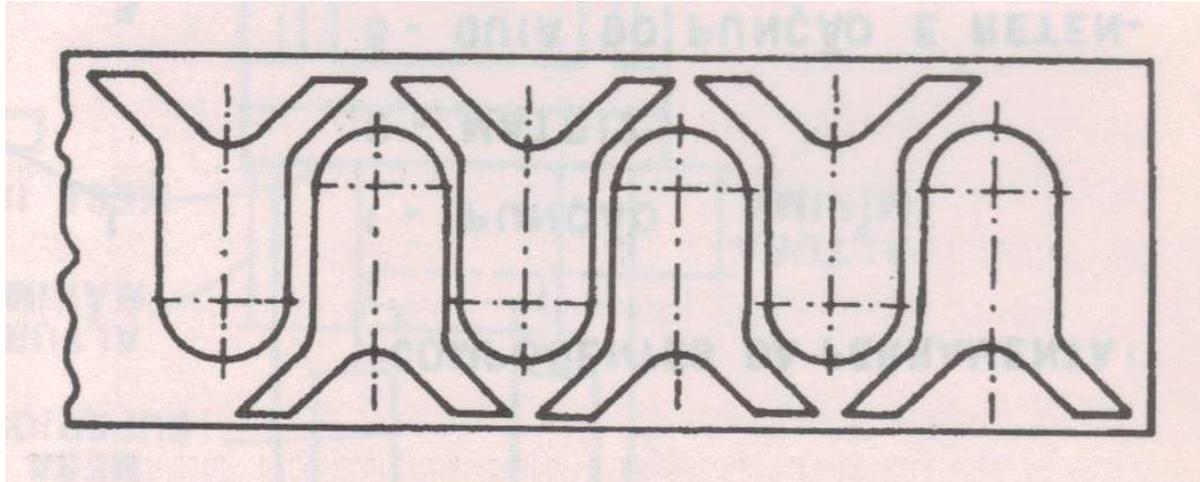
2 - Uma peça circular com diâmetro de 40% da largura da tira de onde vai ser cortada?

– Como você executa a condição 2 em uma ferramenta com um único punção circular?

3 – Um serrote?



# Corte



# Cálculos de Força

[1] Força de corte de chapa ( $F_c$ ):

$$F_c = p e \tau, \text{ onde}$$

$p$ =perímetro da peça (plana)

$e$ =espessura da chapa

$\tau$ =resistência ao cisalhamento do material da peça (cerca de 3/4 a 4/5 da resistência à tração)

# Cálculos de Força

[2] Força de dobramento de chapa ( $F_d$ ):

$$F_d = \frac{2\sigma_d b e^2}{3l}, \text{ onde}$$

$b$ =largura da peça

$l$ =distância entre os apoios

$\sigma_d$ =resistência ao dobramento completo do material na ferramenta (cerca de duas vezes a resistência à tração)

# Cálculos de Força

[3] Força máxima de estampagem profunda (embutimento) de um copo a partir de um disco ( $F_{e \max}$ ):

$$F_{e \max} = 2\pi r e \sigma_m \ln\left(\frac{r_0}{r}\right), \text{ onde}$$

$r_0$  = raio do disco inicial

$r$  = raio do copo

$\sigma_m$  = resistência média à deformação (ver diagrama, Rossi, fig. 74, p. 94)

# Cálculos de Força

[4] Força do sujeitador de uma aba circular ( $F_s$ ):

$$F_s = \pi(r_0^2 - r^2)P_s$$

$P_s$ =pressão de sujeição (100-200 MPa para aço e 80-100MPa para alumínio, em superfícies lubrificadas)

# Estampabilidade

- Capacidade de uma chapa plana ser conformada por estampagem
- Abrange desde a facilidade de se obter a geometria final até a necessidade de manutenção dos equipamentos
- Propriedade importante para determinação da estampabilidade é o coeficiente de encruamento “n”

# Coeficiente de encruamento

- Um valor elevado de  $n$  indica que a região deformada apresenta alta resistência mecânica e transfere os esforços às regiões não deformadas
- Capacidade do material de distribuir as deformações na presença de um gradiente de tensões
- Capacidade do material de diminuir a espessura sem que ocorra instabilidade plástica.

# Coeficiente de encruamento

- Em geral é dado pela equação de Hollomon

$$\sigma = k\varepsilon^n$$

- $\sigma$  = tensão verdadeira
- $k$  = coeficiente de resistência
- $\varepsilon$  = deformação verdadeira
- Obtém-se o valor de  $n$  plotando-se a curva em escala logarítmica;  $n$  é o coeficiente angular da reta

# Ensaaios de estampabilidade

- A estampabilidade pode ser caracterizada por ensaios laboratoriais, analisando-se operações elementares
- Os ensaios podem ser intrínsecos ou simulativos

<u>Ensaaios Intrínsecos</u>	<u>Ensaaios Simulativos</u>
Não dependem da espessura e das condições superficiais	São sensíveis com relação à espessura, condições superficiais, lubrificantes, tipo e geometria do ferramental
Exemplos de ensaios: Ensaio de tração uniaxial, Ensaio de tração em estado plano de deformação, Ensaio de expansão hidráulica	Exemplos de ensaios: Ensaio de estampagem Olsen, Erichsen, Fukui, Nakazima, Marciniak, Recuo elástico

Fonte: André Sereno Lopes, dissertação de mestrado

# Ensaio de estampabilidade

- Ensaio de anisotropia
  - Realiza-se o ensaio de tração em amostras tiradas a 0°, 90° e 45° da direção de laminação, parando o teste em tensões próximas ao LR
  - Calcula-se a razão entre a deformação na largura e na espessura (coeficiente de Lankford)

$$r = \frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_h} = \frac{\ln\left(\frac{w_f}{w_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_f}{h_0}\right)}$$

$$r = \frac{\ln\left(\frac{w_f}{w_0}\right)}{\ln\left(\frac{l_0 w_0}{l_f w_f}\right)}$$

Tiras finas

# Ensaio de estampabilidade

- Coeficiente de anisotropia normal

$$\bar{r} = \frac{r_0 + 2r_{45} + r_{90}}{4}$$

- Coeficiente de anisotropia normal alto indica que a resistência à deformação na espessura é maior que nas outras dimensões
- Materiais para estampagem profunda precisam deste valor alto

# Ensaaios de estampabilidade

- Coeficiente de anisotropia planar

$$\Delta r = \frac{r_0 - 2r_{45} + r_{90}}{4}$$

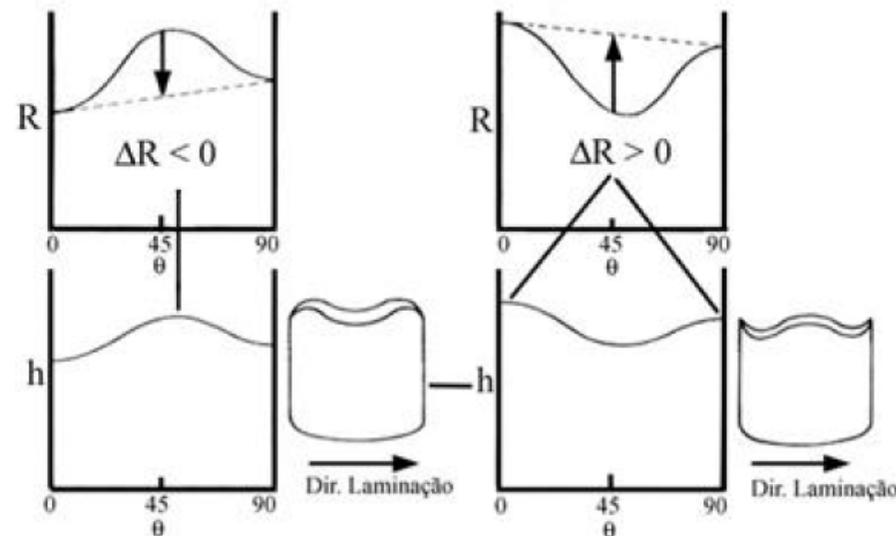
- Indica o comportamento que o material tende a apresentar no plano da chapa
- Quando é 0, o material é isotrópico
- Quando é diferente 0, indica tendência à formação de “orelhas”
- Para estampagem, deseja-se valor próximo de 0

# Orelhamento

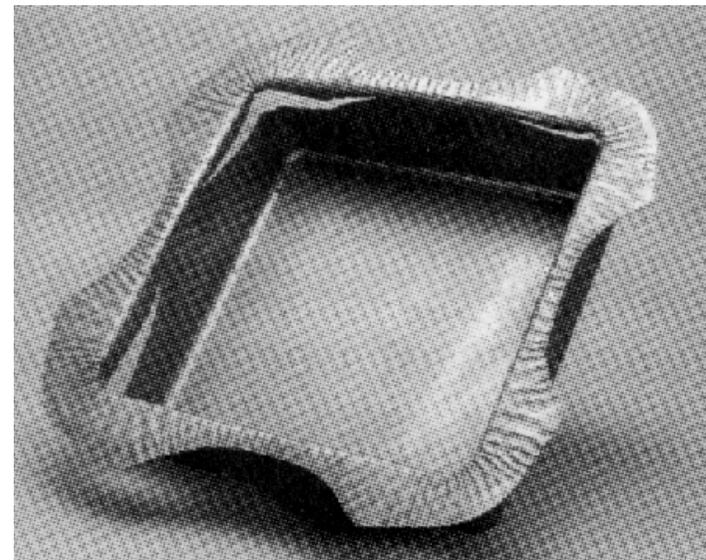
- Na produção de peças simétricas circulares, podem-se observar as orelhas e a diferença de espessura na parece
- Aços de baixo carbono têm orelhas a  $0^\circ$  e  $90^\circ$  da direção de laminação; Aços com maior resistência mecânica têm orelhas a  $45^\circ$  da DL
- Isotropia pode ser controlada por meio do controle da textura cristalográfica.

# Orelhamento

- Orelhas são causadas por comportamento diferente do material em direções diferentes.
- Se  $\Delta r > 0$ , as orelhas se formam  $0^\circ$  e  $90^\circ$  da DL
- Se  $\Delta r < 0$ , as orelhas se formam a  $45^\circ$  da DL



# Orelhamento



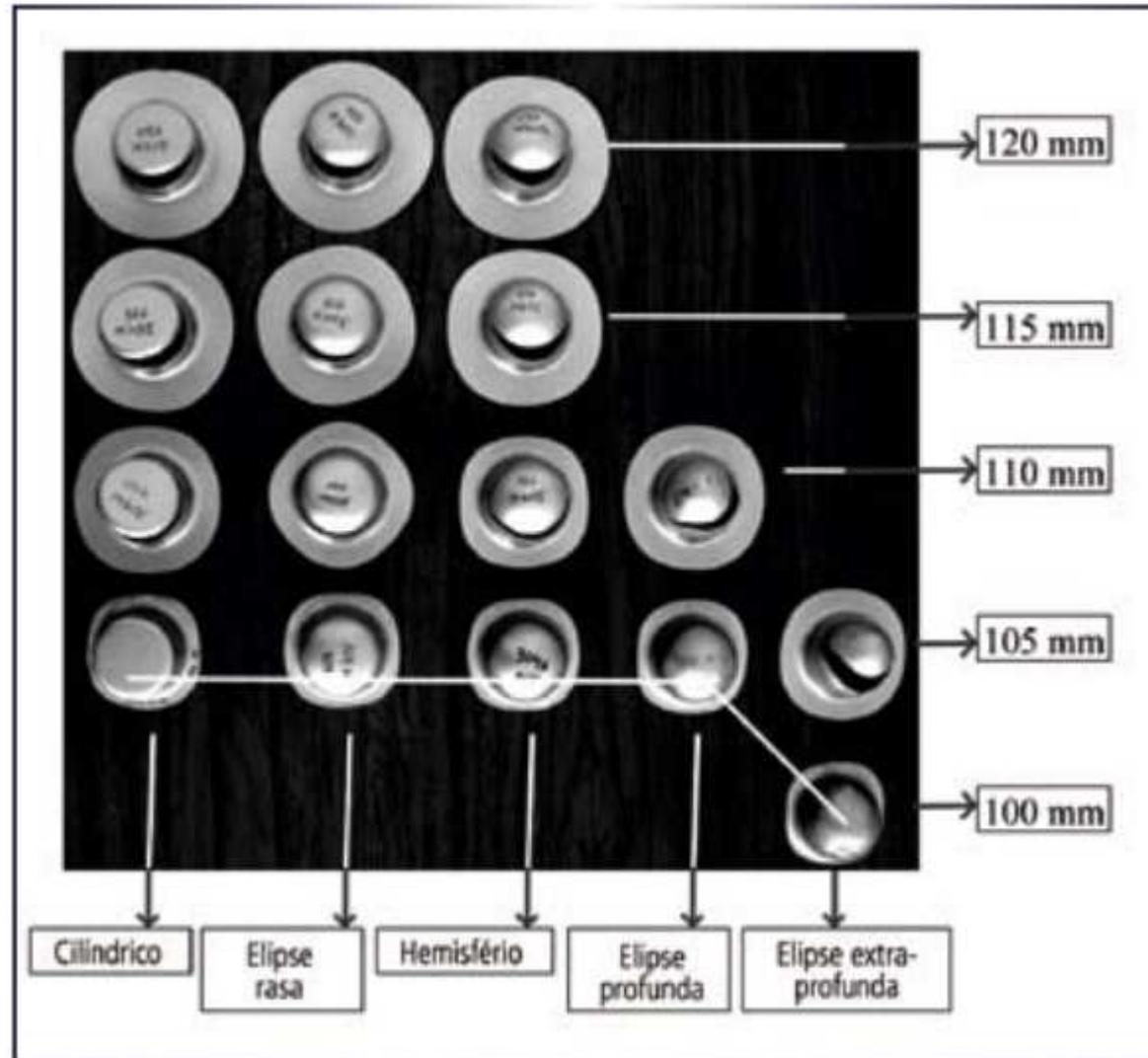
# Ensaaios de estampabilidade

- Ensaaios simulativos
  - Restritos a certos tipos de conformação
  - Na maioria dos casos, há a combinação de estampagem e estiramento
  - Correlações são difíceis e imprecisas

# Ensaio de estampabilidade

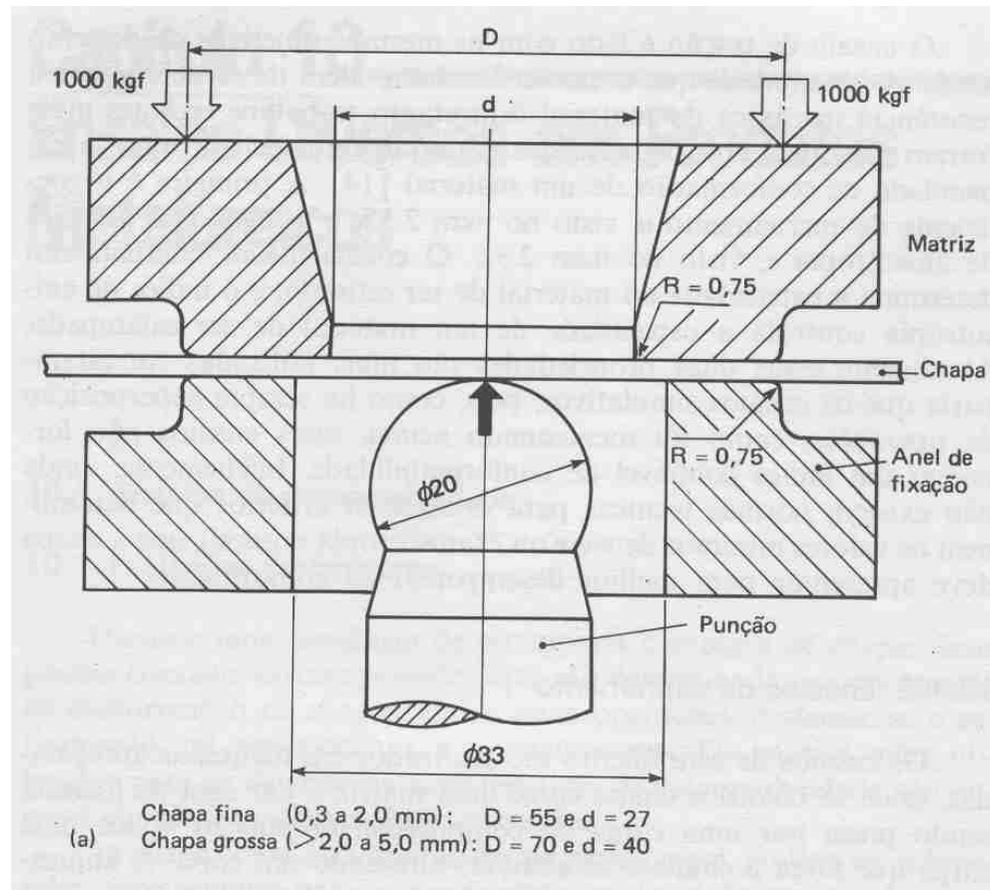
- Ensaio de Swift
  - Avalia a capacidade de estampagem de múltiplos esboços com diferentes diâmetros iniciais do blank
  - Diâmetro máximo que se embute sem ruptura é determinado
  - Razão limite de estampagem (*Limit Drawing Ratio*)
    - $LDR = D_o/D_p$

# Ensaio de estampabilidade



# Ensaio de estampabilidade

- Ensaio Erichsen



# Aços para estampagem

- Laminados a quente

Tipo de Aço		Composição Química					Propriedades Mecânicas				
		C	Mn	P	S	Al	LE MPa	LR MPa	AL(%) lo=50mm	LE/LR	r <sub>m</sub>
Estampagem (EM)	Média	0,05	0,23	0,018	0,015	0,043	210	335	39	0,66	1,5
Estampagem Profunda (EP)		0,05	0,23	0,017	0,015	0,043	195	320	41	0,62	1,5
Estampagem Profunda (EEP)	Extra	0,04	0,23	0,016	0,015	0,044	180	314	42	0,59	1,7
Estampagem Profunda Crítica (EEP-PC)	Extra	0,04	0,21	0,014	0,014	0,042	170	308	43	0,58	1,8
Interstitial Free IF*		0,004	0,21	0,012	0,012	0,042	155	310	45	0,55	2,0

LR = Limite de resistência; LE = Limite de escoamento; AL = Alongamento total; r<sub>m</sub> = Anisotropia Plástica Normal

\* Contém microadições de Ti e/ou Nb.

Fonte: André Sereno Lopes, dissertação de mestrado

# Curvas Limite de Conformação

- Diagrama contendo o lugar geométrico das principais deformações críticas que ocorrem na superfície da chapa para as quais a estricção se torna visível, ou para a ocorrência de fratura
- Introduzidas por Keller e Goodwin
- O limite de conformação é o estado em que se inicia o afinamento localizado

# Curvas Limite de Conformação

- Podem ser feitas a partir de peças conformadas em uma operação industrial ou por ensaios que simulem o estado de tensões de um processo real
- É necessário reproduzir diversos modos de carregamento
- As condições devem ser suficientemente diferentes de um carregamento para outras, para que se possam usar poucas amostras para as deformações de interesse.

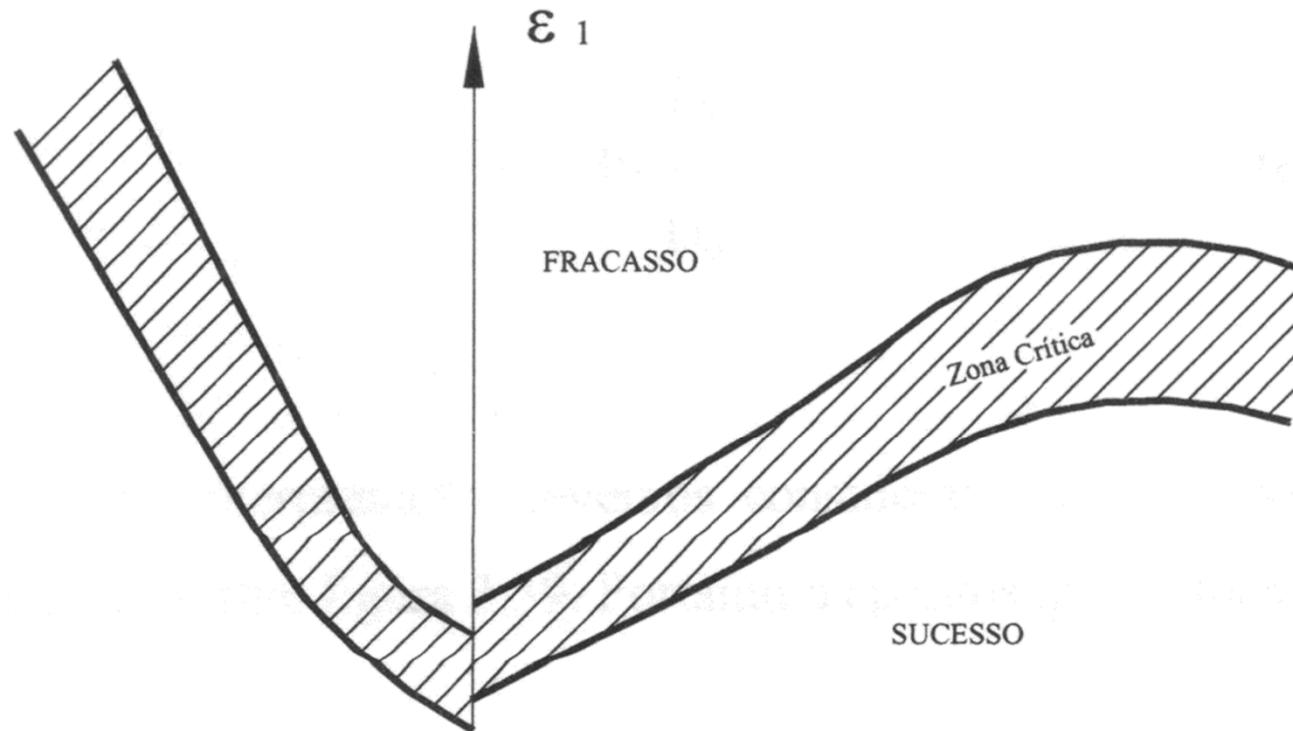
# Curva limite de conformação

- As tensões atuantes na chapa durante a conformação não são mensuráveis
- As deformações, porém, são capazes de indicar os valores relativos das tensões atuantes
- É determinada pelas deformações principais verdadeiras,  $\varepsilon_1$  e  $\varepsilon_2$ , medidas no plano da chapa

# Curva limite de conformação

- Uma rede de círculos deve ser impressa na chapa
- As amostras são ensaiadas até a fratura ou até a estrição
- Determinam-se, para cada elemento da rede de círculos, as deformações principais maiores ( $\varepsilon_1$ ) e menores ( $\varepsilon_2$ ).
- Os pares de deformações para os quais ocorre fratura são representados em uma curva

# Curva limite de conformação

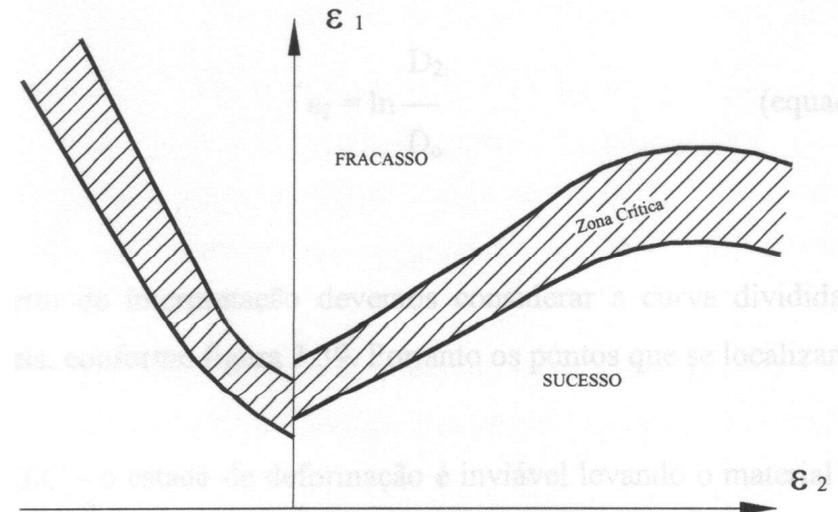


Fonte: Antenor Ferreira Filho - Doutorado

- Além da curva determinada pelas fraturas ou estricções, traça-se uma curva paralela, com os valores reduzidos em 10-20%. Essa segunda curva define uma zona crítica, onde flutuações de propriedades podem causar falha

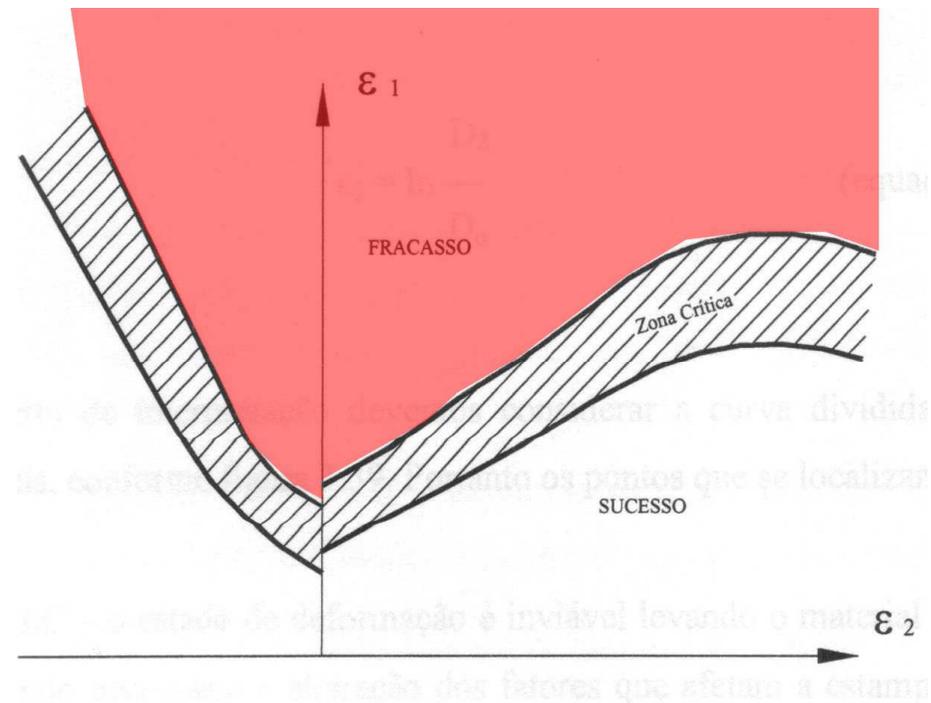
# Curva limite de conformação

- Dividida em três regiões:
  - Acima da CLC
  - Sobre a CLC
  - Abaixo da CLC



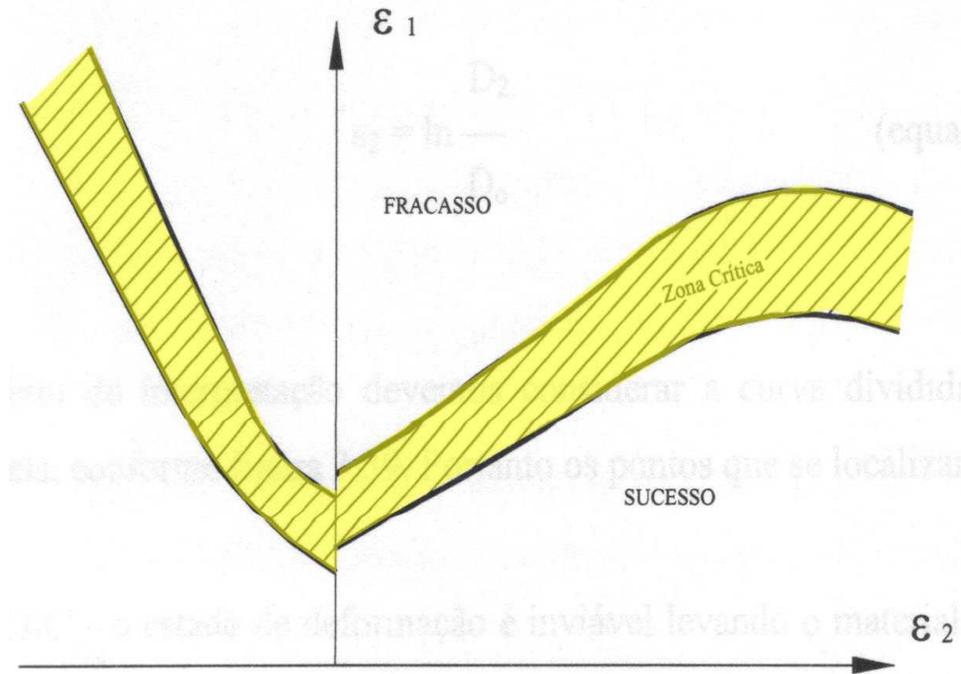
# Curva limite de conformação

- **Acima da CLC** – o estado de deformações é inviável, levando à ruptura ou estrição na peça. Para se trabalhar nessa região com sucesso, é necessário alterar propriedades do material a fim de se aumentar sua estampabilidade.



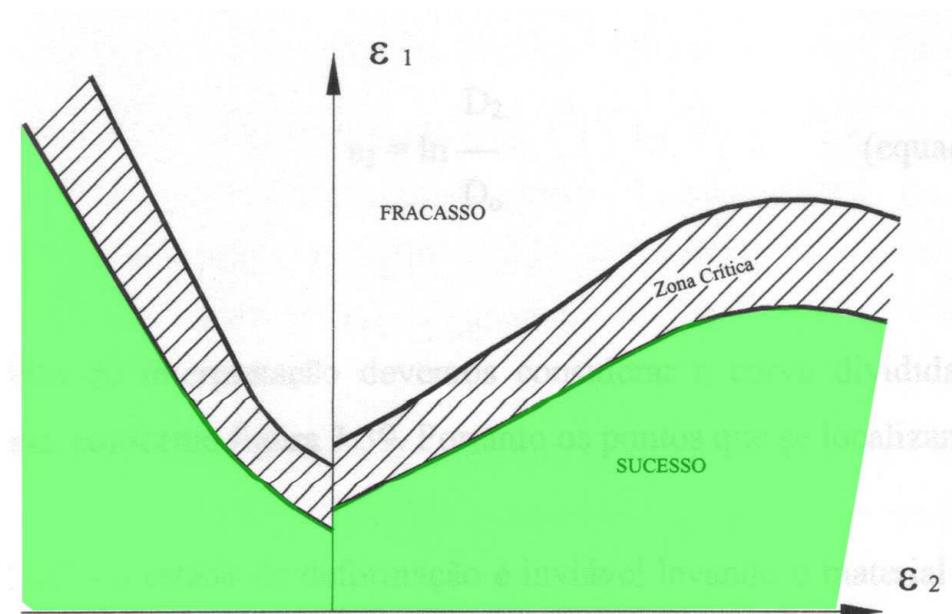
# Curva limite de conformação

- **Sobre a CLC** – É um estado crítico para se trabalhar, uma vez que heterogeneidades nas propriedades do material podem causar ruptura da peça



# Curva limite de conformação

- ***Abaixo da CLC*** – É a região em que é seguro trabalhar, uma vez que os estados de deformação obtidos não levam à estrição ou ruptura da chapa



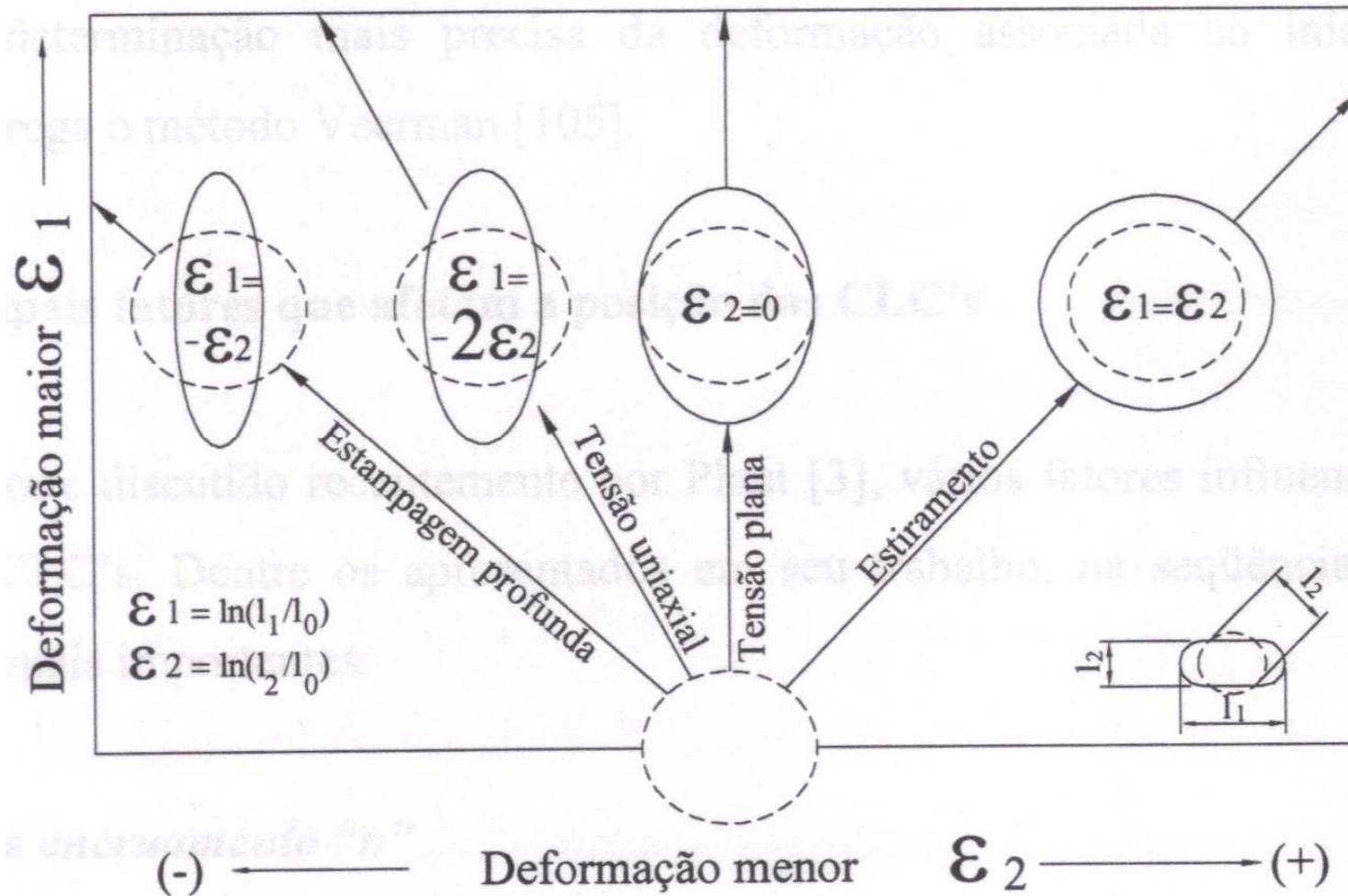
# Curvas limite de conformação

- Ambas as deformações positivas – tensões ao longo do material são maiores, e a estrição é mais difusa
- $\epsilon_1$  positiva e  $\epsilon_2$  negativa – Há a tendência de compensação, havendo baixa redução de espessura
- $\epsilon_2$  próxima de zero – Afinamento da chapa levando a estrição localizada

# Curva limite de conformação

- Após o levantamento da curva, comparam-se as deformações principais sofridas em pontos críticos da peça.
- Essas deformações são chamadas Frente Máxima de Deformação
- Pode-se determinar
  - Adequação do material
  - Possíveis excessos de pressão no prensa chapas
  - Efeitos da lubrificação e rugosidade

# Curva limite de conformação



# Curva limite de conformação

- Critérios para determinação de CLCs
- Fratura – medidas de deformação feitas nos corpos de prova após o surgimento de uma trinca.
- Estricção – Medidas após o surgimento de estricção no corpo de prova – critério mais conveniente, uma vez que a estricção já costuma ser um critério de rejeição de peças.

# Fatores que afetam as CLCs

- Coeficiente de encruamento  $n$  – redução no valor de  $n$  causa redução na posição da CLC
- Coeficiente de anisotropia normal ( $r$ )- A posição da CLC é insensível ao valor de  $r$ , mas este afeta o caminho tomado durante a deformação
- Expoente de taxa de deformação ( $m$ ) - O aumento de  $m$  está associado a uma maior uniformidade na distribuição de deformações e tende a retardar a diminuição da espessura.

# Fatores que afetam as CLCs

- Espessura do material – De maneira geral, quanto maior a espessura, maior a conformabilidade.
- Diâmetro da rede de círculos – Deve-se buscar o menor diâmetro possível, de modo a aumentar a precisão da medida.
- Efeitos geométricos – a geometria do punção pode alterar o estado de tensões na amostra. Punções esféricos tendem a dar origens a curvas em posição “mais alta”.

# Fatores que afetam as CLCs

- Atrito – a melhora na lubrificação em geral eleva a CLC
- Temperatura – Quanto mais alta a temperatura, melhor a conformabilidade do material
- Inclusões, impurezas e composição química – a presença de inclusões (especialmente óxidos e sulfetos) aumenta a ocorrência de danos durante a conformação de chapas