



Labconf

Laboratório de Conformação Mecânica - UFPR



Ensaaios de Estampabilidade

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

Processo de Estampagem

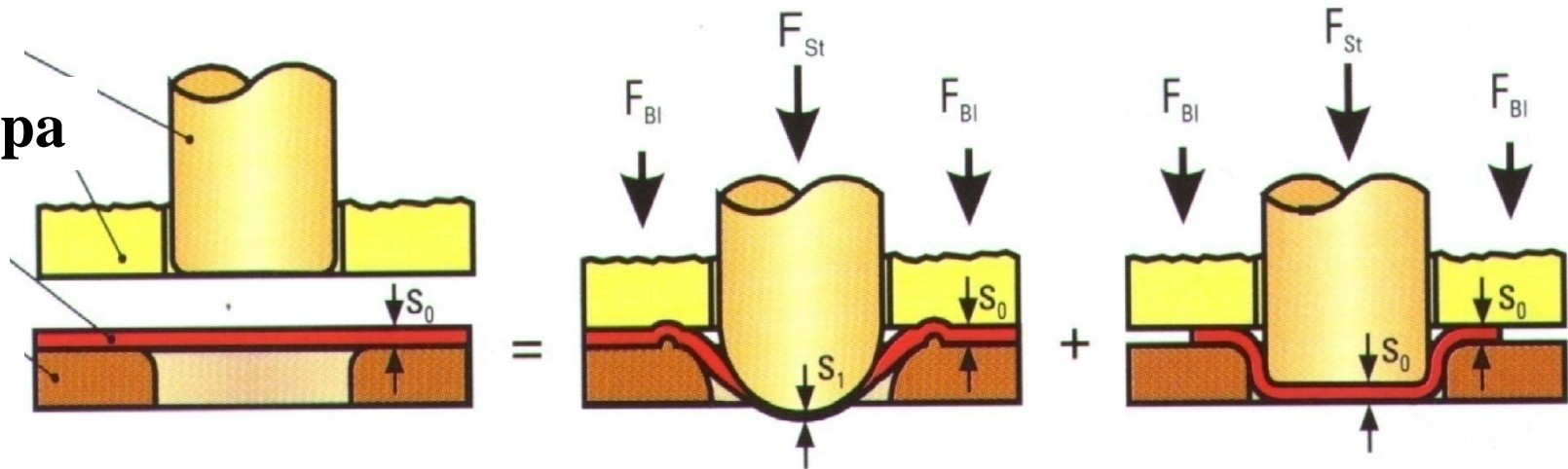
Estampagem = Estiramento + Embutimento Profundo

Punção

Pr. Chapa

Chapa

Matriz



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

Problemas:

Rupturas
Ondulações

Rugas
Retorno elástico

EMBUTIMENTO PROFUNDO E ESTIRAMENTO



Diferença básica:

Estiramento

O recorte ('blanking') *fica preso* em sua periferia e a profundidade é atingida às custas da espessura da chapa.

Embutimento

Permite-se que o recorte *se mova* para dentro da matriz e a espessura permanece nominalmente a mesma.

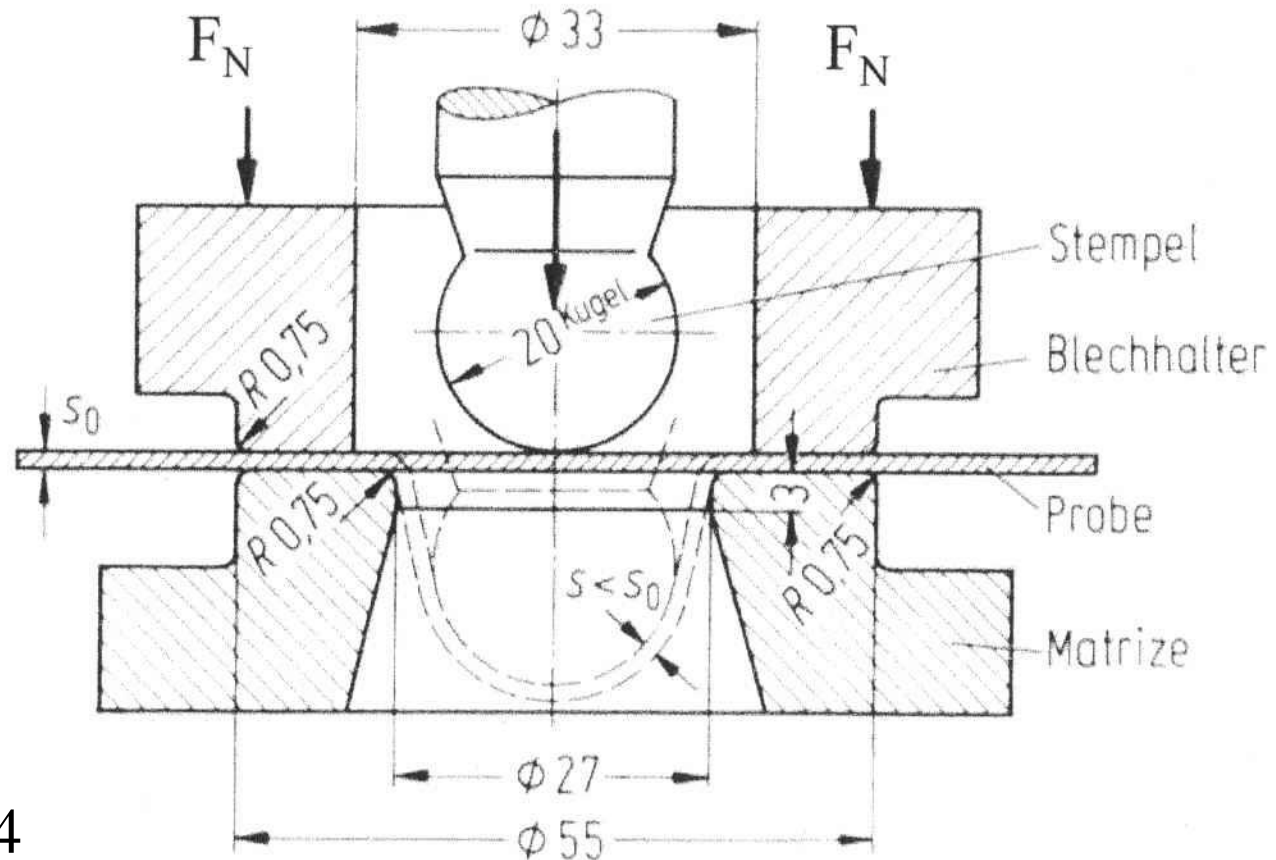
Pressão extra para sujeitar (comprimir) o recorte contra a matriz e evitar o enrugamento da chapa.

TESTES SIMULATIVOS PRÁTICOS

Teste de Erichsen



- Estimar o estiramento.
- Estimar o tamanho de grão.



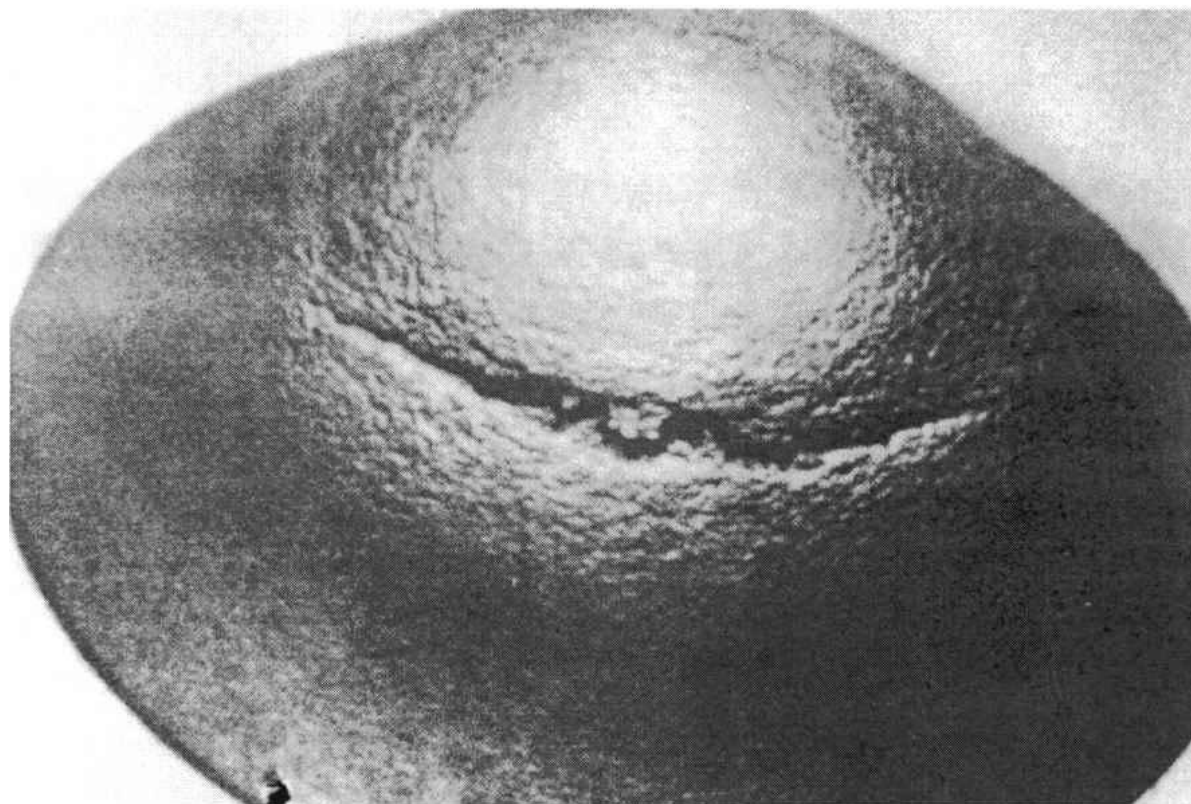
DIN 50101

ASTM E643-84

NBR 5902 (ABNT EB 295)

Defeito típico

Casca de Laranja



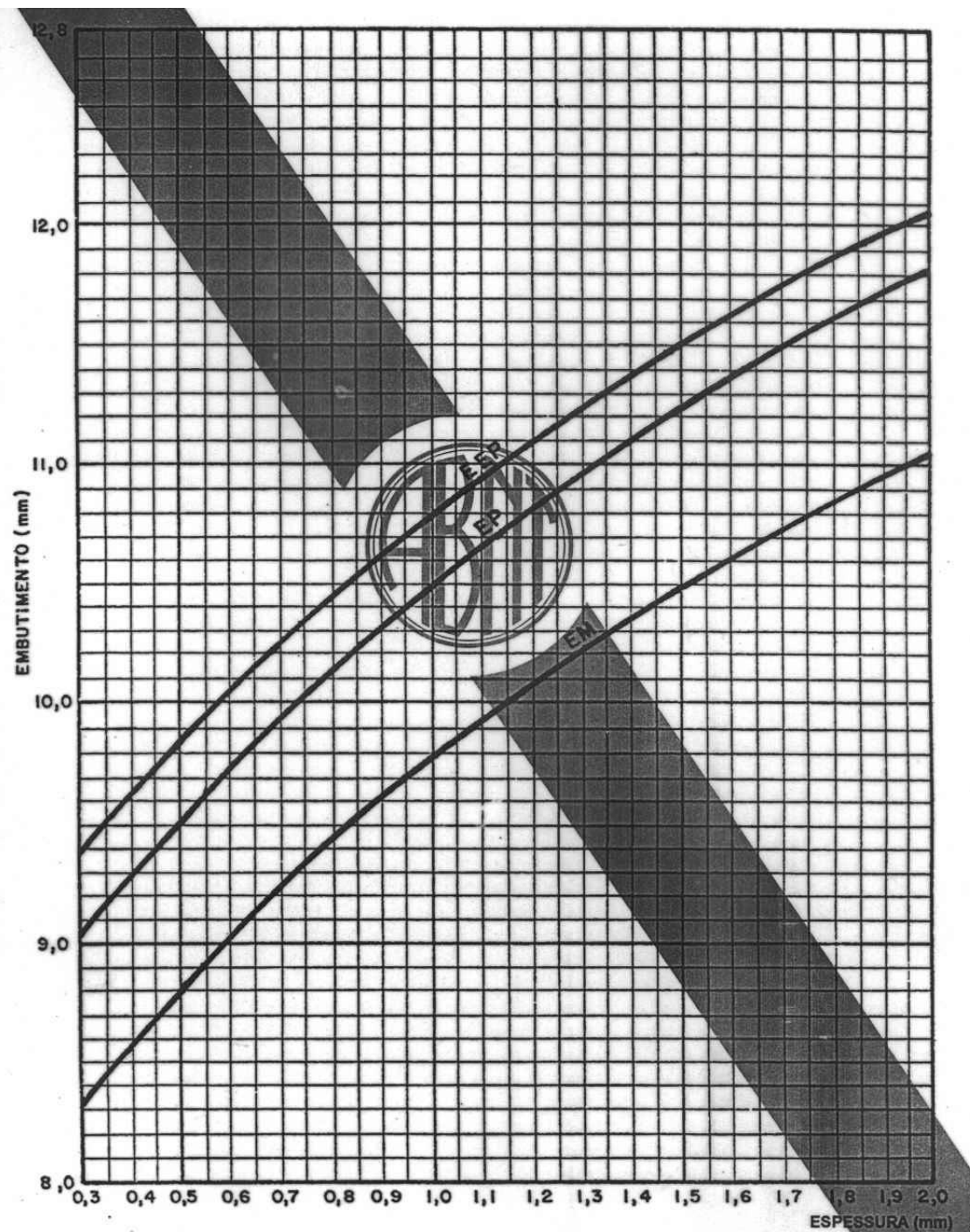
Classificação dos aços



Normas **NBR 5906**, **NBR 5902** e **NBR 5919**

Estampagem, índice de erichsen e chapas finas p/ estampagem

QC	– qualidade comercial
EM	– estampabilidade média
EP	– estampabilidade profunda
EEP	– estampabilidade extra-profunda



NBR 5915
Classificação
dos aços

NBR 5902
Erichsen

TESTES SIMULATIVOS PRÁTICOS

Teste de Olsen

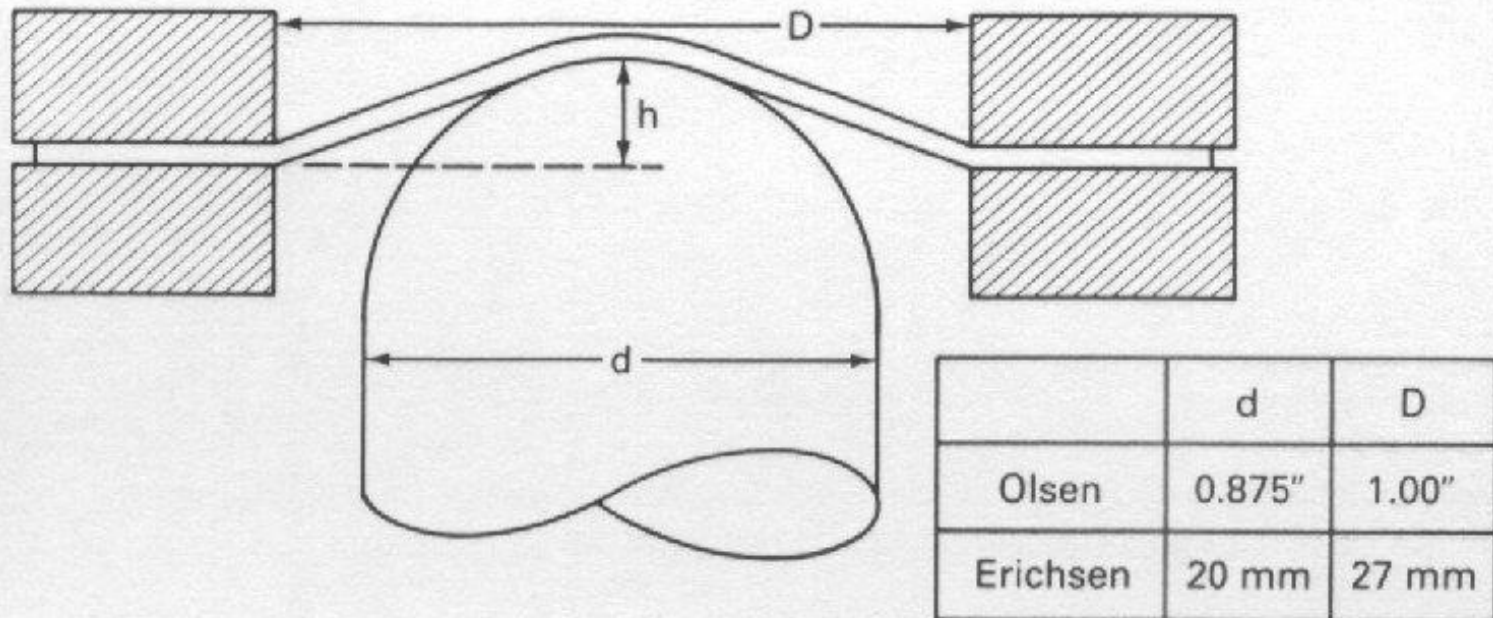


Figure 16-7 Erichsen and Olsen dome tests.

TESTES SIMULATIVOS PRÁTICOS

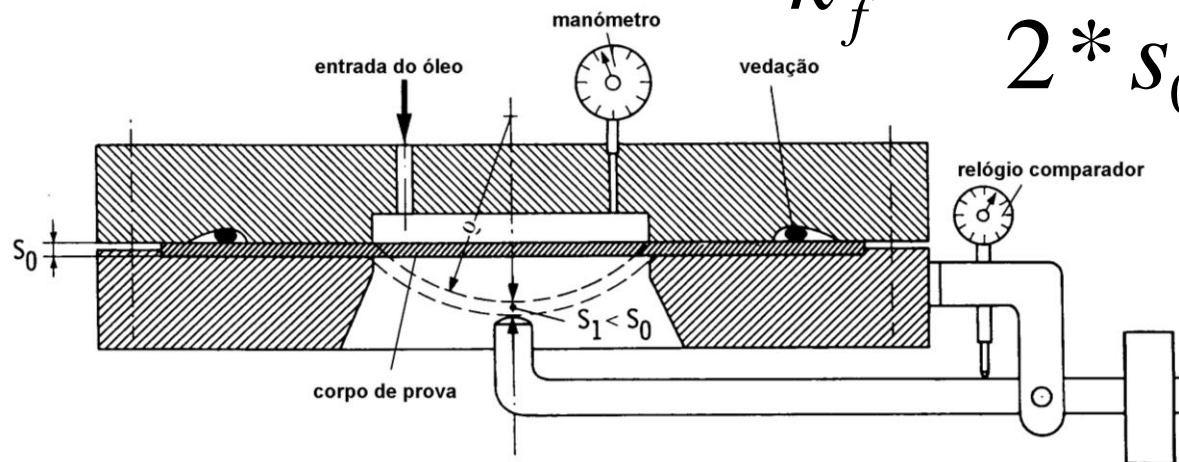
Teste de Bulge



O bulge teste é um ensaio em que um corpo de prova de chapa é estirado sob pressão de óleo.

O teste pode ser usado para a obtenção da curva de escoamento usando-se as seguintes expressões:

$$k_f = \frac{p * \rho}{2 * s_0} * e^\varepsilon \quad \varepsilon_v = \ln \frac{s_0}{s_1}$$



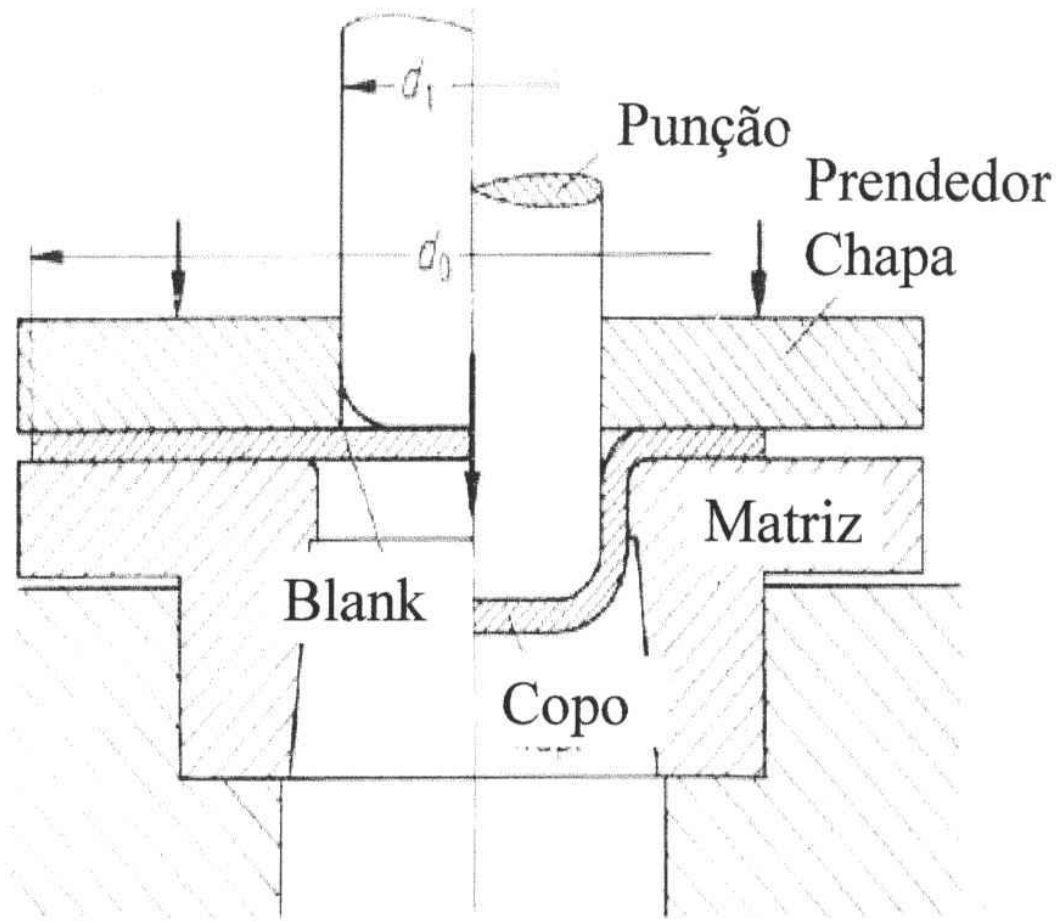
e = espessura no ponto de ε mais alta

p = pressão hidráulica

ρ = raio do abaulamento da chapa no ponto mais alto

Teste de Swift

Limite da Razão de Estampagem



Razão de Estampagem $LRE (\beta) = d_0 / d_1$
(Blank/Punção)

- Influência da lubrificação.
- Elevado número de ensaios.
- É uma medida adimensional e praticamente independente da espessura do esboço.

TESTES SIMULATIVOS PRÁTICOS

Teste de Swift



⌘ Teste de estampagem (embutimento):

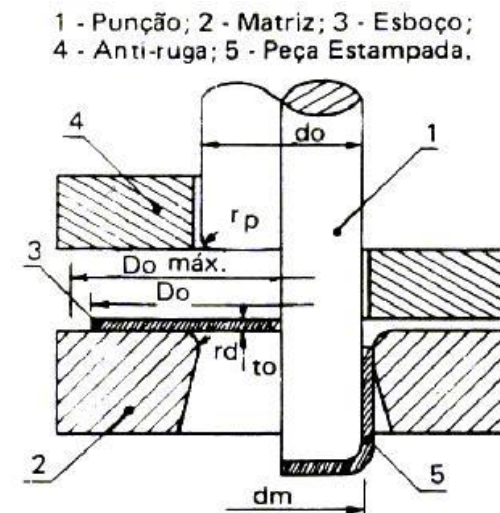
☑ Teste de Swift.

Aumenta-se gradativamente as dimensões do corpo de prova até que o material se rompa antes de ser completamente embutido. O valor medido é o RCD.

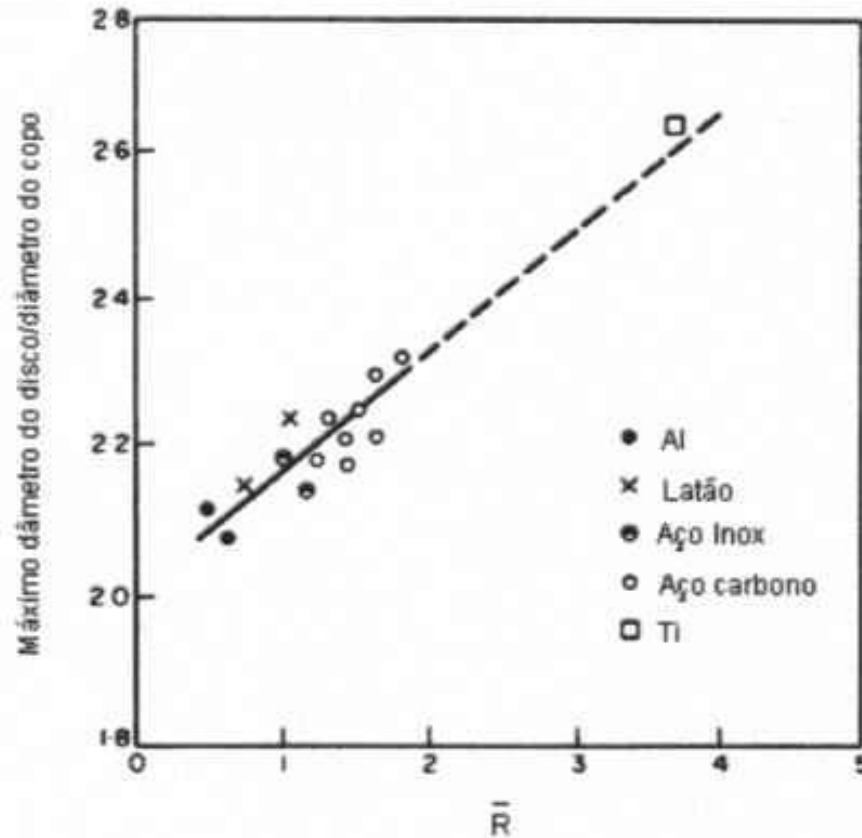
$$\text{RCD} = D_o / d_o$$

RCD = Razão crítica dos diâmetros ou

LDR = Limit drawing ratio



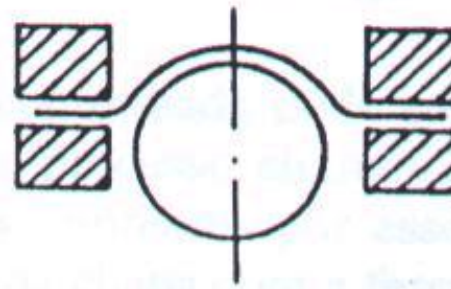
Anisotropia x Limite da Razão de Estampagem



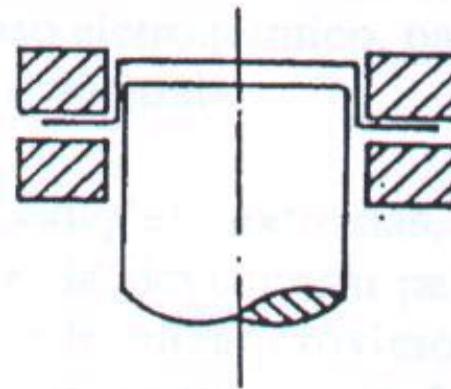
Relação entre a profundidade de embutimento e o coeficiente de anisotropia médio.

TESTES SIMULATIVOS PRÁTICOS

ERICHSEN

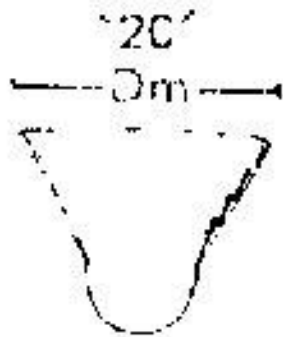
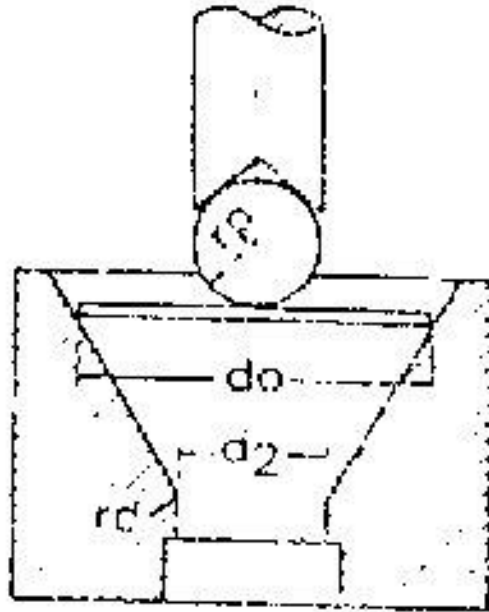


SWIFT



Testes Combinados

Teste de Fukui ou CCV (Conical Cup Value)

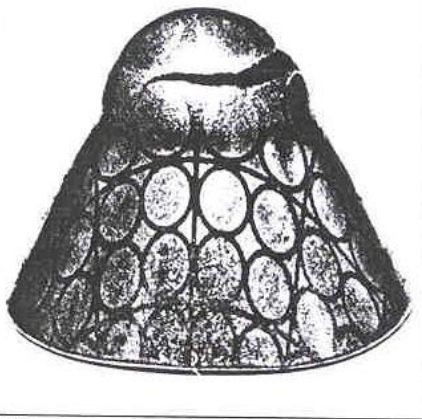


- O esboço circular é só apoiado, não há prensa chapas.
- As variações dos diâmetros ocorrem devido a anisotropia planar.
- O valor é dado em mm e depende do diâmetro inicial do esboço que é padronizado por faixa de espessura bem como o conjunto matriz e punção.
- Não se pode comparar os valores para espessuras diferentes
- O posicionamento do esboço na matriz influi no teste.

$$D_m = D_{\text{máx.}} + D_{\text{min.}} / 2$$

Teste de Fukui ou CCV

⌘ Efeito das propriedades mecânicas no teste CCV.



260



269



278



298



260

269

278

298

Teste de Fukui ou CCV

Amostra	260	269	278	298
Resultados				
R	1.462	1.865	1.714	2.191
n	0.252	0.259	0.241	0.240
Erichsen to = 0,95mm	11.37	11.60	11.43	12.07
CCV/Do (1) Do = 50mm	0.753	0.736	0.564	0.587

(1) Média de 5 ensaios. Para o valor \bar{R} elevado o teste fica instável e alguns cp's estampam totalmente sem ocorrência de fratura.

Teste de Flangeamento (KWI – Kaiser Wilhelm Institut)
Estiramento do flange



- Esboço com furo central variando o formato e dimensão do punção e do esboço.

$$\text{Expansão} = (D_f - D_o) / D_o \times 100$$

- A fratura é tipo β (próxima a borda do furo).
- As condições de usinagem são importantes para a reprodutibilidade.

Teste de Flangeamento (KWI – Kaiser Wilhelm Institut) Estiramento do flange

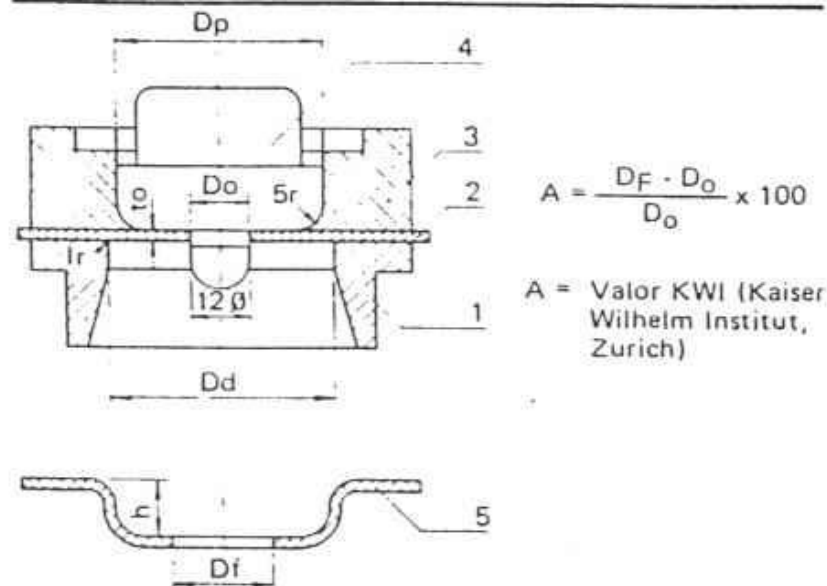


FIGURA 4.8 - Teste KWI ou de Expansão do Furo, 1 - Matriz; 2 - Esboço; 3 - Antirruga; 4 - Punção; 5 - Corpo de Prova Ensaiado.

Espessura do cp (t)	t < 1 mm	1mm < t < 2mm	2mm < t < 3mm
Diâmetro do punção (Dp)	25	40	55
Raio do punção (rp)	3	5	7
Diâmetro da matriz (Dd)	27	44	61
Raio da matriz (rd)	0,5	1	1,5
Diâmetro do antirruga (dh)	25 + €	40 + €	55 + €
Diâmetro do furo (Do)	7,5	12	16,5

(*) € - tolerância de folga (H7 - f7)

FIGURA 4.9 - Dimensões do Teste KWI, de acordo com a Figura 4.8.

Conformação por dobramento e propriedades mecânicas

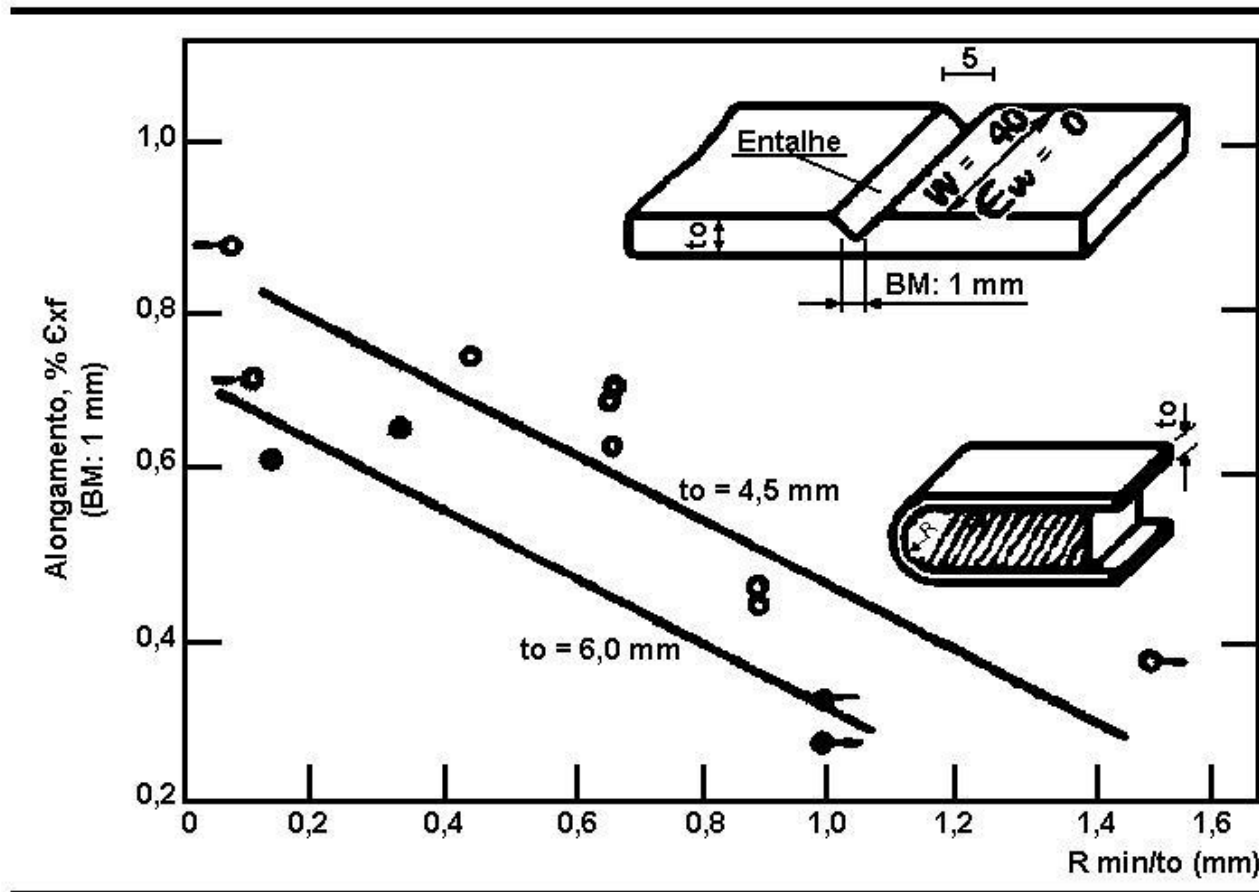


FIGURA 5.6 – Relação entre R/t_o (medida da cap. de dobramento) com o Alongamento no Ensaio de Tração com Entalhe (exf.).