

ESSE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR Jose' Manoel
Fernandes E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 31 / 08 / 98.

Sergio J. Button
ORIENTADOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

Estudo da Fabricação de latas em folhas-de-flandres pelos processos de embutimento profundo e estiramento

Autor: José Manoel Fernandes
Orientador: Sérgio Tonini Button

29/98

F391e

35595/BC

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS E
PROCESSOS DE FABRICAÇÃO**

**Estudo da fabricação de latas em
folhas-de-flandres pelos processos
de embutimento profundo e estiramento.**

Autor: **José Manoel Fernandes**

Orientador: **Sérgio Tonini Button**

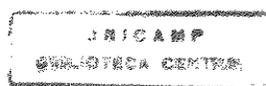
Curso: Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Materiais e Processos de Fabricação

Dissertação de mestrado apresentado à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Campinas, 1998

S.P. - Brasil



11/11/98

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	
V.	Ex.
TOMBO BC/	35595
PROC.	395/98
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	27/10/98
N.º CPD	

CM-00117711-5

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

F391e Fernandes, José Manoel
 Estudo da fabricação de latas em folhas-de-frandres
 pelos processos de embutimento profundo e estiramento.
 / José Manoel Fernandes.--Campinas, SP: [s.n.], 1998.

 Orientador: Sérgio Tonini Button
 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
 Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

 1. Trabalhos em chapa de metal. 2. Conformação de
 metais. 3. Latas. 4. Estampagem (Trabalhos em metal).
 I. Button, Sérgio Tonini. II. Universidade Estadual de
 Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III.
 Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS E
PROCESSOS DE FABRICAÇÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Estudo da fabricação de latas em
folhas-de-flandres pelos processos
de embutimento profundo e estiramento.**

Autor: José Manoel Fernandes
Orientador: Sérgio Tonini Button



Prof. Dr. Luiz Rogério de Oliveira Hein



Prof. Dr. Rodnei Bertazzoli



Prof. Dr. Sérgio Tonini Button

Campinas, 31 de agosto de 1998

Dedicatória:

Dedico este trabalho à minha família e amigos.

Agradecimentos

Este trabalho não poderia ser terminado sem a ajuda de diversas pessoas às quais presto minha homenagem:

Aos meus pais pelo incentivo em todos os momentos da minha vida.

Ao meu orientador, que me mostrou os caminhos a serem seguidos.

Ao Instituto Tecnológico de Alimentos - ITAL

Ao Centro de Tecnologia de Embalagem - CETEA

À Indústria e Comércio de Flandres Ltda.

À Companhia Siderurgica Nacional - CSN em particular ao Eng^o Carlos José de Moraes Freire.

A todos os professores e colegas do departamento, que me ajudaram de forma direta e indireta na conclusão deste trabalho.

"Nesta vida morrer não é difícil.
O difícil é a vida e o seu ofício."

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	2
2	Embalagens Metálicas	3
2.1	Processos de Fabricação	3
2.2	Matérias-primas	10
3	Estampagem Profunda, Estiramento e Ferramentas de Corte	13
3.1	Estampagem profunda	13
3.1.1	Determinação do Diâmetro do disco "blank"	17
3.1.2	Determinação do Coeficiente Limite de Embutimento (β_{max})	18
3.1.3	Definição das Dimensões Intermediárias	18
3.1.4	Análise dos Esforços Envolvidos no Processo de Embutimento	18
3.1.5	Dimensionamento das Matrizes e Punções	20
3.2	Estiramento	21
3.2.1	Cálculo das Reduções de Espessura	22
3.2.2	Definição das Dimensões Intermediárias	22
3.2.3	Análise dos Esforços Envolvidos no Processo	22
3.2.4	Verificação da Resistência ao Rastamento da Lata	24
3.2.5	Dimensionamento de Matrizes e Punções	24

3.3 Ferramentas de Corte para a Confecção do Blank	25
3.3.1 Folga entre Punção e Matriz	25
3.3.2 Dimensões dos Punções e das Matrizes	25
3.3.3 Ângulo de Saída da Matriz	26
4 Projeto das Ferramentas	27
4.1 Dimensionamento das Ferramentas para o Embutimento	28
4.1.1 Determinação do Diâmetro do Disco "blank"	28
4.1.2 Determinação do Coeficiente Limite de Embutimento (β_{max})	28
4.1.3 Definição das Dimensões Intermediárias	28
4.1.4 Análise dos Esforços Envolvidos no Processo de Embutimento	29
4.1.5 Dimensionamento de Matrizes e Punções	31
4.2 Dimensionamento das Ferramentas para o Estiramento	31
4.2.1 Cálculo das Reduções de Espessura	31
4.2.2 Definição das Dimensões Intermediárias	31
4.2.3 Análise dos Esforços Envolvidos no Processo	32
4.2.4 Verificação da Resistência ao Rasgamento da Lata	33
4.2.5 Dimensionamento de Matrizes e Punções	34
4.3 Dimensionamento das Ferramentas de Corte para a Confecção do "Blank"	34
4.3.1 Folga entre Punção e Matriz	34
4.3.2 Dimensões dos Punções e das Matrizes	34
4.3.3 Ângulo de Saída da Matriz	34
5 Materiais e Métodos	35
5.1 Introdução	35

5.2 Determinação do Revestimento de Estanho em Folha-de-Flandres	36
5.3 Medição da Força Necessária para a Conformação	38
5.4 Equipamentos	40
5.5 Descrição dos Ensaios de Estampagem e Estiramento	41
6 Resultados e Discussão	43
6.1 Esforços de Embutimento	43
6.2 Influência do Prensa-Chapa e dos Raios de Arredondamento	47
6.3 Esforços de Estiramento	50
6.4 Análise dos Corpos Embutidos e Estirados	53
7 Conclusões e Sugestões para Próximos Trabalhos	65
7.1 Conclusões	65
7.2 Sugestões	66
Referências Bibliográficas	68
Anexo	72

Resumo

FERNANDES, José Manoel, *Estudo da fabricação de latas em folha-de-flandres pelos processos de embutimento profundo e estiramento*, Campinas,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1996. 75 p. Dissertação (Mestrado)

Pela nova tecnologia de fabricação de latas embutidas e estiradas em aço ou alumínio, corrigiram-se várias desvantagens do processo convencional. O estudo realizado, indica a viabilidade do uso do aço na confecção das embalagens, frente ao alumínio, devido aos fatores tecnológicos e econômicos; analisa o processo de fabricação de latas embutidas e estiradas; comenta sobre as características superficiais das latas fabricadas e a variação na espessura da camada de estanho durante os processos.

Palavras Chave

- Embutimento profundo, Fabricação de latas, Estiramento

Abstract

FERNANDES, José Manoel, *Estudo da fabricação de latas em folha-de-flandres pelos processos de embutimento profundo e estiramento*, Campinas,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1996. 75 p. Dissertação (Mestrado)

The new manufacturing technology of can drawing and ironing in steel or aluminum presents new concepts avoiding many shortcomings of the conventional process. This work presents the following contributions: indicates the viability of steel in can manufacturing, comparing to aluminum, considering technological and economical aspects; evaluates the manufacturing process of can drawing and ironing; and discusses about superficial characteristics of manufactured cans and thickness change of the thin layer during the forming processes.

Key Words: Deep drawing, can manufacturing, ironing

Lista de Figuras

2.1 Desenho esquemático de uma lata em duas peças	4
3.1 Regiões da lata sob estampagem com diferentes estados de tensão	14
3.2 Esforços atuantes nas diversas regiões da lata	15
3.3 Elementos construtivos de um estampo	20
3.4 Reduções de espessura durante o processo de estiramento	22
3.5 Ângulo de trabalho da matriz de estiramento	25
3.6 Esquema das ferramentas de corte	26
4.1 Dimensões finais da lata	27
5.1 Etapas dos processos	35
5.2 Suporte delimitador da área de revestimento (Cachimbo)	36
5.3 Célula de carga utilizada sobre o ferramental de conformação	38
5.4 Equipamentos utilizados nas medições de força	39
5.5 Prensa chapa hidráulico	41
6.1 Região utilizada para atuar o prensa chapa na segunda operação de embutimento	48
6.2 Distribuição das regiões no corpo de prova (lata)	53
6.3 Variação de espessura em mm das paredes da lata	54

6.4 Distribuição da camada de estanho	56
6.5 Presença de estiramento na região lateral da lata durante o primeiro embutimento	58
6.6 Formação de rugas durante o segundo embutimento	59
6.7 Ruptura da lata durante o segundo embutimento	59
6.8 Região estirada no final da lata	60
6.9 Região de ruptura, devido ao estiramento provocado pelo desalinhamento do punção	60
6.10 Estiramento não uniforme na parede lateral da lata	61
6.11 Estiramento não uniforme acompanhado da presença de sulco na parede lateral da lata	62
6.12 Abaulamento lateral da parede da lata	62
6.13 Rompimento da parede lateral da lata	63

Lista de Gráficos

2.1 Consumo de latas no mercado de bebidas	4
2.2 Influência da camada de estanho na razão limite de estampagem de uma lâmina de aço com ou sem lubrificante	5
2.3 Redução do peso das latas de aço e alumínio	6
2.4 Custo do alumínio primário	8
3.1 Diagrama para o cálculo da força de embutimento profundo de peças cilíndricas em um único embutimento	19
3.2 Resistência a deformação de vários materiais	23
3.3 Gráfico para obtenção do ângulo ótimo em função do coeficiente de atrito (μ_r) e da variação na espessura da parede ($\Delta s/s_0$)	24
5.1 Potencial em função do tempo de dissolução anódica galvanostática de uma folha-de-flandres	37
5.2 Curva de calibração da célula de carga, com tensão de alimentação de 4V	40
6.1 Esforços de estampagem medidos no punção durante o primeiro embutimento - material A	43
6.2 Esforços de estampagem medidos no punção durante o primeiro embutimento - material B	44
6.3 Esforços de estampagem medidos no punção durante o segundo embutimento - material A	45
6.4 Esforços de estampagem medidos no punção durante o segundo embutimento - material B	46

6.5	Força necessária para realização do primeiro estiramento - material A	50
6.6	Força necessária para realização do primeiro estiramento - material B	50
6.7	Força necessária para realização do segundo estiramento - material A	51
6.8	Força necessária para realização do segundo estiramento - material B	52

Lista de Tabelas

2.1 Comparação do custo das embalagens em 1994 - (US\$/1000unidades)	8
2.2 Comparação do custo das embalagens em 1995 - (US\$/1000unidades)	9
2.3 Compostos intermetálicos	11
3.1 Defeitos em produtos embutidos	16
5.1 Composição química da matéria-prima	35
5.2 Propriedades mecânicas dos materiais	36
6.1 Resultado da média (\bar{y}) e desvio padrão (S) do diâmetro, altura e espessura dos corpos de provas durante os ensaios	46
6.2 Resultado da média (\bar{y}) e do desvio padrão (S) de estanho (g/m^2) durante os processos de confecção do "blank", embutimento e estiramento da folha-de-fladres	55

Nomenclatura

Letras Latinas

A	área da secção da parede da lata	[mm ²]
A ₀	área projetada da base da lata antes da etapa 1 do estiramento	[mm ²]
A ₁	área projetada da base da lata após a etapa 1 do estiramento	[mm ²]
A _{1e}	área da secção da parede da lata na etapa 1 do estiramento	[mm ²]
A ₂	área projetada da base da lata após a etapa 2 do estiramento	[mm ²]
A _{2e}	área da secção da parede da lata na etapa 2 do estiramento	[mm ²]
A _s	área da amostra	[m ²]
d ₁	diâmetro do punção de embutimento na etapa 1	[mm]
d ₂	diâmetro do punção de embutimento na etapa 2	[mm]
d _m	diâmetro médio da lata	[mm]
d _{mc}	diâmetro da matriz de corte	[mm]
d _p	diâmetro do punção	[mm]
d _{pc}	diâmetro do punção de corte	[mm]
D ₀	diâmetro do "blank" (disco a ser embutido)	[mm]
E	equivalente eletroquímico do estanho	[g/coulomb]
F	força de estiramento	[kgf]
F _{1A}	força para o primeiro estiramento do material A	[kgf]
F _{1B}	força para o primeiro estiramento do material B	[kgf]
F _{2A}	força para o segundo estiramento do material A	[kgf]
F _{2B}	força para o segundo estiramento do material B	[kgf]
F _{e_{max}}	força máxima de embutimento	[kgf]
F _{e_{max}1A}	força máxima de embutimento do material A na etapa 1	[kgf]
F _{e_{max}1B}	força máxima de embutimento do material B na etapa 1	[kgf]
F _{e_{max}2A}	força máxima de embutimento do material A na etapa 2	[kgf]
F _{e_{max}2B}	força máxima de embutimento do material B na etapa 2	[kgf]
F _s	força de sujeição	[kgf]
F _{s1A}	força de sujeição no embutimento do material A na etapa 1	[kgf]
F _{s1B}	força de sujeição no embutimento do material B na etapa 1	[kgf]
F _{s2A}	força de sujeição no embutimento do material A na etapa 2	[kgf]
F _{s2B}	força de sujeição no embutimento do material B na etapa 2	[kgf]
f	folga entre punção e matriz	[mm]
f _c	folga entre o punção e matriz de corte	[mm]

h_1	altura da lata na etapa 1 do embutimento	[mm]
h_2	altura da lata na etapa 2 do embutimento	[mm]
h_f	altura final da lata	[mm]
h_{f1}	altura da lata após o primeiro estiramento	[mm]
I	corrente de desestanhamento	[A]
k_{fm}	resistência média a deformação	[kgf/mm ²]
l_1	comprimento do punção na etapa 1 do embutimento	[mm]
l_2	comprimento do punção na etapa 2 do embutimento e durante o estiramento	[mm]
M_1	quantidade de estanho livre por face	[g/m ²]
M_2	quantidade de estanho ligado por face	[g/m ²]
P	força do punção da prensa	[kgf]
P_s	pressão de sujeição	[kgf/cm ²]
P_{s1A}	pressão de sujeição no embutimento do material A na etapa 1	[kgf/cm ²]
P_{s1B}	pressão de sujeição no embutimento do material B na etapa 1	[kgf/cm ²]
P_{s2A}	pressão de sujeição no embutimento do material A na etapa 2	[kgf/cm ²]
P_{s2B}	pressão de sujeição no embutimento do material B na etapa 2	[kgf/cm ²]
r_m	raio de arredondamento da matriz	[mm]
r_{mat}	raio da matriz	[mm]
r_p	raio do punção	[mm]
S	desvio-padrão	[mm]
s	espessura do corpo-de-prova	[mm]
s_0	espessura do blank	[mm]
s_2	espessura final da parede da lata durante o embutimento	[mm]
s_f	espessura final da parede da lata	[mm]
s_{f1}	espessura da parede da lata após a etapa 1 do estiramento	[mm]
t_1	tempo requerido para a remoção do estanho livre	[s]
t_2	tempo requerido para a remoção do estanho ligado	[s]
V	voltagem de saída	[V]
V_0	voltagem de alimentação	[V]
\bar{y}	média	[mm]

Letras Gregas

α_{opt}	ângulo ótimo da matriz de estiramento	[graus]
β	coeficiente limite de embutimento	
β_{max}	coeficiente limite de embutimento máximo	
β_1	coeficiente limite de embutimento na etapa 1	
β_2	coeficiente limite de embutimento na etapa 2	
ΔS	variação da espessura da parede	
ε_d	deformação na compressão	
η	relação entre tensão de embutimento e a resistência a tração	
η_f	rendimento na deformação	

φ_g	deformação logarítmica	
μ	coeficiente de atrito	
σ_r	resistência a tração do material	[kgf/mm ²]
σ_{rA}	resistência a tração do material A	[kgf/mm ²]
σ_{rB}	resistência a tração do material B	[kgf/mm ²]

Siglas

CETEA - Centro de Tecnologia de Embalagem

CSN - Companhia Siderurgica Nacional

ITAL - Instituto Tecnológico de Alimentos

ECS - Eletrodo de Calomelano Saturado

Capítulo 1

Introdução

Com a crescente necessidade de embalagens mais adequadas para a indústria alimentícia, uma grande porcentagem dos alimentos estão sendo acondicionados em recipientes metálicos.

No processo convencional de fabricação de latas, as folhas-de-flandres são calandradas e brasadas com a utilização do chumbo. Devido à preocupação da contaminação de chumbo nos alimentos enlatados, foram utilizados novos processos de soldagem ausentes de chumbo, através da soldagem e da colagem.

Atualmente, quase a totalidade das latas são produzidas a partir do embutimento profundo de discos metálicos de alumínio ou de aço, seguido de estiramento.

Latas de aço embutidas e estiradas, possuem espessura da parede muito mais fina, aproximadamente 0,10 mm comparadas com 0,25 mm das latas de três partes.

A estimativa de crescimento do mercado de latas entre os anos de 1995 a 2000, aponta a América Latina como a região que terá o maior percentual de desenvolvimento. Será o Brasil o maior produtor de latas de toda a América Latina, com uma capacidade de produção anual em torno de 13 bilhões de latas (NUTTING, 1996)

No programa de utilização de latas de alumínio recicladas, iniciado em 1991 pela LATASA, é possível uma redução de 8% a 14% no preço da chapa de alumínio, quando são utilizados 15 mil ou mais toneladas de material reciclado (NETO, 1995).

Desde 1991, a diferença do preço entre o alumínio primário e o alumínio reciclado é menor que 20 centavos por libra (MCBRIDE & KECK, 1994).

A competitividade da folha-de-flandres, como matéria prima na produção de latas de duas peças, dá-se por vantagens como:

- maior rigidez das latas em aço, facilitando o transporte;
- a lubrificação necessária à produção de latas em alumínio é mais exigente que para as folhas-de-flandres;
- o custo de limpeza e tratamento para a folha-de-flandres, representa um terço do custo para o alumínio;
- as latas de aço suportam níveis mais elevados de pressão e temperatura, o que é uma característica vantajosa em termos de processamento de produtos alimentícios, que necessitam ser tratados após terem sido embalados;
- o revestimento de estanho encontrado nas folhas-de-flandres, segundo JEKINS et al. (1976), age como um lubrificante durante o processo de estiramento, e serve como base para a aplicação de vernizes e litografia após a conformação da lata.
- evita o problema, ainda não comprovado, dos efeitos do Al_2O_3 no sistema neurológico humano.

1.1 Objetivos

- Estudar o processo de fabricação de latas em folhas-de-flandres, sem emendas a serem utilizadas na indústria alimentícia.
- Projetar e construir as ferramentas necessárias para a fabricação das latas através de etapas de embutimento profundo e estiramento.
- Executar ensaios com folhas-de-flandres disponíveis no mercado, a fim de verificar o desempenho das ferramentas construídas e a influência dos diversos fatores de processamento sobre a qualidade dos produtos, com a avaliação dos esforços, da textura superficial e da espessura da camada de estanho.

Capítulo 2

Embalagens Metálicas

2.1 Processos de Fabricação

O enlatamento pode ser definido como a embalagem de produtos perecíveis, em recipientes hermeticamente fechados, que possam ser estocados à temperatura ambiente por vários meses ou anos, sem ocorrer o deterioramento do alimento.

Em 1795, devido ao envolvimento da França em revoluções e conflitos com países europeus, o governo de Napoleão oferecia 12.000 francos, como prêmio a qualquer pessoa que desenvolvesse um processo para a preservação de alimentos.

Nicholas Appert, em 1809 foi o premiado. Ele reconheceu, a partir de experiências realizadas com garrafas de vidros, a necessidade do cozimento e vedamento das embalagens contra a deterioração dos alimentos (REINGOLD, 1986).

Um ano após o reconhecimento do processo de Appert, o inglês Peter Durand, compreendeu e patenteou a idéia usando vasilhas de vidros, cerâmicas, folha-de-flandres e outros metais e materiais convenientes.

Embalagens metálicas foram utilizadas antes de 1900, produzidas manualmente em corpos cilíndricos brasados com Sn/Pb às bases e às tampas, em formato de disco.

O alimento era enlatado através de uma pequena abertura na tampa e após o cozimento do mesmo, o orifício era fechado por meio de solda.

Durante todo o século, a fabricação de embalagens metálicas em três peças, sofreu grande evolução, passando do processo de brasagem para eletrossoldadas e agrafadas com resina termofixa.

Como mostra a FIG. 2.1, as embalagens metálicas atuais são produzidas em duas peças, por embutimento simples, embutimento seguido de embutimento inverso ou embutimento acompanhado da operação de estiramento. As vantagens do processo de duas peças sobre o de três são várias tais como:

- redução das chances de vazamento, com a eliminação das junções lateral e basal;
- menor custo de fabricação, cerca de 45 a 60% (Cut Can Costs, 1973);
- melhor qualidade e facilidade de repetição nas tolerâncias dimensionais.

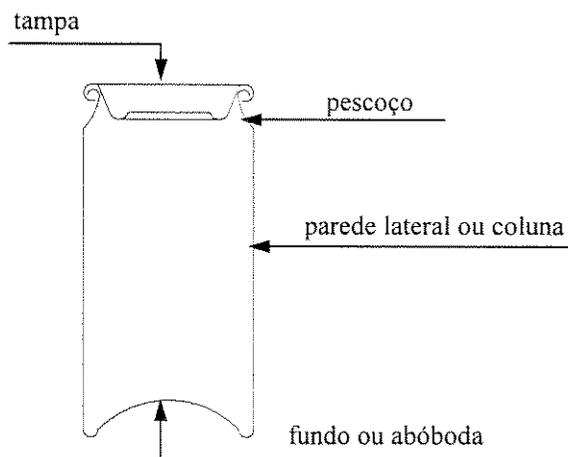


FIGURA 2.1 - Desenho esquemático de uma lata em duas peças

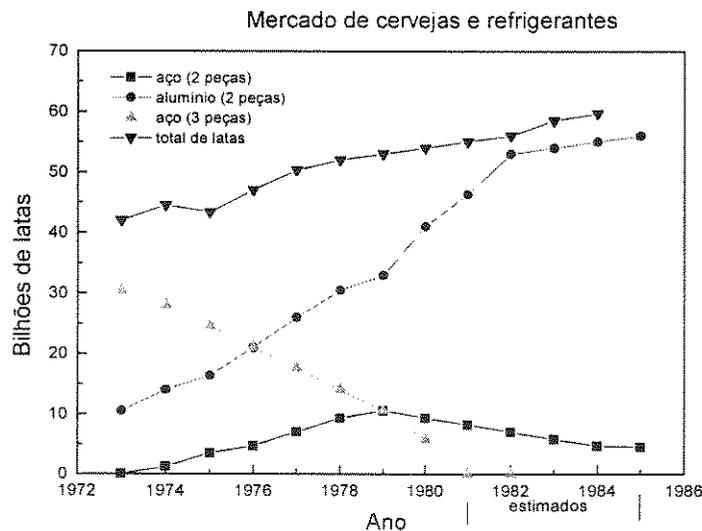


GRÁFICO 2.1 - Consumo de latas no mercado de bebidas

FONTE - ANDREW, G., 1983. p.95.

O GRAF. 2.1 revela a crescente utilização de embalagens embutidas em relação às embalagens em três peças, para o armazenamento de bebidas; o maior uso de latas de alumínio frente às latas de aço; o aumento na produção de embalagens metálicas para as indústrias de bebidas.

As embalagens metálicas mais populares, são confeccionadas em folhas-de-flandres ou em alumínio.

As folhas-de-flandres são lâminas de aço recobertas por uma fina camada de estanho. A camada de estanho tem como funções proteger o aço contra a possível corrosão, quando em contato com água, oxigênio, ácidos ou outros compostos químicos; prolongar a vida das ferramentas (matriz e punção), através da redução do atrito e melhorar a razão limite de estampagem, ou seja contribui para uma maior estampabilidade (GRAF. 2.2).

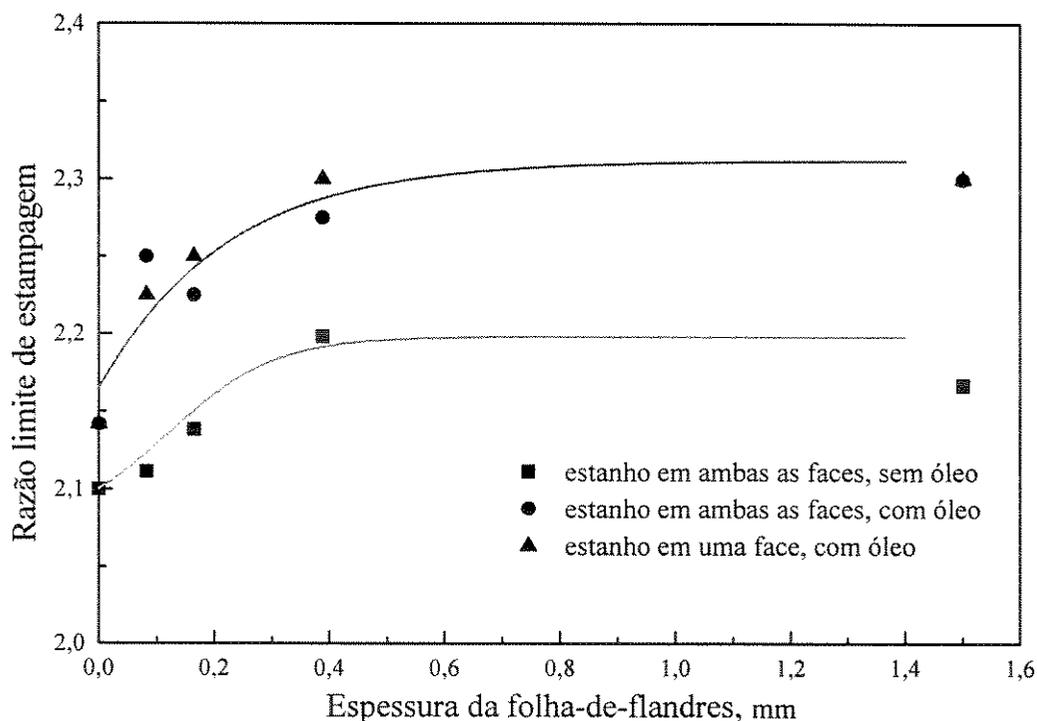


GRÁFICO 2.2 - Influência da camada de estanho na razão limite de estampagem de uma lâmina de aço com ou sem lubrificante.

FONTE - METALS HANDBOOK, 1986. p. 563.

Comparado com o aço, o alumínio apresenta vantagens e desvantagens econômicas e mecânicas tais como:

- *mecânicas*

- menor densidade (cerca de 1/3 da do aço);
- alta ductilidade, permitindo embutimento mais profundo;
- maior resistência a uma atmosfera corrosiva, devido à formação do filme de óxido de alumínio no lado externo da embalagem, quando em contato com o ar;
- maior facilidade no processo de reciclagem;
- a resistência da coluna, a resistência à pressão na abóbada, a resistência à queda e a resistência à torção das latas de alumínio são em média, 50% inferiores as latas de aço embutidas e estiradas, limitando o uso do alumínio na fabricação de embalagens, exceto em latas de bebidas gaseificadas, onde a pressão do dióxido de carbono providencia a rigidez necessária. Isto significa que as latas de aço podem apresentar a espessura da parede do fundo 20% menor do que as correspondentes em alumínio.

Como mostra o GRAF. 2.3, a queda no peso da lata de aço é muito mais acentuada que a similar em alumínio e continua caindo na faixa de 4 a 5% ao ano.

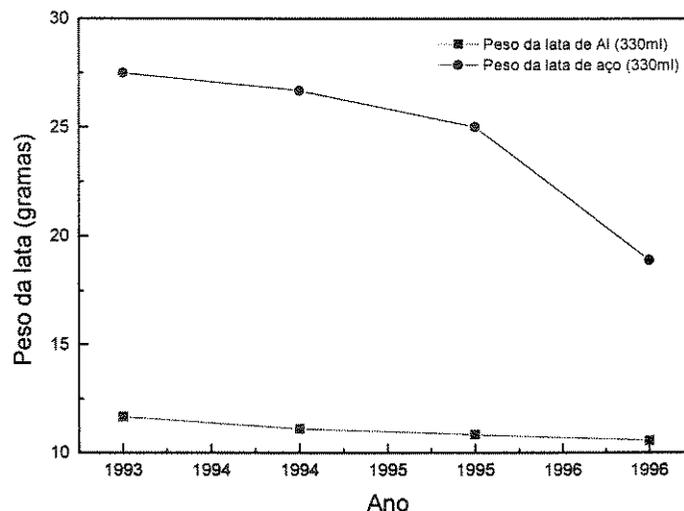


GRÁFICO 2.3 - Redução do peso das latas de aço e alumínio.

FONTE - SCHRAFFT, H., 1995. July. p. 29.

O aço para latas embutidas e estiradas pode ser considerado um novo material em termos da capacidade para o desenvolvimento futuro e a redução de peso das latas de aço torna capaz uma grande diminuição no custo das latas, sem qualquer modificação na linha de produção. Entretanto, o alumínio para latas embutidas e estiradas já se encontra no ponto máximo do seu potencial de desenvolvimento e apresenta resultados inferiores a cada redução de peso a que é submetido.

Segundo NUTTING (1995, apr.), a espessura da folha metálica depende primeiro da pressão de deformação ou seja da estabilidade do fundo da lata, para o alumínio a espessura mínima é igual a 0,30 mm, para o aço é em torno de 0,20 mm.

A espessura da parede para latas de bebidas é também limitada pela máxima estabilidade axial. Independentemente da carga durante o transporte e estocagem, as latas são submetidas a uma alta carga axial durante o enchimento, quando são tampadas. A força para o fechamento é geralmente de 600 N, mas para uma margem de segurança, utilizam-se 1000N.

Usando estes parâmetros como guia, a menor espessura da parede é de 0,100 mm para latas de alumínio e 0,065mm para latas de aço.

• *econômicas*

- maior custo na obtenção da matéria prima;
- crescente aumento no preço do alumínio, como mostra o gráfico 2.4

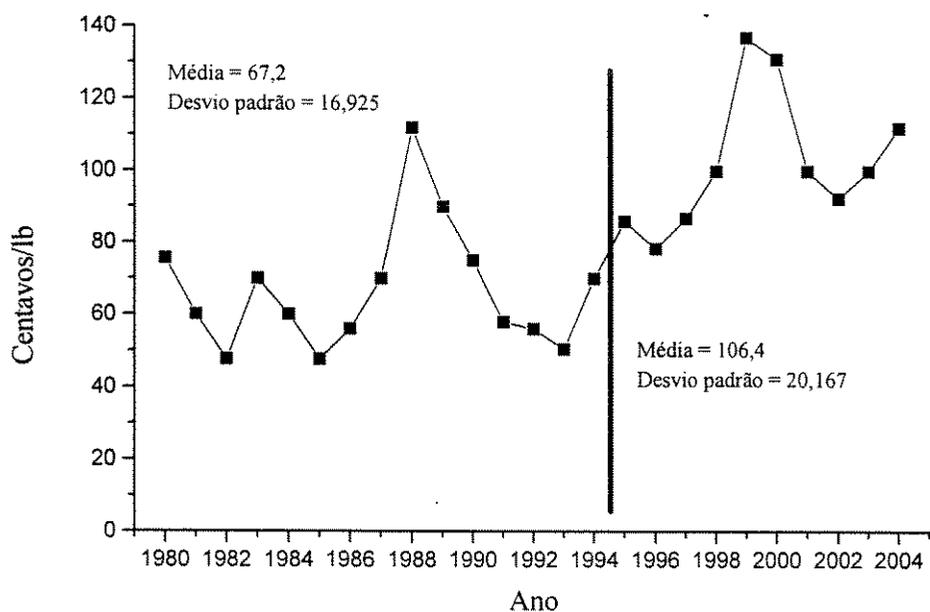


GRÁFICO 2.4 - Custo do alumínio primário

FONTE - TIDLOW, J., 1995. june, p.29.

Em 1994 as latas de alumínio se mostraram mais vantajosas economicamente no mercado dos Estados Unidos da América, Japonês e Coreano, devido à queda observada no preço do alumínio (TAB. 2.1).

TABELA 2.1

Comparação do custo das embalagens em 1994 - (US\$/1000 unidades)

Países/M.Prima	Alumínio	Aço	PET	Vidro
E.U.A.	56,26	60,77	71,01	95,99
Alemanha	66,68	67,88	76,27	117,70
França	63,31	63,89	73,37	102,10
Reino Unido	60,66	60,51	70,93	93,98
Coréia	56,73	59,31	72,33	80,58
Japão	75,60	82,88	82,42	144,20

FONTE - TIDLOW, J., 1995. june, p. 30.

Para o ano de 1995, o custo das latas de alumínio foi de 25 a 28% superior ao de 1994, sendo este o primeiro aumento significativo nos últimos 10 anos (TIDLOW, 1995).

Devido a esse aumento no custo, lata de aço já se tornou uma alternativa viável na Europa e no Japão, sendo que nos E.U.A. a oportunidade para o aço começa a ser discutida entre as companhias de bebidas.

Como mostra a TAB. 2.2, em 1995 houve uma redução no preço do aço, comparado com outros tipos de embalagens

TABELA 2.2

Comparação do custo das embalagens em 1995 - (US\$/1000 unidades)

Países/M.Prima	Alumínio	Aço	PET	Vidro
E.U.A.	70,58	65,66	70,68	95,22
Alemanha	78,34	71,65	75,32	117,40
França	74,88	67,55	72,86	102,20
Reino Unido	72,24	64,17	70,40	93,71
Coréia	71,48	64,96	72,10	80,07
Japão	89,94	87,36	82,52	114,60

FONTE - TIDLOW, J., 1995. june, p. 31.

Até então o alumínio tem sido o material escolhido. Mas com a alta no custo das latas de alumínio devido a baixa competitividade entre os fornecedores e as indústrias produtoras de alumínio e o progresso tecnológico, as companhias estão em busca de materiais alternativos tais como embalagens de aço ou PET.

O aço representa 40% das embalagens de bebidas no Mercado Europeu, 51% na Asia (Costa do Pacífico) e 52% na África (MCBRIDE & KECK, 1994).

Por ser o maior país da América Latina e o quinto maior do mundo, o Brasil representa um grande potencial para o comércio de latas que inclui tintas, óleo comestível e bebidas carbonatadas. Em 1992 o óleo comestível representou 33% das folhas-de-flandres produzidas para embalagens.

Durante o ano de 1980, o Brasil consumia cerca de 90% de cerveja e 92% de refrigerantes armazenados em garrafas de vidro. Já em 1992 o volume de refrigerantes embalados em vidro caiu para 85% (SHOSHAN, 1994). Na América do Sul o comércio de

latas para bebidas carbonatadas é pequeno, devido a fatores econômicos e principalmente pela preferência do consumidor por embalagens de vidro.

O mercado de embalagens de bebidas carbonatadas no Brasil possui um potencial de demanda muito grande, pois aqui produz-se 11,5 bilhões de litros de bebidas carbonatadas ao ano, 55% de refrigerantes e 45% de cervejas. Em 1993 o mercado de cerveja no Brasil foi o sexto maior do mundo e o de refrigerante foi o terceiro maior do mundo, perdendo apenas para os E.U.A. e o México (SCHRAFFT, 1996).

O Brasil possui mais de 50 companhias no setor de latas. As sete maiores fabricantes de latas de aço são Rheem, Matarazzo, Prada, Brasilata, Real Metalco, Mococa e Iguazu que fabricam latas de três partes, a Latasa, American National Can, Ball Corporation e a Crown Cork e Seal fabricam latas de alumínio em duas peças, atualmente a CSN Steel Can Line iniciou a fabricação de latas em duas peças utilizando folha-de-flandres.

2.2 Matérias-primas

O aço utilizado na produção de folha-de-flandres é de baixo carbono e apresenta-se, em três tipos:

- (1) **L** com baixo teor de fósforo e de elementos residuais para alimentos corrosivos;
- (2) **MR** com baixo teor de fósforo sem restrição para os elementos residuais, indicados para o uso geral;
- (3) **D** que é um aço acalmado ao alumínio e serve para estampagens difíceis (BERTAZZOLI, 1989)

A utilidade da folha-de-flandres depende da espessura do aço base e do revestimento de estanho. O material final deve possuir as características necessárias para permitir a conformação e transformação em recipientes metálicos

Durante a produção de folha-de-flandres, na etapa de abrilhantamento por fusão, há formação de uma camada de liga Fe-Sn, que protege diretamente o aço-base contra à corrosão, manchas de sulfuração (FeS) e melhora a aderência do revestimento e do verniz. O abrilhantamento por fusão consiste no aquecimento da tira a uma temperatura pouco

superior à temperatura de fusão do estanho (232°C), seguido de um rápido resfriamento, com o objetivo de tornar a superfície brilhante e reduzir a porosidade da mesma.

A formação das ligas Fe-Sn, que se constituem numa camada intermediária entre o estanho e o aço, faz com que a massa de estanho diminua.

Estas ligas são compostos intermetálicos cuja estequiometria depende da temperatura do tratamento (TAB. 2.3).

TABELA 2.3
Compostos intermetálicos

intermetálicos	temperaturas
FeSn ₂	abaixo de 496°C
FeSn	496°C a 620 °C
FeSn - Fe ₃ Sn ₂	620 °C a 740°C
Fe ₃ Sn ₂	740°C a 750°C
Fe ₃ Sn ₂ - Fe ₃ Sn	750°C a 830°C

FONTE: BERTAZZOLI, R., 1989. p.57.

A massa por unidade de área ou espessura do revestimento de estanho, é um dos principais determinantes para a proteção do aço-base e minimizar a interação do material com o produto enlatado (resistência à corrosão), aparência agradável e garantia de soldabilidade das folhas-de-flandres.

Diferentes espessuras de revestimentos podem ser aplicadas sobre o aço-base na produção de vários tipos de folhas-de-flandres. O custo e a capacidade de proteção contra a corrosão estão diretamente relacionados com a espessura do revestimento. As folhas-de-flandres podem ser fabricadas com espessura igual em ambos os lados ou diferente de revestimento.

Do ponto de vista de redução de custos e economia de material, folhas-de-flandres com baixo revestimento de estanho têm sido freqüentemente usadas em latas sanitárias, algumas vezes submetidas a grandes deformações como embutimento, estiramento e formação de

frisos durante a sua fabricação, ocorrendo a exposição de ferro em maior intensidade nestas regiões mecanicamente deformadas.

O ferro exposto em latas de folhas de aço pode causar o estufamento por produção de hidrogênio ou a perfuração de latas, quando no acondicionamento de produtos preferencialmente agressivos ao ferro.

O sulfeto de ferro (FeS) é formado nas discontinuidades do revestimento de estanho e/ou do verniz. O sulfeto de estanho (SnS) afeta toda a superfície de revestimento de estanho.

A sulfuração pode ocorrer mesmo em folhas envernizadas, dependendo da permeabilidade do verniz, porém esta reação ocorre principalmente nas latas sem aplicação de verniz.

A superfície das chapas estanhadas pode ser envernizada com facilidade ou receber impressões gráficas. Vernizes e lacas são aplicadas em folhas-de-flandres para oferecer proteção adicional contra a corrosão em certos casos. Por exemplo, a cerveja quando em contato prolongado com o estanho torna-se turva.

A qualidade do envernizamento ou impressão sobre a folha-de-flandres, depende da quantidade de óxidos formados na superfície. Os óxidos de estanho podem ser apresentados na operação de abrlhantamento ou na estocagem do material e tendem a descolorir-se durante a cura do verniz, além de prejudicar a aderência deste e das impressões gráficas. Para evitar este tipo de problema a chapa estanhada recebe uma película de cromo, operação denominada passivação.

Conclui-se que a fabricação de embalagens embutidas em aço será economicamente vantajosa devido à forte demanda de latas de alumínio, principalmente no setor de bebidas; aos diferentes tipos de aço com custos menores; à falta de empresas do setor no mercado nacional; às recentes elevações nos preços do alumínio; por apresentarem melhor resistência mecânica às cargas dinâmicas nas operações de enchimento e fechamento da lata e resistência ao transporte; e principalmente por ser atualmente mais barata que a fabricação de latas de alumínio.

Capítulo 3

Estampagem Profunda, Estiramento e Ferramentas de Corte

3.1 Estampagem Profunda

O embutimento ou estampagem profunda, representada pela FIG. 3.1 é um processo de conformação plástica que ocorre pela ação de forças trativas e compressivas indiretas, devidas à interação do material com as ferramentas (matriz, punção e sujeitador).

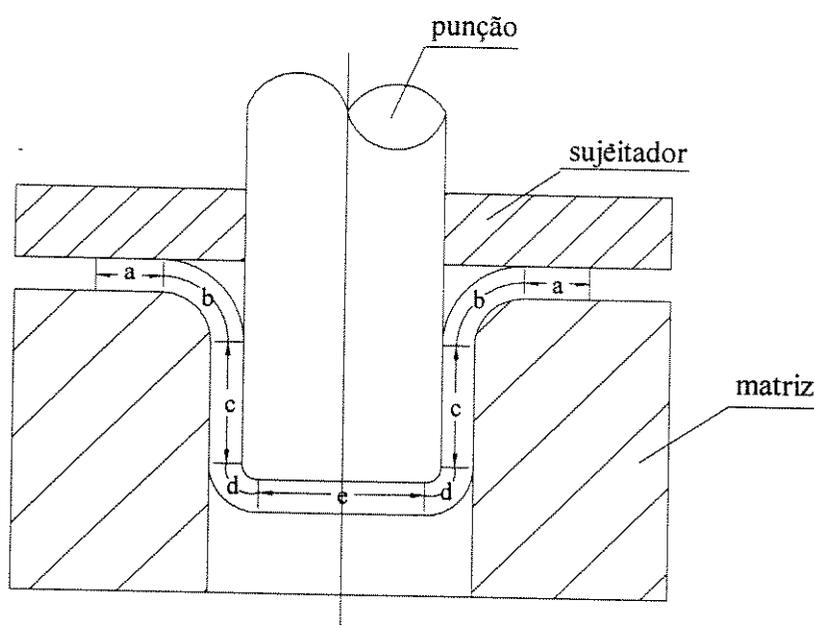
As operações de estampagem profunda podem ser subdivididas em dois processos principais:

- Embutimento;
- Repuxamento, onde há o estiramento em dois sentidos com extensão radial.

O embutimento é representado pelos seguintes processos: conformação por estampagem, reestampagem e reestampagem reversa de latas; conformação com estampagem e reestampagem de caixas; conformação rasa com estampagem e reestampagem de painéis; conformação profunda com estampagem de painéis, obtendo-se produtos como latas, cápsulas, portas e pára-lamas de automóveis.

A condição típica de embutimento é a fabricação de uma lata a partir de um disco "blank". O punção deforma a região central do disco no sentido da cavidade da matriz, ao mesmo tempo em que a flange, em alguns casos submetida à ação do sujeitador, movimentase em direção à cavidade.

Quanto mais fina for a chapa, maior será a tensão de sujeição. Para chapas grossas não há necessidade de utilizar sujeitador por não ocorrer o enrugamento da flange.



- (a) região da aba da lata
- (b) região do dobramento na matriz
- (c) região lateral da lata
- (d) região do dobramento no punção
- (e) região do fundo da lata

FIGURA 3.1 - Regiões da lata sob estampagem com diferentes estados de tensão
 FONTE - BRESCIANI FILHO, E. et al., 1986. p.107.

Na região da aba da lata, devido à redução paulatina da circunferência do disco, à medida que este penetra na cavidade da matriz, ocorrem esforços denominados de compressão circunferencial e que provocam o enrugamento da chapa.

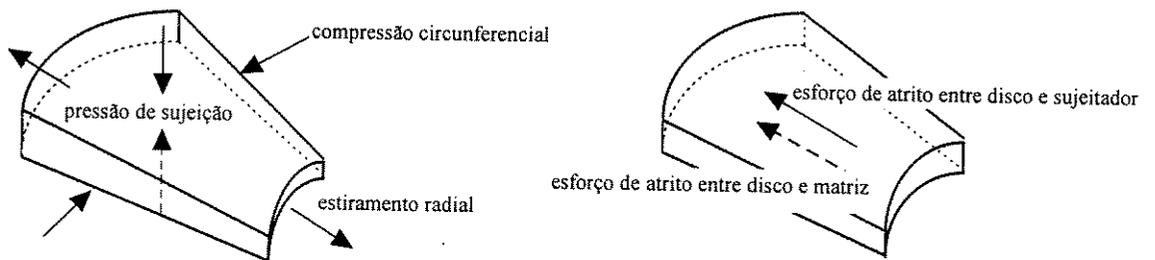
Para evitar o surgimento de rugas, aplica-se uma tensão de compressão via sujeitador ou efetua-se antirugas na matriz ou no sujeitador aumentando o atrito entre a chapa, matriz e sujeitador, provocando o predomínio de esforços radiais, já que as rugas são ocasionadas por esforços tangenciais que surgem na peça durante o embutimento.

A pressão de sujeição e o número de nervuras devem ser calculados a fim de se permitir o movimento da flange em direção ao centro da matriz e evitar-se o aparecimento das rugas.

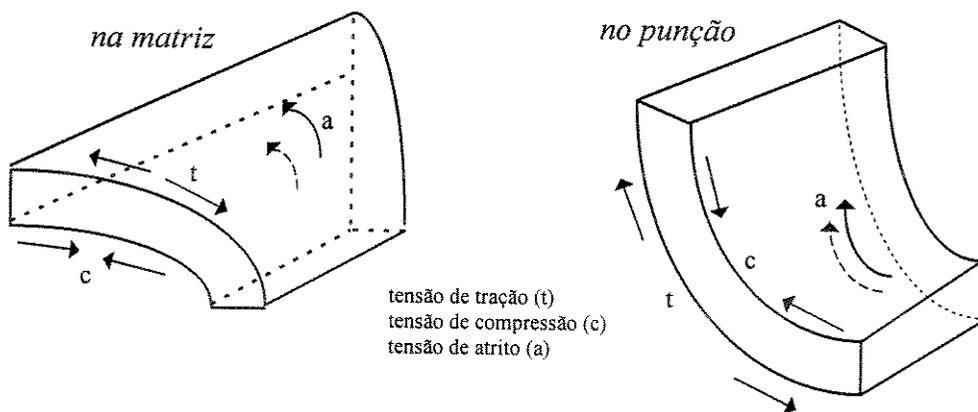
As regiões de dobramento na matriz e no punção apresentam tensões de tração e de compressão, relacionadas com os esforços de atrito. Nas paredes das latas podem ocorrer o

estiramento, devido às tensões de tração, e o afinamento da espessura da parede, por causa das tensões de compressão que são perpendiculares à superfície lateral da lata. Dependendo da folga entre matriz e punção, poderão surgir esforços de atrito nessas superfícies. No fundo da lata, predominam as tensões de compressão, que se transmitem para outras regiões da lata através das tensões de tração radiais.

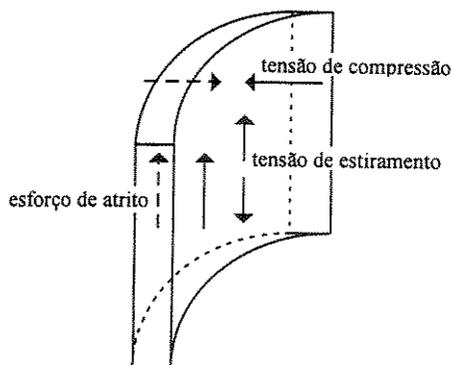
Aba da lata



Região de dobramento



lateral da lata



fundo da lata

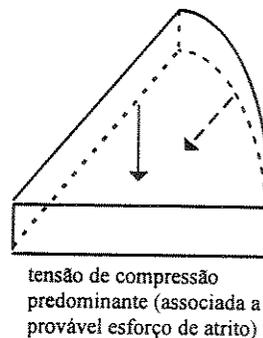


FIGURA 3.2 - Esforços atuantes nas diversas regiões da lata

FONTE - BRESCIANI FILHO, E. et al., 1986. p.109.

Vários fatores de natureza mecânica e metalúrgica influem no processo de estampagem

natureza mecânica: - forma e dimensões da peça;

- tipo de prensa empregado;
- forma e dimensões das ferramentas;
- condições de lubrificação

natureza metalúrgica: - composição química e estrutura das chapas;

- tratamentos térmicos intermediários, para processos com várias etapas de estampagem.

e influenciam diretamente nos estados de tensões e deformações, alterando assim o escoamento do material e portanto seu comportamento plástico.

Os defeitos mais importantes encontrados em peças embutidas são oriundos de defeitos pré-existentes na chapa, de erros de projeto, de construção e de conservação das ferramentas.

A TAB. 3.1 apresenta os principais defeitos em peças embutidas.

TABELA 3.1
Defeitos em produtos embutidos

DEFEITOS	CAUSA	PREVENÇÃO	TIPO
Pregas (gretas transversais na lata)	Inclusões na chapa	Na laminação, trabalhar com material mais puro	1
Furos alongados ou gretas	Poros finos na chapa ou corpos estranhos duros (por ex. grãos de areia) que durante a estampagem penetram no interior dela	Cuidar da limpeza dos locais de armazenamento da chapa	1
Diferenças de espessura na chapa. Aba de largura irregular, formam-se gretas entre as regiões da aba de diferentes espessuras.	Cilindros desgastados	Exigir produto laminado com tolerâncias dimensionais estreitas	1
Desprendimento do fundo	O punção de embutir atua como punção de corte. Raio de curvatura muito pequeno no punção e na aresta embutida	Arredondar melhor arestas no punção de embutir e na matriz de estirar	2
Ruptura no fundo. O fundo rompido é unido ao resto da peça apenas por um lado	A relação de embutimento D/d é grande demais para a chapa empregada	Introduzir mais uma etapa de embutimento ou escolher uma chapa de maior capacidade de embutimento	2
Trincas no fundo depois de ter conseguido quase todo o corpo. Ocorre pouco em peças redondas e mais freqüentemente em peças retangulares.	Variação de espessura na chapa ou folga de embutimento entre o punção e a matriz muito estreita. Em peças retangulares, estreitamento de folga de embutimento devido à formação de uma pasta de óxidos	a) Revisar a espessura da chapa b) Eventualmente alargar o orifício de embutimento c) Em peças de formato retangular, limpar sempre as arestas da ferramenta	2

DEFEITOS	CAUSA	PREVENÇÃO	TIPO
Forma abombada. Corpo arqueado para fora, juntamente com o arqueamento do canto superior do recipiente	Folga de embutimento demasiadamente larga	a) Algumas vezes o problema é eliminado com o aumento da pressão de sujeição b) Deve-se trocar a matriz ou o punção	2
Estrias de embutimento	a) Desgaste de ferramenta b) Chapa oxidada	a) Tratamento superficial para endurecimento das arestas da matriz b) Melhorar o processo de decapagem c) Melhorar as condições de lubrificação: empregar eventualmente películas de embutir	3
Relevos unilaterais de pressão nas rupturas do fundo (por dentro)	Posição excêntrica do punção com relação à matriz de embutimento	Soltar a sujeição da ferramenta e centrar a matriz corretamente com relação ao punção	3
Formação de pregas na aba	Pressão de sujeição insuficiente	Aumentar a pressão do sujeitador	3
Pregas e trincas verticais	Folga de embutimento muito larga ou arredondamento muito grande das arestas de embutimento	Trocar a matriz de embutimento	3
Ampolas no fundo. As vezes também abaulamento do fundo	Má aeração	Melhorar a saída do ar. Com frequência é melhorada se a distribuição do lubrificante for mais uniforme	3

FONTE - SCHULER, L., 1968. p.74 - 75.

Legenda: 1 - Defeitos da chapa

2 - Defeitos no projeto e construção da ferramenta

3 - Defeitos na conservação e deposição da ferramenta

Para o desenvolvimento do embutimento deve-se analisar os seguintes tópicos:

- determinação do diâmetro do disco;
- determinação do coeficiente limite de embutimento;
- definição das dimensões intermediárias;
- análise dos esforços envolvidos no processo;
- dimensionamento das matrizes e punções;

3.1.1 Determinação do Diâmetro do disco "blank"

O diâmetro (D_o) do disco a ser embutido é determinado em função das dimensões finais da lata, sem considerar o corte final da aba.

$$D_o = [d_2^2 + 4d_m h_f (s_f/s_o)]^{1/2}, \text{ onde} \quad (3.1)$$

d_2 = diâmetro do punção na etapa 2;

s_o = espessura do disco;

s_f = espessura final da parede da lata;

h_f = altura final da lata;

d_m = diâmetro médio da lata ($d_m = d_2 + s_2$).

3.1.2 Determinação do Coeficiente Limite de Embutimento (β_{\max})

Este parâmetro define a quantidade de etapas necessárias para o embutimento de uma peça produzida com um determinado material e condições de lubrificação específicas. Indica a máxima redução no diâmetro da lata que pode ser obtida sem que ocorra a ruptura durante a estampagem.

Segundo SCHULER (1968), para aços em processo no qual a relação d_p/s_0 varia entre 25 e 600, a seguinte expressão é válida:

$$\beta_{\max} = 2,15 - (0,001d_p/s_0), \text{ onde} \quad (3.2)$$

d_p = diâmetro do punção;

s_0 = espessura do disco.

3.1.3 Definição das Dimensões Intermediárias

Através da equação $D_0/d_p = 2,15 - (0,001 d_p/s_0)$ calcula-se o valor do d_p , (o qual seria um valor teórico) e conseqüentemente o valor de β_{\max} da seguinte relação $\beta_{\max} = D_0/d_p$. Compara-se os valores de β_{\max} e β para a lata a ser fabricada (o valor de β é obtido a partir do diâmetro real do punção), se $\beta > \beta_{\max}$ o embutimento deverá ser realizado em mais de uma etapa.

3.1.4 Análise dos Esforços Envolvidos no Processo de Embutimento

Como mostra a FIG. 3.3, o uso de sujeitadores tem o objetivo de promover uma deformação mais homogênea no blank durante a operação de embutimento, evitando o surgimento de defeitos na lata, como pregas e falta de uniformidade na espessura. Esta operação é dispensável no caso de chapas grossas, e para chapas finas pode ser efetuada elasticamente com a utilização de molas ou ar comprimido, ou rigidamente com placas ou pesos.

Os esforços desenvolvidos em cada etapa do embutimento dependem de fatores já citados no item do coeficiente limite de embutimento. Dessa forma, torna-se difícil

encontrar uma expressão que forneça resultados próximos aos encontrados na realidade, levando à aplicação de expressões experimentais para determinação desses esforços.

Segundo SCHULER (1968), a força máxima de embutimento, que não deve ser maior que a força de ruptura do material, é dada por:

$$F_{\max} = d_p s_0 \pi \eta \sigma_r, \quad (3.3)$$

Do GRAF. 3.1 obtém-se:

$\eta = \sigma/\sigma_r =$ tensão de embutimento/ resistência a tração;

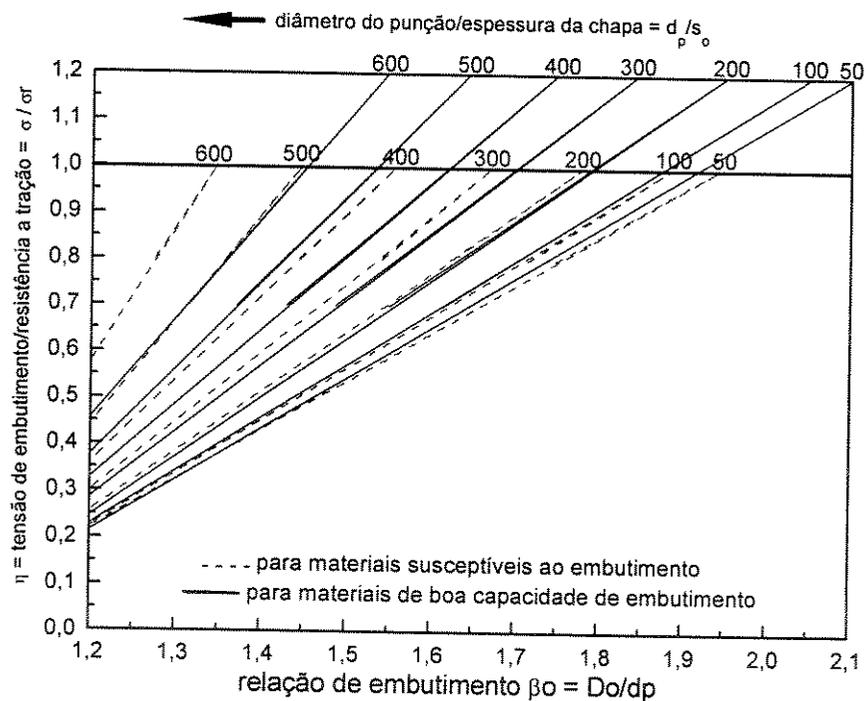


GRÁFICO 3.1 - Diagrama para o cálculo da força de embutimento profundo de peças cilíndricas em um único embutimento.

FONTE - SCHULER. L., 1968. p. 57.

Para o cálculo dos esforços de sujeição, a seguinte expressão é válida (SCHULLER, 1968):

$$F_s = (\pi/4).(D_0^2 - d_p^2). P_s, \text{ onde} \quad (3.4)$$

$D_0 =$ diâmetro do disco a embutir;

d_p = diâmetro do punção;

P_s = pressão de sujeição, dada em kgf/cm^2

$$P_s = 0,25[(\beta - 1)^2 + (d_p/200 \cdot s_0)] \sigma_r \quad (3.5)$$

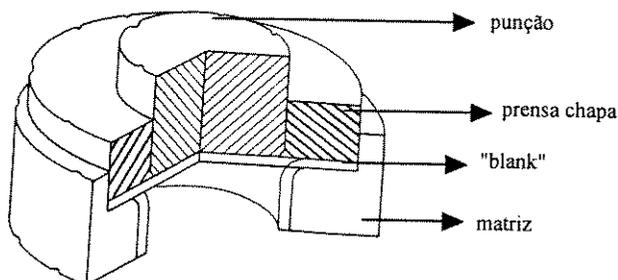


FIGURA 3.3 - Elementos construtivos de um estampo.

FONTE - METALS HANDBOOK, 1986. v.14, p. 582.

3.1.5 Dimensionamento das Matrizes e Punções

Obtidos os valores dos esforços envolvidos no processo de embutimento, efetua-se o dimensionamento das ferramentas.

Os punções utilizados nas duas etapas do processo devem apresentar uma área de secção transversal que não sofra deformações permanentes por compressão, com a conseqüente perda das dimensões. Além disso, o comprimento dos punções deve ser limitado de tal forma que não ocorra falha por flambagem (PROVENZA, 1979). Devido aos níveis de esforços no embutimento, para o aço tratado termicamente ficam descartadas as falhas por compressão e flambagem.

A fim de evitar que a lata embutida sofra ruptura quando solicitada, deve-se efetuar um arredondamento nos cantos do punção.

Os raios dos punções (r_p) podem ser adotados segundo as seguintes considerações:

- expressão recomendada por PROVENZA (1979).

$$r_p = r_{mat} - s_0$$

- a expressão utilizada por WASSILÍEFF (1963).

$$5 s_0 < r_p < 0,3 d_p$$

- e a frase dita por SCHULER (1968) e WASSILIEFF (1963).

"em nenhum caso, o raio de curvatura do punção deverá ser inferior ao da matriz".

Se o raio do punção for muito grande o material irá romper devido a tensão de embutimento aproximar-se da tensão de estiramento; se esse raio for pequeno, o rompimento será devido à elevada tensão cisalhante exercida na região durante o embutimento.

Prevê-se também uma folga entre os diâmetros do punção e da matriz, com o objetivo de facilitar a operação. SCHULER (1968), apresenta a expressão:

$$f = 2 s_0 (D_0/d_p)^{1/2} \quad (\text{no diâmetro}).$$

As matrizes como elementos que dão forma à peça estão sujeitas a parte dos esforços durante o processo de uma maneira semelhante aos punções. Desta forma, devem ser confeccionadas em um material com propriedades mecânicas semelhantes ao utilizado nos punções.

As matrizes também devem ter cantos arredondados. PROVENZA (1979), sugere para a primeira etapa do embutimento a expressão: $r_m = 0.8[(D_0 - d_p) s]^{1/2}$ e para as etapas seguintes: $r_m = (8 \text{ a } 10) s_0$.

3.2 Estiramento

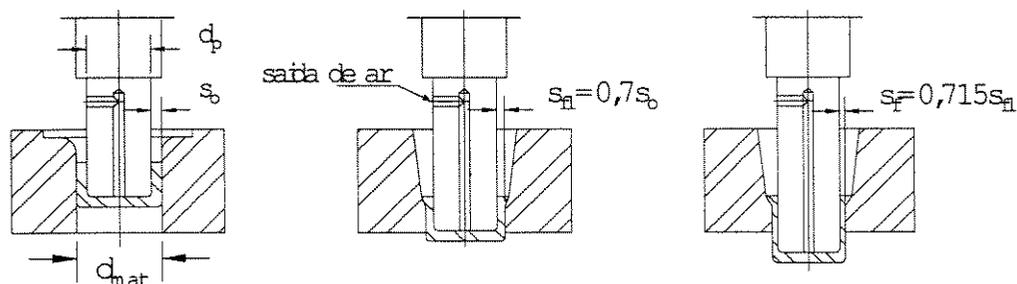
Consiste basicamente na redução do diâmetro externo da lata embutido, mantendo-se o diâmetro interno constante e, conseqüentemente, reduzindo a espessura da parede e aumentando a altura da lata.

No desenvolvimento do estiramento é necessário analisar os seguintes tópicos:

- cálculo das reduções de espessura;
- definição das dimensões intermediárias;
- análise dos esforços envolvidos no processo;
- verificação da resistência ao rasgamento da lata;
- dimensionamento de matrizes e punções.

3.2.1 Cálculo das Reduções de Espessura

Segundo PROVENZA (1979), a redução da espessura depende da qualidade e da maleabilidade do material. A redução máxima para aços de boa qualidade é de 35%. Para que o produto apresente-se homogêneo e não ocorra encruamento a ponto de comprometer o processo de conformação, é aconselhável reduzir a espessura das paredes através de várias operações como mostra a FIG. 3.4.



onde: s_{f1} = espessura da lata no primeiro estiramento

s_f = espessura da lata no segundo estiramento ou espessura final da parede da lata

FIGURA 3.4 - Reduções de espessura durante o processo de estiramento.

FONTE - PROVENZA, F., *PROTEC Estampos II b.*, 1979. p. 17.79.

3.2.2 Definição das Dimensões Intermediárias

Com os valores obtidos no item anterior definem-se os diâmetros externos das latas, e pode-se obter a altura da lata após as etapas de estiramento utilizando-se a mesma equação de definição do tamanho do disco inicial para o embutimento.

$$D_0 = [d_2^2 + 4d_m h_{f1} (s_{f1}/s_2)]^{1/2}, \quad (3.6)$$

onde:

$$d_m = d_2 + s_{f1}$$

h_{f1} = altura da lata após o primeiro estiramento

3.2.3 Análise dos Esforços Envolvidos no Processo

Segundo SCHULER (1968), pode-se utilizar a seguinte expressão para a determinação dos esforços envolvidos no processo de estiramento.

$$F = A_0 k_{fm} \varphi_g / \eta_f, \quad \varphi_g = \ln A_0 / A_1, \text{ onde:} \quad (3.7)$$

A_0 = área projetada da base da lata antes do estiramento;

$$A_0 = \pi(d_2 + s_2) s_2$$

A_1 = área projetada da base da lata após o estiramento;

$$A_1 = \pi(d_2 + s_{f1}) s_{f1}$$

$$\varepsilon_d = 1 - (A_1 / A_0) \text{ (deformação);}$$

φ_g = deformação logarítmica;

F = força do punção da prensa.

Pelo GRAF. 3.2, obtém-se a resistência média a deformação (k_{fm}). Como indicado por SCHULER (1968), para materiais dúcteis e de boas condições de lubrificação durante a operação, pode-se adotar 0,60 para η_f .

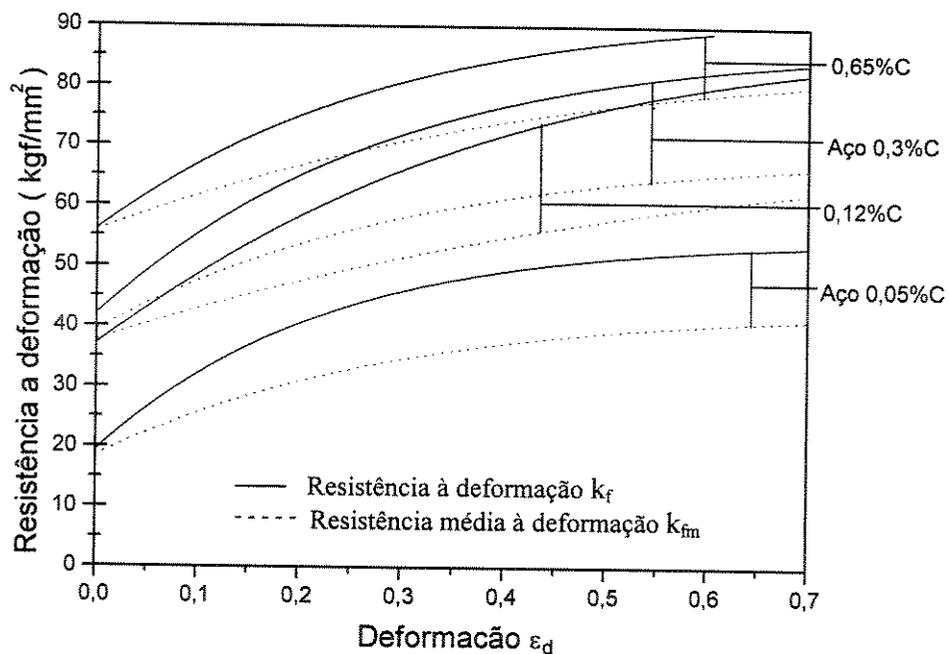


GRÁFICO 3.2 - Resistência à deformação de vários materiais.

FONTE - SCHULER, L., 1968. p.90.

3.2.4 Verificação da Resistência ao Rasgamento da Lata

Para que a lata não rasgue durante a execução do estiramento é necessária a seguinte condição (PROVENZA, 1979).

$$F \leq \sigma_r A, \text{ onde:} \quad (3.8)$$

A = área da secção da parede da lata.

$$A = \pi[(d_p + 2s)^2 - d_p^2] / 4$$

3.2.5 Dimensionamento de Matrizes e Punções

Dentre os parâmetros analisados no dimensionamento das ferramentas do processo de estiramento, o ângulo α de trabalho da matriz como é mostrado na FIG. 3.5 é um dos mais importantes e influencia o modo do escoamento do material na matriz durante a operação. Esse ângulo pode ser obtido no GRAF. 3.3

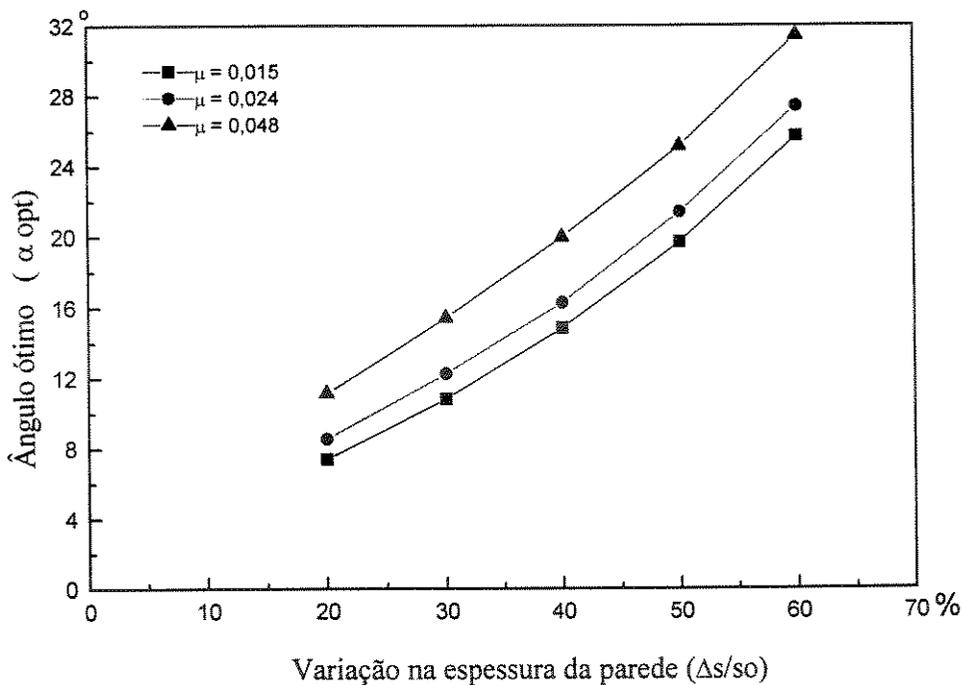


GRÁFICO 3.3 - Gráfico para obtenção do ângulo ótimo em função do coeficiente de atrito (μ_r) e da variação na espessura da parede ($\Delta s/s_0$).

FONTE - PANKNIN. W, et al., 1976. p. 210.

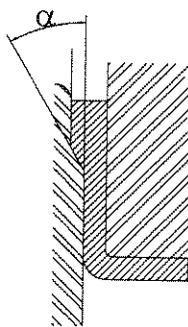


FIGURA 3.5 - Ângulo de trabalho da matriz de estiramento.

FONTE - PROVENZA,F., *PROTEC Estampos II a.*, 1979. p. 17.83.

3.3 Ferramentas de Corte para a Confeção do "Blank"

3.3.1 Folga entre Punção e Matriz

A FIG. 3.6 apresenta um esquema das ferramentas de corte.

A folga entre punção e matriz é função do material e da espessura da chapa. Para peças pequenas e chapas finas praticamente não há folga, mas para chapas grossas a folga deve ser considerável.

Na obtenção de cortes sem rebarbas, ou seja superfície de corte lisa, é necessário que as trincas de ruptura, que se iniciam nos fios de corte, se encontrem.

Se a folga for insuficiente, a superfície da fratura será áspera; caso a folga seja excessiva haverá uma distorção ainda maior com propensão à formação de rebarbas ou protuberâncias na superfície de corte.

Segundo ROSSI (1961), a folga deve estar na faixa de 5% a 13% da espessura da chapa.

3.3.2 Dimensões dos Punções e das Matrizes

As dimensões dos punções e das matrizes foram determinadas considerando-se:

- tolerância do produto;
- folga de corte;
- tolerância de acabamento do próprio punção e da própria matriz;
- o punção projetado possui fio de corte reto.

3.3.3 Ângulo de Saída da Matriz

As matrizes de corte, sem extrator devem ser vazadas com determinada conicidade para facilitar a saída das peças cortadas.

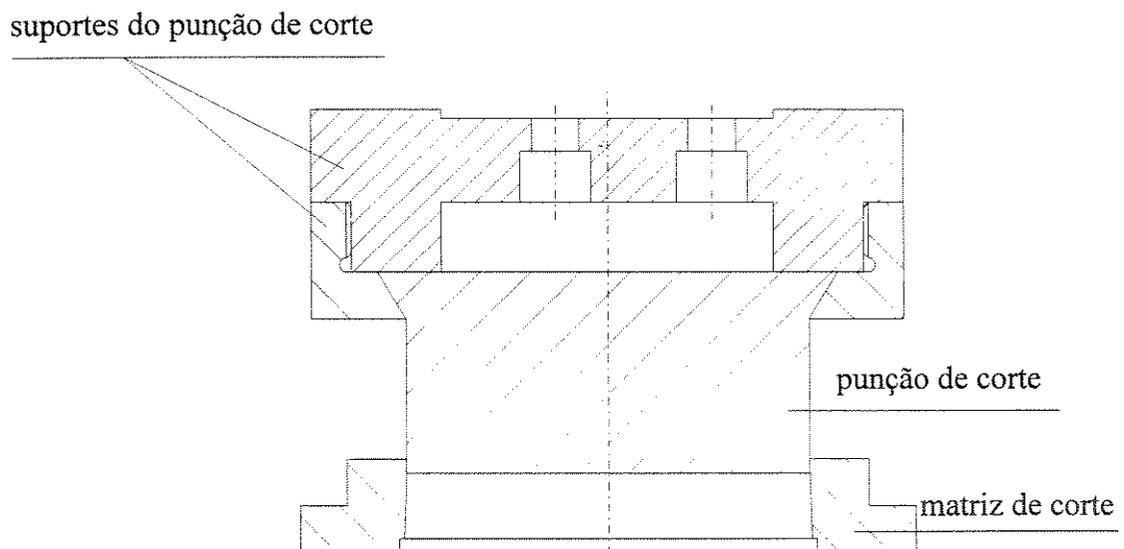


FIGURA 3.6 - Esquema das ferramentas de corte.

Capítulo 4

Projeto das Ferramentas

Para o projeto das ferramentas utilizadas no processo de fabricação da lata, foram adotadas as dimensões apresentadas na FIG. 4.1.

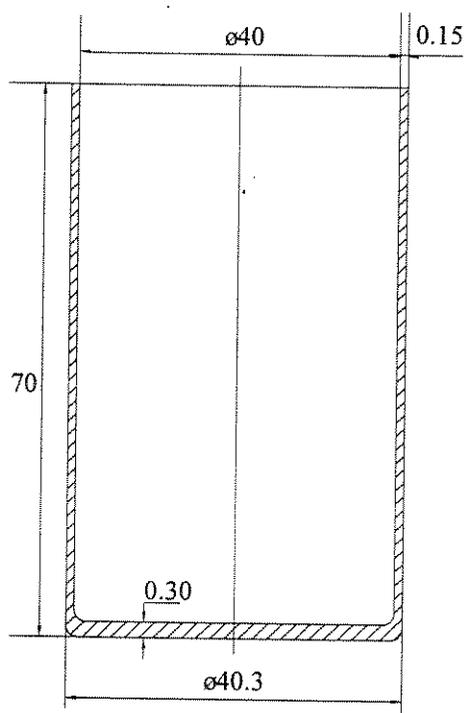


FIGURA 4.1 - Dimensões finais da lata

Essas dimensões foram estabelecidas a partir de um estudo da viabilidade de fabricação das ferramentas no que diz respeito à capacidade do equipamento empregado nos ensaios.

O processo de fabricação consiste no embutimento de discos metálicos e no estiramento dos copos embutidos.

Para o desenvolvimento do embutimento e do estiramento, foram analisados os seguintes tópicos:

- determinação do diâmetro do disco;
- determinação do coeficiente limite de embutimento;
- definição das dimensões intermediárias;
- análise dos esforços envolvidos no processo;
- dimensionamento das matrizes e punções;
- cálculo das reduções de espessura;
- verificação da resistência ao rasgamento da lata.

4.1 Dimensionamento das Ferramentas para o Embutimento

4.1.1 Determinação do Diâmetro do Disco ("blank")

O diâmetro (D_o) do disco a ser embutido foi determinado em função das dimensões finais da lata (EXPRESSÃO 3.1).

Para as dimensões de projeto, em (mm),

$$d_2 = 40,00$$

$$s_o = 0,30$$

$$s_f = 0,15$$

$$h_f = 70,00, \text{ tem-se } D_o = 85 \text{ mm}$$

4.1.2 Determinação do Coeficiente Limite de Embutimento (β_{max})

Utilizando-se a EXPRESSÃO 3.2, encontrou-se $d_p = 42,30$ mm e conseqüentemente, $\beta_{max} = 2,01$.

4.1.3 Definição das Dimensões Intermediárias

Para a lata a ser fabricada $d_2 = 40,00$ mm, logo o coeficiente necessário é $\beta = 2,12$.

Assim o embutimento não pode ser realizado em apenas uma etapa, pois haveria um comprometimento do material que poderia não resistir e rasgar.

A operação foi realizada em duas etapas, onde foram adotados coeficientes de embutimento aproximadamente iguais ($\beta_1 \cong \beta_2$ e $\beta_1 \times \beta_2 = \beta = 2,12$).

Deste modo foram definidas as dimensões intermediárias do processo de embutimento.

etapa 1 $\Rightarrow D_0 = 85$ mm; $d_1 = 58,00$ mm; $\beta_1 = 1,47$; $h_1 = 16,54$ mm; $s_0 = 0,30$ mm

etapa 2 $\Rightarrow D_0 = 85$ mm; $d_2 = 40,00$ mm; $\beta_2 = 1,44$; $h_2 = 34,87$ mm; $s_0 = 0,30$ mm

onde: d_1 = diâmetro do punção na etapa 1;

h_1 = altura do copo na etapa 1;

h_2 = altura do copo na etapa 2;

4.1.4 Análise dos Esforços Envolvidos no Processo de Embutimento

Utilizando a EXPRESSÃO 3.3 e o GRAF. 3.1 e considerando-se que foram utilizados dois materiais (A e B) nos ensaios, descritos no item 5.1, obteve-se:

Material A

etapa 1 $\Rightarrow d_1/s_0 = 193,33$, $\beta_1 = 1,47$, $\sigma_{rA} = 38$ kgf/mm² $\eta = 0,57$

$F_{e_{max1A}} = 11536$ N

etapa 2 $\Rightarrow d_2/s_0 = 133,33$, $\beta_2 = 1,44$, $\sigma_{rA} = 38$ kgf/mm² $\eta = 0,53$

$F_{e_{max2A}} = 7441$ N

Material B

etapa 1 $\Rightarrow d_1/s_0 = 193,33$, $\beta_1 = 1,47$, $\sigma_{rB} = 35$ kgf/mm² $\eta = 0,57$

$F_{e_{max1B}} = 10687$ N

etapa 2 $\Rightarrow d_2/s_0 = 133,33$, $\beta_2 = 1,44$, $\sigma_{rB} = 35$ kgf/mm² $\eta = 0,53$

$F_{e_{max2B}} = 6853$ N

Para o cálculo dos esforços de sujeição obteve-se (EXPRESSÕES 3.4 e 3.5):

Material A

$$\text{etapa 1} \Rightarrow \beta_1 = 1,47, \quad \sigma_{rA} = 38 \text{ kgf/mm}^2 \quad D_o = 85 \text{ mm} \quad d_p = 58 \text{ mm} \\ P_{s1A} = 11,28 \text{ kgf/cm}^2 \text{ e } F_{s1A} = 3352 \text{ N}$$

$$\text{etapa 2} \Rightarrow \beta_2 = 1,44, \quad \sigma_{rA} = 38 \text{ kgf/mm}^2 \quad D_o = 85 \text{ mm} \quad d_p = 40 \text{ mm} \\ P_{s2A} = 8,17 \text{ kgf/cm}^2 \text{ e } F_{s2A} = 3537 \text{ N}$$

Material B

$$\text{etapa 1} \Rightarrow \beta_1 = 1,47, \quad \sigma_{rB} = 35 \text{ kgf/mm}^2 \quad D_o = 85 \text{ mm} \quad d_p = 58 \text{ mm} \\ P_{s1B} = 10,39 \text{ kgf/cm}^2 \text{ e } F_{s1B} = 3088 \text{ N}$$

$$\text{etapa 2} \Rightarrow \beta_2 = 1,44, \quad \sigma_{rB} = 35 \text{ kgf/mm}^2 \quad D_o = 85 \text{ mm} \quad d_p = 40 \text{ mm} \\ P_{s2B} = 7,53 \text{ kgf/cm}^2 \text{ e } F_{s2B} = 3260 \text{ N}$$

Normalmente, a força de sujeição é efetuada através de um peso que se coloca sobre o "blank", quando o processo de embutimento é realizado com somente uma prensa acionando o punção. Para os valores encontrados não há possibilidade de se utilizar um peso como sujeitador. Teria que se utilizar, então, outro sistema de sujeição, ou uma prensa auxiliar, ou uma mola sujeitadora que proporcionasse a força F_s calculada anteriormente.

Adotou-se então, uma segunda concepção para o projeto que consiste no enclausuramento do "blank" durante a primeira etapa do embutimento; reduz-se os espaços que permitem as deformações da chapa enquanto esta estiver sendo encaminhada à matriz.

Para o segundo embutimento, foi utilizada, como sujeitador elástico, uma almofada hidráulica.

4.1.5 Dimensionamento de Matrizes e Punções

Para o comprimento dos punções adotaram-se as seguintes dimensões em mm:

etapa 1 $\Rightarrow d_1 = 58,00$ e $l_1 = 180,00$ (comprimento do punção);

etapa 2 $\Rightarrow d_2 = 40,00$ e $l_2 = 300,00$

Para as dimensões estabelecidas no projeto, adotaram-se os seguintes valores em mm para os raios das matrizes, dos punções e a folga entre matriz e punção:

etapa 1 $\Rightarrow r_{\text{mat}} = 2,30$; $r_p = 3,00$; $f = 0,73$

etapa 2 $\Rightarrow r_{\text{mat}} = 3,00$; $r_p = 3,00$; $f = 0,73$

4.2 Dimensionamento das Ferramentas para o Estiramento

O estiramento foi empregado para atingir a espessura final da parede da lata:
 $s_f = 0,15$ mm.

4.2.1 Cálculo das Reduções de Espessura

Dados do projeto:

espessura após embutimento: $s_2 = 0,30$ mm

primeira redução: $s_{f1} = 0,70 \cdot s_2 = 0,21$ mm

segunda redução: $s_f = 0,715 \cdot s_{f1} = 0,15$ mm,

4.2.2 Definição das Dimensões Intermediárias

Baseando-se nas reduções calculadas, foram definidas as seguintes dimensões para o processo de estiramento, em mm:

- diâmetro interno inicial do estiramento = diâmetro interno final do estiramento = diâmetro interno final do embutimento = 40,00;

- diâmetro externo inicial do estiramento = diâmetro externo final do embutimento = 40,60;

- diâmetro externo após primeira redução do estiramento = 40,42;

- diâmetro externo após segunda redução do estiramento = 40,30;

- altura da lata após primeira redução do estiramento = 49,93

Utilizando a seguinte equação:

$$D_0 = [d_2^2 + 4d_m h_{f1} (s_{f1}/s_2)]^{1/2},$$

onde $d_2 = 40,00$, $D_0 = 84,98$, $s_2 = 0,30$ e $s_{f1} = 0,21$ tem-se $h_{f1} = 49,93$

analogamente $s_f = 0,15$, tem-se $h_f = 70,00$ (altura da lata após segunda redução do estiramento)

4.2.3 Análise dos Esforços Envolvidos no Processo

Utilizando-se a EXPRESSÃO 3.7, e o GRAF. 3.2

Para a primeira redução, tem-se:

Material A

$$\varphi_g = \ln A_0/A_1 = 0,36; \quad \varepsilon_d = 0,30; \quad k_{fm} \cong 35 \text{ kgf/mm}^2; \quad \eta_f = 0,60$$

$$F_{1A} = 7816 \text{ N}$$

Analogamente para a segunda redução do estiramento, tem-se:

$$A_2 = \pi (d_2 + s_f)s_f = 18,92 \text{ mm}^2$$

$$\varphi_g = \ln A_1/A_2 = 0,34; \quad \varepsilon_d = 1 - (A_2/A_1) = 0,29; \quad k_{fm} \cong 35 \text{ kgf/mm}^2; \quad \eta_f = 0,60$$

$$F_{2A} = 5157 \text{ N}$$

Material B

Pela falta da curva de resistência a deformação para aço 0,08 %C no GRAF. 3.2, considerou-se para o material B a resistência média a deformação (k_{fm}) igual a resistência a deformação (k_f) do material A.

$$\varphi_g = \ln A_0/A_1 = 0,36; \varepsilon_d = 0,30; k_{fm} \cong k_f = 46 \text{ kgf/mm}^2; \eta_f = 0,60$$

$$F_{1B} = 10329 \text{ N}$$

Analogamente para a segunda redução do estiramento, tem-se:

$$A_2 = \pi (d_2 + s_f)s_f = 18,92 \text{ mm}^2$$

$$\varphi_g = \ln A_1/A_2 = 0,34; \varepsilon_d = 1 - (A_2/A_1) = 0,29; k_{fm} \cong k_f = 46 \text{ kgf/mm}^2; \eta_f = 0,60$$

$$F_{2B} = 6736 \text{ N}$$

4.2.4 Verificação da Resistência ao Rasgamento da Lata

Utilizando-se a EXPRESSÃO 3.8

Material A

- na primeira redução:

$$s = s_2 = 0,30 \text{ mm}$$

$$\sigma_{rA} \cdot A_{1e} = 38 (\pi/4) [(40,60)^2 - (40,00)^2] \cdot 9,8 = 14144 \text{ N} > F_{1A}$$

- na segunda redução:

$$s = s_{f1} = 0,21 \text{ mm}$$

$$\sigma_{rA} \cdot A_{1e} = 38 (\pi/4) [(40,42)^2 - (40,00)^2] \cdot 9,8 = 9879 \text{ N} > F_{2A}$$

Material B

- na primeira redução:

$$s = s_2 = 0,30 \text{ mm}$$

$$\sigma_{rB} \cdot A_{1e} = 35 (\pi/4) [(40,60)^2 - (40,00)^2] \cdot 9,8 = 13028 \text{ N} > F_{1B}$$

- na segunda redução:

$$s = s_{f1} = 0,21 \text{ mm}$$

$$\sigma_{rB} \cdot A_{2e} = 35 (\pi/4) [(40,42)^2 - (40,00)^2] \cdot 9,8 = 9099 \text{ N} > F_{2B}$$

Logo as latas não rasgariam por falta de resistência ao estiramento.

4.2.5 Dimensionamento de Matrizes e Punções

Para o ângulo α de trabalho da matriz de estiramento encontrou-se os seguintes valores (GRAF.3.3):

- na primeira redução:

$$\Delta s/s_0 = (0,30 - 0,21)/0,30 = 0,30$$

adotando-se $\mu = 0,05$, tem-se $\alpha = 15^\circ$

- na segunda redução:

$$\Delta s/s_{f1} = (0,21 - 0,15)/0,21 = 0,285$$

para $\mu = 0,05$, tem-se $\alpha = 15^\circ$

4.3 Dimensionamento das Ferramentas de Corte para a Confecção do "Blank"

4.3.1 Folga entre Punção e Matriz

Adotou-se folga de corte igual a 5% da espessura do "blank", portanto $f_c = 0,015$ mm

4.3.2 Dimensões dos Punções e das Matrizes

medidas em mm

$$s_0 = 0,3$$

$$D_0 = 85 \text{ h7 ou } 85,000_{-0,035}^0$$

$$d_{mc} = 85\text{H7 ou } 84,965_{+0,035}^0$$

$$f_c = 0,015$$

$$d_{pc} = 84,965 - 0,015 = 84,950 \text{ h7 ou } 84,950_{-0,035}^0$$

4.3.3 Ângulo de Saída da Matriz

A matriz foi vazada com conicidade de 2° , a fim de facilitar a saída do "blank", e com fio de corte de 3mm.

Capítulo 5

Materiais e Métodos

5.1 Introdução

As latas foram obtidas através da seqüência dos processos de embutimento e estiramento (FIG. 5.1).

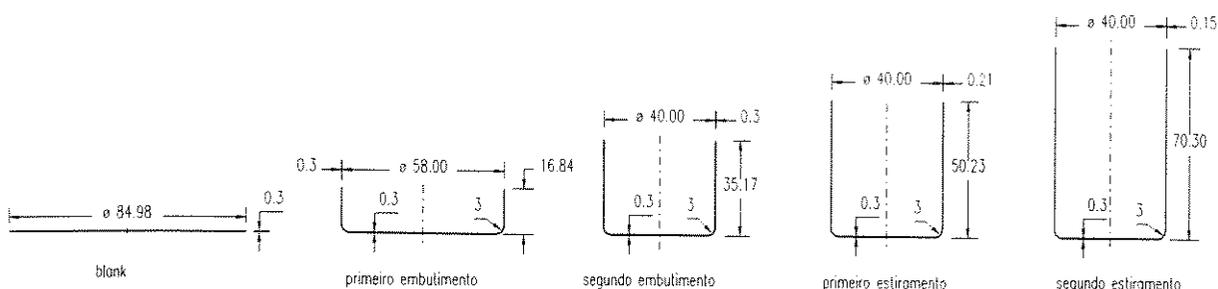


FIGURA 5.1 - Etapas dos processos

Utilizou-se folha-de-flandres de 0,3 mm de espessura destinada à confecção de latas de três peças, com camada eletrolítica de estanho de $2,8 \text{ g/m}^2$ por face. O material B foi fornecido pela Companhia Siderúrgica Nacional - CSN, sob especificação FL E2,8 g/m^2 T2 e dureza de 54 HR 30T. O material A foi produzido pela CSN e fornecido pela Indústria e Comércio de Flandres Ltda (TAB. 5.1).

TABELA 5.1

Composição química da matéria-prima

Elemento químico	% (MATERIAL B)	%(MATERIAL A)
C	0,079	0,049
Si	0,010	0,012
Mn	0,305	0,304
S	0,006	0,011
P	0,012	0,012
Al	0,032	0,048
Cr	0,008	0,007
N total	0,0033	0,0089

FONTE - Companhia Siderúrgica Nacional

O ensaio de tração foi realizado com corpos de provas padronizados pela norma ASTM E8m - 95a, utilizando uma máquina MTS modelo 810, obtendo-se os resultados apresentados na TAB. 5.2.

TABELA 5.2
Propriedades mecânicas dos materiais

Material	Limite de escoamento kgf/mm ²	Limite de ruptura kgf/mm ²	Alongamento %	Estricção %
A	30,80	37,90	24,56	50,53
B	25,40	35,11	29,82	52,49

5.2 Determinação do revestimento de estanho nas folhas-de-flandres empregadas.

As quantidades de estanho livre (revestimento) e de estanho ligado (FeSn_2) presentes na folha-de-flandres durante os processos de embutimento e estiramento, foram obtidas através do processo de dissolução anódica galvanostática, utilizando-se um potenciostato EG&G-PAR, modelo 273A, comandado pelo "Electrochemical Software" M270 do mesmo fabricante.

A célula eletroquímica foi composta em um bequer de 250 ml onde a amostra foi colocada juntamente com um contra-eletrodo de platina e um eletrdo de referência de calomelano em solução saturada de KCl.

O eletrólito utilizado foi HCl a 100ml/l mecanicamente agitado. A área de revestimento a ser dissolvida foi delimitada em 1 cm² por meio de resina plástica (FIG. 5.2).

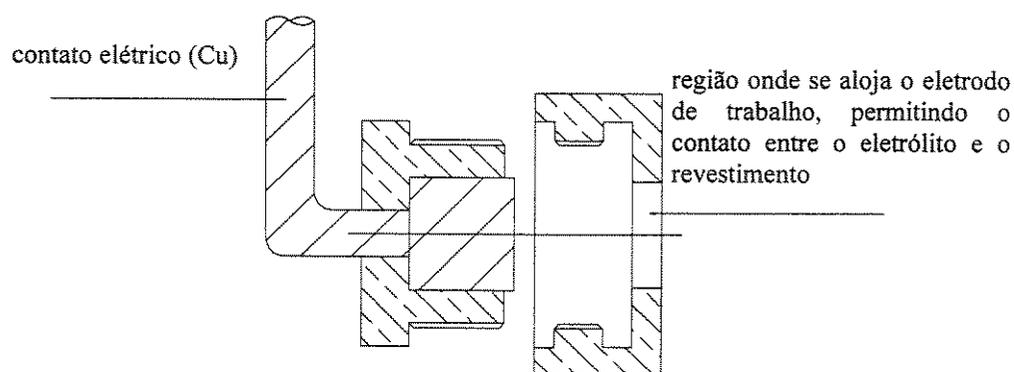


FIGURA 5.2 - Suporte delimitador da área de revestimento (Cachimbo)

Todo o processo de dissolução anódica pode ser acompanhado "in situ", pois os valores de $(E \times t)$ do processo galvanostático foram transmitidos ao computador e registrados graficamente no monitor de vídeo em tempo real.

A caracterização preliminar das folhas-de-flandres foi iniciada através de dissolução anódica galvanostática de uma chapa com revestimento nominal de $2,8 \text{ g/m}^2$. O GRAF. 5.1 apresenta a curva de potencial em função do tempo, para uma corrente constante de 3 mA/cm^2 .

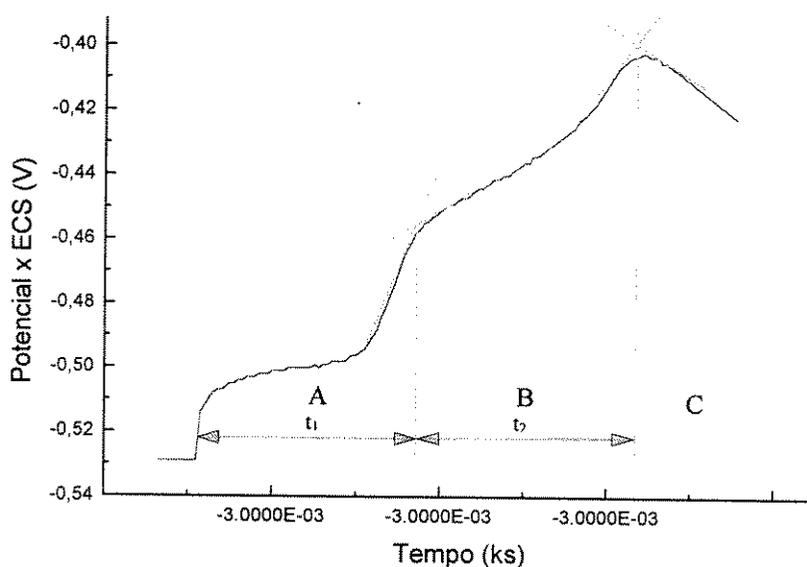


GRÁFICO 5.1- Potencial em função do tempo de dissolução anódica de uma folha-de-flandres, sob densidade de corrente de 3 mA.cm^{-2} .

Como o potencial se mantém aproximadamente constante durante a dissolução de uma fase ou elemento, podemos atribuir à região (A) a dissolução de todo o estanho não ligado, à região (B) a dissolução da liga Fe-Sn e à região (C) o potencial de dissolução do substrato ferroso sob a corrente de 3 mA/cm^2 .

A massa de estanho livre e ligado por unidade de área presentes nas amostras, foi obtida através da medida do tempo de dissolução anódica galvanostática em gráficos como o GRAF. 5.1 e da aplicação da Lei de Faraday segundo as expressões:

$$M_1 = \frac{E^* \cdot I \cdot t_1}{A_s} \quad (5.1)$$

$$M_2 = \frac{E^* \cdot I \cdot t_2 \cdot 0,66}{A_s} \quad (5.2)$$

onde:

M_1 = quantidade de estanho livre por face (g/m^2)

M_2 = quantidade de estanho ligado por face (g/m^2)

$$E^* = \frac{E}{F} = 6,15 \times 10^{-4} \text{ g/Coulomb}$$

E = equivalente eletroquímico do estanho

F = constante de Faraday

I = corrente de desestanhamento (3 mA)

A_s = área da amostra (10^{-4} m^2)

t_1 = tempo requerido para a remoção do estanho livre (s)

t_2 = tempo requerido para a remoção do estanho ligado (s)

5.3 Medição da força necessária para a conformação

A força de conformação foi medida através de uma célula de carga instalada na linha de ação da força atuante, como mostra a FIG. 5.3. Foi confeccionada uma célula de carga com quatro extensômetros elétricos montados em ponte de Wheatstone.

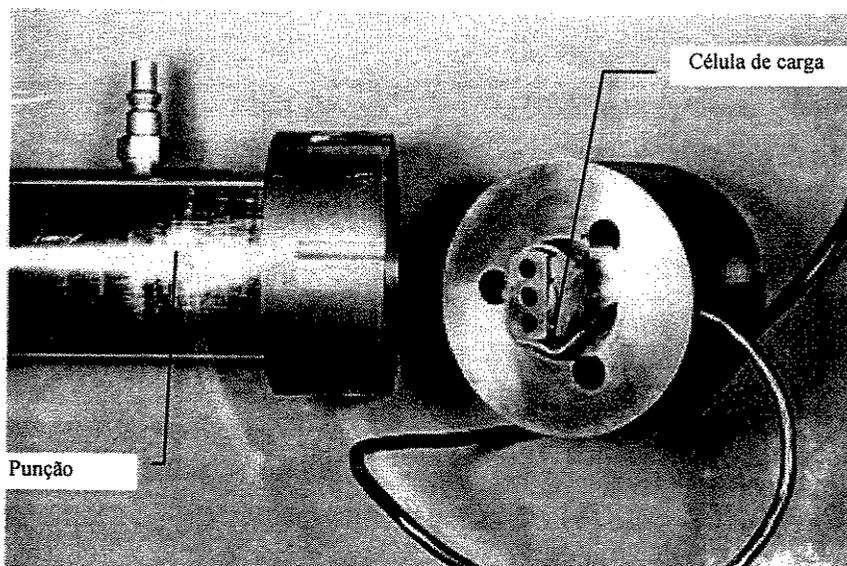


FIGURA 5.3 - Célula de carga utilizada sobre o ferramental de conformação.

Os equipamentos utilizados nas medições de força estão mostrados na FIG. 5.4: célula de carga, ponte condicionadora, multímetro, placa amplificadora e placa de aquisição de dados instalada em microcomputador.

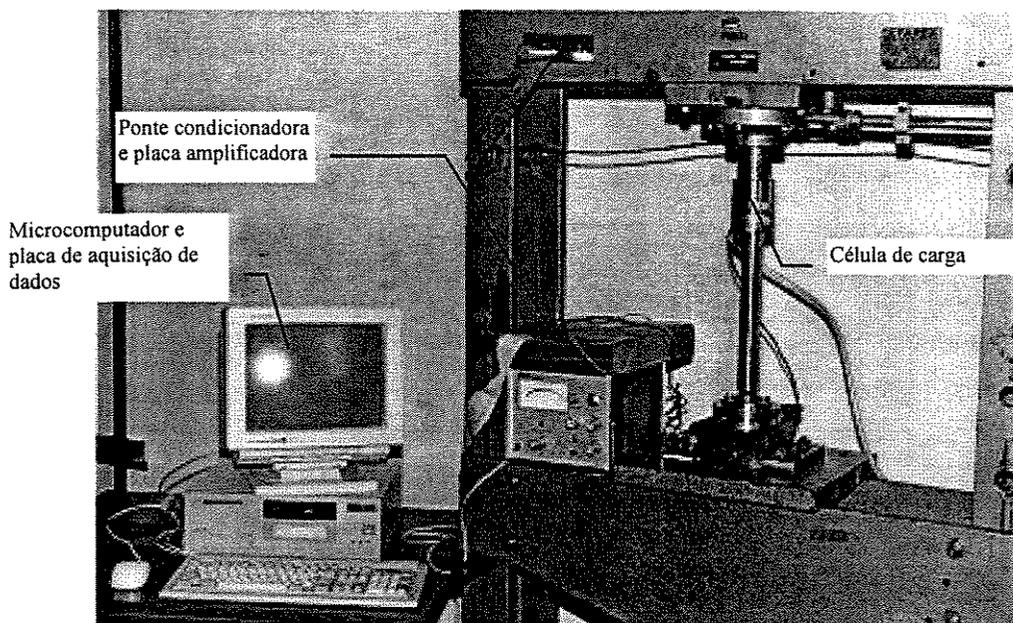


FIGURA 5.4 - Equipamentos utilizados nas medições de força.

A prensa aplica uma força para conformar o material em trabalho, a célula de carga, instalada na linha de ação da força, sofre deformação elástica e, ligada à ponte condicionadora, envia um sinal de voltagem que é amplificado pela placa amplificadora, transmitido à placa de aquisição de dados e armazenado em um computador.

A ponte condicionadora fornece uma voltagem de alimentação, V_0 , ao circuito e obtém uma voltagem de saída V em função da variação da resistência elétrica dos extensômetros. Portanto, convertendo valores de variação de resistência, fornecidos pelos extensômetros instalados na célula de carga, em valores de variação de voltagem.

Ao ligar a célula de carga à ponte condicionadora forma-se uma ponte de *Wheatstone*. Após a instalação da célula no ferramental os valores das resistências da ponte de *Wheatstone* são ajustados de modo a obter um balanço nulo do sistema, com alimentação de 4V e sensibilidade de 50 mV.

A calibração da célula de carga é a etapa posterior à sua confecção. Nesta etapa são medidos pontos de voltagem fornecidos pela célula submetida a valores de força previamente conhecidos. Posteriormente, realiza-se uma regressão linear dos pontos para obter uma expressão do tipo $F = A + B * V$ que relaciona a voltagem medida com a força a que a célula está submetida.

Na calibração realizaram-se medidas da Força (N) x Tensão (mV), como mostra o GRAF. 5.2, obtendo-se pela regressão a seguinte expressão: $F[N] = 2592.V[mV]$

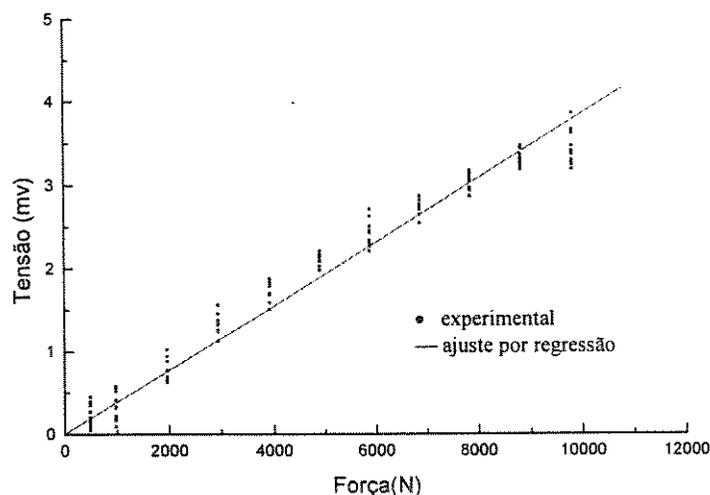


GRÁFICO 5.2 - Curva de calibração da célula de carga, com tensão de alimentação de 4V.

5.4 Equipamentos

As etapas de corte do "blank", embutimento e estiramento dos corpos-de-prova foram realizados em uma prensa hidráulica com velocidade do pistão de 25mm/s e capacidade para 50 toneladas.

Para a realização do segundo embutimento, houve a necessidade da utilização de um prensa-chapa hidráulico (FIG. 5.5).

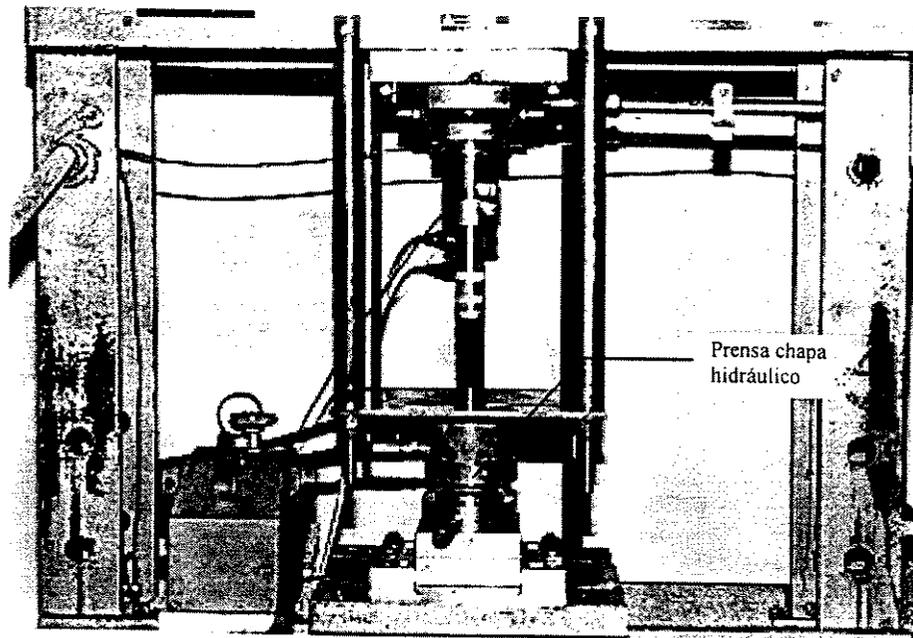


FIGURA 5.5 - Prensa chapa hidráulico.

Foram utilizados três diferentes sistemas de prensa-chapa (por peso, por molas e hidráulico), sendo que o sistema hidráulico (almofada hidráulica) foi o mais eficiente por apresentar uma pressão mais homogênea sobre a matriz, de fácil leitura e reprodutividade.

Os resultados da espessura da parede da lata e da camada de estanho foram obtidos com micrômetro de ponta esférica e pelo método coulométrico, respectivamente.

O exame metalográfico das latas foi realizado com auxílio de um microscópio óptico.

5.5 Descrição dos ensaios de estampagem e estiramento

A folha-de-flandres foi cortada em pequenos quadrados de 10 cm de lado, com auxílio de uma guilhotina de bancada. Após esta etapa confeccionou-se os "blanks", através do conjunto de ferramentas de corte instalado na prensa.

Lubrificou-se as duas faces dos "blanks" com MoS_2 em pasta ou líquido, e em seguida foram realizadas as etapas de embutimento e estiramento, destacando-se que ao término de cada etapa os corpos-de-prova eram novamente lubrificados.

O primeiro embutimento foi realizado com o enclausuramento da chapa entre a matriz e o punção, evitando assim o uso do prensa chapa. O prensa chapa foi utilizado na segunda etapa de embutimento com a finalidade de evitar a formação de rugas (pregas) na aba da lata.

A retirada do corpo-de-prova do punção, na etapa de embutimento foi feita por meio de injeção de ar no orifício interno do mesmo. Na etapa de estiramento foi utilizado um ejetor manual por ser a pressão do ar insuficiente para "descolar" a lata do punção.

Ao final de cada ensaio efetuou-se uma inspeção visual para detectar falhas como trincas, fraturas ou riscos.

Capítulo 6

Resultados e Discussão

6.1 Esforços de embutimento

As curvas de força obtidas durante os processos de embutimento e estiramento são apresentadas nas figuras a seguir, nas quais a ordenada representa a força de embutimento ou estiramento exercida pelo punção e a abscissa, o percurso do punção com velocidade média de 17 mm/s.

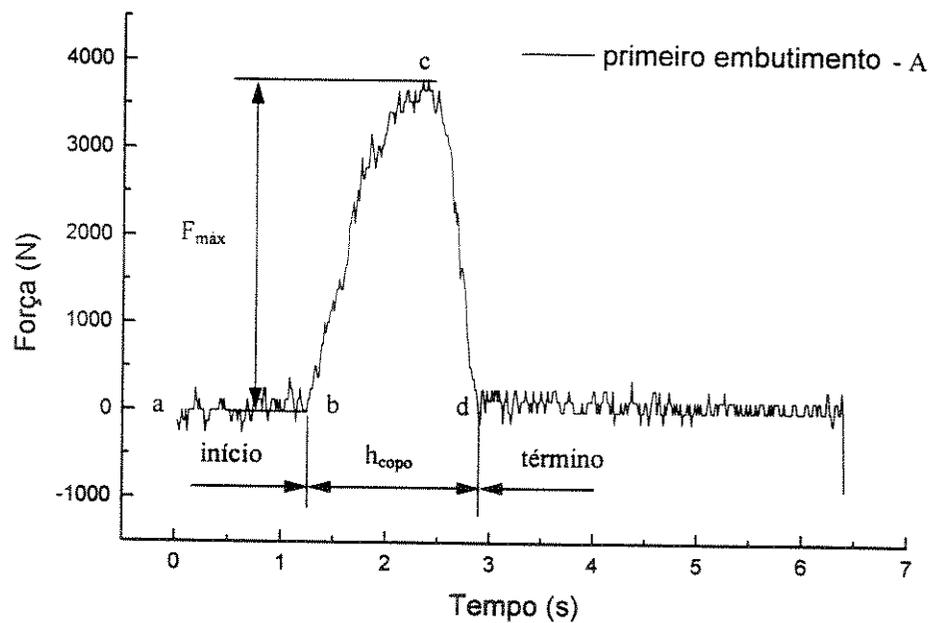


GRÁFICO 6.1 - Esforços de estampagem medidos no punção durante o primeiro embutimento - material A

Analisando o GRAF. 6.1 observamos que no intervalo de (a) até (b) o punção está se aproximando do "blank". A partir do ponto (b), inicia-se a operação de embutimento, com

uma crescente necessidade de força durante o intervalo de (b) até (c). A força necessária para o embutimento deverá vencer o atrito durante o dobramento do "blank" na matriz e no punção, onde agem tensões de tração na superfície externa das regiões dobradas, tensões de compressão na superfície interna e compressão circunferencial do "blank" na aba da lata, podendo levar a formação de rugas. O ponto (c) é o indicador da máxima força de embutimento.

O intervalo de (c) a (d) representa a passagem da lata pela cavidade da matriz, na qual atuam tensões de tração ao longo das laterais, podendo provocar o estiramento das paredes da lata e também, tensões de compressão perpendiculares à superfície das laterais, que provocam redução da espessura da parede. Nesta região ainda estão presentes os esforços de atrito nas superfícies externa e interna da lateral da lata e lateral do punção. A medida que o punção avança no interior da matriz, diminui o atrito entre a parede externa da lata com a matriz reduzindo, portanto, a força necessária para o término do embutimento.

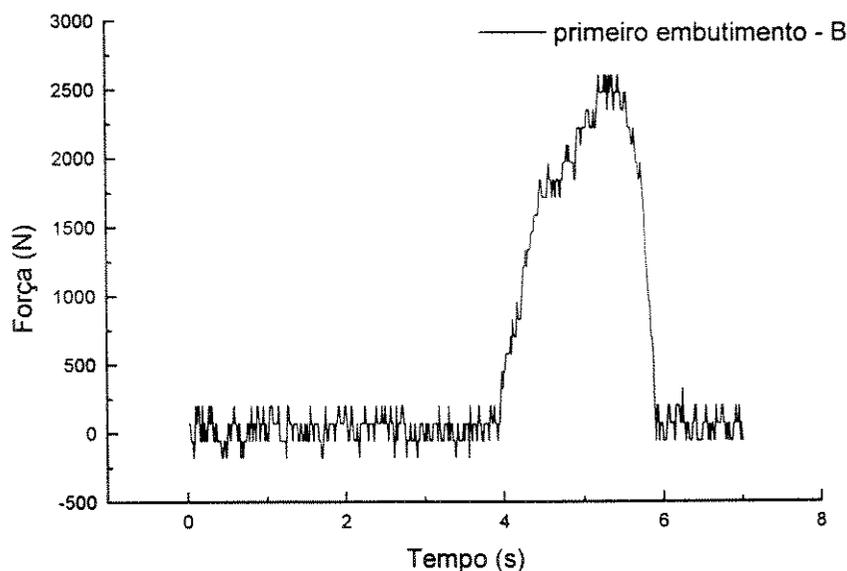


GRÁFICO 6.2 - Esforços de estampagem medidos no punção durante o primeiro embutimento - material B

Os resultados de força versus tempo nos GRAF. 6.1 e 6.2 apresentam aspectos semelhantes. A força necessária para o embutimento do material B é inferior a força necessária para conformar o material A, pois o limite de escoamento de B é menor, apesar de

apresentar teor de carbono superior ao de A. Esta contradição pode ser devida as variações no processo prévio de recozimento da folha-de-flandres.

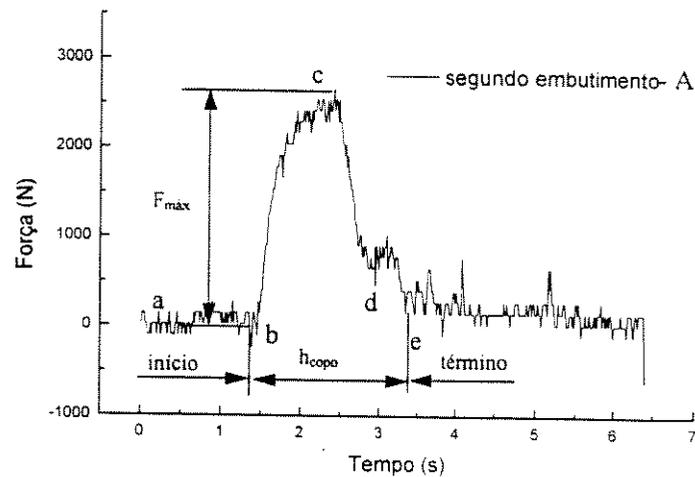


GRÁFICO 6.3 - Esforços de estampagem medidos no punção durante o segundo embutimento - material A

Pela análise do GRAF. 6.3, do ponto (a) ao ponto (b) o punção toca o fundo da lata, o ponto (b) determina o início do embutimento, do ponto (b) ao (c) a força necessária para a conformação aumenta devido ao atrito entre as ferramentas: prensa chapa, matriz e punção e tensões de tração e compressão que agem no prensa chapa e nas regiões do raio da matriz e do punção. A máxima força acontece no ponto (c), o aumento da força necessária para o embutimento no ponto (d) é entendido como sendo provocado pelo surgimento das rugas que passarão pelo raio da matriz finalizando o embutimento, e pelo possível excesso de pressão no prensa chapa na etapa final de embutimento, o ponto (e) é o término do embutimento.

Como mostra a TAB. 6.1 e os GRAF. 6.1, 6.2, 6.3 e 6.4, as alturas das latas confeccionadas com o material B são maiores do que as alturas das latas produzidas com o material A, implicando assim no aumento do tempo de ensaio para os GRAF. 6.2 e 6.4.

As forças necessárias para a realização do segundo embutimento são menores que as do primeiro embutimento, visto que não há uma grande mudança da forma geométrica do material a ser embutido.

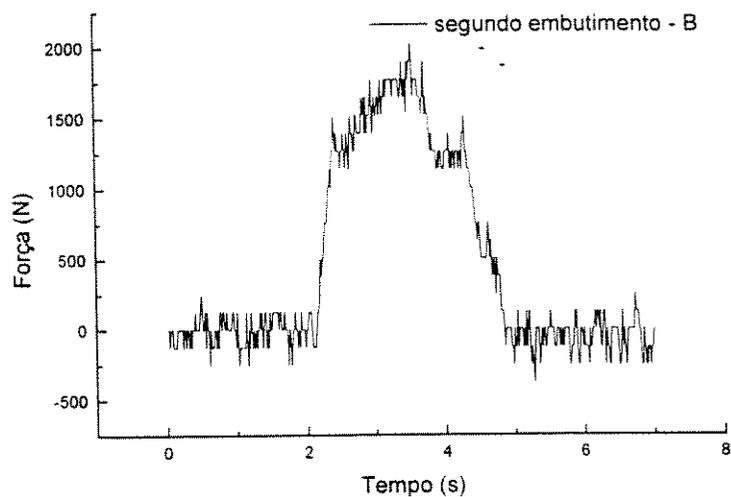


GRÁFICO 6.4 - Esforços de estampagem medidos no punção durante o segundo embutimento - material B

TABELA 6.1

Resultado da média (\bar{y}) e do desvio padrão (S) do diâmetro, altura e espessura dos corpos de provas durante os ensaios.

material A

medidas (mm)		"blank"	1 ^o embut.		2 ^o embut.		1 ^o estiram.		2 ^o estiram	
			calc.	ensaio	calc.	ensaio	calc.	ensaio	calc.	ensaio
Ø do punção		84,980	58,000	58,000	40,000	39,840	40,000	39,840	40,000	39,840
altura	- y	0,000	16,540	18,680	34,870	36,730	49,930	36,990	70,000	38,350
	S	—	—	0,260	—	0,780	—	0,760	—	0,580
espessura	- y	0,300	0,300	0,302	0,300	0,318	0,210	0,305	0,150	0,300
	S	—	—	0,005	—	0,018	—	0,006	—	0,014
espessura do fundo	- y	—	0,300	0,300	0,300	0,295	0,300	0,294	0,300	0,290
	S	—	—	0,001	—	0,000	—	0,002	—	0,001

material B

medidas (mm)		"blank"	1 ^o embut.		2 ^o embut.		1 ^o estiram.		2 ^o estiram	
			calc.	ensaio	calc.	ensaio	calc.	ensaio	calc.	ensaio
Ø do punção		84,980	58,000	58,000	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000
altura	-y	0,000	16,540	19,650	34,870	37,450	49,930	43,600	70,000	41,400
	S	—	—	0,071	—	2,192	—	2,263	—	4,525
espessura lateral	-y	0,300	0,300	0,305	0,300	0,318	0,210	0,288	0,150	0,250
	S	—	—	0,007	—	0,011	—	0,018	—	0,014
espessura do fundo	-y	—	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,283	0,300	0,283
	S	—	—	0,001	—	0,000	—	0,011	—	0,004

A TAB. 6.1 mostra a diferença no diâmetro do punção utilizado para a realização do segundo embutimento e o estiramento dos materiais A e B. Esta diferença provocou uma menor folga entre matriz e punção e aumento na força de estiramento do material B, obtendo-se latas com espessuras de paredes mais finas e alturas maiores, porém com elevado aumento no desvio padrão, mostrando assim a dificuldade de processar latas com o material B.

6.2 Influência do prensa-chapas e dos raios de arredondamento

O segundo embutimento parte da lata obtida no primeiro embutimento; a área de contato entre a "aba" da lata (região plana do fundo da lata) e a região horizontal da matriz, onde age o prensa chapa é pequena (FIG. 6.1). Nessa região atua um sistema hidráulico que serve para aumentar o atrito entre matriz e o fundo da lata, evitando assim a formação de rugas.

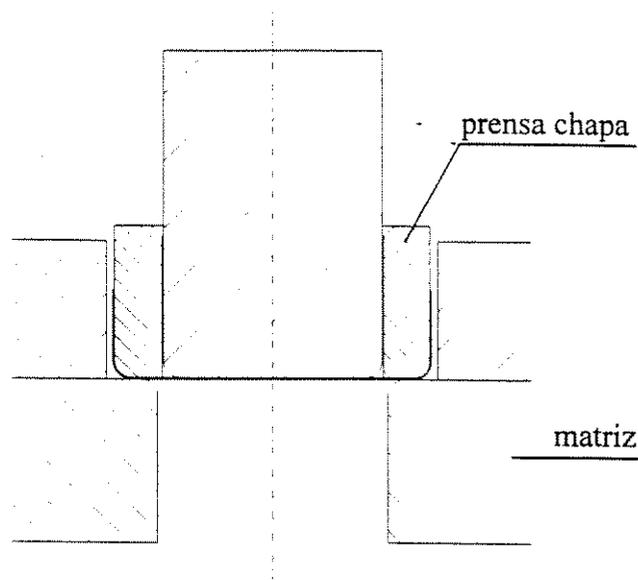


FIGURA 6.1 - Região utilizada para atuar o prensa chapa na segunda operação de embutimento

Foram testados diferentes tipos de mecanismos para funcionar como prensa chapa:

-com o sistema de vários parafusos, os quais eram apertados contra o guia de embutimento e este contra o anel sujeitador não foram obtidos bons resultados, devido à dificuldade de manter a pressão constante nos parafusos e à difícil reprodutibilidade da pressão.

- sistema de carregamento por molas, no lugar dos parafusos foram adaptadas várias molas as quais se encarregavam de comprimir o guia de embutimento contra o anel sujeitador e assim provocar a força de sujeição. Este sistema não funcionou. Por estar o conjunto atrelado ao movimento do punção, no final do processo ocorria um aumento exagerado da força de prensa-chapa, ocasionando o rasgamento na parede lateral da lata.

- o sistema hidráulico apresentou melhor resultado. É possível, com este sistema, conseguir uma boa reprodutibilidade dos ensaios e variar a força no prensa chapa no decorrer do embutimento. A pressão de sujeição calculada corresponde à metade da pressão experimental que está em torno de 15 a 20 kgf/cm². Pressões inferiores acarretam a formação de rugas na aba da lata, dificultando o embutimento ou mesmo provocando a ruptura da lata, como também acontece para pressões elevadas.

Os raios do punção e da matriz são características importantes para um bom embutimento. Na literatura encontram-se várias fórmulas para os cálculos da força de embutimento, da pressão do prensa chapa e dos raios da matriz e do punção. Porém, há divergência entre os autores, muitas fórmulas são empíricas ou teóricas e nem sempre funcionam em determinadas condições.

Por exemplo:

Autores/ Fórmulas	Raio da matriz	Raio do punção
Wassilieff. B.	$r_{mat} = 0,8 (D_o - d_{mat})^{1/2} s_o$	$5 s_o < r_p < 0,3 d_p$
Provenza (Estampos IIb - Pro-tec)	$r_{mat} = 0,8 (D_o - d_{mat})^{1/2} s_o$	$r_p = r_{mat} - s_o$
Schuler. L.	$r_{mat} = (5 \text{ à } 10) s_o$	$r_p = (0,1 \text{ à } 0,3) d_p$
Projeto	$r_{mat} = 3 \text{ mm}$	$r_p = 3 \text{ mm}$

Os autores Wassilieff. B. (1963) e Schuler. L. (1968) alertam para o seguinte fato: "Em nenhum caso o raio de curvatura do punção deverá ser inferior ao raio de curvatura da matriz", contradizendo a fórmula apresentada por Provenza em Estampos IIb - Pro-tec (1979).

Foram produzidas latas no primeiro embutimento com diferentes raios de curvatura do punção ($r_p = 9 \text{ mm}$; $r_p = 5 \text{ mm}$; $r_p = 3 \text{ mm}$), e mantendo-se constante o raio da matriz para o primeiro embutimento em $r_{mat} = 2,3 \text{ mm}$ e para o segundo embutimento $r_{mat} = 3,0 \text{ mm}$.

No primeiro embutimento nada foi constatado em relação ao aspecto visual (rugas, trincas, etc.) com a alteração no raio do punção, porém no segundo embutimento, com raio do punção igual a 9 mm , não foi possível confeccionar nenhuma lata devido à área entre a "aba" da lata e a matriz ser muito pequena, formando um anel de contato que provocava o corte da lata ao impor uma pressão no prensa chapa (FIG. 6.1).

Com raio de punção igual a 5 mm é possível realizar o embutimento, porém há formação de rugas na maioria das latas embutidas.

Levando em conta o que disseram Wassilieff. B. (1963) e Schuler. L. (1968), e a idéia de que se o raio do punção for muito menor do que o raio da matriz, este se torna um punção de corte e acarreta o desprendimento do fundo da lata, utilizou-se punção com raio de 3 mm.

6.3 Esforços de estiramento

O processo de estiramento sucede as etapas de embutimento com o objetivo de reduzir a espessura da parede da lata.

Os GRAF. 6.5 a 6.8 apresentam as curvas de força das etapas de estiramento.

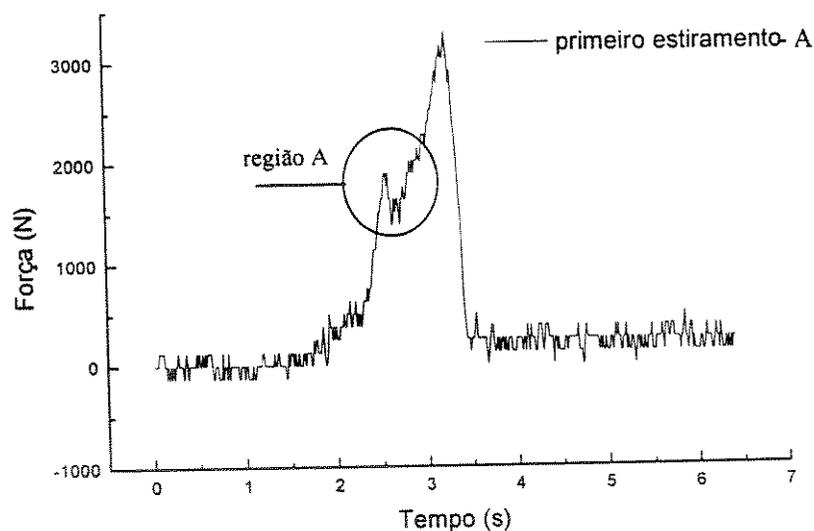


GRÁFICO 6.5 - Força necessária para realização do primeiro estiramento - material A

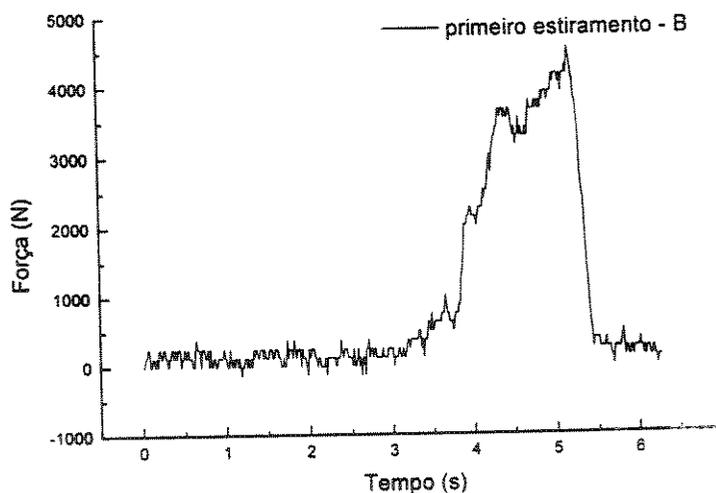


GRÁFICO 6.6 - Força necessária para realização do primeiro estiramento - material B

Os GRAF. 6.5 e 6.6 são semelhantes, sendo que no GRAF. 6.6 a força de estiramento é maior, devida à maior redução de espessura para o material B na parede lateral da lata, ou seja, há uma menor folga entre a matriz e punção (TAB. 6.1).

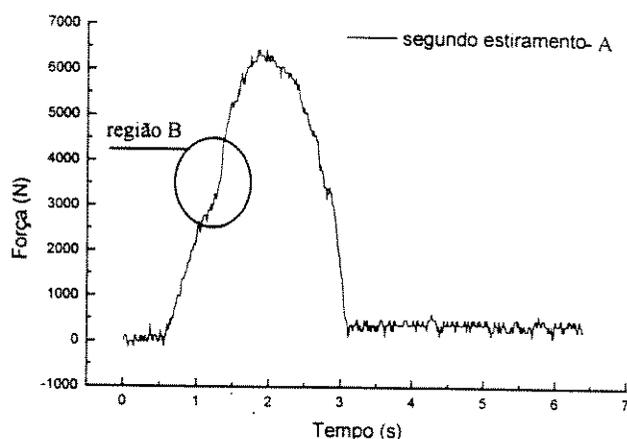


GRÁFICO 6.7 Força necessária para realização do segundo estiramento - material A

Curvas de aspectos semelhantes para o embutimento e estiramento foram obtidas por SCHUNEMANN, M. et al. (1996) e JIANJUN, W. (1994).

Os GRAF. 6.5, 6.6 e 6.7, mostram o crescente aumento da força de estiramento durante o deslocamento do punção. O grande aumento na força de estiramento medido no GRAF. 6.7 está relacionado a fatores como a não uniformidade da espessura lateral da lata e o encruamento do material.

As respectivas regiões A e B dos GRAF. 6.5 e 6.7 apresentam uma variação de força de estiramento, devida à região superior da lata ser mais espessa (FIG. 6.3) ou, ocasionalmente, por apresentar rugas provenientes do segundo embutimento (FIG. 6.6).

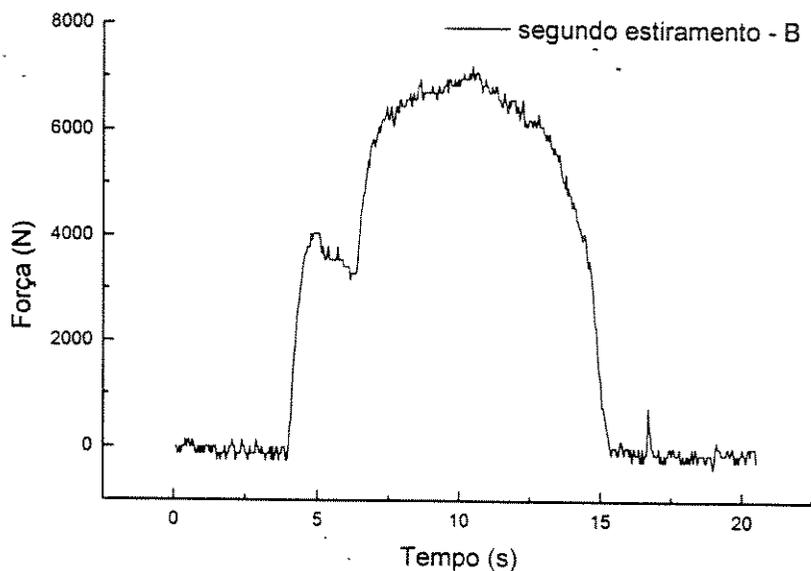


GRÁFICO 6.8 Força necessária para realização do segundo estiramento - material B

Comparando as respectivas regiões A e B dos GRAF. 6.5 e 6.7 e o GRAF. 6.8 com a TAB. 6.1 e a FIG. 6.3, notaremos que quanto menor for a variação e o percentual de redução da espessura lateral da lata, menor será a descontinuidade da força de estiramento.

A comparação entre os esforços calculados e experimentais para os materiais A e B, nas duas etapas de embutimento, apresentou valores calculados superiores cerca de 1000 N para o material A em relação ao material B, o que pode ser explicado pela superioridade das propriedades mecânicas do material A (TAB.5.2). Esta margem de superioridade também foi mantida nos valores experimentais, porém com esforços em torno de 70% inferiores aos calculados, o que faz com que a EXPRESSÃO 3.3 não seja adequada para o cálculo dos esforços de embutimento, pois não considera parâmetros relacionados com a geometria das ferramentas ou com a lubrificação.

Na primeira etapa de estiramento, os valores experimentais corresponderam a 40% dos calculados e a diferença entre os valores calculados para o material A e B foi de 24% a mais para o material B. Esta diferença sobe para 29% nos esforços experimentais. A superioridade dos esforços calculados para o material B poderia ser ainda maior devido à consideração realizada para a resistência média à deformação (k_{fm}) na EXPRESSÃO 3.7.

Na segunda etapa de estiramento, os esforços experimentais foram em média 13% superiores aos calculados e a diferença entre os esforços calculados foi 23% superior para o material B, contra apenas 7% de superioridade em relação ao material A nos ensaios experimentais.

Ao contrário do embutimento, nas etapas de estiramento, os esforços experimentais foram superiores aos calculados, mostrando que a EXPRESSÃO 3.7 falha por não considerar variáveis relacionadas com a geometria das ferramentas (raio de concordância e ângulo de trabalho) e com a lubrificação (coeficiente de atrito).

Os valores calculados para as pressões de sujeição dos materiais A e B em ambas etapas de embutimento são próximos entre si. O valor calculado da pressão de sujeição na primeira etapa é 28 % superior ao da segunda etapa.

É importante lembrar que nos processos de embutimento e estiramento, vários fatores estão diretamente interligados, dificultando assim a formulação de expressões que forneçam resultados de força próximos aos verificados experimentalmente.

6.4 Análise dos copos embutidos e estirados.

Como mostra a FIG. 6.2, a lata foi dividida em regiões (superior, inferior e fundo) e a partir destas retiraram-se amostras para a análise da camada de estanho nas superfícies interna e externa dos copos. A FIG.6.3 apresenta a variação de espessura das paredes da lata.

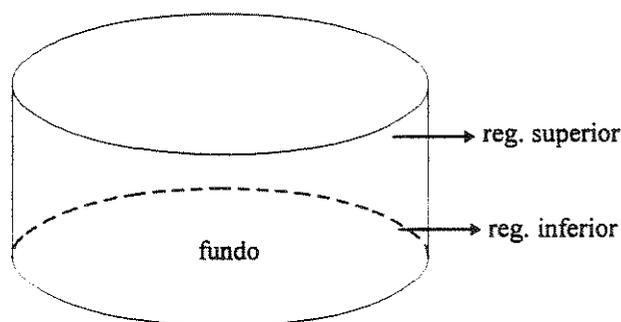
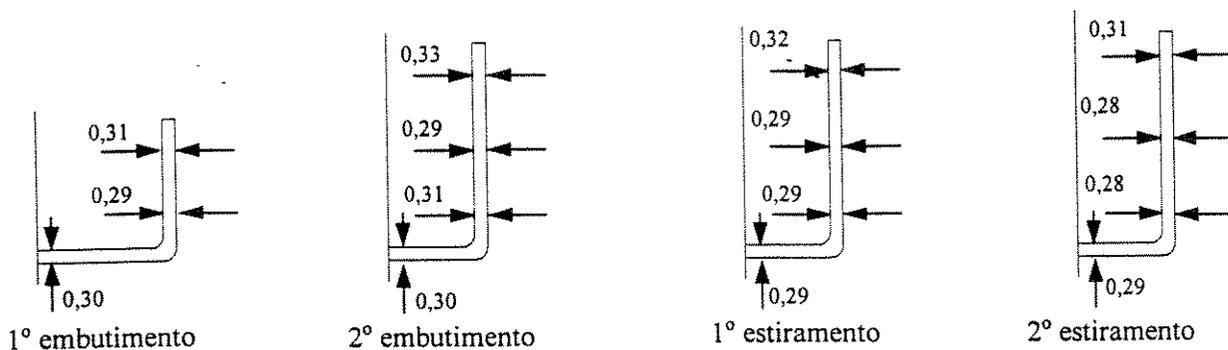


FIGURA 6.2 - Distribuição das regiões no corpo de prova (lata)

material A



material B

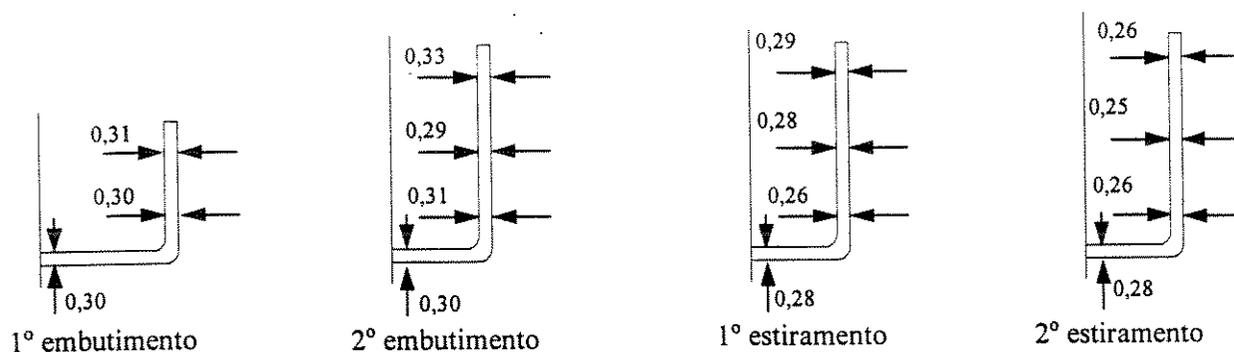


FIGURA 6.3 - Variação de espessura em mm das paredes da lata

A espessura do fundo da lata é praticamente a mesma do "blank", pois esta região é quase isenta de deformações, devido ao fato de atuar sobre a mesma uma tensão compressiva associada ao provável esforço de atrito.

Na região da parede da lata a ação de tensões de compressão, de estiramento e o esforço de atrito fazem com que haja uma diferença de espessura entre a partes superior e inferior.

A análise da camada de estanho na folha-de-flandres foi realizada no "blank", nas latas após as operações de embutimento e estiramento (TAB. 6.2).

TABELA 6.2

Resultado da média (\bar{y}) e do desvio padrão (S) de estanho (g/m^2) durante os processos de confecção do "blank", embutimento e estiramento da folha-de-fladres

material A

processos		blank	1 ^o embut.		2 ^o embut.				1 ^o estiram.				2 ^o estiram.			
região			inter.	exter.	inter.		exter.		inter.		exter.		inter.		exter.	
					sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.
Sn livre	- \bar{y}	2,05	1,75	1,56	1,39	1,62	0,61	1,39	0,75	1,20	0,57	1,22	1,40	1,47	0,54	0,88
	S	0,10	0,14	0,21	0,17	0,05	0,21	0,06	0,17	0,42	0,13	0,04	0,05	0,07	0,33	0,04
Sn liga	- \bar{y}	0,91	1,20	0,96	1,07	1,04	0,80	0,98	1,03	1,01	0,78	0,92	1,18	0,99	0,82	0,63
	S	0,03	0,17	0,46	0,01	0,03	0,43	0,04	0,24	0,03	0,22	0,01	0,04	0,04	0,26	0,02
Sn total	- \bar{y}	2,96	2,95	2,52	2,46	2,66	1,41	2,37	1,60	2,21	1,53	2,14	2,58	2,46	1,36	2,39
	S	0,13	0,31	0,67	0,18	0,08	0,64	0,10	0,41	0,45	0,35	0,05	0,09	0,11	0,59	0,06

material B

processos		blank	1 ^o embut.		2 ^o embut.				1 ^o estiram.				2 ^o estiram.			
região			inter.	exter.	inter.		exter.		inter.		exter.		inter.		exter.	
					sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.
Sn livre	- \bar{y}	1,67	1,38	1,04	1,23	1,34	0,76	0,96	1,26	1,09	0,54	0,72	0,18	0,72	0,07	0,25
	S	0,07	0,03	0,01	0,13	0,03	0,18	0,24	0,47	0,26	0,04	0,02	0,16	0,46	0,10	0,01
Sn liga	- \bar{y}	0,72	1,35	1,20	1,01	1,25	0,56	1,00	0,64	1,05	0,52	0,50	0,37	0,95	0,36	0,17
	S	0,10	0,01	0,09	0,16	0,04	0,59	0,13	0,38	0,34	0,10	0,33	0,01	0,08	0,24	0,08
Sn total	- \bar{y}	2,39	2,73	2,24	2,24	2,59	1,32	1,96	2,06	2,14	1,06	1,22	0,55	1,67	0,43	0,42
	S	0,17	0,04	0,10	0,29	0,07	0,77	0,37	0,85	0,60	0,14	0,35	0,17	0,54	0,34	0,09

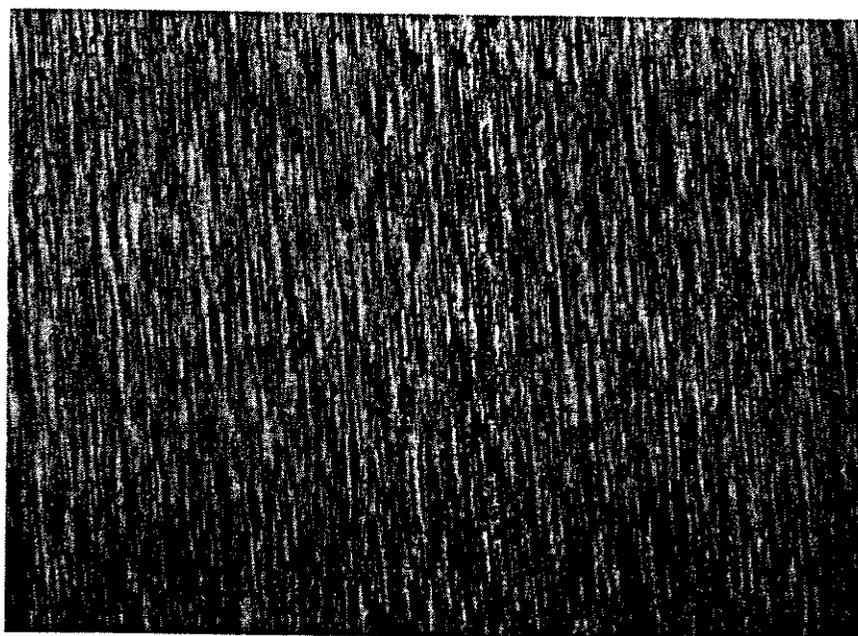
A quantidade de revestimento de Sn no "blank", apresentou-se próximo do estabelecido pelo fornecedor de folha-de-fladres.

Nas etapas do embutimento houve aumento do Sn ligado nas paredes interna e externa da lata em relação ao valor inicial do "blank", tanto para o material A como para o material B. Este aumento pode estar relacionado à passagem do Sn livre para o Sn ligado, devido ao aquecimento provocado pelo atrito entre a lata e as ferramentas.

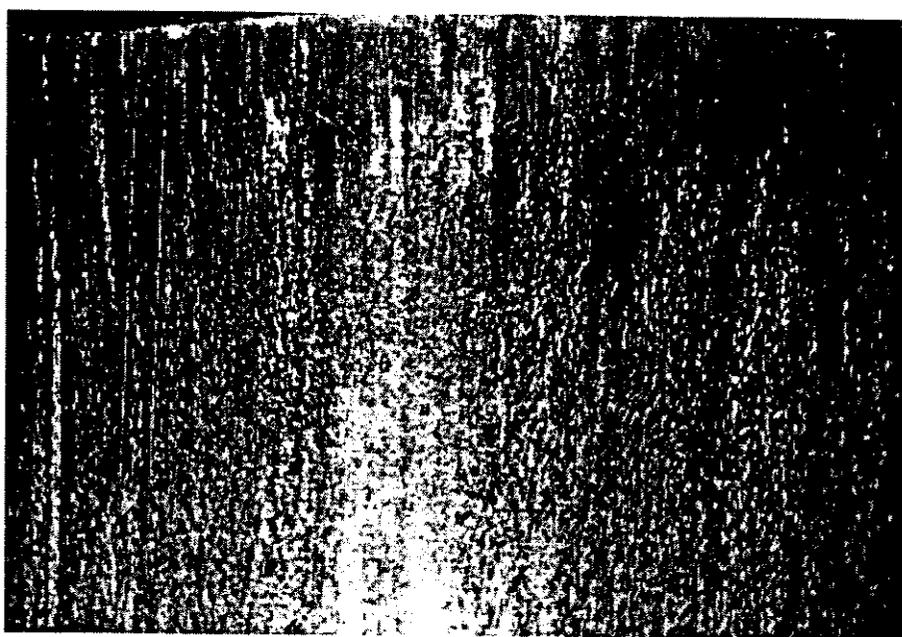
O alto desvio padrão na medição do Sn ligado externo superior do segundo embutimento para ambos os materiais, está vinculado à presença de rugas na lateral da lata (FIG. 6.6).

A região externa superior da lata apresenta redução de estanho livre maior do que a externa inferior, possivelmente pelo fato da região superior ser mais espessa (FIG. 6.3). Como a folga entre a matriz e o punção é constante, durante o embutimento e o estiramento, primeiramente ocorre a remoção do estanho e em seguida, o rompimento da lata.

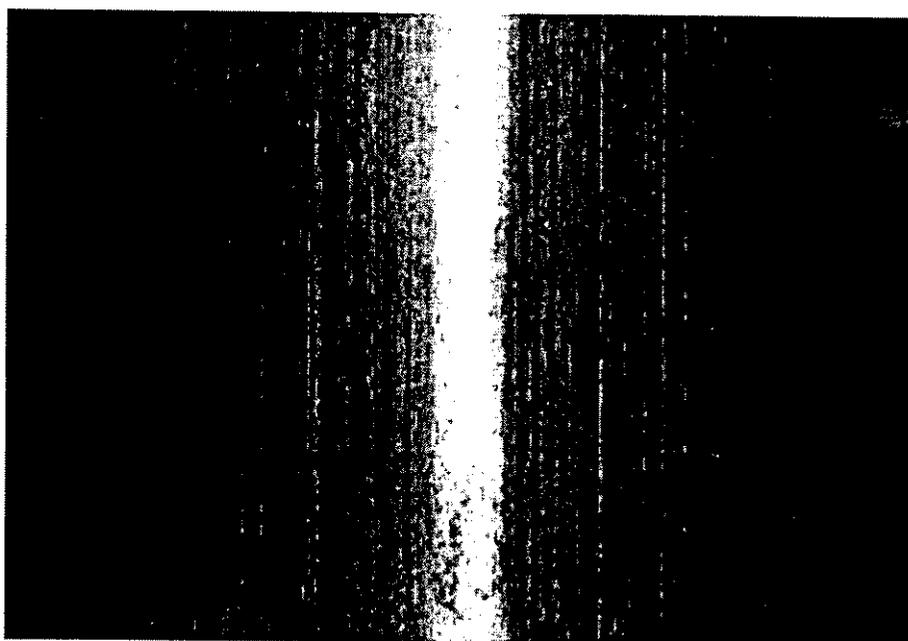
Valores de estanho livre e ligado maiores na região interna do que na região externa, estão relacionados ao elevado atrito da parede externa da lata com as paredes e raios das matrizes.



a)



b)



c)

FIGURA 6.4 - Distribuição da camada de estanho

a) camada de estanho sobre o "blank" b) camada de estanho na lateral externa da lata após o primeiro embutimento c) camada de estanho na lateral externa da lata após o segundo estiramento (aumento 10 X).

Pela análise da TAB. 6.2 e da FIG. 6.4, verificamos que durante o processo de estiramento a camada de estanho tende a ser mais homogênea devido ao fechamento e conseqüente diminuição na quantidade de sulcos e riscos da parede lateral da lata. Na

fotografia é possível notar que a superfície da lata apresenta-se brilhante e lisa após o estiramento, sendo uma das características do processo, a de conferir um abrilhantamento superficial na parede lateral da lata, enquanto que no embutimento a superfície fica opaca e grosseira devido à grande quantidade de sulcos.

As figuras abaixo mostram os defeitos mais frequentes durante as etapas dos processos.

Durante a primeira etapa de embutimento, o único defeito verificado foi o embutimento irregular na lateral da parede da lata, devido ao estiramento provocado pelo desalinhamento do punção com a matriz (FIG. 6.5).

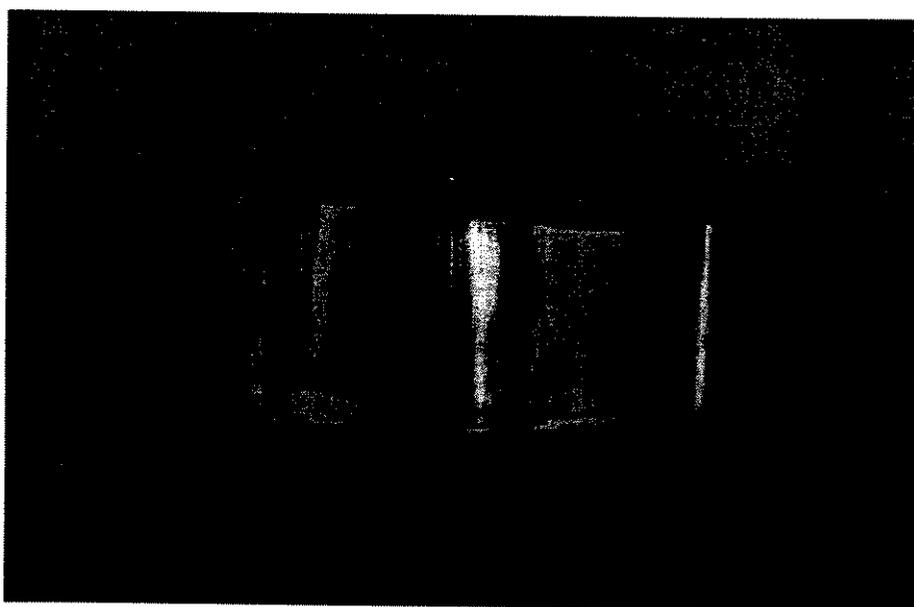


FIGURA 6.5 - Presença de estiramento na região lateral da lata durante o primeiro embutimento

O maior número de defeitos foi verificado no segundo embutimento, devido principalmente à necessidade de se utilizar o prensa-chapa. Uma pressão excessiva no prensa chapa ocasiona ruptura da lata, pois dificulta o escoamento do material para dentro da matriz e uma pressão insuficiente ocasiona ruptura da lata devido à formação de rugas na aba do "blank", que dificultam o escoamento do material na região do raio da matriz.

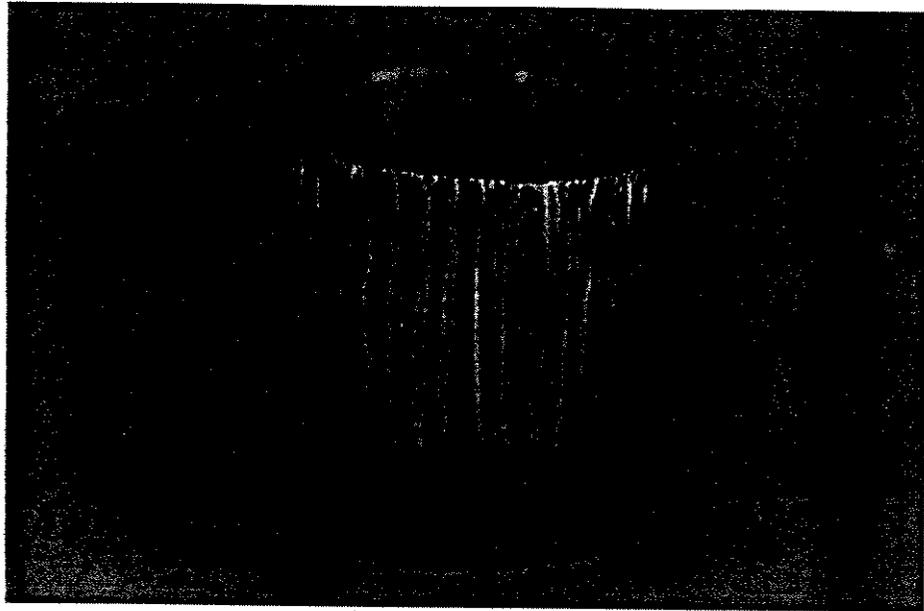


FIGURA 6.6 - Formação de rugas durante o segundo embutimento

Com pressão insuficiente, pode-se conseguir o embutimento da lata, porém com a presença de várias rugas no sentido longitudinal (vertical) (FIG. 6.6).

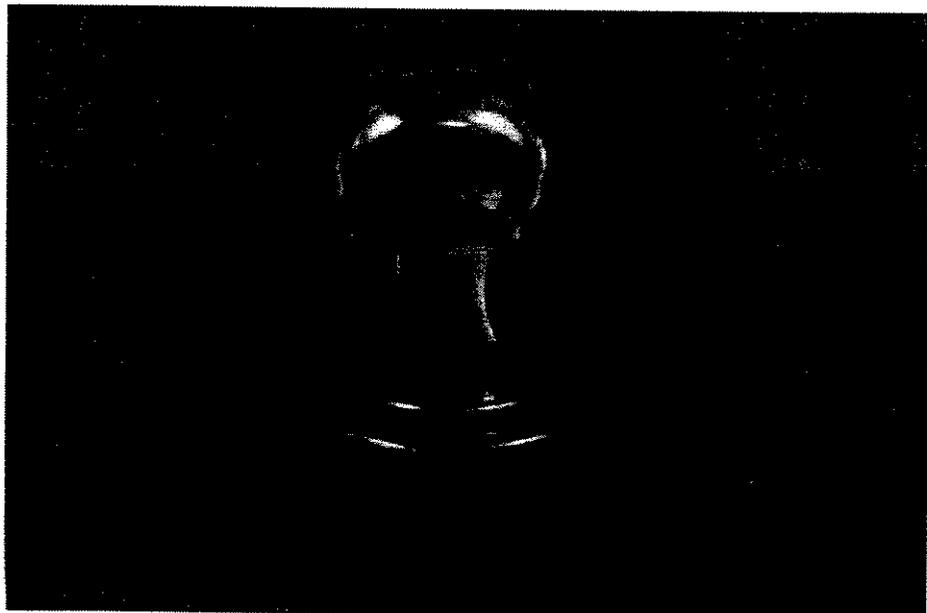


FIGURA 6.7 - Ruptura da lata durante o segundo embutimento

A FIG. 6.7 apresenta uma lata defeituosa, devido a sobreposição de dois fatores: excesso de pressão no prensa chapa e desalinhamento do punção em relação a matriz.

O controle da pressão de sujeição é difícil de ser mantido manualmente em um determinado valor, pois o processo é muito rápido e a área de atuação do prensa chapa sobre a aba da lata é pequena, reduzindo o tempo para o controle da mesma.

Como mostram as FIG. 6.8 e 6.9, o alinhamento do punção com a matriz deve ser muito bem controlado, devido à folga entre ambos ser pequena, sendo que qualquer variação irá provocar o estiramento de um dos lados da parede lateral da lata, podendo levá-la à ruptura em qualquer estágio do embutimento.

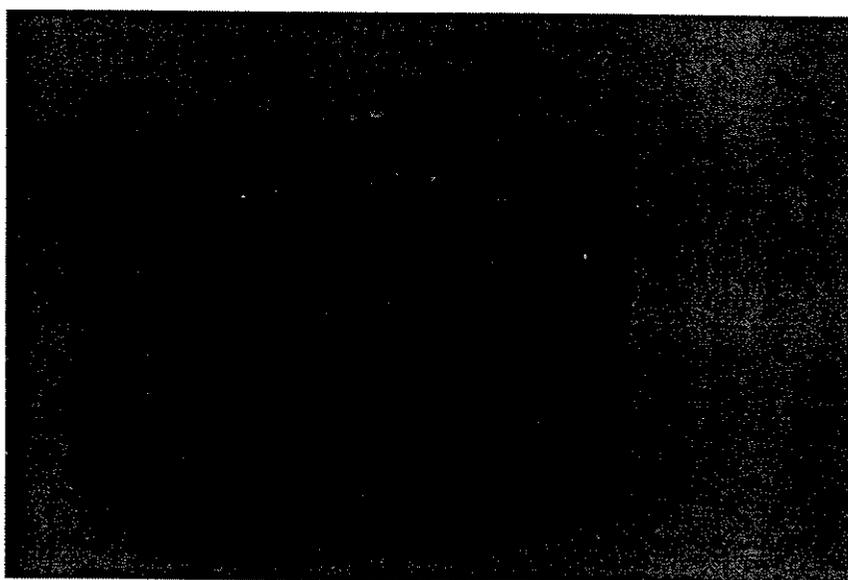


FIGURA 6.8 - Região estirada no final da lata

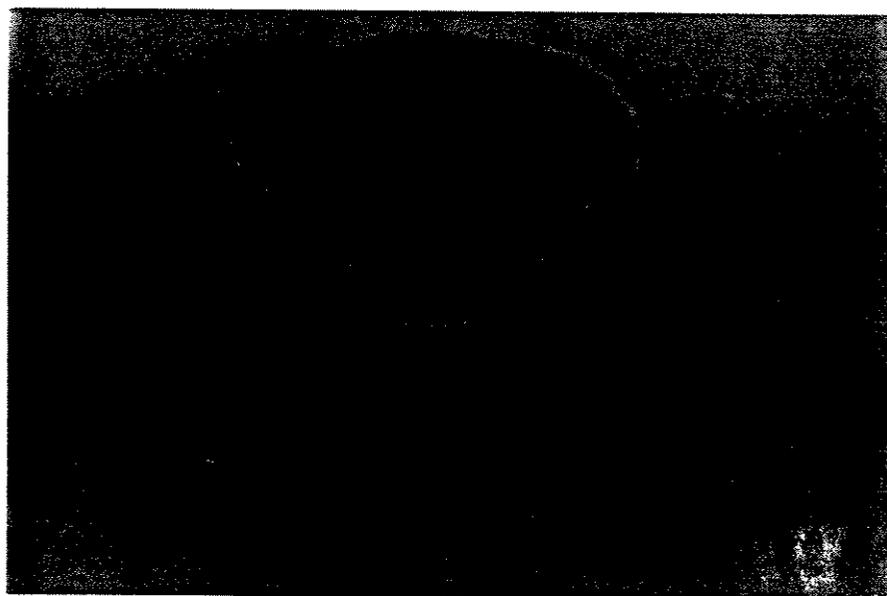


FIGURA 6.9 - Região de ruptura, devido ao estiramento provocado pelo desalinhamento do punção

Como no processo de estiramento não se utiliza o prensa chapa para a conformação da lata, evitamos os problemas causados pela ajustagem da pressão do mesmo. As rugas e a variação de espessura provenientes do embutimento são eliminadas quase que na totalidade, e o processo de estiramento resulta em uma melhor uniformidade dimensional da parede da lata.

Os defeitos apresentados no estiramento foram devidos ao desalinhamento do punção, pequena folga entre punção e matriz e marcas nos punções como riscos e sulcos, causando assim sulcos, riscos, não uniformidade da espessura, rompimento e estiramento na parede da lata (FIG. 6.10, 6.11, 6.12, 6.13).

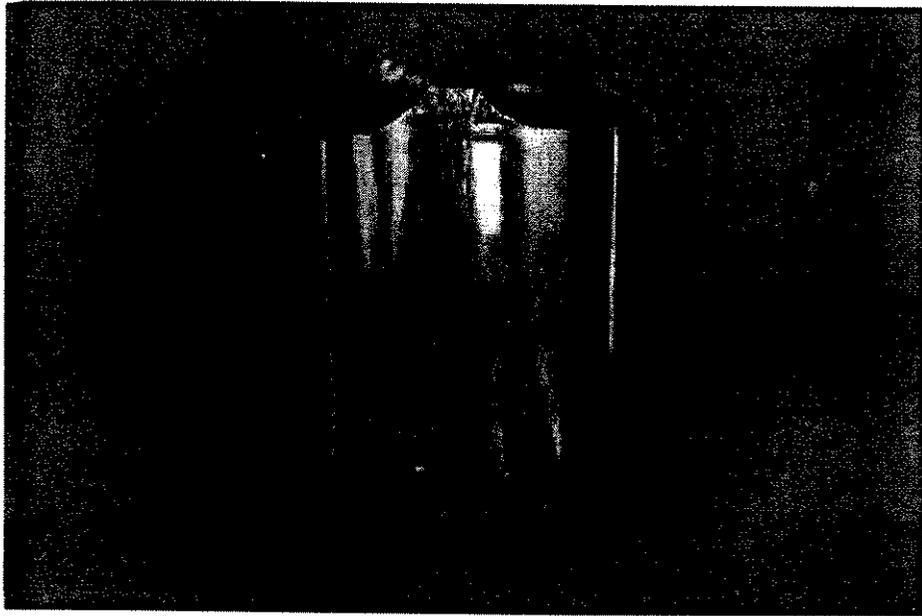


FIGURA 6.10 - Estiramento não uniforme na parede lateral da lata

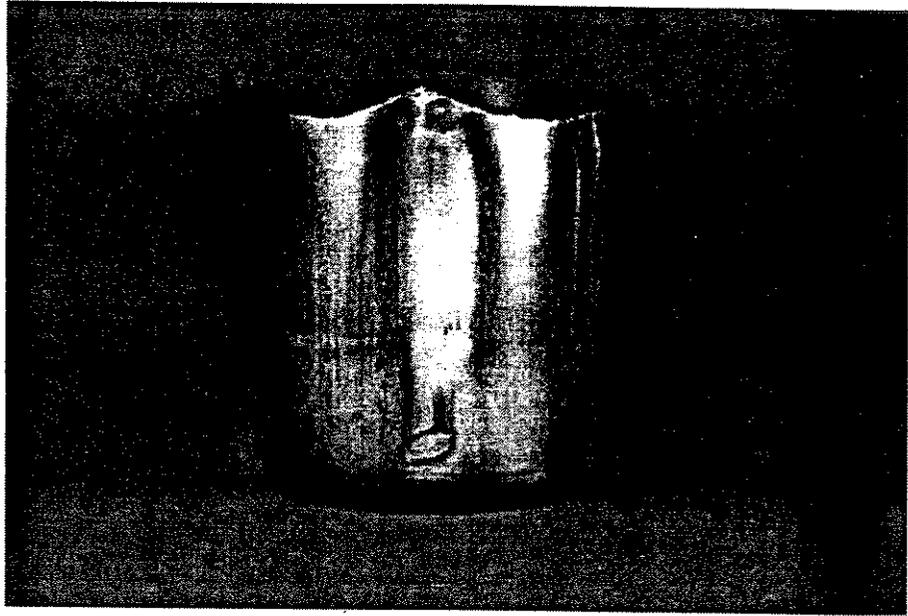


FIGURA 6.11 - Estiramento não uniforme acompanhado da presença de sulco na parede lateral da lata

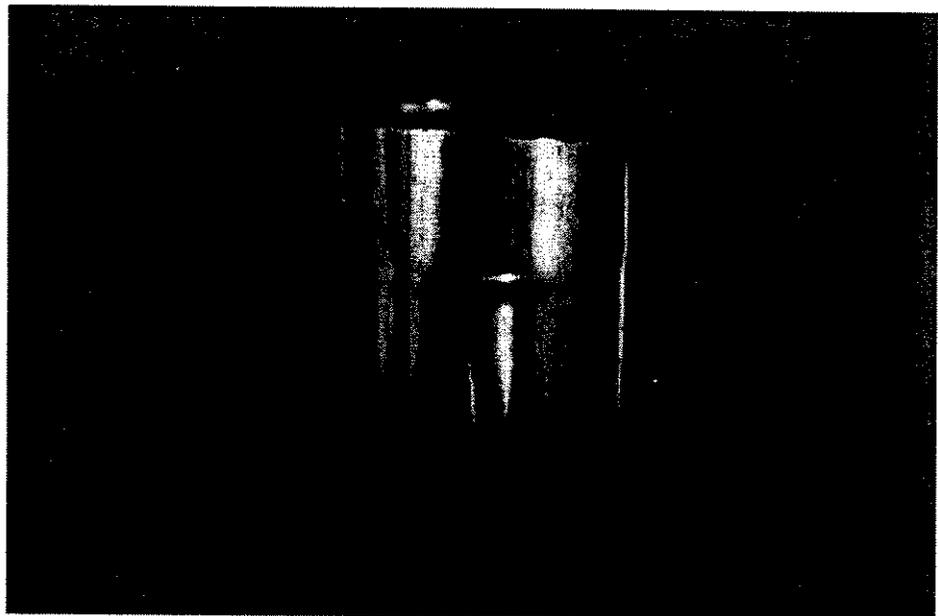


FIGURA 6.12 - Abaulamento lateral da parede da lata

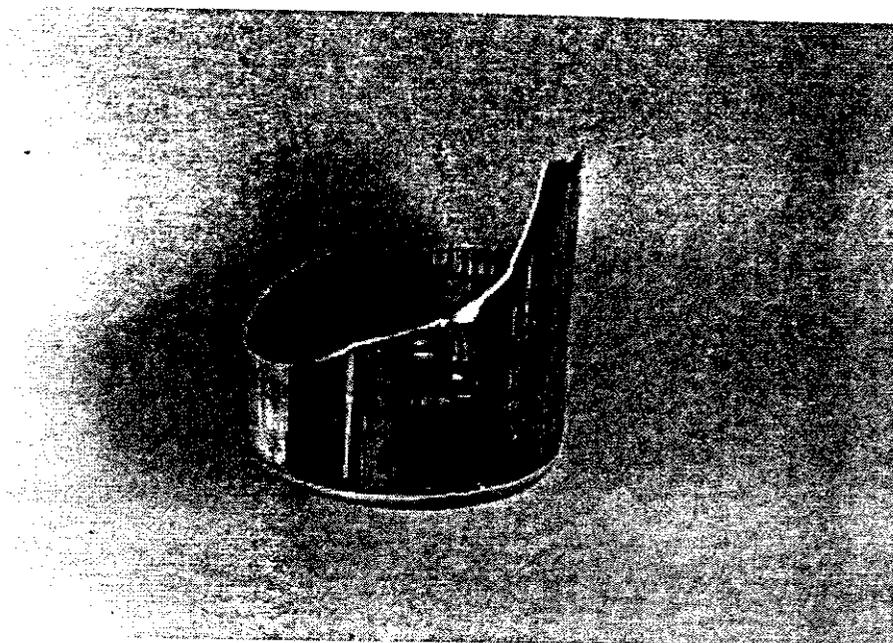


FIGURA 6.13 - Rompimento da parede lateral da lata

Para corrigir os defeitos apresentados nas latas, pode-se utilizar o recurso da análise isolada das variáveis dos processos de embutimento e estiramento, já que estas estão sempre interligadas dificultando uma análise global.

O lubrificante é importante no processo, este reduz o atrito entre os ferramentais, evitando assim o rompimento da camada de estanho e estanho ligado na superfície da lata. Os lubrificantes utilizados (óleo SAE 20 e pasta ou líquido de MoS_2), mostraram-se eficazes, para o sucesso dos ensaios, porém não foi dado interesse quanto a facilidade ou não da remoção do lubrificante da superfície da lata após todas as etapas de conformação.

Dependendo do raio de arredondamento das matrizes e dos punções podemos ter o rompimento do fundo da lata. Foi constatado que para as medidas projetadas da lata, o raio de arredondamento do punção não pode ser superior ao da matriz.

O prensa-chapa é útil no processo de embutimento, principalmente nas etapas de redução do diâmetro interno da lata. Este deve transmitir uma pressão homogênea e de fácil controle na sua variação, para eliminar a formação de rugas ao longo da aba do copo.

O posicionamento do punção em relação a matriz pode estar na faixa de centrado a não alinhado, levando desde a riscos laterais da lata, ao rompimento de uma parte lateral da mesma ou ao travamento do processo com formação de sulcos no punção.

Capítulo 7

Conclusões e Sugestões para Próximos Trabalhos

7.1 Conclusões

Fatores como lubrificante, geometria da ferramenta, composição química da folha-de-flandres, força de prensa-chapa e outros, estão diretamente interligados durante as etapas de embutimento e estiramento dificultando, portanto, a análise individual dos mesmos.

O sistema de almofada hidráulica mostrou-se mais eficaz que os sistemas de carregamento por molas e por parafusos para o controle do esforço no anel sujeitador.

O raio de curvatura do punção superior ao raio da matriz produz rompimento do fundo da lata durante a etapa do segundo embutimento.

O material B, com maior alongamento e teor de carbono superior ao material A, apresentou menor esforço de embutimento. Devido ao encruamento dos materiais durante o processo de conformação, os esforços de estiramento para o material B foram superiores aos do material A.

A diferença entre os esforços calculados e experimentais para o embutimento e estiramento podem estar relacionados a desconsideração da microestrutura, dureza, raios de arredondamento do punção e da matriz, lubrificante e outros, nas expressões utilizadas. Este excesso de esforço determinado pelas expressões garante um bom dimensionamento das ferramentas a serem utilizadas.

A geometria do prensa-chapa influencia diretamente na pressão de sujeição, na formação de rugas e no escoamento do material entre a matriz e o punção durante o embutimento.

Não foi possível embutir latas com pressão de sujeição no valor calculado devido a grande formação de rugas na aba do "blank", provocando o rompimento da lata no início do processo ou travamento do punção na matriz.

Observou-se que ensaios realizados com óleo SAE 20 e pasta ou líquido de MoS₂, apresentam faixas de esforços de embutimento e estiramento próximas umas das outras.

Não é possível realizar os ensaios de embutimento e estiramento em corpos-de-prova não lubrificados, apesar da camada de estanho livre ajudar na redução do atrito entre o ferramental e os corpos-de-prova.

A camada de estanho livre na folha-de-flandres é reduzida pelo atrito entre as ferramentas e os corpos-de-prova, e, pela passagem do estanho livre para estanho ligado, devido a variação de temperatura durante o processo de conformação.

A conformação do material B tornou-se mais difícil devido às modificações dimensionais do punção e matrizes para os ensaios de embutimento e, principalmente, de estiramento.

A imprecisão dimensional das matrizes de estiramento foi fundamental para a não coincidência entre as medidas calculadas e experimentais das paredes laterais das latas estiradas.

7.2 Sugestões

Para próximos trabalhos ficam algumas sugestões:

- estudar a produção de latas pelo processo de embutimento e estiramento, utilizando folhas-de-flandres para embutimento profundo com espessuras inferiores a 0,30mm;

- analisar a variação da dureza ao longo do corpo de prova, para obtenção de dados relevantes as próximas etapas de conformação como a conformação do fundo da lata e do fechamento da mesma.

- avaliar a influência da velocidade de conformação no processo de embutimento e estiramento.

- realizar outras etapas de estiramento, procurando reduzir a espessura da parede da lata para medidas inferiores a 0,10 mm.

Referências Bibliográficas

- ANDREW, G. The lightweighting of two-piece beer cans. *MBAA Technical Quarterly*, Wisconsin, v.20, n.3, p.93- 98, 1983.
- BARRY, B.T.K. The new tinsplate industry; In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 3, 1984, London. *Proceeding...* Middlesex: International Tin Research Institute, 1984. p.
- BERTAZZOLI, R. *Modificação do processo de fabricação de folhas de flandres através da inibição do crescimento da camada de liga Fe-Sn*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, 1989. 139 p. Tese de Doutorado
- BERTAZZOLI, R., AOKI, C.S.C., SANTOS, M.B., BRESCIANI, E. Nickel Preplated Tinplate - A tinplate with Inhibition of the Fe-Sn Alloy Layer Growth. *Plating and Surface Finishing*, Florida, n.12 , p.64-67, dec.1993.
- BERTAZZOLI, R., SANTOS, M.B., BRESCIANI, E. Tinplate Anodic Stripping Voltammetry. *Electrochimica Acta*, Great Britain, v.36, n.9, p.1501-1503, 1991
- BRESCIANI FILHO, E. (Coord.), *Conformação Plástica dos Metais*, 4ª. edição, Editora da UNICAMP, p. 126-127, 1.986.
- CUT Can Costs, In: *Food Engineering*, Radnor, v.45, n8, p.52, aug. 1973
- GOMES, C. R. *Projeto e construção de matrizes para embutimento e estiramento de latas de folhas de flandres*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, 1992. 36 p. (Relatório técnico).

- HOTCHKISS, J.H. Canning, Food. In: *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology* 1986. p.86-91.
- JEKINS, G.A.; JEFFORD, G.; EVANS, D.W. Demand two - piece can technologies place on the properties of tinplates. In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 1, 1976, London. *Proceeding...* Middlesex: International Tin Research Institute, 1976. p.165-168.
- JIANJUN, WU. Calculation of ironing force. *Journal of Materials Processing Technology*, v.41, n.4, p.461-467, mar.1994.
- KOHN, E.O.; JOWITT, F.W. Cans, Fabrication. In: *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*. 1986. p.100-108.
- MCBRIDE, S.; KECK, B. Competition: the key to drinks can development. *The Canner*, Crawley, p.36-38, may 1994.
- METALS HANDBOOK, Press Forming of Coated Steel, *Forming and Forging*, ASM International, v.14, p.562-563, 1988.
- NETO, F.P. Latasa lucra com alumínio reciclado. *Folha de S.Paulo*, São Paulo, 3 abr. 1995. Caderno de Negócios, 2. cad. p.1.
- NEWMAN. P. The high cost of high prices. *The Canner*, Crawley, p.10-11, nov. 1995.
- NIEDER, N. F. Cans, Aluminum. In: *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*. 1986. p.93-94.
- NUTTING, J. The hard road to steel cans. *The Canmaker*, Crawley, v.8, p.38-42, apr. 1995.
- NUTTING. J. Aluminium lightweighting. *The Canmaker*, Crawley, v.8, p. 40-48, sept. 1995.
- NUTTING. J. What happened in the canmaking world in the lat year. *The Canmaker*, Crawley, v.9, p. 26-27, apr. 1996.

- PANKNIN, W. Principles of drawing and wall-ironing for the manufacture of two-piece tins, In: INTERNATIONAL TINPLATE CONFERENCE, 1, 1976, London. *Proceeding...* Middlesex: International Tin Research Institute, 1976. p. 201-214.
- PROVENZA, F. Estampos IIa, Protec, São Paulo, 1979.
- PROVENZA, F. Estampos IIb, Protec, São Paulo, 1979.
- REINGOLD, G. Cans, Steel. In: *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*. 1986. p.109-118.
- ROSSI, M. Estampado en frio de la chapa, Barcelona, 1961.
- SCHRAFFT, H. Steel takes centre stage. *The Canner*, Crawley, p.28-32, july 1995.
- SCHRAFFT, H. Latin Lessons. *The Canner*, Crawley, p. 32-40, febr. 1996
- SCHULER, L. Manual Schuler. *Prensas y sus Aplicaciones*, 4.ed.Stuttgart, 1968.
- SCHUNEMANN, M. et al. Prediction of process conditions in drawing and ironing of cans, *Journal of Materials Processing Technology*, v.59, n.1-2, p.1-9, may. 1996.
- SHOSHAN, S. Canmaking in the land of the Samba. *The Canmaker*, Crawley, v.7, p.30-38, may 1994.
- SMITH. P. Aluminium: lightweight champion?. *The Canmaker*, Crawley, v.8, p. 43-48, sept. 1995
- SUCCESSO das latas de alumínio ameaçado pelo aço. *Metalurgia & Materiais*. São Paulo, v.51, n.437, p.13, jan.1995.
- TIDLOW, J. The end for Aluminium?. *The Canner*, Crawley, p.29-32, june 1995.

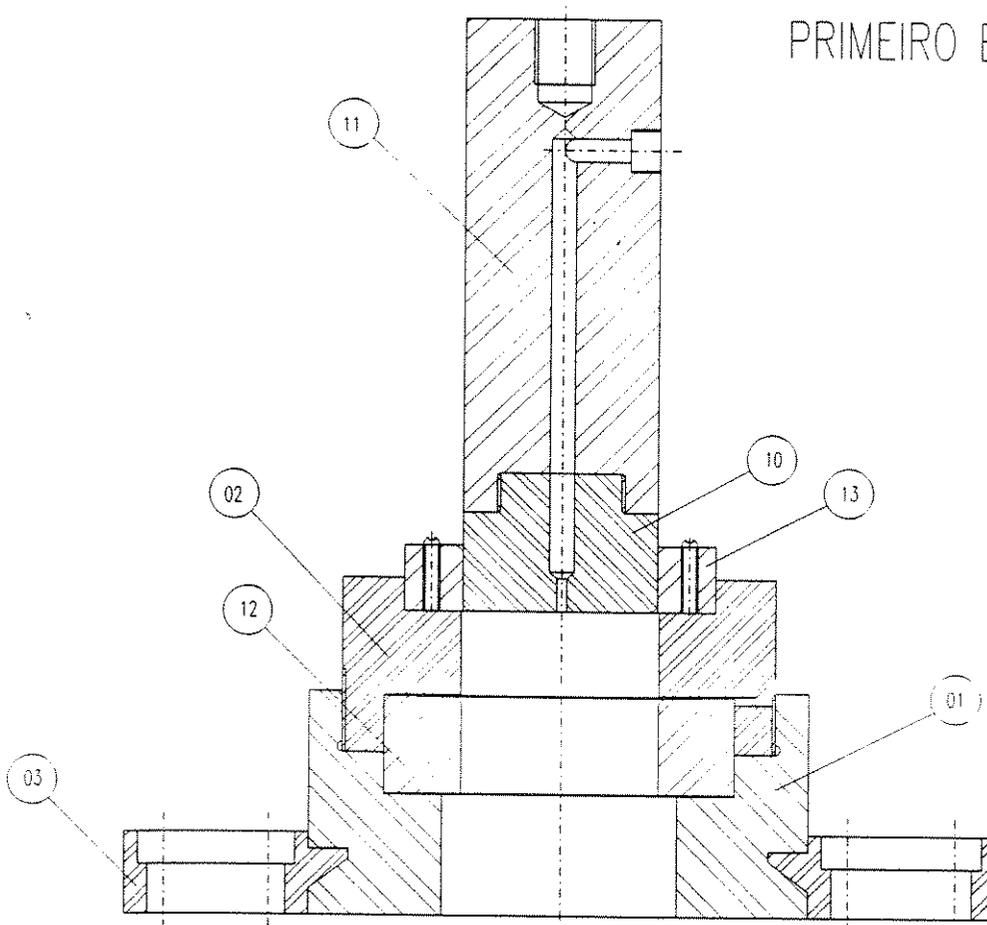
WASSILIEFF, B. Manuali Tecnici del Bianco. *L'imbutitura delle lamiere*, Udine, v.2, 1963.

WILLIAM, A. H. Two - piece cans: some flavor problems caused by manufacturing material or practices. *MBAA Technical Quarterly*, Wisconsin, v.15, n.1, p.23-25, 1978.

YAM, K.L. et al. Packaging part III : Materials. In: *Encyclopedia of Food and Technology*. 1991. v.3, p.1978-1982.

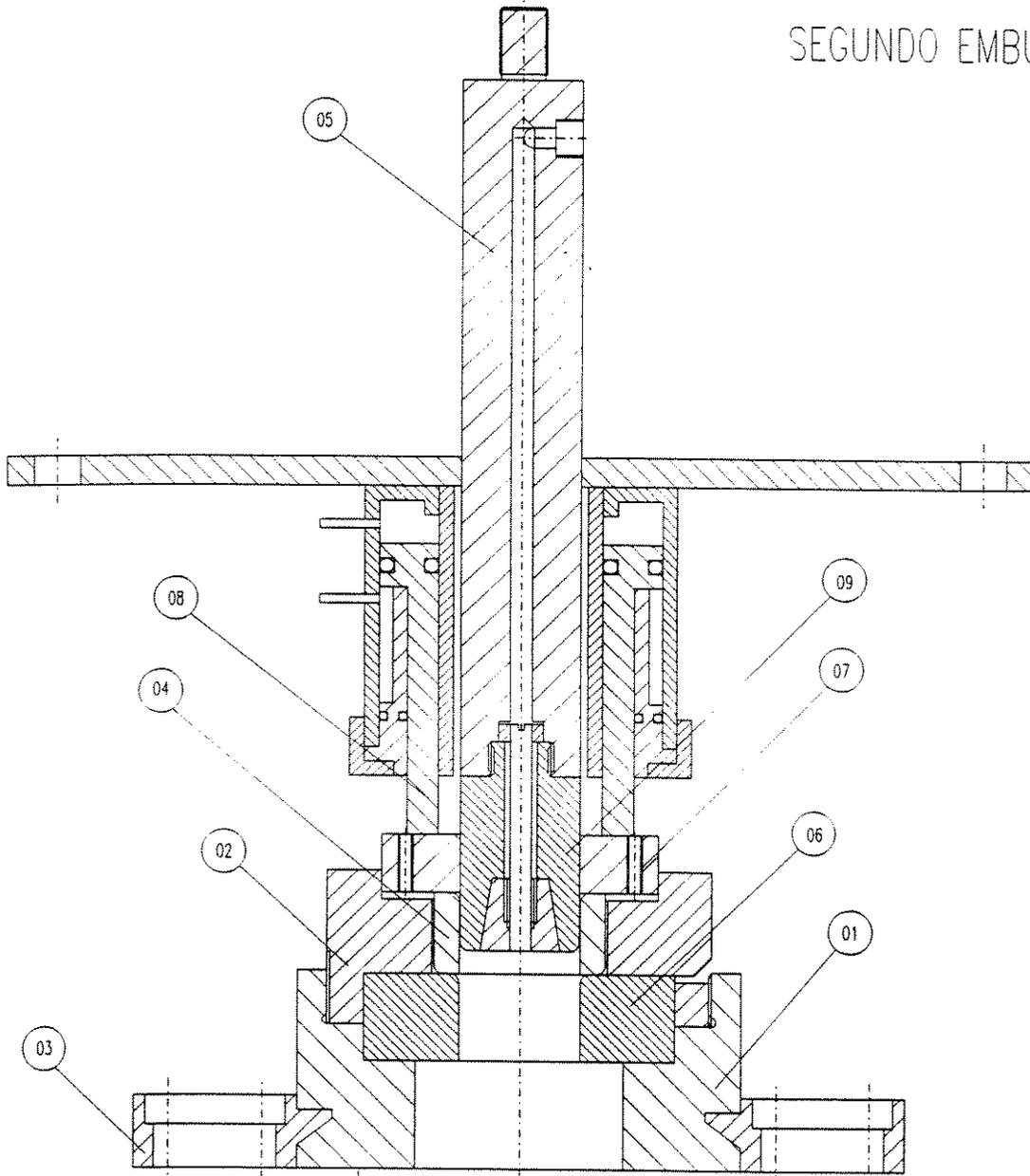
Anexos

PRIMEIRO EMBUTIMENTO



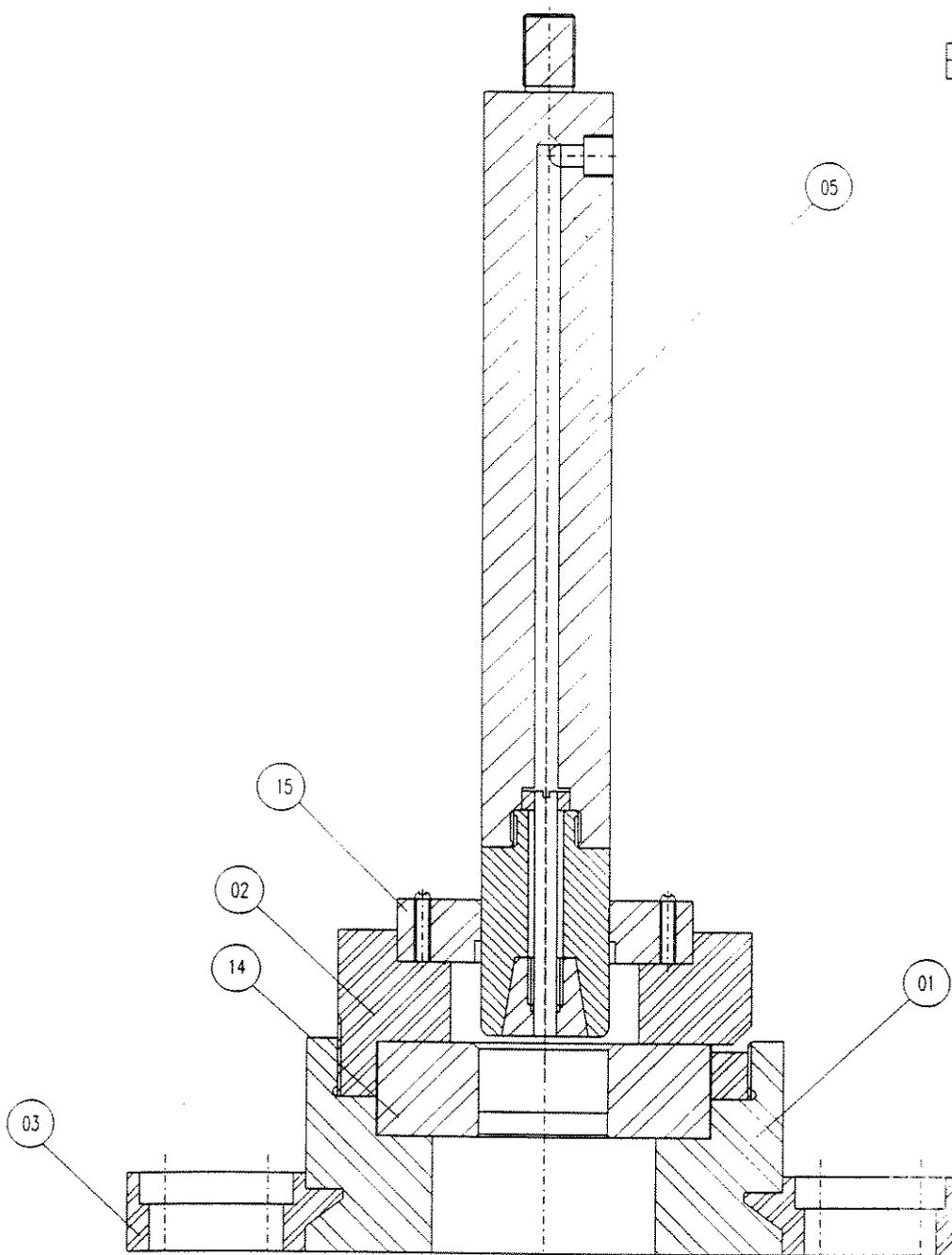
13	Guia 1ª fase
12	Matriz 1ª fase
11	Puncao 1ª fase
10	Ponta do puncao
03	Fixador da base
02	Suporte guia
01	Base
PEÇA	DENOMINACAO
PROJ. EMBUTIMENTO E ESTRAMENTO	

SEGUNDO EMBUTIMENTO



09	Ponta do puncao
08	Sistema Hidraulico
07	Guia 2ª fase
06	Matriz 2ª fase
05	Puncao 2ª fase
04	Anel sujeitador
03	Fixador da base
02	Suporte guia
01	Base
PEÇA	DENOMINACAO
PRIM. EMBUTIMENTO E ESTRAMENTO	

ESTIRAMENTO



15	Guia do estiramento
14	Matriz de estiramento
05	Puncao 2ª fase
03	Fixador da base
02	Suporte guia
01	Base
FECA	DENOMINACAO
PROJ. EMBUTIMENTO E ESTIRAMENTO	