

Estampagem

Escolha do lubrificante correto torna mais precisa a curva-limite de conformação

Durante a estampagem profunda de peças metálicas, a curva-limite de conformação (CLC) permite prever o nível máximo de deformações que um dado material pode atingir antes do seu rompimento. Este trabalho descreve o processo de obtenção da CLC para o aço inoxidável 304N e o alumínio 1100, observando a influência do atrito em seu resultado. Para isto, foram comparados os efeitos do lubrificante de óleo mineral e da almofada de poliuretano, que tem coeficiente de atrito próximo de zero.

L. F. Folle, R. P. Arruda, D. Marca, L. Schaeffer

O processo de embutimento profundo ou estampagem profunda é um dos mais utilizados para a fabricação de peças a partir de chapas. Para determinar se uma peça pode ser estampada sem falhas é utilizada a curva-limite de conformação (CLC), que indica a fronteira entre as deformações permissíveis e catastróficas a que o material estará sujeito durante a estampagem.

O comportamento das deformações de um componente estampado é comparado com a CLC do material em questão;

qualquer combinação situada abaixo da curva significa deformações que o material pode suportar e, conseqüentemente, as localizadas acima serão referentes a deformações que o material não suportará.

Fatores como espessura, textura, atrito, entre outros, influenciam o posicionamento da CLC, podendo deslocar a curva mais para cima ou mais para baixo, isto é, aumentando ou diminuindo a estampabilidade do material.

Este trabalho tem como objetivo descrever o processo de obtenção da curva-limite de

conformação (CLC) pelo ensaio Nakazima modificado e observar a influência do atrito na curva. Para a obtenção da curva foram usados corpos-de-prova entalhados⁽¹⁾ e punção do tipo elipse rasa⁽²⁾, modificando o método convencional que utiliza corpos-de-prova em formato de tira e punção hemisférico⁽⁵⁾. Na análise da influência do atrito foi comparado o efeito lubrificante de um óleo mineral e o de uma almofada de poliuretano que descreve uma condição de atrito hidrodinâmico, onde praticamente não há contato entre o punção e o corpo-de-prova, para obtenção da CLC do aço inoxidável 304N e do alumínio 1100.

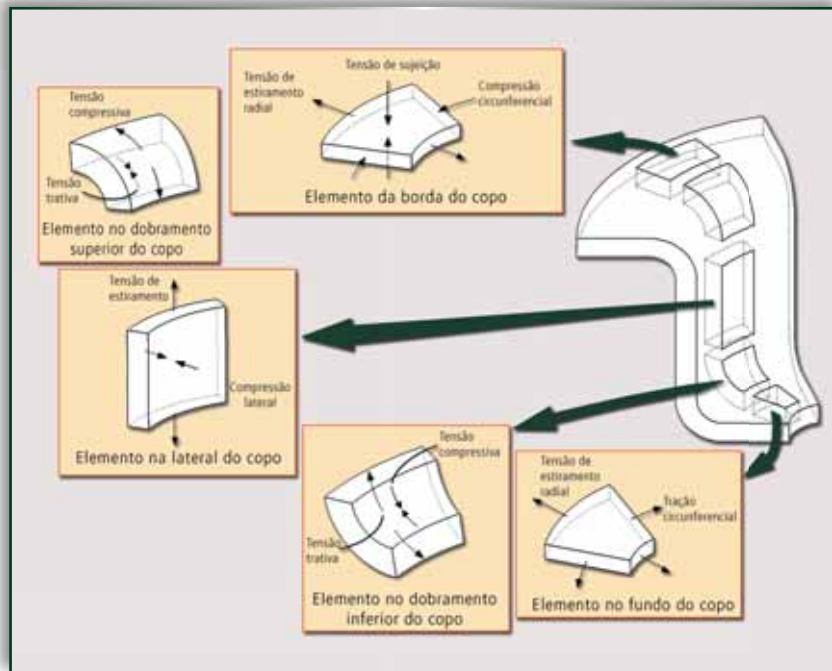


Fig. 1 – Desenho esquemático das regiões de uma peça estampada com os tipos de tensões atuantes

($\sigma_c < 0$) e tensões de estiramento radial ($\sigma_r > 0$), sendo que as tensões compressivas são maiores, pois o punção força o metal das bordas na direção do centro. Com isso, há deformações trativas na direção do comprimento ($\varphi_1 > 0$) e compressivas na direção da largura ($\varphi_2 < 0$). Pela lei da constância do volume, sabendo que $\varphi_1 < \varphi_2$, as deformações na direção da espessura são compressivas ($\varphi_3 < 0$), isto é, há um aumento da espessura do material.

À medida que o punção avança, intensificam-se as forças compressivas, podendo ocorrer um aumento excessivo da espessura que irá, conseqüentemente, enrugurar no material. Para evitar o enrugamento usa-se o prensa-chapas, que aplica uma tensão compressiva na direção da espessura, impedindo o aumento em excesso da espessura, mas sem

Uma visão rápida do comportamento das tensões e deformações

Tensões

Durante o processo de estampagem há uma redistribuição do metal, quando ocorre a transformação

da geratriz (bidimensional) na peça (tridimensional), submetendo o material a diferentes estados de tensões nas diferentes regiões da peça (figura 1).

Borda da peça

Na região da borda há tensões de compressão circunferencial

DIMEGO DO BRASIL
LIDER EUROPEU AGORA NO BRASIL

Automação de Prensas
Linhas de Corte Transversal
Linhas Flexíveis de Produção

- Desbobinadores
- Endireitadores
- Alimentadores



Visitem-nos na
Feira Mecânica
2008

Estampagem

evitar o movimento do material para o interior da matriz. Assim, se a pressão for insuficiente ocorrerão rugas, e se for excessiva o material poderá se romper.

Dobramento superior da peça

O metal em contato com o raio da matriz sofre tensões compressivas no sentido da parte superior da espessura da chapa e trativas no sentido radial, havendo deformações de embutimento profundo.

Lateral da peça

Na região lateral da peça ocorre deformação plana e estiramento uniforme, onde atuam tensões trativas no sentido radial ($\sigma_r > 0$) e não há tensões no sentido circunferencial ($\sigma_c = 0$).

Fundo da peça

O fundo da peça sofre tensões trativas nos sentidos circunferencial ($\sigma_c > 0$) e radial ($\sigma_r > 0$),

caracterizando uma zona de estiramento biaxial.

Deformações

Os estados de tensões descritos acima geram deformações características:

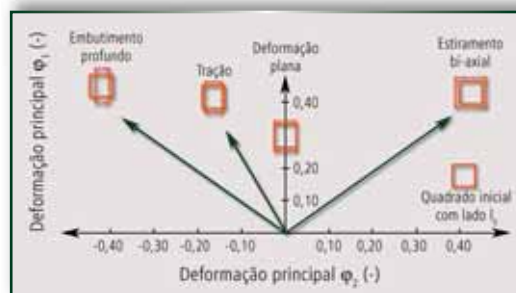


Fig. 2 – Desenho esquemático das deformações principais inseridas no diagrama-limite de conformação⁽⁷⁾

Embutimento profundo

Ocorre no metal em contato com os raios da matriz e do punção. Nestes locais há deformações trativas na direção do comprimento ($\phi_1 > 0$) e compressivas na direção da largura ($\phi_2 < 0$), ambas iguais em módulo. Assim, pela lei da

constância do volume, a deformação na direção da espessura é nula ($\phi_3 = 0$).

$$\phi_1 = -\phi_2 \quad \phi_3 = 0$$

Tração uniaxial

Caracterizada por deformações trativas na direção do comprimento e deformações compressivas nas direções da largura e da espessura, sendo essas últimas iguais entre si.

$$-\phi_3 = -\phi_2 \quad \phi_1 = -2\phi_2$$

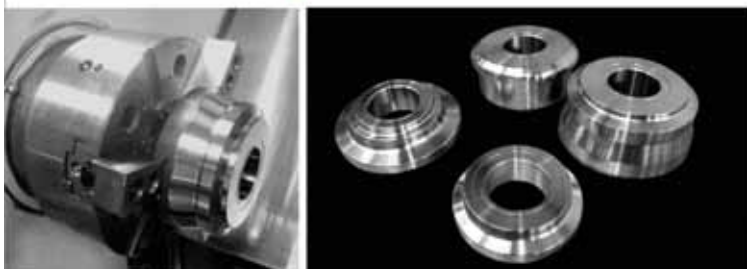
Deformação plana

Ocorre na parede da peça onde o metal não está em contato com a matriz nem com o punção. Não há deformação na direção da largura e na direção do comprimento há deformações trativas. Com isso, há deformações compressivas na direção da espessura.

$$\phi_2 = 0 \quad \phi_1 = -\phi_3$$

- Tecnologia
- Qualidade
- Robustes
- Referência em inovação
- Alta produtividade

- Slitters
- Cortes transversais
- Cortes voadores
- Perfiladeiras
- Ferramentais Cilindricos
- Endireitadores de chapa
- Formadora de Tubos
- Alimentadores de Pressas
- Automações especiais
- Máquinas especiais



FC MIRASSOL®

Máquinas para Corte e
Conformação de Aço
em Bobinas

Fone: (17) 3242-1690 • Fax: (17) 3253-4597



Av. Modesto José Moreira Jr, 36-77 - CEP 15130-000 - Mirassol - SP

www.fcmirassol.com.br

Estiramento biaxial

Ocorre no fundo da peça onde o material está em contato com o punção. As deformações na direção do comprimento e da largura são trativas e iguais; assim, a deformação na direção da espessura será compressiva e correspondente ao dobro da deformação do comprimento (ou da largura).

$$\varphi_1 = \varphi_2 \quad \varphi_3 = -2 \cdot \varphi_1$$

Diagrama-limite de conformação

Trata-se do diagrama em que as deformações são distribuídas em um gráfico no qual o eixo das ordenadas corresponde às deformações principais φ_1 (no sentido do comprimento) e o eixo das abscissas corresponde a φ_2 (no sentido da largura).

Estado de tensões

Na figura 2 (pág. 66) tem-se um diagrama-limite de conformação esquemático que demonstra

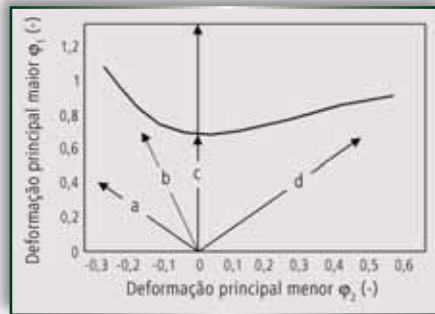


Fig. 3 – Curva-limite de conformação esquemática [ISO12004:1997], onde (a) é o embutimento profundo ($\varphi_1 = -\varphi_2$), (b) é a tração uniaxial ($\varphi_1 = -2\varphi_2$), (c) é a deformação plana ($\varphi_2 = 0$) e (d) é o estiramento biaxial ($\varphi_1 = \varphi_2$).

como uma geometria inicialmente quadrada é deformada quando submetida a diferentes solicitações.

Observa-se pela figura 2 que o diagrama está dividido em dois quadrantes pelo eixo das ordenadas ($\varphi_2 = 0$):

- 1º quadrante: onde as deformações principais φ_1 e φ_2 são trativas;
- 2º quadrante: onde a deformação principal φ_1 é trativa e φ_2 é compressiva.

Curva-limite de conformação (CLC)

A curva-limite de conformação descreve o caminho das deformações sofridas pelo material durante a estampagem, ou seja, é uma função que representa como a deformação principal φ_1 varia com a deformação φ_2 .

Na figura 3 tem-se o esboço de um diagrama-limite de conformação completo, com a CLC do material e as retas (a, b, c e d) que representam os principais esforços envolvidos na estampagem.

Divisão pela CLC

A CLC divide o diagrama-limite de conformação em duas zonas:

- Zona própria para conformação: região abaixo da curva;

Metalúrgica Souza,
48 anos de
qualidade com
400 toneladas
de inovação.



Prensa Excêntrica 400t

Dupla redução, 400t, tipo "H", mesa 1200x900, abertura máxima 1450, curso 250, almofada de extração hidráulica de 60 t.

Prensa Hidráulica 200 t Tipo H



Prensa de Eixo Transversal 160 t



48 MSL

MSL
METALÚRGICA SOUZA LTDA

PRENSAS EXCÊNTRICAS E HIDRÁULICAS TIPO "C" E "H".

Fone/Fax:
(19) 3451.4470

www.metalurgicasouza.com.br

Estampagem

- Zona imprópria para conformação: região acima da curva.

Fatores que influenciam a CLC

- Espessura: maiores espessuras geram maiores deformações, isto é, há um deslocamento da curva para cima;
- Atrito: quanto menor o coeficiente de atrito, maiores serão as deformações e, conseqüentemente, mais acima estarão as curvas;
- Direção de laminação: corpos-de-prova cortados na direção de laminação apresentam maiores deformações e, quando cortados de forma perpendicular à direção de laminação, têm menores deformações;

- Anisotropia: quando $r_{90} > r_0 > r_{45}$ o material tem sua capacidade de deformação aumentada no 2º quadrante

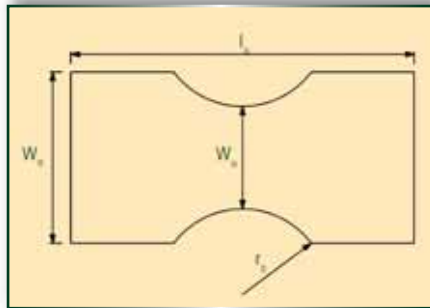


Fig. 4 – Croqui dos corpos-de-prova para determinar a CLC pelo método Nakazima

e reduzida no 1º quadrante, isto é, sofre uma rotação no sentido horário;

- Pré-deformação: corpos-de-prova que tenham sofrido pré-

deformações trativas tendem a gerar uma CLC posicionada mais abaixo e, quando submetidos a pré-deformações compressivas, tendem a elevar a curva-limite;

- Tamanho de grão: quanto menor o tamanho de grão, mais acima é posicionada a curva, isto é, quanto menor o tamanho de grão, maior a estampabilidade do material;
- Grau de encruamento: quanto maior o grau de encruamento, mais acima é posicionada a CLC;
- Velocidade do punção: quanto menor a velocidade, maior será capacidade de o material ser deformado, isto é, a CLC é posicionada mais para cima.

RESOLVA SEUS PROBLEMAS COM DESBOBINADORES.

A P/A Brasil oferece uma gama completa de desbobinadores com larguras de 45 a 1300mm e pesos de 45 a 6000 kg.

www.pa.com

P/A Brasil Ltda
Rua José Félix de Oliveira, 834 sala 7B, Cotia - SP
CEP - 06708-645 Brasil
Fone: 55 11 4617-5497 • Fax: 55 11 4612-6186
Cel: 55 11 9937-3849 • E-mail: campello@pa.com

SERVIÇO DE CORTE A LASER

Prestação de serviços em corte a laser
Aço Carbono e Aço Inox
Em Breve: Gravação a laser em metais (YAG)

18 anos de experiência

STAUFFER

Stauffer Automação Industrial Ltda
Brusque - SC
Fone 47 3351-7878 - Fax 47 3351-7880
info@stauffer.com.br - www.stauffer.com.br

Tab. 1 – relação das dimensões do comprimento (l_0), do raio (r_0) e das larguras (w_0 e w_u)⁽³⁾

CP	l_0 (mm)	r_0 (mm)	w_0 (mm)	w_u (mm)
1	200	100	10	40
2	200	90	20	50
3	200	80	30	60
4	200	70	40	70
5	200	60	50	80
6	200	50	60	100
7	200	40	80	120
8	200	25	100	150

Procedimentos experimentais

Corpos-de-prova

Para a realização do ensaio Nakazima foram utilizados corpos-de-prova com tiras entalhadas⁽¹⁾. A presença dos entalhes, além de forçar a estricção na região central do corpo-de-prova, também aumenta a deformação no sentido da largura⁽²⁾. Na figura 4 (pág. 68) e na tabela 1 são mostradas as dimensões dos corpos-de-prova.

O tipo de deformação do corpo-de-prova é alterado conforme a variação da largura útil (w_u), isto é, o corpo-de-prova com menor w_u sofre deformação de embutimento profundo e com o maior w_u ocorre deformação de estiramento biaxial⁽²⁾. Assim, na medida em que é aumentada a largura útil, a deformação passa por embutimento profundo, embutimento, tração, deformação plana, estiramento e até estiramento biaxial.

Marcação dos corpos-de-prova

Foi utilizado o processo eletroquímico para gravar uma malha de geometria circular de 2,5 mm de diâmetro nos corpos-de-prova. Na figura 5 tem-se um esquema do processo de gravação dos corpos-de-prova.

Os passos para gravação eletroquímica são:

- Limpeza dos corpos-de-prova, para garantir a ausência de sujeira e/ou gordura na superfície, evitando o desprendimento da malha impressa durante o ensaio;
- Os corpos-de-prova são colocados sobre uma chapa metálica de sacrifício, onde é ligado o pólo negativo do gerador de energia. Sobre os corpos-de-prova é colocada uma tela semi-permeável de Stencil, com a geometria da malha a ser gravada;
- Sobre a tela é colocado um feltro embebido em solução com eletrólito;
- O gerador de energia é regulado.
- Passa-se um rolo de *inox* – ligado ao outro pólo do gerador – sobre o feltro, fazendo circular uma corrente elétrica entre o rolo e a chapa e provocando o ataque químico

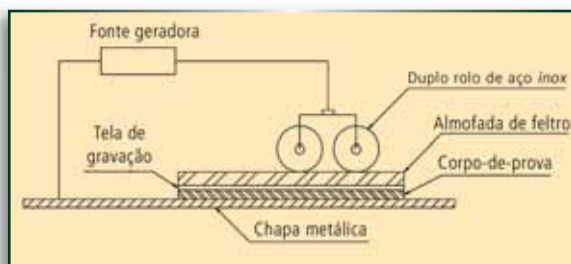


Fig. 5 – Esquema do processo de gravação dos corpos-de-prova⁽³⁾

Cilindros Pneumáticos

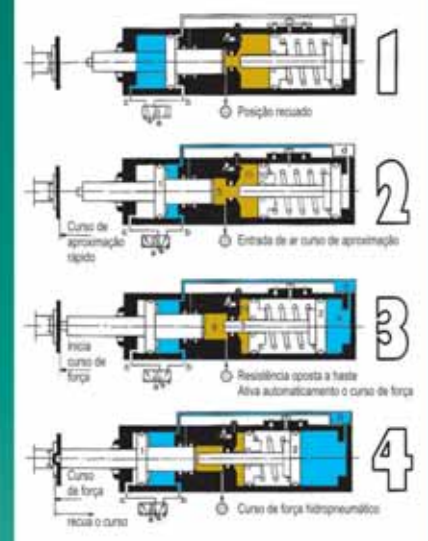
De 1 a 200 Toneladas



Vantagens:

- Projeto compacto;
- Alta Velocidade de ação;
- Versão KT conecta 1 a 10 cilindros;
- Modelos 6 e 10 bar;
- Sem risco de vazamentos;
- Amortecedores de impacto para estampo;
- Fácil instalação;
- Baixo nível de ruído;
- Completa linha de produto e acessórios;
- Garantia de 1 ano ou 1 milhão de ciclos.

Funcionamento do Cilindro



Rua Bento Gonçalves, 74, Galpão 01
Bairro Glória - 89216-110 - Joinville/SC
Fone: (47)3419-9000 / Fax: (47)3419-9001
tox@tox-br.com - www.tox-br.com

TOX PRESSOTECHNIK

Estampagem

dos corpos-de-prova. Foi feita uma seqüência de seis passes (três de ida e três de volta) para a perfeita marcação;

- Em seguida aplica-se uma solução neutralizadora nos corpos-de-prova para cessar o ataque químico.

Punções

A posição onde ocorre a estricção é influenciada pela forma do punção⁽⁴⁾. Neste trabalho foi usado um punção na forma de uma elipse rasa com 50 mm de diâmetro, conforme figura 6, embora o método convencional de Nakazima utilize um punção hemisférico com 100 mm de diâmetro⁽⁶⁾.

A troca da forma do punção aumenta a área abaixo da curva-limite de conformação, aumentando a estampabilidade do material⁽²⁾. O punção na forma de elipse rasa, por ter uma área de contato inicial maior que o punção hemisférico, provoca

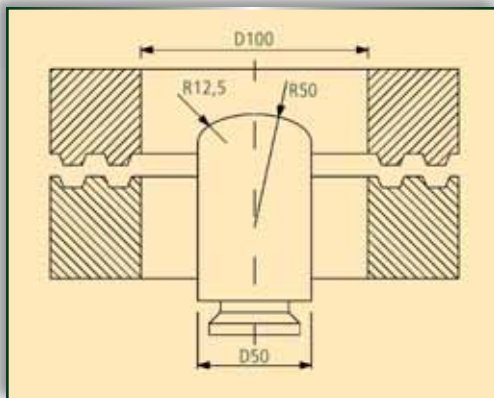


Fig. 6 – Dimensões (em mm) do punção elipse rasa⁽²⁾

um menor nível de tensões no início do processo, distribuindo as deformações de modo mais uniforme [Hennig, 1997].

A utilização do punção elíptico também cria uma região plana no corpo-de-prova após o ensaio, facilitando a medição das deformações, uma vez que o método para essa medição exige superfície plana⁽²⁾.

Lubrificante

O lubrificante é posto entre o punção e o corpo-de-prova a ser

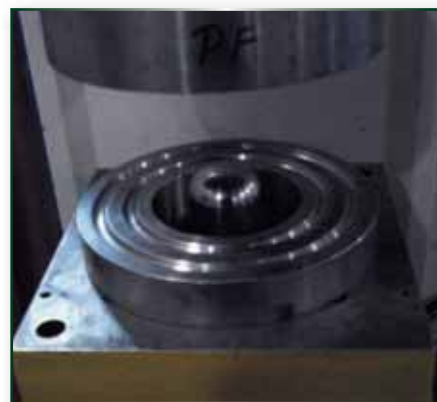


Fig. 7 – Detalhe do quebra-rugas presente no prensa-chapas

ensaiado e sua função é minimizar o atrito entre ambos, evitando a ocorrência de danos mecânicos na superfície do punção. Foram utilizados dois lubrificantes: o primeiro ensaio foi realizado com um lubrificante mineral líquido e o segundo com uma almofada de poliuretano com 5 mm de espessura e diâmetro aproximado de 50 mm.

O segundo lubrificante proporciona uma condição de atrito hidrodinâmico, ou seja, o coeficiente de atrito é praticamente



Para quem só se
CONFORMA[®]
 com qualidade.



Prensas Corte laser Puncionadeiras Solda MIG Solda TIG Dobradeiras

Tel.: 11 6436-2960 - 6436-2966 - 6436-2967

comercial@conforma.com.br www.conforma.com.br R. João Ranieri, 222 Bonsucesso - Guarulhos-SP



Fig. 8 – Máquina Dan-Pressa para a realização do ensaio Nakazima

zero. Assim, pode ser observada a influência do atrito na curva-limite de conformação quando é utilizado o primeiro lubrificante.

Quebra-rugas

O quebra-rugas está presente no prensa-chapas, conforme figura 7 (pág. 70). Ele tem a função de prender o material, impedindo que este flua para dentro da matriz. Com isto, garante-se que as deformações ocorram somente na região do corpo-de-prova em contato com o punção.

Máquina

O ensaio Nakazima foi realizado em uma prensa hidráulica de duplo efeito da marca Dan-Pressa (figura 8), com capacidade de até 20 toneladas (6 toneladas no punção inferior).

Processo

O corpo-de-prova, com a malha gravada, é posto no centro da matriz inferior. Em seguida, ele é fixado na matriz pelo prensa-chapas com força controlada, pois se essa for insuficiente o material escora para dentro da matriz⁽⁶⁾.



Fig. 9 – Abertura usada para visualizar a deformação dos corpos-de-prova

O punção é então forçado contra o corpo-de-prova, provocando o estiramento. O ensaio é realizado a velocidade baixa e constante, e é interrompido quando se atinge a estricção localizada do corpo-de-prova. Por esta razão o ferramental deve permitir a visualização do ensaio, como pode ser visto na figura 9.

Medição das deformações

Inicialmente a malha era composta por círculos com diâmetro

PRENSAS Hidráulicas NORMALIZADAS



Tipo C 4 Colunas e H NÍVEL DE SEGURANÇA 4

Fabricação e Reformas de Prensas Hidráulicas, atendendo a Legislação e Normalizações de Segurança.



INTEGRADOR



Calende®

MÁQUINAS PARA FUNDIÇÃO E PRENSAS HIDRÁULICAS

+55 19 2114-2550

www.calende.com.br

Estampagem

inicial (d_0) de 2,5 mm. Após o ensaio, a malha que se deformou com o corpo-de-prova assume uma geometria de elipse, na qual o eixo com maior deformação (d_1) corresponde à variação do comprimento e o eixo com menor deformação (d_2) corresponde à variação da largura. As deformações do comprimento (φ_l) e da largura (φ_w) são calculadas por:

$$\varphi_l = \ln \frac{d_1}{d_0} \quad \varphi_w = \ln \frac{d_2}{d_0}$$

A deformação da espessura (φ_b) é calculada por meio da Lei da Constância do Volume, ou seja:

$$\varphi_l + \varphi_w + \varphi_b = 0$$

$$\varphi_b = -(\varphi_l + \varphi_w)$$

Para medir a variação da geometria foi utilizada uma régua flexível, transparente e graduada com as deformações para a grade circular de 2,5 mm de diâmetro (figura 10), isto é, ela permite ler diretamente a deformação convencional e a verdadeira. A régua, por ser flexível, acompanha o formato do corpo-de-prova e sua transparência possibilita a visualização das linhas da malha.

Foram medidas duas elipses, uma de cada lado da estricção. A elipse medida deve ser a mais próxima da

Fig. 10 – Grade usada para medir as deformações

Grade de 2,5 mm	
Along. %	Grau de def. φ ln
190	1,06
180	1,03
170	0,99
160	0,96
150	0,92
140	0,88
130	0,83
120	0,79
110	0,74
100	0,69
90	0,64
80	0,54
70	0,53
60	0,47
50	0,41
40	0,34
30	0,26
20	0,18
10	0,10
0	0,00
-10	-0,11
-20	-0,22
-30	-0,36
-40	-0,51
-50	-0,69
-60	-0,92
-70	-1,20
-80	-1,61
-90	-2,30
-100	

estricção que esteja completa, ou seja, que manteve sua linha de contorno contínua. A régua é posta sobre a elipse a ser medida, e a leitura é feita quando uma das linhas transversais da graduação está sobre o eixo que está sendo medido e as linhas longitudinais de graduação estão sobrepostas às linhas de contorno da elipse medida.

Plotagem das deformações

Os pontos medidos são plotados no gráfico-

Calvi
Qualidade - Precisão - Tecnologia - Durabilidade

CORTE & DOBRA Estampagem

FORÇA E PRECISÃO para sua empresa

Pressas Eixo Frontal e Eixo Transversal

Châmera Piramidal com eixo motorizado

Pressas Mochila Hidráulica

Guilhotinas Mecânicas e Hidráulicas

Central de Atendimento
11 3385-8944

VISITE NOSSO SHOW ROOM

Rua Piratininga, 845 - Brás - São Paulo - SP
www.fobrassa.com.br - vendas@fobrassa.com.br
www.calvimaquinas.com.br

FORBRASSA

Para Dobrar, Cortar ou Usinar INPLAF é a solução!

Lâminas para Guilhotinas

- facas com até 6000 mm de comprimento.

Ferramentas para Dobradeiras

- para prensas de até 8000 mm de comprimento.

Serviços

- Usinagem em plaina de mesa de até 8000 mm de comprimento.
- Afição de facas para guilhotinas até 6000 mm de comprimento.
- Reusinagem de ferramentas para dobradeiras.

Agilidade na entrega. **60 anos** no mercado

INPLAF
Tel: (11) 3311-0311
inplaf@inplaf.com.br - www.inplaf.com.br

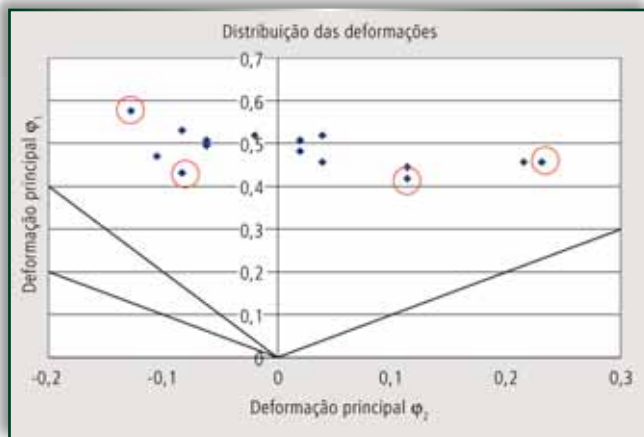


Fig. 11 – Distribuição das deformações medidas nos corpos-de-prova de aço inox 304N, ensaiados com lubrificante de poliuretano

limite de deformação, onde ϕ_1 (deformação do comprimento) corresponde ao eixo das ordenadas e ϕ_2 (deformação da largura) corresponde ao eixo das abscissas. A curva CLC passa por baixo da nuvem de pontos plotados. A equação que descreve a curva é um polinômio, de terceiro ou quarto grau, que aproxima a distribuição dos pontos localizados abaixo da nuvem de deformações.

Influência do atrito na CLC

Lubrificação com almofada de poliuretano

Depois de realizadas as medições das deformações, estas são plotadas no diagrama-limite de

conformação. Os pontos obtidos nos ensaios com o aço *inox* 304N, utilizando-se o poliuretano como lubrificante, podem ser vistos na figura 11.

Para descrever a curva CLC foram utilizados os pontos abaixo da nuvem de deformações, conforme detalhes na figura 11. Então, fez-se uma aproximação destes pontos por um polinômio de quarto grau. No gráfico da figura 12 observa-se o diagrama de deformações com a CLC obtida e as retas que descrevem os esforços envolvidos no processo de estampagem.

Para os corpos-de-prova de alumínio realizou-se o mesmo procedimento de medição e plotagem das deformações e a CLC obtida para este material, utilizando o poliure-

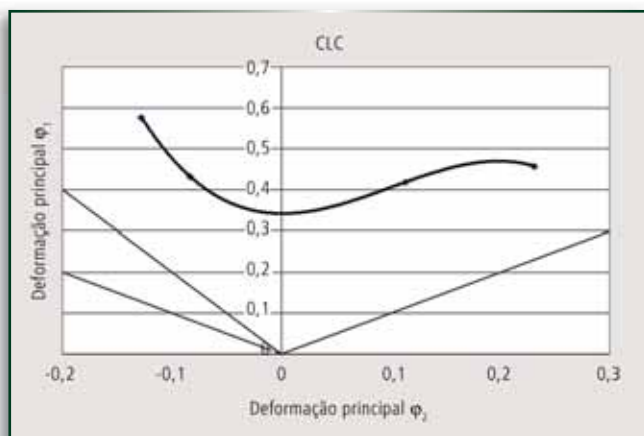


Fig. 12 – Curva-limite de conformação obtida para o aço inox 304N, com lubrificante de poliuretano

CHAPAS

AÇO INOXIDÁVEL

www.feital.com.br



CENTRO DE SERVIÇOS

- CORTE DE BOBINAS TRANSVERSAL
- CORTE DE BOBINAS LONGITUDINAL
- CORTE DE BLANKS
- POLIMENTO/ ESCOVAMENTO
- COLOCAÇÃO DE PVC



CHAPAS EM BOBINAS, PLACAS E TIRAS.

BARRAS SEXTAVADAS, REDONDAS, QUADRADAS, CHATAS E CANTONEIRAS.

Tel: (11) 4343-1800 Fax: (11) 4343-4043
e-mail: feital@feital.com.br

GRUPO **FEITAL**
FEITAL • TUBRA • FITTINOX

DIVISÃO TUBRA

Tubos com e sem costura: redondo, quadrado e retangular.

Tel: (11) 4343-1900 Fax: (11) 4343-4043
e-mail: tubra@feital.com.br

DIVISÃO FITTINOX

Conexão de aço carbono, ligados e inox. Válvulas Velan.

Tel: (11) 4343-1950 Fax: (11) 4343-4043
e-mail: fittinox@feital.com.br

Estampagem

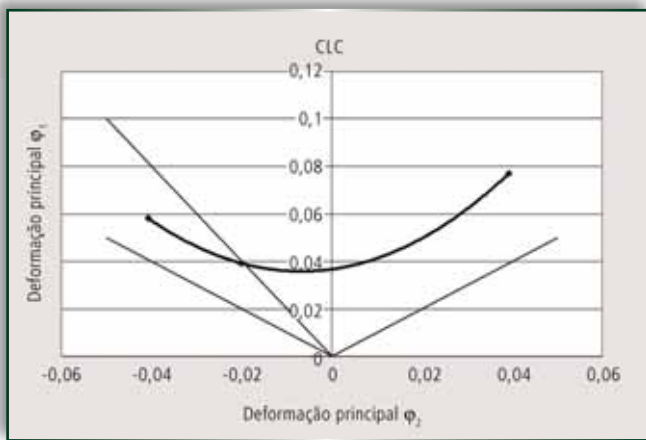


Fig. 13 – Curva-limite de conformação obtida para o alumínio 1100, com lubrificante de poliuretano

tano como lubrificante, pode ser vista na figura 13.

Lubrificação com óleo mineral

Para a determinação da CLC utilizando o óleo mineral como lubrificante, foram seguidos os mesmos passos

do item anterior. Na figura 14 pode ser vista a CLC obtida para o aço inoxidável 304N e, na figura 15 (pág. 75), a CLC para o alumínio 1100.

Comparação das curvas

Na figura 16 (pág. 75) são mostradas as curvas obtidas com o uso do

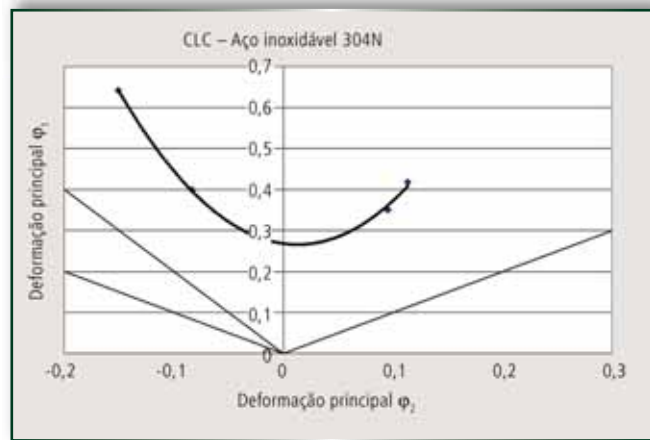


Fig. 14 – Curva-limite de conformação obtida para o aço inox 304N, com lubrificante mineral

lubrificante mineral e do poliuretano para o aço inoxidável 304N e, na figura 17 (pág. 75), as do alumínio 1100. Como era esperado, a curva do material com o lubrificante de óleo mineral encontra-se mais abaixo da curva do lubrificante poliuretano, pois o último proporciona um

Peças e acessórios para máquinas de corte a laser

- Bicos para corte
- Cerâmicas e ETC
- Fluidos para bomba a vácuo
- Filtros
- Exclusiva lente negra para inox e alumínio

Optics Group

São Paulo e Grande São Paulo
11 4229-3957 - 11 4229-4029 Interior
19 3444-2510 - 19 9179-2466
Paraná e Santa Catarina
41 3332-4373 - 41 9969-2750
Rio Grande do sul
51 3451-4954 - 51 9239-8511
www.soslaser.com.br

MICTI Ind. Metalúrgica
Rod. Indio Tibiriçá (SP 31)
Km 41,5 - Ribeirão Pires/SP
(11) 4827-6999

www.micti.com.br

projeto 3d e caldeiraria completa:
projeto, construção e instalação

aço carbono: 20mm
inox: 12mm
alumínio: 8mm

ótimo preço - excelente prazo

dobra CNC

corde a LASER

MAQUINAS

Automação de Prensas

- Alimentadores Eletrônicos
- Alimentadores Pneumáticos
- Destobmatadores
- Alimentadores Planificadores Conjugados

www.gazer.com.br
Fone: (47) 3626-2001
atendimento@gazer.com.br

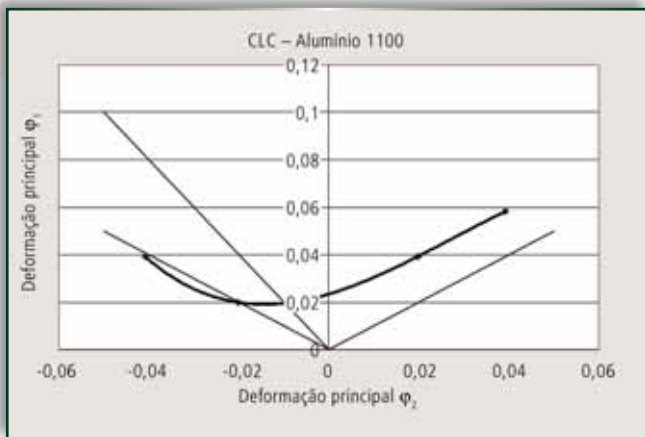


Fig. 15 - Curva-limite de conformação obtida para o alumínio 1100, com lubrificante mineral

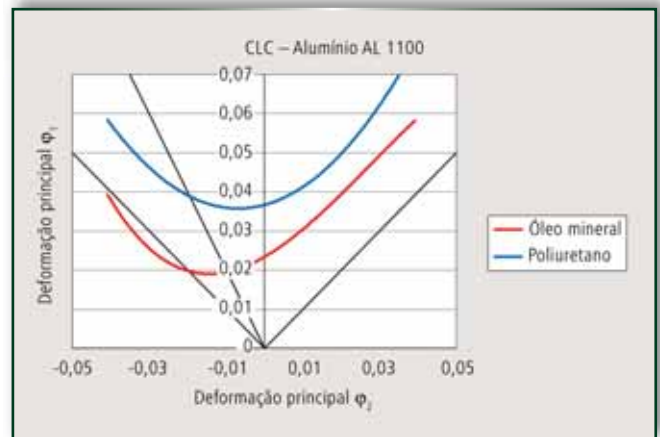


Fig. 17 - Diagrama comparativo das curvas obtidas utilizando o lubrificante de óleo mineral e de poliuretano para o alumínio

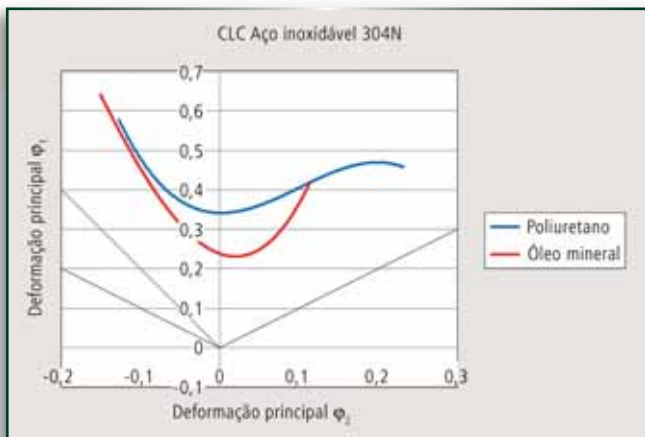


Fig. 16 - Diagrama comparativo das curvas obtidas utilizando o lubrificante de óleo mineral e de poliuretano para o aço

menor coeficiente de atrito entre a chapa e o punção. Esse abaixamento da CLC se deve ao fato de que, quando um lubrificante líquido que está entre duas superfícies rígidas é submetido a uma certa pressão, há um limite no qual esse consegue atuar. Após isso, o

filme de óleo se rompe e as superfícies se aderem como se não houvesse esse filme. A consequência disso é que haverá uma distribuição irregular das deformações, impedindo que o material seja mais exigido. A figura 18 (pág. 76) mostra este fenômeno, no qual é possível observar que para o lubrificante de poliuretano (figura superior) houve o rompimento dos corpos-de-prova no centro, o que já era esperado. Porém, para o lubrificante de óleo mineral, o rompimento

Maior flexibilidade e inovação em máquinas laser no mundo



MAN Ferrostaal Equipamentos e Soluções Ltda.

Av. das Nações Unidas, 22351 - 04795-100 São Paulo - SP - Tel. (11) 5522-5999 www.primaindustrie.com - E-mail: info.br.mo@manferrostaal.com

MÁQUINAS DE CORTE A LASER

HIDRAL-MAC
PRENSAS HIDRÁULICAS



PHC PHCD

PHHP PH4C

MODELOS:
Tipo C e C Duplo - 4 Colunas
Tipo H e H Prismática - Com Mesa Giratória Especiais

APLICAÇÕES:
Repuxo - Dobra - Corte - Compactação
Montagem - Forjamento - Rebarbação de Peças

CAPACIDADE:
até 1.500t.

Fone: (16) 3311-4100
www.hidralmac.com.br
hidralmac@hidralmac.com.br

Cor Dob
Máquinas hidráulicas e excêntricas



Viradeiras hidráulicas e manuais com dedos extensores e régua lisa com comprimentos de até 7.070mm



Guilhotinas hidráulicas para corte de até ¼.

www.cordobmaq.com.br

pabx: (16) 3324-3326/3324-2908 - www.cordobmaq.com.br
cordobmaq@cordobmaq.com.br - cordobmaq@hotmail.com
Araraquara-SP

Estampagem

foi descentralizado, pois a parte central estava em contato com o punção e, portanto, aderida a ele.

Conclusões

Algumas conclusões podem ser tiradas, de acordo com o que foi mencionado no texto:

- A curva-limite de conformação prevê o limite de deformações que um dado material pode atingir até o seu rompimento.
- Essas deformações podem ser usadas no projeto de peças estampadas, tornando possível saber quais os limites que o material irá oferecer antes da confecção da peça.
- Se a CLC for obtida usando um lubrificante inadequado, o material irá sofrer poucas deformações, tendo sua capacidade limitada e gerando uma curva que não representa a sua real capacidade.
- O lubrificante de poliuretano proporciona a obtenção da real capacidade que o material irá atingir e, a partir daí, é possível projetar peças em que os limites de segurança são mais aproveitados.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e à Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo financiamento da pesquisa, ao aluno Mateus K. Marchioro e ao engenheiro Alessandro

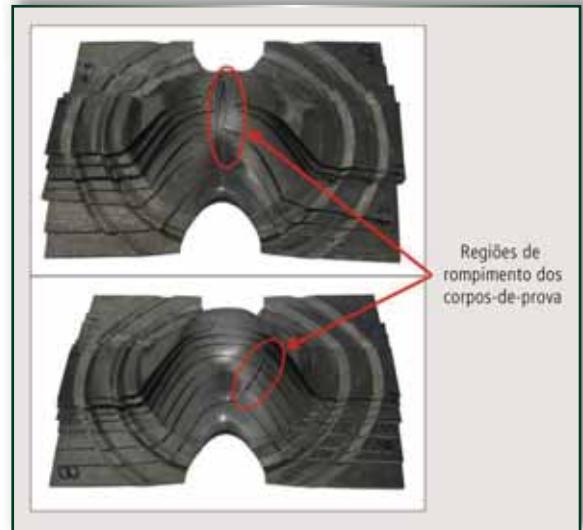


Fig. 18 – Conjunto de corpos-de-prova do ensaio Nakazima modificado, no qual foi usado um lubrificante de poliuretano (figura de cima) e um lubrificante de óleo mineral (figura de baixo)

S. Moraes pela ajuda nos ensaios para obtenção das curvas.

Referências

- 1) KLEIN, L.N.T.; CERVELIN, F. Conformação de Chapas Finas. In: *37º Congresso Anual da ABM*, Rio de Janeiro (RJ), 1982. *Anais do 37º Congresso Anual da ABM*. Rio de Janeiro, RJ, 1982.
- 2) SILVEIRA, S.E. *Desenvolvimento do Processo de Construção e Curvas Limite de Conformação*, 2004. 90 p. Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- 3) LAUCHMANN, L. Beurteilung von Versagensfällen beim Ziehen von Feinblechen durch visiolastische. *Formänderungs- und Spannungsanalyse EFB-Arbeitskreissitzung*. Hannover, Alemanha, 1996.
- 4) JOHNSON, W. *Plasticity for Mechanical Engineers*. London: Van Nostrand Reinhold, 1971. 412 p.
- 5) NAKAZIMA, K.; KIKUMA, T.; HASUKA, K. Study of the formability of steel sheets. *Yawata Technical Report*, v. 264, p. 111-124, 1968.
- 6) SCHAEFFER, L. *Conformação de Chapas Metálicas*. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2004. 200p.
- 7) BRESSAN, J. D. Conformação de chapas anisotrópicas e superplásticas. In: *I Conferência Nacional de Conformação de Chapas*, 1993, Porto Alegre, RS. *Anais da I Conferência Nacional de Conformação de Chapas*. v. 1. Porto Alegre: Editor Lirio Schaeffer, 1998. p.151-160.