

Estampagem

Simulação avalia ensaio de cinco punções para seleção de materiais

O estudo descrito neste artigo usou a simulação computacional por elementos finitos para avaliar a técnica dos cinco punções, ensaio para seleção de materiais que alterna o formato dos punções de teste para promover deformações que variam desde o embutimento profundo ao estiramento biaxial. A simulação dos principais resultados práticos obtidos na avaliação de quatro tipos de aço inoxidável foi usada para validar o método, proporcionar uma análise das diferentes deformações promovidas por cada geometria da ferramenta e avaliar a estampabilidade desses materiais.

R. P. de Arruda, L. F. Folle e L. Schaeffer

Com a acirrada competição comercial no setor metal-mecânico, a indústria clama por novos e mais eficientes processos de fabricação, priorizando o alto volume de produção com a mínima ocorrência de defeitos. Para atingir esse novo patamar de qualidade é indispensável o investimento em novos materiais. Sendo assim, como determinar, entre a grande variedade de materiais e ligas atualmente disponíveis no mercado, qual é a que melhor atende aos requisitos de projeto mantendo os custos dentro de uma faixa controlada?

Para responder a essa pergunta, existem diversos tipos de ensaios que medem as propriedades dos materiais usados na estampagem. Dentre os mais conhecidos, podem ser citados o ensaio de tração, o ensaio Nakazima

(curva-limite de conformação) e o ensaio de anisotropia, utilizados como critérios de falha. Já outros determinam a estampabilidade do material para condições específicas de trabalho, tais como o ensaio Erichsen, usado para estiramento, e o ensaio Swift, para embutimento profundo⁽⁶⁾. Porém, em processos industriais,

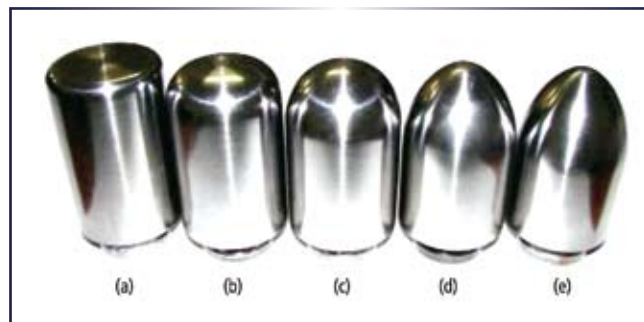


Fig. 1 – Variação da geometria dos cinco punções utilizados no ensaio

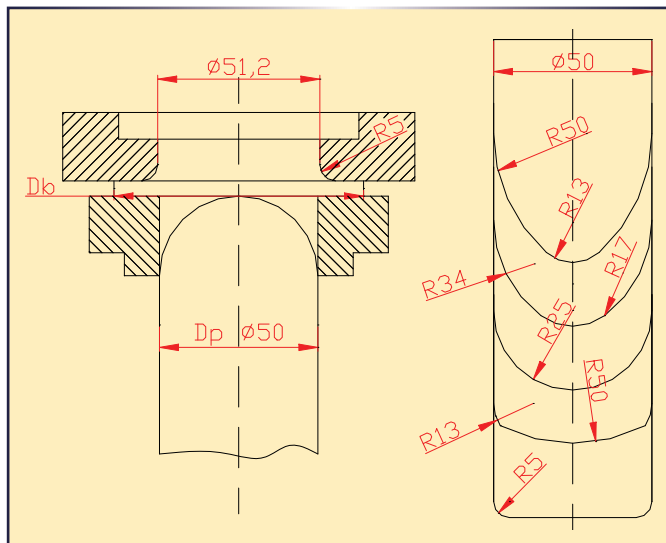


Fig. 2 – Dimensões do ferramental utilizado para a técnica dos cinco punções

geralmente ocorre uma combinação dessas condições, o que torna evidente a necessidade de ensaios que avaliem o conjunto de deformações.

A técnica dos cinco punções

Desenvolvida pelo pesquisador alemão Roland Hennig, da Universidade Técnica de Dresden, em 1997, a técnica dos cinco punções é uma adaptação do ensaio Swift. São utilizados cinco punções com geometrias que variam desde o formato cilíndrico, passando pela elipse rasa, hemisfério e elipse profunda, até chegar à elipse extra-profunda (figura 1, pág. 64).

Os punções possuem simetria radial e diâmetro de 50 mm. As variações de raio e dimensões da matriz estão ilustradas na figura 2.

Como resultado, o ensaio fornece a razão-limite de estampagem (β), determinada pela equação 1, para cada condição de deformação. A variação da geometria dos punções possibilita avaliar a

combinação das deformações de estiramento e embutimento profundo e montar um gráfico comparativo entre materiais, de modo a facilitar a seleção de projetos de engenharia.

$$\beta = D/d \quad (1)$$

Onde:

D = Diâmetro da geratriz

d = Diâmetro do punção

Análise por elementos finitos

Para validar o método e melhor observar as diferentes deformações promovidas por cada punção, o ensaio foi simulado virtualmente. Para isso foram utilizados *softwares* de análise por elementos finitos (FEM), o simulador eta/Dynaform V5.6, voltado para a estampagem, e o *solver* LSTC/LS-Dyna versão 971.

As simulações foram modeladas com elementos do tipo casca Belytschko-Tsay, utilizando interface de contato "Form one way Surface to Surface". Esse tipo de contato projeta os nós da malha

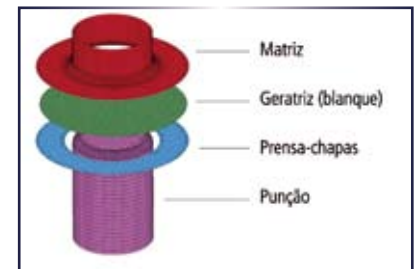


Fig. 3 – Conjunto montado no software Dynaform para a simulação do ensaio

de uma superfície coincidindo com a outra, simulando um contato contínuo e favorecendo a transmissão de forças. O deslocamento das ferramentas é de ação simples (*Single Action*), na qual o movimento é executado pela matriz e o punção permanece estático. O ferramental virtual segue as mesmas dimensões do modelo real e pode ser observado na figura 3.

Foram feitas simulações para cada uma das cinco geometrias para uma geratriz (blaque) de 100 mm de diâmetro, alimentadas com as propriedades do aço inoxidável AISI 304N das amostras obtidas por ensaios práticos. Para cada caso foi gerado o diagrama de falhas e o diagrama-limite de deformação. Os pontos em vermelho indicam falhas do material (ruptura), os verdes apontam a região segura da estampagem e as regiões azul e roxa indicam tendência ao enrugamento e enrugamento severo, respectivamente.

Os resultados da simulação, expostos na tabela 1 (pág. 66), evidenciam as diferentes deformações para cada geometria de punção. Quanto menor a área de contato do punção com a chapa, maior será o estiramento no centro e mais difícil será para o material transmitir as tensões de conformação para o flange.

Estampagem

Assim, o diagrama-limite de deformação do punção cilíndrico favorece as deformações de um embutimento profundo, variando até a elipse extra-profunda que atua na região de estiramento biaxial.

Ensaio prático

A técnica dos cinco punções foi empregada para comparar quatro tipos de aço inoxidável: AISI 304, 304N, 298 e 430E, medindo experimentalmente a razão-limite de estampagem para cada material.

O ensaio começa com a estampagem do maior diâmetro de geratriz (120 mm); este diâmetro é, então, sucessivamente reduzido em incrementos de 5 mm até que se obtenha sucesso na estampagem (peça íntegra). O primeiro diâmetro a ter sucesso na estampagem determina a razão-limite de estampagem do material. O procedimento se repete para cada punção.

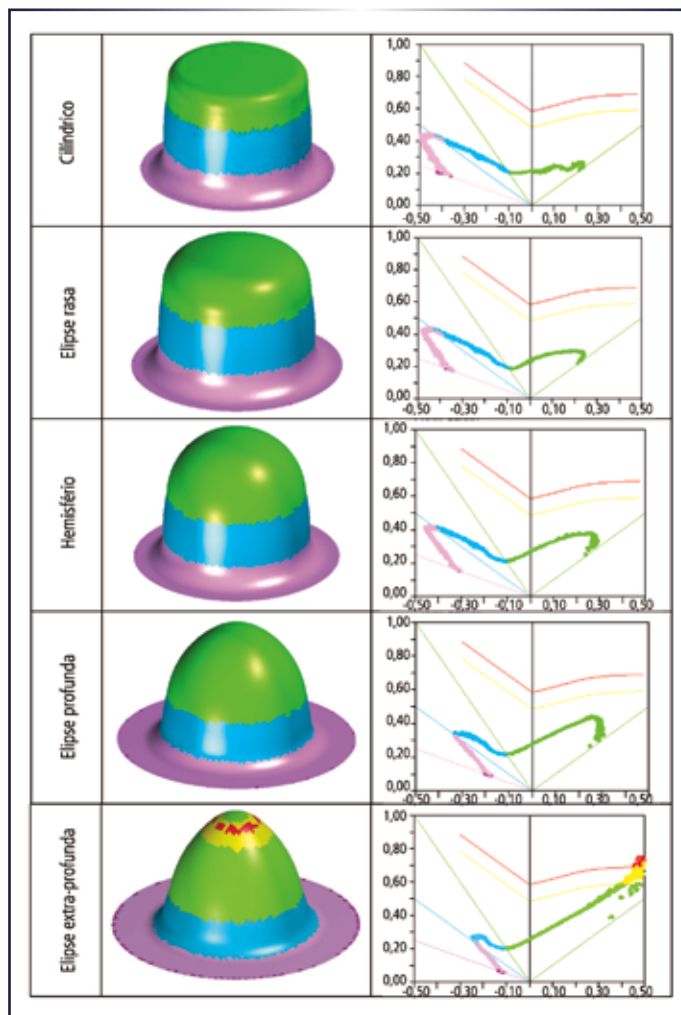


Tabela 1 – Resultados da simulação para geratriz de 100 mm de diâmetro para o aço AISI 304N para cada uma das geometrias da técnica dos cinco punções



AUTOMAÇÃO?

Ganhos para a sua empresa, seus clientes e seus colaboradores
Só a concorrência lamentaria...

Sempre novas soluções para soldagem

- Posicionadores Circulares de 30 Kg a 2,5t
- Robô Cartesiano de 3 Eixos Servomotorizados
- Equipamentos dedicados para alta produção
- Manipuladores Universais
- Células Robotizadas MIG/MAG
- Oscilador de Tocha







TEL.: (11) 4976-1677

www.soldaautomatica.com.br soldaautomatica@uol.com.br

Estampagem

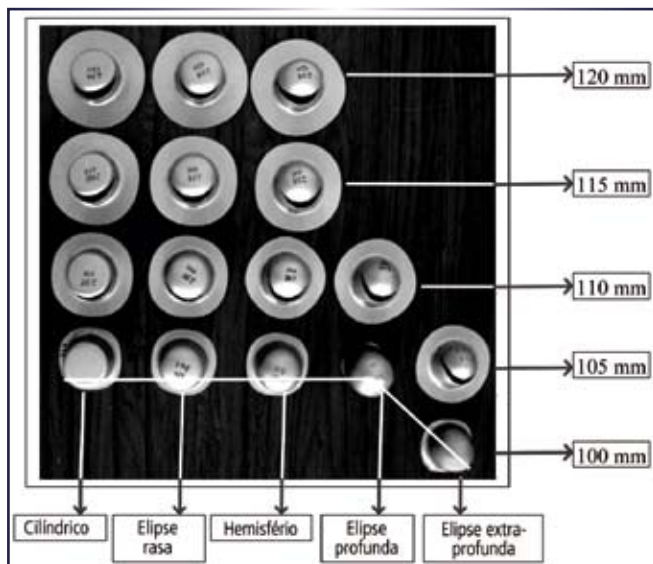


Fig. 4 – Corpos de prova estampados em aço inox 298

A força do prensa-chapas foi regulada por meio da estampagem de algumas amostras, com o objetivo de evitar o enrugamento das peças. Uma vez ajustada, ela foi mantida constante durante todo o ensaio. O lubrificante deve ser o mesmo utilizado no processo de fabricação da peça.

Nas figuras 4, 5 e 6, as linhas indicam o tamanho da geratriz e as colunas, a geometria do punção. A curva em amarelo indica os corpos de prova que obtiveram sucesso na estampagem.

Com o cálculo da razão-limite de estampagem para cada material, foi montado o gráfico de seleção de materiais da figura 8 (pág. 71). Com esse gráfico é possível comparar o desempenho de cada material quando submetido a diferentes tipos de deformação e escolher o mais adequado para determinado processo.

Nos resultados obtidos, observa-se que os aços 304, 304N e 298 tiveram comportamen-

tos semelhantes; apenas o aço 304 apresentou um valor de razão-limite de estampagem um pouco superior ao dos demais, para o punção hemisférico. Além disso, esses materiais não apresentaram diferenças muito significativas entre os diversos

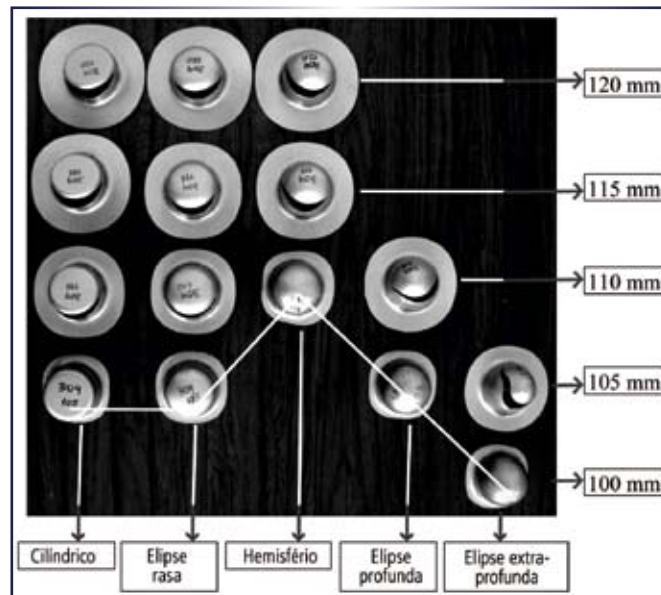


Fig. 5 – Corpos de prova estampados em aço inox 304

punções utilizados, mostrando que possuem comportamento semelhante para os diferentes tipos de deformação.

O comportamento do aço *inox* 430E foi superior ao dos demais para os punções cilíndrico, elipse rasa e hemisférico, nos quais pre-

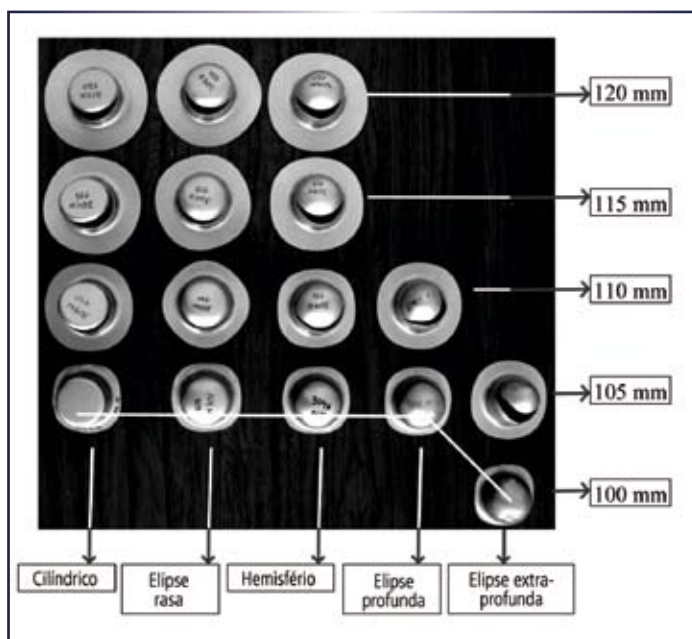


Fig. 6 – Corpos de prova estampados em aço inox 304N

Estampagem

valecem as deformações características de embutimento profundo. Para os demais punções, com os quais ocorrem deformações de estiramento, o comportamento desse material foi muito inferior ao dos demais.

Conclusão

A simulação é uma ferramenta poderosa que permitiu uma melhor observação e a classificação dos diferentes tipos de deformação atribuídos a cada geometria, contribuindo assim para validar a técnica dos cinco punções.

Na aplicação da técnica aos materiais ensaiados, o aço 430E apresentou um maior potencial de deformação para operações de embutimento; porém, um desempenho inferior para operações de estiramento. Os materiais 298, 304 e 304N apresentaram comportamentos similares, com uma pequena vantagem para o 304, que apresentou um melhor potencial de deformação. Na es-

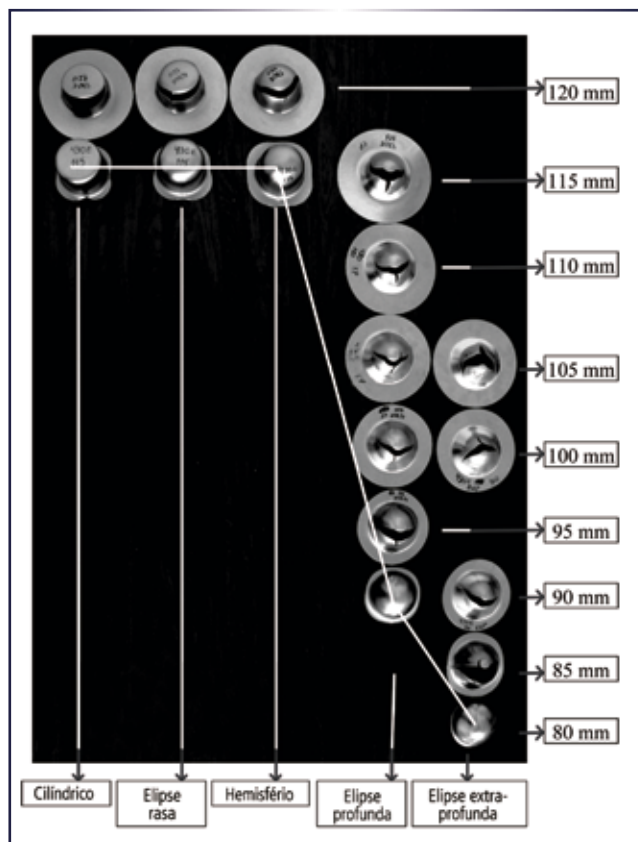


Fig. 7 – Corpos de prova estampados em aço inox 430E

PROMOÇÃO DE LANÇAMENTO



**HD - 3000
Precision**

Fabricada no Brasil

T ECTRONIX
SOLUÇÕES EM CORTES

**PLASMA CNC ALTA DEFINIÇÃO
COM A MELHOR RELAÇÃO
CUSTO - BENEFÍCIO DO MERCADO**

- Máquina Forte e ROBUSTA
- CNC EDGE PRO - Hypertherm
- THC ARC Glide - Hypertherm
- Servomotores AC Brushless de 1500W
- Pinhão e Cremalheira de precisão

Linhas de crédito:

- Financiamento próprio
- Proger
- Cartão BNDES
- Leasing

Parcerias:

Hypertherm

KMT
KMT Waterjet

vendas@tectronix.com.br
www.tectronix.com.br/(011) 5622-0303

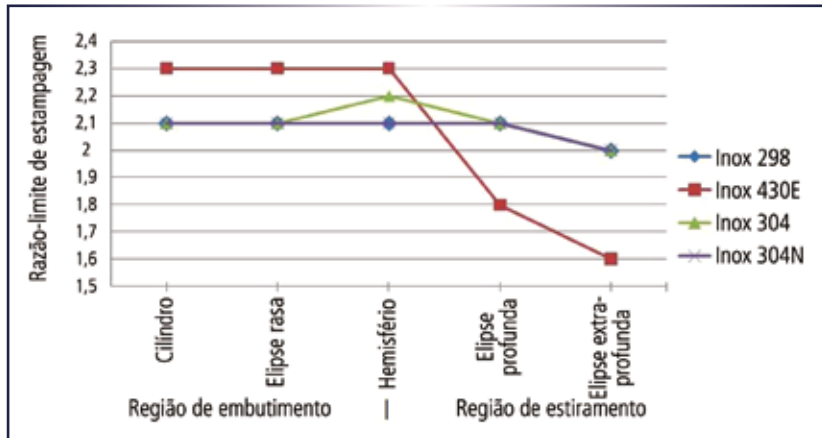


Fig. 8 – Razão-limite de estampagem para os materiais analisados

colha de materiais de um típico processo de estampagem em que não é preciso estiramento, pode-se optar por um material de menor custo que atenda aos requisitos do projeto.

Referências

- 1) SCHAEFFER, L.; RICHTER, A.; HENNIG, R. Pesquisa Tecnológica na Área de Estampagem. In: *II Workshop RECOPE: Qualificação de Chapas para a Indústria Automotiva*. São Paulo, abr. 1999.
- 2) HENNIG, R.; PREDIGER, S. A.; SCHAEFFER, L. Aproximação Matemática

- de Curvas de Escoamento para Simulação In: *II Conferência Nacional de Conformação de Chapas*. Porto Alegre, 1999. Gráfica e Editora Brasul, 1999; p.141-150.
- 3) HENNIG, R. A new Technological Proofing Method for Sheet Metal Materials. In: GEIGER, M.; KALS, H. J. J.; SHIRVANI, B.; SINGH, U. P. (ed.). *Sheet Metal 1999. Proceedings of the 7th International Conference on Sheet Metal – SheMet'99*. Erlangen, 27-28 set. 1999. Bamberg: Meisenbach-Verlag.
- 4) SCHAEFFER, L.; RICHTER, A.; HENNIG, R.; SOUZA, J. H. C. Análise e Otimização de Processos de Estampagem Profunda. *Revista Máquinas e Metais*, abr. 2000.

- São Paulo: Aranda Editora; p.168-179.
- 5) BORSOI, C.; HENNIG, R.; SCHAEFFER, L. Novo Teste Tecnológico no LdTM para a Melhor Determinação da Conformabilidade de Chapas Metálicas. In: *III Conferência Nacional de Conformação de Chapas*. Porto Alegre, 2000.
- 6) SILVEIRA NETTO, S. E.; HENNIG, R.; MALVEIRA, N. V.; SCHAEFFER, L. Análise da Influência da Geometria do Punção no Estudo da Obtenção da Curva Limite de Conformação pelo Método Nakazima. In: *59º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais*. São Paulo: Tec-Art Editora, 2004; p. 306-314.
- 7) HENNIG, R. Sheet Metal Proofing Methods meeting the Requirements of Production Processes. In: *X Conferência Nacional de Conformação de Chapas*. Porto Alegre, out. 2007.
- 8) BARONI, A.; ARRUDA, R. P. DE; MARCA, D.; SCHAEFFER, L. Simulação Computacional dos Processos de Estampagem. In: *27ª SENAFOR – 10ª Conferência Nacional de Conformação de Chapas*. Bento Gonçalves (RS), 2007.
- 9) ARRUDA, R. P. DE; MARCA, D.; SCHAEFFER, L. Seleção de Materiais para Estampagem Utilizando Ensaio com Punções de Diferentes Geometrias. In: *27ª SENAFOR – 11ª Conferência Nacional de Conformação de Chapas*. Porto Alegre, 2008.

baw
SOLUÇÕES PARA PROCESSOS DE CORTE

MESAS DE CORTE CNC

femcor®

Máquinas de corte a plasma extremamente robustas, com alta qualidade construtiva, projetadas para oferecer ao sistema alta velocidade e precisão, ampliando sua performance, consistência e vida útil.

ABSOLUTA-CNC

LINEA CORD CNC



FINAME

Distribuidor Autorizado:

Hypertherm **femcor** **alphasa®**

Rua Humberto Zanoni, 111 - Bairro Sanvitto - CEP: 95012-410
Caxias do Sul - RS - Fone/fax: (54) 3226 3232

E-mail: info@baw.com.br
Site: www.baw.com.br