

# DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA ENSAIO DE EXPANSÃO DE FURO EM MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAIOS MECÂNICOS DESTRUTIVOS \*

André Santos De Oliveira<sup>1</sup>  
Bruno Soares De Miranda<sup>1</sup>  
Felipe Cirilo Pereira Alves<sup>1</sup>  
Helton Da Silva Santos<sup>1</sup>  
Pedro Vinicius De Oliveira Barreto<sup>1</sup>  
Willy Ank de Moraes<sup>2</sup>

## Resumo

O ensaio de expansão de furo é utilizado para estudar os comportamentos específicos da estampagem de chapas com furos e sua respectiva expansão nas chapas de aços, suas propriedades mecânicas, detalhamento e análise da propagação de trincas e sua conformação. Para a aplicação e normalização deste ensaio de expansão de furo, devem obedecer a norma ISO 16630(2017) para o desenvolvimento de um dispositivo para uma máquina universal de ensaios mecânicos.

**Palavras-chave:** Ensaio de expansão de furo; Trincas; Conformação; Estampagem.

## DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR HOLE EXPANSION TEST IN UNIVERSAL MACHINE OF DESTRUCTIVE MECHANICAL TESTS

### Abstract

The hole expansion test is used to study the specific behavior of stamping holes and your respective expansion in the steel sheet, your mechanical properties, detailing and analysis of cracks propagation and its formability. For the application and normalization of this hole expansion test, must follow the standards ISO 16630(2017) for the development of a device for a universal machine of mechanical tests.

**Keywords:** Hole Expansion Test; Cracks; Forming; Stamping.

<sup>1</sup> Graduandos em Engenharia Mecânica, UNISANTA, Santos, SP, Brasil. E-mail: pedrobarreto@gmail.com.

<sup>2</sup> Doutorando, Mestre, Engenheiro e Técnico em Metalurgia e Materiais, Consultor Técnico na INSPEBRAS, Sócio-Diretor da Willy Ank Soluções Metal-Mecânica, Professor Adjunto, UNISANTA, Santos, SP, Brasil. E-mail: willyank@unisanta.br.

## 1 INTRODUÇÃO

A fabricação de componentes para a indústria automotiva a partir de chapas de aços envolve operações consecutivas ou sobrepostas de corte, flexão, alongamento e expansão de furos. Estes são utilizados para fabricar para-choques, suportes transversais e laterais, soleiras de portas e arcos de teto, para que possam absorver o máximo de energia cinética possível por deformação em caso de colisão, conforme Almeida et al. [1]. Na produção destas peças de veículos é de vital importância que a conformação é usada para fabricar essas peças seja responsável de assegurar que o aço funcionará de uma maneira confiável e previsível [2].

Como o processo de expandir furos é amplamente utilizado na indústria automotiva durante operações de conformação de chapas metálicas, um método comum de se analisar o processo é o chamado ensaio de "expansão de furos" o dispositivo irá fazer com que o ensaio seja difundido e seja utilizado em uma escala maior. É um procedimento estabelecido na norma ISO 16.630:2017 [3].

Especificamente, a norma descreve um método para determinar a taxa de expansão de furos em chapas e tiras metálicas com faixa de espessura entre 1,2 e 6,0 mm e largura de pelo menos 90,0 mm. O teste é aplicável a chapas metálicas e é usado para avaliar a adequação do produto para a formação de flanges [2, 4].

Antes que um teste possa ser conduzido, uma amostra de chapa deve ser fabricada. Em seguida, um orifício com 10 mm de diâmetro é perfurado em uma amostra de chapa fina. Depois de inserir a amostra de chapa metálica em uma máquina de teste, um mandril de aço em formato cônico é forçado para o centro do furo previamente perfurado a partir de baixo na direção em que foi originalmente perfurado. O orifício então se expande até que as trincas comecem a se formar na borda interna do orifício perfurado que foi criado com o mandril, assim que esta trinca atravessar toda extensão da espessura o ensaio é interrompido [1, 2 e 4].

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Materiais e Métodos

A lista é composta por materiais que serão utilizados para a construção dos equipamentos necessários em que será adaptado o dispositivo para a realização do ensaio de expansão de furo em uma máquina universal de ensaios mecânicos. Os itens foram previamente escolhidos, porém podem sofrer alterações conforme o desenvolvimento do projeto.

- Punção cônico de aço para cementação 8620: diâmetro:27,4 mm e ângulo de  $\alpha$  de 60°;
- Corpos de prova com dimensões aproximadas de (3 × 100× 100)mm do material SAE J403 1020 [5];
- Duas chapas (chapa e contra-chapa) de aço SAE J403 1020 [5] com dimensões de (6,35 × 200× 200) mm;

- Parafuso sextavados de (M10 × 50) mm com porcas;
- Câmera para visualização do ensaio com transmissão simultânea;
- Máquina universal de ensaios mecânicos destrutivos de modelo: EMIC DL 10.000, cuja estrutura principal está apresentada na Figura 1;
- Computador com programa TESC® para leitura de curvas tensão x deformação;



**Figura 1.** Máquina universal de ensaios mecânicos destrutivos DL 10.000 da UNISANTA.

A Máquina universal de ensaios mecânicos empregada possui garras de fixação e uma trave remota na qual é possível controlar a faixa de velocidade de avanço necessária para o teste de expansão de furo que será adaptado um dispositivo em que será possível, e assim avançar o punção cônico normalizado pela ISO 16.630 :2017 [3] em direção ao corpo de prova que estará fixado na matriz com prensa e contra-chapa. A verificação do equipamento é feita regularmente pelos técnicos de laboratório de ensaios mecânicos da Usiminas – Cubatão, segundo a universidade. As características técnicas principais foram coletadas do catálogo do fabricante EMIC, da linha DL (*Digital Line*) 10.000 e estão citados na Tabela 1.

Utilizou-se o material SAE J403 1020 [5], cujos requisitos de composição química estão descritos na Tabela 2, para realizar os testes. Neste foi usado um furo no laboratório com 10 mm de diâmetro. A geometria do corpo de prova está

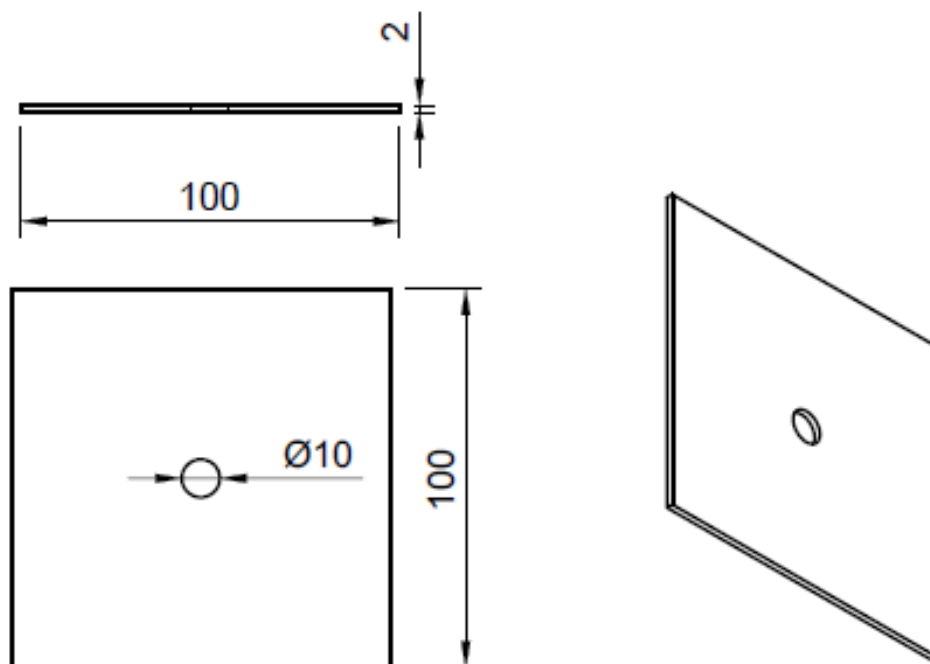
apresentada na Figura 2. As chapas e contra-chapas empregadas no protótipo possuíam as mesmas características do material descrito na Tabela 2.

**Tabela 1.** Dados da máquina universal de ensaios mecânicos destrutivos

MODELO	MÁQUINA DE BANCADA EMIC DL – 10000	
Capacidade máxima	[kgf]	10000
	[kN]	100
Tipo	Bifuso de bancada	
Faixa de velocidade [mm/min]	0,01 - 500	
Curso máximo s/ garras [mm]	1250	
Largura útil entre colunas [mm]	400	
Dimensões [mm] (Altura/Largura/Profundidade)	1920/920/550	
Peso aproximado [kgf]	420	
Consumo máximo [VA]	704	

**Tabela 2.** Dados de composição química do aço empregado nos ensaios

Aço SAE J 403 1020 [5]				
Composição	%C	%Mn	%P	%S
Mín.	0,18	0,30	-	-
Máx.	0,23	0,60	0,04	0,05



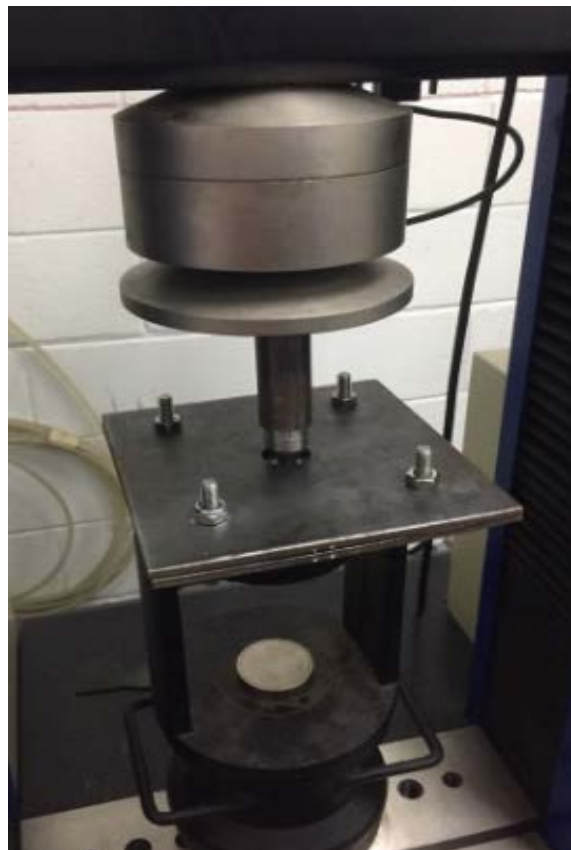
**Figura 2.** Geometria e dimensões do corpo de prova empregado neste trabalho.

Visando um melhor desempenho no punção empregou-se como material de construção deste no protótipo o aço SAE J404 8620 [6], cujos requisitos de composição químicos estão apresentados na Tabela 3. Adotou-se a geometria cônica por ser mais viável para a usinagem por torneamento, disponível na Universidade.

**Tabela 3.** Dados de composição química do aço empregado no punção do protótipo

Aço SAE J404 8620 [6]								
Composição	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Ni	%Cr	%Mo
Mín.	0,18	0,30	-	-	0,15	0,40	0,40	0,15
Máx.	0,23	0,60	0,04	0,05	0,35	0,70	0,60	0,25

Executou-se um teste preliminar a fim de elaborar um protótipo que facilitaria o desenvolvimento do dispositivo real, assim foi possível registrar o desempenho dos corpos de prova ensaiados. Junto a isso observou-se qual seria a capacidade da máquina na prática, junto também ao programa que mediu os resultados.



**Figura 3.** Protótipo montado para o ensaio.

Durante a realização do ensaio visto que a velocidade foi de 1,0mm por segundo não foi possível visualizar a olho nu o passo a passo, porém foi registrado o progresso de início e fim de curso do punção e logo em seguida medido o HER (*Hole expansion Ratio*) comparando as medidas iniciais e finais.

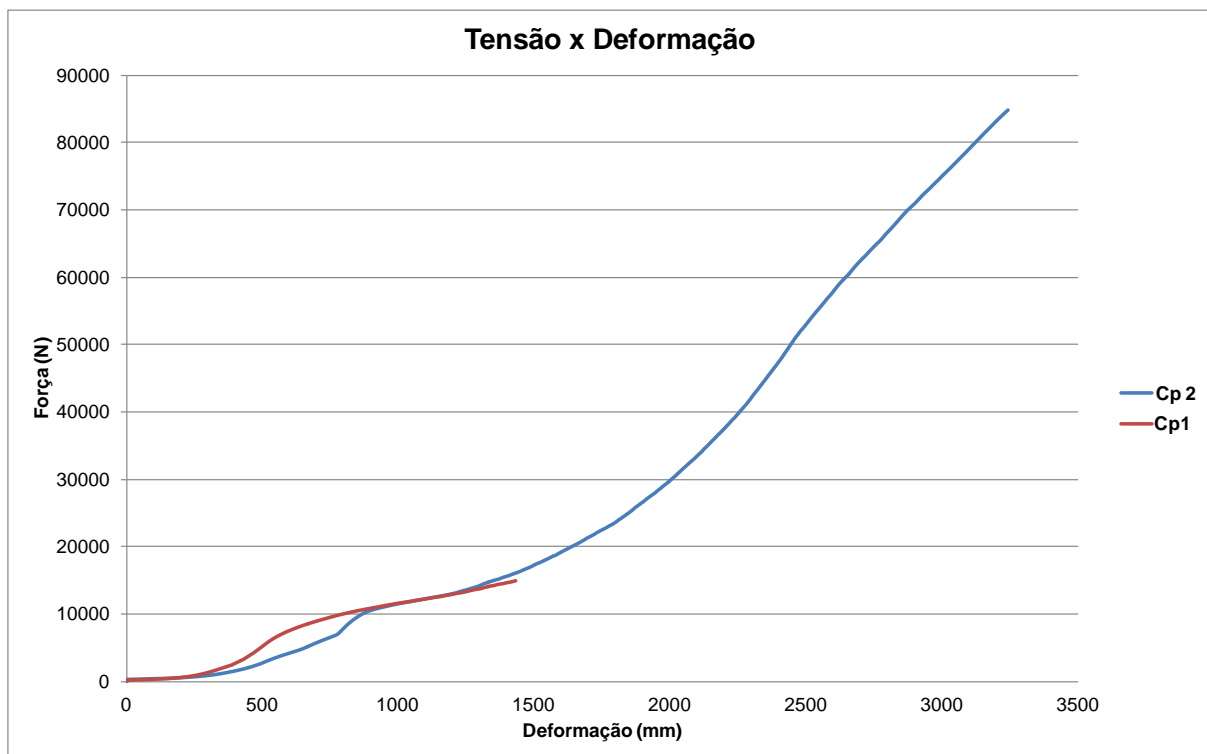
$$\lambda[\%] = \frac{d_f - d_0}{d_0} \times 100\% \quad (1)$$

## 2.2 Resultados e Discussões

Comparando os resultados obtidos durante o experimento nos dois corpos de prova que foram preparados obteve-se os resultados expostos na Tabela 4. Entre o comparativo do primeiro corpo de prova com o segundo é notório o aumento de força aplicado durante o teste como visto na Figura 4, com isso houve uma maior deformação do furo do segundo corpo de prova, ambos ainda no com potencial de maior expansão para os seguintes ensaios. Para isso foi relacionado um gráfico para ilustrar os dados encontrados no *software* TESC<sup>®</sup>.

**Tabela 4.** Resultados obtidos da expansão de furo nos amostras testadas

Corpo de Prova	Espessura (mm)	Diâmetro inicial (mm)	Diâmetro final (mm)	Expansão de furo, $\lambda$
CP 1	3,00	10	17,1	71%
CP 2	3,00	10	18,5	85%



**Figura 4.** Curva da tensão x deformação sobre o comportamento dos corpos de prova.

No primeiro teste a força registrada foi bem menor pois, o aperto da chapa e contra chapa adotados foi bem menor, de modo a conseguir ajustar alguns parâmetros do ensaio. Neste caso, foram verificados o posicionamento do punção com relação ao

furo, velocidade de avanço sobre o corpo de prova e também eventuais defeitos ou problemas que pudessem estar presentes durante o ensaio. A Figura 5 ilustra o aspecto inferior do furo do CP2 durante o ensaio.

Entretanto ainda não foi possível encontrar trincas em ambos os corpos de prova ensaiados no laboratório, como apresentado na Figura 6. Posteriormente um ensaio de líquido penetrante foi realizado para eliminar quaisquer dúvidas de vestígios de defeitos ou agentes que possam viabilizar a propagação dos mesmos.



**Figura 5.**Furo sendo expandido durante o ensaio (CP2) registrado por uma câmera posicionada abaixo do conjunto chapa-contra chapa.



**Figura 6.**Corpos de prova ensaiados. À esquerda o CP 1 e à direita o CP2.

Como foi observado a formação de uma distorção em ambos os corpos de prova, isso demonstrou a existência de uma folga na chapa de apoio devido a um aperto menor que o necessário, além da falta de concordância. Devido isso ocorreu a limitação do escoamento do material e permitiu a formação de arestas em sua base como pode ser visualizado na Figura 6.

### 3 CONCLUSÃO

O ensaio de expansão de furo apresenta importância dentre os testes realizados no limite da condição de estampabilidade de uma chapa metálica [1, 4]. Este ensaio simula o uso de determinados processos de fabricação semelhantes ao flangeamento, que, por sua vez é combinado com a estampagem para obter o comportamento real, principalmente para a indústria automotiva que utiliza esse processo por com aços avançados que possibilitam um ótimo desempenho e aproveitamento.

Os processos por ser desenvolvido para máquina de tração e compressão existem lacunas quanto à interpretação dos resultados e influência de fatores durante o ensaio, gerando variáveis nos resultados obtidos e com isso é importante analisar cada um deles e aplicar o rigorosamente a norma ISO 16.630:2017 [2] que padroniza o ensaio para se obter os melhores dados possíveis.

Por não ser considerado um ensaio comum, muitas empresas não têm livre acesso ao mesmo, gerando assim uma resistência quanto aos fabricantes em solicitá-lo. Portanto a adaptação imposta no trabalho visará um maior acesso e também a possibilidade de repetição do ensaio de expansão, a fim de garantir a melhoria de cada material.

### Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o apoio do técnico especialista Wilson Roberto Oliveira na preparação e orientação no uso do equipamento de testes de ensaios na UNISANTA.

### REFERÊNCIAS

- 1 ALMEIDA, A. F.; THESING A. L.; SCHAEFFER L.; BOFF U. Estudo testa a conformação de aços avançados de alta resistência pelo método de expansão de furos. Corte e Conformação de Metais, São Paulo, v. 138, n. 12, p.14-20, out. 2016. Disponível em: <<http://www.arandanet.com.br/assets/revistas/ccm/2016/outubro/index.php#page=14>>. Acesso em: 10 abr. 2018.
- 2 GIPIELA, Manolo Lutero. Estudo da expansão de furos e conformação de chapas de aço multifásicos CPW800. 2012. 184 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba- PR, 2012.
- 3 ISO 16630 (2017). Metallic materials — Sheet and strip — Hole expanding test. 6 p. Suíça, 2017.



- 4 KARELOVA, et al. Influence of the edge conditions on the hole expansion property of dual-phase and complex-phase steels. Materials Science and Technology (MS&T) Detroit, Michigan – 2007.
- 5 SAE J 403. Chemical compositions of SAE carbon steel. Edição 2009.
- 6 SAE J 404. Chemical compositions of SAE Alloy Steels. Edição 2009.