

Determinação da curva limite de conformação do aço AISI 1008

Determination of the forming limit curve of AISI 1008 steel

DOI:10.34117/bjdv8n4-273

Recebimento dos originais: 21/02/2022

Aceitação para publicação: 31/03/2022

Jamile Thön Langbehn

Especialista

Instituição: Centro Universitário UNISATC

Endereço: Rua Pascoal Meller, 73 – Bairro Universitário. Criciúma/SC CEP: 88805-380

E-mail: jtlangbehn@hotmail.com

Alexandre de Oliveira Souza

Especialista

Instituição: Centro Universitário UNISATC

Endereço: Rua Pascoal Meller, 73 – Bairro Universitário. Criciúma/SC CEP: 88805-380

E-mail: alexandresouza_@outlook.com

Diana Morona

Especialista

Instituição: Centro Universitário UNISATC

Endereço: Rua Pascoal Meller, 73 – Bairro Universitário. Criciúma/SC CEP: 88805-380

E-mail: professoradiana.morona@gmail.com

Raul Varnier

Bacharel em Engenharia Mecânica

Instituição: Centro Universitário UNISATC

Endereço: Rua Pascoal Meller, 73 – Bairro Universitário. Criciúma/SC CEP: 88805-380

E-mail: raul.varnier@hotmail.com

Anderson Daleffe

Doutor

Instituição: Centro Universitário UNISATC

Endereço: Rua Pascoal Meller, 73 – Bairro Universitário. Criciúma/SC CEP: 88805-380

E-mail: anderson.daleffe@satc.edu.br

RESUMO

Os aços baixo carbono são amplamente utilizados na fabricação de peças estampadas, devido seu baixo custo e boa estampabilidade. Dentre os aços carbono mais utilizados, pode-se citar o aço AISI 1008, que possui alta ductilidade e tenacidade. Esse aço tem sido alvo de estudos tanto na área de estampagem tradicional como na área da estampagem incremental. Existem diversas técnicas para avaliar a estampabilidade de um aço, sendo a determinação da Curva Limite de Conformação (CLC) uma das mais importantes e usuais. Por meio da curva CLC identificam-se os limites de deformação de um determinado material com determinada espessura bem como o tipo de deformação que ocorre nesse material. O presente trabalho tem como objetivo determinar a curva CLC de uma chapa laminada de aço AISI 1008 com espessura de 1,5mm. Para isto, foi utilizado

o ensaio de Nakazima, com a fabricação de 8 corpos de prova com diferentes tamanhos e estampados até o seu rompimento. Para a elaboração da curva CLC foram realizadas marcações eletroquímicas de círculos com diâmetro de 2,5mm. Após a estampagem, os círculos mais próximos ao rompimento da chapa foram medidos na menor e maior deformação; os valores de deformação verdadeira foram então utilizados para determinar a curva CLC. Este ensaio possui aplicação prática na indústria, pois a curva obtida pode ser comparada com a estampagem de uma peça real com o mesmo material e espessura e determinar assim se a peça poderá ser estampada sem que haja rompimento. A curva obtida no estudo servirá como base de informação para aplicações na indústria e referência para desenvolvimento de novos trabalhos, justificando assim a realização desse trabalho.

Palavras-chave: estampagem, curva clc, aços baixo carbono, conformação, ensaio nakazima.

ABSTRACT

Low carbon steels are widely used in the manufacture of stamped parts, due to their low cost and good stampability. Among the most used carbon steels, we can mention the AISI 1008 steel, which has high ductility and tenacity. This steel has been the target of studies both in the area of traditional stamping and in the area of incremental stamping. There are several techniques to evaluate the drawing ability of a steel, being the determination of the Conformation Limit Curve (CLC) one of the most important and usual. The CLC curve identifies the deformation limits of a certain material with a certain thickness, as well as the type of deformation that occurs in this material. The objective of the present work is to determine the CLC curve of a rolled sheet of AISI 1008 steel with a thickness of 1.5mm. For this, the Nakazima test was used, with the fabrication of 8 specimens with different sizes and stamped until the rupture. For the elaboration of the CLC curve, electrochemical markings of circles with a diameter of 2.5mm were made. After stamping, the circles closest to the plate rupture were measured at the lowest and highest strains; the true strain values were then used to determine the CLC curve. This test has practical application in industry, because the curve obtained can be compared to the stamping of a real part with the same material and thickness and thus determine if the part can be stamped without tearing. The curve obtained in the study will serve as a basis of information for applications in the industry and reference for the development of new work, thus justifying the realization of this work.

Keywords: stamping, clc curve, low carbon steel, forming, nakazima test.

1 INTRODUÇÃO

As chapas finas de aço laminadas são amplamente empregadas na fabricação de peças estampadas. Dentre os aços, os baixa liga e inoxidáveis são os mais utilizados pela sua alta conformabilidade e/ou propriedades finais desejáveis [1]. Os aços baixa liga são empregados na fabricação de diversas peças e componentes estampados, tanto para indústria automobilística, como naval, eletrônica e geração de energia, devido seu baixo custo e grande disponibilidade [2].

Em relação a processos de estampagem, as chapas finas de aço podem ser conformadas em todos os tipos de processo, sendo a estampagem profunda a mais problemática, devido a grande deformação do material e risco de rompimento. Nesse tipo de processo é imprescindível que as características do material sejam muito bem conhecidas e controladas, como a composição química, índice de anisotropia do material, microestrutura e ainda o limite de conformação [3]-[4].

Peças com geometrias complexas que exijam ser conformadas por estampagem profunda, seja por embutimento ou repuxo, em geral necessitam mais de uma etapa de conformação para atingir a geometria final desejada. Neste sentido, o campo de estampagem incremental vem crescendo fortemente. Nesse processo, com auxílio de uma máquina CNC e programação em CAM é possível realizar uma estampagem por passes adquirindo geometrias muito complexas de uma só vez e com grandes percentuais de conformação final da peça. Diversos estudos vêm sendo realizados nessa área, tanto para aplicações industriais como também para aplicação em próteses [5]-[6]-[7]-[8].

Para que se conheça o limite de conformação de um metal é possível fazer o levantamento da Curva Limite de Conformação (CLC). Esta curva, muito utilizada de forma prática na indústria de estampagem, determina por meio das deformações verdadeiras até onde é possível conformar o material com espessura determinada sem que ele rompa. Dessa forma, é possível levantar a curva em laboratório da matéria-prima escolhida e comparar com a deformação sofrida pela peça a ser fabricada, para assim, estimar se ela poderá ser fabricada com processo determinado em projeto sem sofrer rompimento [9].

O objetivo desse trabalho consiste em determinar a curva CLC de um aço AISI 1008 com espessura de 1,5mm. Sabendo da demanda de conformação em aços baixa liga e dos crescentes estudos na área de estampagem incremental, o levantamento da curva CLC realizado nesse trabalho poderá ser utilizado como referência para futuros trabalhos e para aplicação direta na indústria.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A curva CLC foi obtida pelo método Nakazima modificado com base na referência [10] e na norma ISO 12004-2 [11]. A partir da chapa de aço AISI 1008 de 1,5mm foram obtidos 8 corpos de prova de tamanhos distintos, demonstrados na Figura 1. Na Tabela 1 estão especificadas as dimensões dos CPs, sendo que todos possuem 200mm de comprimento.

Figura 1 - Corpos de prova para ensaio de conformação - método Nakazima modificado.



Tabela 1 - Dimensões dos corpos de prova.

CP	Largura na Estricção	Largura Externa	Raio lateral
1	10	40	R100
2	20	50	R90
3	30	60	R80
4	40	70	R70
5	50	80	R80
6	60	100	R50
7	80	120	R40
8	100	150	R25

Na Tabela 2 tem-se a composição química do material utilizado. É possível observar que o percentual de Mn está um pouco abaixo do especificado na norma AISI para a liga 1008.

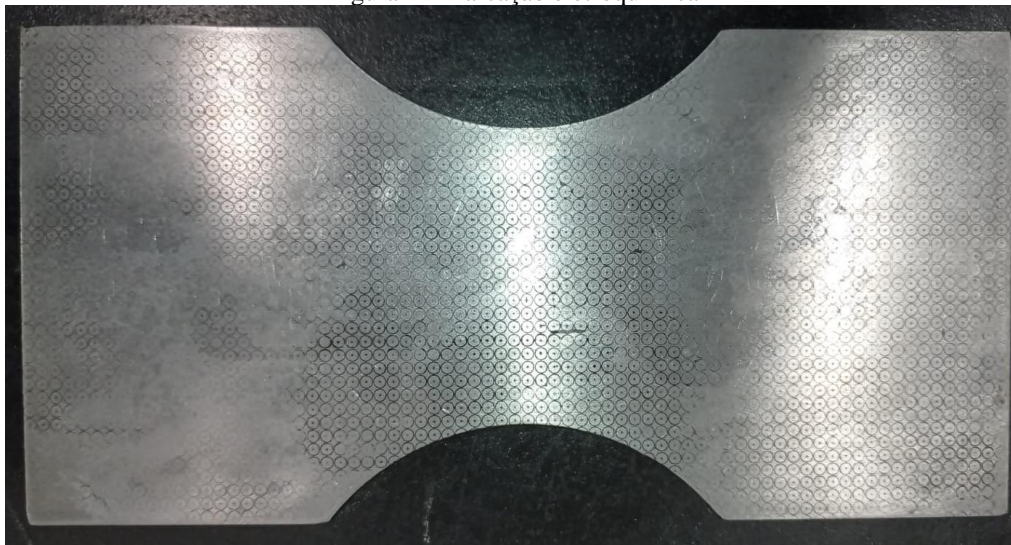
Tabela 2 - Composição química da chapa de aço AISI 1008 utilizado no trabalho.

C %	Mn %	Si %	P %	S %	Cr %	Mo %
0,056	0,192	0,020	0,004	0,004	0,020	0,006

Fonte: ArcelorMittal, 2019.

Para realizar a medição da deformação foi aplicada uma marcação eletroquímica nos corpos de prova com formato de círculos de 2,5mm de diâmetro, demonstrado na Figura 2.

Figura 2 - Marcação eletroquímica



Os corpos de prova foram conformados em uma prensa hidráulica com punção esférico aplicando pressão até que o corpo de prova rompesse. Foi utilizada uma graxa a base de lítio como lubrificante. A Figura 3 (a) e (b) demonstra a prensa e o posicionamento da peça em relação ao punção e as peças após ensaio, respectivamente.

Figura 3 - (a) Prensa hidráulica com corpo de prova; (b) Corpos de prova após ensaio de conformação.



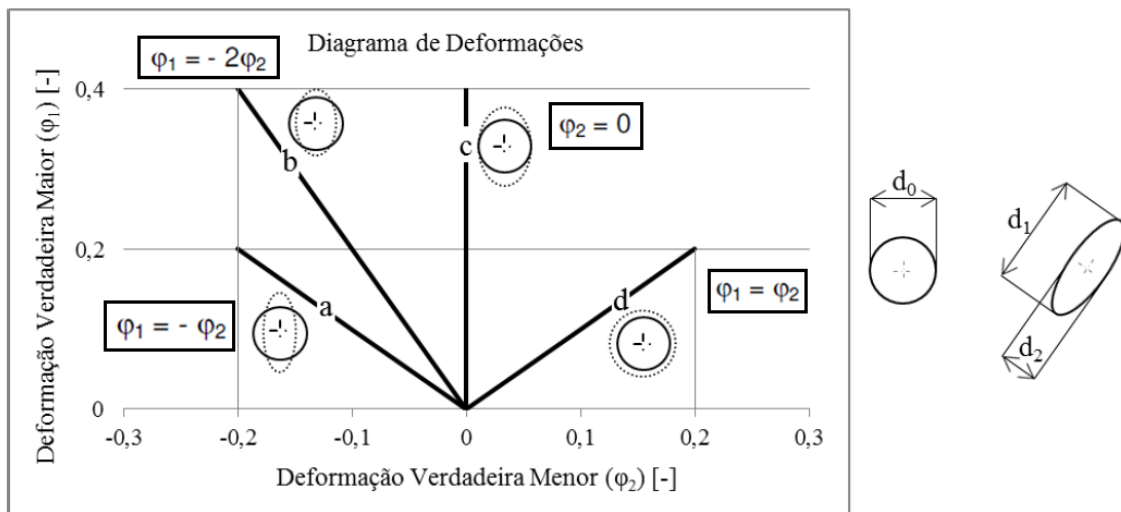
Com auxílio de um microscópio foi realizada a medição das diagonais “d₁” e “d₂” das elipses (resultantes da deformação dos círculos) mais próximas ao rompimento. Como resultado são obtidos os valores das deformações verdadeiras ϕ_1 e ϕ_2 para cada elipse de acordo com as equações (1) e (2).

$$\phi_1 = \ln \frac{d_1}{d_0} \quad (1)$$

$$\phi_2 = \ln \frac{d_2}{d_0} \quad (2)$$

A Figura 4 demonstra o Diagrama de Deformações ϕ_1 e ϕ_2 , a relação entre as deformações verdadeiras e o tipo de deformação associada, onde: (a) Estiramento Profundo; (b) Estiramento de Tração (Uniaxial); (c) deformação plana e (d) Estiramento Biaxial [12].

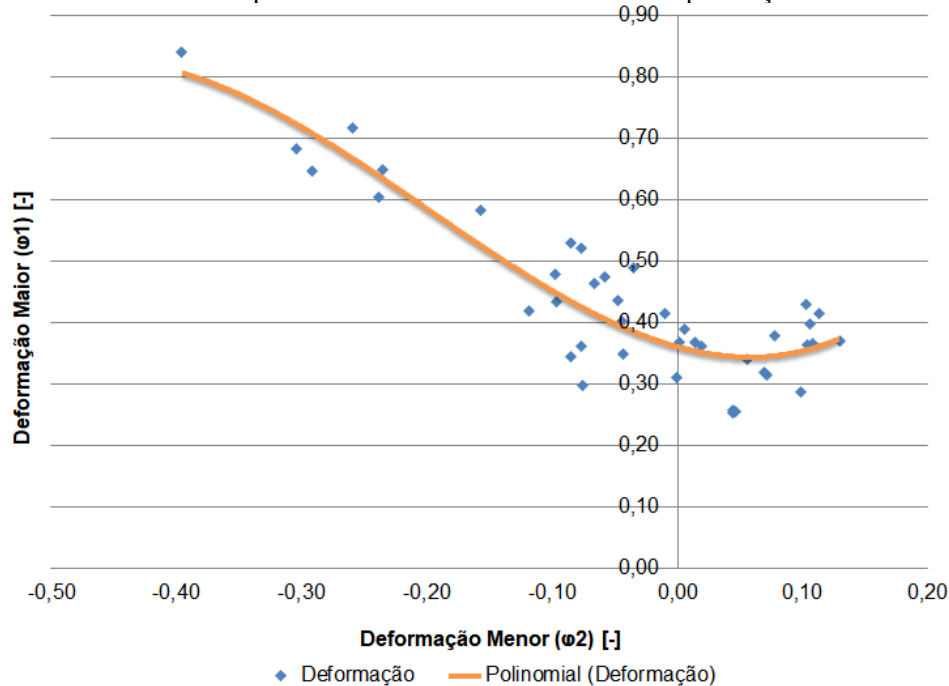
Figura 4 - Determinação de ϕ_1 e ϕ_2 por meio das diagonais a e b das elipses. Tipos de deformações existentes. Fonte: Adaptado de [12].



3 ANÁLISE DE RESULTADOS

Com dados obtidos no ensaio de Nakazima, obteve-se a curva CLC demonstrada na Figura 5.

Figura 5 - Curva CLC obtida por meio do ensaio de Nakazima em chapa de aço AISI 1008 de 1,5mm.



A curva CLC obtida mostra o limite de conformação do aço em estudo. A área abaixo da curva é relativa às deformações que a chapa pode suportar sem que haja rompimento, enquanto a área acima da curva, estará suscetível a falhas catastróficas [10]-[11].

A equação (3) demonstra o polinômio de terceiro grau que caracteriza a CLC obtida no estudo. Observa-se que o ponto de intersecção com o eixo ω_1 ocorreu em 0,36.

$$\omega_1 = 7,06\omega_2^3 + 4,22\omega_2^2 - 0,56\omega_2 + 0,36 \quad (3)$$

Onde: $-0,40 < \omega_2 < 0,13$

A curva obtida está dentro do esperado comparando com a literatura existente para o aço AISI 1008 e materiais próximos, como o aço SAE 1006 [13]-[14]. As curvas CLC para os aços carbono possuem quase sempre o mesmo formato, mudando apenas o ponto de intersecção com o eixo ω_1 . Esse ponto está relacionado com o coeficiente de encruamento do material, espessura da chapa e tipo de lubrificação utilizada [15]-[16].

4 CONCLUSÃO

Por meio do método proposto foi possível obter a curva limite de conformação para uma chapa de aço AISI 1008 com espessura de 1,5mm.

A curva forneceu dados em relação as deformações máximas que a chapa utilizada pode sofrer sem que haja rompimento. Dessa forma, poderá ser utilizada como parâmetro de comparação com peças fabricadas do mesmo material e espessura. Os dados foram condizentes com a literatura.

Ainda, a CLC construída também servirá como referência para trabalhos futuros na área de estampagem convencional e incremental, visto que os trabalhos encontrados na literatura para este material geralmente utilizam chapas com menores espessuras.

REFERÊNCIAS

- [1] XAVIER, Marcos Domingos. Estampagem de aços carbono e inoxidáveis. Technical Report: Research Gate. São Paulo, 2015. DOI: 10.13140/RG.2.1.3679.1768
- [2] OLIVEIRA, Antônio Fabiano de. Caracterização de um aço IF após relaminação no laminador de encruamento. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2010.
- [3] OLIVEIRA, Hesron William de. Metodologia teórico-numérica para concepção e fabricação de ferramental para estampagem em escala piloto de embalagens metálicas de duas peças. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, 2019.
- [4] HAAG, Jefferson; FERRANTI, Gabriel Oliveira. Estampabilidade de Aços Baixo Carbono. Trabalho Completo. Anais do 54º Seminário de Laminação e Conformação. Vol. 54, num. 1 (2017).
- [5] FRITZEN, Daniel; DALEFFE, Anderson; DO SANTOS DE LUCCA, Gustavo; CASTELAN, Jovani; SCHAEFFER, Lirio ; ALVES DE SOUSA, Ricarod J. . Incremental forming of Cu-35Zn brass alloy. INTERNATIONAL JOURNAL OF MATERIAL FORMING (ONLINE), v. 11, p. 1-16, 2017.
- [6] CASTELAN, Jovani; SCHAEFFER, Lirio; DALEFFE, Anderson; FRITZEN, Daniel; SALVARO, V.; SILVA, F. P. Manufacture of custom-made cranial implants from DICOM® images using 3D Printing, CAD/CAM technology and Incremental Sheet Forming. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica, v. 30, p. 1-9, 2014.
- [7] DA SILVA, Pablo Josué. Estampagem Incremental utilizada para prototipagem de Peças de Aço ABNT 1008 e ABNT 304. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 2011.
- [8] OLIVEIRA, Bruno José de. Fabricação de Peças Complexas em Chapas de Aço Inoxidável Austenítico AISI 304 Utilizando Método de Estampagem Incremental. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Mecânica, UFU, 2018.
- [9] PAUL, Surajit Kumar. Controlling Factors of Forming Limit Curve: A review. Advances In Industrial and Manufacturing Engineering 2, (2021).
- [10] NETTO, Sergio Eglan Silveira. Desenvolvimento do Processo de Construção de Curvas Limite de conformação. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais. UFRGS, 2004.
- [11] INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. Metallic Materials – Sheet and Strip – Part 2: Determination of forming-limit curve in the laboratory. ISO 12004-2:2008, Switzerland.
- [12] LORA, Fábio André. Avaliação das Deformações no Aço DC04 Quando Submetido ao Processo Híbrido de Estampagem Incremental Posterior ao Processo Convencional. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. UFRGS, 2014.
- [13] MATTANA, Henrique Antônio. Construção e Análise da Curva Limite de Conformação através do Método de Nakajima para o Aço SAE 1008. Relatório de Estágio. Graduação em Engenharia Mecânica. UCS, 2013.
- [14] LAZZAROTTO, Rafael. Determinação Experimental e Numérica da Curva Limite de Conformação Via Ensaio Nakajima. Relatório de Estágio. Graduação em Engenharia Mecânica. UCS, 2017.
- [15] LOBÃO, Maurício Centeno. Determinação de Curvas Limite de Conformação por

Procedimentos Experimentais e Simulação Numérica do Processo de Estampagem. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, UFSC, 2003.

[16] FOLLE, Luis Fernando; ARRUDA, Rodrigo Patrício de.; MARCA, Dhiones; SCHAEFFER, Lirio. Escolha do Lubrificante correto torna mais precisa a curva-limite de conformação. *Revista Corte e Conformação de Materiais*, p. 64-76, ed. abril 2008.