

CURVA LIMITE DE CONFORMAÇÃO NA ESTAMPAGEM INCREMENTAL EM LINHA RETA

C. C. Yurgel, chemale@fieb.org.br¹

F. A. Lora, fabio.lora@pro.ucesal.br²

L. Schaffer, schaefer@ufrgs.br³

¹ Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, BA, Brasil

² Universidade Católica do Salvador, Salvador, BA, Brasil

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Resumo: Nas últimas décadas, a área de estampagem tem aprimorado seus conhecimentos tanto em termos de materiais utilizados como também na flexibilidade e na redução de custo do processo. Novos processos de estampagem vêm sendo estudados, dentre eles, a estampagem incremental. Este processo é focado basicamente na produção de pequenos lotes de peças, prototipagem rápida e grande flexibilidade de processo com reduzido custo operacional. Esse trabalho foi realizado para a avaliação do processo em relação a diferentes estratégias incrementais e às máximas deformações aplicadas na curva limite de conformação. Os resultados mostraram que as curvas limite de conformação dependem das estratégias do processo, chegando a uma deformação principal máxima de 1,03.

Palavras-chave: estampagem incremental, linha reta, curva limite de conformação.

1. INTRODUÇÃO

A estampagem incremental é focada basicamente para a produção de pequenos lotes de peças, prototipagem rápida e grande flexibilidade de processo com reduzido custo operacional. A redução de custo foca na não necessidade de fabricação de uma matriz metálica de elevado custo, ou seja, pode-se ter uma matriz com matérias de custo reduzido e esta ainda pode ser aplicada de forma parcial ao processo. O processo incremental ocorre através da aplicação pontual de carga sobre a chapa metálica realizando deformações incrementais. Esse tipo de deformação aplicada na peça faz com que ocorram grandes deformações no material, superiores às deformações dos processos convencionais, conforme Schaeffer 2004, Yamashita 2008, Sena 2009 e Dejardina *et. Al.* 2010.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os ensaios foram baseados na conformação dos corpos de prova em uma geometria simples (linha reta), em que foram aplicadas variações de parâmetros de estampagem com a finalidade de serem avaliadas no processo. As chapas foram gravadas com círculos afastados 2mm entre os centros através de uma corrosão eletroquímica. Essa corrosão aplicada ao material não o danifica e não desaparece com as deformações aplicadas. Na Figura 1, observa-se o esquema do ensaio antes do processo de estampagem incremental. Os parâmetros utilizados nesses experimentos, em relação aos testes realizados, podem ser vistos na Tabela 1, sendo que os corpos de prova para a aplicação da estampagem incremental com dimensões de 360x70x1mm³ (comprimento x largura x espessura), o punção com avanço (a) de 2000m/min e um lubrificante de base líquida vegetal foram utilizados em todos os experimentos para a lubrificação entre punção e geratriz.

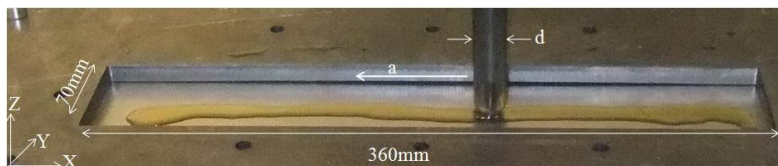


Figura 1 – Elaboração do processo incremental no software.

Os testes #1 a #6 foram realizados utilizando o processo negativo de ponto simples com o punção fixo, onde apenas o punção estava em contato com a parte deformada da chapa. Foi utilizado o equipamento AMINO modelo DLNC-RB.

Os testes #1 e #4 foram realizados com o punção realizando o incremento no sentido “Z” em ângulo, ou seja, o incremento de 2mm era formado apenas no final do comprimento útil, conforme observado na Figura 2.a. Nos

experimentos #2, #3, #5 e #6, o punção realizou uma trajetória horizontal, perfazendo o incremento em “Z” com um ângulo de 45° na mesma direção. Na Figura 2.b, observa-se a trajetória do punção e, na Figura 3, as peças formadas nos ensaios #4 e #2, respectivamente.

Tabela 1 – Parâmetros utilizados na simulação.

Parâmetros analisados		Número do teste
Incremento (p)	Diâmetro do Punção (d)	
2,0mm / passo	30mm	#1
1,0mm / passo	30mm	#2
2,5mm / passo	30mm	#3
2,0mm / passo	20mm	#4
1,0mm / passo	20mm	#5
2,5mm / passo	20mm	#6

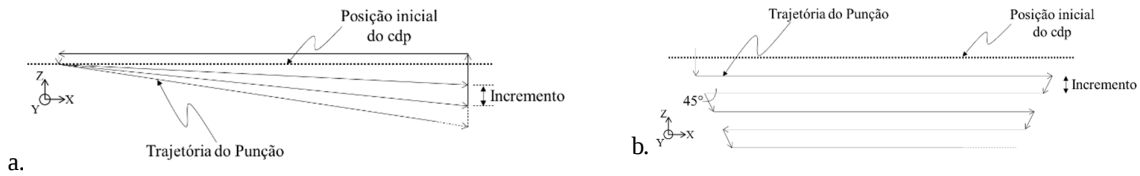


Figura 2 – Trajetória do punção.

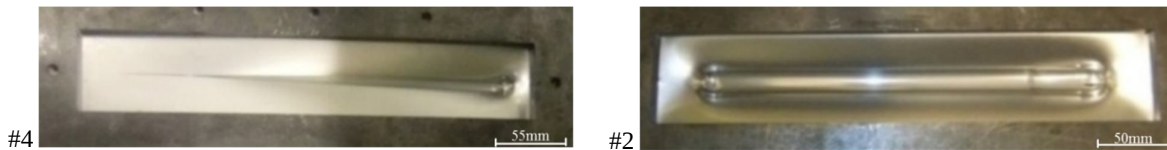


Figura 3 - Peças conformadas.

Os ensaios foram interrompidos quando ocorreu a ruptura/rasgo no material. Em todos os ensaios foi possível perceber que esta ruptura ocorreu sempre nas extremidades da peça, no local onde ocorre o incremento em “Z”.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

Conforme experimentos realizados, observa-se, na Figura 4, o comportamento que o material possui, quando é aplicado o incremento na peça, ou quando uma peça apresenta uma descontinuidade, como a presença de um canto ou raio a ser estampado. A Figura 4 mostra que na região “2” não há a presença de deformação verdadeira menor (ϕ_2) na peça. Entretanto, na região “1”, observa-se a ocorrência de ϕ_2 , e, com isso, as fraturas aconteceram nessa região.

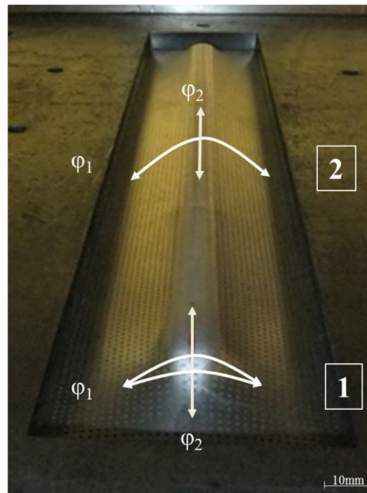


Figura 4 – Comportamento das deformações do material na estampagem incremental.

Conforme Bambach 2007 descreveu em seu trabalho, a curva limite de deformação para o processo assimétrico de estampagem incremental deste trabalho, também foi construída a partir das deformações existentes nas redondezas das

fraturas ocorridas durante os ensaios. Estes pontos delimitam o quanto a chapa pode ser deformada. Os limites de deformação foram estimados a partir dessas regiões, sendo que nelas ocorreram as maiores deformações nas amostras.

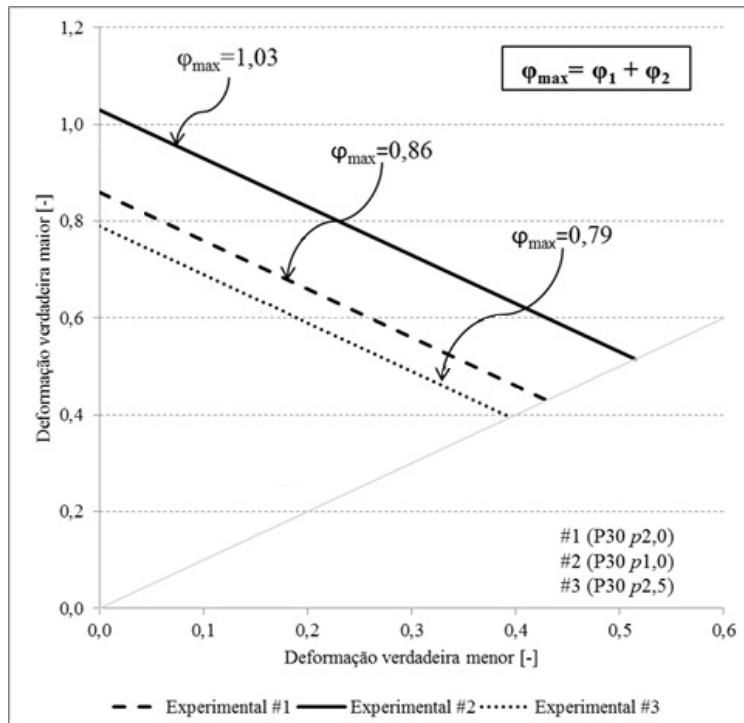


Figura 5 – Curvas Limite de Conformação estimadas para os testes com o punção de 30mm de diâmetro.

Conforme mostrado, a ruptura no material aplicado ao processo de estampagem incremental ocorrerá nos pontos da chapa que apresentarem deformação verdadeira menor. O limite de deformação imposto pelo processo é dependente de apenas de ϕ_1 , quando $\phi_2=0$, pois toda deformação verdadeira maior será compensada na espessura. Assim, consegue-se estimar as máximas deformações no material quando aplicado à estampagem incremental. Dentre os resultados encontrados, as maiores deformações ($\phi_{\max}$) ocorreram quando foram aplicados os menores incrementos e utilizou-se o punção com diâmetro de 30mm. Estes parâmetros do processo aplicaram deformações mais suaves ao material (incremento) e conseguiram distribuir melhor as deformações nas regiões dos incrementos (diâmetro do punção).

4. CONCLUSÃO

Com relação aos ensaios de estampagem incremental em linha reta, conclui-se que, para o material estudado:

- as máximas deformações ($\phi_{\max}=\phi_1+\phi_2$) são dependentes da estratégia incremental, como o incremento aplicado por ciclo e o diâmetro do punção;
- o punção com diâmetro de 30mm impõe ao material as maiores deformações se comparado ao punção com 20mm de diâmetro, devido à área maior de contato com o material;
- os testes com incremento de 1mm alcançaram as maiores deformações máximas no material, devido à suavidade das deformações impostas ao material em relação aos outros incrementos e independente do diâmetro do punção utilizado.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM) da UFRGS e ao *Institut für Bildsame Formgebung* (IBF) da *Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule* – RWTH, Aachen pela disponibilidade de excelentes equipamentos, cruciais ao desenvolvimento de experimentos de ponta.

6. REFERÊNCIAS

- Bambach, M. Process Strategies and Modelling Approaches for Asymmetric Incremental Sheet Forming. Tese de Doutorado. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule – Aachen – DE. Band 139. 2007.
- Dejardina, S.; Thibaudb, S.; Gelina, J.C.; Michela, G. Experimental investigations and numerical analysis for improving knowledge of incremental sheet forming process for sheet metal parts. *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 210. Pg. 363–369. 2010.
- José Ilídio Velosa de Sena. Estampagem incremental: Um novo conceito de produção. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro. Portugal. 2009.
- Schaeffer, L. Conformação de Chapas Metálicas. Porto Alegre/RS: Imprensa Livre, 200p. 2004.

Yamashita, M.; Gotoh, M.; Shin-Ya Atsumi. Numerical simulation of incremental forming of sheet metal. Journal of Materials Processing Technology. Vol. 199. Pg. 163–172. 2008.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

Forming Limit Curve in Straight Line Incremental Sheet Forming

C. C. Yurgel, chemale@fieb.org.br¹

F. A. Lora, fabio.lora@pro.ucs.br²

L. Schaffer, schaefer@ufrgs.br³

¹Centro Universitário SENAI CIMATEC – Avenida Orlando Gomes, 1845, bairro Piatã, Salvador, Bahia

²Universidade Católica do Salvador – Av. Prof. Pinto de Aguiar, 2589 - Pituaçu, Bahia

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Av. Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43807 - Centro de Tecnologia, Bairro Agronomia, Porto Alegre, RS.

Abstract. *The purpose of these instructions is to serve as a guide for formatting papers to be published in the Proceedings of the X CONEM In the last decades, the stamping area has improved its knowledge both in terms of used materials as well as in flexibility and cost reduction process. New stamping processes have been studied, among them, the incremental stamping. This process is basically focused on producing small batches of parts, rapid prototyping and great process flexibility, with reduced operational cost. This work was carried out to evaluate the process in relation to different incremental strategies and to the maximum deformations applied in the forming limit curve. The results showed that the forming limit curves depend on the process strategies, reaching a maximum main deformation of 1.03.*

Keywords: *incremental stamping, straight line, forming limit curve.*