

UILIAN BOFF - uilian.boff@ufrgs.br  
 GIANPAULO ALVES MEDEIROS - gianpaulo.medeiros@ufrgs.br  
 TIAGO DE SÁ GÔMES - tiago.gomes@ufrgs.br  
 LÍRIO SCHAEFFER - schaefer@ufrgs.br



## Estampagem incremental: Método alternativo para fabricação de protótipos e pequenos lotes de peças

O processo de estampagem incremental (ISF - Incremental Sheet Forming) demonstra ser de grande potencial quando se pretende produzir peças complexas, reduzindo o tempo e os custos de produção para pequenos lotes de peças. Trata-se de uma tecnologia alternativa e economicamente competitiva, podendo ser facilmente adaptado a uma máquina CNC. Os principais ganhos em relação a um processo convencional são a possibilidade de obter maiores deformações, eliminar a necessidade de molde/matriz e ampliar o portfólio de produtos das empresas que já possuem máquina CNC.

Para um processo de estampagem convencional, são necessários ferramentas e componentes específicos para o processo, acarretando no aumento do prazo para a entrega do produto final. A estampagem incremental é uma tecnologia inovadora na conformação de chapas, onde uma chapa é plasticamente deformada pela ação progressiva de uma ferramenta, cujo movimento é regido por uma máquina CNC<sup>1</sup>. O processo normalmente é utilizado para a prototipagem ou a produção de pequenos lotes, podendo ser encontrado em diversas aplicações, como na indústria automobilística, aeroespacial e na área biomédica.

O processo utiliza ferramentas extremamente simples acopladas a uma máquina CNC, onde a chapa é plasticamente deformada, impondo a ferramenta uma trajetória controlada através de um computador. Desta forma, não se faz necessário o uso de matrizes e o formato final da peça só depende da trajetória atribuída à ferramenta, determinada pela soma das deformações locais induzidas pela ferramenta ao longo do seu caminho.

Tais considerações básicas explicam que o processo de estampagem incremental permite uma redução relevante dos custos relacionados a fabricação e ao *set-up*<sup>2</sup>, bem como possibilita atingir um nível muito elevado de flexibilidade do processo.

A vantagem em relação a processos tradicionais é que trata-se de uma técnica rápida na produção de protótipos devido a flexibilidade e moldabilidade do mate-

rial. A desvantagem é a precisão dimensional e o tempo gasto para realizar o processo, que é notavelmente mais elevado em um processo tradicional de estampagem. Assim, o processo só é viável para pequenos lotes. A figura 1 mostra uma peça sendo produzida por estampagem incremental.

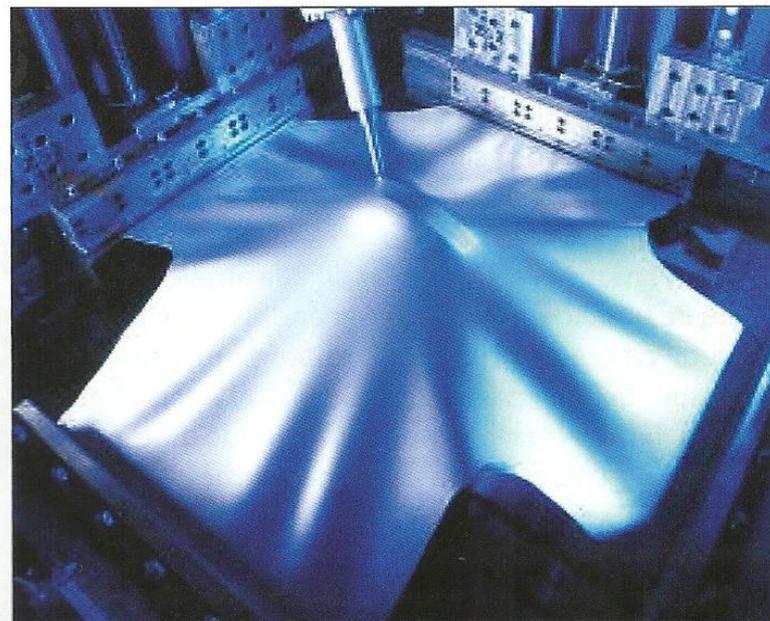


Figura1 - Estampagem incremental. Fonte: Institute of Metal Forming - IBF

<sup>1</sup>CNC: do inglês Computer Numerical Control, que significa comando numérico computadorizado.

<sup>2</sup>Set-up: tempo de preparação. São as tarefas necessárias e relativas às atividades de preparação de um equipamento, desde o momento em que se tenha completado a última peça boa do lote anterior até o momento em que se tenha feito a primeira peça boa do lote posterior.

## DEFINIÇÃO DO PROCESSO

O processo de estampagem incremental ocorre a temperatura ambiente, sendo necessário um centro de usinagem (CNC), uma estrutura simples que permita fixar a chapa e uma ferramenta de ponta esférica. O processo pode ser classificado em duas categorias: com e sem matriz, tendo cada uma delas, duas variações, isto é, negativa e positiva. Tais configurações são mostradas na figura 2.

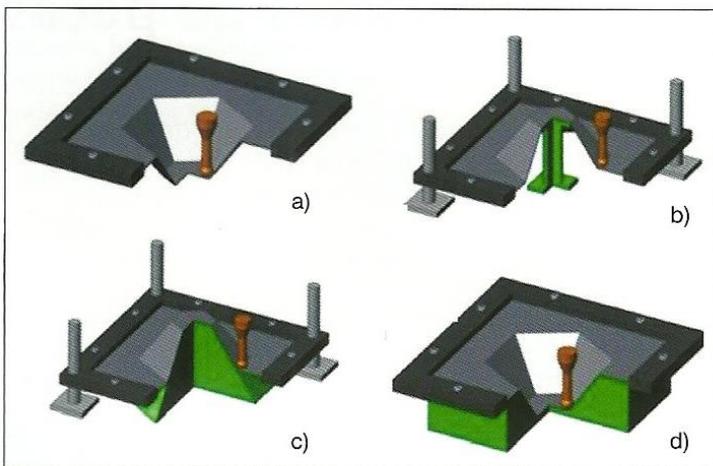


Figura 2 - Variações do processo de estampagem incremental: a) estampagem incremental de ponto (negativa); b) estampagem incremental de ponto duplo (positiva); c) estampagem incremental com apoio inferior positivo; d) estampagem incremental com apoio inferior negativo. Adaptada de Allwood et al, (2010)

O processo é dividido em duas etapas, que dependem do número de pontos de contatos entre a chapa, ferramenta e matriz. Assim, tem-se a (SPIF - *Single Point Incremental Forming*), sigla inglesa para estampagem incremental de ponto simples e (TPIF - *Two Points Incremental Forming*), estampagem incremental de ponto duplo.

Como regra geral, a chapa é fixada através de um suporte de fixação enquanto um mandril rotativo se aproxima da chapa deformando-a no formato requerido. A espessura final da parede é determinada pela distância entre a ferramenta e do mandril, sendo que normalmente quem determina a peça final é o molde.

### Principais características

A estampagem incremental é um processo flexível, no qual uma chapa de metal é conformada por uma progressão de deformação localizada. É flexível porque não é necessário o uso de ferramentas especiais. Uma ferramenta simples se move sobre a superfície da chapa de tal modo que uma deformação plástica altamente localizada é gerada, permitindo assim que uma vasta gama de formas 3D<sup>3</sup> possa ser conformada através de

uma ferramenta ao longo de um caminho corretamente projetado.

O principal objetivo desta técnica é a possibilidade de conformar chapas de metal sem a necessidade de fabricar ferramentas especiais de estampagem. Isto é particularmente vantajoso para um pequeno lote de peças ou produtos personalizados. Além disso, a estampagem incremental tem mostrado que os limites de deformação são maiores se comparados a um processo convencional de estampagem (Jackson e Allwood, 2009).

No processo de estampagem incremental, uma simples ferramenta impõe uma deformação plástica local sobre a chapa de forma consecutiva. Um exemplo disso é mostrado na figura 3. A ferramenta move-se na horizontal, bem como na vertical, moldando a chapa de acordo com a trajetória previamente programada para a ferramenta.



Figura 3 - Estampagem incremental de uma chapa por uma máquina CNC. Fonte: Kim e Park, (2002)

De acordo com Park e Kim, (2003), quando é pretendido deformar um cone triangular, por exemplo, o movimento da ferramenta ocorre da seguinte forma: primeiro, a ferramenta empurra a chapa por uma direção vertical, movendo-se ao longo do triângulo; em segundo, a ferramenta se move levemente em direção ao interior do triângulo, movendo-se ao longo de um triângulo menor, e assim sucessivamente até chegar ao topo do triângulo, conforme mostrado na figura 4.

### Máquinas e ferramentas

O processo é realizado através de uma máquina CNC

<sup>3</sup>3D: resulta de abreviação da denominação três dimensões. Também é linguagem coloquial no setor ferramenteiro para denominar a representação gráfica eletrônica (modelamento) de uma peça em três dimensões.

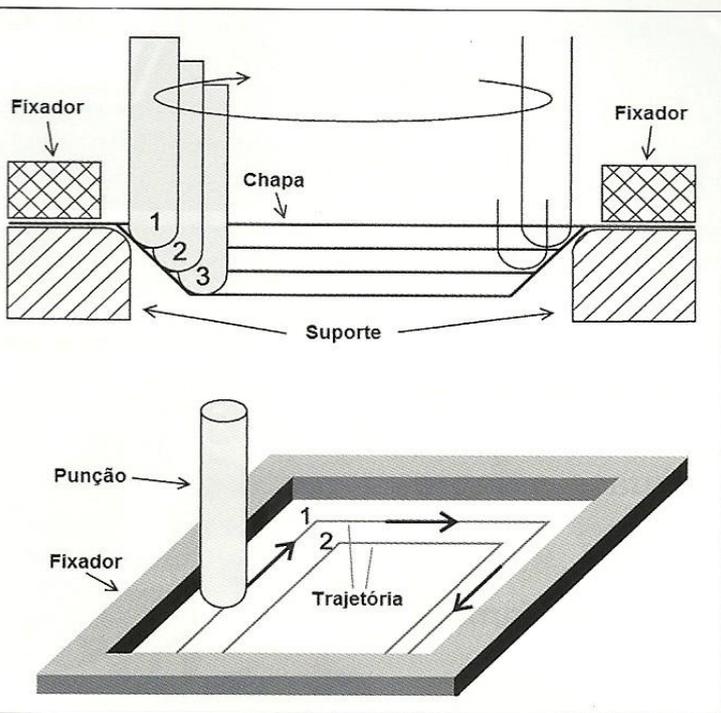


Figura 4 - Princípio do processo de estampagem incremental de ponto simples para um corpo assimétrico. Fonte: Iseki et al, (1989)

com o apoio de computadores CAD<sup>4</sup>/CAM<sup>5</sup>. Atualmente, com o crescimento desta técnica, existem máquinas específicas para o processo. A ferramenta é guiada por um programa de computador, que define a trajetória ao longo do qual a ferramenta deve se mover. Essa trajetória é definida diretamente a partir de um modelo feito em CAD.

Uma vez que o processo não foi ainda exaustivamente testado, os primeiros testes são feitos apenas com materiais macios e só depois testados em materiais com propriedades mecânicas mais elevadas.

A mecânica deste processo depende da máquina-ferramenta, que tem de suportar as cargas utilizadas para conformar a chapa. A figura 5 ilustra um equipa-



Figura 5 - Equipamento CNC adaptado para o processo de estampagem incremental. Fonte: Fritzen et. al, (2011)

mento CNC adaptado para um processo de estampagem incremental em chapas de latão 70/30. Estes estudos demonstram bom comportamento de chapas em latão, ligas de titânio e alumínio de 0,5 mm de espessura (Fritzen et. al, 2011).

**CONCLUSÃO**

A implementação do processo tecnológico de estampagem incremental de chapas de metal destina-se a produção de pequenos lotes, encurtando o tempo de produção principalmente quando se trata de protótipos. O processo é realizado através de uma máquina CNC com a ajuda do sistema CAD/CAM, permitindo a obtenção de peças nas mais variadas formas. Isso ocorre depois de definir uma trajetória e a ferramenta de forma a atingir o objetivo final, a peça.

Além disso, a estampagem incremental permite obter maiores deformações se comparado a um processo de estampagem convencional.

O processo possibilita ainda que empresas que dispõem de máquinas CNC possam adaptar facilmente suas máquinas de forma a produzirem pequenos lotes de peças, o que poderia ser inviável por um processo de estampagem convencional.

**AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento das bolsas, à Escola de Engenharia da UFRGS e ao Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM) pelo uso de sua estrutura. Aos professores Alexandre Rocha e Gilmar Batalha e aos engenheiros Fábio Andre Lora, Alberto Moreira Brito e Luiz Folle.

**MATERIAL DE CONSULTA**

[1] Allwood, J. M.; Bramley, A. N.; Ridgman, T. W.; Mileham, A. R. *A novel method for the rapid production of inexpensive dies and moulds with surfaces made by incremental sheet forming*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B- Journal of Engineering Manufacture, 220(2), 2006. p.323-327.

[2] Allwood, J. M.; Braun, D.; Music, O. *The effect of partially cut-out blanks on geometric accuracy in incremental sheet Forming*. Journal of Materials Processing Technology 210(2010). p.1501-1510.

<sup>4</sup>CAD: do inglês Computer Aided Design, significa projeto assistido por computador.

<sup>5</sup>CAM: do inglês Computer Aided Manufacturing, significa fabricação assistida por computador.

[3] Castelan, J.; Schaeffer, L.; Daleffe, A. *Desenvolvimento de produtos personalizados através de estampagem incremental para aplicação na medicina ortopédica*. Revista Ferramental, 2009. p.15-22.

[4] Emmens, W. C.; Sebastiani, G.; Boogard, van den A. H. *The technology of incremental sheet forming - A brief review of the history*. Journal of Materials Processing Technology 210 (2010). p.981-997.

Fritzen, D.; Schaeffer, L.; Daleffe, A.; Castelan, J. *Estudo do processo de estampagem incremental em chapa de latão 70/30*. In: Anais da 1ª Conferência internacional de Conformação de Chapas. Porto Alegre/RS, 2011. p.303-320.

[5] Institute of Metal Forming - IBF. [www.ibf.rwth-aachen.de](http://www.ibf.rwth-aachen.de). Acessado em 03 de abril de 2012.

[6] Iseki, H.; Kato, K.; Sakamoto, S. *Flexible and incre-*

*mental sheet metal forming using a spherical roller*. In: Proc. 40th JJCTP, 1989. p. 41 - 44.

[7] Jackson, K.; Allwood, J. *The mechanics of incremental sheet forming*. Journal of materials processing technology 209 (2009). p.1158-1174.

[8] Kim, Y. H.; Park, J. J. *Effect of process parameters on formability in incremental forming of sheet metal*. Journal of Materials Processing Technology 130-131 (2002).p. 42-46.

[9] Kopac, J.; Kampus, Z.; *Incremental sheet metal forming on CNC milling machine-tool*. Journal of Materials Processing Technology 162-163 (2005). p. 622-628.

[10] Park, J. J.; Kim, Y. H. *Fundamental studies on the incremental sheet metal forming technique*. Journal of Materials Processing Technology 140 (2003). p. 447-453.

Uilian Boff - Engenheiro Mecânico pela Universidade Luterana do Brasil.

Gianpaulo Alves Medeiros - Engenheiro de Materiais. Mestrando em engenharia na área de processos de fabricação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Tiago de Sá Gomes - Engenheiro de Materiais pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Lírio Schaeffer - Engenheiro Mecânico e Mestre em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Doutor na área de Conformação Mecânica pela Universidade Técnica de Aachen na Alemanha (Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule - RWTH). Coordenador do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM) do Centro de Tecnologia da Escola de Engenharia da UFRGS. Pesquisador na área de Mecânica, Metalurgia e Materiais do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), professor das disciplinas relacionadas aos processos de fabricação por conformação mecânica e vinculado ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Minas e Energia (PPGEM) da UFRGS. Consultor *ad-hoc* da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul, na Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Autor de vários livros sobre conformação mecânica.

## Sistemas de Câmara Quente Tecnoserv

### Soluções completas para seu molde

A TECNOSERV é reconhecida como um fornecedor de soluções para moldes e agora com sistemas de câmara quente MASTIP.

- Sistemas valvulados;
- Plásticos de engenharia;
- Hot Half;
- Três anos de garantia;
- Amplo estoque de bicos, ponteiros e peças de reposição;
- Tomadas elétricas;
- Controladores de temperatura.



4057-3977



[www.tecnoserv-moldes.com.br](http://www.tecnoserv-moldes.com.br)



[tecnoserv@tecnoserv-moldes.com.br](mailto:tecnoserv@tecnoserv-moldes.com.br)