

Processo

Estampagem incremental é opção para pequenos lotes de peças

O processo de estampagem incremental tem mostrado grande potencial para a produção de peças a partir de chapas metálicas. A técnica proporciona a redução dos custos e do tempo de processamento quando se pretende produzir pequenos lotes, protótipos e peças customizadas. Facilmente adaptável a centros de usinagem CNC, o processo emprega diferentes configurações de ferramental para executar conformação negativa ou positiva. Essa versatilidade permite a obtenção de peças com alta complexidade geométrica, além de possibilitar que empresas que já possuem máquinas de usinagem aumentem seu portfólio de produtos. Em contrapartida, quando se trabalha com conformação por incrementos, o tempo de fabricação é maior.

G. A. Medeiros, T. de S. Gomes, U. Boff e L. Schaeffer

Para a produção de uma peça em um processo de estampagem convencional, é necessário o uso de matrizes com grande rigidez feitas em aço-ferramenta. O ferramental é montado em uma prensa, sofrendo somente pequenas alterações para a liberação do processo. Praticamente todo o desenvolvimento é feito na fase de projeto, sem qualquer teste preliminar.

Na estampagem incremental (ou ISF, sigla do inglês *Incremental Sheet Forming*), nem sempre é necessário o uso de matrizes para a produção de uma peça e, quando necessário, o ferramental pode ser feito em materiais sem grande rigidez, como polímeros, madeira, alumínio e aço convencional⁽¹⁾. Isso se deve ao fato de que a chapa é plasticamente deformada pela ação progressiva de uma ferramenta cujo movimento é regido por um CNC, de forma análoga ao fresamento tangencial. O processo consiste no uso de ferramentas extremamente simples acopladas a uma máquina

CNC, na qual a chapa é plasticamente deformada pela imposição de uma trajetória controlada para a ferramenta. Dessa forma, não é necessário o uso de matrizes e o formato final da peça depende apenas da trajetória atribuída à ferramenta. A geometria final é determinada pela soma das deformações locais induzidas pela ferramenta ao longo do seu caminho.

Essas considerações mostram que o processo de estampagem incremental proporciona uma redução relevante dos custos relacionados à fabricação e ao *set up*, assim como permite atingir um nível

Gianpaulo Alves Medeiros e Tiago de Sá Gomes são doutorandos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e pesquisador do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM) da instituição, em Porto Alegre, RS. Uilian Boff é mestrando pelo mesmo programa. Lírio Schaeffer é coordenador do LdTM. Publicação autorizada pelos autores.

muito elevado de flexibilidade do processo. A vantagem em relação aos processos tradicionais é que trata-se de uma técnica rápida na produção de protótipos, com aplicações em segmentos como as indústrias automobilística, aeroespacial e biomédica⁽²⁾.

As desvantagens estão na menor precisão dimensional em relação ao processo convencional e a inviabilidade econômica para grandes lotes de peças. Além disso, o conhecimento nesta área é pouco difundido no Brasil, um fator limitante para sua aplicação industrial. A figura 1 mostra uma peça sendo produzida por estampagem incremental em uma máquina de cinco eixos⁽³⁾.

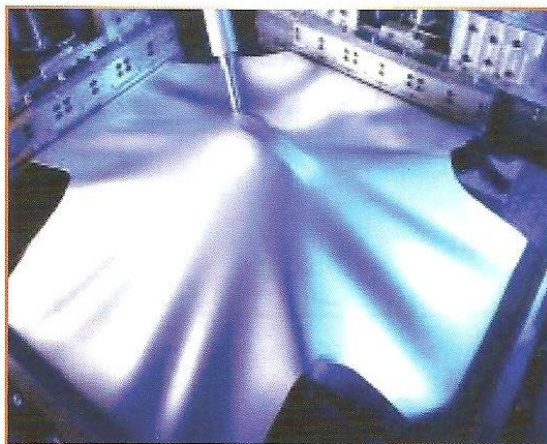


Fig. 1 – Estampagem incremental⁽³⁾

Características do processo

O processo de estampagem incremental ocorre em temperatura ambiente, sendo necessário um centro de usinagem (com comando 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: negativa e positiva. Tais configurações são mostradas na figura 2 (pág. 92).

O processo é dividido, de acordo com o número de pontos de contato entre chapa, ferramenta e matriz, nas modalidades SPIF (sigla do inglês *Single Point Incremental Forming*, estampagem incremental de ponto simples) e TPIF (*Two Points Incremental Forming*, estampagem incremental de ponto duplo). Como regra geral, a chapa é fixada por um suporte enquanto um mandril

O SEU
PARCEIRO
GLOBAL
NO MERCADO
DE AÇO
INOXIDÁVEL
E AÇOS
ESPECIAIS
DESDE 1924

FITAS,
LÂMINAS
DELGADAS E
ARAMES,
LAMINADOS
DE PRECISÃO
SOB
ENCOMENDA

TOLERÂNCIAS
MAIS
APERTADAS
QUE OS
PADRÕES
INDUSTRIAIS

13 PLANTAS
AO REDOR DO
MUNDO



O SEU FORNECEDOR PARA AÇOS
INOXIDÁVEIS E METAIS ESPECIAIS

ULBRICH STAINLESS STEELS & SPECIAL METALS, INC.
BRAZIL@ULBRICH.COM
00 +1 2032394481

WWW.ULBRICH.COM/BRAZIL

Processo

rotativo se aproxima do material, deformando-o no formato requerido. A espessura final da parede é determinada pela distância entre a ferramenta e o mandril, sendo que, normalmente, o que determina a geometria final é o molde⁽⁴⁾.

A estampagem incremental é um processo flexível no qual uma chapa de metal é conformada por uma progressão de deformação. É flexível porque não é necessário o uso de ferramentas específicas de estampagem. Uma ferramenta simples se move sobre a superfície da chapa de tal modo que uma deformação plástica altamente localizada é gerada. Assim, uma vasta gama de formas geométricas pode ser conformada. A possibilidade de conformar chapas de metal sem a necessidade de fabricar ferramentas especiais torna a técnica altamente vantajosa para peque-

nos lotes de peças ou produtos personalizados. Além disso, a estampagem incremental tem atingido limites de deformação maiores que os de um processo convencional de estampagem⁽⁵⁾.

No processo de estampagem incremental, uma ferramenta de ponta esférica simples impõe uma deformação plástica local sobre a chapa de forma consecutiva. Um exemplo é mostrado na figura 3 (pág.93)⁽⁶⁾. A ferramenta move-se nos sentidos horizontal e vertical, moldando a chapa de

acordo com a trajetória programada.

De acordo com Park e Kim⁽⁷⁾, quando se pretende deformar um cone triangular, por exemplo, o movimento ocorre da seguinte forma: primeiro, a ferramenta empurra a chapa em uma direção vertical, movendo-se ao longo do triângulo; em seguida, a ferramenta se desloca levemente em direção ao interior do triângulo, movendo-se ao longo de um triângulo menor e assim sucessivamente até chegar ao topo do

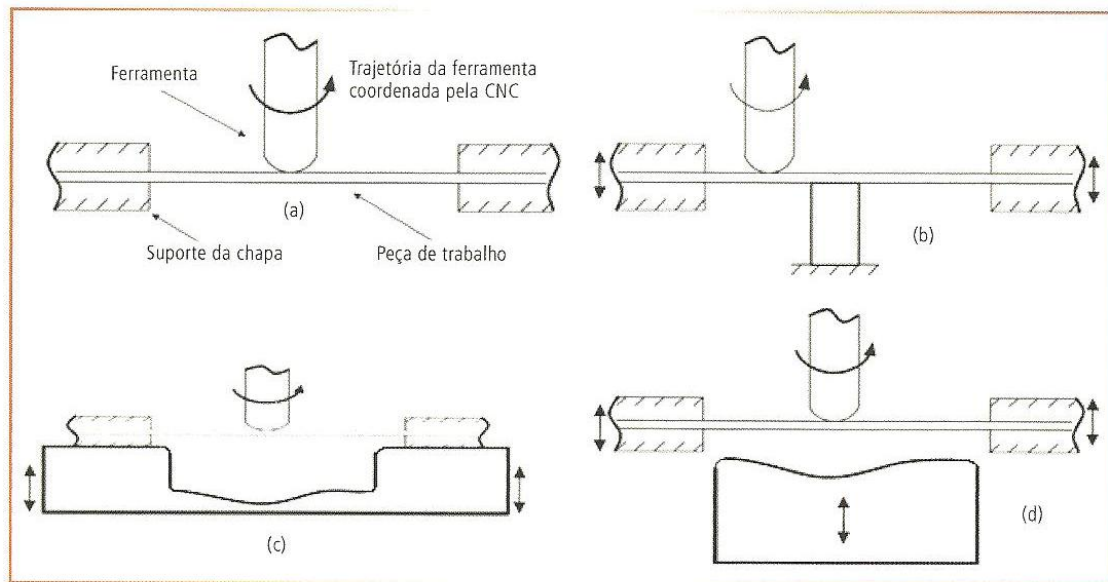


Fig. 2 – Variações do processo de estampagem incremental: a) estampagem incremental de ponto (negativa); b) estampagem incremental de ponto duplo (positiva); c) estampagem incremental com apoio inferior positivo; d) estampagem incremental com apoio inferior negativo⁽⁴⁾.

GRANDE EFICIÊNCIA E ECONOMIA GARANTIDA

LANÇAMENTO!
DISPONÍVEL EM
NOSSO SHOW ROOM.



muratec

Murata do Brasil Comércio e
Representações de Máquinas Ltda.

Tel.: 11 4648-6222 - Fax: 11 4648-6737

muratec@muratec.com.br - www.muratec.net

Sua **garantia** é
a **tecnologia**
em soldas industriais

boxer
TECNOLOGIA EM SOLDAS

AMIG
500 PM



Visite nosso
site e conheça
nossa nova
linha:

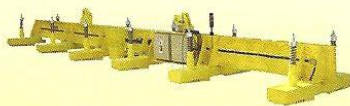


boxersoldas.com.br
Fone/Fax: +55 19 3469.3004

Levantamento Magnético de Chapas
Sem patolas — Sem cintas ou cabos
Excelente nível de segurança

Desde 1957

Chapas longas



Peças ou chapas
grossas



Chapas finas

- Modelos com ímãs permanentes ou eletropermanentes, que não soltam a carga com falta de energia
- Alto coeficiente de segurança
- Equipamento fabricado no Brasil



Metalmag Produtos
Magnéticos Ltda.
Vendas: (11) 5523-8400
vendas@metalmag.com.br
www.metalmag.com.br

Processo

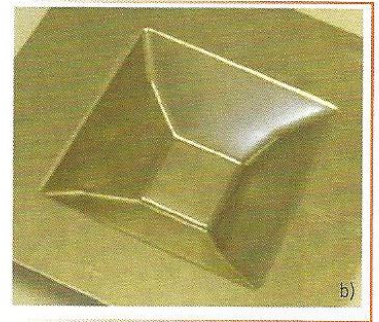
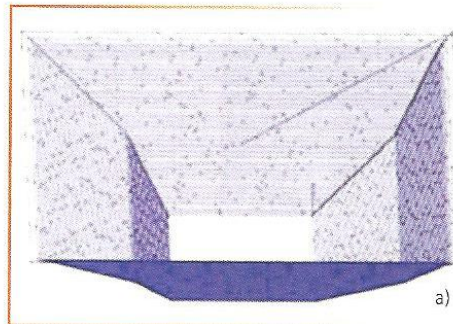


Fig. 5 – a) Trajetória desenvolvida por CAM; b) peça conformada por estampagem incremental⁽¹⁾

to da geratriz inicial (blanque), o retorno elástico e a espessura final da peça. A figura 6 mostra a determinação da espessura final da chapa e a previsão do retorno elástico por meio da simulação numérica. Existem alguns programas comerciais que realizam a simulação da conformação de chapas, como LS-Dyna e Stampack, por exemplo. Normalmente, a exatidão dos resultados fica em torno de 98%, índice satisfatório quando aplicados a processos industriais⁽¹⁾.

Após o desenvolvimento do processo assistido por ferramentas CAD/CAM/CAE, testes preliminares podem ser feitos com o uso de chapas de materiais macios, como alumínio e latão⁽⁹⁾. Uma vez atingido um nível satisfatório de confiabilidade do processo de conformação, podem ser usados materiais com propriedades mecânicas superiores, como aços-liga. Entretanto,

deve-se ressaltar que a mecânica envolvida no processo de conformação depende da máquina-ferramenta, que deve suportar as cargas utilizadas para conformar a chapa.

A figura 7 (pág. 95) ilustra um equipamento de usinagem CNC adaptado para um processo de estampagem incremental em chapas de latão 70/30⁽⁹⁾.

Conclusão

A implementação do processo de estampagem incremental de chapas de metal está voltada para a produção de pequenos lotes, encurtando o tempo de produção, principalmente quando se trata de protótipos. O processo é realizado por uma máquina CNC com a ajuda de sistemas CAD/CAM/CAE, permitindo a obtenção de peças nas mais variadas formas. Isso ocorre após a definição de uma trajetória para

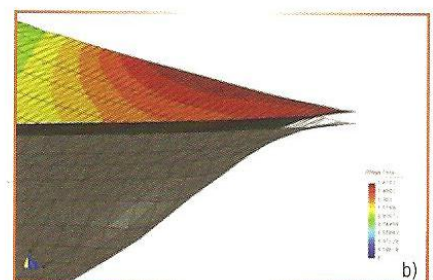
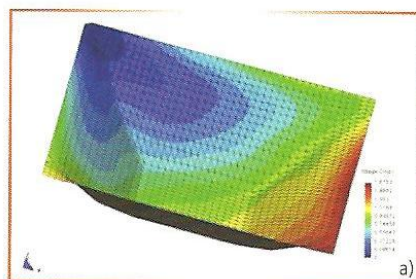


Fig. 6 – Simulação numérica do processo: a) corte do excesso da chapa; b) retorno elástico da peça após finalizar o processo. Adaptada de Frutos et al.⁽¹⁾



Fig. 7 – Equipamento CNC adaptado para o processo de estampagem incremental⁽⁹⁾

a ferramenta. A estampagem incremental permite a obtenção de maiores deformações em comparação com um processo de estampagem convencional. Esse processo também permite que empresas que dispõem de máquinas de usinagem CNC possam adaptá-las facilmente de forma a produzirem pequenos lotes de peças, o que seria inviável em processos de estampagem convencional.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento

Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento das bolsas de estudos, à Escola de Engenharia da UFRGS e ao Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM) pelo uso de sua estrutura. Aos professores Alexandre Rocha, Gerhard Hirt e Gilmar Batalha e aos engenheiros Fabio Andre Lora, Alberto Moreira Brito e Luiz Folle.

Referências

- 1) FRUITOS, O.; MAYMÓ, A.; FERRIZ A. *Flexform Project: Incremental Sheet Forming – an updated view. Integration of CAD, CAM and CAE technologies*. CIMNE (International Centre for Numerical Methods in Engineering) Metal Forming Area. Disponível em: <<http://www.flexform.org/publicacio03.pdf>>. Acessado em 15 de abril de 2012.
- 2) GRONOSTAJSKI, J.; MATUSZAK, A.; NIECHAJOWICZ, A.; ZIMNIAK, Z. The system for sheet metal forming design of complex parts. *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 157-158, 2004; p. 502-507.
- 3) Institute of Metal Forming – IBF. <www.ibf.rwth-aachen.de>. Acessado em 03 de abril de 2012.
- 4) 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.
- 5) JACKSON, K.; ALLWOOD, J. The mechanics of incremental sheet forming. *Journal of materials processing technology*, 209, 2009; p.1158-1174.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) ISEKI, H.; KATO, K.; SAKAMOTO, S. Flexible and incremental sheet metal forming using a spherical roller. In: *Proc. 40th JJCTP*, 1989; p. 41-44.
- 9) 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.



SISTEMAS ROBÓTICAS PARA SOLDA POR ARCO

igm Robotersysteme, fornecedora de confiança de sistemas robóticos de solda, com foco na indústria de construção pesada. 45 anos de experiência e ampla rede mundial de vendas e serviços são provas de nossa eficiência. Nossa subsidiária em Campinas oferece apoio e atendimento imediato para os clientes no Brasil.

igm Robotica Ltda.,
Rua Pierre Simon de Laplace 830,
Bl. II, Technopark, Campinas-SP
T +55-19-4062-8876
www.igmrobotica.com.br

igm

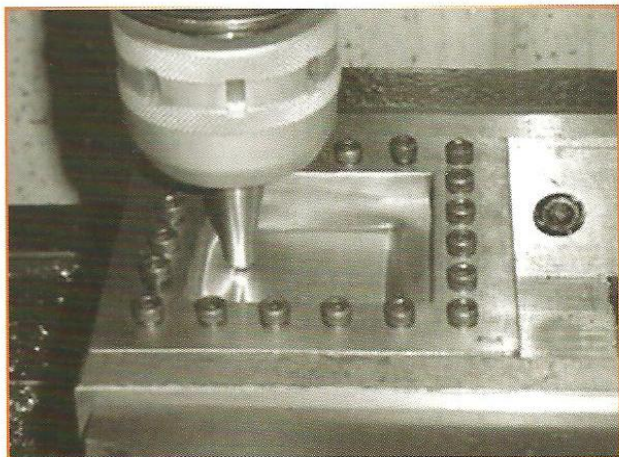


Fig. 3 – Estampagem incremental de uma chapa por uma máquina CNC⁽⁶⁾

triângulo, conforme mostrado na figura 4.

Aspectos básicos do desenvolvimento de projetos para ISF

O desenvolvimento de projetos para estampagem incremental pode ser feito com o apoio de sistemas de projeto, manufatura e engenharia assistidos por computador (CAD/CAM/CAE). Com o modelo da peça em CAD

é possível simular a trajetória da ferramenta durante o processo de conformação. Por meio do modelo gerado pelo software CAM podem ser analisados os parâmetros de fabricação, similarmente à usinagem. Entretanto, as velocidades e a profundidade são bem menores. Existem vários programas que permitem a simulação CAM do processo disponíveis no mercado, como PowerMILL, Cimatron e Edgecam, entre outros. A figura 5

(pág. 94) mostra a trajetória de uma peça desenvolvida por meio de softwares CAD/CAM.

A simulação numérica computacional (CAE) pode ser aplicada, integrando o desenvolvimento CAD/CAM. A trajetória da ferramenta desenvolvida no CAM pode ser validada e alguns fatores de processo podem ser determinados a partir do resultado da simulação numérica, sendo estes a reprodução da superfície da matriz na chapa, o tamanho exa-

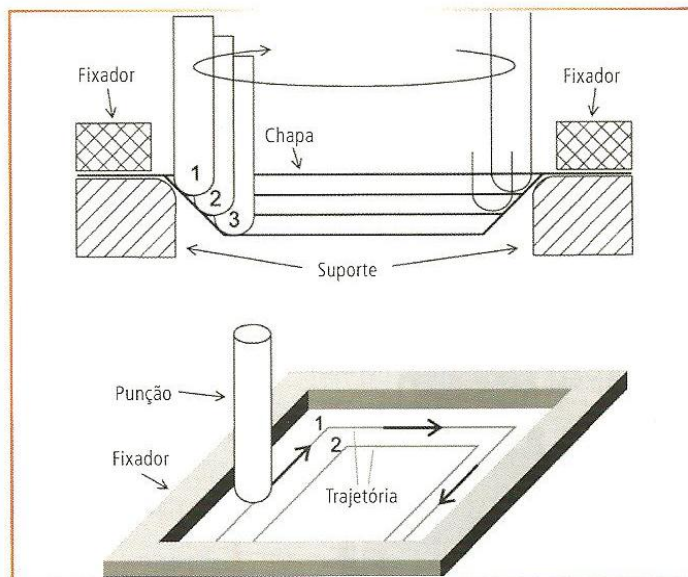
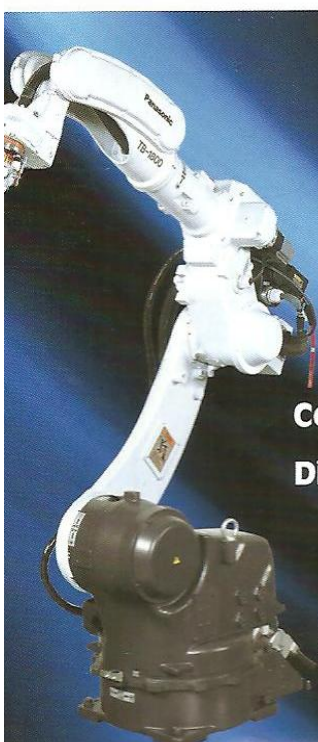


Fig. 4 – Princípio do processo de estampagem incremental de ponto simples para um corpo assimétrico⁽⁸⁾



Tecnologia a serviço da produtividade

Mais do que equipamentos, a Powermig oferece precisão e agilidade à sua linha de produção

Células Robotizadas de Solda
Dispositivos de Solda

Panasonic
ideas for life

POWERMIG

Rua Rosalimbo Antônio Guerra, 1.900 | CEP 95032-471

Caxias do Sul/RS | Brasil | Fone + 55 54 3022.5050

contato@powermig.com.br | automacao@powermig.com.br

www.powermig.com.br