



Análise experimental do comportamento mecânico de folhas de Flandres submetidas ao processo de estampagem incremental de ponto simples

Ramos, V. G. P.¹; Santos, R. O.^{1,2}; Andrade, L. A.¹; da Silva, L.³

¹ Departamento de Engenharia Mecânica de Volta Redonda, ² Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, ³ Departamento de Física do Instituto de Ciências Exatas (ICEx) da UFF.

Palavras-chave: conformação incremental; SPIF; folha de flandres.

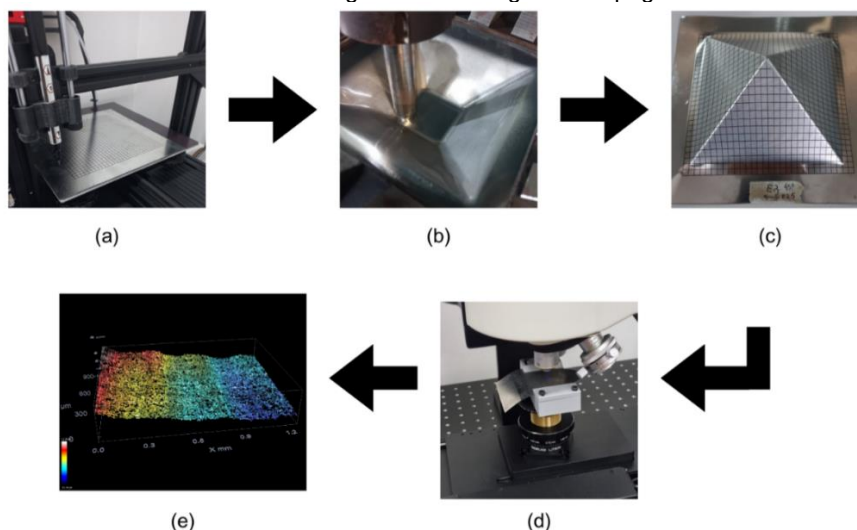
INTRODUÇÃO

O processo de estampagem incremental de ponto simples, também conhecido como SPIF, do inglês *Single Point Incremental Forming*, é uma alternativa à estampagem convencional no que se refere a confecção de peças de prototipagem e com elevado nível de customização. No SPIF, a chapa metálica é conformada progressivamente por uma ferramenta de ponta hemisférica, eliminando a necessidade de matrizes específicas, tornando o processo de prototipagem mais barato. O SPIF é aplicado principalmente a chapas finas de materiais com elevada ductilidade e baixo limite de escoamento, como ligas de alumínio, por apresentarem menor força de conformação em comparação aos aços¹. Além disso, o SPIF suporta maiores deformações sem apresentar estricção^{2,3,4}. Nesse estudo o SPIF foi aplicado a folhas de Flandres, amplamente utilizadas na indústria de embalagens metálicas, para avaliar a influência dos parâmetros de processo - rotação da ferramenta, trajetória, lubrificação e ângulo de conformação³ - sobre o comportamento mecânico do material.

METODOLOGIA

Para o ensaio SPIF foi adotado como padrão uma geometria piramidal, ferramentas com ponta hemisférica com raio de 10; 7,5; 5; e 2,5 mm. A rotação e trajetória da ferramenta foram programadas em função da geometria da peça e da ferramenta, para minimizar o contato com deslizamento. Foi aplicada uma fina camada de óleo lubrificante entre a superfície da chapa e da ferramenta. O ensaio foi conduzido utilizando um centro de usinagem CNC (*Computer Numerical Control*), que se refere a um sistema de controle numérico computadorizado, responsável por comandar o movimento de ferramentas e peças com alta precisão. A Figura 1 mostra um esquema das etapas do trabalho. Inicialmente foi desenvolvido um gravador de grade adaptando uma impressora 3D com uma caneta permanente (a). Em seguida, o ensaio SPIF foi conduzido no ferramental desenvolvido (b). Foram realizadas medidas de deformação da superfície da amostra (c). Utilizando o microscópio confocal interferométrico Leica DCM3D (d), foram feitas análises de topografia (e) da superfície da chapa e medidas de rugosidade após a conformação.

Figura 1 – Esquema do processo adotado para avaliação da influência dos parâmetros de SPIF: (a) dispositivo de gravação de chapa adaptado a impressora 3D, (b) processo de estampagem incremental de ponto simples em CNC, (c) resultado da chapa estampada e medição da deformação, (d) análise da topografia da chapa pós conformação no microscópio confocal e (e) resultados de rugosidade e imagem da topografia



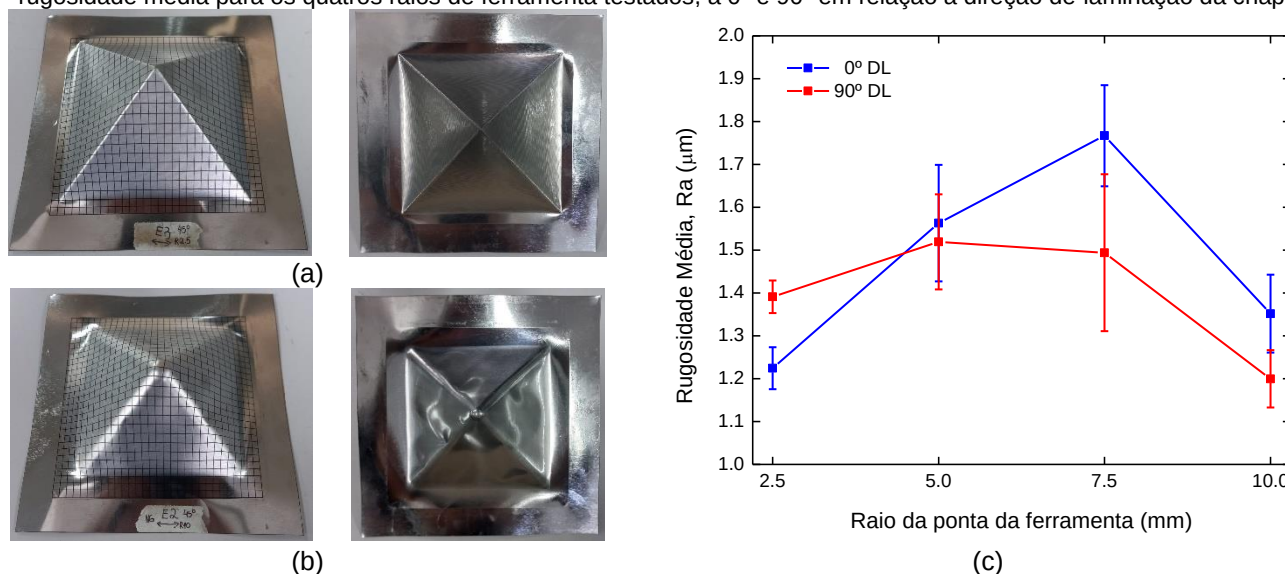
Fonte: Próprio autor (2024).



RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir de análise experimental, o maior ângulo de estampagem obtido foi de 45°. A rugosidade da chapa medida para o estado como recebido foi de $(0,49 \pm 0,01) \mu\text{m}$. A Figura 2(b) mostra que a rugosidade aumentou após o SPIF, variando conforme o raio da ferramenta. A ferramenta com raio de 10 mm apresentou um valor semelhante ao obtido pela ferramenta de raio 2,5 mm. As ferramentas com raios de 5 mm e 7,5 mm apresentaram um valor de rugosidade um pouco maior. Os parâmetros de processo foram selecionados para que a rugosidade obtida fossem a mesma. Visualmente, o raio de 10 mm proporcionou melhor acabamento, embora tenha sido observado amassamento devido ao movimento da ferramenta. Raios menores geraram vincos mais pronunciados, conferindo maior resistência geométrica, conforme mostrado na Figura 2(a) e (b). Em concordância com a literatura³, o diâmetro da ponta da ferramenta é um dos parâmetros que mais influencia os resultados do SPIF, afetando tanto a rugosidade quanto a qualidade superficial das peças conformadas.

Figura 2 – Chapa de Flandres conformada por SPIF com ferramenta de raio de (a) 2,5 mm, (b) 10mm e resultados de rugosidade média para os quatro raios de ferramenta testados, a 0° e 90° em relação a direção de laminação da chapa



Fonte: Próprio Autor (2024).

CONCLUSÕES

Os resultados indicam que a variação do diâmetro da ferramenta tem grande influência sobre o acabamento da chapa de Flandres com espessura de 0,19 mm. O valor do máximo ângulo de estampagem foi de 45°. Para esse ângulo, foi observado que para raios menores existe maior estabilidade geométrica da peça e para raios maiores há um amassamento durante o translado da ferramenta. Para os raios de 2,5 e 5 mm foi observado um padrão irregular macroscópico na superfície interna, o qual não foi captado pelo medidor de rugosidade. O contato com a ferramenta aumenta a rugosidade média da superfície entre 2,5 e 3,7 vezes.

AGRADECIMENTOS

Aos laboratórios multiusuários de Mecânica Aplicada e de Caracterização de Materiais (LMCM) pelo suporte técnico e infraestrutura e a PROPPI/UFF pela oportunidade de realizar Iniciação Científica como voluntário.

REFERÊNCIAS

- [1] JESWIET, J. *et al.* Asymmetric single point incremental forming of sheet metal. **Annals of CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 54, n. 2, p. 88-114, 2005.
- [2] MARTINS, P. A *et al.* Theory of single point incremental forming. **CIRP Annals – Manufacturing Technology**, v. 57, p. 247-252, 2008.
- [3] MCANULTY, T., JESWIET, J., DOOLAN, M. Formability in single point incremental forming: A comparative analysis of the state of the art. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 16, p. 43-45, 2017.
- [4] BEHERA, A. K. *et al.* Single point incremental forming: An assessment of the process and technology trends from 2005 to 2015. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 27, p. 37-62, 2017.