

INFLUÊNCIA DA LUBRIFICAÇÃO NA ESTAMPAGEM INCREMENTAL DOS AÇOS AISI 2205 E AISI 304

João V. M. Cunha¹, Gabriel C. Duarte¹, Rodrigo P. Silva¹, Vinícius H. S. Araújo¹, Klaus H. S. Silva¹, Sara S. F. de Dafé^{1*}

1 - Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.
saradafe@pucminas.br

RESUMO

Incentivado pelas indústrias que produzem pequenos lotes de peças, um novo método de estampagem surgiu com intuito de diminuir custos e tornar o processo mais flexível. A estampagem incremental é um processo de conformação com grande potencial para a produção de peças complexas, sem exigir o uso de matriz ou ferramentas específicas. Dessa forma, o presente trabalho buscou avaliar a influência dos parâmetros de lubrificação e da geometria da peça à ser estampada na microestrutura e no comportamento mecânico dos aços inoxidáveis AISI 2205 e AISI 304 empregados na estampagem incremental. Para aplicação do método de estampagem incremental os testes foram feitos através de um centro de usinagem CNC e com auxílio de um software CAD/CAM. Dois tipos de lubrificantes foram utilizados: Quimatic, fluido de corte, e óleo lubrificante ISO 32; e duas geometrias de estampagem: um cone com ângulo de 60° e outro com 90°. Em sequência foram realizados ensaios de dureza, rugosidade e microscopia óptica para análise de estampabilidade de cada aço. Os melhores e piores resultados foram avaliados, sendo possível comparar o comportamento entre os materiais e perceber que o aço AISI 2205 duplex apresenta uma melhor estampabilidade quando comparado ao aço inoxidável AISI 304 e que os parâmetros de lubrificação e geometria exercem uma influência importante no resultado final.

Palavras-chave: Estampagem incremental; Lubrificação; Aço inoxidável.

INTRODUÇÃO

A estampagem incremental (ISF - Incremental Sheet Forming) é um processo de conformação com grande potencial para a produção de peças complexas, sem exigir o uso de matrizes ou ferramentas específicas, mas sim, utilizando-se de uma máquina CNC (Comando Numérico Computadorizado) que possui um processo de deformação local do material, com ponta semiesférica, que percorre um caminho definido por um código de programação, até a obtenção da geometria final desejada para a peça.⁽¹⁾

A estampagem incremental tem um custo da ordem de 5 a 10% do total do custo em relação a estampagem convencional, que exige antes do início da fabricação da peça, o desenvolvimento de uma ferramenta, matrizes e punções, o que torna a operação cara e demorada. Isto possibilita obter o quantitativo a serem fabricados para viabilizar economicamente a utilização do ISF de cada processo específico. No entanto, já que o processo de conformação incremental é lento,

ele pode ser usado para uma produção de baixo volume, na magnitude de 1 a 500 peças por mês, por exemplo.⁽²⁾

Uma das áreas beneficiadas por esse processo é a medicina. A maior parte das próteses disponíveis são fabricadas em larga escala por processos convencionais, como fundição, forjamento, entre outros. Por tal motivo, e por entender que cada pessoa apresenta membros com medidas diferentes, para melhor acomodação do dispositivo é necessário remover parte de algum osso saudável. Ou seja, as próteses padronizadas, por não serem fabricadas sob medida, obrigam a intervenções cirúrgicas de revisão mais complexas e frequentes. As próteses são um ótimo exemplo de produtos fabricados, necessariamente, sob medida.⁽³⁾

Dentro da medicina, os principais produtos já fabricados por estampagem incremental são as próteses de: crânio, tornozelo, fêmur, entre outras. Onde, através de um scanner, constrói-se o modelo virtual do membro e este serve para construção do modelo CAD que vai ser utilizado para a produção da prótese.⁽⁴⁾

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento dos aços inoxidáveis conformados pelo processo de estampagem incremental, além de avaliá-los em relação à mudanças nos parâmetros de lubrificação e conformação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

As chapas selecionadas para os ensaios foram do aço inoxidável austenítico AISI 304 com 0,8 mm de espessura, e do aço inoxidável duplex AISI 2205 com 0,5 mm de espessura. A variação na espessura das chapas se deve a disponibilidade atual no mercado do aço AISI 2205.

Os fluidos lubrificantes escolhidos para os ensaios foram o fluido de corte Quimatic 1, e o óleo lubrificante ISO 32. As suas principais propriedades podem ser observadas respectivamente nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Propriedades Quimatic 1

Quimatic 1	
Cor	Âmbar
Densidade(g/cm ³)	1,065 - 1,145
Viscosidade (cSt)	N.D.
Ponto de ebulição (°C)	90
Ponto de fulgor (°C)	> 90

FONTE: Elaborada pelos autores com base em datasheet Quimatic Tapmatic (2019)

Tabela 2: Propriedades ISO 32

ISO 32	
Cor	ASTM 3
Densidade(g/cm ³)	0,871
Viscosidade (cSt)	33.9
Ponto de fluidez (°C)	-3
Ponto de fulgor (°C)	205

FONTE: Elaborada pelos autores com base em datasheet Karter (2020)

Métodos

As chapas foram cortadas com 300 mm de comprimento e largura para possibilitar a sua fixação em um dispositivo prensa chapas. Para realizar o processo de estampagem foi utilizado o centro de usinagem ROMI Discovery 560, utilizando uma rotação do eixo árvore de 30 RPM, avanço de 750 mm/seg e incremento de 0.3 mm em trajetória helicoidal. A ferramenta de estampagem incremental utilizada possui 12mm de diâmetro e raio de ponta de 6 mm. Os ensaios foram realizados utilizando 10 ml de lubrificante. Foram utilizadas duas geometrias cônicas, uma com ângulo interno de 60° e outra com ângulo interno de 90°.

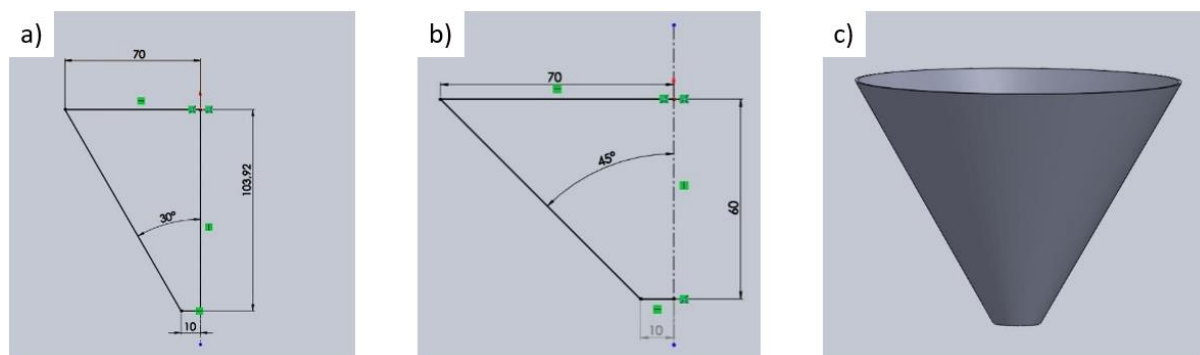


Figura 1: Croqui das geometrias utilizadas: (a) Geometria com ângulo de 60°; (b) Geometria com ângulo de 90°; (c) Desenho 3D do cone.

Após os ensaios foi aferida a rugosidade por meio de um rugosímetro eletrônico portátil Taylor Hobson modelo Surtronic S128, utilizando uma faixa de corte de 0.8 mm e percurso de medição de 4 mm, conforme norma ABNT 6405/1988.

Para a análise metalográfica foram removidas amostras do material base e das chapas após a conformação. As amostras foram embutidas em um dispositivo Arotec PRE 40. Para o processo de lixamento foram utilizadas lixas impregnadas com diferentes granulometrias de carbetto de silício, percorrendo a sequência de 120, 220, 400, 600 e 1200 mesh. O polimento foi realizado utilizando uma pasta de diamante tipo S de 1 μ m da Arotec. Para as amostras conformadas foi utilizado o Ácido Oxálico em um ataque químico eletrolítico, com tensão em torno de 23,1V e corrente em torno de 0,26A. Para as amostras não conformadas foi utilizado a Glicerégia Acética com tempo de ataque de 30 segundos, conforme norma ASTM E407-08. Foi utilizado um microscópio ZEISS modelo AxioCam MRc5 com ampliação de 500x.

As mesmas amostras embutidas foram levadas para o microdurômetro HMV-2T da Shimadzu. Foram feitas 10 indentações para cada amostra, utilizando carga de 200g e tempo de duração de 15 segundos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 3: Quadro resumo dos testes

Teste	Aço	Ângulo do Cone	Lubrificante	Resultado
1	AISI 304	60	ISO 32	Rompeu com 13,87mm (eixo Z) – (Pior desempenho)
2	AISI 304	60	Quimatic	Rompeu com 16,35mm (eixo Z)

3	AISI 304	90	Quimatic	Estampado por completo (Melhor desempenho)
4	AISI 304	90	ISO 32	Estampado por completo
5	AISI 2205	60	ISO 32	Rompeu com 20mm (eixo Z)
6	AISI 2205	60	Quimatic	Rompeu com 10,23mm (eixo Z) – Pior desempenho
7	AISI 2205	90	Quimatic	Estampado por completo (Melhor desempenho)
8	AISI 2205	90	ISO 32	Estampado por completo

Conforme disposto na Tabela 3, observou-se que nos cones que foram estampados com o ângulo de 60° houve um rompimento prematuro em todos os casos, já os cones com ângulo de 90°, que por sua vez, demonstraram um bom desempenho de conformação, sem apresentar rompimentos. Este fato se deve aos esforços da conformação serem mais elevados quando se tem um ângulo do cone menor.

O fato de o aço AISI 2205 ter rompido de forma demasiadamente prematura pode ser explicado pela espessura da chapa utilizada ser mais fina em comparação à chapa do AISI 304, o que, nas condições de altos esforços de estampagem, ocasionou o seu rompimento.

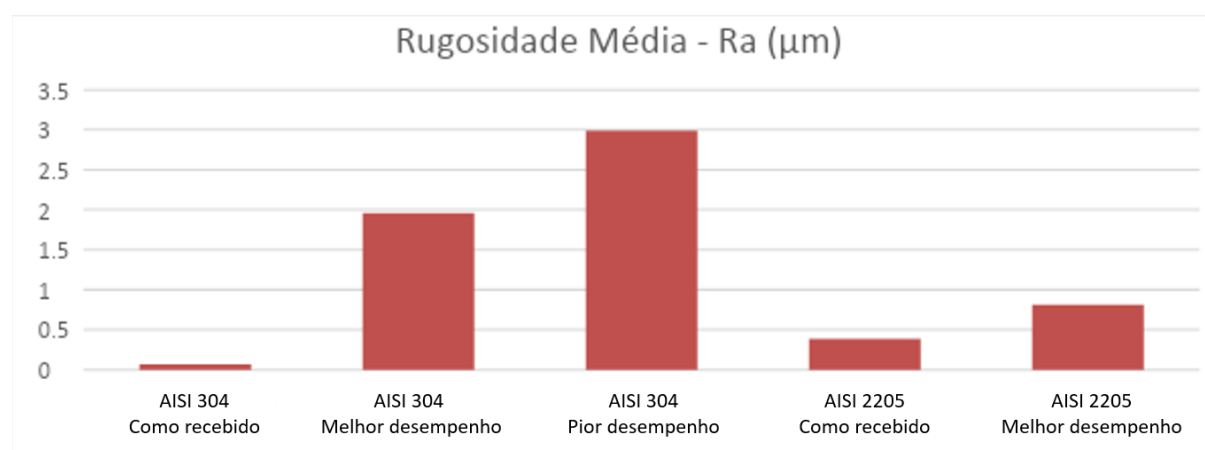


Gráfico 1: Rugosidade Média

Observando os dados da Tabela 4 e Gráfico 1 podemos ver que a escolha do lubrificante foi o principal fator em relação à variação da rugosidade, onde o fluido de corte Quimatic 1 obteve um melhor desempenho em relação ao lubrificante ISO 32. Este resultado era o esperado pois a viscosidade aparente do Quimatic 1 é superior à do ISO 32, o que resultaria em um maior filme de lubrificação durante as altas pressões que ocorrem no processo de estampagem incremental. Não foi possível aferir a rugosidade no pior caso do aço AISI 2205 por conta da pequena área na direção transversal de estampagem devido ao seu rompimento excessivamente prematuro.

Comparando os melhores casos de ambos os aços com a rugosidade de suas chapas como recebidas, podemos notar que o aumento de rugosidade para o aço AISI 2205 foi inferior à do aço AISI 304, indicando uma melhor estampabilidade do aço AISI 2205. Este comportamento pode ser explicado pela presença de ferrita dentre suas fases, que confere a este material um melhor comportamento ao ser submetido ao processo de estampagem.

A rugosidade Ra da chapa estampada de aço AISI 2205 foi similar aos resultados apresentados por Diabb *et al.*⁽⁵⁾ para alumínio 6061 estampado utilizando óleo de milho e de girassol, que apresentaram valores entre 0,8 e 0,9 µm.

Tabela 4: Dureza média em cada um dos casos analisados.

	Dureza Média (HV 0.2)	Desvio Padrão
AISI 304 - Como recebido	185,2	6,84
AISI 304 - Melhor caso	341,6	13,74
AISI 304 - Pior caso	330,8	32,79
AISI 2205 - Como recebido	261,4	4,22
AISI 2205 - Melhor caso	350,6	4,09

Conforme esperado, devido ao encruamento, a dureza de ambos os aços aumentou após a sua conformação. O aço AISI 304 apresentou um aumento de 84% na sua dureza comparando o melhor caso com o material como recebido, já o aço AISI 2205 apresentou um aumento inferior de 34%. Podemos atribuir este fato a formação de martensita durante o processo de laminação a frio da chapa do aço AISI 2205, devido a transformação da austenita metaestável, provocando uma maior dureza na chapa como recebida para o aço AISI 2205.

CONCLUSÕES

O processo de estampagem incremental é um processo viável e que tem potencial para estar cada vez mais presente nos centros de usinagem, principalmente devido ao seu baixo custo quando comparado a estampagem convencional, embora o elevado tempo de fabricação limite o processo para produções de baixo volume.

Neste trabalho foi demonstrado que ambos os aços possuem potencial para serem utilizados com o processo de estampagem incremental, pois foi possível conforma-los para a geometria desejada, livres de defeitos e com rugosidades controladas. Em relação a aplicação de lubrificantes, o lubrificante Quimatic 1 obteve melhores resultados pois apresentou um aumento na rugosidade inferior ao lubrificante ISO 32 após o processo de estampagem.

Pode-se inferir também que o aço inoxidável duplex 2205 apresenta uma melhor estampabilidade quando comparado ao aço inoxidável austenítico 304, devido ao seu melhor acabamento superficial. Isso se dá pela presença de ferrita em sua matriz, o que confere a ele uma maior ductilidade e melhora sua capacidade de ser solicitado à frio.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pelo fomento da bolsa de pós-graduação.

REFERÊNCIAS

1. KUMAR, Y.; KUMAR, S. Incremental sheet forming (isf). In: *Advances in Material Forming and Joining*. [S.l.]: Springer, 2015.
2. PAUNOIU, V.; EPUREANU, A.; NICOARA, D.; CIOCAN, O. A review of the sheet metal forming methods using reconfigurable dies. *Analele Universitatii "Dunarea de Jos" din Galati/The*

Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Fascicle V, Technologies in Machine Building, 2006.

3. ROCHA, B. A. S. Desenvolvimento do processo de produção de próteses em ligas de Titânio. 154 p. Dissertação do MIEM (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) - Porto, 2010.
4. JESWIET, J.; MICARI, F.; HIRT, G.; BRAMLEY, A.; DUFLOU, J.; ALLWOOD, J. Asymmetric single point incremental forming of sheet metal. CIRP Annals-Manufacturing Technology, Elsevier, 2005.
5. DIABB, J.; RODRÍGUEZ, C.A.; MAMIDI, N.; SANDOVAL, J.A.; TAHA-TIJERINA, J.; MARTÍNEZ-ROMERO, O.; ELÍAS-ZÚÑIGA, A. Study of Lubrication and Wear in Single Point Incremental Sheet Forming (SPIF) Process Using Vegetable Oil Nanolubricants. Wear 376-377, 2017.

LUBRIFICATION INFLUENCE IN INCREMENTAL STAMPING OF AISI 2205 AND AISI 304 STEELS

ABSTRACT

Encouraged by industries that produce small batches of parts, a new stamping method emerged with the aim of reducing costs and making the process more flexible. Incremental Sheet Forming (ISF) is a forming process with great potential for the production of complex parts, without requiring the use of die or specific tools. Thus, this study aims to evaluate the influence of lubrication parameters and the geometry of the part to be stamped on the microstructure and mechanical behavior of stainless steel AISI 2205 and AISI 304 used in incremental stamping. For the application of the incremental stamping method, tests were carried out through a CNC machining center and with the aid of CAD/CAM software. Two types of lubricants were used: Quimatic, cutting fluid, and ISO 32 lubricating oil; and two stamping geometries: cones with an angle of 60° and 90°. In sequence, hardness, roughness and microscopy tests were made for the stampability analysis of each steel. The best and worst results were evaluated, making it possible to compare the behavior between the materials and conclude that the AISI 2205 duplex steel has a better stampability when compared to the AISI 304 stainless steel and that the lubrication and geometry parameters has an important influence on the final result.

Keywords: Incremental sheet forming; Lubrication; Stainless steel.