

INFLUÊNCIA DA LAMINAÇÃO CRUZADA NA EMBUTIBILIDADE E ANISOTROPIA DE PROPRIEDADES DE PLACAS DE ALUMÍNIO

Mário dos Reis Maia Jr

Enio Pontes de Deus

Hamilton Ferreira Gomes de Abreu

Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, 60.455-790, Fortaleza, CE, Brasil. E-mail: hamilton@dem.ufc.br

Resumo

O processo de deformação a frio introduz anisotropia nas propriedades mecânicas das chapas produzidas devido ao aparecimento de uma textura cristalográfica. A alternância de passes numa direção e em outra defasada de 90° , ou seja, a laminação cruzada, reduz os efeitos da textura cristalográfica. A embutibilidade de uma chapa é avaliada em termos do parâmetro R_m , definido por Langford *et al* (1950) como a relação entre as deformações verdadeiras ao longo da largura e da espessura num corpo de prova de tração. Para compensar a variação das propriedades no plano da chapa usa-se uma média dos coeficientes de anisotropia plástica, chamado de coeficiente de anisotropia normal e definido como $R_m = (R_0 + 2R_{45} + R_{90}) / 4$ onde R_0 , R_{45} e R_{90} são os parâmetros de Langford definidos respectivamente para as direções paralelas a direção de laminação, a 45° dela e a 90° dela. Para medir a diferença das propriedades no plano da chapa para diferentes direções usa-se o coeficiente $\Delta R = (R_0 - 2R_{45} + R_{90}) / 2$. Em chapas finas usadas para embutimento profundo é desejável uma alta resistência ao afinamento simbolizado por um alto valor de R_m e um baixo valor de ΔR para se garantir a inexistência de "orelhas" após a estampagem. Neste trabalho comparar-se-á os valores de R_m e ΔR obtidos com a laminação cruzada e com a tradicional. Serão também comparados os ensaios de embutimento de Erichsen para as duas condições.

Palavras-chave: Estampabilidade de Alumínio, Anisotropia, Índice de Langford.

1. INTRODUÇÃO

Os materiais policristalinos apresentam de um modo geral um determinado grau de textura. Essas texturas podem ser decorrentes tanto de conformação plástica como de tratamentos térmicos posteriores. A principal consequência da textura é a variação das propriedades com direção em que é medida. Na estampagem de um disco metálico pode se destacar o efeito maléfico de formação de orelhas e afinamento das regiões laterais adjacentes ao fundo do corpo, como o efeito benéfico de aumento de resistência na direção perpendicular da chapa, que reduz a possibilidade de ruptura no afinamento da espessura.

A capacidade de uma chapa poder ser estampada profundamente sem o aparecimento de rupturas caracteriza a propriedade de fabricação denominada estampabilidade. A estampabilidade depende, em grande parte, da resistência ao afinamento da chapa durante o processo de

estampagem. Essa resistência pode ser avaliada pelo índice ou coeficiente de anisotropia médio R_m definido pela expressão (Bresciani, 1998):

$$R_m = \frac{R_0 + R_{90} + 2R_{45}}{4} \quad (1)$$

Para compreender essa expressão é necessário indicar a forma de determinação dos parâmetros indicados:

1º- numa chapa são retirados corpos-de-prova de tração segundo a direção de laminação (ângulo 0°), a direção transversal (ângulo 90°) e a direção de 45° com a direção de laminação;

2º- para cada corpo-de-prova é realizado o ensaio de tração, para determinação do coeficiente de anisotropia normal R , definido pela expressão:

$$R = \frac{\ln(w_0 / w)}{\ln((w / w_0)(L / L_0))} \quad (2)$$

onde :

w_0, L_0 – largura e comprimento iniciais do corpo-de-prova

w, L - largura e comprimento do corpo-de-prova após deformação plástica

3º- e, então, em cada direção – longitudinal, transversal e a 45° – obtém-se respectivamente R_0, R_{90} e R_{45} (Hosford *et al*, 1983).

A possibilidade de formação de orelhas na estampagem da chapa, por sua vez, está associada ao coeficiente de anisotropia planar (ΔR) estabelecido pela expressão:

$$\Delta R = \frac{R_0 + R_{90} - 2R_{45}}{2} \quad (3)$$

A figura abaixo apresenta exemplos de estampagem com valores negativos, nulo e positivo para o coeficiente de anisotropia planar. Para valores negativos temos a formação de orelhas à 45° e para valores positivos temos orelhas a 0° e 90° .

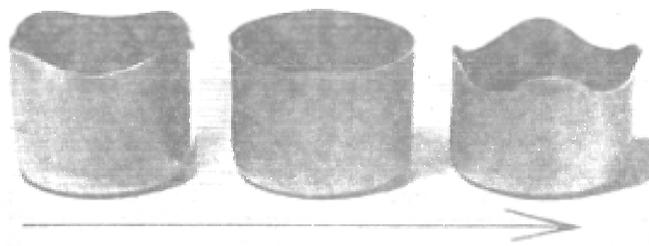


Figura 1. Formação de orelha em estampagem profunda . A seta indica a direção de laminação da chapa. (Hosford *et al*, 1983)

Evidentemente, tanto o coeficiente médio R_m como o coeficiente planar ΔR dependem da textura da chapa laminada:

a) se a chapa apresenta ausência de textura, isto é, se contiver grãos orientados ao acaso, ela é perfeitamente isotrópica e então, tem-se:

$$R_0 = R_{90} = R_{45} = 1 \quad \text{e consequentemente,}$$
$$R_m = 1 \quad \Delta R = 0$$

b) se a chapa apresentar um determinado grau de textura, pode-se ter:

$$R_m > 1$$

onde a direção de maior resistência é a perpendicular ao plano da chapa; e no caso contrário:

$$R_m < 1$$

Uma boa condição de estampabilidade implica em obter-se valores elevados de anisotropia normal média (R_m) e valores próximo a zero para a anisotropia planar (ΔR).

Um possível controle da formação da textura num laminado é a laminação cruzada (Kocks *et al*, 1998). Neste trabalho foi utilizada a laminação cruzada a frio de modo a reduzir a anisotropia do material.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Lingotes de alumínio fundidos na forma de placas de 12 mm de espessura e fabricados a partir de sucata e alumínio comercial da Alcoa foram laminados a quente na temperatura de 650° C até a espessura de espessura de 8 mm. A primeira redução a frio se deu na direção na mesma direção da laminação a quente (0°) até a espessura de 5,2 mm. De 5,2 mm até a espessura final foi dado um passe na direção 90° da direção anterior,

Corpos-de-prova para o ensaio de tração foram preparados de acordo com a norma NBR 7549 item 5.2.1.1. Os corpos-de-prova sofreram tratamentos térmicos de alívio de tensões nas temperaturas de 350° C, 370° C e 400° C durante 1h, 2h e 4 horas (Smith, 1993).

O ensaio de tração se deu com uma deformação de 15% para todas as amostras. As medidas comprimento, largura e espessura dos corpos de prova antes e depois dos ensaios foram realizadas com paquímetro de precisão 0,05 mm.

Os corpos-de-prova de embutimento foram dimensionados pela norma NBR 9999 e retirados de posições distantes no mínimo 90 mm um do outro e 45mm das bordas da chapa e com a geometria retangular de 200 x 100 x 2,4 mm. O ensaios de embutimento foram do tipo Erichsen e finalizados com o início da ruptura da chapa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 2 apresenta o valor do coeficiente de anisotropia médio em função do tempo e parametrizados com a temperatura de tratamento térmico. As curvas cujas temperaturas estão seguidas da letra D significam que não sofreram laminação cruzada. As curvas cuja temperatura marcadas sobre elas estão procedidas da letra X sofreram um processo de laminação cruzada

como descrito na seção materiais e métodos. Pode-se observar que os valores de R_m obtidos com a laminação cruzada são sempre superiores aos obtidos com a laminação convencional.. A temperatura de 345 com o tempo de 1 hora apresenta o maior valor do coeficiente de anisotropia médio.

A tabela 1 apresenta os valores do coeficiente de anisotropia planar. O coeficiente de anisotropia planar indica a tendência que tem a chapa de formar orelhas indesejáveis durante o processo de estampagem profunda. O valor ideal para este coeficiente é zero. A temperatura de 345° C apresenta o maior valor de ΔR e sendo este negativo existe a possibilidade da formação de orelhas a 45°.

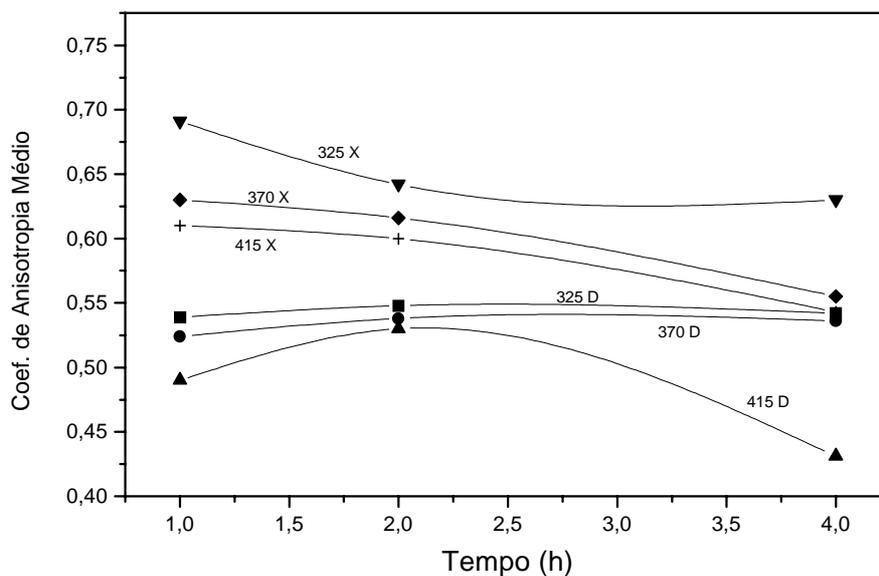


Figura 2. Variação do Coeficiente de anisotropia médio R_m com a temperatura e o tempo de tratamento térmico.

Tabela 1. Valores do coeficiente de anisotropia planar para diferentes tempos e temperaturas de tratamento térmico.

	345 °C	370 °C	415 °C
1 h	-0,122	0,004	-0,025
2 h	-0,075	0,066	0,000
4 h	-0,033	0,002	-0,012

Foram realizados ensaios de embutimento Erichsen para amostras tratadas nas temperaturas de 345° C, 370° C e 400° C por uma hora. Os resultados obtidos estão na tabela 2 e se apresentam coerentes com os resultados de R_m .

Tabela 2. Índices de embutibilidade de Erichsen para amostras submetidas a laminação cruzada.

Temperatura/Tempo	IE ₄₀
345° C / 1 hora	16,50
370° C / 1 hora	16,10
400° C / 1 hora	16,10

Analisando os resultados obtidos para R_m , ΔR e para IE_{40} , observamos que apesar da temperatura de 345° C durante 1 hora aparentemente ser a condição mais sugestiva para o tratamento térmico após a laminação a frio, esta é também a condição mais desfavorável no que se refere ao aparecimento de orelhas na peça estampada. O tratamento térmico mais indicado para estampagem é 370° C por 1 hora pois apresenta o menor tempo de forno, valor de R_m elevado em relação as demais condições e um valor de ΔR quase nulo não apresentando tendência a formação de orelhas.

4. CONCLUSÃO

Estudou-se o efeito da laminação cruzada na estampabilidade de chapas de alumínio comercial misturado a sucata de um fabricante de painéis de pressão. A introdução da laminação cruzada apresentou coeficiente de anisotropia médio R_m superiores aos obtidos pelo processo convencional de laminação. Entre as amostras em que foi feita a laminação cruzada, a condição que apresentou o maior valor de coeficiente de anisotropia médio e maior índice de embutibilidade de Erichsen foi 345° C por 1 hora. Esta condição também apresentou o maior valor de coeficiente de anisotropia planar indicando ser propícia a formação de orelhas. Um tratamento térmico a 370° C por 1 hora apresenta valores elevados de coeficiente de anisotropia médio, índice de embutibilidade de Erichsen elevado e um coeficiente de anisotropia planar quase nulo não propiciando a formação de orelhas. Esta é a condição recomendada para o fabricante.

5. REFERÊNCIAS

- Bresciani, E. F. , 1998, “Conformação Plástica dos Metais”, Unicamp.
- Hosford, W. F., Caddell, R. M., 1983, “Metal Forming Mechanics and Metallurgy”, Prentice Hall.
- Kocks, U.F., Tomé, C.N., Wenck, H.R., 1998, “Texture and Anisotropy”, Cambridge University Press.
- Langford, W.F., Snyder, S.C. & Bausch, J., 1950, “New Criteria for Predicting the Press Performance of Deep Drawing Steels” , Trans, Amer. Soc. Metals 42, pp. 1197-1232
- Smith, W. F., 1993, “Structure and Properties of Engineering alloys”, McGraw Hill.