

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO DE ALÍVIO DE TENSÕES NO COEFICIENTE DE ANISOTROPIA PLÁSTICO EM CHAPAS DE ALUMÍNIO LAMINADAS A FRIO

Afrânio Rebouças Costa Filho

Enio Pontes de Deus

Hamilton Ferreira Gomes de Abreu

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

Resumo

A embutibilidade de uma chapa está na sua capacidade de obter um alto grau de deformação plástica no plano da chapa, oferecendo uma boa resistência ao afinamento na direção da espessura. Esta propriedade 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 verificar-se-á a variação de R_m e ΔR com a temperatura do tratamento térmico de alívio de tensões efetuado em chapas de alumínio após o processo de laminação a frio. Estas chapas são utilizadas na fabricação de painéis de pressão. Os resultados serão comparados com ensaios de embutibilidade.

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

1. INTRODUÇÃO

Dependendo da direção onde são medidas, as propriedades dos materiais policristalinos apresentam-se diferenciadas. Isso se deve a existência de textura ou seja, uma direção de orientação cristalográfica preferencial no material. Esta textura pode ser tanto decorrente de deformação plástica como de tratamentos térmicos.

A textura em materiais metálicos pode ter conseqüências nas propriedades mecânicas do material tanto benéficas quanto malélicas. Na estampagem de um disco para fabricação de um copo tanto pode se destacar o efeito malélico da formação de orelhas e afinamento das regiões laterais adjacentes ao fundo do copo, como o efeito benéfico de aumento de resistência na direção perpendicular da chapa que reduz a possibilidade de ruptura no afinamento da espessura.

Os metais do sistema fcc - como o alumínio - apresentam basicamente uma textura, denominada de "textura tipo cobre". Esta textura se caracteriza por apresentar orientações preferenciais ideais com o $\{110\}\langle 112 \rangle$, $\{312\}\langle 214 \rangle$ e $\{112\}\langle 111 \rangle$ (Harren *et al.*, 1989).

A formação de orelhas em peças estampadas profundamente decorre da anisotropia de propriedades mecânicas (particularmente da ductilidade) no plano da chapa. Para um mesmo nível de tensão de conformação em todas as direções do plano da chapa, a deformação é maior em determinadas direções simétricas em relação à direção de laminação. Impede-se, dessa forma, que o metal deformado adquira uma textura de deformação bem definida, que provocaria a formação, na recristalização, de grãos com orientação preferencial nítida (Bresciani, 1998) .

A textura de recristalização, formada a partir de uma textura resultante de uma deformação plástica, pode se caracterizar por três tipos diferentes (Bresciani, 1998):

- textura com distribuição aleatória dos cristais ou “ausência” de textura;
- textura coincidente com a textura original de deformação;
- textura diferente da textura original de deformação.

A ausência de textura, ou melhor dito, presença de uma distribuição aleatória das posições dos cristais constituintes do metal, é mais uma característica ideal para a obtenção de um corpo metálico de propriedades isotrópicas do que uma realidade.

Na prática industrial, sempre permanece um certo grau de anisotropia nos produtos metálicos conformados e recozidos que, contudo, para efeito de algumas aplicações, pode ser considerado inexistente. Dependendo do metal, pode-se obter texturas aleatórias adotando certas combinações de tratamentos mecânicos e térmicos.

A capacidade de uma chapa poder ser estampada profundamente sem romper 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:

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

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 e determinados pela equação :

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

onde :

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

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

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

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

Vemos na figura abaixo 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°.

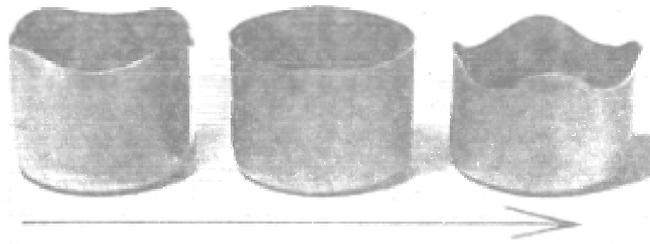


Figura 1. Formação de orelha em estampagem profunda . A seta indica a direção de laminação da chapa. (Hosford *et al*, 1983)

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:

$$R_m < 1$$

Para se ter uma melhor condição de estampabilidade, deve-se procurar obter valores elevados de anisotropia normal média e valores baixos para a anisotropia planar.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Lingotes de alumínio foram fabricados a partir de sucata de alumínio e alumínio comercial da Alcoa. Foram colocados em forno a gás por cerca de 40 minutos a 650°C . O material fundido na forma de placas foi laminado a quente sofrendo uma redução de espessura de 12mm para 8mm. As placas laminadas a quente foram levadas para a laminação a frio onde sofreram reduções de espessura de 8mm até a dimensão final de 2,4 mm.

Os corpos-de-prova para o ensaio de tração foram preparados de acordo com a norma NBR 7549 item 5.2.1.1. Foram extraídos corpos-de-prova em três diferentes direções: longitudinal à laminação (0°)-L; transversal à laminação (90°)-T; e, em ângulo de 45° à laminação (45°)-D.

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 *et al*, 1993).

Os ensaios de tração foram realizados com uma deformação padrão de 15%. As medidas comprimento, largura e espessura foram feitas com paquímetro de precisão 0,05 mm.

Os corpos-de-prova de embutimento foram dimensionados pela norma NBR9999. Foram retirados da chapa em posições distantes no mínimo 90 mm um do outro e 45mm das bordas da chapa. Os corpos-de-prova foram cortados com a geometria retangular de 200 x 100 x 2,4 mm. Os 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 da temperatura de tratamento térmico. Pode-se observar que os maiores valores de R_m são para as temperaturas mais baixas. Existe uma faixa de temperatura entre 340 e 370 graus que o valor do coeficiente de anisotropia médio é praticamente o mesmo independentemente do tempo de tratamento térmico. Estes valores de R_m mais elevados determinariam as melhores condições para estampabilidade do material. Os valores de $R_m < 1$ implicam que a direção de maior resistência à deformação apresentada pela chapa é na direção do plano de laminação.

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. Um valor positivo de ΔR sugere o aparecimento de orelhas a 0° e a 90° enquanto valores negativos as orelhas deverão aparecer a 45° da direção de laminação. Os valores apresentados na tabela 1 são bastante próximos de zero indicando ser pequena a tendência a formação de orelhas qualquer que seja o tratamento térmico escolhido.

Foram realizados ensaios de embutimento Erichsen para algumas temperaturas e tempos. Os índices de embutimento Erichsen obtidos foram

- 345 °C durante 3,5 h;
 $IE_{40} = 16,25$
- 400 °C durante 1,5 h;
 $IE_{40} = 16,15$
- 400 °C durante 3,5 h;
 $IE_{40} = 15,95$

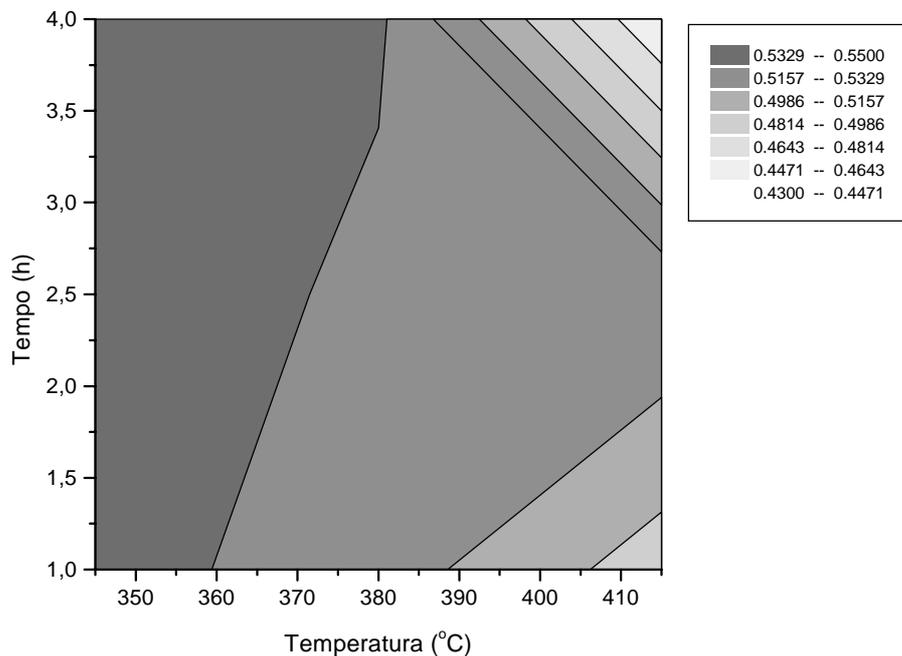


Figura 2. Variação do Coeficiente de anisotropia médio R_m com a temperatura e o tempo de tratamento térmico.

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

	345 °C	370 °C	415 °C
1 h	-0,08	0,11	-0,03
2 h	-0,03	-0,04	-0,08
4 h	-0,01	-0,08	0,07

Analisando os resultados obtidos para R_m , ΔR e para IE, observamos que a temperatura de 345° C durante 2,0 horas é uma boa condição para o tratamento térmico após a laminação a frio. Esta é também a condição favorável no que se refere ao aparecimento de orelhas na peça estampada já que o valor 0,03 é bem próximo de zero. O valor do índice de embutibilidade é muito próximo para as condições testadas mas mesmo assim, na temperatura inferior, isto é, 345°C, o índice se mostrou ligeiramente superior.

4. CONCLUSÃO

Analisou-se a estampabilidade de chapas fabricadas a partir de lingotes de alumínio comercial misturado a sucata e utilizadas na fabricação de painéis de pressão. Diversas condições de temperatura e tempo de tratamento térmico de alívio de tensões foram analisadas. A condição que apresentou o maior valor de coeficiente de anisotropia médio e maior índice de embutibilidade de Erichsen foi 345° C por 2,0 horas. Esta condição também apresentou um valor de coeficiente de anisotropia planar próximo a zero, indicando não ser propícia a formação de orelhas. Esta foi a condição recomendada ao fabricante.

5. REFERÊNCIAS

- Bresciani, E. F. , 1998, “Conformação Plástica dos Metais”, Unicamp.
- Harren, S.V., Lowe, T.C., Asaro, R.J. & Needleman, 1989, “Analysis of large strain shear in rate dependent face centred cubic polycrystals: correlation of micro and macromechanics”, Phil. Trans. R. Soc. Lond. A328, 443-500.
- Hosford, W. F., Caddell, R. M., 1983, “Metal Forming Mechanics and Metallurgy”, Prentice Hall.
- 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.