

INFLUÊNCIA DA LAMINAÇÃO ASSIMÉTRICA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO ALUMÍNIO AA 1050

Bianca D. Zanchetta^{1*}, Vanessa K. da Silva³, Andrea K. Madeira¹, José B. Rubert²

1*. Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, campos de Sorocaba – SP.

2. Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, campos de São Carlos – SP.

Bianca Delazari Zanchetta

Rua: Humberto Notari, nº06, Apto. 85B. – Jd. Gonçalves.

Sorocaba – São Paulo

CEP: 18.016-430

delazaribd@gmail.com

RESUMO

Chapas de Alumínio são produzidas pelo processo "twin roll caster", ao serem submetidas a estampagem profunda apresentam problemas de orelhamento, devido a sua alta anisotropia plástica. O objetivo geral deste trabalho é verificar que parâmetros da laminação assimétrica modificam com maior intensidade a conformabilidade do alumínio AA1050. Após a laminação convencional e o recozimento a principal textura obtida é a cúbica {001} <100>, esta textura é reconhecida como sendo a causadora da má estampabilidade. A textura obtida por laminação convencional pode ser alterada quando aplicado cisalhamento no processo de deformação. Na laminação assimétrica utilizou-se a relação entre cilindros de 1.5 e 2.0. Utilizou-se o software DEFORM, para análise de elementos finitos, também foi realizado ensaio de tração, microdureza Vickers e análise por EBSD.

ABSTRACT

Aluminum plates are produced by the process "twin roll caster" by being subjected to deep drawing present earing problems due to its high plastic anisotropy. The aim of this study is to verify which parameters of asymmetric rolling change with greater intensity the formability of AA1050 aluminum. After conventional rolling and annealing the main texture obtained is cubic {001} <100>, this texture is recognized as being the cause of poor formability. The texture obtained by conventional rolling could be changed when shear deformation is applied in the process. In the asymmetric rolling was used the relation 1.2, 1.5 and 2.0 between cylinders. Then the material was annealing at 350°C for 5, 10, 15, 20 and 60 minutes in a muffle furnace. We used the DEFORM software for finite element analysis, was also carried out tensile test, Vickers hardness and EBSD analysis.

Palavras Chave: Alumínio AA1050, Laminação assimétrica, Simulação numérica, Textura cristalográfica, Conformabilidade.

INTRODUÇÃO

Chapas de Al são produzidas pelo processo convencional de laminação e recozimento, ao serem submetidas a estampagem profunda apresentam problemas de orelhamento, o que gera perdas ao processo. Durante a laminação desenvolve-se uma textura que têm como principais componentes as orientações Cu $\{112\} \langle 111 \rangle$ e Latão $\{110\} \langle 112 \rangle$, eventualmente Goss $\{011\} \langle 100 \rangle$ e S $\{123\} \langle 634 \rangle$. Durante o recozimento a principal textura é cúbica $\{001\} \langle 100 \rangle$, Sabe-se que a textura cristalográfica é a principal causa do orelhamento. O orelhamento a 45° é resultado da textura de laminação latão $\{110\} \langle 112 \rangle$, a componente intermediária S e finalmente a $\{112\} \langle 111 \rangle$ orientação cobre. O orelhamento a $0/90^\circ$ é associado à textura cúbica $\{100\} \langle 001 \rangle$ e até certo ponto a $\{110\} \langle 001 \rangle$ orientação goss. (JHAZI; GOUDARZI, 1997). Esta última textura é reconhecida como sendo a causadora da má estampabilidade. A orientação cubo é favorecida por dois efeitos opostos: i) pela nucleação rápida devido a sua recuperação preferencial, e ii) a sua ótima condição de crescimento. A orientação cubo prevalece a baixas deformações e baixa temperatura de recozimento, nas quais a nucleação é geralmente retardada (ENGLER; VATNER; NES, 1996).

Na Laminação convencional a velocidade dos rolos é maior que a velocidade de entrada da chapa, e menor que a de saída da mesma, o que pode gerar tensão de cisalhamento. A estampagem profunda em chapa de alumínio comercialmente puro é aprimorada introduzindo a textura $\{111\}$ no plano superficial da chapa. Para que a textura $\{111\}$ seja obtida ENGLER, KIM, HUH, (2001) introduziram uma etapa adicional de laminação morna entre a laminação a quente e a laminação a frio seguida de recozimento final. Após a recristalização a textura $\{111\}$ prevalecia à custa de outro componente da textura de cisalhamento, especialmente a $\{001\} \langle 110 \rangle$. Entre os componentes resultantes da textura de deformação a orientação $\{111\}$ se destaca pelo seu nível de energia mais elevado. Conseqüentemente, a orientação $\{111\}$ sofre nucleação mais rápida e cresce consumindo os componentes concorrentes da textura de cisalhamento, incluindo $\{001\} \langle 110 \rangle$.

As texturas de deformação podem ser modificadas para $\langle 111 \rangle // ND$ com a aplicação de cisalhamento durante o processo de deformação e no recozimento podem se tornar mais aleatórias, reduzindo a anisotropia (CHEON, 2011, VEGA 2014). Uma alternativa de deformação por cisalhamento que gera uma rotação da

orientação cristalográfica com relação à típica de laminação e tem forma de processamento mais apropriada para a produção de chapas é a laminação assimétrica (LA). Esse processo necessita de um laminador especial com rolos girando com velocidades diferentes, ou como neste estudo dotado de rolos com diâmetros diferentes. Foi estudada a influência das relações de diâmetro de 1.5 e 2.0 na distribuição da deformação e na textura de chapas do alumínio AA1050.

MATERIAIS E MÉTODOS

Da mecânica elasto-plástica a deformação equivalente é dada por

$$\varepsilon_{eq} = \left\{ \frac{2[\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_z^2 + \frac{(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{xz}^2)}{2}]}{3} \right\}^{1/2} \quad (1)$$

Durante a laminação convencional o modo de deformação é planar, ou seja, $\varepsilon_x = \varepsilon_z$, $\varepsilon_y = 0$, $\gamma_{xy} = \gamma_{yz} = \gamma_{xz} = 0$. Sendo assim a deformação equivalente pode ser descrita por

$$\varepsilon_{eq} = \frac{2}{\sqrt{3}} \varepsilon_y \quad (2)$$

Onde $\varepsilon_y = -\ln\left(\frac{h}{h_0}\right)$ h e h_0 sendo a espessura final e inicial da chapa.

Já na LA o grau de deformação equivalente teórico da laminação assimétrica por diferentes diâmetros de rolos pode ser calculado conforme a equação (3) (Sidoret al., 2008)

$$\varepsilon_{eq} = \frac{\sqrt{2}}{3} \left[6 \left[\ln \left(1 - \frac{h_i - h_f}{h_i} \right) \right]^2 + \frac{6}{(h_i + h_f)^2} \times \left[R_1 \cos^{-1} \left(\frac{2R_1 - (h_i - h_f)}{2R_1} \right) - R_2 \cos^{-1} \left(\frac{2R_2 - (h_i - h_f)}{2R_2} \right) \right]^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

Onde h_i representa a espessura inicial da chapa, h_f espessura final, R_1 e R_2 os raios dos rolos de laminação.

A deformação pode ser também medida a partir do ângulo θ da deformação de cisalhamento, a deformação equivalente pode ser obtida pela equação (4):

$$\varepsilon_{eq} = \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \left(\frac{1}{1-r} \right) \left\{ 1 + \left[\frac{(1-r)^2}{r(2-r)} \tan \theta \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (4)$$

O Laminador Convencional (simétrico) utilizado para a laminação de referência é da marca FENN, modelo 051, número de série 51019. Localizado no DEMa UFSCar. As chapas passaram por redução de 70% da espessura inicial, com 10% de redução por passe.

As amostras foram nomeadas segundo um código: L indica laminação convencional, LA laminação assimétrica, os quatro números seguintes indicam a relação entre rolos, podendo ser 2,0 (20) ou 1,5 (15). O 3º e 4º algarismos representam a redução por passe, que pode ser de 5% (05) ou 10% (10). As amostras foram identificadas com os códigos listados abaixo.

LA2010	LA 1510
LA2005	LA1505
L	

TABELA 1-Relação dos códigos de identificação das amostras trabalhadas.

Para a análise metalográfica, polidas até acabamento final com solução de sílica coloidal (30% Sílica + 70% água destilada), em politriz semi-automática da marca Buehler, modelo Minimet 1000 (UFSCAR Sorocaba – LECMAT).

As amostras foram lixadas e polidas para que fosse analisada a textura da região próxima à superfície das chapas. As as figuras de polo (111), (200) e (220) foram obtidas em um difratômetro Pananalytical X-pert pro MPD com radiação $\text{CuK}\alpha$, localizado no LNNano - CNPEM Campinas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise de deformação

A deformação experimental foi comparada a simulação de elementos finitos utilizando o software DEFORM. A FIGURA 2 ilustra a comparação entre a marcação experimental e a simulação numérica.

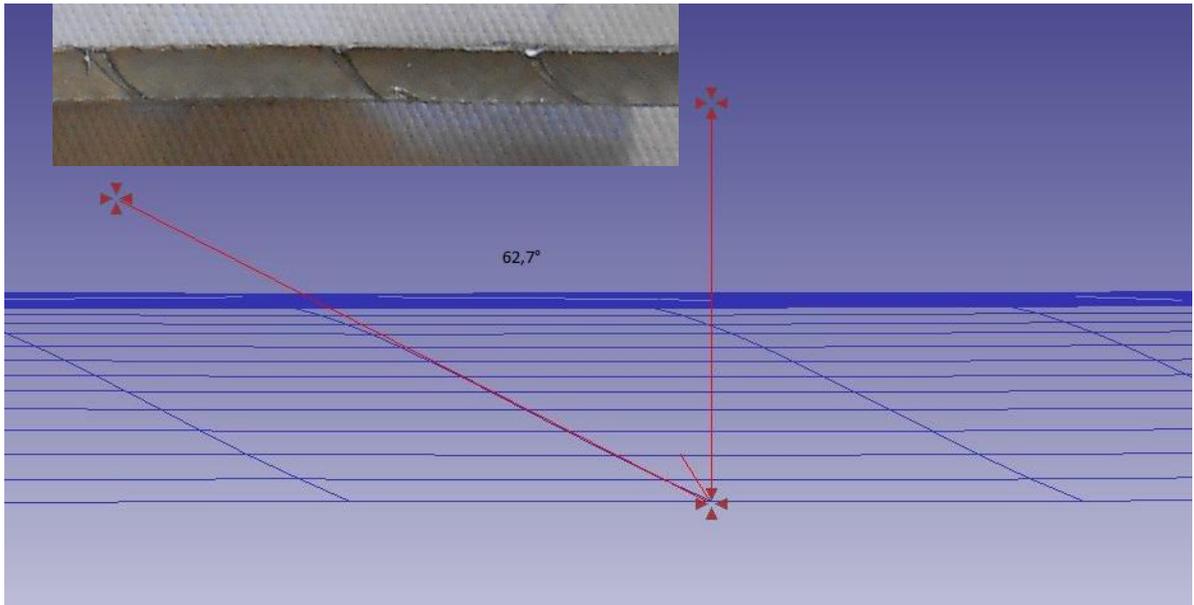


Figura 2. Comparação entre o marcador da laminação experimental e a inclinação da malha de elementos finitos utilizada durante a simulação numérica: LA 2010.

A TABELA 2 resume os resultados obtidos pelo cálculo da equação (3) , o medido e calculado pela equação (4) e o obtido pela distorção da malha no DEFORM.

	Marcador		Malha obtida na simulação		ϵ_{eq} calculada(3)
	θ	ϵ_{eq}	θ	ϵ_{eq}	
L					
LA1510	40,20°	0,62	29,33°	0,53	0,54
LA1505	51,00°	0,82	33,56°	0,49	0,46
LA2010	61,30°	0,92	39,10°	0,57	0,62
LA 2005	60,70°	0,89	29,93°	0,47	0,54

FIGURA 1 - Comparação entre marcadores e malha após 30% de redução, gerada pelo software DEFORM.

A análise de textura foram obtidas figuras de pólo para os planos 111, 200 e 220 da amostra laminada simetricamente (L) e das amostras laminadas assimetricamente (LA1505, LA1510, LA2005 e LA2010), com a direção de laminação (DL) paralela ao eixo y e a direção transversal (DT) paralela ao eixo x.

CONCLUSÃO

Neste trabalho estão sendo estudadas algumas combinações de laminação assimétrica, porcentagem de redução por passe e tratamento térmico com o objetivo de melhorar a estampabilidade da chapa de alumínio AA1050. Foram comparados três relações de laminação 1.2, 1.5 e 2.0, duas reduções 5% e 10% por passe e cinco tempos de tratamento térmico (5, 10, 15, 20 e 60 minutos) a 350°C.

Com os resultados obtidos até o presente momento podemos verificar um tamanho de grão resultante similar entre os processos 151060 e 201060. Nos resultados do ensaio de dureza ocorreu no tempo de 10 minutos de tratamento, no qual a amostra 2005 apresentou 26HV a 1510 22HV e as amostras 1505 e 2010 apresentaram comportamento semelhante em todos os tempos, apresentando ambas 20HV em 10 minutos de tratamento.

O estudo comparativo entre a deformação experimental e a do software DEFORM, apresentou resultados semelhantes, em ambos fica visível a diferença de deformação entre a superfície e o interior da chapa laminada, visto o maior cisalhamento imposto na superfície da chapa pelos cilindros.

Avaliando a evolução da textura, temos que a laminação simétrica provocou orientação preferencial dos grãos e produziu texturas características, como latão e cobre. A amostra 1205 apresenta uma transição da textura de laminação para texturas de cisalhamento, de cubo e $\{021\}\langle 212 \rangle$. Já a amostra 1505, apresenta apenas texturas características de cisalhamento de orientação $\langle 001 \rangle // DN$, indicando que a laminação assimétrica com 5% de redução por passe e razão 1.5 entre os raios dos cilindros, provocou desorientação dos grãos de forma eficiente. Da mesma forma, a amostra 2005, relação de assimetria de 2.0, apresenta apenas texturas características de cisalhamento de orientação $\langle 001 \rangle // DN$. O aumento da compressão em relação ao cisalhamento, com taxa de redução por passe de 10%, modifica sensivelmente a orientação cristalográfica, com as principais orientações resultantes da amostra 1510 indo de $\{021\}\langle 212 \rangle$ a $\{021\}\langle 112 \rangle$ provenientes da rotação da orientação latão ao redor da DT, enquanto a amostra 2010, apresenta texturas de cisalhamento de orientação $\langle 001 \rangle // DN$ e textura de orientação $\{032\}\langle 223 \rangle$.

REFERENCIA

¹CHEON, B. H.; KIM, H. W.; LEE, J. C. Asymmetric Rolling of strip-cast Al-5.5 Mg 0.3 Cu alloy sheet: Effects on the formability and mechanical properties. *Materials Science & Engineering A*, v. 528, p. 5223-5227, 2011.

VEGA, M. C. V. Estudo da influência da deformação por cisalhamento – extrusão em canal angular e laminação assimétrica – nas propriedades mecânicas do alumínio AA 1050. 2014. 127f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba. 2014.

PADILHA, A. F.; SICILIANO JR., F. (1995). Encruamento, recristalização, crescimento de grão e textura. 3.ed.rev. e ampl. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 232p, 2005.