

CARACTERIZAÇÃO DA LIGA DE MAGNÉSIO AZ31 PROCESSADA VIA LAMINAÇÃO SIMÉTRICA E ASSIMÉTRICA *

Jéssica Vicente Luiz¹
Rayander Martins Pimenta¹
Darlene Souza Da Silva Almeida²

Resumo

O presente estudo teve como objetivo avaliar a influência da assimetria empregada na liga de magnésio AZ31 durante a laminação, do ponto de vista microestrutural e de propriedade mecânica. Diversos estudos têm sido realizados nas ligas de magnésio visando adquirir melhores propriedades mecânicas, sobretudo conformabilidade, pois a limitada conformabilidade é um dos principais problemas apresentados por estas ligas. Neste trabalho são apresentados os resultados microestruturais para amostras processadas por laminação assimétrica e simétrica nas temperaturas ambiente, 100, 200, 300 e 400 °C. Foi possível observar que todas as amostras submetidas ao processo de laminação assimétrica apresentaram um valor maior de dureza em relação àquelas laminadas simetricamente. Além disso, as amostras laminadas simetricamente a 400°C apresentaram grãos refinados, típicos de recristalização. Por outro lado, o mesmo efeito foi observado no caso assimétrico, porém para a amostra laminada a 300°C. A menor temperatura de recristalização neste caso provavelmente está relacionada ao fato de o processo assimétrico ser capaz de impor maior nível de deformação.

Palavras-chave: Liga AZ31; Laminação assimétrica; microestrutura.

CHARACTERIZATION OF MAGNESIUM ALLOY AZ31 PROCESSED BY SYMMETRIC AND ASYMMETRIC ROLLING

Abstract

The present study aimed to evaluate the influence of asymmetry in the magnesium alloy AZ31 during lamination, from a microstructural point of view and mechanical property. Several studies have been conducted in magnesium alloys to acquire better mechanical properties, especially of conformability, since limited conformability is one of the main problems presented by these alloys. This paper presents the microstructural results for samples processed by asymmetric and symmetrical rolling at room temperature, 100, 200, 300 and 400 °C. It was possible to observe that all samples submitted to the asymmetric rolling process presented a higher hardness value in relation to those laminated symmetrically. In addition, the samples rolled symmetrically at 400 °C presented refined grains, typical of recrystallization. On the other hand, the same effect was observed in the asymmetric case, but for the sample rolled at 300 °C. The lower recrystallization temperature in this case is probably related to the fact that the asymmetric process can impose a higher level of deformation.

Keywords: AZ31 Alloy; Asymmetric rolling; microstructure.

¹ Graduando em Eng. Metalúrgica, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), Angra dos Reis, RJ, Brasil.

² Engenheira Metalurgista, M.Sc., Doutorando em Engenharia Metalúrgica, Professora de Engenharia Metalúrgica, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET/RJ, Angra dos Reis, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O magnésio é um metal leve com densidade específica de $1,74 \text{ g.cm}^{-3}$, sendo mais leve que o aço e o alumínio que são materiais comumente utilizados na engenharia. Possui número atômico igual a 12, estrutura cristalina hexagonal compacta (HC) e ponto de fusão próximo de 650°C [1-2]. As ligas de magnésio apresentam grande potencial para substituição de outros materiais tecnológicos, devido a leveza, mas têm como principal limitação baixa conformabilidade. A liga AZ31 abordada neste artigo tem como principais elementos de liga o zinco e alumínio que atuam na melhoria da resistência mecânica e a corrosão [3].

Os Processos de Deformação Plástica Severa (DPS) têm sido aplicados aos metais com o objetivo principal de alcançar melhorias de propriedades mecânicas por meio do refinamento de grão. Tratam-se de processos de conformação que induzem elevados níveis de deformação plástica a um sólido, sendo capazes de gerar significativo refino dos grãos, em geral, sem que ocorra alterações significativas de dimensões [4].

Data-se que as primeiras utilizações das técnicas de DPS são de 1991 por Valiev, sendo observado um aumento significativo do refino de grão e o aumento da resistência mecânica em diversas ligas [4-5]. Os processos de deformação plástica severa, tais como o *Equal Channel Angular Pressing* (ECAP), *High Pressure Torsion* (HPT), e *Asymmetric Rolling* (AR) têm sido cada vez mais alvo de investigações ao longo dos anos. Dentre esses processos, a laminação assimétrica ou *Asymmetric Rolling* (AR) se destaca pelo potencial de produção em escala industrial e capacidade de processar produtos planos. A laminação assimétrica é realizada por meio da associação entre a aplicação da compressão direta e o cisalhamento que age sobre o material deformado. A técnica pode ser empregada de duas maneiras, sendo elas, a utilização de cilindros com diâmetros iguais e rotações distintas ou cilindros com diâmetros diferentes possuindo a mesma rotação. Em ambos os casos as velocidades periféricas nas superfícies superior e inferior são diferentes, gerando considerável cisalhamento ao longo da espessura do material laminado [6-7].

Kim et al. [6] aplicaram a técnica de laminação assimétrica em ligas de magnésio AZ31 com redução de 70% de espessura após um único passe com a relação de velocidade dos cilindros de um terço. Inicialmente, as amostras apresentavam tamanhos de grãos na faixa de 30-60 μm , obtendo após o processamento grãos com tamanho médio de 1,4 μm .

O presente estudo tem por objetivo avaliar a influência da assimetria empregada durante o processo de laminação sobre o ponto de vista microestrutural e das propriedades mecânicas da liga de magnésio AZ31.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho dez amostras da liga de magnésio AZ31, inicialmente com 4 mm de espessura, foram laminadas com redução de espessura de 10%, em cinco diferentes temperaturas. Cinco amostras foram submetidas à laminação assimétrica com velocidade de 15 rpm no cilindro superior e 10 rpm no cilindro inferior, enquanto as outras cinco amostras foram laminadas em condição simétrica com rotação de 10,8 rpm para ambos os cilindros. As temperaturas utilizadas durante os processos de laminação assimétrica e simétrica foram temperatura ambiente, 100, 200, 300 e 400 °C. A Figura 1 apresenta a diferença do processo de Laminação Assimétrica e da Laminação Simétrica.

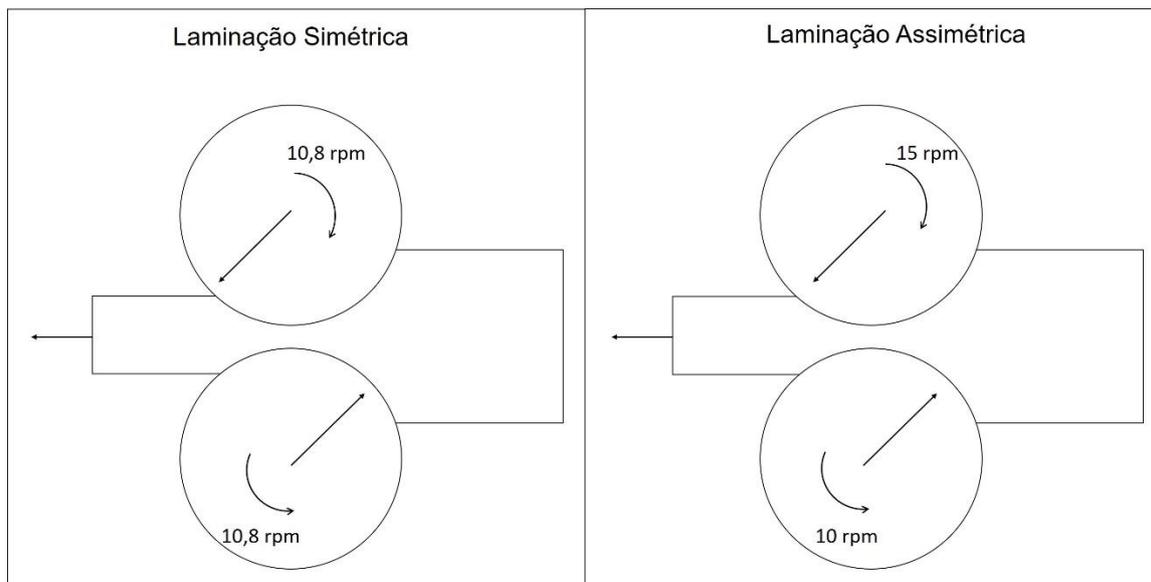


Figura 1. Esquema representativo dos processos de laminação simétrica e assimétrica. Adaptado de [8]

2.1 Caracterização Microestrutural

As amostras foram cortadas em uma cortadora metalográfica (CM40), embutidas a frio em resina epoxi, lixadas manualmente com o auxílio de lixas de SiC e polidas com solução de sílica coloidal. Para o ataque químico foi utilizada uma solução de ácido pícrico, com imersão das amostras por 50 segundos para posteriormente serem analisadas em um microscópio ótico Olympus e Nikon LV150 com aumento de 100X.

2.2 Caracterização Mecânica

Para a determinação da microdureza Vickers (HV) foram realizados ensaios em um microdurômetro da marca Mitutoyo. Em cada amostra, dez medidas foram tomadas na superfície DLxDN (Direção de Laminação x Direção Normal) à meia espessura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O material inicial foi recebido na forma de chapas com 4 mm de espessura, cuja microestrutura está apresentada na Figura 2. Pode se perceber que muitos grãos são equiaxiais, mas apresentam uma distribuição de tamanhos de grãos heterogêneos. Não se tem informações dos processamentos termomecânicos utilizados na produção do material.

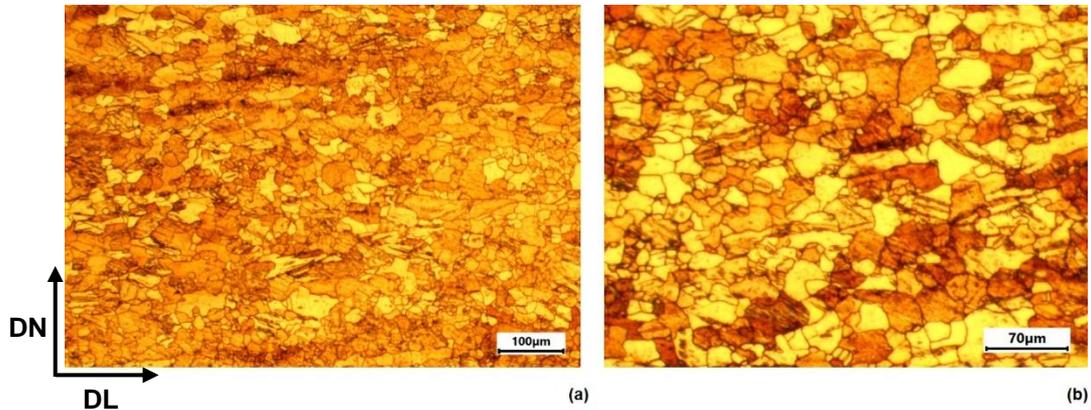


Figura 2. Micrografias da amostra da liga AZ31 na forma como recebida

As micrografias à meia espessura das amostras laminadas estão apresentadas na Figura 3.

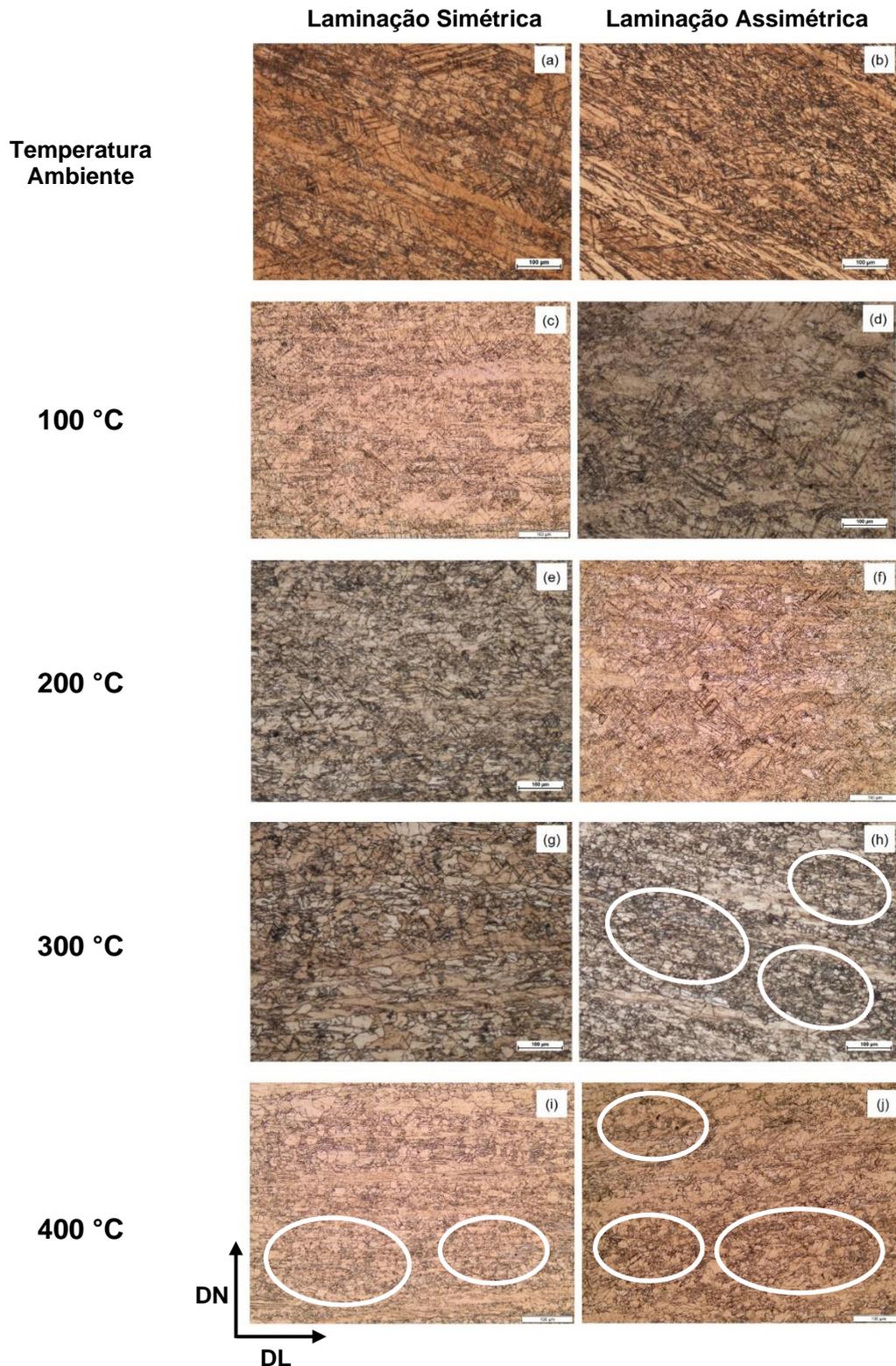


Figura 3. Micrografias das amostras laminadas em condições simétrica e assimétrica em diferentes temperaturas

De uma forma geral é notória a presença de maclas em todas as condições adotadas, indicando que o mecanismo de deformação por maclação ocorreu em todas as temperaturas e nos dois processos de laminação. É possível observar que em baixas temperaturas (ambiente, 100 e 200°C) este mecanismo é dominante, pois

os planos de deslizamentos tendem a apresentar maior dificuldade para ativação. Já nas temperaturas de 300 e 400 °C percebe-se a diminuição das maclas nas micrografias, pois em temperaturas elevadas são ativados outros planos de deslizamentos, além do basal, como o piramidal e prismático, fazendo com que diminua a presença de maclas.

Para a condição de laminação simétrica, observa-se que até a temperatura de 300°C não ocorreu recristalização, mas quando submetido à laminação em 400 °C aparentou ter grãos equiaxiais de menor tamanho. Já para o caso assimétrico parece que a recristalização ocorreu na temperatura de 300°C. A menor temperatura de recristalização para a laminação assimétrica pode ser justificada pelo fato desta técnica gerar uma maior quantidade de deformação no material, sendo este um dos fatores que influencia na recristalização dos materiais. Na Figura 3, os círculos indicam os grãos possivelmente recristalizados.

Para a caracterização mecânica das amostras, foi realizado o ensaio de Microdureza Vickers (HV). Os resultados, foram plotados em um gráfico, mostrados na Figura 4.

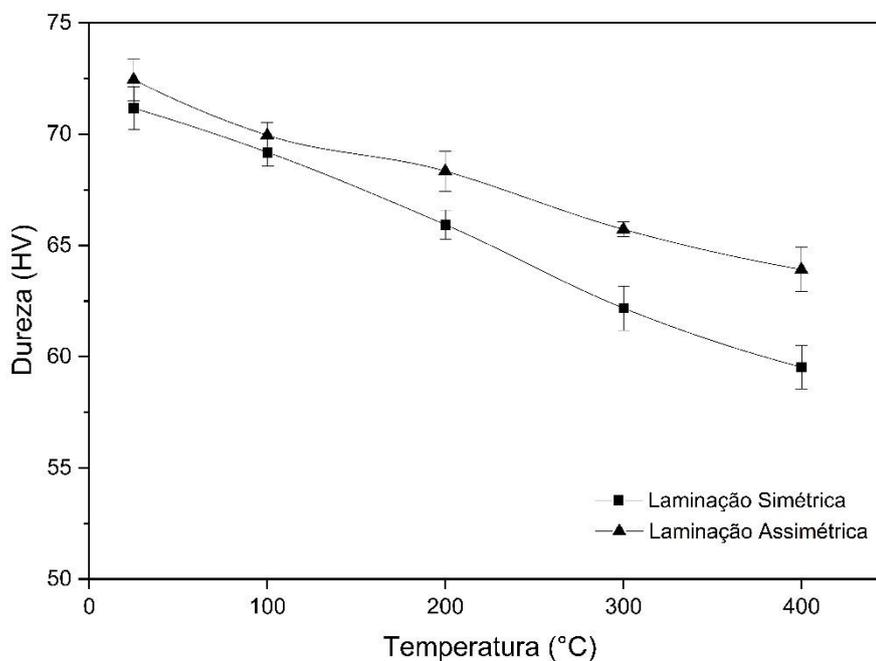


Figura 4. Microdureza Vickers das amostras laminadas.

A amostra como recebida apresentou um valor de dureza em torno de 60 HV. Ao observar a Figura 4, percebe-se que após os processos de laminação simétrica e assimétrica em temperatura ambiente, houve um aumento da dureza para aproximadamente 71 e 73 HV respectivamente, podendo estar relacionado com o encruamento das amostras após as laminações na temperatura ambiente. Ao aumentar a temperatura do processo, pode-se observar um decaimento da dureza passando de 71 HV em temperatura ambiente para 59 HV em 400 °C na laminação simétrica. Já para a laminação assimétrica, a dureza passou de 73 HV em temperatura ambiente para 64 HV em temperatura de 400 °C. Vale ressaltar que todas as amostras submetidas ao processo de laminação assimétrica apresentaram um valor maior de dureza em relação a laminação simétrica, sendo justificado pelo maior nível de encruamento que o processo assimétrico proporciona ao material.

3 CONCLUSÃO

Para o processo de Laminação Simétrica, a recristalização pode ter começado a ocorrer à temperatura de 400 °C. Já para a Laminação Assimétrica, parece que a recristalização ocorreu na temperatura de 300 °C. Desta forma, a recristalização começou antes no processo de laminação assimétrica, devido ao alto nível de encruamento que essa técnica emprega no material, possibilitando a criação de novos núcleos de recristalização. As amostras submetidas ao processo de laminação assimétrica apresentaram valores de durezas mais elevados em todas as condições quando comparadas as amostras submetidas a laminação simétrica, devido ao maior nível de deformação que o processo assimétrico impõe no material.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CEFET/RJ pela bolsa de Iniciação Científica para a realização do projeto e ao Campus Angra dos Reis pela infraestrutura cedida.

REFERÊNCIAS

- [1] Friedrich, H.E., Mordlike B.L., Magnesium Technology: Metallurgy, Design Data, Applications, (2006) Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [2] Gupta, M., Sharon N. M. L., Magnesium, Magnesium Alloys, and magnesium Composites: A John Wiley e Sons, Inc. Hoboken, (2011) New Jersey.
- [3] ASM Internacional Handbook Committee. ASM specialty Handbook: Magnesium and magnesium alloys. Materials Park, Ohio. USA, 1999.
- [4] Valiev, R.Z., Y. Estrin, Z Horita, T.G. Langdon, M.J. Zehetbauer, e Y.T. Zhu. "Producing Bulk Ultrafine-Grained Materials by Severe Plastic Deformation." *Journal of the Minerals, Metals and Materials Society* 58 (2006): 33-39.
- [5] Estrin, Y., e A. Vinogradov. "Extreme grain refinement by severe plastic deformation: A wealth of challenging science." *Acta Materialia* (Elsevier Ltd.) 61 (2013): 782-817.
- [6] KIM W. J. *et al.* Microstructure and mechanical properties of Mg–Al–Zn alloy sheets severely deformed by asymmetrical rolling. *Scripta Materialia*, v. 56, p. 309–312, 2007.
- [7] Yu, H. *et al.* Asymmetric Cryorolling for Fabrication of Nanostructural Aluminum Alloys, *Scientific Reports*, v. 2, p. 1-5, 2012.
- [8] Yu, H. Liang., Lu, C., Tieu, A. Kiet., Li, H. Jun., Godbole, A. & Zhang, S. Hong. (2016). Special rolling techniques for improvement of mechanical properties of ultrafine-grained metal sheets: a review. *Advanced Engineering Materials*, 18 (5), 754-769.