



ESTUDO DA CINÉTICA DE RECRISTALIZAÇÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO AA 8011

Emmanuel Pacheco Rocha Lima
Jerusa Borges Cordeiro Fonseca de Matos
Rodrigo de Souza Mendonça
Yogendra Prasad Yadava
Ricardo Artur Sanguinetti Ferreira

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Departamento de Engenharia Mecânica – DEMEC – Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n – Cidade Universitária, 50.741-530 – Recife – PE, e-mail: ras@npd.ufpe.br

***Resumo:** O alumínio é um dos metais mais usados na indústria metal-mecânica moderna. O baixo peso específico aliado à boa resistência de suas ligas, tornam este metal bastante atraente para diversas aplicações. Essa diversidade depende não só da composição da liga, mas, principalmente, das transformações microestruturais que ela venha sofrer. Nesse contexto, o estudo da cinética de recristalização assume um papel relevante por possibilitar o controle do estado encruado da liga em função do tempo de tratamento, atendendo as diferentes especificidades de produtos derivados. Preliminarmente, foram feitas análises dinâmicas em DSC para determinação da temperatura de recristalização da liga encruada. Em seguida, diferentes amostras da liga foram tratadas em temperaturas próximas à de recristalização em tempos de 5 a 180 minutos. Depois de tratadas, as amostras foram submetidas a ensaios mecânicos para levantamento das curvas Propriedades versus Tempo de Tratamento. Os valores das propriedades foram relacionados biunivocamente aos da fração transformada para determinação da cinética de recristalização. Os resultados mostraram que a equação da fração recristalizada segue a lei de formação prevista por Johnson-Mehl-Avrami para qualquer que seja a propriedade considerada. Chegou-se a conclusão de que a cinética de recristalização tem um comportamento anisotrópico, onde o sentido longitudinal comporta-se diferentemente do transversal.*

***Palavras-chave:** Recristalização, Cinética, Ligas de Al-Fe-Si, Ligas de alta formabilidade.*

1. INTRODUÇÃO

O alumínio é o mais importante dos metais não ferrosos e o desenvolvimento de suas técnicas de fabricação permite que o produto acabado seja produzido a um baixo custo. Uma grande combinação de propriedades, tais como o seu baixo peso específico, alta resistência à corrosão, boa condutibilidade térmica e elétrica, além de poder ser facilmente trabalhado em qualquer forma, faz do alumínio e de suas ligas uns dos materiais mais versáteis utilizados na indústria metal-mecânica. A diversidade de aplicações depende não só da composição química da liga, mas, principalmente, das transformações microestruturais que ela venha a sofrer durante os tratamentos térmicos e termomecânicos realizados.

As ligas eutéticas de alumínio, de um modo geral, apresentam uma cinética de recristalização fortemente dependente da composição química e das condições de vazamento do metal líquido no “caster” (Ferreira et al, 2000 e Moris, 1977). A microestrutura e as propriedades mecânicas da liga ao final do processo são condicionadas pela microestrutura inicial e, portanto, a seqüência termomecânica a ser imposta deve ser adequada em função das condições iniciais e do produto final para o qual a liga será destinada. Para contornar esse problema, os parâmetros de “caster” e as condições de vazamento foram fixados.

A liga AA 8011 é uma das mais versáteis ligas comerciais de alumínio (Clemente, 1992 e Bray, 1989). Seu baixo teor em elementos de liga favorece a formabilidade e, quando processada adequadamente, é suficientemente resistente para suportar grandes esforços desenvolvidos ao longo da linha de produção. Por apresentar tais características, ela vem sendo uma das ligas mais usadas em produtos derivados de folhas finas, principalmente na indústria farmacêutica e de alimentos.

Para ampliar este espectro de multi-aplicabilidade da liga, é necessário que estudos sobre a cinética de recristalização sejam efetuados (Sakaguchi et al, 1986 e Davies et al, 1998) a fim de adequar as possíveis combinações da relação formabilidade x resistência (Moris, 1977; Clemente, 1992 e Rodrigues et al, 1990) Desse modo, possibilita a indústria controlar o estado encruado da liga em função do tempo de tratamento (fração recristalizada), adequando-a às especificações relativas à fabricação dos diferentes produtos derivados.

Com base nas propriedades mecânicas, no tempo de tratamento e na fração transformada, serão determinadas as cinéticas de recristalização, segundo a Lei de Formação prevista por **Johnson-Mehl-Avrami**, para cada propriedade analisada (Gorelik, 1981 e Christian, 1975). Do ponto de vista científico, este estudo dará um suporte fundamental para a compreensão dos fenômenos envolvidos nesse processo, transformando o conhecimento científico em tecnologia fundamental à indústria de transformação.

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A liga AA 8011, de composição química mostrada na tabela 1, foi fornecida pela Alcoa Alumínio S.A. na forma de tiras deformadas 80% a frio retiradas diretamente da linha de produção.

Tabela 1. Composição química da liga AA 8011

%Fe	%Si	%Ti	%B	%Mn	%Mg	%Zn	%Cu	Outros
0,8000	0,5900	0,0310	0,0045	0,0040	0,0030	0,0020	0,0010	0,0187

Inicialmente, foram realizadas análises térmicas dinâmicas em DSC, com aquecimento a 5°C/min, para a determinação da temperatura de recristalização. Foi usado um equipamento do tipo DSC - 2010 TA, equipado com cadinhos de platina e referência de molibdênio. Em seguida, diferentes amostras da liga foram tratadas em temperaturas próximas à temperatura de recristalização (305, 315 e 325°C) em diferentes tempos que variaram entre 5 e 180 minutos para as amostras tratadas a 305°C, 5 e 120 para as tratadas a 315°C e entre 5 e 90 para as tratadas a 325°C. Os tratamentos térmicos foram realizados ao ar em um forno tipo mufla, equipado com termopares do tipo K e acuidade de $\pm 3^\circ\text{C}$. Depois de tratadas, as amostras foram submetidas a ensaios mecânicos, onde valores para dureza, limite de escoamento e alongamento foram retirados para levantamento das curvas Propriedades versus Tempo de Tratamento. Para dureza foi utilizado um penetrador Vickers com uma carga de 5 Kg. Os ensaios de tração foram feitos segundo a norma ASTM-E8M-89B, nos sentidos longitudinal e transversal à deformação. Finalizados os tratamentos térmicos e os ensaios mecânicos, os materiais foram submetidos ao processamento metalográfico tradicional. Para difração de raios-x, foi usado um difratômetro D5000 Siemens, equipado de um goniômetro de montagem ω e monocromador de cobre, que permite trabalhar com a raia $K\alpha_1$ de comprimento de onda $\lambda = 1,5405 \text{ \AA}$. Por fim, os valores das propriedades mecânicas foram relacionados biunivocamente aos valores da fração transformada para determinação da equação $Y = 1 - \exp[-(kt)^n]$, que estabelece a cinética de recristalização segundo **Johnson-Mehl-Avrami**.

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

3.1. Análise Térmica Diferencial

O resultado da análise térmica mostrou que a liga AA 8011, em decomposição anisotérmica, possui um acidente sobre a curva DSC próximo a 315°C (figura 1). Esse acidente, um pico endotérmico característico de recristalização primária (Ferreira et al, 2000), tem início à aproximadamente 290°C e término por volta dos 330°C. Para avaliar os efeitos da variação da temperatura sobre a cinética de recristalização, foram consideradas ainda as temperaturas de 305°C e 325°C. Os tratamentos de recozimento foram realizados nestas temperaturas (305, 315 e 325°C), em tempos que variaram entre 0 e 180 minutos.

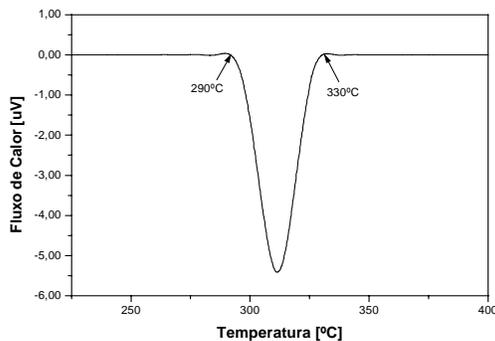


Figura 1. Curva DSC do fluxo de calor em função da temperatura para a liga deformada 80%.

3.2. Propriedades Mecânicas

Para os tratamentos térmicos realizados a 305°C, os resultados obtidos revelaram uma lenta diminuição da dureza, passando de 52,6 HV₅, no início do tratamento, para 47,3 após 30 minutos. Para tempos superiores a dureza cai para valores próximos a 32 HV₅, descrevendo um comportamento sigmoidal como mostrado na figura 2. A lenta evolução da fração recristalizada é caracterizada pela suavidade da curva mostrada na figura 3. Os parâmetros da equação da fração recristalizada segundo J-M-A, $n = 1,5273$ e $k = 0,2265$, foram calculados a partir dos dados retirados do diagrama $\ln[-\ln(1-Y)]$ versus $\ln(t)$ mostrado na figura 4. A partir dos parâmetros n e k obtemos a equação da fração recristalizada $Y = 1 - \exp[-(0,2265t)^{1,5273}]$ que expressa a cinética de recristalização a 305°C. Com base na equação da fração recristalizada, verificou-se que seriam necessários cerca de 560 min para recristalizar totalmente o material.

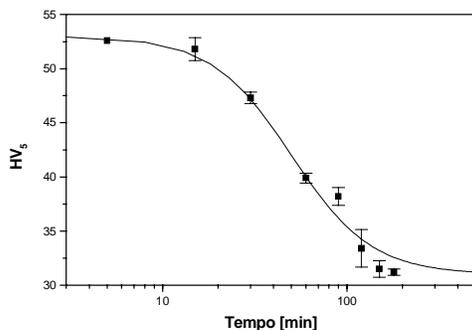


Figura 2. Curva da dureza Vickers, carga de 5 kg, em função do tempo de tratamento para a temperatura de 305°C

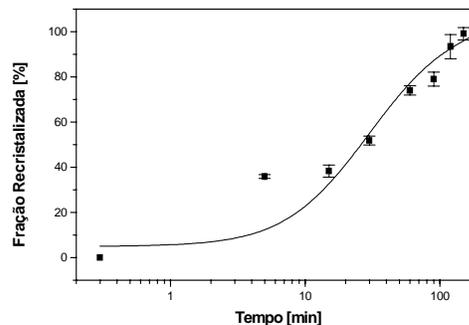


Figura 3. Curva da fração recristalizada em função do tempo de tratamento para a temperatura de 305°C

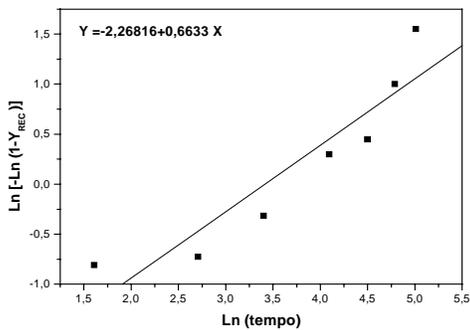


Figura 4. Diagrama $\ln [-\ln (1-y)]$ versus $\ln(t)$ para temperatura de recozimento de 305°C.

Os resultados obtidos para as amostras tratadas a 315°C, temperatura de pico de recristalização, revelaram uma queda mais acentuada no grau de encruamento a partir de 50 minutos de tratamento (figura 5), quando comparada àquelas tratadas à 305°C. Num intervalo de apenas 50 minutos, a dureza cai de 54 para 35 HV₅. A evolução da fração recristalizada é mostrada na figura 6. Os valores de k e n para esta condição, calculados a partir do digrama da figura 7, são respectivamente 0,012104825 e 7,74256. Com base nos valores de n e k, obtemos a equação da fração recristalizada $Y = 1 - \exp [-(0,012105t)^{7,742256}]$, para 315°C. De acordo com a equação da fração recristalizada, são necessários 120 minutos para recristalizar totalmente o material.

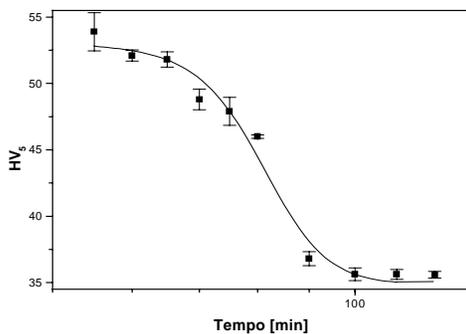


Figura 5. Curva da dureza Vickers, carga de 5 kg, em função do tempo de tratamento para a temperatura de 315°C

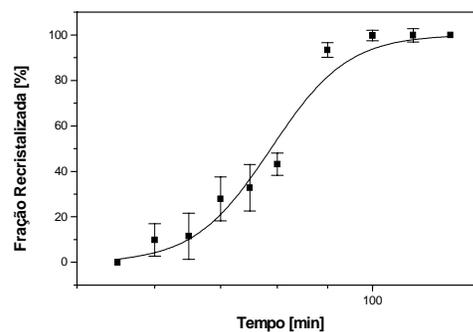


Figura 6. Curva da fração recristalizada em função do tempo de tratamento para a temperatura de 315°C

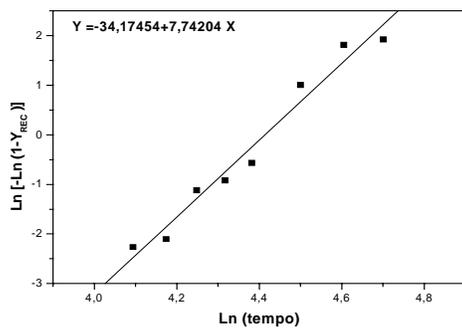


Figura 7. Diagrama $\ln [-\ln (1-y)]$ versus $\ln(t)$ para temperatura de recozimento de 315°C.

Resultados similares aos anteriores foram obtidos para as amostras tratadas a 325°C. Estes, no entanto, revelaram uma velocidade de reação ainda maior que aqueles obtidos para as amostras tratadas a 315°C. Isso pode ser observado através da rápida queda na dureza e na evolução da fração recristalizada, mostradas nos gráficos das figuras 8 e 9. Os valores de k e n, calculados a partir do diagrama da figura 10, são respectivamente 0,0852516 e 0,91447. A equação que expressa a cinética de recristalização para 325°C é $Y = 1 - \exp [-(0,0852516t)^{0,91447}]$. Com base na equação da fração recristalizada, o tempo necessário para recristalizar o material é de apenas 95 minutos .

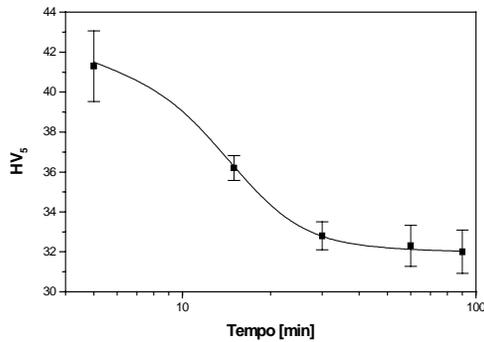


Figura 8. Curva da dureza Vickers, carga de 5 kg, em função do tempo de tratamento para a temperatura de 325°C

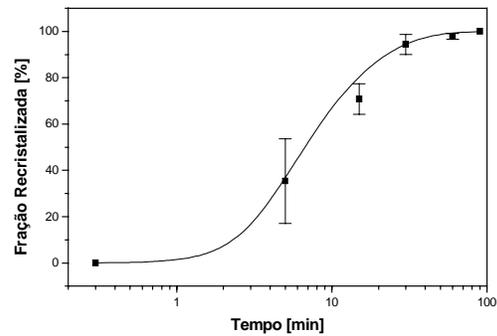


Figura 9. Curva da fração recristalizada em função do tempo de tratamento para a temperatura de 325°C

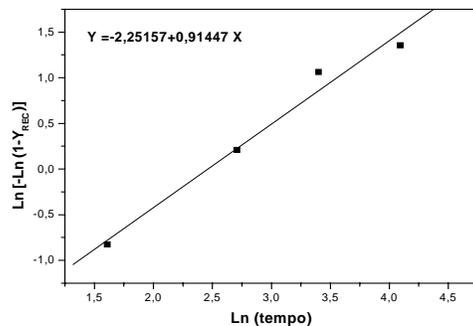


Figura 10. Diagrama $\ln [-\ln (1-y)]$ versus $\ln(t)$ para temperatura de recozimento de 325°C.

Como resultado dos ensaios de tração uniaxial, onde foram avaliados o limite de escoamento e o alongamento nas direções longitudinal e transversal à deformação (laminação) para uma única temperatura (315°C), obtivemos valores bem diferentes, em relação aos encontrados para dureza, para os parâmetros da equação da fração recristalizada segundo J-M-A. Diferenças entre as cinéticas de recristalização para as direções longitudinal e transversal também foram encontradas. Para o limite de escoamento, na direção longitudinal, observamos uma queda significativa na tensão após 20 minutos de tratamento, enquanto que, para a direção transversal, a queda na tensão só ocorre após 30 minutos de tratamento, como mostrado na figura 11. No estado encruado os valores desta propriedade, nas duas direções, são iguais a 205 MPa, aproximadamente. Passados os 5 minutos na temperatura de recozimento (315°C), o limite de escoamento na direção longitudinal (laminação) cai para 190 MPa, enquanto que, para direção transversal, permanece inalterado. A partir de 20 minutos de tratamento o limite de escoamento para a direção transversal passa a diminuir regularmente. Os gráficos da figura 12 mostram comportamentos bem semelhantes, para a fração recristalizada em função do tempo, entre as amostras nos dois sentidos, diferindo apenas nos instantes final e inicial. Os parâmetros k e n da equação da fração recristalizada segundo J-M-A, calculados a partir dos diagramas das figuras 13 e 14, são respectivamente 0,01676 e 0,89292 para as amostras ensaiadas no sentido longitudinal e, 0,01505 e 1,2957 para as ensaiadas no sentido transversal à deformação. As equações das frações recristalizadas que expressam a cinética de recristalização nas duas direções, longitudinal e transversal, são respectivamente $Y = 1 - \exp [-(0,01676t)^{0,89292}]$ e $Y = 1 - \exp [-(0,01505t)^{1,2957}]$. O tempo necessário para recristalizar totalmente o material, de acordo com as equações de J-M-A, seria de aproximadamente 520 minutos para a direção longitudinal e 295 minutos para a transversal.

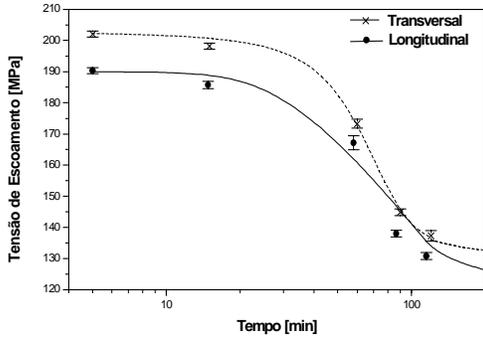


Figura 11. Curva dos limites de escoamento nas direções longitudinal e transversal à laminação.

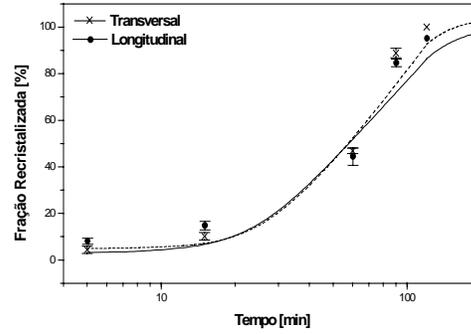


Figura 12. Curva das frações recristalizadas nas direções longitudinal e transversal à laminação.

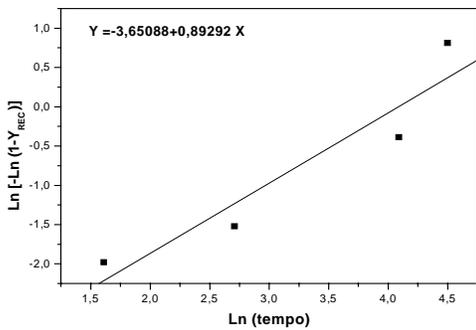


Figura 13. Diagrama $\ln [-\ln (1-y)]$ versus $\ln(t)$ para direção longitudinal - 315°C .

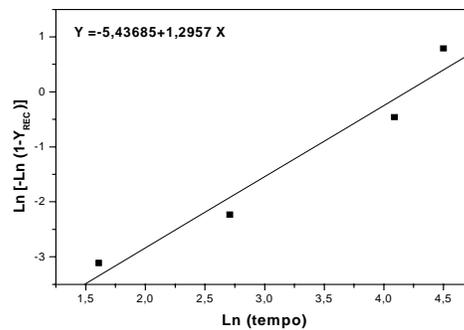


Figura 14. Diagrama $\ln [-\ln (1-y)]$ versus $\ln(t)$ para direção transversal - 315°C .

As curvas de evolução do alongamento mostram que, em relação a esta propriedade, a recristalização não é plena para tempos inferiores à 120 minutos. Para o alongamento na direção longitudinal, verificou-se um aumento significativo deste logo nos primeiros minutos de tratamento. Após 15 minutos a 315°C , o alongamento encontrado era da ordem de 5% e, aos 120 minutos, era de 19%. Em contra partida, para a direção transversal, o alongamento praticamente não se alterou até os 20 minutos de tratamento. Após 60 minutos, o alongamento era da ordem de 7%, enquanto aos 120 minutos, era de 16%. A figura 15 mostra que, na direção longitudinal, o alongamento cresce mais rapidamente que na direção transversal. Esta tendência é ratificada pela evolução da fração recristalizada, mostrada no gráfico da figura 16. Os valores de k e n , calculados a partir dos diagramas das figuras 17 e 18, são respectivamente 0,01514 e 1,27422, para direção longitudinal, e 0,008207 e 0,79114, para direção transversal. Para este caso, as equações que expressam a cinética de recristalização para as direções longitudinal e transversal são, respectivamente, $Y = 1 - \exp [-(0,01514t)^{1,27422}]$ e $Y = 1 - \exp [-(0,008207t)^{0,79114}]$. De acordo com a equação de J-M-A, o tempo necessário para recristalizar totalmente o material é de aproximadamente 300 minutos para o primeiro caso e 1400 minutos para o segundo.

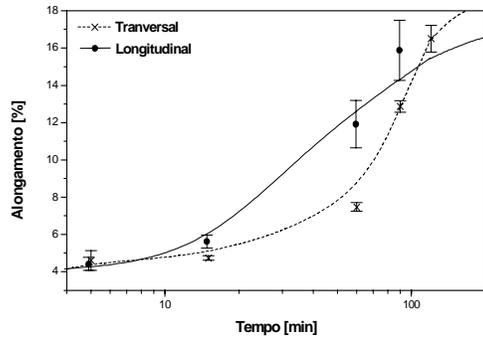


Figura 15. Curva dos alongamentos nas direções longitudinal e transversal à laminação.

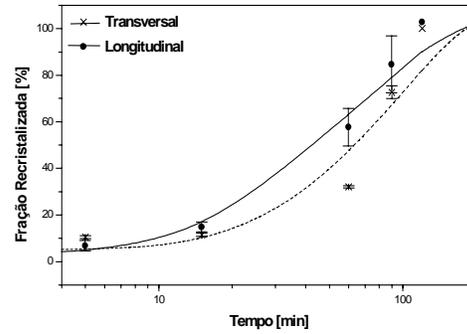


Figura 16. Curva das frações recristalizadas nas direções longitudinal e transversal à laminação.

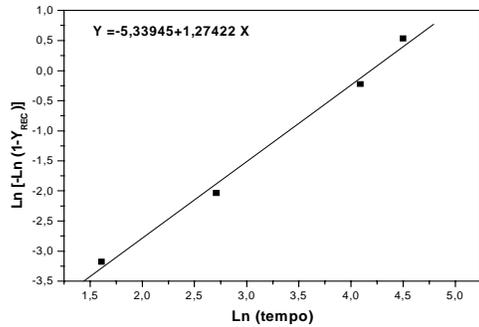


Figura 17. Diagrama $\ln [-\ln (1-y)]$ versus $\ln(t)$ para direção longitudinal - 315°C .

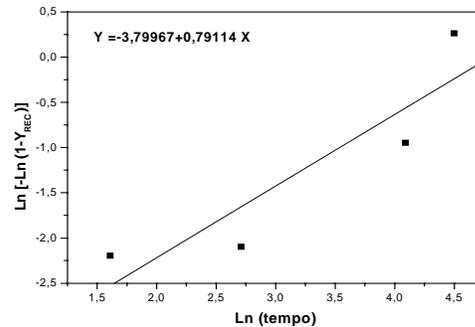


Figura 18. Diagrama $\ln [-\ln (1-y)]$ versus $\ln(t)$ para direção transversal - 315°C .

3.3. Análise Microestrutural

As difrações de raios-x, para as amostras encruada (a) e recristalizada (b), mostram o efeito da recristalização sobre os planos de baixos índices da matriz deformada. Tanto as intensidades quanto a posição das raia são afetadas pela recristalização, como mostrado no difractograma da figura 19. O material recristalizado apresenta uma maior intensidade das raia, principalmente aquelas referentes aos planos $\{111\}$ e $\{200\}$, assim como, um recuo destas da ordem de $0,89^{\circ}$ em relação ao material encruado. Esse comportamento se deve à recuperação da estrutura cristalina proporcionada pela recristalização do material.

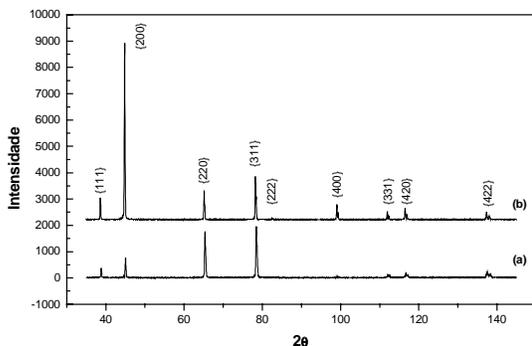


Figura 19. Difractogramas da liga (a) encruada e (b) recristalizada.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A cinética de recristalização acompanhada pela variação de dureza, apesar das limitações deste processo (medidas pontuais), mostra-se uma importante ferramenta, atuando como orientadora para seleção dos tempos de tratamento em função da temperatura (Woldt et al, 1995). A equação de Johnson-Mehl-Avrami interpolando todos os pontos, desde a origem, mostra resultados bastante consistentes. O gráfico da figura 5 nos mostra que a evolução da dureza, para uma temperatura de 315°C, assume um comportamento sigmoidal (do início ao fim do tratamento), com os pontos experimentais ajustando-se satisfatoriamente a curva. Os gráficos das figuras 2 e 8 nos mostram o efeito da temperatura sobre a cinética de recristalização. A elevação de 10°C na temperatura de recozimento acelera significativamente a recristalização. Após 30 minutos de tratamento a 325°C, o valor da dureza passa de 65 para 47 HV₅. Na temperatura de 305°C, uma redução semelhante só é obtida num tempo de 30 minutos. Os valores desta propriedade tendem para valores próximos à 32-35 HV₅, após 180 minutos para o tratamento a 305°C; após 120 minutos para o tratamento a 315°C e, após 30 minutos para o tratamento a 325°C. De acordo com as equações das cinéticas obtidas a partir da dureza, o tempo para o final da recristalização a 325°C é 5 vezes menor que a 305°C. A redução no tempo se justifica pelo aumento da mobilidade atômica (difusão) dos elementos constituintes que intensifica a recristalização com a elevação da temperatura (Porter et al, 1992; Doherty et al, 1997; Gorelik, 1981 e Christian, 1975).

A cinética de recristalização de um material laminado tende a apresentar diferentes equações para fração transformada, desde que obtida a partir de propriedades mecânicas levantadas por tração uniaxial (Ferreira, 2001). Estas diferenças acontecem em função das diferentes direções consideradas pelo ensaio de tração uniaxial. Os diferentes níveis de encruamento, longitudinal e transversal produzidos pela laminação, atuam como força motriz de forma diferenciada durante o recozimento, gerando propriedades mecânicas com um elevado grau de anisotropia no material. Para um mesmo tempo de tratamento, a tensão de escoamento na direção transversal é sempre maior que na direção longitudinal. Por outro lado, após o recozimento, o alongamento tende a ser maior na direção longitudinal que na direção transversal. Este comportamento pode ser justificado pela maior força motriz para recristalização na direção longitudinal. A energia elástica armazenada nas discordâncias embarreiradas pela deformação é maior na direção de laminação que na direção transversal (Doherty et al, 1997). Assim, a tensão de recuo, oriunda desta energia elástica armazenada, acelera a recristalização na direção longitudinal. Considerando-se as equações que descrevem a cinética de recristalização a partir do alongamento, o tempo necessário à completa recristalização seria de 300 minutos para direção longitudinal e 1400 na direção transversal. Embora a diferença seja demasiadamente grande para as duas direções, este resultado era esperado, uma vez está de acordo com a bibliografia existente sobre o assunto.

5. CONCLUSÃO

A cinética de recristalização é um importante instrumento para determinação dos tempos de recozimento de forma racional. As equações que descrevem a cinética de recristalização seguem com razoável aproximação a lei empírica formulada por Johnson, Mehl e Avrami e podem ser estabelecidas a partir das propriedades mecânicas como a dureza, o limite de escoamento e o alongamento. Estas equações apresentam parâmetros que variam de acordo com a temperatura de tratamento e com a propriedade mecânica escolhida para o acompanhamento.

As equações da fração recristalizada, obtidas a partir da dureza, são:

$$Y = 1 - \exp [-(0,012105t)^{7,742256}], \text{ para temperatura de } 315^{\circ}\text{C};$$

$$Y = 1 - \exp [-(0,2265t)^{1,5273}], \text{ para temperatura de } 305^{\circ}\text{C e}$$

$$Y = 1 - \exp [-(0,0852516t)^{0,91447}], \text{ para a temperatura de } 325^{\circ}\text{C}.$$

Escolhendo-se o limite de escoamento como propriedade para acompanhamento da recristalização a 315°C, a equação para fração recristalizada na direção longitudinal é:

$$Y = 1 - \exp [-(0,01676t)^{0,89292}].$$

Para direção transversal, a equação para fração recristalizada é:

$$Y = 1 - \exp [-(0,01505t)^{1,2957}].$$

Escolhendo-se o alongamento como propriedade para acompanhamento da recristalização a 315°C, a equação que descreve a fração recristalizada na direção longitudinal é:

$$Y = 1 - \exp [-(0,01514t)^{1,27422}].$$

Para direção transversal, a equação para a fração recristalizada é:

$$Y = 1 - \exp [-(0,008207t)^{0,79114}].$$

De acordo com a cinética descrita pela dureza, o término da recristalização a 315°C acontece num tempo de tratamento mínimo igual a 120 minutos. Na temperatura de 305°C, o término da recristalização ocorre num tempo mínimo de 560 minutos e, a 325°C, num tempo de 97 minutos.

Considerando-se a cinética estabelecida pelo limite de escoamento, o final da recristalização na direção longitudinal acontece num tempo mínimo igual a 520 minutos e, na direção transversal, num tempo mínimo igual a 295 minutos.

Levando-se em consideração a cinética estabelecida pelo alongamento, o final da recristalização na direção longitudinal acontece num tempo mínimo igual a 300 minutos e, na direção transversal, num tempo mínimo igual a 1400 minutos.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Capes, ao CNPq e à Propesq / UFPE (PIBIC), pelas bolsas de Iniciação Científica e Mestrado. Agradecemos igualmente à Alcoa Alumínio S.A pelo suporte dado a este projeto e ao seu técnico Hermes Lima pelos ensaios mecânicos.

7. REFERÊNCIAS

- Bray, J. W., 1989, "Aluminium Mill and Engineered Wrought Products" – Metals Handbook Properties and Selection of Nonferrous Alloys, ASM International, Vol. 2, 10nd ed., pp. 29-61.
- Christian, J. W., 1975, "The Theory of Transformations in Metals", Pergamon Press, New York.
- Clemente, A., 1992, "Liga de Alta Formabilidade 8XXX", Relatório DT-093/87, Documento de Circulação Interna da Alcoa Alumínio S.A.
- Davies, R. K.; Randle, V. and Marshall, G. S., 1998, "Continuous Recrystallization – Related Phenomena in a Commercial Al-Fe-Si", Acta Materialia, Vol. 46, No. 17, pp. 6021-6032.
- Doherty, R. D., Hughes, D. A., Humphreys, F. J., Jonas, J. J., Jensen, D. J., Kassner, M. E., King, W. E., McNelley, T. R., McQueen, H. J. and Rollet, A. D., 1997, "Current issues in recrystallization: a review", Materials Science & Engineering A, Elsevier, pp. 219-274.
- Ferreira, R. A. S., Lima, E. P. R., Alves, T. T. e Carlos, H. L., 2000, "Efeito do Teor de Silício sobre as Seqüências Termomecânicas da Liga AA 8011", 55º Congresso Anual da ABM em CD-ROM, Rio de Janeiro – RJ.
- Ferreira, R. A. S., 2001, "Estudo da Cinética de Recristalização da Liga AA 8011 na Condição H18", Relatório Técnico – UFPE /Alcoa Alumínio S.A.
- Gorelik, S. S., 1981, "Recrystallization in Metals and Alloys", Mir Publishers, 2nd ed., Moscow.
- Moris, L. R., 1977, "Structure of Continuously cast Eutectics Used in Manufacture of Fine-Grained Aluminium Sheet – Solidifications and Casting of Metals", Proceedings of an International Conference on Solidification, Sheffield, July.
- Porter, D. A. and Easterling, K. E., 1992, "Phase Transformations in Metals and Alloys", Ed. Nelson Thornes, Cheltenham, United Kingdom, 2nd ed., pp. 263-379.
- Rodrigues, P. M. B. and Furrer, P., 1990, "On the Tensile Behavior of Heterogeneous AlFeMn Fine Grained Alloys"- Physical and Mechanical Properties.
- Sakaguchi, M.; Yamanoi, T. and Hasegawa, M., 1986, "Recrystallization Behavior of Al-Fe Alloy Foils With Rapid Heating", Z. Metallkunde, Germany.
- Woldt, E. and Juul Jensen, 1995, "Recrystallization Kinetics in Copper: Comparison between Techniques", Metallurgical and Materials Transactions A, Vol. 26 A, July, pp. 1717-1724.

STUDY OF RECRYSTALLIZATION KINETICS OF THE AA 8011 ALUMINIUM ALLOY

Emmanuel Pacheco Rocha Lima
Jerusa Borges Cordeiro Fonseca de Matos
Rodrigo de Souza Mendonça
Yogendra Prasad Yadava
Ricardo Artur Sanguinetti Ferreira

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Departamento de Engenharia Mecânica – DEMEC –
Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n – Cidade Universitária, 50.741-530 – Recife – PE, e-mail:
ras@npd.ufpe.br

Abstract: *The aluminium is one of the more used metals in the modern metal-mechanics industry. The low weight specific joined to the good resistance of its alloys, make it a quite attractive metal for several applications. That diversity depends not only on the composition of the alloy, but, mainly, on the microstructural transformations that it comes to suffer. In that context, the study of the recrystallization kinetics assumes an important paper on facilitating the control of the work-hardened state of the alloy in function of the time of treatment, assisting the different specifications of derived products. Preliminary dynamic analyses were made in DSC for determination of the temperature of recrystallization of the hardened alloy. Soon after, different samples of the alloy were treated in temperatures close to the recrystallization one in times of 5 to 180 minutes. After treatment, the samples were submitted to mechanical tests for lifting of the Properties versus Time of Treatment curves. The values of the properties were related to the of the fraction transformed for determination of the recrystallization kinetics. The results showed that the equation of the fraction recrystallized follows the formation law foreseen by Jonhson-Mehl-Avrami for any that is the considered property. It issues that the conclusion that the recrystallization kinetics has an anisotropical, behavior where the longitudinal direction behaves differently of the traverse one.*

Keywords: *Recrystallization, Kinetics, Al-Fe-Si Alloys, High formability alloys.*