



CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL DA LIGA DE ALUMÍNIO AA 3105, APÓS TRATAMENTOS TERMOMECAÂNICOS

Pestana, C.C. - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - c.pestana@aluno.ifsp.edu.br

Souza, C.M.P. - Universidade Presbiteriana Mackenzie - caiquemovio@gmail.com

Oliveira, R.R. – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - rolivier@ipen.br

Seriacopi, V. - Instituto Mauá de Tecnologia - vanessa.seriacopi@maua.br

Junior, W.S. - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - wilsoncarlos@ifsp.edu.br – Av. Salgado Filho, 3501 – Centro – Guarulhos – SP, 07115-000

RESUMO

As ligas de alumínio da série 3XXX vêm se destacando com uma alternativa para aprimorar os processos produtivos em vários ramos da indústria. Nesta pesquisa, investigou-se as propriedades mecânicas e microestruturais da liga após laminação e tratamento térmico de recozimento na liga de alumínio AA 3105. Os corpos de provas foram fabricados pelo processo de eletroerosão a fio. As amostras foram submetidas a laminação a frio com deformações de 15% até 60%, posteriormente realizado recozimento entre 150 e 300 °C por 1 hora. Os corpos de provas foram submetidos a ensaios de tração, dureza e caracterização microestrutural. Os resultados obtidos apresentam aumento de 22% de dureza no corpo de prova com 60% de deformação em comparação com o corpo de prova com 15% de deformação mostrando o encruamento ocorrido nas amostras; nos corpos de prova recozidos, houve redução de 15,3% com o aumento da temperatura de recozimento.

Palavras-chave: Liga AA 3105, laminação, caracterização microestrutural, recozimento.

INTRODUÇÃO

O alumínio (Al) e suas ligas se destacam por possuir excelentes propriedades físico-químicas, em especial o baixo peso específico, a resistência à corrosão, altas condutividades térmica e elétrica e a possibilidade de reciclagem a longo prazo (1).

O Al e suas ligas constituem um dos conjuntos de materiais mais utilizados, somente atrás do aço, para diversos setores industriais como construção civil, indústria de alimentos, defensivos agrícolas, automobilística e aeronáutica (2).

Com o intuito de aumentar a resistência mecânica, novos processos termomecânicos têm sido empregados, assim como diversas combinações de elementos químicos para obtenção de propriedades adequadas em uma aplicação específica (3). Entre os diversos elementos metálicos empregados nestes processos pode-se citar o cobre (Cu), manganês (Mn), silício (Si), magnésio (Mg), zinco (Zn), índio (In), gálio (Ga) e estanho (Sn) (4).

A constante busca por redução de peso e custos de estruturas, alinhada com a redução de emissões de carbono e de custos em diversos segmentos industriais, impõem materiais mais leves e resistentes como alternativa ao aço laminado (5). Com isso, materiais como ligas de alumínio, magnésio, titânio e compósitos poliméricos como a fibra de carbono, têm ocupado um espaço cada vez maior nos setores produtivos (6). Alguns destes materiais atingem resistência mecânica compatível com a do aço carbono, ou até o superam, após trabalhos termomecânicos, possibilitando assim a aplicação desses materiais visando à redução de peso (7). As ligas da série 3XXX vem sendo utilizadas na indústria como uma possível solução para redução de peso, custo e consumo de energia (8).

As ligas de alumínio 3105 contém entre outros elementos manganês e silício, sendo empregadas em carrocerias de ônibus, furgões, reboques, vagões, utensílios domésticos, equipamentos para indústria química e alimentícia, telhas, calhas, forros entre outros (9-10). Essas aplicações se devem à boa resistência à corrosão, boa conformabilidade e moderada resistência mecânica (11).

Com base no que foi apresentado, este trabalho tem o objetivo de obter maior conhecimento na evolução da microestrutura e das propriedades

mecânicas da liga de alumínio AA 3105, sob diferentes cenários de laminação a frio sendo aplicado deformações de 15% até 60%, seguida por realização de tratamento térmico de recozimento entre temperaturas 150 a 300 °C por 1 hora.

As amostras obtidas por eletroerosão a fios foram submetidas a ensaio de tração, ensaio de dureza, difração de raios X, além de análise por microscopia ótica e por microscopia eletrônica de varredura antes e após os ensaios.

MATERIAIS E MÉTODOS

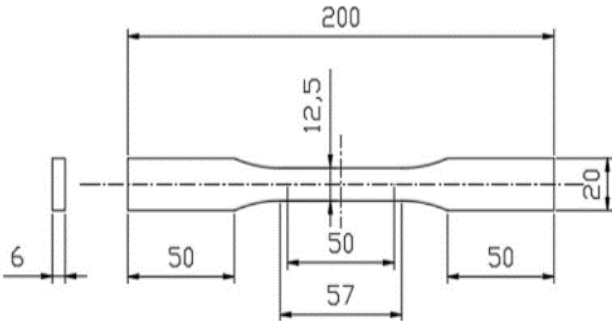
O material utilizado foi uma liga de alumínio laminada a quente de nomenclatura 3105, com as dimensões de 212 x 291 x 6 mm (comprimento x largura x espessura). A composição química é descrita na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química da liga de alumínio AA 3105 (% massa) (2).

Liga	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Outros	Al
3105	0,56	0,65	0,28	0,80	0,76	0,17	0,38	0,1	0,15	97,8

Das chapas de alumínio AA 3105 foram extraídos 24 corpos de provas através da eletroerosão a fio seguindo a norma ASTM E8/E8M. As dimensões são mostradas na figura 1.

Figura 1 – Dimensões do corpo de prova (em mm).



Os corpos de provas cortados por eletroerosão e a identificação deles são mostrados na figura 2.

Figura 2 - Corpos de prova da liga AA3105 obtidos por eletroerosão a fio a) chapa e b) corpos de prova.



As amostras foram separadas em dois grupos, sendo o primeiro grupo composto por 12 corpos de prova que passaram somente por laminação a frio, na qual foram aplicadas deformações de 15%, 30%, 50% e 60% em três corpos de prova.

O segundo grupo de amostras também foi composto por 12 corpos de prova e estes corpos de provas foram submetidos a 50% de deformação com posterior recozimento cuja as temperaturas foram de 150 °C, 200 °C, 250 °C e 300 °C, por 1 hora, sendo utilizados 3 corpos de provas para cada temperatura.

O recozimento foi realizado em um forno tipo mufla, os corpos de prova foram aquecidos a uma taxa de 10 °C/min. O processo de recozimento nos corpos de provas foi de 1h visando à obtenção da curva de recozimento.

As propriedades mecânicas foram levantadas através dos ensaios de dureza Brinell e ensaios de tração. Os ensaios de dureza Brinell foram realizados conforme a norma ASTM E10. Os ensaios de tração foram realizados utilizando uma máquina da marca Instron, modelo 4400R, segundo a norma ASTM E8-M. Foram utilizados 24 corpos de prova, as propriedades mecânicas foram obtidas por tração uniaxial (limite de escoamento, limite de resistência à tração e alongamento nas direções longitudinal de laminação).

Os ensaios de caracterização microestrutural via microscopia ótica (MO), foram realizados seguindo a norma ASTM E3-11(2017), o processo de metalografia iniciou-se com o corte das amostras, seguido de embutimento, polimento e ataque do corpo de prova. O ataque químico utilizado foi composto por 10 ml HCl +10 ml HNO₃ +10 ml HF + 2,5 ml de água destilada.

As análises em microscópio eletrônico de varredura (MEV) foram realizadas seguindo a norma ASTM E3-11, o microscópio é equipado com espectroscopia por energia dispersiva (EDS) para análise semiquantitativa da composição química nas distintas regiões (fases).

A utilização da técnica de difração de raios X (DRX) neste trabalho, foi visando determinar as fases dos materiais. O difratômetro de raios X utilizado foi da Rigaku MiniFlex com tubo de fonte de Cu K α (λ = 1,542 Å), com tensão utilizada de 40 kV e corrente de 15 mA. O tempo por passo utilizado foi de 2,5 segundos e o passo angular de 0,01°, com velocidade de 10°/min em ambos os ensaios.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na figura 3 é possível notar o efeito da recristalização nas estruturas de grãos dos corpos de prova, além do alongamento e linhas originadas da conformação mecânica (laminação), bem como a presença de micropartículas de geometria irregular. O alongamento dos grãos ocorre devido ao número de passes de laminação na amostra serem maiores, ocorrendo o aumento da deformação ⁽¹²⁾.

A figura 4 mostra a análise na região fraturada após o ensaio de tração, sendo possível notar a fratura predominantemente dúctil, com a presença de *dimples*, após o recozimento progressivo.

Figura 3 – Microestrutura do corpo de prova com deformação de a) 15%, b) 30%, c) 50% e d) 60% com aumento de 1000x

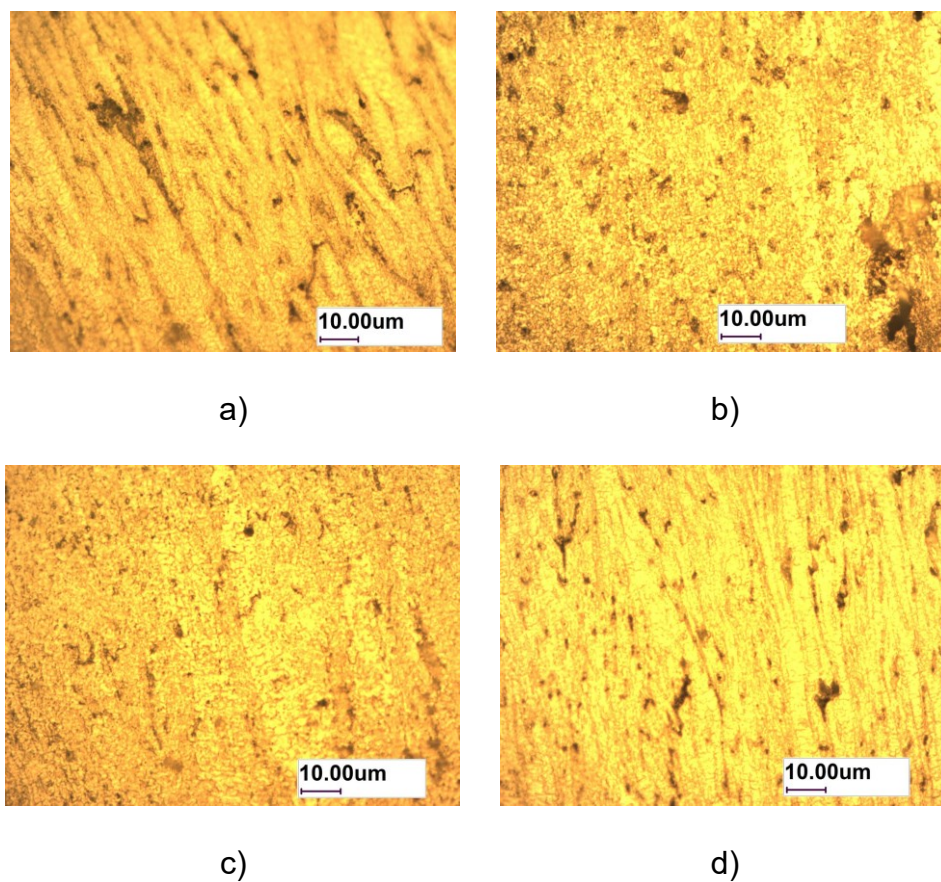
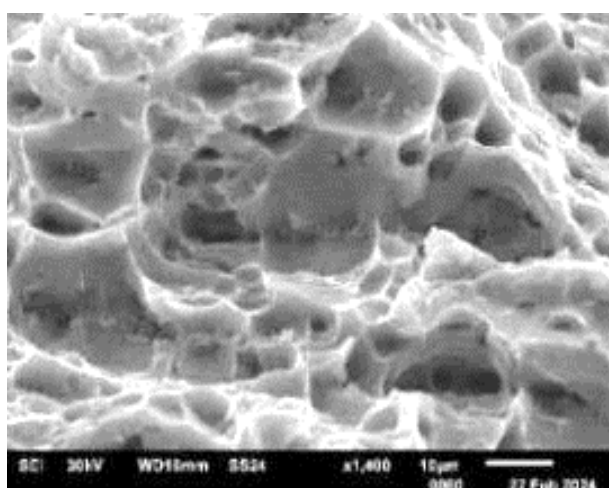


Figura 4 – Microestrutura eletrônica de varredura por elétrons secundários corpo de prova 2 deformado a 30% com aumento de 1400x.



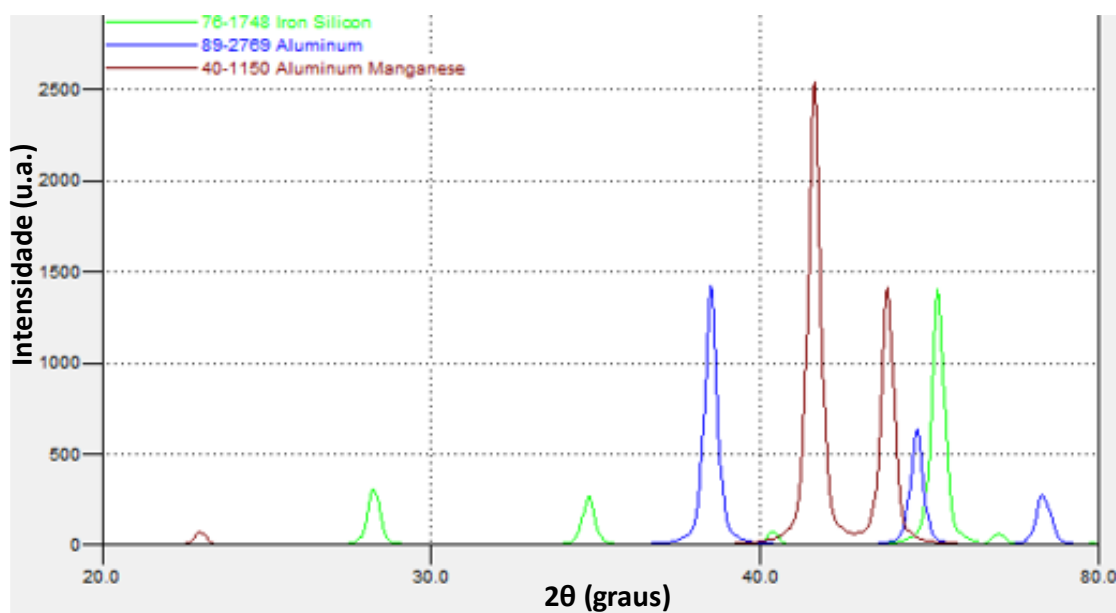
A tabela 2 apresenta a composição química para a liga 3105 de acordo com a NBR6834, e a média da composição química semi-quantitativa obtida por EDS.

Tabela 2 – Composição química da liga de alumínio AA 3105 (% em massa).

Elementos	NBR	CP	CP Laminado
		Laminado	+ Recozido
Si	0,6	0,54	0,58
Fe	0,7	0,65	0,65
Cu	0,3	0,28	0,27
Mn	0,3 – 0,8	0,78	0,80
Mg	0,2 – 0,8	0,75	0,77
Cr	0,2	0,18	0,16
Zn	0,4	0,38	0,37
Ti	0,1	0,07	0,11
Outros	0,05 – 0,15	0,13	0,15
Al	Restante	Restante	Restante

A análise de DRX confirmou a indexação dos componentes da liga AlMn, com valores experimentais próximos dos teóricos, conforme espectro da figura 5. Os valores teóricos calculados são consistentes com os valores experimentais fornecidos, o que confirma a correlação da indexação da rede cúbica de face centrada da liga de alumínio 3105 (AlMn). O parâmetro de rede calculado é aproximadamente 4.049 Å.

Figura 5 – Difratomogramas da liga AA3105.



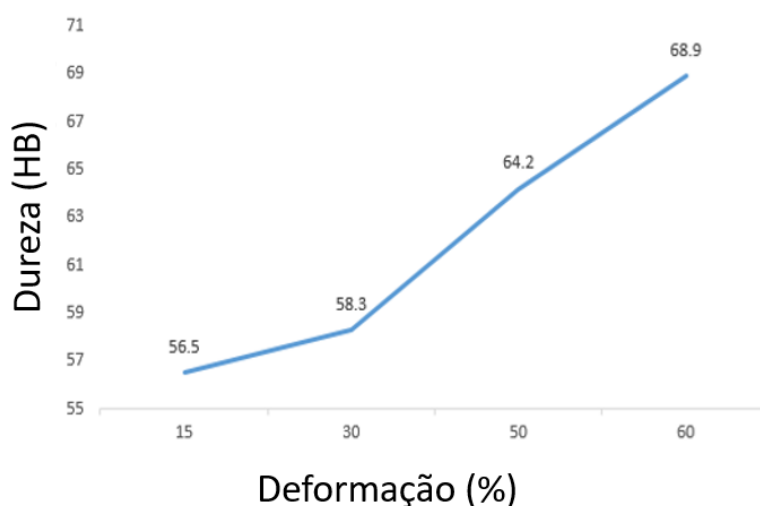
Os resultados da dureza Brinell são mostrados na tabela 3, sendo possível observar um aumento significativo na microdureza com o aumento do percentual de deformação, a dureza aumentou aproximadamente 22% na condição de deformação de 60% quando comparado com a de 15%.

Tabela 3 – Dureza Brinell dos corpos de prova apenas laminados da liga AA 3105.

Deformação (%)	Dureza (HB)
15	56,5
30	58,3
50	64,2
60	68,9

A figura 6 ilustra o a curva de encruamento resultante da laminação, onde é possível constatar que quanto maior a deformação nos corpos de prova, maior o valor obtido de dureza Brinell dos corpos de prova.

Figura 6 – Gráfico Curva de Encruamento



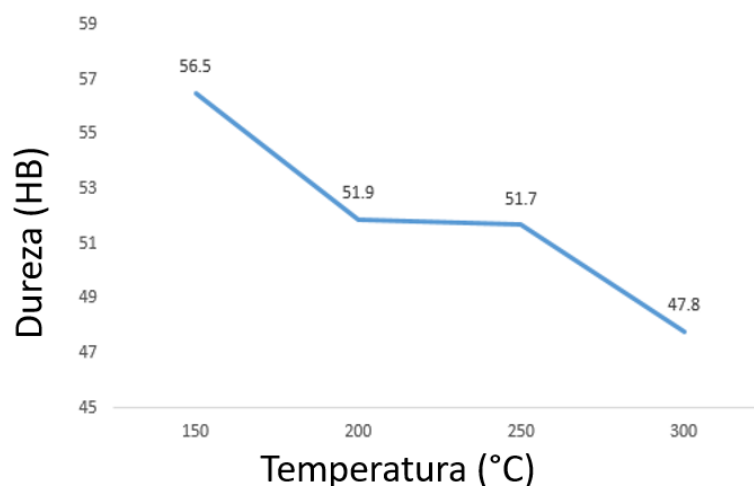
A dureza também foi medida para os corpos de provas laminados e recozidos, são mostrados na tabela 4. Sendo possível notar uma redução da dureza Brinell dos corpos de provas de aproximadamente 15,3%.

Tabela 4 –Dureza Brinell dos corpos de prova laminados e recozidos da liga AA 3105.

Temperatura de Recozimento (°C)	Dureza (HB)
150	56,5
200	51,9
250	51,7
300	47,8

A figura 7 apresenta a curva de recozimento, onde nota-se uma queda devido ao aumento da temperatura de recozimento, que ocasiona um redirecionamento de grãos, e quando a temperatura se aproxima do ponto crítico do alumínio (350°C). Com base na literatura, acredita-se que ao superar este valor, iria aumentar devido à recristalização como visto no trabalho de Cardoso (12).

Figura 7 – Gráfico curva de recozimento.



A tabela 5 apresenta os resultados obtidos no ensaio de tração. Os valores para o limite de resistência à tração (LRT) estão entre 106,4 e 164,4 MPa valores superiores aos encontrados na literatura (1,2). O limite de escoamento para as deformações de 50 e 60% foram superiores aos exigidos pela norma NBR6834.

Tabela 5 – Resultados obtidos no ensaio de tração.

Deformação (%)	Limite de Escoamento (MPa)	LRT (MPa)	Limite de Ruptura (MPa)
15	104,4	106,4	95,1
30	121,1	122,1	107,3
50	149,7	151,1	129,4
60	161,6	164,4	136,7

CONCLUSÃO

As amostras da liga de alumínio AA 3105 foram laminadas em diferentes graus de deformação, com variações de 15% a 60%. Verificou-se que os melhores resultados ocorreram com deformações de 50% e 60%. Durante o recozimento foi constatado que nas temperaturas de 200 e 250 °C não há melhoria nos valores de resistência mecânica, os resultados mostram que podem ser estudadas combinações de deformação e de tratamento térmico para obter os melhores resultados para aplicações específicas.

REFERÊNCIAS

1. SCARABOTTO, M. Estudo da corrosão nas ligas de alumínio 3105 e 5052. 2018.
2. ENGLER, O. Control of texture and earing in aluminium alloy AA 3105 sheet for packaging applications. *Materials Science and Engineering: A*, v. 538, p. 69-80, 2012.
3. BRESCIANI FILHO, E.; SILVA, I. B.; BATALHA, G. F.; BUTTON, S. T. *Conformação plástica dos metais*. 6. ed. São Paulo: EPUSP, 2011.
4. HALLBERG H. Influence of Process Parameters on Grain Refinement in AA1050 Aluminum During Cold Rolling. *International Journal of Mechanical Sciences*. 2012.
5. ROSA, V. B. Deposição de silanos como tratamento anticorrosivo para a liga de alumínio 3105. 2012.
6. VANIN, A. P. Aspectos morfológicos e comportamento eletroquímico de diferentes ligas de alumínio tratadas com viniltrietóxisilano (vtes) em solução de NaCl. 2012.
7. DINIZ, S. B. et al. Estudo microestrutural e mecânico de uma liga de al submetida a técnicas de deformação plástica severa. 2021.
8. DI BELLA, G. et al. Mechanical characterization of adhesive joints with dissimilar substrates for marine applications. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 41, pp. 33-40. 2013.
9. JIANG J. et al. Mechanical Properties and Microstructures of Ultrafine - Grained Pure Aluminum by Asymmetric Rolling. *Scripta Materialia*, 2009.
10. KIM, J.K. et al. Formation of Textures and Microstructures in Asymmetrically Cold Rolled and Subsequently Annealed Aluminum Alloy 1100 Sheets. *Journal of Materials Science*, 2004.
11. SILVA JUNIOR, W.C. et al. Obtaining the predicted number of cycles of femoral prosthesis manufactured with ASTM F138 and ASTM F75 alloys, applying the method of finite element. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021.
12. CARDOSO, A. M. et al. Estudo das propriedades mecânicas da liga de alumínio AA8011. In: ANAIS DO 9º Congresso internacional do alumínio, 2024.

MECHANICAL AND MICROSTRUCTURAL CHARACTERIZATION OF THE AA 3105 ALUMINUM ALLOY AFTER THERMOMECHANICAL TREATMENTS

ABSTRACT

Aluminum alloys of the 3XXX series have emerged as a prominent alternative for enhancing production processes across various industrial sectors. This research investigated the mechanical and microstructural characteristics of the AA 3105 aluminum alloy after rolling and annealing treatments. The specimens were fabricated using wire electrical discharge machining. The samples underwent cold rolling with deformations ranging from 15% to 60%, followed by annealing at temperatures between 150 and 300°C for 1 hour. The specimens were subjected to tensile testing, hardness testing, and microstructural characterization. The hardness results showed a 22% increase in the specimen with 60% deformation compared to the specimen with 15% deformation, indicating the work-hardening that occurred in the samples. For the annealed specimens, there was a 15.3% reduction in hardness with increasing annealing temperature.

Keywords: AA3105 alloy, rolling, microstructural characterization, annealing.