

AVALIAÇÃO DO EFEITO DOS TRATAMENTOS TÉRMICOS DE SOLUBILIZAÇÃO E ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA LIGA 6101¹

Hélio Gleidson de Oliveira Sena²

Ulysses Rodrigues dos Prazeres³

Johnyson Pereira Feitosa⁴

Aline Emanuelle Albuquerque³

José Maria do Vale Quaresma⁵

Resumo

As ligas da série 6XXX quando submetidas a tratamento térmico, promovem a formação de clusters de precipitado de silício e magnésio que na evolução do tempo, formam o composto intermetálico, Mg₂Si, estes clusters são os responsáveis pelo endurecimento dessas ligas. Com base nesses dados, o GPEMAT e a ALUBAR S.A. lançam a proposta de estudo no intuito de entender melhor o efeito do tratamento térmico de solubilização e envelhecimento artificial. As amostras foram coletadas diretamente do processo de lingotamento contínuo rotativo, em forma de vergalhões ($\Phi=9,5$ mm), de diferentes bobinas registrando-se a composição química via espectrometria óptica. Em seguida algumas amostras foram separadas para os tratamentos de solubilização a 490 °C por 1 e 2 horas seguido de envelhecimento artificial nas temperaturas de 100, 120, 140 e 160°C, para os tempos 0, 2, 4 e 6 horas e outras foram somente envelhecidas nas mesmas circunstâncias. Após os tratamentos realizaram-se os ensaios de tração das amostras de acordo com a norma NBR-6810. Os valores do limite de resistência à tração (LRT) aumentam para maiores temperaturas e tempos de tratamento térmico, dentro da faixa estudada. Observou-se que as amostras solubilizadas por 2h respondem melhor que as de 1h quanto ao ganho de resistência à tração. O LRT para as amostras solubilizadas por 2h e envelhecidas artificialmente e as somente envelhecidas se mantêm próximos, contudo a capacidade de deformação até temperaturas da ordem de 140°C se mantêm relativamente superior para as amostras que foram submetidas à solubilização.

Palavras-chave: Ligas da série 6XXX; Tratamento térmico; Solubilização; Envelhecimento artificial.

EVALUATION OF SOLUTION HEAT TREATMENT AND AGE-HARDENING EFFECTS IN THE MECHANICAL PROPERTIES OF 6101 ALLOY

Abstract

The 6XXX series alloys when submitted at heat treatment, further arrangement intermetallic compound, Mg₂Si, that before of arriving the averaging, is the answerable for hardening of that alloys. With base in these dates, the GPEMAT and the ALUBAR S.A. presets the research with intention of comprehending the solution heat treatment and age-hardening. The specimens were collected from spinning continuous ingot casting, in shape of rods ($\Phi=9,5$ mm), from differents coils registering it the chemical composition at optical spectrometry. After that some specimens were separated to solution heat treatment at 490°C for 1 and 2 hours, followed of age hardening at temperature of 100, 120, 140 and 160, at 0, 2, 4 and 6 hours and others were only aging on the same circumstances. After the treatments, it made the tension test in agreement the NBR-6810 norm. The values of limit tensile strength (LRT) increase to temperature and heat treatment time higher, in agreement of zone researched. It observed that the solubilized specimens for 2 hours hold better reply that the solubilizing specimens for 1 hour, with regard to get tensile strength. The LRT to solubilized specimens to 2 hour, aged hardening and the specimens only solubilizing are keep near, although, the deformation capacity until temperatures of 140°C keep itself relativity superior to the specimens that were submitted at solubilization.

Key words: 6XXX serie alloys; Heat treatment; Solubilization; Age hardening.

¹ Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

² Engenheiro da Empresa ALUBAR S/A

³ Estudante do Curso de Engenharia Mecânica da UFPA

⁴ Estudante do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFPA

⁵ Professor Dr. do Curso de Engenharia Mecânica da UFPA

INTRODUÇÃO

Considerando-se os tratamentos térmicos das ligas de alumínio, devemos inicialmente diferenciar as ligas termicamente tratáveis (séries 2XXX, 6XXX, 7XXX e a maioria da série 8XXX), que podem endurecer por meio de tratamento térmico de solubilização e envelhecimento, daquelas cujo aumento de dureza só pode ser obtido mediante trabalho mecânico e conseqüentemente encruamento (séries 1XXX, 3XXX, 4XXX e 5XXX).

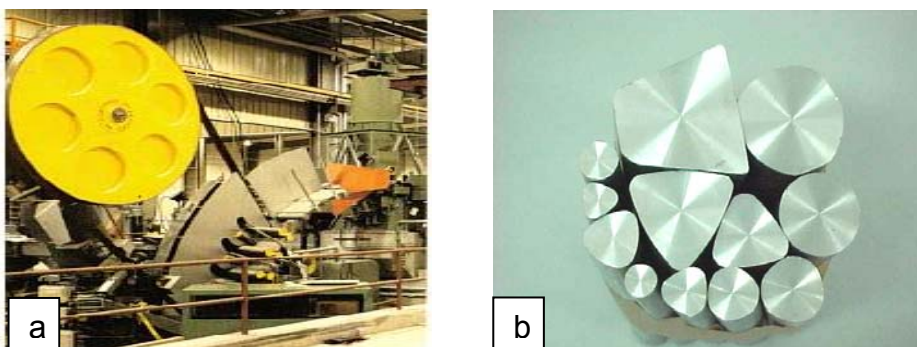
O objetivo do tratamento de solubilização, de ligas diluídas tendo como elemento base o alumínio, é por, em solução sólida saturada átomos de soluto na matriz de alumínio. Para algumas ligas a temperatura na qual a máxima quantidade de soluto pode estar dissolvida corresponde à temperatura eutética. Sendo assim, as temperaturas de solubilização devem ser limitadas a um nível seguro no qual as conseqüências de aquecimento não contribuam para fusão parcial do material.

Nas ligas da série 6XXX o magnésio e o silício tendem a formar clusters de precipitados formando regiões de alta energia que antes de atingir o equilíbrio no superenvelhecimento, são os responsáveis pelo endurecimento dessas ligas. O tratamento de envelhecimento artificial controlado objetiva a precipitação de fases a partir de uma solução sólida saturada, podendo favorecer a formação de precipitados finos e uniformemente distribuídos, e contribuindo para um substancial aumento na dureza do material.

Em vista disso, este trabalho buscou avaliar o comportamento mecânico de vergalhões de liga 6101, obtidas através de lingotamento contínuo rotativo, submetidas à solubilização com posterior envelhecimento artificial e somente envelhecidas artificialmente, variando-se temperatura e o tempo de tratamento térmico, traçando um elo comparativo entre as respostas obtidas na perspectiva de se entender melhor o comportamento da liga quando submetida a tratamento térmico.

MATERIAIS E MÉTODOS

A conformação das estruturas brutas de solidificação para a indústria de vergalhões e fios de metais não-ferrosos tem no processo de lingotamento contínuo rotativo Properzi, Figura 1, seu principal meio de produção para a fabricação de vergalhões que servem como matéria prima para a fabricação de cabos condutores de energia elétrica.



Fonte: Properzi

Figura 1. (a) processo de lingotamento contínuo rotativo Properzi, (b) visualização das etapas de conformação do material.

A fabricação de condutores elétricos pela empresa ALUBAR CABOS S.A., tendo como referência as ligas da série 6xxx, em particular as ligas 6101 e 6201, utilizadas na fabricação de cabos de transmissão e distribuição de energia elétrica, encontram-se destacadas, Tabela 1. As confirmações são realizadas através de análise química via espectrômetro óptico encontrado nas dependências do laboratório de controle de qualidade do grupo ALUBAR S.A.

Tabela 1. Faixas de composições químicas admissíveis para as ligas 6101 e 6201.

Liga	Si	Fe (máx)	Cu (máx)	Mn (máx)	Mg	Cr (máx)	Zn (máx)	B (máx)
6101	0.3 – 0.7	0.5	0.1	0.03	0.35 – 0.8	0.03	0.1	0.06
6201								

O fluxograma da Figura 2 mostra a metodologia adotada para avaliação da melhor resposta da bobina estudada quando submetidas a tratamento térmico, em função das diferentes variáveis avaliadas, temperatura e tempo.

O vergalhão referido como envelhecido, trata-se do vergalhão obtido do processo de lingotamento contínuo e envelhecido artificialmente sem a etapa de solubilização estática.

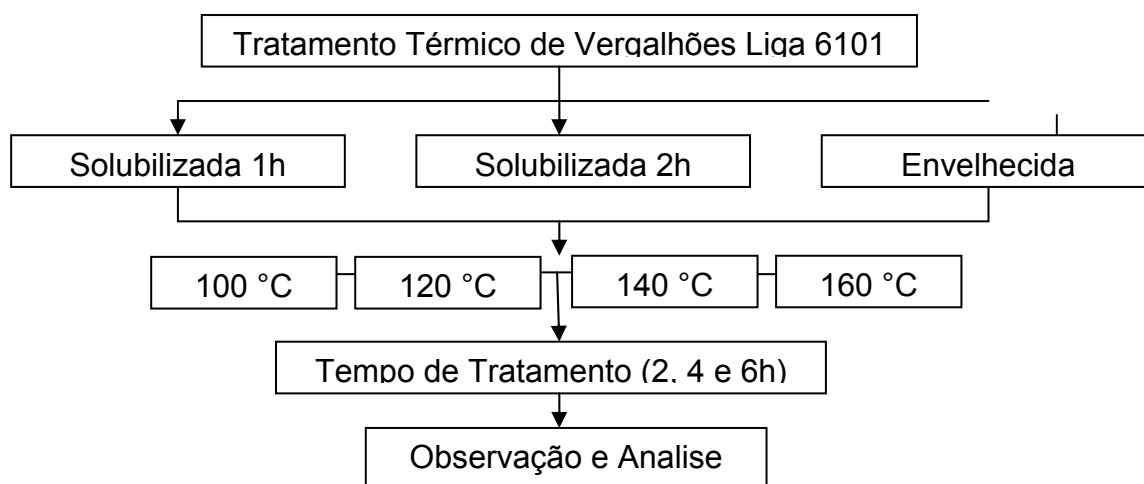


Figura 2. Fluxograma da metodologia adotada.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

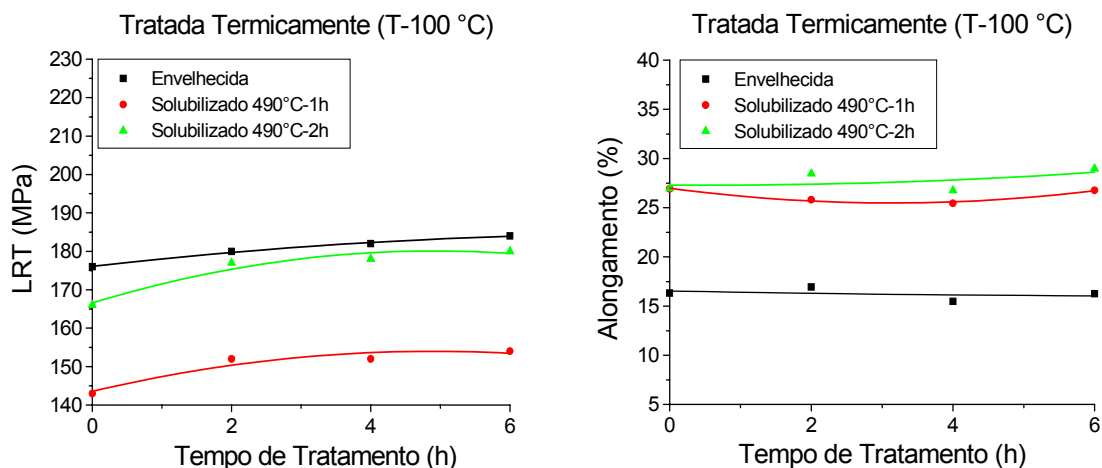


Figura 3. Gráfico do limite de resistência à tração e do alongamento percentual em relação ao tempo de tratamento térmico a que foi submetido o vergalhão ao envelhecimento artificial a 100 °C.

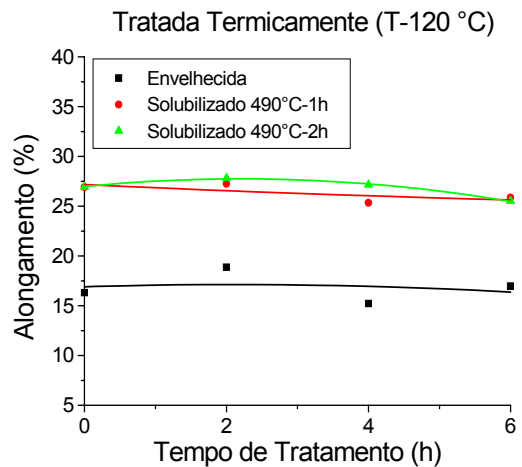
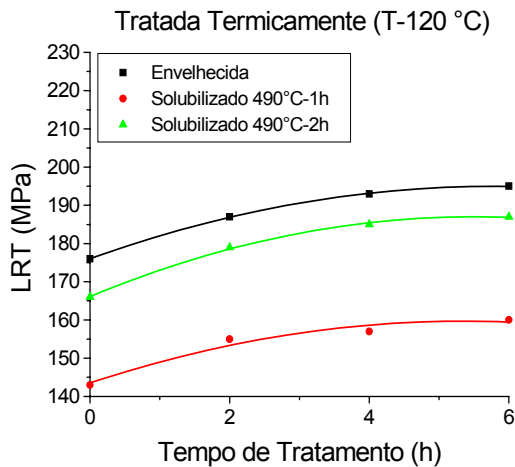


Figura 4. Gráfico do limite de resistência à tração e do alongamento percentual em relação ao tempo de tratamento térmico a que foi submetido o vergalhão ao envelhecimento artificial a 120 °C.

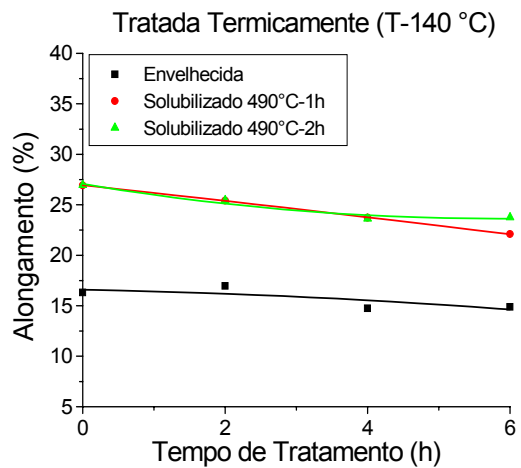
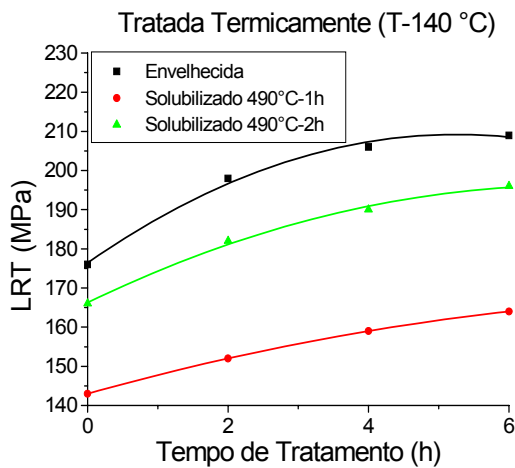


Figura 5. Gráfico do limite de resistência à tração e do alongamento percentual em relação ao tempo de tratamento térmico a que foi submetido o vergalhão ao envelhecimento artificial a 140 °C.

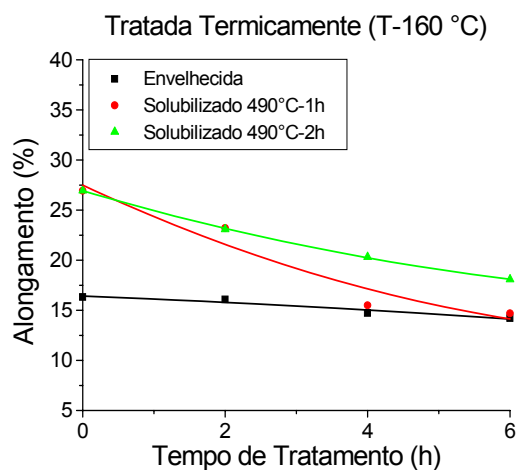
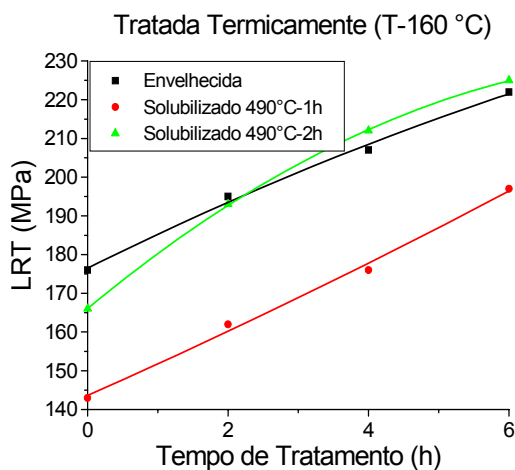


Figura 6. Gráfico do limite de resistência à tração e do alongamento percentual em relação ao tempo de tratamento térmico a que foi submetido o vergalhão ao envelhecimento artificial a 160 °C.

As comparações efetuadas entre diferentes tratamentos térmicos referentes às temperaturas de 100, 120 e 140 °C demonstram que as amostras que não foram solubilizadas previamente apresentam sempre LRT superior. Entretanto, o alongamento percentual apresenta-se sempre inferior para estas amostras. Levando a entender que estas amostras tendem a apresentar baixo índice de deformação quando comparadas com as amostras que foram solubilizadas.

Por outro lado, as amostras solubilizadas quando comparadas entre si, apresentam valores para o LRT superiores para as amostras solubilizadas por 2 horas. Quanto ao alongamento apresentam valores praticamente constantes, levando ao entendimento de que, quanto a deformabilidade, o processo de solubilização tende a auxiliar, tendo em vista que promove a elevação do LRT e mantém elevada a ductilidade.

As comparações dos resultados obtidos, para o LRT, no envelhecimento, na temperatura de 160 °C, mostram valores crescentes e praticamente iguais para as amostras somente envelhecidas e aquelas solubilizadas por 2 horas. Entretanto, as amostras apresentam maiores valores para ductilidade.

CONCLUSÕES

As amostras provenientes do sistema de lingotamento contínuo e envelhecidas artificialmente, sem a etapa de solubilização, mostram maiores LRT para as temperaturas abaixo de 160 °C, essa provável melhor resposta pode estar ligada a maior quantidade de formação de clusters de precipitados que antecedem a formação do Mg₂Si. A formação desta fase estável pode ser acelerada para as amostras sem solubilização, entretanto isso pode acarretar um ganho menor durante o processo de deformação à frio (trefilação).

A etapa de solubilização parece ter importante relevância, uma vez que pode conferir ao vergalhão melhor capacidade de deformação, por conseguinte um melhor rendimento durante o processo de trefilação.

A partir das afirmativas, sugere-se que se faça um estudo envolvendo a etapa de deformação (LAMINAÇÃO / TREFILAÇÃO), para as temperaturas de 140 °C e 160 °C, investigando melhor o efeito do envelhecimento artificial (formação de Mg₂Si) na capacidade de deformação e por seguinte o comportamento mecânico final do produto.

Agradecimentos

O grupo GPEMAT entende ser importante demonstrar o sincero agradecimento à Universidade Federal do Pará pela disponibilidade de espaço físico, ao GRUPO ALUBAR pelo apoio financeiro, parceria e incentivo ao desenvolvimento de estudos, a ELETRONORTE pelo apoio financeiro a projetos de pesquisa, a FADESP e a FUNPEA que gerenciam essas parcerias entre os grupos.

BIBLIOGRAFIA

- 1 QUARESMA, José Maria Do Vale; Neto, J., T., M.; Cavalcante, F., A., J.; Prazeres, U., R.; Moreira, A. E., A. Avaliação ao Tratamento Térmico de Fios de Alumínio Liga 6101 Obtidos por Lingotamento Contínuo para Enquadração em Normas Brasileiras de Fabricação de Cabos Elétricos. In: SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA - SBPC, 2005, Fortaleza. 2005.
- 2 QUARESMA, José Maria Do Vale; Prazeres, U., R.; Cavalcante, F., A., J.; Maia, R., F., S.; Moreira, D., A. Levantamento das Curvas de Encruamento para as Ligas 6101. In: SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA - SBPC, 2005, Fortaleza. 2005.
- 3 RED-HILL, Robert E., Princípios da Metalurgia Física, Editora Guanabara Dois S.A, Rio de Janeiro, Segunda Edição, 1982.
- 4 ASM SPECIALTY HANDBOOK, *Aluminium and Aluminium Alloys*, ASM International Handbook Committee, 1993.