

# ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO E DA TRABALHABILIDADE DA LIGA DE ALUMÍNIO TERMORESISTENTE APÓS DEFORMAÇÃO A FRIO<sup>(1)</sup>

*Ulysses Rodrigues dos Prazeres<sup>(2)</sup>  
Francisco Andrey Jucá Cavalcante<sup>(3)</sup>  
Thiago da Cunha Lima<sup>(4)</sup>  
Emerson David Cavalcante Santos<sup>(5)</sup>  
José Maria do Vale Quaresma<sup>(6)</sup>*

## Resumo

Para se atender o crescente aumento na demanda de energia elétrica a necessidade de se pesquisar novos materiais que mantenham suas características em operação regime de operação, houve a necessidade de se realizar um estudo de uma nova liga de alumínio, a liga TAL (liga de alumínio termorresistente), que são utilizados em regime contínuo de trabalho até temperaturas 150°C sem deterioração de suas propriedades mecânicas. O entendimento do comportamento das variáveis físicas, elétricas e mecânicas de fios e cabos utilizados no transporte e distribuição de energia elétrica, como também a relação entre as mesmas é de fundamental importância para a melhor utilização deste bem, sendo a trabalhabilidade um importante aspecto a ser avaliado. Neste intuito, foram confeccionadas as ligas na composição química de 0,03%Zr e 0,24%Fe e vazadas em uma câmara de solidificação unidirecional em molde de aço com espessura 23mm. As ligas foram preparadas com e sem refinador de grão, com o objetivo de se analisar o efeito do refinamento de grão na trabalhabilidade de liga Tal. Após os vazamentos foram retiradas amostras para a laminação no sentido da frente de extração de calor e perpendicular a mesma, em seguida retirou-se amostras para laminação até 100mm, logo após sendo tratadas termicamente nas temperaturas de 50, 100, 150, 200 e 250°C por dez horas e realizados ensaios trativos, para uma visão do comportamento mecânico em função da temperatura de tratamento.

**Palavras-chave:** Termorresistente; Trabalhabilidade.

60º Congresso Anual da ABM – 25 a 28 de julho de 2005 – Belo Horizonte

<sup>(1)</sup> – Trabalho a ser apresentado no 60º Congresso Anual da ABM.

<sup>(2), (3)</sup> e <sup>(4)</sup> – Graduados em Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Pará.

<sup>(5)</sup> – Especialista em Tecnologia Mineral e Metalurgia – Universidade Federal do Pará.

<sup>(6)</sup> – Prof. Dr. – DEM/CT – Universidade Federal do Pará.

## **INTRODUÇÃO**

O cobre foi o primeiro material utilizado para transmitir eletricidade, durante o desenvolvimento da indústria elétrica na década de 1880. As dimensões dos cabos de cobre eram prescritas principalmente em função das considerações mecânicas, por causa da desproporcional relação entre a alta condutividade e a resistência mecânica, surgindo, então, a necessidade de revisão e melhor compreensão dos critérios de utilização de cabos aéreos.

Essa compreensão tem que englobar não apenas os conhecimentos físicos, elétricos, mecânicos e térmicos do cabo, mas também as relações entre essas variáveis, para encontrar a melhor relação custo/benefício na seleção do cabo a se utilizar (Nascimento, M. A. C., 1999).

As ligas de alumínio são bastante utilizadas em diversas aplicações industriais, graças a sua elevada resistência mecânica e peso reduzido, principalmente na fabricação de componentes elétricos. O cobre, o magnésio e o silício são alguns dos elementos que mais se prestam a formar liga com o alumínio.

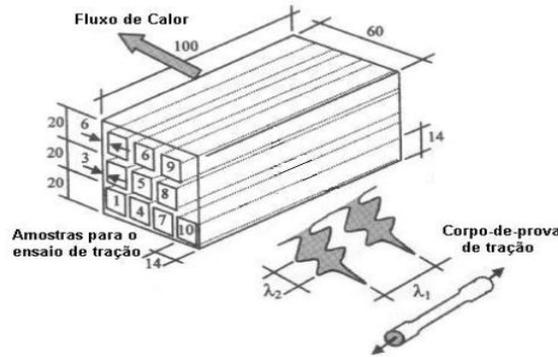
Recentemente, algumas pesquisas estão sendo desenvolvidas a respeito de um elemento de liga, o Zircônio, que adicionado à matriz de Alumínio, forma a conhecida Liga TAL (Liga de Alumínio Termoresistente). Com base nisso, surgiram os cabos de transporte e distribuição de energia elétrica, feitos com a liga TAL.

Os condutores com esta liga de Al Termoresistente podem ser utilizados em regime contínuo de trabalho em temperaturas de até 150°C, sem que haja deterioração das características mecânicas como tração, alongamento e dureza. Já com condutores de Al 1350 ou EC, a temperatura máxima em regime contínuo de trabalho é de 90°C. Acima desta temperatura, inicia-se o processo de recozimento e conseqüente deterioração das suas características mecânicas. (informes técnico Furukawa, 1999 e Nexans, 2002)

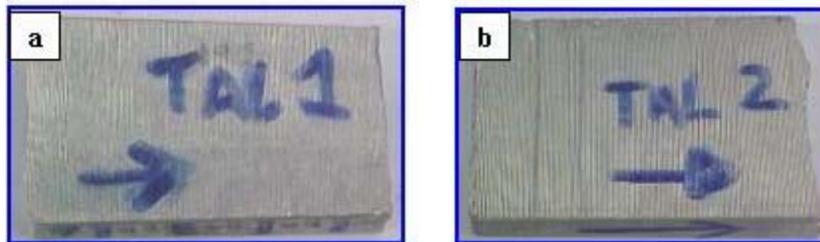
## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Primeiramente foi feita a preparação das ligas no laboratório, na composição química definida, com 0,03%Zr e 0,24%Fe. As ligas foram vazadas em uma câmara de solidificação unidirecional em molde de aço de 23mm de espessura. Duas ligas foram confeccionadas, uma com alumínio não-refinado e outra com alumínio refinado com Al-Ti-B, com o objetivo de se analisar o efeito do refinamento de grão na trabalhabilidade da liga TAL.

A laminação foi dividida em duas etapas. Na 1ª etapa foi retirado um corpo de prova de cada liga para laminação, sendo laminados da seguinte forma: no sentido da frente de solidificação e perpendicular à mesma. A Figura abaixo mostra os corpos de prova da 1ª etapa da laminação.



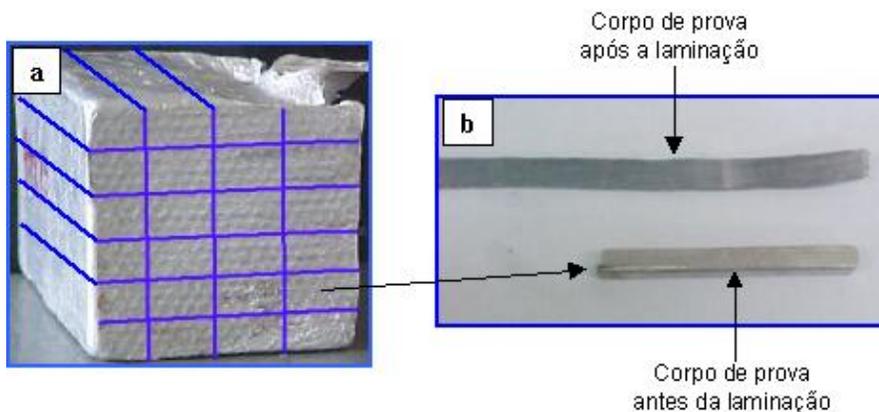
**Figura 1.** Mostrando um esquema ilustrativo do processo de solidificação unidirecional, com o crescimento dendrítico primário e secundário.



**Figura 2.** Corpos de prova para a laminação. (a) liga TAL sem refinador de grão. (b) liga TAL com refinador de grão. As setas indicam o sentido da evolução da frente de solidificação e o sentido de laminação.

Para a 2ª etapa da laminação, retirou-se dos lingotes obtidos, chapas com espessura de 10mm, no sentido da extração de calor. Dessas chapas foram extraídos os corpos de prova para a laminação a frio, feita em um laminador duo elétrico.

As fotos que compõem a Figura 3, mostram a evolução experimental que vai desde o lingote obtido por solidificação unidirecional (Figura 3a), com as posições dos corpos de prova para laminação marcadas no mesmo até os corpos de prova antes e depois da 2ª etapa da laminação (Figura 3b).



**Figura 3.** (a) Foto do lingote da liga TAL, indicando de onde os corpos de prova foram retirados; (b) corpos de prova antes e após a laminação (para ensaio de tração).

Após a laminação, partiu-se para o tratamento térmico das amostras deformadas, nas temperaturas de 50°, 100°, 150°, 200° e 250°C, por 10h. Em seguida foram feitos ensaios de tração, a fim de se analisar o comportamento trativo

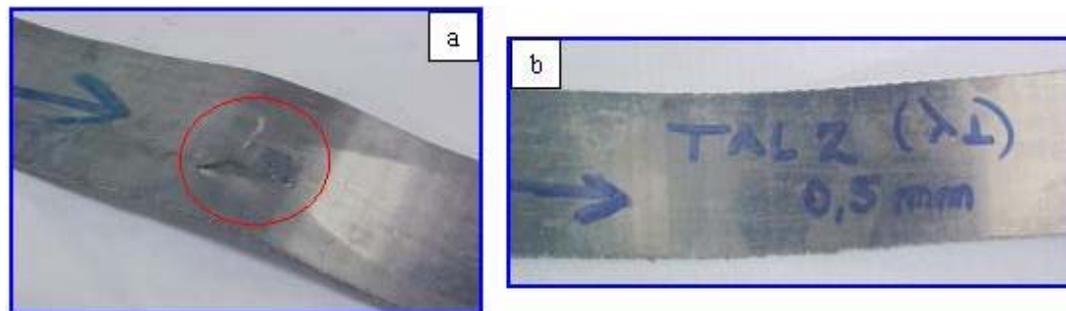
dessas amostras em função da temperatura de tratamento de acordo com a norma para corpos de prova de 100mm de comprimento (NBR 6810/1981).

A fim de se monitorar a temperatura de tratamento no tempo de 10h, utilizou-se um coletor de dados (ALMEMO), porém o gráfico foi truncado para 6h, pois os dados são muito repetitivos. A Figura 6 mostra o gráfico da temperatura em função do tempo, plotado a partir dos dados do ALMEMO. Nele pode-se observar que a variação da temperatura de 250°C, ao longo do tempo de tratamento térmico, é pequena ( $\pm 3^\circ\text{C}$ ), ou seja, dentro de uma faixa tolerável. Isso constata que o tratamento é confiável.

## RESULTADOS

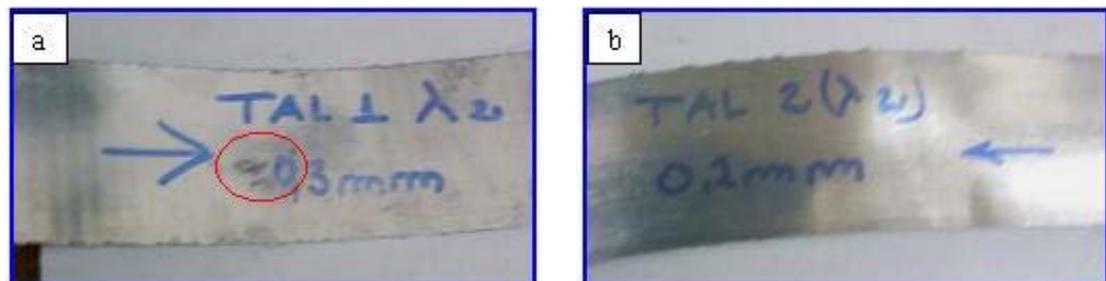
Após várias reduções dadas na laminação a frio, até chegar na mínima espessura suportada ou apresentar algum defeito, tivemos a possibilidade de ver como a liga se comporta depois de deformada.

A Figura abaixo faz uma comparação entre a liga TAL com e sem refinador de grão, ambas laminadas no sentido da frente de solidificação.

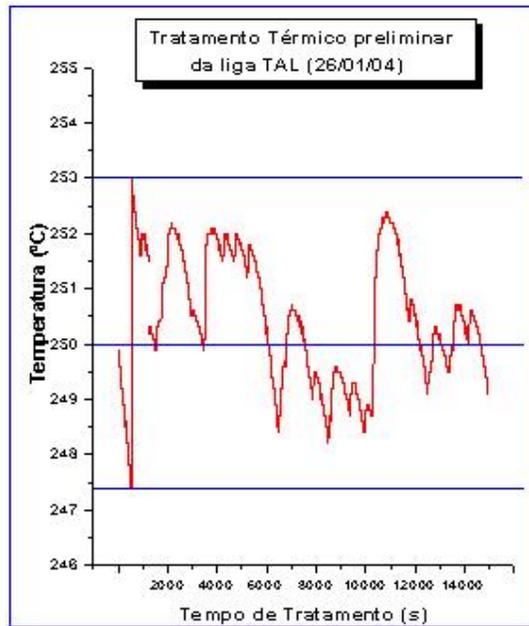


**Figura 4.** Liga TAL após a deformação. (a) liga sem refinador de grão, destacando um defeito ocorrido na laminação com a espessura de (1,1 mm). (b) liga com refinador de grão. As setas indicam o sentido de laminação.

Foi observado que, quando se faz laminação no sentido do espaçamento dendrítico secundário ( $\lambda_2$ ) transversal ao fluxo de calor, a liga refinada chega até 0,1mm de espessura. Este resultado pode ser visto na Figura 5.

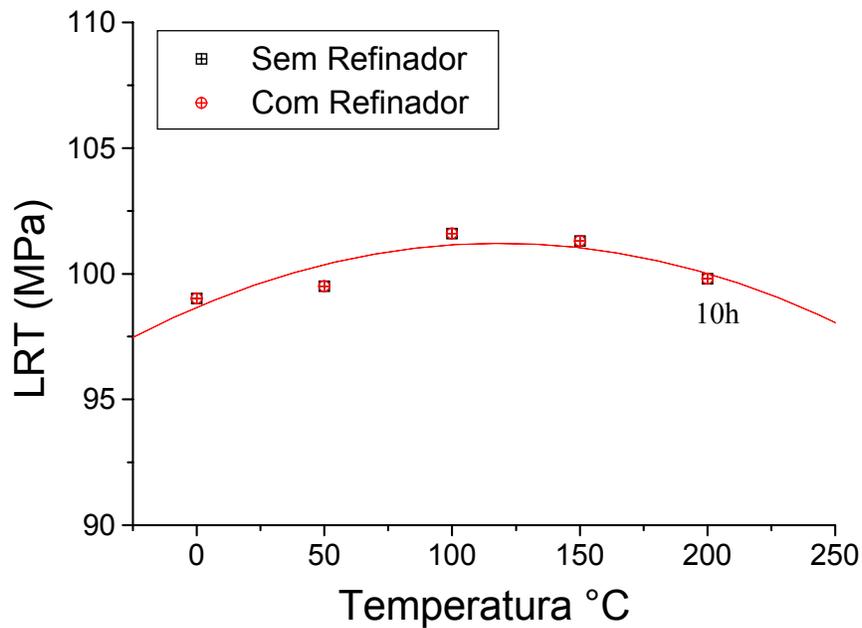


**Figura 5.** Liga TAL após a deformação a frio. (a) liga sem refinador de grão destacando um defeito ocorrido na laminação. (b) liga com refinador de grão. As setas indicam o sentido de laminação.



**Figura 6.** Gráfico do tratamento térmico preliminar, da liga TAL, em função do tempo.

Como foi dito anteriormente, foi feito tratamento térmico nas amostras laminadas, antes de fazer os ensaios de tração. Abaixo temos os resultados dos ensaios em função da temperatura de tratamento.



**Figura 7.** Comportamento do limite de resistência a tração em função da temperatura do tratamento térmico, tratado por 10h.

## DISCUSSÕES

A Figura 4a mostra uma amostra que partiu de 10mm de espessura, e foi laminada, no sentido do espaçamento dendrítico primário ( $\lambda_1$ ), até à espessura de 1,1mm. O detalhe nessa figura mostra um defeito ocorrido na laminação, nos levando a considerar que a liga não-refinada só deve ser deformada a frio até a espessura e/ou diâmetros acima de 1,1mm. Ao contrário da liga refinada, que chegou, após a deformação, a uma espessura de 0,5mm, podendo chegar ainda a uma espessura mais reduzida.

Isto nos dá um indício de que, pode-se utilizar a liga sem refinador de grão, quando se deseja trabalhar com diâmetros de fios acima de 1,5mm, se trabalhar com diâmetros menores, é aconselhável que se trabalhe com a liga refinada.

Analisando a Figura 5, percebe-se que ambas as ligas (refinada e não-refinada) deformaram bem, chegando a espessuras delgadas de 0,3 e 0,1mm (Figuras 5a e 5b, respectivamente). É importante ressaltar que, o fato das ligas serem ou não refinadas não interferiu nos resultados, visto que as mesmas chegaram a espessuras praticamente iguais.

A tração varia muito pouco partindo de 97,6 a 101,6 Mpa. Este resultado já era esperado, visto que, de acordo com artigo da (Furukawa, 1999), estes valores variam muito pouco nessa faixa de temperatura.

Os resultados que compõem o gráfico da Figura 7, nos dá uma noção básica do comportamento da liga TAL, quando submetida a um tratamento térmico.

## CONCLUSÃO

Pode ser percebido que a liga estudada apresenta elevado grau de trabalhabilidade, nos dando um indício de que, pode-se utilizar a liga sem refinador de grão, quando se deseja trabalhar com diâmetros de fios acima de 1,5mm, possibilitando razoável conforto na deformabilidade para fios de diâmetros 4,77mm (cabo Penguin), 3,97mm (cabo Grosbeak) e 2,89mm (cabo Linnet), por exemplo.

A trabalhabilidade da liga no sentido transversal ao fluxo de calor, paralelo ao comprimento do espaçamento dendrítico secundário, avaliado com base na Figura 5, apresentou-se melhor do no sentido longitudinal ao fluxo de calor.

## Agradecimentos

É muito importante demonstrar o sincero agradecimento a Universidade Federal do Pará, ao grupo Alubar pela parceria e incentivo, a FADESP que gerência desta parceria e ao grupo GPEMAT que trabalha continuamente para o progresso da ciência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 NASCIMENTO, C.A.M [et al]. *Aumento da capacidade de transmissão de linhas aéreas, utilizando cabo CAA de liga de alumínio termorresistente (TAL)*. In: Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 15 (XV SNTPEE). Foz do Iguaçu, 1999.
- 2 FURUKAWA. *Liga de alumínio termorresistente*. Informativo técnico, n. 3, out.1999.

- 3 NEXANS CABOS DE ENERGIA. *Informe Técnico*: utilização de condutores termorresistente. São Paulo, 2002. Disponível em: [www.nexans.com.br](http://www.nexans.com.br). Acesso: 10 fev.2002.
- 4 S. Ueda e A. Fukumoto, Liga de alumínio termorresistente, SALTEE'96/Belo Horizonte, OUT/1996.
- 5 Van Vlack, Lawrence Hall – Princípios de Ciência e Tecnologia dos Materiais, Rio de Janeiro:1984.

# WORKABILITY ANALYSIS OF HEAT-RESISTANT ALUMINIUM ALLOY AFTER COLD FORMING <sup>(1)</sup>

*Ulysses Rodrigues dos Prazeres<sup>(2)</sup>  
Francisco Andrey Jucá Cavalcante<sup>(3)</sup>  
Thiago da Cunha Lima<sup>(4)</sup>  
Emerson David Cavalcante Santos<sup>(5)</sup>  
José Maria do Vale Quaresma<sup>(6)</sup>*

## **Abstract**

To assist widely crescent increase of demand of electric energy, the necessity to research new materials that keep characteristics in operation rate, had necessity to make studying about a new aluminium alloy, heat-resistant aluminium alloy, used in continuo rate of work until 150°C without mechanical properties decay of alloy. The understanding of behavior of the physics, electric and mechanical variables of wires and cables for electric energy transmission, as well as relationship between these variables is important to better use of this alloy, being workability the aspect important to be evaluated. Thus, aluminium alloys were made with chemical content of 0.03Zr (wt %) and 0.24Fe (wt %), these alloys was poured out in cast iron mold of unidirectional solidified with 23 mm thickness. The alloys were made with and without grain refined, seeking to analyze the effect of grain refined on workability of heat resistant alloy. After poured out were obtained specimen to rolling of front and perpendicular sense of heat extraction, and soon afterwards diffused specimen to rolling until 100mm, and after this specimen were heat treatment at 50, 100, 150, 200 and 250°C for 10 h for then to be made stretching test, to a response of mechanical behavior in the function of heat-treatment temperature.

**Key-words:** Heat-resistant; Workability.

*60<sup>th</sup> Annual ABM International Congress, July 25-28, 2005 – Minas Gerais.*

*<sup>(1)</sup> – Article to be presented in the 60<sup>th</sup> Annual ABM International Congress.*

*<sup>(2), (3), (4)</sup> – Mechanical Engineering Graduates -Para Federal University;*

*<sup>(5)</sup> –Mineral and metallurgy technology specialist– Para Federal University.*

*<sup>(6)</sup> – Prof. Dr., DEM – CT – Para Federal University.*