

Caracterização do 2024-T3: uma liga de alumínio aeroespacial.

Characterization of 2024-T3: an aerospace aluminium alloy

RESUMO

Ricardo Alexandre Los
ricardolos@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Ponta Grossa, Paraná,
Brasil

Juliana de Paula Martins
julianamartins@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Ponta Grossa, Paraná,
Brasil

A escolha de um tratamento térmico adequado tem grande importância para definir diversas características químicas e mecânicas que podem tornar o material mais adequado para certos usos. Para a liga de alumínio 2024, usada principalmente pela indústria aeroespacial, foram planejados quatro tratamentos térmicos envolvendo uma etapa de reversão e outra de reenvelhecimento, com o objetivo de se modificar a microestrutura e aumentar a sua microdureza. Num primeiro momento avaliaríamos como tempos diferentes na etapa de reversão afetaria a microestrutura e micro dureza. Num segundo momento seria avaliado como etapas de re-envelhecimento diferentes afetaria a microestrutura e micro dureza. Após estudos de microestruturas e micro durezas seria possível avaliar qual seria o processo de tratamento térmico mais adequado para ser utilizado pela indústria.

PALAVRAS-CHAVE: Reversão. Reenvelhecimento. Microestrutura. Microdureza. Tratamento térmico.

ABSTRACT

The heat treatment choice has a massive importance to define several chemical and mechanical characteristics, which can make it a better option for some uses. In the aluminium alloy 2024, which is used mostly by the aerospace industry, four heat treatments involving a retrogression and re-ageing stage were planning, with the major goal of modify the microstructure and increase micro hardness. At first it would be evaluated as different times in the retrogression stage would affect the microstructure and micro hardness. In a second step, it would be evaluated how different stages of re-ageing would affect the microstructure and micro hardness. After studies of microstructures and micro hardness, it would be possible to evaluate which would be the most suitable heat treatment process to be used by the industry.

KEYWORDS: Retrogression. Re-ageing. Microstructure. Microhardness. Heat-treatment.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

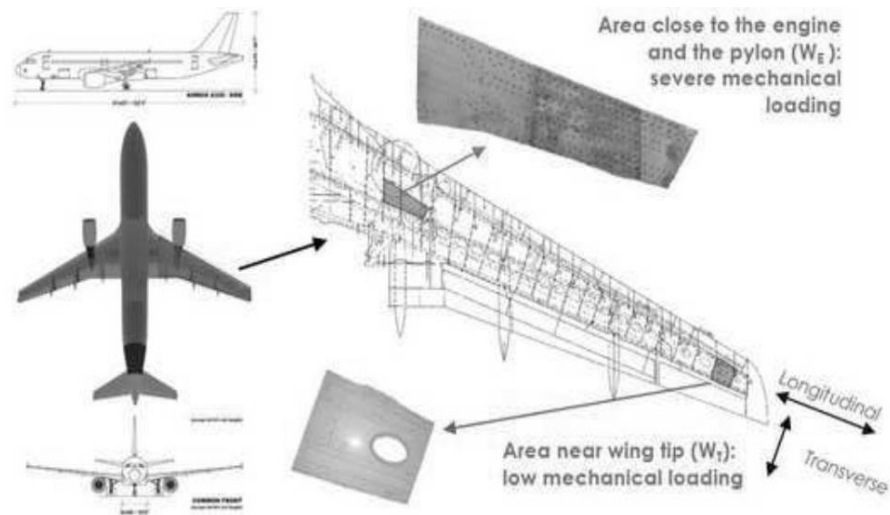
O alumínio é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, e sendo extraído maioritariamente da bauxita através do processo Bayer, esse elemento é, junto do ferro, um dos mais utilizados pela indústria moderna. Esse composto tem como grande vantagem a baixa densidade e consequentemente baixo peso, contudo sua resistência mecânica é baixa também, fazendo com que ele seja geralmente combinado com elementos minoritários (geralmente cobre, magnésio, silício e magnésio), formando assim ligas. (KOLOSOSKI *et al.*, 1998)

As ligas da série 2XXX tem como principal elemento adicionado o cobre, o qual tem grande influência no aumento da resistência mecânica da liga, principalmente após essa sofrer tratamento térmico, devido à formação de precipitados endurecedores, os quais são chamadas de zonas de Guinier-Preston, ou zonas GP. Contudo essas mesmas ligas sofrem pela redução da tenacidade a fratura e pela diminuição da resistência à corrosão. (KOLOSOSKI *et al.*, 1998)

A liga utilizada, Al 2024, atinge a maior resistência mecânica dentre todas as ligas Al-Cu envelhecidas naturalmente e tem como principais compostos o Cobre, representando cerca de 4,5% do peso da liga, o magnésio com 1,5%, manganês com 0,6%, silício com 0,5%, ferro com 0,5%, zinco com 0,25%, titânio com 0,15% e cromo com 0,1%. (HUDA *et al.*, 1998)

A liga Al 2024-T3 (onde o T3 representa que essa liga foi solubilizada, wncruada e envelhecida naturalmente) é muito utilizada na área da aviação em algumas peças (vide Figura 1) devido sua grande resistência mecânica, grande maleabilidade, baixo peso, e grande durabilidade, além de sua ductilidade não diminuir de forma significativa durante o tratamento térmico. (PRUDHOMME M. *et al.*, 2018)

Figura 1: Exemplos de peças feitas a partir da liga Al 2024



Fonte: PRUDHOMME M. *et al.*, 2018

Os tratamentos térmicos são realizados com objetivo de se mudar alguma propriedade física da liga, conforme for necessário para sua utilização. Para isso geralmente são realizados em algumas etapas, sendo nesse caso, solubilização (aquecimento realizado para se solubilizar os compostos pertencentes a liga, com

posterior tempera para manter esses átomos em uma solução sólida), envelhecimento (etapa em que ocorre a precipitação dos compostos solubilizados, formando precipitados finos e bem distribuídos que aumentam a resistência mecânica da liga), reversão (processo realizado a temperatura superior a do envelhecimento que visa a ressolubilização parcial dos compostos), reenvelhecimento (processo feito a temperatura mais baixa que visa a maior formação de precipitados endurecedores). Após a escolha do tempo com que cada processo seria realizado, e a aplicação do tratamento térmico, tinha-se como objetivo analisar a microestrutura e microdureza dessa liga para constatar se houve alguma alteração nessas propriedades e assim poder analisar se seria um tratamento efetivo. (KOLOSOSKI *et al.*, 1998)

METODOLOGIA

Para a elaboração dessa pesquisa, foram utilizados tubos maciços da liga Al2024 com aproximadamente 2 centímetros de diâmetro, sendo esses cedidos pela Embraer. Esses tubos foram inicialmente cortados em várias peças, formando assim pequenos discos com aproximadamente 3 milímetros de espessura.

Quatro desses discos foram utilizados como amostras para os tratamentos I e II, sendo dois discos para cada tratamento. Tanto para a solubilização quanto para a reversão utilizou-se uma mufla, enquanto para a reversão foi utilizada uma estufa. Já o reenvelhecimento, por ser realizado nos tratamentos I e II a temperatura ambiente, as amostras foram deixadas fechadas em um armário para que houvesse uma menor variação de temperatura durante o período.

Após o tratamento térmico ser realizado nessas quatro amostras, elas foram embutidas a frio (para garantir que isso não fosse interferir nos resultados do tratamento ao aquecer as amostras). Após serem embutidas, iniciou-se o processo de lixamento, o qual evoluiu da lixa 100 para a 600, passando pela 200, 300 e 400, depois desse processo ser finalizado as peças foram polidas utilizando para isso sílica coloidal.

Todas essas técnicas metalográficas foram realizadas para que fosse possível analisar a efetividade desses tratamentos propostos na formação de zonas GP1 e GP2 (ou θ), e o consequente endurecimento que essas trazem a liga.

Era planejado que essas peças fossem utilizadas para serem analisadas as suas microestruturas e resistências mecânicas, contudo devido à pandemia e sua consequente quarentena, essa fase final não pode ser realizada. Também era planejada a realização dos tratamentos III e IV e sua preparação para que também fossem analisadas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente foi discutido quais seriam os tratamentos a serem feitos, e utilizando-se como base o artigo de Erdogan, Çengelci (2016, p. 383-384), no qual é realizado o tratamento térmico na mesma liga, e ainda sabendo que nesse tratamento os pesquisadores avaliaram os efeitos que a variação do tempo com que a liga sofrendo envelhecimento (processo final do tratamento térmico

utilizado), afeta na microdureza da mesma. Erdogan e Çengelci obtiveram os resultados apresentados na Tabela 1:

Tabela 1 – Relação da microdureza em $Hv_{0,05}$ para as diferentes etapas de tratamento

Liga	Microdureza ($Hv_{0,05}$)
Sem tratamento	± 135
Após homogeneização	± 170
Após envelhecimento de 3h à 190°C	± 175
Após envelhecimento de 5h à 190°C	± 180

Fonte: Erdogan, Çengelci (2016).

Com esses dados pode-se notar um grande aumento da microdureza na liga já homogeneizada em relação a liga sem tratamento, contudo depois desse tratamento inicial, não há grandes alterações da microdureza no envelhecimento, nem com o aumento do tempo que esse é realizado. Por isso foi decidido que nos tratamentos a serem realizados o envelhecimento seria feito por apenas uma hora na mesma temperatura por eles utilizada, para que, assim, pudesse ter um embasamento dos valores da microdureza da liga sem tratamento e dela após o envelhecimento.

Para a escolha da temperatura de reversão foi utilizado o gráfico de fases do alumínio-cobre, no qual, com objetivo de que a liga se mantivesse na fase α , foi mantida a temperatura inferior a 300°C (mais precisamente 280°C). Enquanto o tempo a ser realizado nesse processo teria como objetivo analisar como ele influenciaria a microestrutura e microdureza da peça, e por isso foram ideados tratamentos com diferentes tempos de reversão (20 minutos e uma hora).

Para a escolha das temperaturas e tempos do reenvelhecimento foi levado em conta que a liga utilizada sofre um envelhecimento natural, ou seja, não é necessário o uso de tratamentos térmicos para que ele ocorra, e portanto foram selecionados dois métodos de reenvelhecimento para ver se estes teriam grande influência nas propriedades a serem analisadas, e portanto foi decidido por um método de envelhecimento natural realizado por um período mais longo (a temperatura ambiente por pelo menos uma semana) e um envelhecimento artificial por período mais curto (quatro horas a 190°C).

Com esses dados foram desenvolvidos os tratamentos I, II, III, IV, descritos a seguir e apresentados nas figuras 2, 3, 4 e 5 respectivamente (nas figuras 2 e 3 onde o reenvelhecimento dura 7 dias o gráfico foi interrompido pouco antes de 700 minutos de tempo final, com intuito apenas de se melhorar a leitura dos gráficos) :

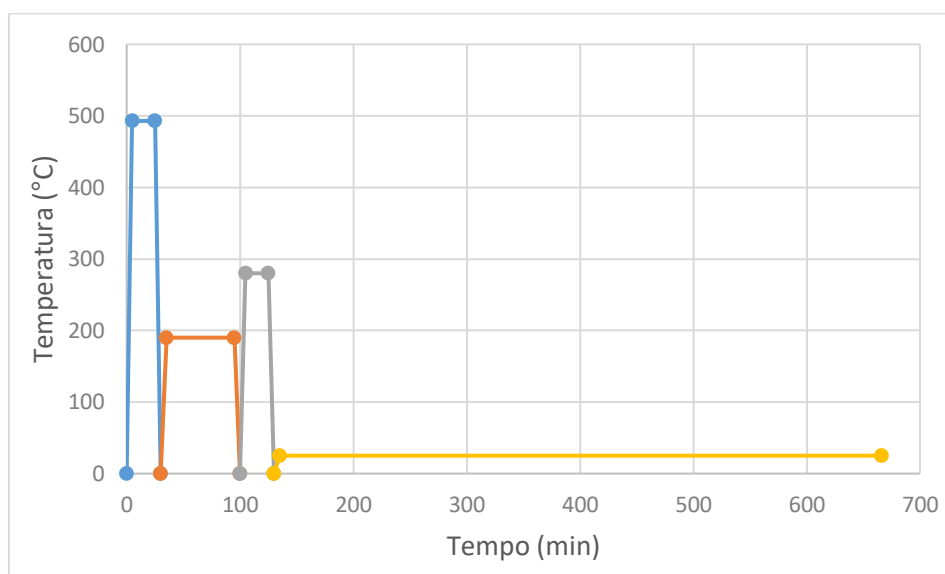
Tratamento I: Solubilização da amostra durante 20 minutos à 493°C, seguida de um envelhecimento de uma hora à 190°C, este sucedido por uma reversão realizada durante 20 minutos à 280°C, e por fim um reenvelhecimento RRA de uma semana a temperatura ambiente, sendo que entre todos os processos deve ser realizada a tempera.

Tratamento II: Solubilização da amostra durante 20 minutos à 493°C, seguida de um envelhecimento de uma hora à 190°C, este sucedido por uma reversão realizada durante uma hora à 280°C, e por fim um reenvelhecimento RRA de uma semana a temperatura ambiente, sendo que entre todos os processos deve ser realizada a tempera.

Tratamento III: Solubilização da amostra durante 20 minutos à 493°C, seguida de um envelhecimento de uma hora à 190°C, este sucedido por uma reversão realizada durante um 20 minutos à 280°C, e por fim um reenvelhecimento RRA de 4 horas a 190°C, sendo que entre todos os processos deve ser realizada a tempera.

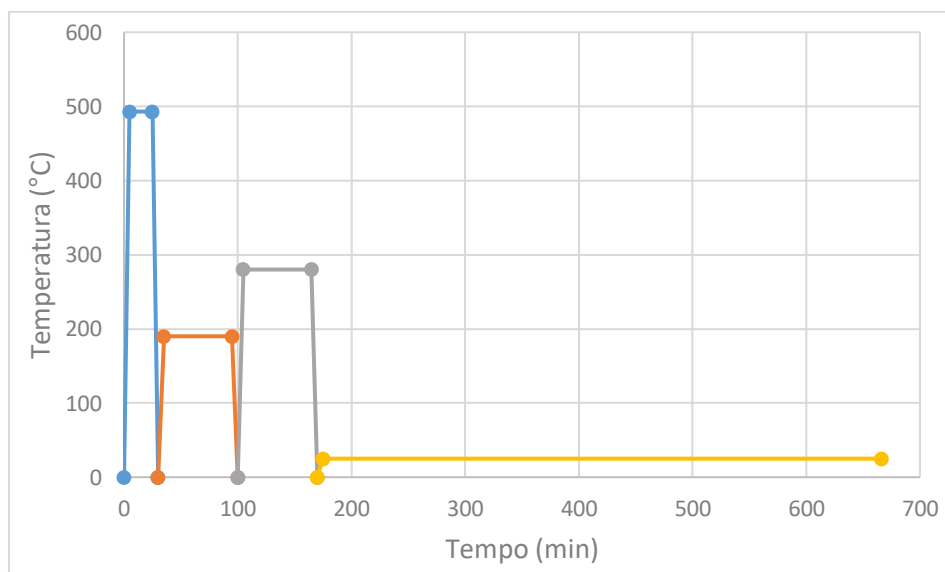
Tratamento IV: Solubilização da amostra durante 20 minutos à 493°C, seguida de um envelhecimento de uma hora à 190°C, este sucedido por uma reversão realizada durante uma hora à 280°C, e por fim um reenvelhecimento RRA de 4 hora a 190°C, sendo que entre todos os processos deve ser realizada a tempera.

Figura 2: Gráfico Temperatura x Tempo do tratamento I



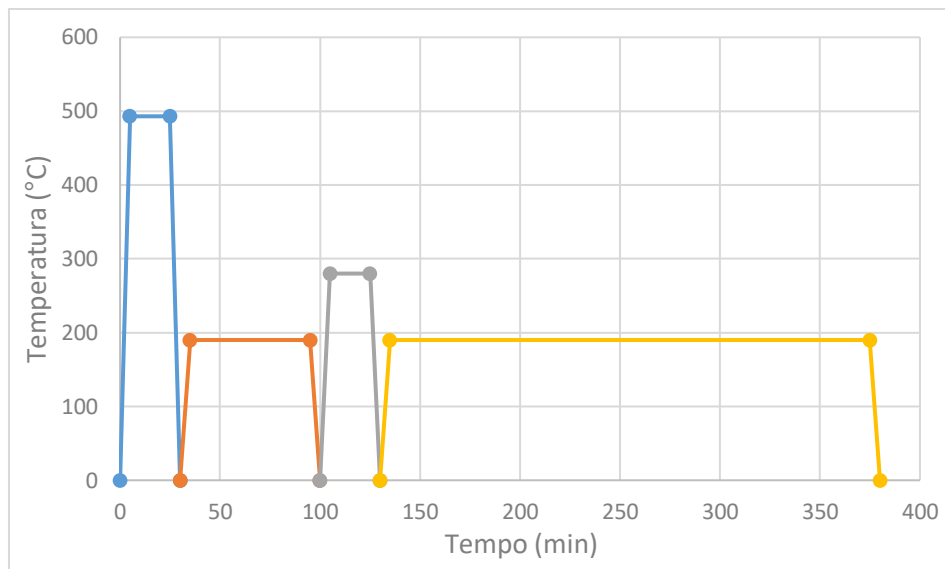
Fonte: Autoria própria, 2020

Figura 3: Gráfico Temperatura x Tempo do tratamento II



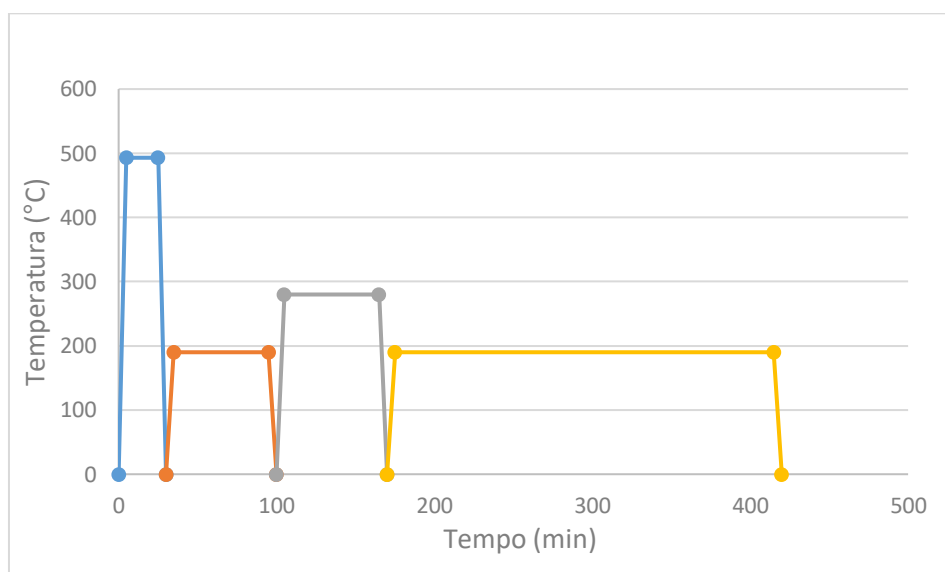
Fonte: Autoria própria, 2020

Figura 4: Gráfico Temperatura x Tempo do tratamento III



Fonte: Autoria própria, 2020

Figura 5: Gráfico Temperatura x Tempo do tratamento IV



Fonte: Autoria própria, 2020

Como resultado desse experimento, era esperado que microestruturalmente nessas peças, houvessem a formação de zonas GP1 e GP2, assim como era esperado visualizar como a mudança do tempo de reversão realizado (tendo vinte minutos ou uma hora), e a mudança da forma que o reenvelhecimento seria feito (natural ou artificialmente), afetaria em algo na formação dessas zonas.

Para se analisar quais eram as resistências mecânicas das peças (as quais são diretamente afetadas pela formação de zonas GP1 e GP2) e como essas foram afetadas pelos tratamentos realizados, seria necessária a realização de ensaios de tração nas amostras. Após os ensaios conseguiria ser feito a análise da efetividade

da reversão e do rejuvenescimento aplicado na peça para o aumento da sua resistência mecânica.

Com essas análises microestruturais, e de resistência mecânica, poderia ser analisado se os tratamentos planejados foram efetivos em seus objetivos (aumentar a formação de zonas GP e aumentar a resistência mecânica da liga). Com essa análise poderia afirmar se realmente seria um tratamento térmico viável e se teria alguma utilidade a indústria continuar o tratamento térmico após o envelhecimento e como esse tratamento deveria ser realizado.

CONCLUSÕES

Com a elaboração desse conjunto de experimentos pode-se concluir que o tratamento térmico em ligas de alumínio é de grande importância para melhorar as características físicas, químicas e mecânicas da mesma.

É importante ressaltar que mesmo sem os resultados finais -os quais não foram obtidos devido a pandemia de COVID-19 e sua consequente paralização das atividades- foram realizadas todas as etapas da preparação das amostras, do tratamento térmico e do preparo metalográfico das peças.

Mesmo sem os resultados definitivos, pode-se esperar que esses apresentassem melhoras significativas das propriedades analisadas em relação aos processos em que são realizados apenas a solubilização ou o envelhecimento, devido esse ser um processo no qual geralmente se obtém bons resultados.

REFERÊNCIAS

ERDOGAN G.M.; ÇENGELCI B. Mechanical and electrical properties of artificially aged aluminium alloy AA 2024, 2016. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Ibrahim_Gunes/publication/309140434_Mechanical_and_electrical_properties_of_artificially_aged_aluminium_alloy_AA_2024/links/5a742cafaca2720bc0dc8211/Mechanical-and-electrical-properties-of-artificially-aged-aluminium-alloy-AA-2024.pdf

HUDA Z.; TAIB N. I.; ZAHARINIE T. Characterization of 2024-T3: an aerospace aluminium alloy, 2009 Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0254058408007682>.

Acesso em: 10/09/2019

KOLOSOSKI J.; COUTO A. A.; AMBROSIO FILHO F. **Associação brasileira do alumínio (ABAL):** metalografia do alumínio e suas ligas. 1. ed. São Paulo: IPEN 1998. P 2-50

PRUDHOMME M.; BILLY F.; ALEXIS J.; E OUTROS. Effect of actual and accelerated ageing on microstructure evolution and mechanical properties of a 2024-T351 aluminium alloy, 2018. Disponível em: <https://oatao.univ-toulouse.fr/18653/>.

Acesso em : 10/09/2019