

# ‘ESTUDO DA SOLDABILIDADE DO ALUMÍNIO 7475-0 COM O PROCESSO TIG

**Tiago Pedrotti dos Santos**

Universidade Federal de Santa Maria – Departamento de Engenharia Mecânica  
[t.pedrotti@bol.com.br](mailto:t.pedrotti@bol.com.br)

**Aleir Antonio Fontana De Paris**

Universidade Federal de Santa Maria – Departamento de Engenharia Mecânica  
[aparis@ct.ufsm.br](mailto:aparis@ct.ufsm.br)

**Resumo.** O alumínio 7475 é uma liga desenvolvida para aplicações que exigem alta resistência mecânica, especificamente na indústria aeroespacial. Devido a sua composição química as ligas da série 7XXX são consideradas não soldáveis ou de difícil soldabilidade, e poucas informações se encontram disponíveis sobre o assunto. Procurando desenvolver uma metodologia de soldagem utilizando o processo de soldagem TIG, uniões de chapas do alumínio 7475-0 foram soldadas com arco elétrico convencional, arco pulsado, e com vibração do cordão. Os resultados práticos mostraram que o processo com arco pulsado permite soldas sem defeitos enquanto que com os outros procedimentos trincas foram encontradas no cordão e cratera final.

**Palavras-chave:** alumínio 7475-0, soldagem TIG, caracterização.

## 1. INTRODUÇÃO

Os fabricantes de aviões constantemente desafiam os pesquisadores para mudanças, seja na obtenção de novos materiais ou nos processos de uniões para ligas especiais de alumínio empregadas nas estruturas das aeronaves. O desenvolvimento de ligas de alumínio mais resistentes teve início entre os anos 20 e 60 com a liga de alta tenacidade tipo 2024, e na segunda guerra mundial com a liga 7075 a base de Al-Zn-Mg-Cu<sup>(1)</sup>. Com a necessidade crescente de uma liga resistente mas com tenacidade a fratura maior, foi desenvolvida nos anos 70 a liga 7475, também a base de Al-Zn-Mg-Cu<sup>(2)</sup>. As chapas desta liga têm aproximadamente a mesma resistência da liga 7075, combinada com tenacidade similar a liga 2024-T3 na temperatura ambiente. Sua grande relação peso-resistência permitiu o uso intensivo na indústria aeroespacial para componentes estruturais<sup>(2)</sup>. A resistência a trincas por corrosão e esfoliação é similar aquela da liga 7075. A Figura 1 mostra com exemplo, a moldura interna da porta de bagagem do jato Learjet, fabricada inteiramente com a liga 7075.

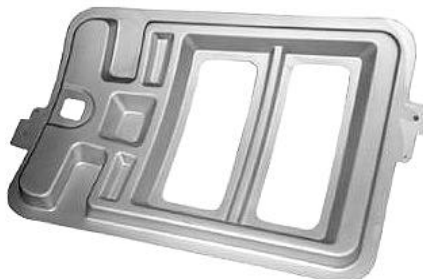


Figura 1. Porta interna do depósito de bagagem do [Learjet 45](#) fabricada em alumínio 7475.

Recentemente, a soldagem de ligas de alumínio de uso aéreo-espacial recebeu atenção renovada, como consequência da necessidade de redução dos custos de fabricação de estruturas de aviões, empregando rebites ou outro meio mecânico. Entretanto, muitas das ligas de alumínio correntemente empregadas na fabricação de aviões, incluindo a liga 7475, são consideradas não recomendadas para soldagem com fusão<sup>(3)</sup>.

Na soldagem de ligas de alumínio de alta resistência e termicamente tratáveis, trincas a quente estão relacionadas a sua grande quantidade de elementos de adição, alta expansão térmica, grande variação de volume até a solidificação, e grande taxa de resfriamento<sup>(4)</sup>.

Os problemas específicos que limitam sua soldabilidade são: trincas de solidificação dentro da zona de fusão, trincas de liquação nos contornos da zona fundida e ZAC, e baixa resistência à corrosão<sup>(5,6)</sup>. Em geral, a tendência a trinca a quente é influenciada pela combinação de fatores mecânicos, térmicos e metalúrgicos<sup>(7,8)</sup>.

A ZAC é uma parte importante da solda próxima a zona de fusão. A microestrutura da ZAC é muito complexa porque qualquer ciclo térmico afetará o comportamento de precipitação como dissolução, re-precipitação e grãos grosseiros nesta região. Além disso, segregação dinâmica ocorre na ZAC devido ao aquecimento e resfriamento rápido durante a soldagem. Isto leva a liquação de constituintes de baixo ponto de fusão, ou fases eutéticas nos contornos de grãos causando grande susceptibilidade a trincas a quente<sup>(8,9,10)</sup>, especialmente sob temperaturas elevadas e condições severas de constrição.

Baseados nas dificuldades mencionadas anteriormente, e por falta de bibliografia disponível sobre a soldagem da liga 7475-O, o objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento deste tipo de liga soldada com o processo TIG convencional, pulsado, e com vibração do cordão de solda.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Peças de chapas de alumínio 7475-O, estado recozido, com espessura de 2,5 mm foram cortadas nas dimensões 50 x 150 mm, A composição química da liga segundo a norma UNS A97475 é mostrada na Tabela 1. A soldagem de topo das peças foi realizada de forma mecanizada para controle dos parâmetros de soldagem utilizados. Os parâmetros selecionados foram escolhidos em função de testes realizados, para se obter penetração total da amostra. Estes parâmetros são: velocidade de soldagem 10 mm/s, eletrodo de tungstênio com tório classificação AWS Th-2 diâmetro 2,4 mm, ângulo da extremidade 30°, extensão do eletrodo fora do bocal 3 mm, comprimento do arco 2 mm, gás argônio comercial com vazão 12,5 l/min.

As metodologias de soldagem empregadas foram com arco convencional, arco convencional mais vibração do cordão, e arco pulsado. Os parâmetros intensidade de corrente e tensão estão plotados na Tabela 2.

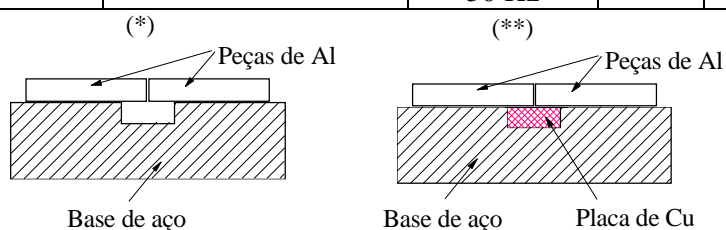
Para a micrografia foi utilizado o reativo de Keller.

Tabela 1. Composição química da liga UNS A97475<sup>(11)</sup>.

Elementos químicos % em peso	Al	88,5 – 91,5
	Cr	0,18 – 0,25
	Cu	1,20 – 1,90
	Mg	1,90 – 2,60
	Zn	5,20 – 6,20
	Fe	Máx. 0,12
	Si	Max. 0,10
	Ti	Max. 0,06
	Mn	Max. 0,06
	Outros, cada	Máx. 0,05
	Outros, total	0,15

Tabela 2. Parâmetros de soldagem e métodos empregados.

Amostra	Método	I (A)			U(V)	OBS.
CP 1	Convencional	160			18	*
CP 2	Convencional	160			18	P/Cu**
		$I_p$	$I_b$	n° de pulsos/s		
3	Pulsado	180	71 (40%)	6	16	
4	Pulsado	220	44 (20%)	6	16	
5	Pulsado	220	110 (50%)	6	16	
6	Pulsado	220	110 (50%)	6	16	P/Cu
7	Convencional - vibrado	160		Frequência 30 Hz	18	
8	Convencional - vibrado	160		Frequência 50 Hz	18	



### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As primeiras amostras foram feitas com o arco convencional e efetuada uma avaliação visual e com lupa estereoscópica para verificar a presença de defeitos, principalmente a ocorrência de trincas, Figura 1. A solda foi efetuada sem apoio no reverso do cordão.

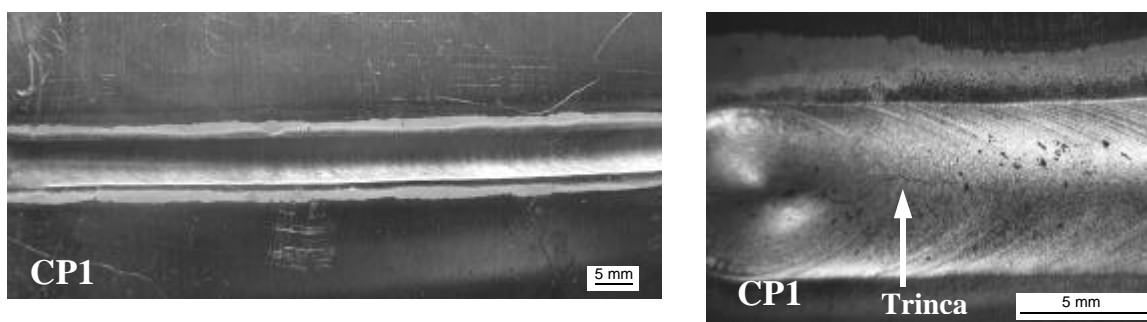


Figura 1. Amostra soldada com arco convencional, I(A) 160.

Pela Figura 1 nota-se que o cordão aparentemente não apresentou trincas ao longo do mesmo, visualizando-se um cordão de aspecto liso característico. Para um aumento maior, foi detectada a presença de trinca no início do cordão se propagando longitudinalmente ao longo da solda até uma distância de ~20 mm. A partir desta distância a solda prosseguiu sem apresentar outro tipo de defeito.

Para verificar o efeito da dissipação do calor, foi feita uma solda com as peças apoiadas sobre uma barra de cobre, com os mesmos parâmetros, ocorrendo uma trinca maior talvez como consequência do rápido resfriamento, Figura 2. Neste experimento, a trinca propagou-se numa extensão maior, cerca de 65 mm, quase metade do comprimento do cordão.

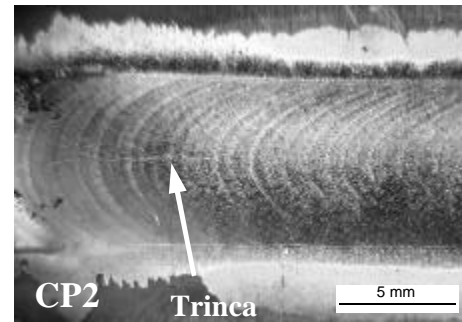
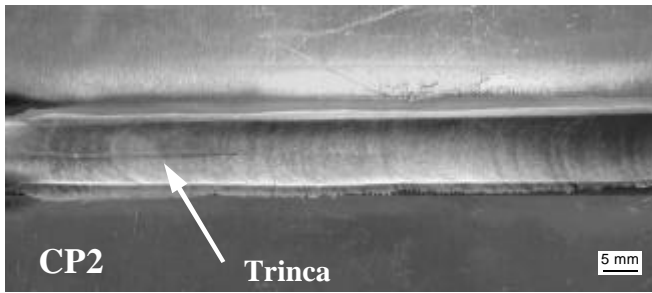


Figura 2. Trinca no início do cordão se propagando de forma longitudinal.

A primeira tentativa de soldar com arco pulsado, amostra CP 3, apresentou resultados catastróficos. À medida que o arco avançou uma trinca iniciou e se propagou acompanhando a passagem do arco, ocorrendo falha total com a separação das peças a unir. Com a modificação dos parâmetros, CP 4, também se formou uma trinca com um comprimento de aproximadamente 45 mm, longitudinal a solda, Figura 3.

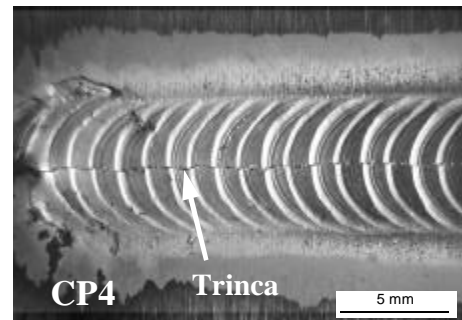
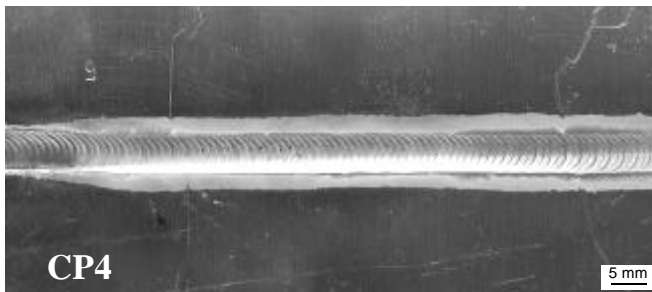


Figura 3. Soldagem com arco pulsado, presença de uma trinca de grandes proporções.

Na Figura 4 é mostrado o CP5, que mesmo mudando os parâmetros de corrente de base e pico, apresentou trinca longitudinal e trinca na cratera final.

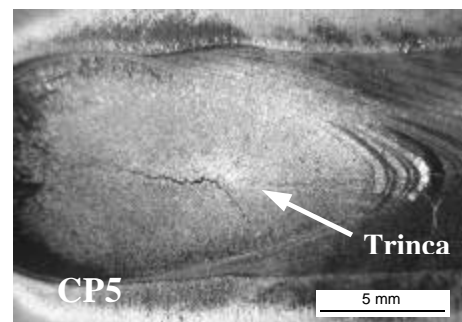
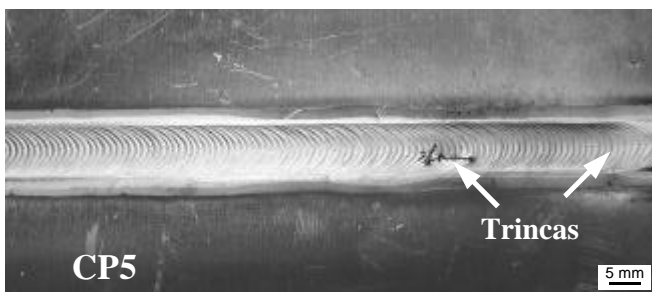


Figura 4. Soldagem com arco pulsado:  $I_p$  220A e  $I_b$  110A, 6 pulsos/s. Trinca longitudinal e na cratera final

Como os mesmos parâmetros, porém soldando sobre o suporte de cobre para dissipar o calor, CP 6, conseguiu-se uma solda praticamente isenta de defeitos, com uma pequena trinca na cratera final, Figura 5. Contrariamente ao caso do corpo de prova CP2, a dissipação do calor pelo cobre favoreceu a soldagem sem defeitos.

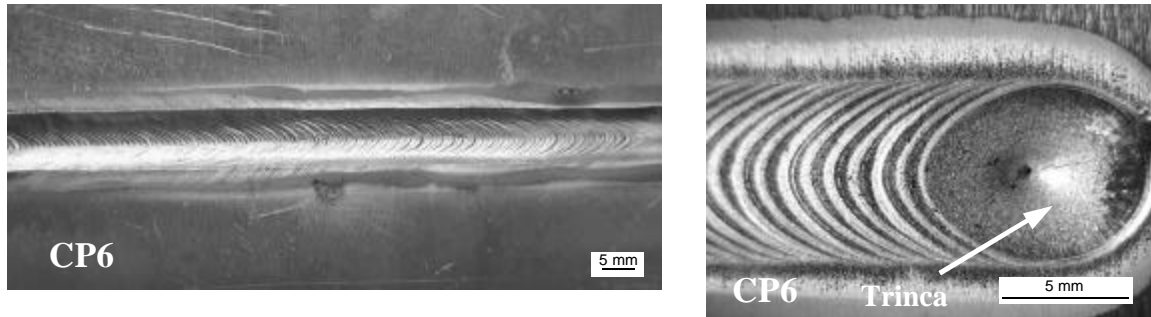


Figura 5. Solda com  $I_p$  220A e  $I_b$  110A, 6 pulsos/s, com suporte de cobre no reverso.

A tentativa de soldar, com arco convencional 160 A e vibração do cordão de 30 Hz, CP7, apresentou excelentes resultados com relação ao aspecto visual e com lupa, Figura 6. Nenhuma trinca foi detectada.

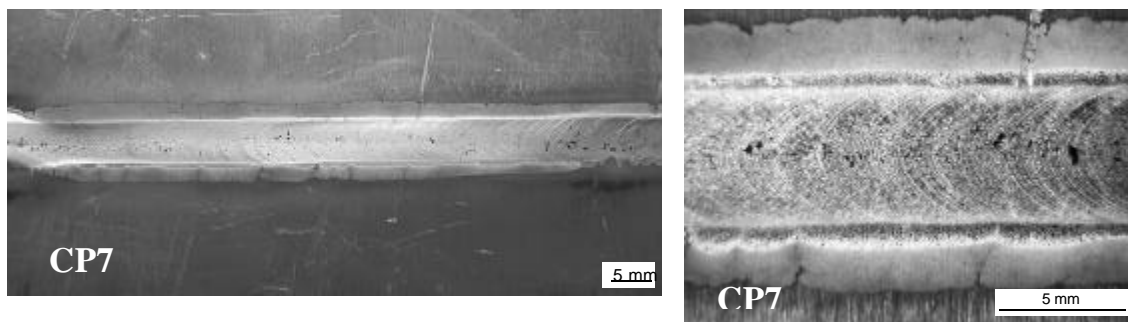


Figura 6. Cordão de solda feito com baixa vibração do cordão, 30 Hz, e  $I(A)$  160.

Mantendo os parâmetros iguais ao CP7, mas aumentando a vibração do cordão, a amostra não apresentou defeitos superficiais, Figura 7. No entanto, no reverso da solda apareceu uma trinca longitudinal.

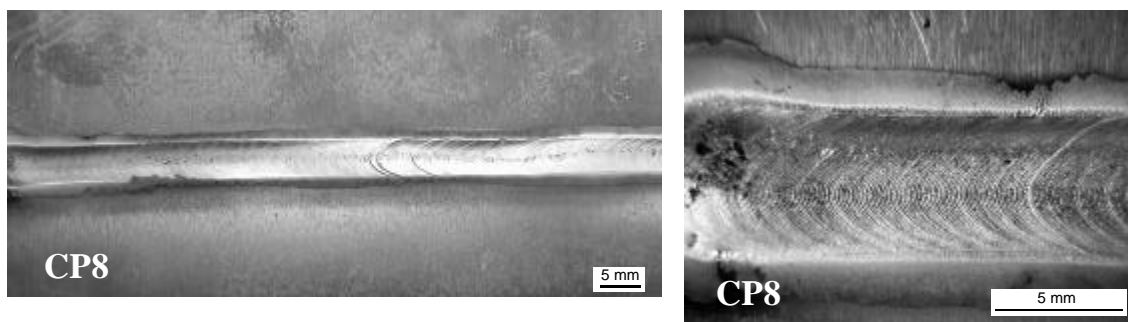


Figura 7. Cordão de solda feito com os mesmos parâmetros da amostra CP7, Figura 6, porém com aumento da vibração do cordão, 50 Hz.

As macroestruturas mais relevantes das seções transversais dos cordões de solda estão mostradas na Figura 8 e 9. Os corpos de prova que apresentaram trincas severas no cordão foram descartados. O corpo de prova CP 5, pulsado com os parâmetros fornecidos na Tabela 2, e que apresentou defeitos visíveis na superfície, foi seccionado em uma região não afetada pela trinca. Pela macrografia verifica-se que a intensidade de corrente foi muito elevada causando a depressão do metal fundido do cordão, já que não havia cobre-junta, Figura 8a. Procurando diminuir este defeito, a solda foi efetuada com os mesmos parâmetros e a amostras ficaram apoiadas sobre uma placa de cobre, CP6. A solda se apresentou sem defeitos aparentes, Figura 8b.

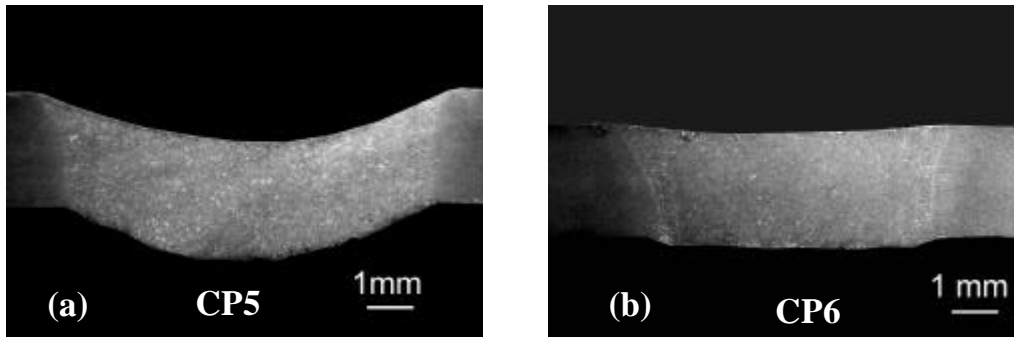


Figura 8. Macroestrutura de dois cordões efetuados com os mesmos parâmetros somente no caso 8b com cobre junta.

A Figura 9a ilustra o cordão de solda CP7 pulsado com a frequência de 30 Hz. Observando o cordão não se verificaram defeitos visíveis na superfície e na raiz do cordão de solda. No entanto, após corte transversal, nota-se a presença de pequenas porosidades internas no cordão de solda. Para a amostra CP8, Figura 9b, soldada com frequência de 50 Hz, a raiz da solda apresentou uma trinca longitudinal no cordão.

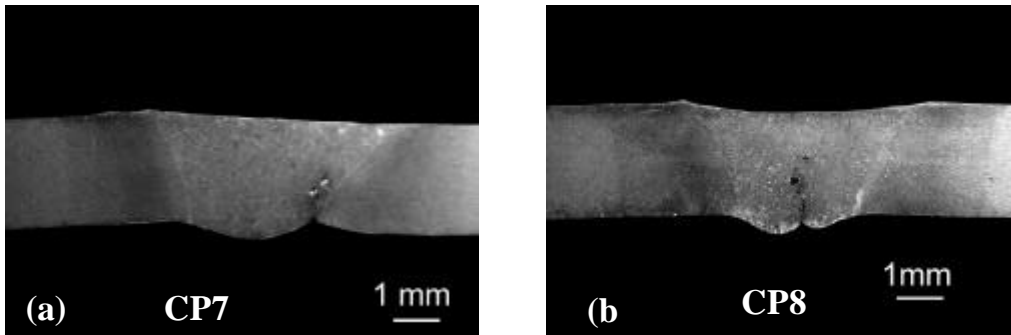


Figura 9. Seção transversal dos cordões de solda executados com vibração de 30 Hz (a) e de 50 Hz (b).

Na Figura 10, está mostrada a interface entre a zona fundida (ZF), zona afetada pelo calor (ZAC) e o metal de base (MB) para o CP6. Pode-se visualizar a formação de grãos dendríticos a partir da zona afetada pelo calor.

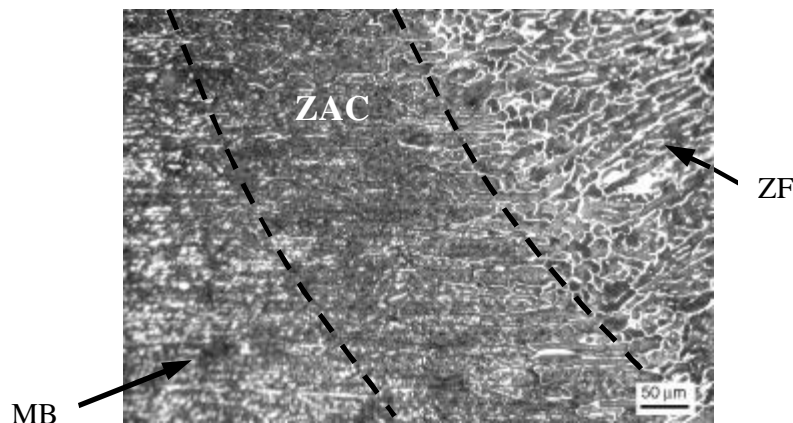


Figura 10. Interface zona fundida e metal de base.

A microestrutura do material de base em peças não aquecidas está mostrada na Figura 11. Após soldagem a microestrutura do metal de base e do cordão de solda está mostrada na Figura 12.

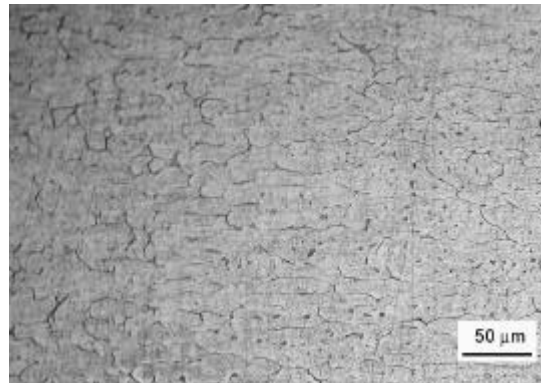


Figura 11. Microestrutura do metal de base no estado recozido.

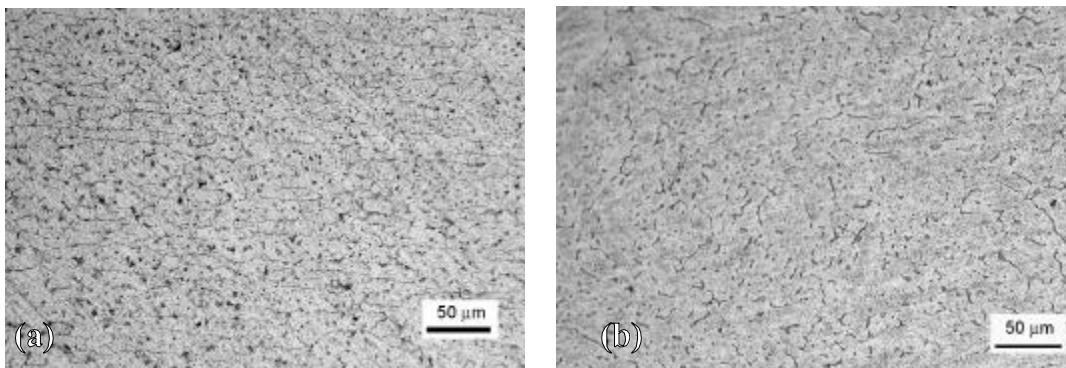


Figura 12. Microestrutura do metal de base (a) e da zona da solda (b), para a amostra CP6, após soldagem.

As ligas de alumínio da série 7xxx são ligas endurecíveis por precipitação. Com temperaturas superiores a 170°C inicia-se um processo de precipitação da fase denominada  $\eta^{(12)}$  com a composição química  $Mg(ZnCuAl)_2$ , o que poderia diferenciar a quantidade de precipitados entre o metal de base recozido, Figura 11, e após o aquecimento da amostra pela soldagem, Figura 12 (a).

Uma análise no Microscópio Eletrônico de Varredura mostra que a trinca é intergranular se propagando entre as dendritas, Figura 13.

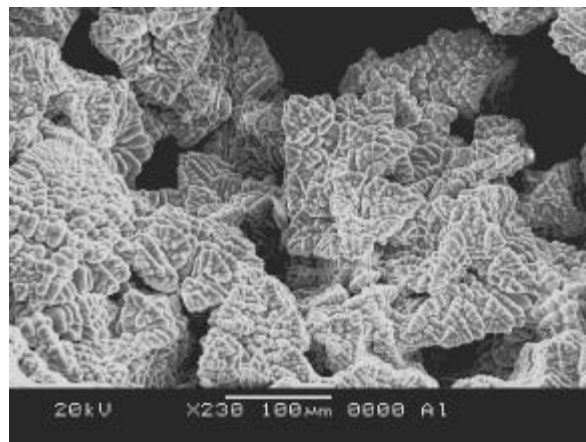


Figura 13. Estrutura dendrítica do cordão de solda na trinca.

Na Figura 14, com um aumento maior da imagem, nota-se pequenas regiões de liquação, muito reduzidas. Os resultados encontrados são contrários aos encontrados por Yang et al<sup>(4)</sup> que encontraram trincas transversais e mordeduras nos cordões de solda. As trincas iniciariam na ZAC exclusivamente em função da liquação na interface. A mais provável explicação é que a soldagem foi efetuada sobre a liga 7475-T7351 com tratamento térmico<sup>(4)</sup>.

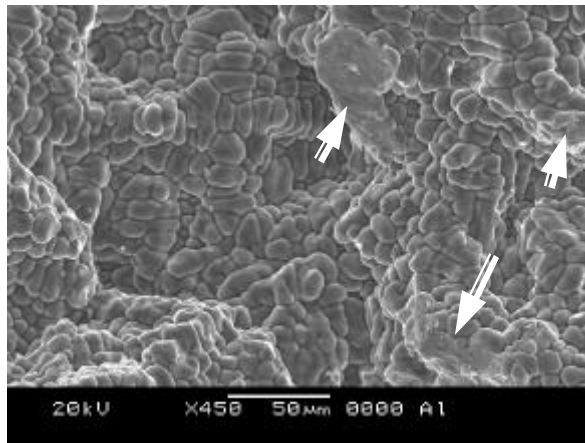


Figura 14. Macroestrutura da trinca do cordão de solda mostrando pequenas zonas de liquação.

#### 4. CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos e apresentados acima, se pode concluir que a soldabilidade da liga 7475-O no estado recozido permite a soldagem com certos cuidados. A escolha dos parâmetros de soldagem é fundamental para evitar a presença de defeitos, principalmente trincas.

Com as condições de soldagem empregadas até o momento, a soldagem com arco pulsado apresentou os melhores resultados. Possivelmente com novas combinações de parâmetros de pulso e intensidade de corrente, bem como o emprego de outras vibrações, poderá levar a resultados melhores.

Como este tipo de liga é empregada com tratamento térmico para aumento da resistência, da tenacidade e da corrosão, a soldagem se torna difícil. Uma solução seria a soldagem no estado recozido e posterior tratamento térmico. Como não existem publicações referentes ao assunto, torna-se um campo de experimentos e resultados muito amplos. Novos ensaios estão sendo conduzidos, para verificar a resistência do conjunto soldado tal como obtido. Também, com o intuito de verificar se a resistência do conjunto soldado após tratamentos térmicos do tipo T6 e T7351, manterá as propriedades requeridas para este tipo de liga.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de expressar seu profundo agradecimento a EMBRAER pelo fornecimento das chapas de alumínio 7475-O, possibilitando desta forma o desenvolvimento do trabalho e a geração de novos conhecimentos na soldagem deste tipo de liga.

#### 6. REFERÊNCIAS

- (1) STALEY, J.T. ; HUNT Jr, W.H. Needs of the aircraft industry for aluminum products. <http://techcon.ncms.org/98con/presentations/Staley-Aluminum.pdf>.
- (2) Technical site. [http://www.superform-aluminium.com/susa/TECHNICAL/alloy\\_7475.html](http://www.superform-aluminium.com/susa/TECHNICAL/alloy_7475.html)



- (3) Wrought Aluminum alloys. <http://www.maraging.com/aluminum/aluminum.html>.
- (4) YANG, J.-G ; OU, B.-L. Hot ductility behavior and HAZ hot cracking susceptibility of 7475-T7351 aluminum alloy. **Scandinavian Journal of Metallurgy**, v. 30, 2001, p.146-157.
- (5) NORMAN, A.F. et al. Examination of the effect of Sc on 2000 and 7000 series aluminum alloy casting: for improvements in fusion welding. **Materials Science & Engineering A**. v. A354, 2003, p. 188-198.
- (6) WESTON, J. et al. Laser welding of aluminum alloys using different laser sources. [http://happyinmotion.com/jez/laser\\_welding\\_paper.pdf](http://happyinmotion.com/jez/laser_welding_paper.pdf), 2003, p. 1-16.
- (7) KOU, S. ; LE, Y. Nucleation mechanisms and grain refining of weld metal, **Welding Journal**, v. 65, n. 12, 1986, p. 305s-313s.
- (8) KOU, S. **Welding Metallurgy**, Ed. John Wiley & Sons: New York, 1987, p. 129-295.
- (9) ZACHARIA, T. ; AIDUN, D.K. Elevated temperature mechanical properties of Al-Li-Cu-Mg alloy, **Welding Journal**, v. 67, n. 12, 1988, p. 281s-288s.
- (10) [LIN, W.](#); et al. An evaluation of heat-affected zone liquation cracking susceptibility: development of a method for quantification, **Welding Journal**, v. 72, n. 4, 1993, p. 135s-153s.
- (11) ASM, Aerospace Specification Metals Inc. <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA7475T651>.
- (12) RAIZENNE, D. et al. Retrogression and re-aging (RRA) of new and old aircraft parts. [http://www.galaxyscientific.com/agingaircraft2002/Sessions/2/2B3\\_Raizenne\\_doc.pdf](http://www.galaxyscientific.com/agingaircraft2002/Sessions/2/2B3_Raizenne_doc.pdf), 2002, p. 1-11.

## STUDY OF WELDABILITY OF ALUMINUM 7475-0 WITH TIG WELDING PROCESS

### **Tiago Pedrotti dos Santos**

Federal University of Santa Maria - Department of Mechanical Engineering  
t.pedrotti@bol.com.br

### **Aleir Antonio Fontana De Paris**

Federal University of Santa Maria - Department of Mechanical Engineering  
aparis@ct.ufsm.br

**Abstract.** *The aluminum 7475 is an alloy developed for applications that demand high mechanical resistance, specifically in the aerospace industry. Due to its chemical composition aluminum alloys of the series 7XXX are considered difficult to welding or limited weldability, and little information are available on the subject. Trying to develop a welding methodology using the TIG welding process, joints of aluminum 7475-0 sheets were welded with conventional electric arc, pulsed arc, and with vibration of the weld bead. The practical results showed that the process with pulsed arc allows welds without defects while with the other procedures cracks were found in the weld bead and final crater.*

**Keywords:** *aluminum 7475-O, TIG welding, characterization.*