

# SOLDAGEM A LASER LEAD-FREE DE CABOS EM CONTATOS PARA A INDÚSTRIA AERONÁUTICA.

**Juliana da Cunha Freitas<sup>1</sup>, Rubem Alves da Silva Junior<sup>2</sup>, Milton Sergio Fernandes de Lima<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Univap (Universidade do Vale do Paraíba) - FEAU (Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo), Avenida Shishima Hifumi, 2911 - Bairro Urbanova – São José dos Campos- SP - CEP 12244-000, juliana.cunha@embraer.com.br

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50, São José dos Campos (SP), rubemalves@gmail.com

<sup>3</sup>Instituto de Estudos Avançados (IEAv/CTA), Rod. Tamoios km 5,5, São José dos Campos (SP), milton@ieav.cta.br

**Resumo-** Soldagem "lead free" é um requisito para a Comunidade Européia a partir de 1° de julho de 2006 em equipamentos eletrônicos consumíveis, entretanto as ligas de solda *lead-free* disponíveis no mercado atualmente não contam com um processo suficientemente robusto para uso em aeronaves. Neste contexto está sendo proposta uma soldagem a laser em um processo facilmente automatizável e confiável para aplicações aeroespaciais, além de ser considerada ecologicamente correta por ser livre de chumbo. O projeto em questão trata de se analisar a viabilidade técnica para a soldagem de determinados contatos elétricos que são usados atualmente em aviões. Serão soldados terminais de cobre banhado a ouro, em fios de cobre banhado a prata utilizando uma pasta livre de chumbo.

**Palavras-chave:** Laser, Soldagem a laser, Lead-Free, Solda a laser.

**Área do Conhecimento:** Aeronáutica.

## Introdução

Obrigatórios no Japão há mais de um ano, os sistemas de solda sem chumbo (*lead-free*), acabam de ser adotados também pela União Européia. A partir de 1o de julho de 2006, os países europeus não importam mais soldas que contenham liga amálgama de estanho e chumbo, devido a seus efeitos nocivos ao meio ambiente (PECHT, 2004).

Considerada ecologicamente correta, a liga sem chumbo tem um custo mais elevado e, por isso, é pouco usada no Brasil. Uma vez que o governo brasileiro ainda não sancionou uma lei que obrigue o uso dessa tecnologia, a indústria nacional ainda não adotou a liga *lead-free*. Contudo, por se tratar de uma tendência mundial, acredita-se que em breve o Brasil também desenvolva medidas de incentivo.

A mudança do sistema Pb-Sn para aqueles baseados no sistema Ag-Sn trouxe novos desafios para o processo de soldagem, como: necessidade de temperaturas maiores e maior controle da adição de calor. Devido a estes fatores, alguns companhias estudam o processos de soldagem com laser de soldas *lead-free* (FISBA, 2004).

A solda laser é um processo de união, que é produzido pela fusão dos materiais, devido ao calor obtido pela aplicação de um feixe de luz coerente e concentrado sobre uma superfície a ser soldada. A palavra laser é um acrônimo de "Light

Amplification by Stimulated Emission of Radiation", que em português significa: amplificação da luz por emissão estimulada da radiação. O feixe laser consiste de um fluxo de fótons, que pode ser focalizado e direcionado por elementos ópticos (espelhos, lentes ou fibra óptica), e transmitido pelo ar por distâncias apreciáveis, sem elevadas atenuações da potência ou degradação do feixe. Neste tipo de soldagem, o feixe pode ser precisamente controlado na intensidade e na posição, e quando focalizado em um ponto de pequenas dimensões, leva à uma alta densidade de potência e conseqüentemente à fusão do material de base.

O feixe de laser é uma fonte de calor concentrada com alta densidade de energia, que propicia ao processo de soldagem uma alta velocidade e baixo aporte de calor. Portanto, a zona afetada pelo calor (ZAC) e a distorção são reduzidas, o que favorece a obtenção de soldas com elevada resistência mecânica. Devido à possibilidade de automação, o processo laser permite elevada repetibilidade durante a soldagem e a fabricação de juntas com alta confiabilidade. Este tipo de fonte de calor admite também, outras aplicações, tais como: corte, furação e tratamento térmico superficial.

Os lasers Nd:YAG e CO<sub>2</sub> são os mais empregados na área de soldagem. O laser de Nd:YAG é um laser de estado sólido, cujo elemento ativo é o íon de neodímio (Nd) e emite

um feixe com comprimento de onda de 1,06  $\mu\text{m}$ . O laser de  $\text{CO}_2$  é um laser de estado gasoso e o elemento ativo é a molécula de dióxido de carbono, que emite um feixe com comprimento de onda de 10,6  $\mu\text{m}$ .

Atualmente, o laser mais utilizado para aplicações de processamento de materiais é o laser de  $\text{CO}_2$ , que pode ser utilizado em alta potência, tanto em regime contínuo como em regime pulsado. Os lasers de  $\text{CO}_2$  usam uma descarga elétrica como fonte de excitação do meio laser, que é a molécula de  $\text{CO}_2$ . A mistura de gás para este laser é uma combinação de hélio, nitrogênio e dióxido de carbono.

Os lasers de  $\text{CO}_2$  apresentam em regime de trabalho uma maior potência média, enquanto o laser de Nd:YAG possui valores de potência de pico superiores.

O laser de Nd:YAG tem o neodímio (Nd) como impureza no cristal hospedeiro de YAG (Ítrio Alumínio em uma estrutura cristalina em forma de granada com composição química  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ). Este cristal isotrópico e de altíssima qualidade óptica é obtido artificialmente. As características de saída do laser de Nd:YAG dependem do método de excitação, que pode ser contínuo ou pulsado. A excitação é realizada por uma fonte de luz, normalmente, lâmpada ou outro laser.

As dimensões dos lasers de Nd:YAG são menores, em relação aos lasers de  $\text{CO}_2$  de igual potência média. A geração de potência é função da quantidade de elemento do elemento ativo. O elemento ativo no laser de Nd:YAG está no estado sólido, enquanto no laser de  $\text{CO}_2$  está no estado gasoso, portanto, ocupando um maior volume.

O pequeno comprimento de onda de 1,06  $\mu\text{m}$  facilita a operação em regime contínuo a temperatura ambiente. O laser de Nd:YAG só perde para o laser de  $\text{CO}_2$ , em termos de geração de potência contínua, porque os lasers de Nd:YAG tem uma baixa eficiência geral se comparada ao laser de  $\text{CO}_2$ . O laser de  $\text{CO}_2$  apresenta eficiência elétrica de aproximadamente 10%, enquanto no laser de Nd:YAG, normalmente é inferior a 2%.

O feixe do laser com comprimento de onda de 1,06  $\mu\text{m}$  é melhor absorvido pelos metais, do que o laser de  $\text{CO}_2$  de comprimento de onda de 10,6  $\mu\text{m}$ . A diferença na refletividade para os comprimentos de onda de 1,06  $\mu\text{m}$  e 10,6  $\mu\text{m}$  é de pequena importância no caso dos aços, pois sua superfície absorve bem a energia do laser nos dois casos. Entretanto, para metais de alta condutividade, como no presente caso, a diferença na refletividade é mais significativa e os lasers de Nd:YAG são mais indicados na solda destes materiais (LIMA, 2006).

Este trabalho objetiva o uso de um laser Nd:YAG para a soldagem de dispositivos do tipo cabo-contato elétrico, atualmente crimpados. Espera-se que um método automatizável e robusto

permita um aumento na produtividade para a fabricação deste tipo de dispositivo.

## Materiais e Métodos

A pasta de solda utilizada apresenta a seguinte composição química 96,5%Sn, 3,0%Ag, 0,5%Cu, sendo que o material a ser soldado, o cabo e o contato são materiais dissimilares, ou seja, o cabo é de aço com um recobrimento de cobre (Cu) e outro recobrimento a prata (Ag), e o contato é de cobre banhado a ouro.

O laser utilizado para a soldagem possui as seguintes características: Nd:YAG Quantronix modelo Q-DP100, com faixa de potências médias entre 5 até 60 W, reguladas diretamente pela corrente dos diodos de bombeamento.

Neste estudo foi determinada a temperatura entre o contato e um termopar, situado na posição do cabo, a fim de obter a melhor condição para soldagem. Esta condição para soldagem é aquela onde a pasta efetivamente é fundida, mas em uma temperatura suficientemente baixa para evitar a perda de elementos.

A configuração experimental é apresentada na Figura 1.

Depois de determinada a melhor condição de soldagem, segundo os ensaios com o termopar, o conjunto contato-cabo é efetivamente soldado com a pasta sem chumbo. A metalografia do contato soldado é realizada por corte longitudinal e transversal, para análise da qualidade e adesão da solda.

## Resultados

A Figura 2 apresenta a medida de temperatura para 5 níveis de corrente de bombeamento, entre 10 e 14 A. As duas linhas paralelas horizontais correspondem à temperatura solidus e liquidus da pasta de solda, 217 e 221  $^\circ\text{C}$  respectivamente (COOKSON, 2005). Segundo as medidas efetuadas por calorímetro específico para o laser, estas correntes correspondem às seguintes potências médias:

- 10 A = 0,6 W;
- 11 A = 1,8 W;
- 12 A = 3,4 W;
- 13 A = 5,5 W;
- 14 A = 7,6 W.

Como se verifica na Figura 2, só existe fusão no caso em que corrente estiver em 13 ou 14 A, pois o perfil de temperaturas ultrapassa as linhas de fusão. No caso da corrente em 14 A existe um forte crescimento da temperatura depois de 100 s, muito acima do dobro da temperatura liquidus, indicando uma possível evaporação de elementos da pasta.

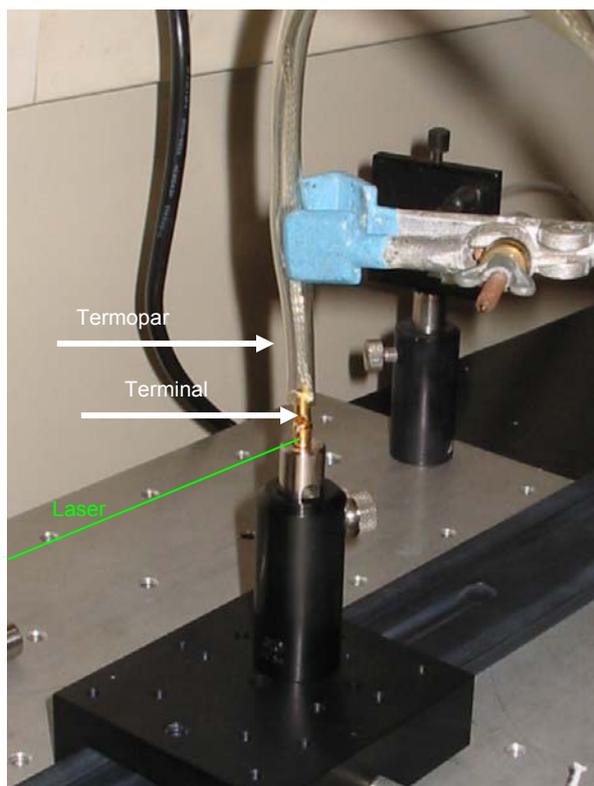


Figura 1- Montagem experimental para medida da temperatura.

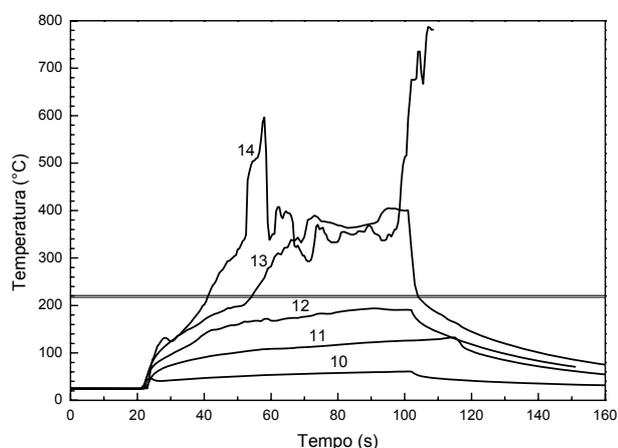


Figura 2 – Evolução temporal da temperatura para diferentes correntes de bombeamento do laser medidas na posição do fio.

Com base naquilo visto no gráfico da Figura 2, elegeu-se a melhor condição para soldagem como aquela de 13 A (5,5W). Nesta condição foram feitas uma série de soldas, com o conjunto cabo-solda-contato, para um tempo de 100 segundos. Nestes ensaios o cabo era embebido na pasta de soldagem, sem controle sobre a quantidade de solda aderida, mostrando sempre uma sobre-solda no lado de fora do tambor central. A Figura 3 mostra o aspecto da solda depois do experimento.

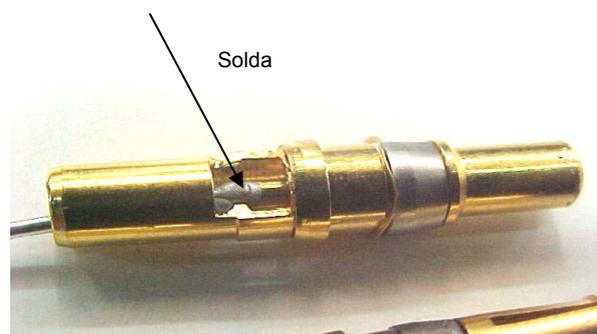


Figura 3 - Aspecto da solda após o uso do laser.

De uma forma geral, a solda apresenta uma consistência e aspecto metálicos e são resistentes ao puxamento manual.

Foram realizados então ensaios metalográficos para verificar a reação metalúrgica entre os elementos. A Figura 4 apresenta um corte transversal, em relação ao conector, mostrando o cabo revestido e o pino, com uma quantidade de solda entre eles. O fato de que a solda resistiu ao processo de polimento é um fator de qualidade da metalização da mesma. Na Figura 5 é apresentado um corte aproximadamente longitudinal (no sentido do cabo) mostrando uma zona branca de reação entre o material do pino e a solda (seta). Como existe um ângulo em relação ao eixo cabo-conector, não é possível determinar exatamente a extensão da reação. Quando se aumenta a magnificação desta zona de reação, Figura 6, nota-se a formação de grãos diferentes da solda-base sob luz polarizada.

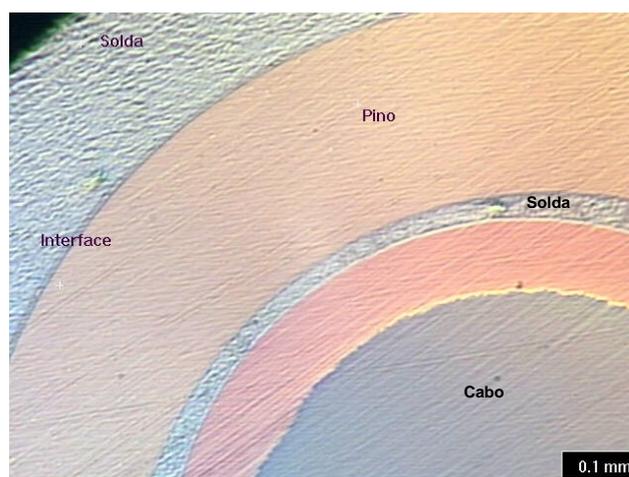


Figura 4 - Metalografia da seção transversal.

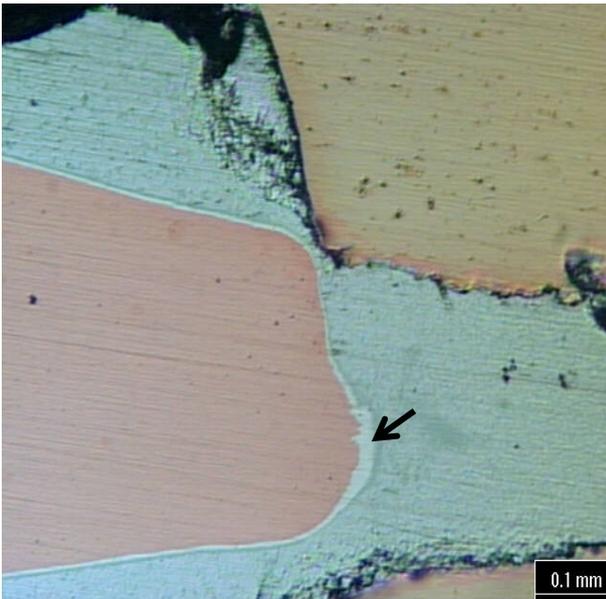


Figura 5 - Metalografia na seção longitudinal. A seta mostra uma região de reação.

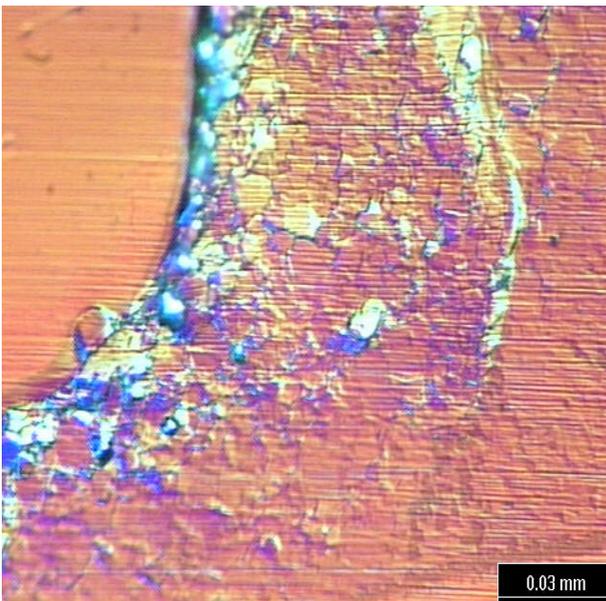


Figura 6 - Detalhe da zona de reação.

### Discussão

Os resultados apresentados mostram evidências que houve realmente a soldagem entre o cabo e o contato, com uso da solda lead-free e do laser. Resultados preliminares de metalografia indicam que a solda possui boa qualidade. Novas análises necessitam ser realizadas para se determinar quantitativamente a qualidade da solda. Ensaio mecânico de tração permitirão comparar o processo de soldagem com o de crimpagem, utilizado atualmente. Ensaio em serviço, de resistividade elétrica, permitirão verificar se houve detrimento nas propriedades

elétricas do conjunto devido ao aquecimento ou ao material de solda.

O uso do laser para soldagem permite uma maior robustez do processo, bem como um controle preciso do aporte térmico. Estes fatores são importantes quando se considera a automatização do processo em escala industrial, possivelmente com testes simultâneos de propriedades, e o ambiente de aplicação aeronáutico, onde não pode haver degradação das propriedades devido ao aquecimento.

A continuação do estudo visará à caracterização da solda em diferentes condições experimentais e o teste da mesma em condições normais de serviço. Espera-se com isto a possibilidade de introduzir no processo produtivo uma inovação que melhore a performance deste tipo de dispositivo.

Uma melhoria a ser considerada é o uso de pasta apropriada para o uso do laser, com pico de fusão em um tempo menor (mais rápida) para assim possibilitar a automatização do processo.

### Conclusão

Com base nos resultados, conclui-se que a soldagem a laser, entre terminal e cabo utilizando pasta de solda *lead-free*, é funcional e apresenta bom aspecto. A análise preliminar permitiu verificar uma ligação metalúrgica entre os materiais soldados. A continuação do trabalho vai explorar as variáveis do processo laser, bem como analisar quantitativamente as propriedades mecânicas e elétricas do dispositivo.

### Referências

- COOKSON ELECTRONICS, Ficha de Informação de Segurança para Produtos Químicos: Solda em Pasta Série OM- 338, Ficha técnica de 18/04/2005, 5 páginas.
- FISBA Laser Systems, FLS Applikation: Verlöten kleiner Hochfrequenzstecker – bleifrei (artigo técnico), 1 pág, 2004.
- LIMA, M.S.F. Instituto de Estudos Avançados/ Centro Técnico Aeroespacial (IEAv/CTA). Notas do curso MT-289 Processamento Laser de Materiais (ITA) Disponível em: <http://laser.incubadora.fapesp.br>. Acesso em 27 jul. 2006.
- PECHT, M.; FUKUDA, Y.; RAJAGOPAL, S. The Impact of Lead-Free Legislation Exemptions on the Electronics Industry. **IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing**, V.27, n. 4, p. 221-232, 2004