



## INFLUÊNCIA DA POTÊNCIA DO ARCO NA SUSCEPTIBILIDADE A TRINCA DE SOLIDIFICAÇÃO EM LIGA DE ALUMÍNIO 5052

### **Luciano Augusto Lourençato**

Eng<sup>o</sup>. Aluno de Mestrado do Programa de Pós-graduação da Faculdade de Eng<sup>a</sup> Mecânica da UNICAMP. E-mail: [lalouren@fem.unicamp.br](mailto:lalouren@fem.unicamp.br)

### **Eduardo de Magalhães Braga**

Prof. MSc. UFPA/CT/DEM – Campus Universitário do Guamá – Belém-Pará. E-mail: [ebraga@fem.unicamp.br](mailto:ebraga@fem.unicamp.br), Doutorando UNICAMP.

### **Roseana da Exaltação Trevisan**

Profa. Dra. UNICAMP/DEF, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas-SP. E-mail: [roseana@fem.unicamp.br](mailto:roseana@fem.unicamp.br)

**Resumo.** *Trincas de solidificação em juntas soldadas vem sendo amplamente estudadas nos últimos anos. Este fenômeno ocorre principalmente em ligas de titânio, ligas de níquel, aços inoxidáveis e ligas de alumínio. Trincas de solidificação estão associadas à ductilidade insuficiente que o metal de solda apresenta em suportar tensões trativas que surgem durante o resfriamento do cordão. Com a necessidade de se estudar a ocorrência e solucionar o problema da formação destas trincas, surgiram vários testes. Dentre os testes existentes, o Teste "Varestraint" é o mais utilizado para se avaliar o material quanto à susceptibilidade ao fenômeno de trincamento a quente. Apesar da importância deste teste, existe uma série de variáveis que não são levadas em consideração, as quais podem afetar consideravelmente os resultados. Neste trabalho procurou-se verificar a influência da potência do arco, sobre a formação de trincas de solidificação nos cordões de solda. Para tanto, durante os experimentos, foram mantidas constantes a deformação e a força aplicada durante a aplicação do teste Varestraint e a velocidade de soldagem durante a confecção dos cordões. No desenvolvimento experimental utilizou-se o processo TIG autógeno em chapas de alumínio 5052. A avaliação foi feita através do comprimento total de trincas presentes no cordão. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância utilizando um software estatístico comercial. Os resultados mostram que, para um aumento da potência do arco, houve um aumento significativo na ocorrência de trincas nos cordões.*

**Palavras-chave:** *Trincas de solidificação, Teste Varestraint, Solda TIG, Liga de Alumínio 5052.*

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre os diferentes defeitos que podem ocorrer em juntas soldadas em processos de soldagem por fusão, destaca-se a trinca de solidificação que é considerada um dos mais sérios problemas. Este é um fenômeno bastante estudado e existem várias teorias que tentam

explicar seu mecanismo (Matsuda, 1990). Estas teorias são idênticas e unânimes em afirmar que a trinca ocorre devido ao rompimento de um filme líquido formado entre as dendritas durante o estágio de solidificação, decorrente de tensões trativas (Kou, 1987). A existência do filme líquido na estrutura do material pode ser devido à segregações de impurezas, à formação de fases com baixo ponto de fusão ou simplesmente ao fato da liga ter uma ampla faixa de temperatura de solidificação (Lin et al., 1993). Este fenômeno atinge vários tipos de materiais metálicos, dos quais, os principais são as ligas de alumínio, ligas de níquel, ligas de titânio e aços inoxidáveis austeníticos (Goodwin, 1990).

O insumo de calor (IC) é um dos fatores que mais influencia na formação da trinca de solidificação, o qual está ligado aos parâmetros de soldagem. A variação, tanto da corrente como da velocidade de soldagem, altera o insumo de calor imposto ao cordão de solda e, conseqüentemente, na susceptibilidade à trinca. Kou (1987) observou, em ligas de alumínio comercial, que a formação de grãos equiaxiais é aumentada com o aumento da velocidade de soldagem e diminuição da corrente. Demonstraram experimentalmente que a medida que a potência do arco (IxV) aumenta, o gradiente de temperatura na poça de fusão diminui. E ainda, a medida que a velocidade de soldagem aumenta, a velocidade de solidificação do metal de solda aumenta também.

A formação de grãos finos na zona fundida tem duas vantagens principais. Primeiro, grãos finos ajudam a reduzir a susceptibilidade ao trincamento durante a soldagem. Segundo, melhoram as propriedades mecânicas, tais como a ductilidade e a resistência à fratura da solda (Kou, 1987).

Existe uma grande quantidade de testes para a avaliação da susceptibilidade das trincas de solidificação em juntas soldadas (Wilken e Kleistner, 1990). Dentre os testes existentes, o mais freqüentemente utilizado, é o teste “Varestraint”. Este teste foi proposto por Savage e Ludin em 1965, e consiste do dobramento de um corpo de prova sobre um bloco de curvatura conhecida, previamente calculada, de forma a induzir o surgimento de trincas na solda durante sua solidificação. Este teste permite avaliar a soldabilidade do material em função das variáveis do teste, isto é, deformação e força. A influência destas variáveis são relacionadas com formação das trincas.

A solda deve ser examinada logo após o ensaio, utilizando-se uma lupa ou microscópio. Como parâmetros de suscetibilidade tem-se: o “limiar da trinca”, que é a mínima trinca produzida, o “comprimento total de trincas” sendo a soma de todas as trincas observadas nessa região; o “comprimento máximo de trincas”, que é o comprimento da mais longa trinca observada (Lundin et al., 1982).

O processo de soldagem mais utilizado empregando o teste “Varestraint” é o processo TIG sem metal de adição. Isso explica-se facilmente, pois a tocha TIG serve somente como uma “fonte de calor” a fim de ensaiar o metal de base e o espécime não sofre aumento de altura, comportando-se como uma viga engastada.

Baseado no exposto, o objetivo principal deste trabalho é apresentar, de maneira quantitativa, a influência da potência do arco na incidência de trincas de solidificação em cordões de solda da liga de alumínio 5052, utilizando o teste “Varestraint”. Para este trabalho utilizou-se como parâmetro de susceptibilidade o comprimento total de trincas (CTT).

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

As soldas foram realizadas sobre chapas de alumínio-magnésio da liga 5052 com dimensões de 304,8 x 12,7 x 6,35 mm utilizando-se o processo TIG, em corrente alternada, sem metal de adição e com proteção de argônio puro. Permaneceram constantes os valores da deformação longitudinal em 4%, do comprimento do arco em 3 mm, da vazão de gás em 16 l/min, da tensão em 15 V e da velocidade de soldagem em 150 mm/min. Adotou-se para a

soldagem um eletrodo de tungstênio com diâmetro de 3,2 mm e um ângulo em sua ponta de 60°.

Para a aquisição e o processamento dos dados instantâneos da corrente e da tensão de soldagem, empregou-se um sistema de aquisição e de processamento de dados numa frequência de 10 kHz/canal em 12 Bits. O tratamento estatístico dos resultados obtidos foi realizado pelo método da análise de variância (ANOVA) com o auxílio de um “software” comercial, considerando-se um nível de significância ( $\alpha$ ) igual a 5%. Portanto, a confiabilidade dos resultados foi de 95%.

Ao decorrer das soldagens, os corpos de prova eram submetidos ao teste “Varestraint”, existente no Labsolda – UNICAMP, e examinados quanto ao comprimento total de trincas (CTT) com o auxílio de um microscópio ótico em aumento de 30x.

A variável de influência deste trabalho foi a potência do arco através da variação da intensidade de corrente eficaz ( $I_e$ ), conforme é mostrado na Tabela 1. Foram realizadas três réplicas de cada nível de  $I_e$ .

Tabela 1 - Fator e níveis selecionados.

Potência do arco (W)	Corrente (A)
1950	130
2250	150
2550	170

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização das soldas, observou-se, em todas as condições de soldagem, a presença de trincas na superfície dos cordões.

A Figura 1 mostra a vista superior dos cordões de solda após a realização do teste, onde observa-se uma maior incidência de trincas quando do aumento da potência do arco. A variação máxima da potência do arco, calculada entre os níveis máximo e mínimo da corrente de soldagem, conforme a Tabela 1, foi de aproximadamente 30%. Esta variação foi significativa para a mudança da macroestrutura de solidificação resultante nos cordões de solda e, conseqüentemente, na susceptibilidade ao trincamento. Durante a variação da potência do arco observou-se uma pequena variação no valor da tensão, no entanto, esta variação não se mostrou significativa, quando comparada com a variação da corrente.

A Tabela 2 mostra os resultados médios obtidos para o comprimento total de trincas nos três diferentes níveis da potência do arco. Nesta tabela, observa-se o aumento do CTT com o aumento da potência do arco, através do valor máximo e mínimo de 56,82 e 43,10 mm, respectivamente.

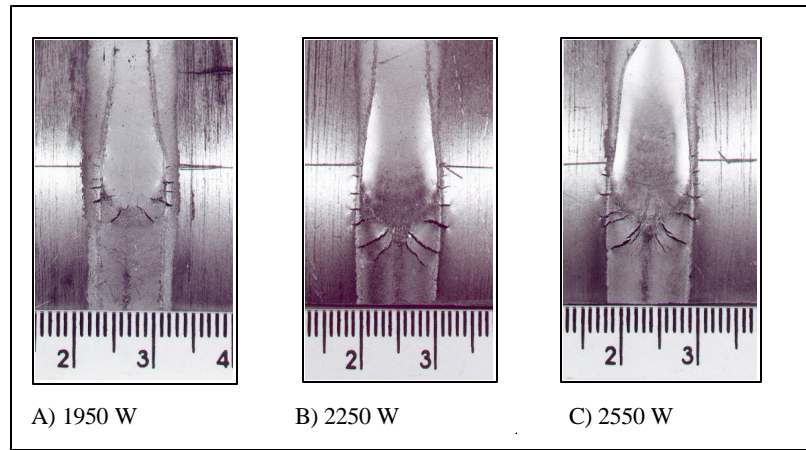


Figura 1 – Vista superior do cordão solda após aplicação do teste.  
A, B e C valores para a potência do arco.

Tabela 2 – Dados do comprimento total de trincas.

Potência do arco (W)	CTT (mm)
1950	43,10
2250	51,82
2550	56,82

Para uma melhor visualização, os resultados da Tabela 2 são apresentados de maneira gráfica na Figura 2, a qual mostra o comportamento da curva da potência do arco sobre o comprimento total de trincas. Observa-se que, com o aumento da potência do arco, houve um aumento significativo no comprimento total de trincas, em torno de 30%.

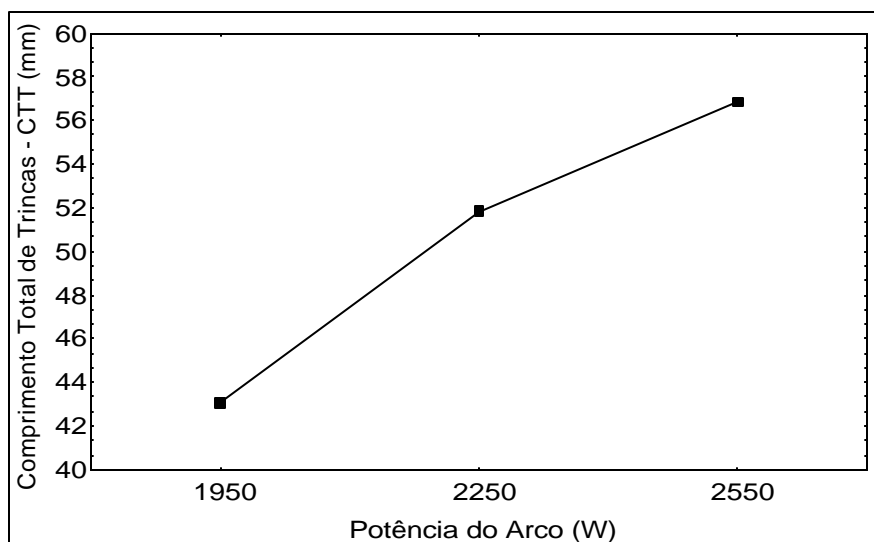


Figura 2 – Efeito da potência do arco sobre o CTT.

Outro fato considerado neste trabalho foi o estudo da macroestrutura de solidificação do cordão de solda. As Figuras 3 e 4 mostram a estrutura granular, tanto da região superior, quanto da região transversal do cordão de solda para os níveis máximo e mínimo da potência

do arco. Observa-se, nestas figuras, uma granulação mais fina para o menor valor da potência do arco e uma granulação mais grosseira para a potência do arco maior. Este fato pode ser explicado, devido ao aumento do insumo de calor na poça de fusão, com o aumento da potência do arco. Portanto, o insumo de calor maior produz uma poça de fusão maior, que por consequência tem uma taxa de resfriamento mais lento. Sendo assim, com a diminuição do resfriamento, a granulometria do cordão de solda tende ser mais grosseira, originando, deste modo, uma maior tendência à formação de trincas.

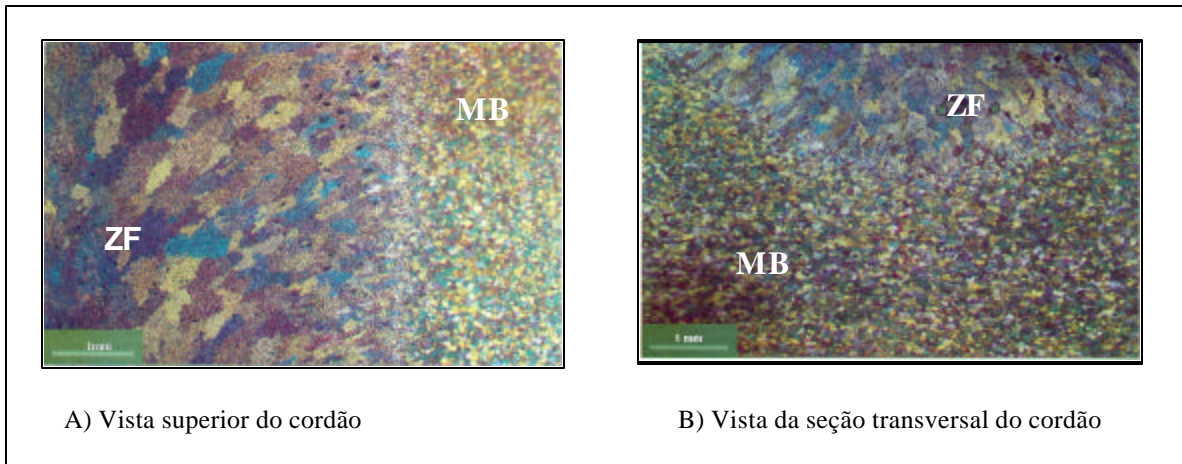


Figura 3 - Macroestruturas do cordão de solda para a potência do arco de 1950 W.  
MB= Metal de Base; ZF= Zona de Fusão.

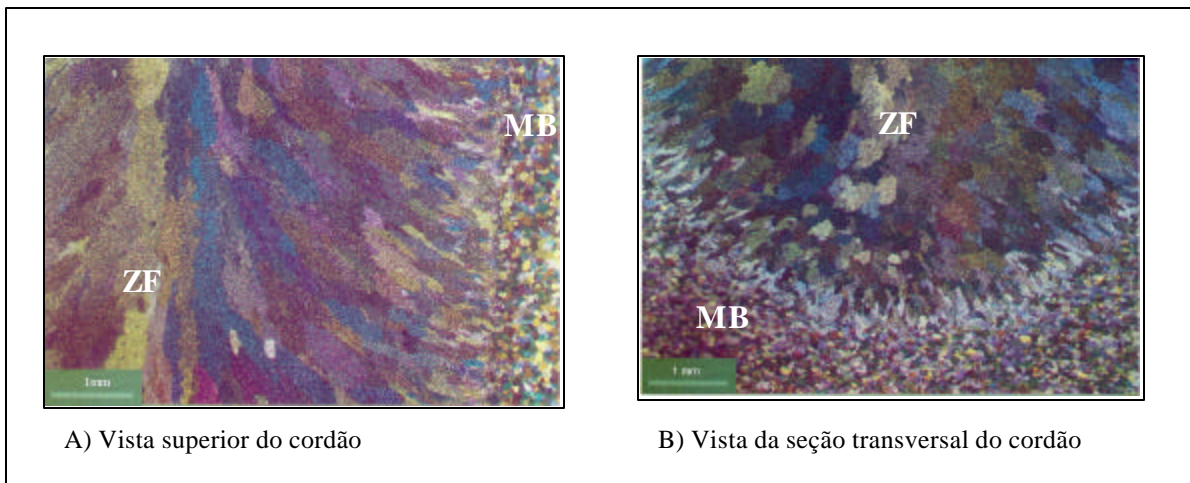


Figura 4 - Macroestruturas do cordão de solda para a potência do arco de 2550 W.  
MB= Metal de Base; ZF= Zona de Fusão

#### 4. CONCLUSÕES

Para as condições estabelecidas neste trabalho pode-se concluir que:

- A liga de alumínio 5052 foi susceptível ao trincamento independente dos valores da potência do arco.
- O aumento da potência do arco, proporciona aumento da incidência do CTT. Isto se deve à geração de grãos grosseiros nos cordões.

- A liga de alumínio 5052, apresenta uma grande susceptibilidade ao trincamento, no entanto, a quantidade de trincas formadas está diretamente relacionada aos parâmetros de soldagem usados na confecção dos cordões.

### ***Agradecimentos***

Os autores agradecem à FAEP, ao CNPQ e a CAPES pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho e à ALCAN pela doação de material de consumo.

### **REFERÊNCIAS**

- Goodwin, G. M., 1990, Test methods for evaluating hot cracking: Review and Perspective, In: United States Japan Symposium on Advances in Metallurgy, San Francisco and Yokohama, Proceedings, s.n.t, pp. 59-68.
- Kou, S., 1987, Welding Metallurgy, New York: John Wiley & Sons, 410 p.
- Lin, W., Lippold, J. C., Baeslack III, W., 1993, A. An evaluation of heat-affected zone liquation cracking susceptibility, Part I : Development of a method for quantification, Welding Journal, vol. 72, n. 4, pp. 135-153.
- Lundin, C. D., Lingenfelter, A. C., Grotke, G. E., Lessmann, G. G., Mathews, S. J., 1982, The vareststraint test, Welding Research Council, New York, WRC Bulletin, n. 280, 19 p.
- Matsuda, F., 1990, Hot crack susceptibility of weld metal. In: United States-Japan Symposium on Advances in Welding Metallurgy, San Francisco e Yokohama, pp. 26-58.
- Savage, W. F., Ludin, C. F., 1965, The vareststraint test, Welding Journal, vol. 44, n.10, pp. 433-422.
- Wilken, K., Kleistner, H., 1990, The classification and evaluation of hot cracking tests for weldments, Welding in the World, vol. 28, n. 7/8, pp. 127-143.

### **INFLUENCE OF ARC POWER ON THE SOLIDIFICATION CRACKING IN ALUMINUM WELDING**

***Abstract.*** Solidification cracking is one of the major welding problems to some Aluminum alloys, and can be synthesized as the occurrence of intergranular cracking in the fusion zone during the cooling period of the weld thermal cycle. This phenomenon can occur due mechanical and/or metallurgical factors, and several techniques and procedures have been used to minimize this problem. Many different methods have been recommended for testing the solidification cracking susceptibility of weld metals. The most important test to determine the susceptibility of a material to the solidification cracking is the Vareststraint test, which simulates the state of tensions in the welds that propitiates the appearance of cracking. A spite of this, the test still needs to be studied. In this work, 5052 Aluminum alloy was welded by GTAW process, and the Vareststraint test was used to quantitative evaluation on the cracks solidification as function of the arc power of the weld process. A full factorial planning was employed to evaluate effects of the welding arc power on the total length of all cracks. The results show that for an increase of the arc power, there was a significant increase of the occurrence of the cracks.

**Keywords:** Solidification Cracking, Aluminum welding, Vareststraint test