

# Soldagem Inspeção

Ano 8 N° 8 Agosto de 1998



RESUMO:

- As Novas Conquistas do Cetec de Solda Orlante Carbosa
- Soldagem nos Aços Martensíticos
- Distorção - Prevenção Pelas Técnicas de Fabricação
- O Calcanhar de Aquiles do Ensaio por Ultra-som
- Cálculo do Tempo de Resfriamento na Soldagem

*abende*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA  
DE SOLDAGEM

FIRJAN  
SENAI



# Cálculo do tempo de resfriamento na soldagem

Ivan Guerra Machado

## Modo de Extração do Calor

A energia utilizada para a soldagem por fusão provoca diversas e notáveis alterações no metal base e no metal de solda. Por isso, sob a ótica da tecnologia da soldagem, e qualquer que seja a origem desta energia, é estabelecido um fluxo térmico o qual, no mínimo, exerce profunda influência sobre os seguintes aspectos da junta soldada:

- (a) Macroestrutura de solidificação do metal de solda;
- (b) Transformações alotrópicas, i. e., crescimento dos grãos, transformações de fase, etc., tanto na ZAC (Zona Afetada pelo Calor), quanto no metal de solda;
- (c) Propriedades mecânico/metalmecânicas;
- (d) Descontinuidades;
- (e) Tensões residuais;
- (f) Deformações.

Atualmente, é possível empre-

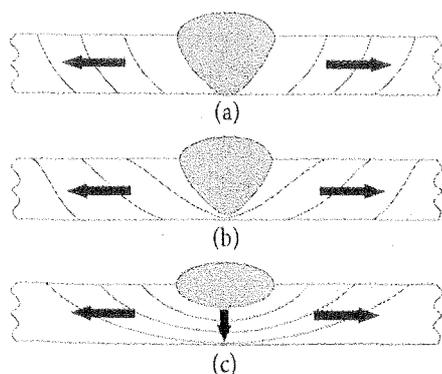


Figura 1 – Modos de extração do calor. (a) Extração 2D; (b) Extração 2,5D; (c) Extração 3D (vide texto).

gar modelos razoavelmente acurados dos fluxos térmicos que ocorrem sob dadas condições de soldagem. Isto fundamentalmente envolve o cálculo prévio dos “ciclos térmicos” dos pontos de interesse, ou seja, a variação da temperatura nos mesmos com o passar do tempo.

Apesar da complexidade deste tema, o cálculo do tempo de resfriamento do metal de solda (em aços) pode ser realizado utilizando-se equações relativamente simples (vide abaixo). Entretanto, uma questão fundamental é o entendimento do “modo” como ocorre a extração do calor, pois isto determina a equação que deverá ser aplicada. Portanto, analisando-se as seções transversais dos cordões de solda mostrados nas Figs. 1(a-c), identifica-se o seguinte:

- (a) O cordão de solda apresenta penetração completa, o calor é extraído essencialmente em duas direções (mostradas pelas setas) e as isoterms são paralelas à linha de fusão, pois os campos de temperatura mantêm-se idênticos nas superfícies inferior e superior da chapa, sendo este regime de extração de calor denominado bi-dimensional (2D);
- (b) A penetração do cordão de solda é incompleta, não sendo idênticos os campos de temperatura nas superfícies inferior e superior, com o regime de extração de calor denominado intermediário (2,5D);

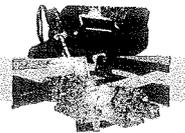
- (c) Este é o regime de extração do calor denominado tri-dimensional (3D), com as isoterms cilíndricas posicionadas em torno da linha central do cordão de solda, devido à condução do calor ocorrer em todas as direções (simbolizadas pelas setas). Não será aqui analisado o caso 2,5D.

## Extração do Calor em Regime Bi-dimensional

As taxas de resfriamento provocadas pela soldagem são elevadas em certas regiões do metal base, sendo que para a maioria dos aços as transformações de fase mais importantes ocorrem aproximadamente no intervalo de temperatura 800° C à 500° C. Para uma dada condição de soldagem constatou-se ser aproximadamente constante o tempo de resfriamento, exatamente no citado intervalo de temperatura, desde que sejam consideradas as regiões do material base, cujos picos de temperatura tenham ultrapassado 900 oC. Para esta situação, o tempo de resfriamento entre 800 oC e 500 oC é dado por:

$$\Delta t_{8/5} = \frac{(E/g)^2}{4\pi k \rho c} \left[ \frac{1}{(500 - T_0)^2} - \frac{1}{(800 - T_0)^2} \right] \cdot c_2$$

onde o coeficiente  $c_2$  é mostrado na Tab. 1, sendo função do tipo de junta e do modo de extração do calor.



**Extração do Calor em Regime Tri-dimensional**

Pelas mesmas razões apresentadas anteriormente, o tempo de resfriamento entre 800°C e 500°C no regime de extração do calor em 3D pode ser expresso por:

$$\Delta t_{8/5} = \frac{E}{2\pi k} \left( \frac{1}{500 - T_0} - \frac{1}{800 - T_0} \right) \cdot c_3$$

onde o coeficiente c3 é fornecido na Tab. 1 para diferentes situações.

Por outro lado, equações altamente "especializadas" foram desenvolvidas com a seguinte sendo aplicada na soldagem MAG<sup>2L</sup>:

$$\Delta t_{8/5} = \frac{E^{1,7}}{1,11 \cdot 10^6 \beta \left[ 1 + \frac{2}{\pi} t g^{-1} \left( \frac{g - 13}{3,5} \right) \right]}$$

onde g (mm) é a espessura do metal base e β é igual a 1 para o último passe numa junta a topo, ou so-

bre a superfície de uma chapa (regime 3D) ou 1,7 no caso de junta em ângulo.

**Tabela 1 – Coeficientes para as Equações do Tempo de Resfriamento entre 800 °C e 500 °C**

tipo de junta	c <sub>3</sub> (Eq. 1)	c <sub>3</sub> (Eq. 2)
	1	1
	0,45 a 0,67	0,67
	0,9	0,67
	0,9	0,9

# QUANDO O MERCADO EXIGE, É PRECISO SOMAR.

A Metal-Chek está distribuindo no Brasil, a linha de produtos para detecção de trincas por ultrassom, medidores de espessura e de camada, fabricados pela SONATEST PLC. Agora você tem a qualidade dos produtos SONATEST somada à qualidade do padrão de atendimento Metal-Chek.

**METAL-CHEK**

METAL-CHEK DO BRASIL IND. E COM. LTDA.

R. Campante, 776 - CEP 04224-010 - São Paulo - SP - Tel.: (011) 6914-5287 - Fax: (011) 6914-2799

PRIETO & ASSOCIADOS



Detector de Trincas Digital por Ultrassom



Medidor de Camada



Medidor de Espessura