

# PREDICCIÓN COMPUTARIZADA DEL RÉGIMEN TÉRMICO Y LA MICROESTRUCTURA DE UNIONES SOLDADAS EN ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS

L. Fuentes<sup>1</sup>, L. P. Ortega<sup>2</sup>, S. Rondon<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Cibernética, Matemática y Física, Ciudad Habana

<sup>2</sup> C. P. A. "A. C. Sandino", S. A. de los Baños, Habana

<sup>3</sup> Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear, Ciudad Habana

## RESUMEN

Se expone un paquete de programas para PC que permite el pronóstico del régimen térmico en soldaduras y la predicción de las principales características químico-estructurales del cordón soldado (CS) y la zona de influencia térmica (ZIT). La modelación del régimen térmico se realiza siguiendo el tratamiento clásico de Rosenthal, aplicándose la llamada aproximación instantánea. El programa correspondiente presenta en pantalla -dinámicamente- los campos de temperatura en el electrodo y en la ZIT. Para el pronóstico de la distribución de tamaños de granos en la ZIT se aplica el tratamiento de Easterling, basado en la Ley de Crecimiento Parabólico. Se plotea en pantalla la curva de dimensión de grano vs coordenada espacial en la ZIT. La predicción de la composición de fases de los aceros que intervienen en una soldadura dada se realiza en base al Diagrama de Schaeffler- DeLong, con parámetros actualizados según Olson. Se interpola cuantitativamente el % de ferrita  $\delta$  y se aplica el criterio de Suutala para el pronóstico de fase primaria ( $\delta$  o  $\gamma$ ). En la caracterización de diferentes regiones del CS se simula en la computadora el proceso de disolución parcial de carbonitruros y se aplica el criterio de Schaeffler al baño fundido con las concentraciones de elementos disueltos en el momento de la solidificación.

## ABSTRACT

A system of computer programs for weld simulation is presented. Main thermal and structural parameters of welded joints (WJ) and heat affected zone (HAZ) are predicted. Thermal regime modeling follows the Rosenthal treatment, under the so-called instantaneous approximation. The associated program presents the HAZ temperature field, as a function of space and time, on the computer display. The prediction of grain size distribution is performed according to Easterling, with the assumption of validity of the parabolic growth law. The HAZ grain size versus spatial coordinate curve is plotted. The Schaeffler-DeLong diagram is used for predicting the phase composition of the steels that form a welded joint. Diagram parameters are up-dated according to Olson.  $\delta$ -ferrite percent is quantitatively interpolated and Suutala's criterion is applied for ( $\delta$  or  $\gamma$ ) primary-phase determination. Partial dissolution of carbonitrides in different regions of WJ is simulated to improve the accuracy of the Schaeffler treatment.

## FUNDAMENTO MATEMATICO

### a) Campo de Temperaturas ([1] a [7])

Ecuación de transmisión del calor para el caso *quasi estacionario*:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = -2\lambda v \frac{\partial T}{\partial \xi} \quad (1)$$

T = temperatura (K); x, y, z, = coordenadas espaciales (m); v = velocidad (m/s); t = tiempo (s);  $\xi = x - vt$ ;  $\lambda$  = conductividad térmica (J / (smK));

q = potencia calorífica entregada al cordón (W);  $\alpha$  = difusividad térmica (m<sup>2</sup>/s);  $r = (\xi^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$

$$q = \eta V I \quad \alpha = \lambda / \rho c \quad (2)$$

$\eta$  = eficiencia del arco; V = voltaje (V); I = intensidad de la corriente (A);  $\rho c$  = calor específico por unidad de volumen (J/m<sup>3</sup>K).  $T_0$  = temperatura de precalentamiento (K); d = espesor de las planchas (m).  $T_p$  = temperatura máxima del punto r.

Solución de (1) (aproximación "instantánea", planchas delgadas):

$$T - T_o = \frac{q/v}{d(4\pi\lambda\rho c t)^{1/2}} \exp\left(\frac{-r^2}{4\alpha t}\right) \quad (3)$$

$$T_p = T_o + \left(\frac{2}{\pi e}\right)^{1/2} \frac{q/v}{2d\rho c r} \quad (4)$$

$$\Delta t(800 \rightarrow 500) = \frac{(q/vd)^2}{4\pi\lambda\rho c} \left\{ \frac{1}{(773 - T_o)^2} - \frac{1}{(1073 - T_o)^2} \right\} \quad (5)$$

b) Tamaño de Grano de la Austenita en la ZIT  
([2] a [4], [8])

$$g^2 - g_o^2 = k_1 \int_0^\infty \exp - \frac{Q}{RT} dt = k_1 \alpha t \exp - \frac{Q}{RT_p} \quad (6)$$

$$\alpha = 2 \left( \frac{\pi R T_p}{Q} \right)^{1/2}$$

$$\tau = \frac{(q/vd)^2}{4\pi\lambda\rho c e} \frac{1}{(T_p - T_o)^2} \quad (7)$$

$g$  = tamaño de grano;  $g_o$  = tamaño de grano inicial;  $k_1$  = constante cinética;  $Q$  = energía de activación (J);  $R$  = constante de los gases (J/mol K);  $\tau$  = constante de tiempo del ciclo

c) Disolución de Carbonitruros ([9], [10])

$$\log \left[ \frac{C_M^a C_c^b}{f^{a+b}} \right] = A - \frac{B}{T_p} \quad (8)$$

$C_M$  y  $C_c$  = concentraciones respectivas del metal (M) y el carbono o nitrógeno (C) del carbonitruro  $M_a C_b$ ; A y B = constantes de los productos de solubilidad;  $T_p$  = temperatura máxima asociada al punto de observación;  $f$  = fracción accesible de la matriz.

d) Composición de Fases ([11] a [14])

$$E_{ni} = C_{Ni} = + \sum_n F_n C_n \quad (9)$$

$$E_{cr} = C_{cr} + \sum_m G_m C_m$$

$E_{ni}$  y  $E_{cr}$  = níquel y cromo equivalentes;  $C_m$  = concentraciones de los elementos considerados;  $F_n$  y  $G_m$  = factores de equivalencia.

## APLICACION

A modo de ejemplo se describe el caso de la soldadura automática bajo fundente de planchas de acero 08X18H10T, espesor 5 mm. Las Figuras 1, 2 y 3 presentan, respectivamente, el campo de temperaturas en la ZIT, la distribución de tamaños de granos en esta zona y el Diagrama de Schaeffler ampliado.

## APENDICE

### PARAMETROS FISICOS (MATERIALES Y PROCESOS)

Parámetro Material o proceso valor unidades ecuac.

Temp. fusión (T) <sub>m</sub>	acero aust acero ferrít	1773 1800	K K	
conduct. térm. (λ)	acero aust acero ferrít	24.9 41	J/smK	(1)
difusiv. térm. (a)	acero aust acero ferrít	5.3x10 <sup>-6</sup> 9.1x10 <sup>-6</sup>	m <sup>2</sup> /s	(2)
cap. térm. vol. (ρc)	acero aust acero ferrít	4.7x10 <sup>6</sup> 4.5x10 <sup>6</sup>	J/m <sup>3</sup> k	(2)
energ. activ. (Q/RT) <sub>m</sub>	autodif. de Fe en aceros	16		(6)
eficiencia (η)	sold. aut. bajo fund. sold. manu. electr. rec. TIG MIG	0.95 0.78 0.35 0.70		(2)
coef. prod. solub. (A,B)	TiN AlN NbN TiC VN NbC Mo <sub>2</sub> C Cr <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	3.82, 15020 1.5, 7250 3.9, 10500 2.75, 7000 3.0, 7800 2.96, 7510 5.0, 7375 5.90, 7375		(8)

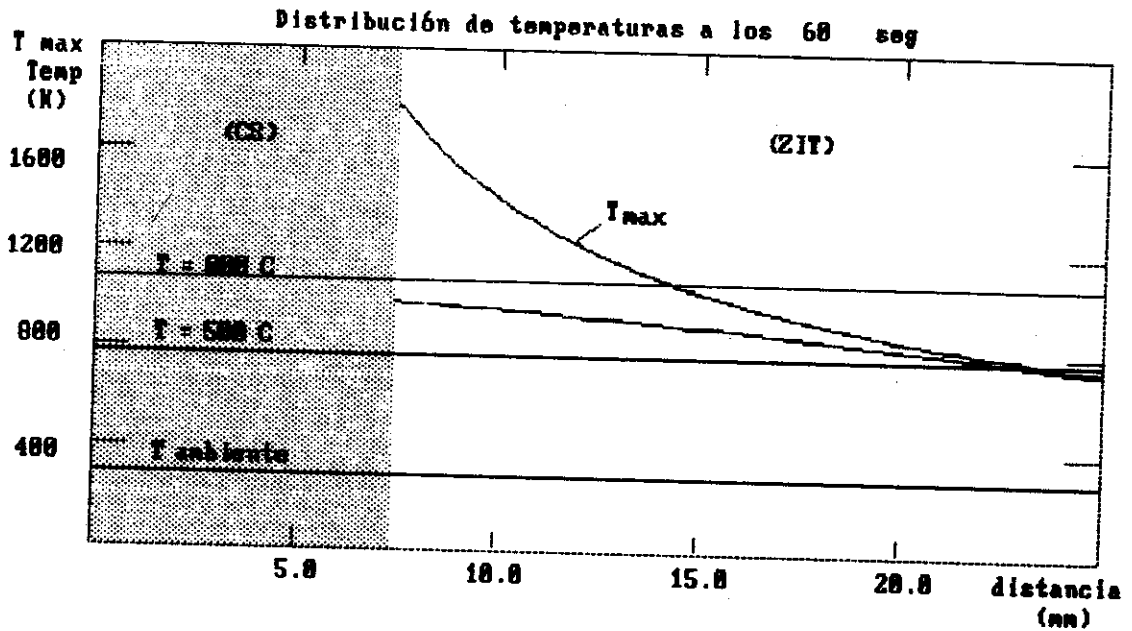


Figura 1. Campo de la temperatura en la zona de influencia térmica . Acero O8X18H10T

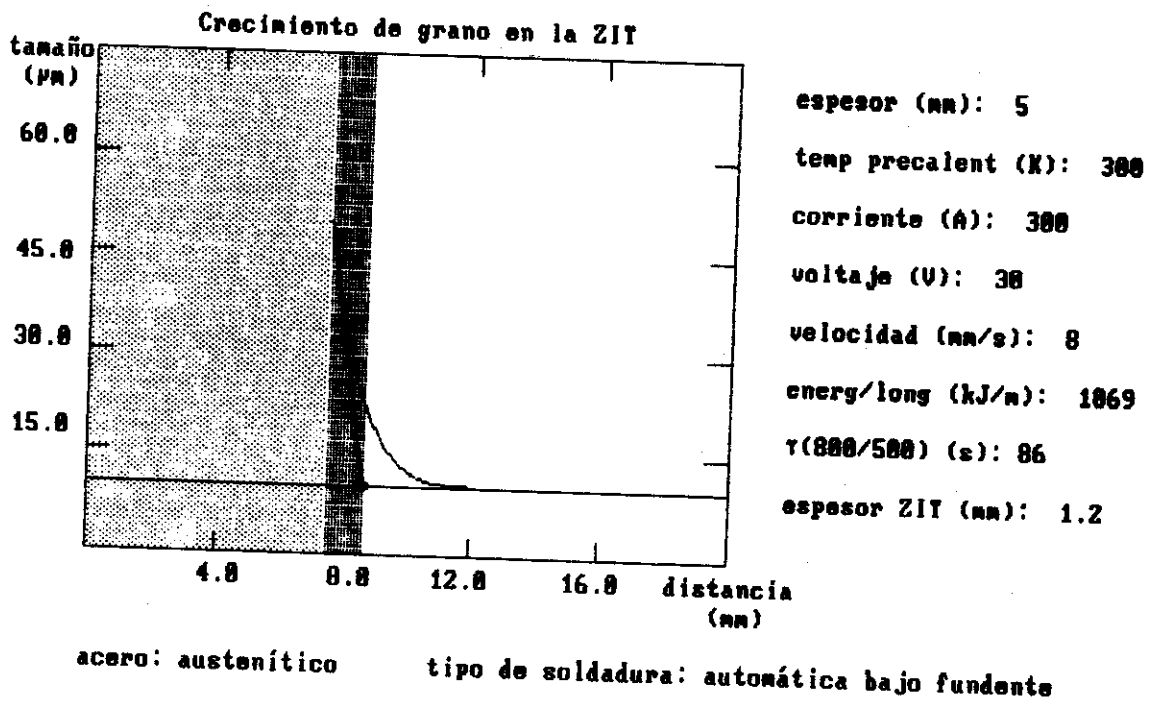


Figura 2. Distribución de tamanos de granos en la zona de influencia térmica.