

# Influencia del gradiente de enfriamiento sobre la microestructura

Ing. Ind. ENRIQUE D. BIA

## *Objeto.*

Nos proponemos analizar por el método microscópico, los productos de transformación de la austenita, obtenidos con distintos regímenes de enfriamiento.

## *Procedimiento.*

El ejemplar de ensayo es una barra Jominy que se somete a un temple de extremo en las condiciones especificadas en las normas de la A. S. T. M.

Cortamos luego dicha barra y observamos la microestructura que presenta en su superficie, a diversas distancias a partir del extremo enfriado bruscamente.

Interpretaremos las estructuras resultantes, en base a las "curvas S" del acero estudiado.

## *Curvas de enfriamiento a lo largo del ejemplar*

La composición química de la barra de ensayo responde a la de un acero S. A. E. 1095.

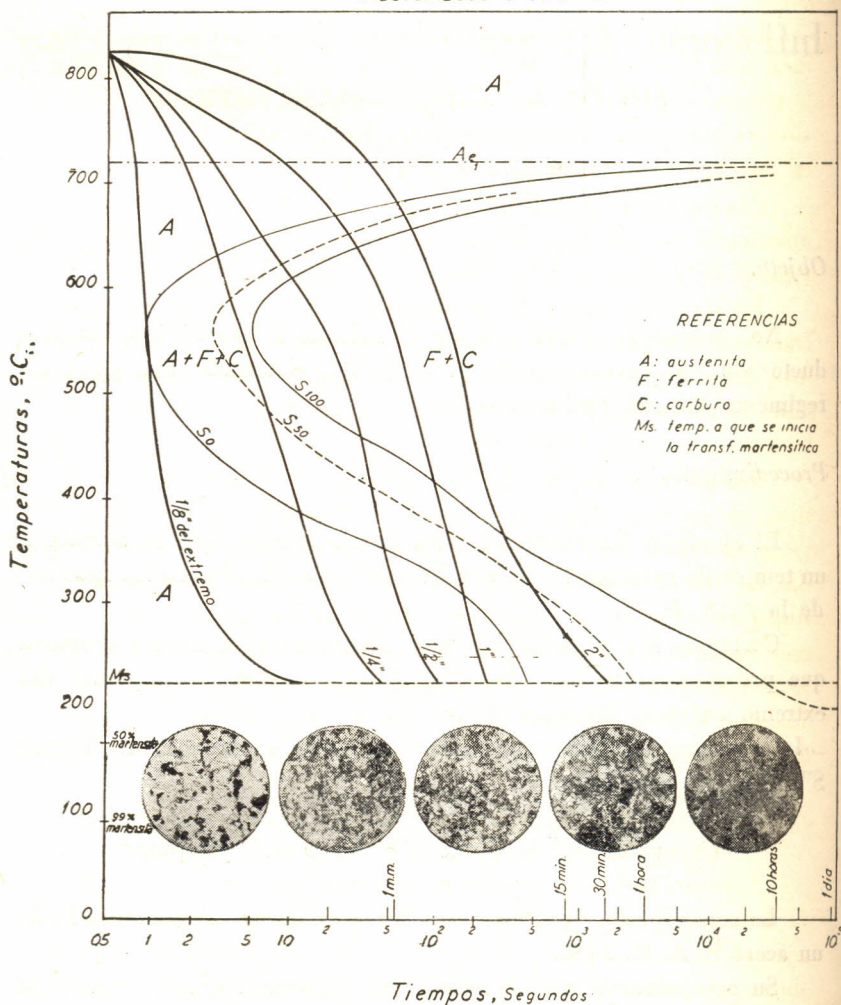
Su comportamiento, en cuanto al régimen térmico provocado por el temple del extremo, puede considerarse similar al determinado por Russell, en varios aceros de características similares al que emplearemos.

Las curvas de enfriamiento, trazadas tomando las temperaturas sobre la superficie como ordenadas y el tiempo desde la inicia-

ción del enfriamiento del extremo como abscisas, han sido dibujadas en línea gruesa en el gráfico.

## Acero S.A.E. 1095

Austenizado a 850°C.



Ellas representan los regímenes de enfriamiento en puntos, de la superficie del ejemplar, situados a mm. 3.175 ( $\frac{1}{8}$ "), mm. 6.35 ( $\frac{1}{4}$ "), mm. 12.70 ( $\frac{1}{2}$ "), mm. 25.4 (1") y mm. 45.8 (2") del extremo enfriado bruscamente.

### *El diagrama de transformación isotérmica*

Cuando a un acero en estado austenítico se le enfría en un baño mantenido a una temperatura por debajo de la del punto crítico inferior, tiende a volver a la condición de equilibrio ferrita-cementita.

La cantidad de austenita descompuesta es, para cada temperatura, una función del tiempo. Las estructuras de los productos de la transformación son de los tipos perlíticos, bainíticos y martensíticos, según sean elevadas, intermedias o bajas las temperaturas en que haya tomado lugar.

Existen varios métodos para seguir la marcha del proceso. Los principales son el microscópico, el basado en la medida de la dureza, el de los rayos X, el dilatométrico y el magnético.

En términos generales se determina el porcentaje de austenita transformada para cada tiempo de mantenimiento a una temperatura dada. Tendremos así una "curva cronográfica", que nos representa la variación de la transformación en función del tiempo, a la temperatura convenida.

Resumiendo los resultados indicados en varias gráficas de ese tipo, en un solo diagrama, podemos trazar luego las "curvas S", tomando como abscisas los logaritmos de los tiempos y como ordenadas las temperaturas. Se tienen así curvas que corresponden a la transformación de una porción determinada de austenita. — Las más importantes son las que representan el comienzo y el fin de la transformación, que se designan por  $S_0$  y  $S_{100}$  respectivamente. Las que se han trazado en el gráfico para nuestro acero 1095 son la  $S_0$ ,  $S_{50}$  y  $S_{100}$ .

#### *Interpretación de los resultados.*

Considerando un orden correlativo de izquierda a derecha, la fotomicrografía 1 representa la estructura de un punto del ejemplar situado a mm. 3.175 ( $\frac{1}{8}$ ") del extremo enfriado bruscamente. Se observa que la curva correspondiente toca a la  $S_0$  en el "codo" de la misma. La transformación se inicia entonces hacia los productos que aparecen a esa temperatura de 550°C, pero no termina, pues para ello sería necesario que cortara también a la  $S_{100}$ . Los productos de esa transformación incipiente aparecen en negro en la fotomicrografía 1.



La austenita residual se transforma a partir de la temperatura  $M_s$  en martensita, que aparece en la foto indicada en tono claro y con su típico aspecto acicular.

A mm. 6.35 ( $1/4''$ ) del extremo la estructura resultante es la de la fotomicrografía 2. El régimen de enfriamiento es tal que la transformación se inicia hacia los  $630^{\circ}\text{C}$ . Cuando la temperatura llega a  $590^{\circ}\text{C}$  un 50 % de la austenita se ha transformado, cantidad que aumenta al disminuir la temperatura; y por la misma razón que en el caso anterior, permanece una pequeña parte de austenita residual que se transforma en martensita a partir de la temperatura  $M_s$ .

La fotomicrografía 3 corresponde a los puntos situados a mm. 12.70 ( $1/2''$ ) del extremo. Para esa posición, la transformación se inicia a los  $650^{\circ}\text{C}$  ( $S_0$ ) y termina a  $610^{\circ}\text{C}$  ( $S_{100}$ ). La estructura lograda presenta indicios de perlita, que se acentúan en la fotomicrografía 4, tomada a mm. 25.4 ( $1''$ ), siendo aun mucho más visible en la fotomicrografía 5, representante de la estructura a mm. 45.8 ( $2''$ ) del extremo, en la cual, la transformación total se produce entre los  $685^{\circ}\text{C}$  y  $655^{\circ}\text{C}$ , zonas que en el diagrama isotérmico aparece la perlita inferior.

Es necesario notar que todas las estructuras son complejas, puesto que siendo progresivo el enfriamiento, ellas representan en realidad el conjunto de productos que aparecen a las distintas temperaturas de acuerdo con las curvas  $S$  del acero.

Todas las experiencias correspondientes a este trabajo fueron realizadas en los laboratorios del Instituto de Ensayo de Materiales.

### *Bibliografía.*

T. F. Russell and J. C. Williamson. — "Surface temperature Measurements during the cooling of a Jominy test-piece. — Hardenability of steel. — Iron and Steel Institute.

G. Delbart et M. Ravery. — "Les recherches sur le trempe isotherme en France et a l'Etranger". — Revue de Metallurgie. — Juin 1949.

William Adam and Leon B. Rosseau. — Interrupted quenching. — Metal Progress, June 1950.

Metals Handbook. — 1948 Edition.