

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE INGENIERIA Y AGRIMENSURA
ING. EDUARDO MARRAS DE ZUÑIGA
CASILLA DE CORREO Nº 30
MONTEVIDEO - URUGUAY

BOLETIN DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA Y AGRIMENSURA
DE MONTEVIDEO

Director: Prof. Ing. GERMAN E. VILLAR

HERRERA Y REISSIG 565, MONTEVIDEO, URUGUAY

AÑO XIX

MARZO 1956

Vol. V, Nº 12

S U M A R I O

	<i>Pág.</i>
<i>Ing. Ind. Enrique D. Bía: Variación de las temperaturas de transformación de un acero S.A.E. 52100</i>	323
<i>Notas bibliográficas sobre libros donados por el Consejo Británico a la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería y Agrimensura</i>	333

Variación de las temperaturas de transformación de un acero

S. A. E. 52100

ING. IND. ENRIQUE D. BIA (*)

SINCOPSIS. — Se determinó el efecto de la variación de los regímenes de calentamiento y enfriamiento sobre las temperaturas de transformación de un acero SAE 52100. Se comprobó el carácter no estático de éstas y la conveniencia de abandonar el principio de ubicación de los puntos críticos en los ápices de las curvas dilatométricas.

Introducción

Relata Sauveur (1) (***) las experiencias de Stead, quien entregó muestras de un acero muy puro, de 0.9% de carbono, a diez y seis prestigiosos investigadores a fin de que determinaran los puntos A_{c1} y A_{r1} . Los resultados indicaron, en lo relativo a A_{c1} , temperaturas que iban de 719 a 746°C y en cuanto a A_{r1} valores comprendidos entre 697 y 721°C. Estas grandes variaciones, fueron atribuidas, al menos en parte, a las diferencias de los regímenes de calentamiento y enfriamiento utilizados en los ensayos, a la falta de coincidencia de las temperaturas de iniciación del enfriamiento y de los tiempos de mantenimiento a esas temperaturas. Sin embargo persiste la tendencia a considerar las temperaturas de transformación como si fueran valores estáticos, que definieran la posición de los puntos críticos en forma independiente de los factores que intervienen en su determinación experimental.

Ello justifica que en estos últimos años el problema haya sido replanteado por Niconoff (2) y Feuerstein y Smith (3).

(*) Colaborador Técnico a cargo del Laboratorio de Metalografía en el Instituto de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería.

(**) Los números indican las referencias bibliográficas que van final de este trabajo.

Algunos procesos metalúrgicos requieren el conocimiento de las temperaturas de transformación en forma precisa.

En el Instituto de Ensayo de Materiales se planteó esa situación con respecto a un acero del tipo S.A.E. 52100.

Los únicos datos disponibles eran los del ASME Handbook ⁽⁴⁾ que, entre otros, indica para ese acero los valores siguientes:

A_{c1}	726°C
A_{c3}	768°C
A_{r1}	692°C
A_{r3}	713°C

En razón de que el régimen de variación de temperaturas es el factor más importante en el proceso de determinación de las temperaturas de transformación, se realizó un programa de trabajo a efecto de precisar la influencia que ejercen, sobre esas temperaturas, los regímenes de calentamiento y enfriamiento. Así fué posible establecer límites para la validez de las cifras consignadas.

Procedimiento experimental

Se realizaron análisis dilatométricos, exámenes metalográficos y medidas de dureza.

Los ejemplares utilizados fueron previamente cromados electrolíticamente, a fin de evitar el escamado que pudiera ocurrir como consecuencia del calentamiento a altas temperaturas. Luego se les sometió a un tratamiento de normalización a 900°C., durante 30 minutos.

Los ejemplares dilatométricos fueron luego partidos en una sección recta a fin de determinar su dureza y observar la microestructura resultante.

Se utilizó un moderno dilatómetro Leitz HTV con cámara fotográfica (fig. 1). Para los fines del trabajo a realizar se consideró suficiente la precisión de este tipo de aparato, empleado con éxito, últimamente, por Andersen ⁽⁵⁾. El A.S.M. Metals Handbook ⁽⁶⁾ los califica de útiles, seguros y eficaces.

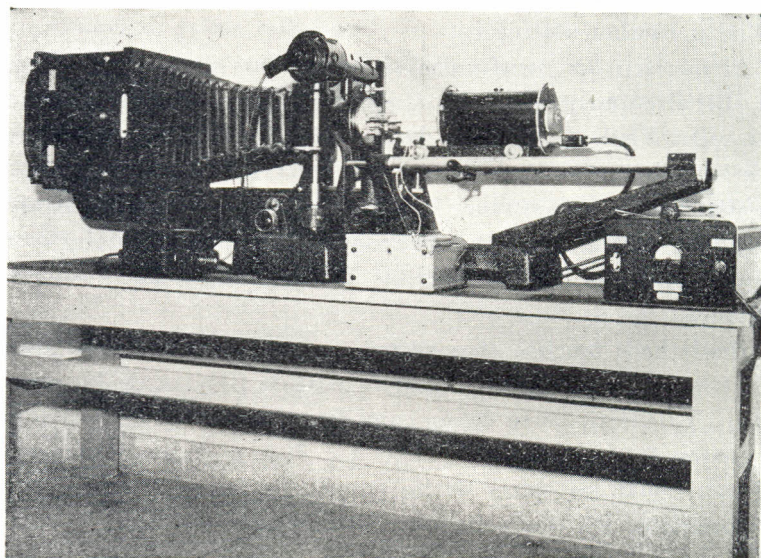


Fig. 1. - Vista del dilatómetro. (Instituto de Ensayo de Materiales)

Con el fin de investigar la variación del régimen de calentamiento sobre la posición de los puntos A_{c1} y A_{c3} se reguló el dilatómetro en forma de obtener aumentos uniformes de 60, 90, 130, y 200 °C/hora. Con fines de contralor, en los dos primeros casos se registró las temperaturas cada 10 minutos y cada cinco en los dos últimos. La temperatura de calentamiento fué de 900°C.

En la determinación del efecto que produce la variación del régimen de enfriamiento sobre la posición de los puntos A_{r1} y A_{r3} el trabajo fué realizado con tasas de cambio de temperaturas no uniformes. Ello se debió a que no se disponía de un aparato regulador del enfriamiento, dentro de la zona de variación estudiada.

Ubicación de los puntos críticos

Las temperaturas críticas indican el comienzo y el fin de transformaciones alotrópicas. En la práctica dilatométrica, en el punto A_{c1} , por ejemplo, se registran dos efectos opuestos. Por un lado la expansión que provoca la elevación de temperatura sobre la aus-

tenita recién formada y ferrita residual y por otro la contracción debida al cambio alotrópico.

Al iniciarse la transformación predomina el efecto de expansión. El dilatómetro registra, simplemente, una desviación de la línea recta. Pero al continuar la elevación de la temperatura, una parte más importante de metal participa del cambio alotrópico y la contracción que produce equilibra primero el efecto expansivo y luego lo supera, hasta que próximo a la temperatura A_{c3} se registran las consecuencias opuestas del fin de la transformación alotrópica.

Desde hace muchos años permanece en pie la discusión acerca de la etapa que corresponde adoptar para la fijación de los puntos críticos. Vale decir, si se deben considerar los puntos de desvío inicial (casos A_{c1} , A_{r3}) y final (casos A_{c3} , A_{r1}), o si por el contrario, se deben tomar los ápices de las curvas. La figura 2 indica, en el calentamiento, las dos soluciones actualmente en uso.

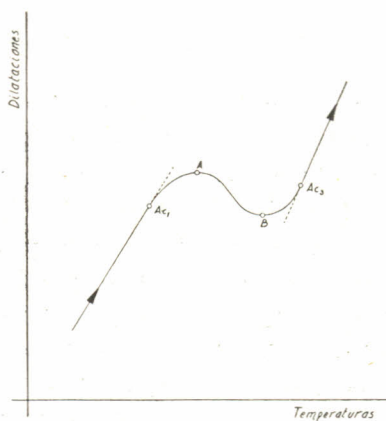


Fig. 2

Se comprende lo difícil que resulta componer valores relativos a temperaturas de transformación, si no se indica cual de las dos ubicaciones se ha adoptado.

El criterio más generalizado hasta hace poco tiempo fué tomar como referencias los ápices. Se les adoptó porque eran puntos fáciles de localizar y además porque, en esas posiciones, tomaba lugar el grueso de la transformación. Sin embargo la tendencia ac-

tual es hacia su abandono y reemplazo por los puntos de desviación.

A nuestro juicio esta última es la solución correcta. Responde estrictamente a la esencia del fenómeno, es más útil a los fines de los tratamientos térmicos y no ofrece mayores dificultades para la ubicación de los puntos.

Por ese motivo los resultados que presentamos responden a este último criterio de definición de las temperaturas de transformación. Indicamos sin embargo, entre paréntesis, los valores relativos a los ápices.

Resultados experimentales

El efecto que produce la variación del régimen de calentamiento sobre la posición de los puntos A_{c1} y A_{c3} lo observamos regulando el dilatómetro en la forma ya mencionada. Los resultados los hemos resumido en la tabla I.

Tabla I

Régimen de calentamiento °C/hora	Temperaturas de transformación (°C)	
	A_{c1}	A_{c3}
60	721 (725)	765 (762)
90	716 (722)	784 (774)
130	722 (726)	785 (777)
200	725 (730)	792 (789)

En el intervalo de variación del régimen de calentamiento, cubierto en el curso de la investigación, las temperaturas de transformación A_{c1} y A_{c3} tienden, en general, a aumentar a medida que se hace más intenso dicho régimen. Se comprueba además en la tabla I, que las variaciones correspondientes a A_{c1} son más pequeñas que las que acusa A_{c3} .

Las diferencias que se observan en las temperaturas de transformación, como consecuencia de los dos criterios de definición,

alcanza un máximo de 5°C para A_{c1} y de 10°C para A_{c3} . Las producidas por la variación del régimen de calentamiento llegan a 9°C para A_{c1} y 27°C para A_{c3} .

Los valores que aparecen en la tabla I se presentan en la figura 3. Se han reunido en esta gráfica las curvas dilatométricas de calentamiento. El eje de las ordenadas, común a todas las curvas, representa las temperaturas. Sobre el eje de las abscisas se indica, para cada curva, su propia escala de dilataciones. Esta presentación permite comparar el efecto de la variación de régimen de calentamiento sobre las temperaturas de transformación, expues-

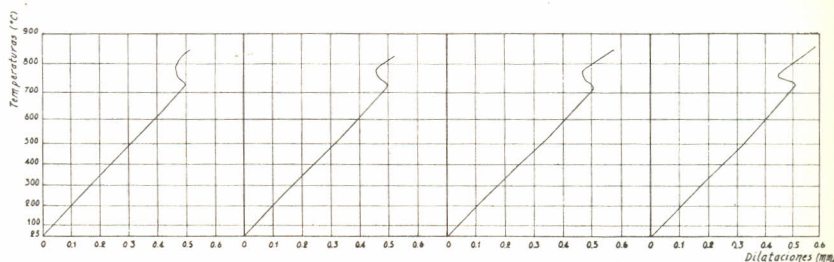


Fig. 3. - Efecto de los regímenes de calentamiento sobre las temperaturas de transformación A_{c1} y A_{c3} de un acero S.A.E. 52100. (Instituto de Ensayo de Materiales)

to analíticamente en la tabla I. Cada curva, por lo demás, registra el proceso completo de dilatación térmica del ejemplar correspondiente.

La influencia que ejerce la variación del régimen de enfriamiento sobre la posición de los puntos A_f , se observó en las condiciones de ensayo indicadas anteriormente.

Las temperaturas de transformación, registradas para los regímenes de enfriamiento que se exploraron, aparecen en la tabla II.

Tabla II

Régimen de enfriamiento	Temperaturas de transformación (°C)				Dureza (R _c)
	Orden Perlítico		Orden Bainítico		
	A _{p,3}	A _{p,1}	A _{b,3}	A _{b,1}	
Horno cerrado	737 (731)	654 (658)	—	—	14.2
" abierto	736 (730)	649 (653)	—	—	19.2
Aire	—	—	618 (604)	523 (550)	33.5

El régimen de enfriamiento, con el horno cerrado, se obtuvo cortando la corriente y manteniendo el ejemplar en el horno. De ello resultó una variación de 11.3 °C por minuto para el orden de 705°C y de 5.4°C/min en el de 350°C. Para el régimen con horno abierto, se abrieron las tapas del horno; en esta forma el enfriamiento es algo más intenso; alcanzó a 15°C/min y 7°C/min en los órdenes mencionados precedentemente. Para el enfriamiento en el aire, se retiró el horno, enfriándose por lo tanto el ejemplar en el aire; el régimen de variación de temperatura fué de 780°C/min y 148°C/min en los mismos órdenes considerados.

Aún cuando el número de regímenes de enfriamiento analizados no permite observar, en general, su efecto sobre las temperaturas de transformación, se aprecia, sin embargo, su tendencia al descenso a medida que aquellos son más intensos.

Las curvas dilatométricas de enfriamiento han sido representadas en la figura 4, siguiendo el procedimiento expuesto en relación con la fig. 3.

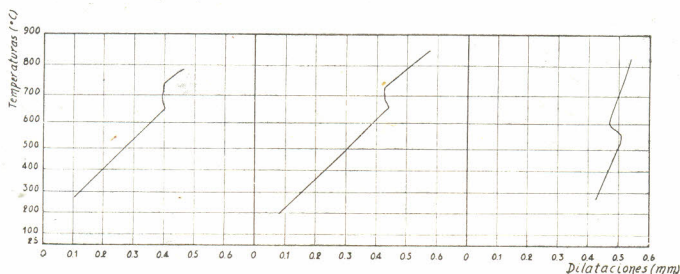


Fig. 4. - Curvas dilatométricas obtenidas con los regímenes de enfriamiento indicados y su influencia sobre las temperaturas de transformación A_{p,1} y A_{p,3}. (Instituto de Ensayo de Materiales)

Las diferencias máximas entre las temperaturas de transformación, supuesto que estas correspondan a los ápices o a los puntos de desviación de la parte recta, son de 4°C para A_{r1} y de 6°C para A_{r3} .

Los ejemplares dilatométricos de enfriamiento fueron seccionados rectamente con el fin de examinar la microestructura y determinar su dureza.

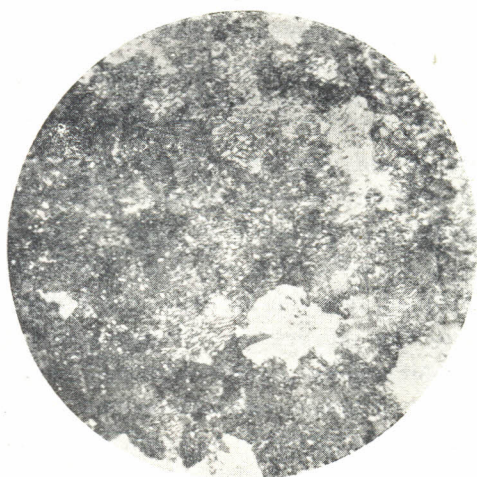


Fig. 5

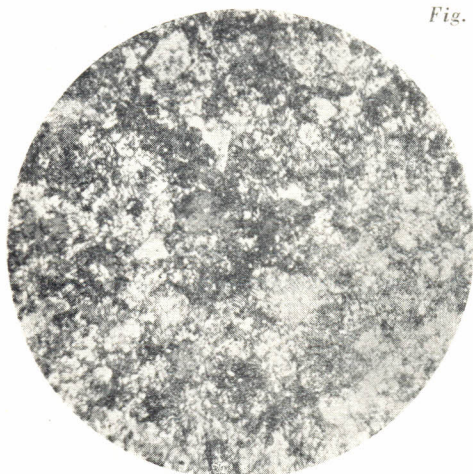


Fig. 6

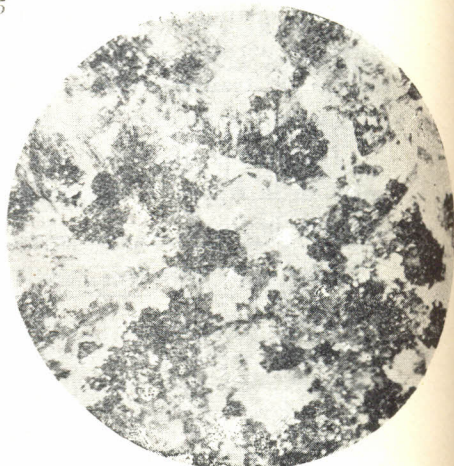


Fig. 7

Figs. 5, 6 y 7. - Estructuras metalográficas de los ejemplares, producidas por enfriamiento continuo. Ataque nital 1%. Aumento: 400 x. — 5: enfriamiento en el horno (cerrado); 6: enfriamiento en el horno (abierto); 7: enfriamiento en el aire. (Instituto de Ensayo de Materiales)

Las figuras 5, 6 y 7 registran las estructuras metalográficas observadas.

En la fotomicrografía 5 se percibe bien, la estructura perlítica del ejemplar, enfriado en el horno, que se mantuvo cerrado, La N^o 6 registra un ligero cambio con respecto a la anterior; en efecto la perlita es ahora sensiblemente más fina, como consecuencia del régimen de enfriamiento más intenso que se obtuvo abriendo las tapas del horno. La variación de la microestructura es, sin embargo, notable en la fotomicrografía 7. La mayor rapidez del enfriamiento, realizado en este caso en el aire, dió lugar al desdoblamiento de la transformación, observándose la aparición de un constituyente acicular que aparece junto con la perlita muy fina y con tendencia a la forma nodular.

Las determinaciones de dureza corresponden a las distintas estructuras observadas. Vemos en la tabla II que para el ejemplar enfriado con el horno cerrado, la dureza Rockwell C es de 14.2. Para el ejemplar enfriado con el horno abierto, la dureza alcanza a 19.2 Rc; el incremento que se registra se explica por la presencia de una perlita más fina que en el caso anterior; es notorio que la dureza de la perlita aumenta, a medida que su estructura se vuelve más fina. Por último, la aparición del constituyente acicular, en el ejemplar enfriado en el aire, motivó para éste el sensible aumento a 33.5 Rc.

Conclusiones

I) — Los resultados obtenidos comprueban el efecto de los regímenes de calentamiento y enfriamiento sobre las temperaturas de transformación de un acero S.A.E. 52100. Estas, en general, aumentan en el calentamiento y disminuyen en el enfriamiento, a medida que los regímenes de variación son más intensos.

II) — Dentro de los límites de su sensibilidad, el equipo experimental utilizado resultó eficiente y adecuado al fin perseguido.

III) — Es necesario fijar un criterio uniforme para la ubicación de los puntos críticos. Los puntos donde se producen las desviaciones iniciales —ora en el calentamiento o en el enfriamiento— responden más ajustadamente a los fenómenos físicos que definen las temperaturas de transformación. Y como ade-

más, dichos puntos de desviación pueden ser fijados con suficiente certeza, parece aconsejable referirse a ellos y no a los ápices. El procedimiento adoptado por el llamado "Steel Standarization Group" (7), introduce una diferencia sistemática con el verdadero comienzo y fin de la transformación alotrópica.

IV) — Los valores presentados en los manuales para las temperaturas de transformación A_c y A_r , que no se presenten acotados con los regímenes de variación de temperaturas utilizados para su determinación, deben aceptarse como elementos de orientación. Son útiles cuando los tratamientos térmicos a realizar no exigen valores exactos; si ese no es el caso, como en el recocido a temperaturas subcríticas, el conocimiento de las temperaturas de transformación relativas al régimen de variación de temperaturas es indispensable.

REFERENCIAS

- (1) Albert Sauveur. — The Metallography and Heat treatment of Iron and Steel, 1935, pág. 104.
- (2) D. Nikonoff. — Critical Points of S.A.E. 4340 Steel as Determined by the Dilatometric Method, Transactions of American Society for Metals, Vol. 37, 1946.
- (3) W. J. Feuerstein and W. K. Smith. — Elevation of Critical Temperatures in Steel by High Heating Rates, Transactions of American Society for Metals, Vol. 46, 1954.
- (4) ASME Handbook, Metals Properties, 1954, pág. 252.
- (5) J. K. L. Andersen. — Determination of an Isothermal Transformation Diagram with an Optical Dilatometer, Journal of the Iron and Steel Institute, London, Vol. 162, Part. 1, May 1949.
- (6) A.S.M. Metals Handbook, 1948 Edition, pág. 171.
- (7) Steel Standarization Group. Determination of Recalescent Points in Steels, Metal Progress, Vol. 41, June 1942.