Metodología para el cálculo de la templabilidad de piezas de acero.

Autor: Ing. Francisco Martínez Pérez; Dr.
Profesor Consultante
Centro de Estudios de Ingeniería de Mantenimiento
Facultad de Ingeniería Mecánica
Universidad Técnica de La Habana, Cuba
fmartinez@ceim.cujae.edu.cu

El trabajo consta de 8 páginas con cuatro tablas y tres figuras.

Dr. Francisco Martínez Pérez
Dirección: Calle Línea 751 altos
Plaza de la Revolución
Habana 4
Ciudad Habana
Cuba
Teléfono: (537) 833 5577

Resumen. El cálculo de la templabilidad de piezas de acero es un problema complejo y que depende de muchos factores. En la literatura es difícil encontrar un algoritmo con toda la información que esto requiere. En el trabajo de forma sintetizada y aprovechando un problema real presentado en la industria se muestra una metodología que cumple con los requisitos necesarios.

Palabras Claves. Medio de enfriamiento, Templabilidad, Temple.

I. INTRODUCCIÓN

El cálculo de la templabilidad es un problema tecnológico perfectamente definido en numerosos libros de texto de Tratamiento Térmico. En lo fundamental se parte de los resultados obtenidos en un análisis en un equipamiento pare el ensayo Jominy. En este ensayo se puede establecer una relación entre la distancia al extremo templado en la probeta normalizada para el mismo y empleando los parámetros normalizados para el ensayo Jominy, con el diámetro máximo en el que se puede obtener un 50% de transformación

martensítica en el acero en cuestión.

Sin embargo, si se quiere analizar la templabilidad de una pieza cualquiera, los resultados del ensayo Jominy, constituyen solo un primer paso, que además necesita de consideraciones adicionales, y que después de obtenido el resultado, se necesita de una serie de pasos adicionales, que conforman una metodologías de cálculo.

En este trabajo se pretende presentar esa metodología, mediante un algoritmo de cálculo, lo cual fue empleado exitosamente para el análisis de la templabilidad de elementos de cadenas bagaceras de la industria azucarera de Cuba.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El primer paso en el desarrollo de cualquier trabajo, es el conocer exactamente la composición química del material a utilizar. Para llevar a cabo este paso puede ser empleado un equipo de análisis espectral, donde se pueda obtener no solo el contenido de carbono, sino también el de otros elementos que influyen decisivamente en el carbono equivalente; concepto y valor que será utilizado posteriormente. El conocer con exactitud la composición química del acero empleado, permitirá además, tener certeza en que estamos tratando con un acero en el que, por parte del productor, se cumplió con los rangos de valores establecidos por las normas, para lo cual se podrá emplear la llave del acero [1].

En el tratamiento térmico de temple son importantes dos conceptos:

a) Capacidad de adquirir temple. Este concepto está relacionado con la posibilidad de que un acero alcance una dureza determinada después del temple producto de la transformación martensítica. La capacidad de adquirir temple depende del contenido de carbono equivalente (a medida que el contenido de carbono equivalente aumenta, también lo hace la capacidad de adquirir temple) de la presencia de elementos de aleación y de la severidad del temple.

En la tabla 1 se puede apreciar para aceros al carbono y aleados la dureza promedio posible a alcanzar en una zona con un 50 % de martensita [2].

En la tabla 1 se puede apreciar para aceros al carbono y aleados la dureza promedio posible a alcanzar en una zona con un 50 % de martensita [2]

Tabla 1 – Dureza en la zona con 50 % de martensita en función del contenido de carbono y el tipo de acero.

CONTENIDO DE CARBONO (%)	HRC	
	al carbono	aleados
0.08 – 0.17	-	25
0.18 – 0.22	25	30
0.23 – 0.27	30	35
0.28 – 0.32	35	40
0.33 – 0.42	40	45
0.43 – 0.52	45	50
0.53 – 0.62	50	55
> 0.63	55	60

Tabla 2 – Efecto de la concentración de carbono y el % de martensita en la dureza del acero templado.

% CARBONO	DUREZA, HRC				
	99 % M	95 % M	90 % M	80 % M	50 % M
0.10	38.5	32.9	30.7	27.8	26.2
0.20	44.2	40.5	38.2	35.0	31.8
0.30	50.3	47.0	44.6	41.2	37.5
0.36	53.9	50.4	47.6	44.4	40.5
0.38	55.0	51.4	49.0	45.4	41.5
0.40	56.1	52.4	50.0	46.4	42.4
0.42	57.1	53.4	50.9	47.3	43.4
0.44	58.1	54.3	51.8	48.2	44.3
0.46	59.1	55.2	52.7	49.0	45.1
0.48	60.0	56.0	53.5	49.8	46.0
0.50	60.9	56.8	54.3	50.6	46.8
0.52	61.7	57.5	55.0	51.3	47.7
0.54	62.5	58.2	55.7	52.0	48.5

En la tabla 2 se observa con mayor precisión la dureza que puede alcanzarse en función del contenido de carbono y el contenido de la transformación martensítica [3].

Templabilidad. Este concepto expresa la capacidad que tiene un acero para alcanzar temple total hasta una determinada profundidad. Se entiende como temple total aquella zona donde se alcance, al menos, el 50 % de transformación martensítica. La templabilidad depende esencialmente del contenido de carbono equivalente, que tiene en cuenta la presencia de elementos de aleación, teniendo algunos como el Mn, un efecto más marcado en la templabilidad, del medio de enfriamiento empleado (severidad de temple) y de la forma y dimensiones de la pieza. La templabilidad de un acero generalmente se mide mediante un ensayo (Jominy) en que, en una probeta como la de la figura 1; calentada hasta temperatura de temple (según el tipo de acero) se enfría por el extremo inferior con corriente de agua a temperatura ambiente, midiéndose después, a partir del extremo los valores de dureza, que son llevados a un gráfico de HRC Vs distancia al extremo templado, obteniéndose un gráfico como el mostrado en la figura 2.

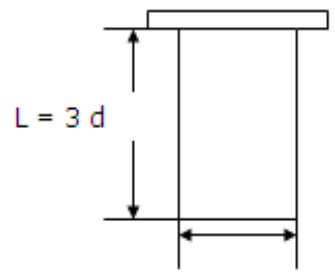

Figura 1 – Esquema probeta usada en el ensayo Jominy

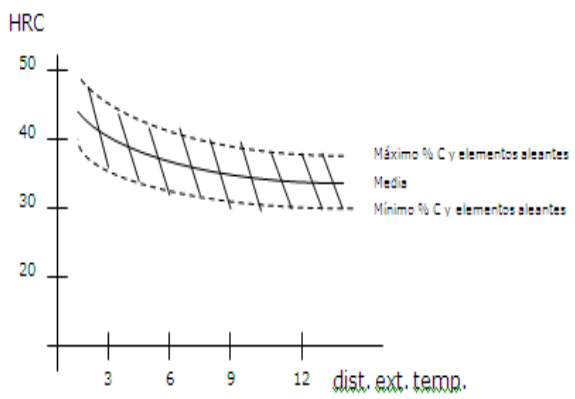

Figura 2 – Curva típica de un ensayo Jominy

Como los aceros presentan por norma un rango en el contenido de carbono y de elementos aleantes, en función de ese contenido se obtendrá una "banda de templabilidad" en el ensayo Jominy (Ver figura 2).

Según este ensayo y empleando las tablas 1 y 2 se puede conocer a qué profundidad del extremo templado se alcanza al menos el 50 % de martensita (temple total).

A partir de este valor, se puede calcular el diámetro de una pieza, con una relación L/D = 3 (como la del ensayo Jominy), en que se alcanza, con diferentes medios de enfriamiento, un temple total volumétrico (al menos 50 % de martensita en el núcleo). Este diámetro se denomina diámetro ideal (D_i).

Como se comprenderá, las piezas no guardan necesariamente esta relación (L/D = 3). Para saber si una pieza cualquiera puede tener una templabilidad total se emplea un factor de forma K_f.

$$D_p = D_i \bullet K_f \qquad \text{donde}$$

D_p – es el diámetro o espesor medio de la pieza posible a obtener temple total.

D_i – diámetro ideal según el ensayo Jominy.

K_f – factor de forma.

A su vez, el factor de forma K_f es igual a:

$$(S/V)_p = (S/V)_j \bullet K_f \quad \text{donde}$$

$(S/V)_p$ – es la relación superficie/volumen de la pieza real a calcular

$(S/V)_j$ – es la relación superficie/volumen de la probeta Jominy

Por otra parte, los diferentes medios de enfriamiento inciden en el valor del

diámetro crítico ideal (D_i). Esto se debe a varias causas, pero en lo fundamental, a la severidad con que se transmite el calor de la pieza al medio. Los medios de enfriamiento presentan severidades de temple diferentes, no sólo entre ellos (como se puede apreciar en la tabla 3) si no también en función de su temperatura y de la velocidad de circulación.

Tabla 3 – Severidades de temple comparativa de diferentes medios de enfriamiento en función de la temperatura del medio en °C y de su velocidad de circulación.

MEDIO	TEMP. DEL MEDIO (°C)	VELOCIDAD CIRCULACION, m/s	SEVERIDAD
Agua	32	0	1.1
		0.25	2.1
		0.51	2.7
		0.76	2.8
	55	0	0.2
		0.25	0.6
		0.51	1.5
		0.76	2.4
Aceite rápido	60	0	0.5
		0.25	1.0
		0.51	1.1
		0.76	1.5

De la tabla se puede apreciar que el agua tiene una severidad de temple mayor que la del aceite; y que a medida que se incrementa la velocidad de circulación se incrementa la severidad de enfriamiento, tanto en el agua como en el aceite.

Existen diferentes tipos de aceite de enfriamiento. En la tabla 3 se compara el agua con aceites rápidos, los cuales duplican o triplican su severidad de temple en comparación con los convencionales. Además se recomienda emplear el enfriamiento en aceite, calculando éste hasta 60-70 °C [3].

Por otra parte, la velocidad de enfriamiento de los diferentes medios también depende del rango de temperatura en que éste se produce. Esto puede apreciarse en la tabla 4 [2].

Tabla 4 – Velocidades de enfriamiento de diferentes medios en función del rango de la temperatura.

MEDIO DE ENFRIAMIENTO	VELOCIDAD ENFRIAMIENTO EN (°C/s)	
	RANGO 650-500 °C	RANGO 300-200 °C
Agua a 30 °C	500	270
Agua a 50 °C	100	270
Agua a 75 °C	30	200
Emulsión aceite en agua	200	-
Aceite minerales (promedio)	100-150	20-50
Aire comprimido	30	10
Aire tranquilo	3	1

La metodología expuesta, pudiera ser sintetizada en el siguiente algoritmo (Fig. 3).

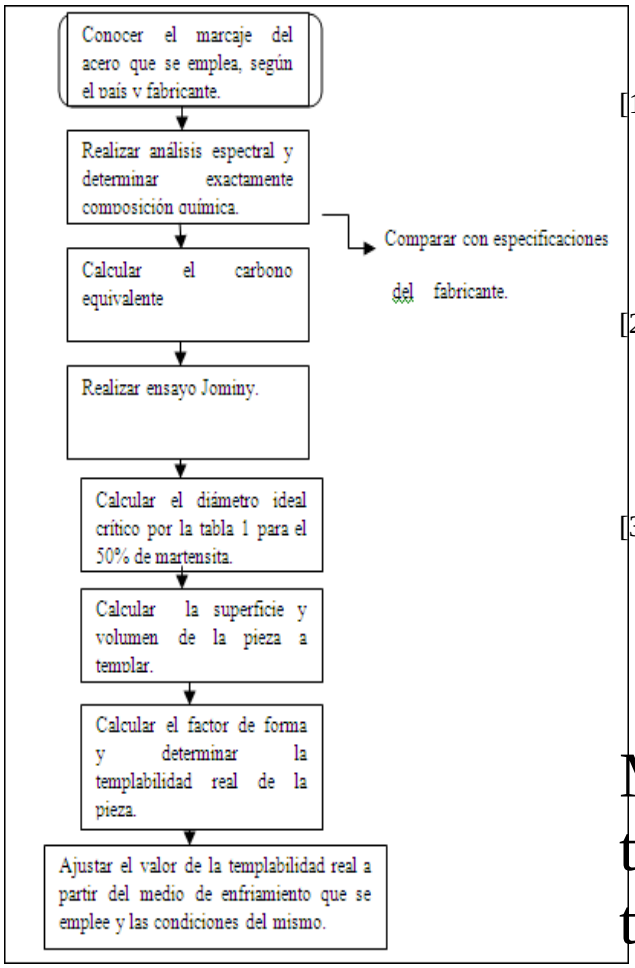

Fig. 3 Algoritmo para el cálculo de la templabilidad de piezas.

III. CONCLUSIONES

Siguiendo la metodología y el algoritmo desarrollado, es factible determinar con precisión la templabilidad de cualquier pieza de acero. Para ello resulta indispensable el conocer con precisión el marcaje del acero así como la composición química del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

[1] [1] Stahlschlüssel (Llave del acero). P 209 Wegst C.W., Verlag Stahlschlüssel Wegst GmbH, Alemania, 1995.

[2] Martínez F. "Teoría y Tecnología del Tratamiento Térmico", Editorial Pueblo y Educación, C. Habana, 1985.

[3] Heat Treating of Steels, ASME Handbook, 1994.

Methodology for the calculation of the hardenability of steel components.

Abstract. Calculus of the hardenability of steel components is a very complex problem and it depends on many factors. In literature is not possible to find an algorithm with the whole information that is required. In this article in a synthesized form and with the experience of a real problem of industry is presented a methodology that takes into account all the required information.

Key words: Cooling media, Hardenability, Temper.

Francisco Martínez Pérez Ingeniero Mecánico, graduado en la Universidad Técnica de La Habana en 1971. Especialización en Metalurgia Física y Tratamientos Térmicos en el Instituto Politécnico de Leningrado en 1972.

Maestría en la Universidad de Waterloo, Canadá en Súper plasticidad en 1976.

Doctorado en Tribología y Tratamientos Térmicos en La Universidad Técnica de Poznan Polonia en 1984.

Domina los idiomas ingles y ruso.

Es investigador y Profesor Titular de la República de Cuba.

Ha desempeñado los cargos de Decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica de La Universidad Técnica de La Habana, Jefe del Departamento de Ingeniería en el Ministerio de Educación Superior, donde dirigió el desarrollo de los nuevos planes de estudio de todas las ingenierías a nivel nacional, Director del Centro de Investigaciones Metal Mecánicas del Ministerio de la Industria Sidero Mecánica de Cuba.

Actualmente trabaja como Profesor Consultante en el Centro de den Estudios de Ingeniería de Mantenimiento de la Universidad Técnica de La Habana, donde es miembro de su Comité académico y tiene a su cargo el desarrollo de la disciplina integral de Ciencia e Ingeniería de Materiales

Ha impartido diferentes cursos de Maestría y Doctorado en dos Centros de Excelencia en México, en Venezuela, Argentina y Bolivia así como nacionalmente para Universidades y las Industrias en Metalurgia Física, Ciencia e Ingeniería de Materiales, Tribología, Análisis de Fallas Mecánicas, Materiales de Composición, Tecnologías de Tratamiento Térmico y Termoquímico, Materiales de Composición, Tecnologías para la Restauración de Elementos de Máquina y Metodología de la Investigación Científica.

Ha realizado investigaciones y asesorias a la industria en Tratamientos Térmicos, Tribología, Análisis de fallas mecánicas, Súper plasticidad y Desarrollo de Algoritmos y Programas de Cómputo, introduciendo más de 25 resultados de investigación desarrollo. Tiene publicados más de 30 artículos en revistas internacionales y nacionales y publicados, como autor, 4 libros, uno en LIMUSA, México, y como coautor otros tres libros. Los libros son textos en la educación Superior en Cuba y el de Tribología en el Instituto Politécnico Nacional de México.

Ha recibido cuatro medallas de diferentes niveles en la Educación Superior Cubana y el Consejo de Estado de la República de Cuba.