
Tratamiento térmico de temple, influencia del medio de enfriamiento

Hardening heat treatment, influence of cooling medium

Hernán Patiño ^{a*}, Brayan Rosero ^a

^aFacultad de Ingeniería mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira

Recibido: 06/04/2016; revisado: 15/06/2016; aceptado: 26/07/2016

Hernán Patiño, Brayan Rosero: Tratamiento térmico de temple, influencia del medio de enfriamiento. *Jou.Cie.Ing.* 8 (1): 52-58, 2016. ISSN 2145-2628.

Resumen

Los factores que intervienen en el proceso de temple son: el tipo de temple, el calentamiento, la temperatura de austenización, la velocidad de enfriamiento y el tiempo de sostenimiento. La velocidad de enfriamiento real, se ve afectada por el tamaño de la pieza, por el medio utilizado en el enfriamiento y por la misma velocidad crítica. En el presente trabajo se describen algunos aspectos generales del temple, además, se muestra la influencia de tres medios diferentes de enfriamiento (agua, aceite, agua+sal+hielo) durante un temple directo y se evalúa el cambio en la microestructura y dureza de tres probetas de acero AISI-SAE 1045. Los resultados obtenidos muestran que la probeta templada en agua+sal+hielo adquirió el mayor valor de dureza 57,1 HRC y menor tamaño de grano, seguida por las probetas enfriadas en agua y aceite respectivamente.

Palabras Claves: Dureza, medios de enfriamiento, temple, tiempo de sostenimiento.

Abstract

The factors involved in a process of hardening are type of hardening, warming, austenitizing temperature, the cooling rate and heating time. The true speed of cooling is affected by the size of piece, the medium used in the cooling and the same speed critical. The present paper describes some general aspects about the hardening, also it shows the influence of three different cooling media (water, oil, water+salt+ice) during a direct process of hardening and it evaluates the change in microstructure and hardness of three specimens of steel AISI SAE-1045. The results shows that the specimen warm in water+salt+ice acquired the highest value of hardness 57,1 HRC and smaller grain size, followed by specimen cooled in water and oil respectively.

Keywords: Hardness, cooling medium, hardening, residence time.

1. Introducción

Los tratamientos térmicos son procesos de manufactura que permiten modificar las propiedades físico-mecáni-

cas de los materiales sin afectar su composición química, facilitando de este modo un mayor campo de aplicación de los mismos [1]. Todos los procesos básicos de tratamientos térmicos para aceros incluyen la transfor-

* hedapatino@utp.edu.co

mación o descomposición de la austenita; la naturaleza y la apariencia de estos productos de transformación determinan las propiedades físicas y mecánicas de cualquier acero [2]. Según [3] el temple es el enfriamiento rápido del acero desde una temperatura elevada. En general, esto se logra sumergiendo la pieza en agua, aceite, solución polimérica, sal o aire comprimido [3]. El temple de aceros ha sido un proceso que siempre se ha llevado a cabo, por lo que se ha buscado la forma de mejorarlo y obtener las mejores características del material a partir de los medios y sistemas de enfriamiento [4]. El acero bajo especificaciones AISI-SAE 1045 es un acero simple al carbono con un porcentaje en peso de dicho elemento que oscila entre 0,42 % y 0,5 %, razón por la cual también es clasificado como un acero de medio carbono [5,6]. En Colombia este material es utilizado de manera frecuente como acero de construcción mecánica para la fabricación de piezas forjadas a las cuales se les confiere las propiedades mecánicas requeridas mediante tratamiento térmico de temple [7]. Por lo anterior, para obtener piezas cuyas propiedades mecánicas cumplan con los requerimientos de diseño se debe tener un apropiado control y conocimiento de parámetros que son mencionados en este artículo.

El presente trabajo muestra un estado del arte de los factores a tener en cuenta en la realización del tratamiento térmico de temple, se describe el proceso de templado de tres probetas de acero AISI-SAE 1045 en estado de suministro, usando diferentes medios de enfriamiento como agua, aceite, agua+sal+hielo; donde se evalúan durezas y microestructuras del material. Este procedimiento fue realizado en los laboratorios de metalografía y resistencia de materiales de la facultad de Ingeniería Mecánica en la Universidad Tecnológica de Pereira.

2. Aspectos Teóricos

En la industria metalmeccánica y especialmente en procesos que involucre el uso de aceros para herramientas, se hacen necesarias altas durezas, altas resistencias mecánicas, sin que se afecten demasiado las propiedades de resiliencia o tenacidad [1]. Estas características pueden lograrse por medio del tratamiento térmico de temple. Los factores que se consideran en el temple se nombran a continuación:

2.1. Tipos de temple

Antes de modificar las propiedades mecánicas del material se debe conocer el tipo de procedimiento pa-

ra lograr las características microestructurales deseadas. Esto se logra con temples como:

Temple ordinario o directo: Este se realiza calentando el acero hasta una temperatura de Ac_3 o Ac_1 y enfriando con una velocidad mayor que la crítica de temple, de modo de que se produzca un endurecimiento notable, el cual se debe a la formación de martensita y sucede en la superficie solamente o en toda la pieza, dependiendo de la capacidad de temple del acero [3]. Aquí se utiliza un solo medio de enfriamiento y la estructura resultante es martensita acicular [8].

En la tabla 1 se muestra las temperaturas de transformación en aceros y estas se pueden determinar con la correlación descrita por [9,10].

Tabla 1. Temperaturas críticas ^a

Ac_1	Ac_3
727°C	788°C

^a Fuente: Elaboración propia

Temple escalonado: Se calienta el material por encima de la temperatura crítica y la velocidad de enfriamiento de la pieza debe cambiarse abruptamente en un momento dado, es decir, se utiliza dos o más medios de enfriamiento logrando una microestructura de martensita menos tensionada y austenita retenida [8].

Temple Martempering: Este tratamiento se efectúa calentando el acero y manteniéndolo a una temperatura superior a la crítica durante un tiempo suficiente para su completa austenización y enfriándolo luego en un medio fluido caliente como sales fundidas, aceite a una temperatura que debe ser superior al punto M_s ; el material debe permanecer en el baño caliente el tiempo suficiente para conseguir que toda la masa del acero alcance e iguale la temperatura del baño o sea uniforme, seguidamente la pieza se enfría al aire [11]. De este modo la formación de martensita ocurre en una forma uniforme en toda la masa del acero evitando la formación de excesivas tensiones residuales [3]. La microestructura del material en este temple es austenita retenida más martensita menos tensionada que en el temple escalonado [8].

Temple Austempering: Este se realiza luego de calentar hasta la temperatura de austenización, la pieza se enfría en un baño que se mantiene a una temperatura constante, generalmente entre 260 y 400°C. Luego se deja se deja enfriar hasta la temperatura ambiente, generalmente al aire [3]. Este tratamiento térmico propicia alta resistencia junto a buenas condiciones de ductilidad, gracias a

la estructura de bainita inferior que se obtiene [12].

2.2. Calentamiento

Esta es la primera fase del tratamiento térmico. La naturaleza oxidante de la atmosfera del horno y el espesor de la pieza, son determinantes en la velocidad de calentamiento [13]. El calentamiento hasta la temperatura de austenización se debe iniciar estando el horno a baja temperatura y a ser posible, a las condiciones ambientales; esto se consigue elevando la temperatura lo más lentamente posible. En los aceros al carbono para conseguir la austenización completa, las piezas deben sumergirse en una mezcla de carbón granulado dentro de una caja de acero herméticamente cerrada para evitar descarburación y oxidación de las piezas [14]. El tiempo de calentamiento se puede calcular a partir de las expresiones de transferencia de calor [15]. Con ecuaciones de este tipo y basándose en ensayos, se ha encontrado que, para los aceros al carbono, el tiempo de calentamiento es proporcional al diámetro y se puede determinar con la siguiente ecuación. [16]

$$t(D) = \frac{2}{75}D + \frac{2}{3} \quad (1)$$

$$[t] = h; [D] = mm$$

2.3. Temperatura de austenización

Para cada tipo de acero hay una temperatura de austenización [17], pero algunos manuales como [18] disponen estos valores de temperatura.

En la práctica, se usa la temperatura que produzca la máxima dureza con la estructura más fina posible. Generalmente, la temperatura de austenización para los aceros hipoeutectoides es $Ac_3 + 50^\circ C$; en estos aceros hay que austenizar completamente, debido que, al enfriarse, quedaría ferrita en la estructura y los aceros hipoeutectoides se templean a una temperatura de $Ac_1 + 50^\circ C$ [3].

2.4. Tiempo de sostenimiento

Después del calentamiento, el acero estará en estado austenítico, pues toda la pieza debe estar a la temperatura del horno. En ese momento se empieza a contar el verdadero tiempo de sostenimiento; en ese periodo se debe lograr la difusión del carbono y de los carburos en hierro gamma y se debe uniformar el tamaño de grano [1].

Para los aceros ordinarios al carbono y los estructurales de baja aleación, el tiempo de sostenimiento depende del tamaño de la pieza y éste se determina con la ecuación 2.

$$t(D) = 15 + \frac{D}{2} \quad (2)$$

$$[t] = min; [D] = mm$$

La ecuación 2 es utilizada para piezas con espesores menores de 25 mm; si la sección es mayor, el tiempo mínimo es media hora, además se puede utilizar la ecuación 3.

$$t(D) = \frac{1}{2} + \frac{D}{120} \quad (3)$$

$$[t] = h; [D] = mm$$

Para los aceros estructurales de media aleación, se recomienda un tiempo de 25 minutos, sin importar la dimensión [8].

2.5. Modos de enfriamiento

Después finalizado el tiempo de sostenimiento, se llega la etapa de enfriamiento; como la microestructura deseada en el temple es la martensita, la velocidad de enfriamiento debe ser mayor o igual a la crítica de temple. Para los aceros al carbono las velocidades críticas varían de 210 a $600 \frac{^\circ C}{s}$; Por lo tanto, se debe de buscar un medio que supere dichas velocidades [19].

Los medios templantes han evolucionado mucho en la medida en que se desarrolla la ciencia y la técnica. Los tradicionales son el agua, el aceite, soluciones poliméricas, sales fundidas, y el aire [20]. La efectividad de un medio se puede comprobar, por ejemplo, al templear una pieza cilíndrica de acero usando medios diferentes de enfriamiento, posteriormente realizar una prueba de dureza del material y analizar su estructura metalográfica.

3. Procedimiento experimental

3.1. Materiales

Se utilizaron tres probetas de acero AISI-SAE 1045 en estado de suministro, con diámetro de 2,54 cm (1 in) y 1,5 cm de espesor.

3.2. Tratamiento térmico

El tratamiento térmico evaluado se realizó en el laboratorio de metalografía de la facultad de Ingeniería Mecánica. El cual cuenta con tres hornos tipo mufla/D8, una cortadora de disco metalográfica, un microdurómetro y cuatro pulidoras rotativas; elementos aptos para realizar un proceso de temple. Para este trabajo se utilizaron tres medios de enfriamiento: agua, aceite, agua+sal+hielo.

Para el tratamiento térmico de temple, se introdujeron las probetas en una caja de acero, rodeadas de una mezcla de arena y polvo de carbón para evitar descarburación y oxidación de las mismas como muestra la figura 1.



Figura 1. Probetas dispuestas en un recipiente de acero.

Algunos utensilios utilizados para el proceso de temple fueron elementos de protección personal como: bata de laboratorio, guantes de asbesto, careta fotosensible y demás elementos como recipientes para almacenar los tres diferentes medios de enfriamiento y pinzas; estos utensilios se pueden observar en las figuras 2 y 3.

El tiempo de calentamiento se determinó con la ecuación 1 y la temperatura de austenización a la que se realizó en temple fue 850 °C. El tiempo de sostenimiento se determinó con la ecuación 2, aproximadamente 22 minutos, se retiraron las probetas del horno por medio

de pinzas como muestra la figura 2. Y se enfriaron en los medios ya descritos como se muestra en la figura 3.



Figura 2. Retiro del recipiente de acero del horno después del proceso de calentamiento.



Figura 3. Enfriamiento de las probetas.

3.3. Mediciones de dureza y análisis microestructural

Se realizaron cuatro medidas de la dureza Rockwell C (HRC) en los extremos de una de las caras de cada probeta. Posteriormente las probetas fueron llevadas a pulido espejo y se obtuvo la microestructura por medio del microscopio metalográfico²; este procedimiento antes y después del tratamiento térmico de temple.

4. 4. Resultados y conclusiones

En la figura 4, se muestra la microestructura del acero AISI-SAE 1045 en estado de suministro, con granos en gran tamaño de perlita (oscuros) y granos de menor tamaño de ferrita (claros). El promedio de dureza para este acero fue 5,2 HRC.

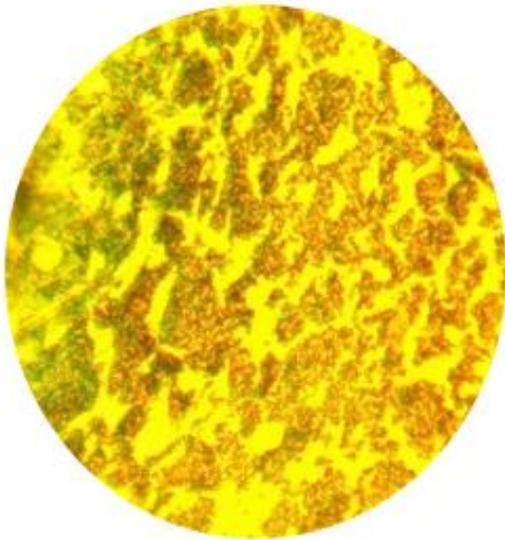


Figura 4. Microestructura del acero a 200X en estado de suministro.

4.1. Microestructura del acero 1045 AISI SAE después del temple y tras ser enfriado en aceite.

La figura 5 muestra la Microestructura del acero AISI-SAE 1045 a 200X después de su temple y de haber sido enfriado en aceite. Dureza promedio 12,175 HRC.

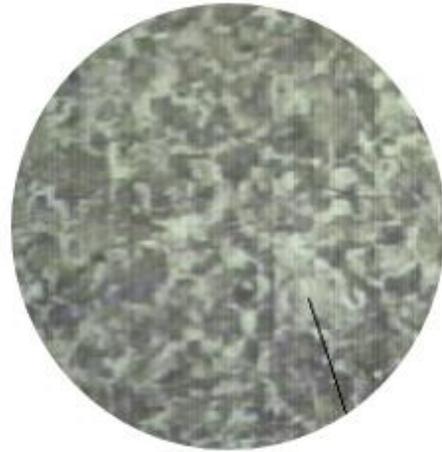


Figura 5. Microestructura del acero con enfriamiento en aceite.

4.2. Microestructura del acero 1045 AISI SAE después del temple y tras ser enfriado en agua.

La figura 6 muestra la Microestructura del acero AISI-SAE 1045 a 200X después de su temple y de haber sido enfriado en agua. Dureza promedio de 44,41 HRC.

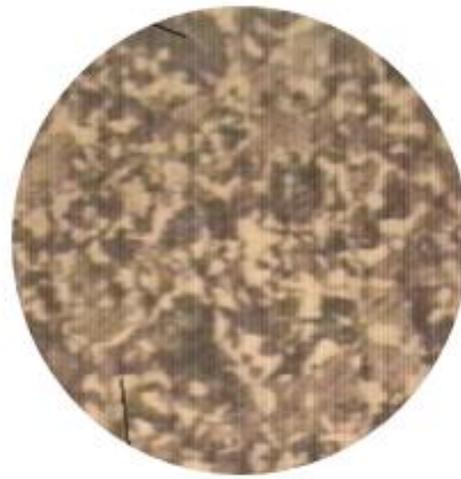


Figura 6. Microestructura del acero con enfriamiento en agua.

² Microscopio binocular invertido XJP-6A, Reticule ocular WF10X 12,5X - S5X S6.3X (0,01mm/división)

4.3. Microestructura del acero 1045 AISI SAE después del temple y tras ser enfriado en agua+sal+hielo.

La figura 7 muestra la Microestructura del acero AISI-SAE 1045 a 200X después de su temple y de haber

sido enfriado en agua+sal+hielo. Dureza promedio de 57,1 HRC. En la **Tabla 2** se muestra el resumen de los resultados de dureza y tamaño de grano para las probetas en estudio; donde el tamaño de grano se determinó por medio de la plantilla de comparación establecida por la norma ASTM E112 [21].

Tabla 2. Resumen de resultados ^a

Medio de Enfriamiento	DUREZA (HRC) promedio antes de TT	DUREZA (HRC) después de TT	TAMAÑO DE GRANO antes de TT	TAMAÑO DE GRANO después de TT
Aceite	5.2	12.175	6	Intermedio (6-7)
Agua		44.41		7
Agua+Sal+Hielo		57.1		8

^a Fuente: Elaboración propia



Figura 7. Microestructura del acero con enfriamiento en agua+sal+hielo.

La microestructura del acero templado en aceite posee tanto perlita (grano oscuro) como ferrita (grano claro), componentes también encontrados en el acero en estado suministro. Comparando los resultados de las figuras 4 y 5 se identifica un tamaño de grano menor en el acero templado en aceite que en aquel en estado de suministro, lo que le da mejores propiedades mecánicas al material ya que su dureza aumentó de 5,2 HRC a 12,175 HRC.

La probeta que tiene el menor tamaño de grano es la templada en agua+sal+hielo, esto se puede evidenciar en la figura 7 y **Tabla 2**, aquí ya se tiene martensita (forma de agujas), un constituyente formado por una

solución sólida sobresaturada de carbono o carburo de hierro en hierro alfa; este constituyente aumenta la dureza la resistencia y la fragilidad del acero. Evidente en los valores de dureza obtenidos.

La Probeta con mayor dureza fue la templada en agua+sal+hielo, seguida por la templada en agua y por último la enfriada en aceite; secuencia donde dice que el modo de enfriar una pieza es importante para obtener las propiedades mecánicas deseadas. la probeta que más eleva su dureza es la probeta que se somete a un medio de enfriamiento más alto sin embargo no quiere decir que este medio de enfriamiento sea el más apropiado para este material ya que se podrían presentar fracturas que debilitarían el material y actuarían como concentradores de esfuerzo ocasionando más adelantes fracturas del material.

El medio de enfriamiento, la forma y el tamaño de la pieza son factores que deciden la velocidad de enfriamiento [11]. La dureza obtenida en la probeta que fue enfriada en aceite, era la esperada, ya que la viscosidad del líquido influye en la transferencia de calor; como es más viscoso el aceite, tarda más en enfriar la pieza, logrando una dureza más baja.

En conclusión respecto a los medios de enfriamiento en el temple, no todos son aptos. La aptitud de un medio para templar consiste en la velocidad con la que la pieza transfiere calor al medio, a velocidad mayor, severidad de temple mayor. Durante la experimentación el medio más severo fue el de la mezcla de agua, hielo y sal, el hecho de agregar sal y hielo disminuye la temperatura del medio, por tanto la velocidad de enfriamiento es mayor.

Referencias

- [1] P. D. M. Manuel Pinzon and Eduardo Cruz Trejos. *Introducción a los tratamientos térmicos para aceros*. Pereira, 2009.
- [2] Sydney Avner. *Introducción a la metalurgia física*. McGraw Hill, 1988.
- [3] A. V. Giraldo. *Tecnología del tratamiento térmico de los metales*. Medellín, 2009.
- [4] F. A. L. L Florez G. Diseño de un sistema de enfriamiento para temple de aceros. *Sci. Tech.*, page 170 a la 175, 2008.
- [5] W. D. Callister. *Materials Science and Engineering An Introduction*. John Wiley, 2007.
- [6] G. Krauss. *STEELS Processing, Structure, and Performance*. Materials Park: ASM, 2005.
- [7] D. Mazuera Robledo and A. Ortiz Cardenas. Evaluación de los parámetros de temple y revenido para el acero aisi / sae1045 a escala industrial,. no. 49, p. 5, 2005.
- [8] O. Higuera. Metalografía i- curso de ingeniería mecánica. Universidad Tecnológica de Pereira, 2014.
- [9] E. S. Carlos Bohorquez. Caracterización microestructural de un acero aisi/sae 1045 tratado térmicamente en el intervalo intercrítico. pp. 1 a la 6.
- [10] G. Conejero and N. Candela. Influencia de la transformación austenita-martensita en la estabilidad dimensional de un nuevo acero para herramientas aleado con niobio (0 , 08 %) y vanadio (0 , 12 %). vol. 50, no. 3, pp. 1a la 16, 2014.
- [11] J. Apraiz. *Tratamientos térmicos de los aceros*. CEGAL, 1974.
- [12] J. M. M. Campos and Sicre-Artalejo. Efecto de las condiciones de temple bainítico (austempering) en las propiedades mecánicas y microestructura de aceros sinterizados. *La Rev. Los Prof. Los Trat. Térmicos*, page 17 a la 21, 2010.
- [13] M. Pinzón. *Laboratorio de Metalografía- Curso de ingeniería Mecánica*. Universidad Tecnológica de Pereira, 2014.
- [14] P. Galeano. Online. <http://www.utp.edu.co/~publico17/laboratorio/temple.htm>.
- [15] F. Incropera and D. P. DeWitt. *Fundamentos de transferencia de calor*. Limusa, 1999.
- [16] K. Thelning. *Steel and its heat treatment*. Ed. London, 1984.
- [17] L. Marulanda. *Metalografía II- Curso de ingeniería Mecánica*. Universidad Tecnológica de Pereira, 2015.
- [18] A. International. *ASM Handbook, Heat Treating*, 4 edition, 1991. vol. 4.
- [19] *Guía Tratamiento Térmico de metales laboratorio de metalografía*.
- [20] N. C. Stevens and G. M. F. Cuervo. Medios de enfriamiento para el temple. *Ing. Mecánica* 2, 2(1999):63–66, 2010.
- [21] Método estándar para la determinación del tamaño de grano Resumen Norma ASTM E112. *D. M. Seiro*, 2009.