



## **Microestructura y propiedades mecánicas de aceros SAE 1040 para ganchos de remolque**

**Autores: R.Atencio, I.Bravo, J.Mackinson, M.Vignoni.**

Laboratorio de Investigaciones de Metalurgia Física "Ing. Gregorio Cusminsky" (LIMF), Departamento de Materiales, Facultad de Ingeniería, UNLP, Calle 48 y 116 (1900), Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, la Plata.

E-Mail: [julianamackinson@gmail.com](mailto:julianamackinson@gmail.com)

**Tópicos:** Materiales, Procesos.



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA



## Índice

Objetivo .....	2
Justificación Tratamientos térmicos de aceros .....	2
Alcance .....	6
Desarrollo del trabajo.....	6
Conclusiones .....	9
Referencias .....	9

## Objetivo

Caracterización microestructural y mecánica de un acero del tipo AISI 1040, empleado en la fabricación de ganchos de alta resistencia para el transporte de carga en ruta.

## Justificación

### Tratamientos térmicos de aceros

Todas las operaciones de tratamiento térmico consisten en someter un metal a un ciclo de tiempo - temperatura definido, básicamente dividido en calentamiento, mantenimiento y enfriamiento. La velocidad de calentamiento no es especialmente importante siempre que no se encuentre en una condición de alto riesgo de fisuración, por ejemplo, alto carbono, geometrías complejas, o considerables diferencias de espesor. En dichas ocasiones, se recomienda un período de precalentamiento, manteniendo una temperatura inferior a  $A_{c1}$  (Fig. 1). El objetivo de mantener la temperatura durante el tratamiento térmico es asegurar su uniformidad a través de la totalidad del volumen durante el tiempo requerido para las transformaciones. Así, resulta obvia la necesidad de mayores tiempos para alcanzar la uniformidad térmica en aquellas piezas de mayor espesor. Una regla frecuentemente utilizada es, una vez alcanzada la temperatura deseada, mantener  $\frac{1}{2}$  hora/pulgada de espesor. [1]

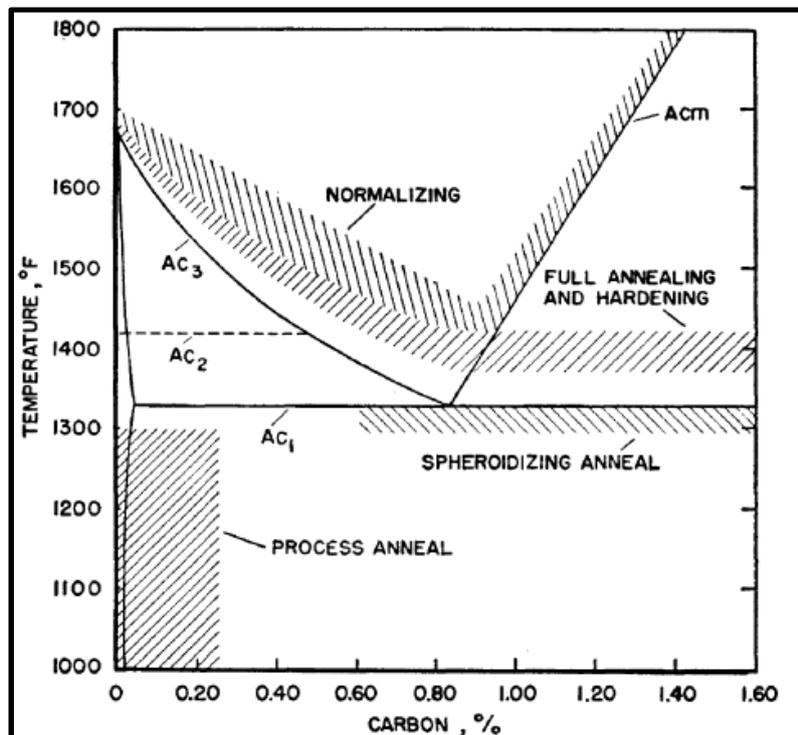


Fig. 1 Rangos de temperatura recomendados para tratamientos térmicos de acero al carbono [1]

## Forja

Previo al trabajado en caliente de la pieza, la microestructura presenta rasgos de solidificación dendrítica, inclusiones residuales del proceso de aceración, variaciones en la química debidas a la segregación, y porosidad asociada a los rechupes por la disminución del volumen en la solidificación. Así, el trabajado en caliente promueve una mayor uniformidad en la pieza, reducción o eliminación de la porosidad, refinación la microestructura dendrítica, disminución de la segregación y cambios de forma, tamaño y distribución de las inclusiones<sup>1</sup>. [2]

Los defectos de forja comprenden: [4] [5]

- Cambio en la composición química; debido al sometimiento de la pieza a elevadas temperaturas puede ocurrir una decarburación superficial si no se trabaja bajo una atmósfera controlada.
- Deformación no uniforme del material que genere microfisuras.
- Grietas o fisuras superficiales debido a un alto grado de deformación.
- Defectos geométricos por falta de material.
- Pliegues; son una discontinuidad producida cuando superficie de metal se pliegan una contra otra sin llegar a soldarse completamente.
- Atrapamiento de óxidos.
- Quemado de borde de granos que resulta de la segregación de elementos o presencia de compuestos que han precipitado en los bordes de grano cuya temperatura de fusión es inferior a la del resto del material, siendo fundidas a la temperatura de forja.

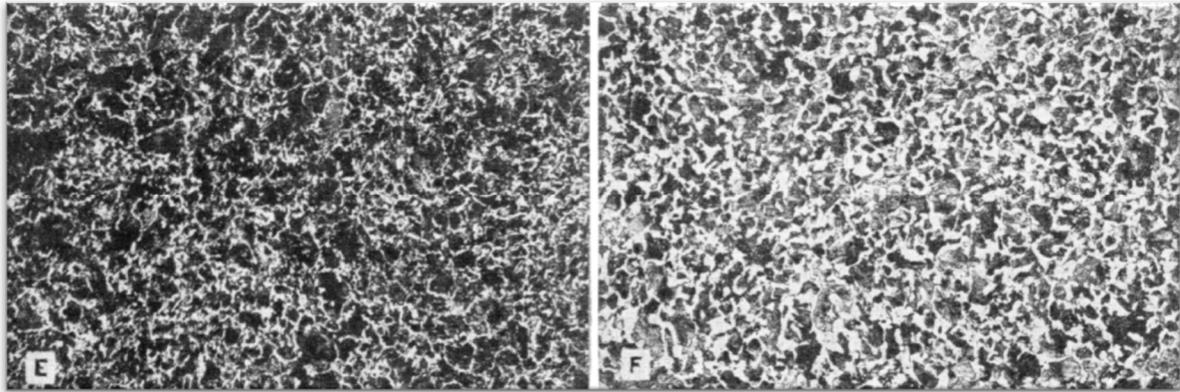
## Normalizado

Es un proceso en el que, tanto un acero hipoeutectoide como un hipereutectoide, es calentado a una temperatura superior a  $A_{c3}$  o  $A_{cm}$  respectivamente (Fig.1), y luego enfriado al aire. El objetivo es producir una microestructura fina y uniforme de ferrita/perlita [2], y así eliminar los efectos de cualquier tratamiento térmico previo, incluida la estructura de grano grueso y ferrita Widmanstätten que resulta del trabajado a altas temperaturas durante el forjado. [1] Este tratamiento térmico se aplica frecuentemente a aceros al carbono y aleados luego de ser forjados en caliente, ya que se tienen granos gruesos de austenita que al enfriarse se transforman en granos no uniformes de ferrita/perlita. [2]

Por otro lado, como fue mencionado anteriormente, las variaciones de espesor también tendrán cierta incidencia en la microestructura luego del tratamiento. En la Fig. 2, puede verse el efecto de la variación del espesor de una pieza, al ser sometidas al mismo tratamiento de normalizado. [1]

---

<sup>1</sup> En este punto las inclusiones no pueden ser removidas, por lo que se tiene que tratar el problema en la aceración si afectarían la resistencia a la fractura o fatiga.



**Fig.2** Representación microestructural de acero al carbono [1]. E: Acero hipoeutectoide normalizado a 870°C en ¼". Bajo espesor, tasa de enfriamiento rápida, se produce perlita fina y bajos contenidos de ferrita libre. F: Mismo acero normalizado a 870°C en 2". Gran espesor, baja tasa de enfriamiento, se produce perlita gruesa y más ferrita libre.

## Temple

El tratamiento térmico de temple en aceros hipoeutectoides consiste en llevar al acero a temperaturas superiores a  $A_{c1}$  y mantenerlo un determinado tiempo, de manera tal que todo el contenido de carbono entre en solución y, luego, enfriarlo rápidamente. El endurecimiento completo depende de que el enfriamiento sea lo suficientemente rápido para que la austenita no se descomponga de acuerdo con las curvas de enfriamiento continuo. Por el contrario, se busca que ocurra la transformación adifusional de austenita, en el rango  $M_s$  a  $M_f$ , produciendo una microestructura martensítica. Por debajo de la nariz de la curva S, un enfriamiento más lento es beneficioso para evitar distorsiones y fisuras.

En aceros al carbono y de baja aleación, la dureza máxima obtenible depende fundamentalmente del contenido de carbono en el acero. No obstante, la masa de la pieza también tiene una incidencia relevante en el temple: para piezas de mayores dimensiones, la velocidad de extracción calórica del metal varía mucho desde la superficie al interior. Para compensar tales efectos se pueden recurrir a medios de temple más violentos, siempre y cuando no exista riesgo de fisuración [1].

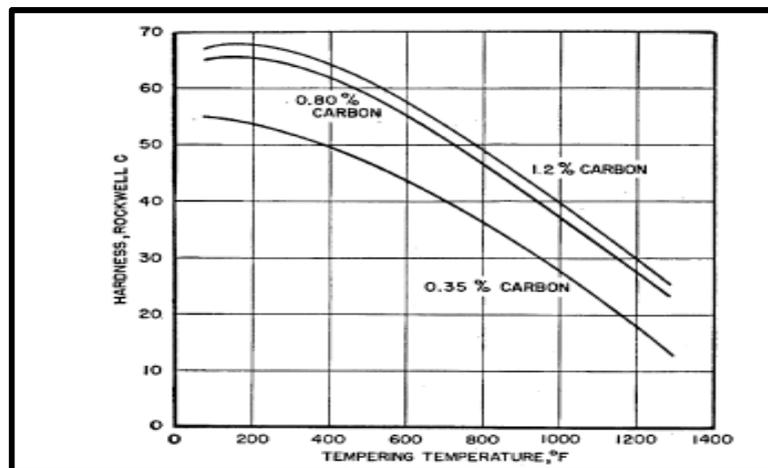
## Revenido

Es un tratamiento térmico subcrítico mediante el cual se aumenta la tenacidad de las microestructuras templadas a expensas de disminuir la resistencia mecánica y la dureza. [2]

Se requerirán temperaturas de revenido entre 150 a 200°C cuando la dureza buscada sea significativa. Si bien esto produce una pequeña mejora en la tenacidad, su efecto se aboca a presentar alta resistencia mecánica y a la fatiga. Por el contrario, si la prioridad radica en obtener una tenacidad considerable, mientras que la dureza y resistencia son secundarios, la temperatura de revenido será superior a los 425°C. [2]

A cualquier temperatura de revenido seleccionada, la dureza disminuye rápidamente al principio, mientras que tiempo después su caída ocurre gradualmente. El efecto del tiempo en relación con diferentes temperaturas de revenido y la dureza resultante se observa en la Fig.4. Por otro lado, períodos cortos de revenido son indeseados y deben ser evitados; una buena práctica requiere al menos media hora (1 o 2 horas son preferibles) a la temperatura de revenido para cualquier acero endurecido. [1]

La necesidad de revenir un acero inmediatamente después del temple no debe ser sobreestimado. Si un acero completamente endurecido es dejado enfriar hasta temperatura ambiente en el proceso de endurecimiento, hay peligro de que se generen fisuras. Por otro lado, aceros al carbono y de baja aleación deben ser revenidos tan pronto como lleguen a una temperatura que puedan ser manipulados cómodamente solo con las manos. Los aceros no deben ser revenidos antes de que se enfrían a esta temperatura porque algunos tienen la  $M_f$  a bajas temperaturas, lo cual significaría tener austenita retenida y, parte de la misma, se transformará en martensita en el enfriamiento desde la temperatura de revenido, consistiendo la microestructura de martensita revenida y sin revenir. La presencia de martensita sumada a las tensiones internas causadas por su formación puede causar fácilmente una falla de la pieza tratada. En estos casos, puede ser necesaria un segundo revenido. [1]



**Fig.4** Efecto de las temperaturas de revenido en la dureza de un acero al carbono con distintos porcentajes de carbono

### Acero SAE 1040

Acero de medio carbono, que puede ser seleccionado en aquellas aplicaciones donde se necesitan propiedades mecánicas más elevadas que los aceros de bajo carbono; frecuentemente conllevan un tratamiento térmico.

El contenido de C (0,3- 0,43%) y Mn (0,6- 0,9%) depende de diversos factores, cuando se desea incrementar las propiedades mecánicas o la templabilidad, normalmente se incrementa el contenido de C, Mn o de ambos.

Estos aceros pueden ser utilizados en procesos de forja, debiendo ser normalizados luego de este por ello para mejorar su maquinabilidad.

## Alcance

En el presente trabajo se analiza y comparan tres muestras de acero del tipo AISI.SAE 1040 pertenecientes a un gancho de remolque; las mismas poseen historias termo mecánicas diferentes, a saber, estado de forja sin tratamiento térmico posterior y, las restantes, sometidas a un tratamiento de normalizado, temple y revenido luego del proceso de forja. A partir de las mismas, se realiza un contrastando de sus estados al caracterizar micro dureza, macro dureza y microestructura, implementando microscopía óptica.

## Desarrollo del trabajo

Se estudiaron tres muestras pertenecientes a distintos ganchos para remolques fabricados con acero tipo AISI.SAE 1040, uno en condición de forja y los dos restantes con tratamiento de normalizado, temple y revenido, posterior a la forja.

El estudio consistió en la realización de un análisis metalográfico mediante microscopía óptica (MO) y ensayos de micro y macrodureza Vickers.

Se caracterizaron micro-estructuralmente las muestras estableciendo presencia de fases y micro-constituyentes así como calidad superficial, decarburación y presencia de defectos de forja. Para esto, se empleó un microscopio óptico marca Leica DM 4000 M LED equipado con software de análisis de imagen Leica Application Suite (LAS Core) V4.8 y como reactivo de ataque Nital (2%). La terminación superficial se realizó con pasta de alúmina de 0,3 micrones.

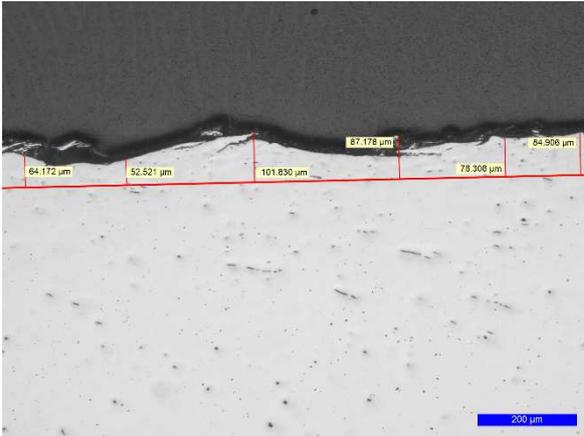
Para la determinación de la microdureza se utilizó equipo Petri hvs-1000b con carga de 100g, 10 segundos; el ensayo de macrodureza se realizó con un equipo Frank 532 con carga de 30 kg y 10 segundos, ambos procedimientos se realizaron bajo las especificaciones de la norma IRAM-IAS-NM-ISO 6507-1.

## Resultado y Discusión

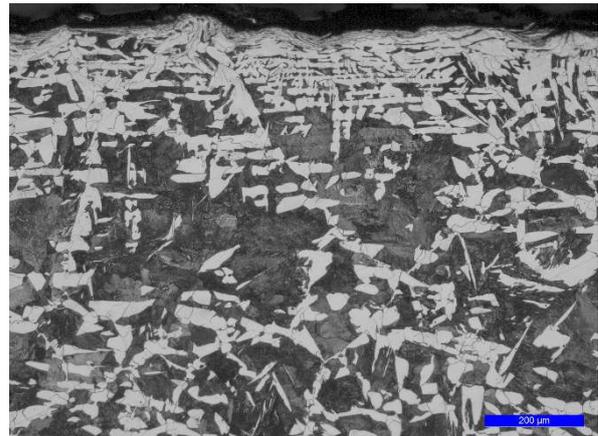
### Microscopía Óptica

La Fig.5a corresponde a la micrografía sin ataque químico del gancho en estado de forja. Se observa el corte longitudinal lo que permite visualizar la presencia de los defectos típicos de forja, como solapes de material, intrusión de óxidos y pliegues.

En la Fig.5b se observa la micrografía de la misma muestra luego de realizar el ataque con Nital, lo que permite observar una leve decarburación superficial cuyos efectos se evidencian más adelante en los resultados de los ensayos mecánicos.



**Fig.5a** Micrografía del corte transversal del gancho en estado de forja previo al ataque químico, se observa la presencia de defectos de forja. Aumento: 10x.

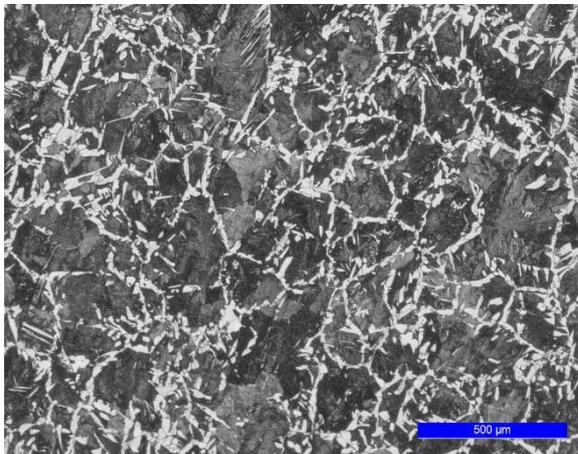


**Fig. 5b** Microestructura en la superficie del gancho en estado de forja luego del ataque. Aumento: 10x.

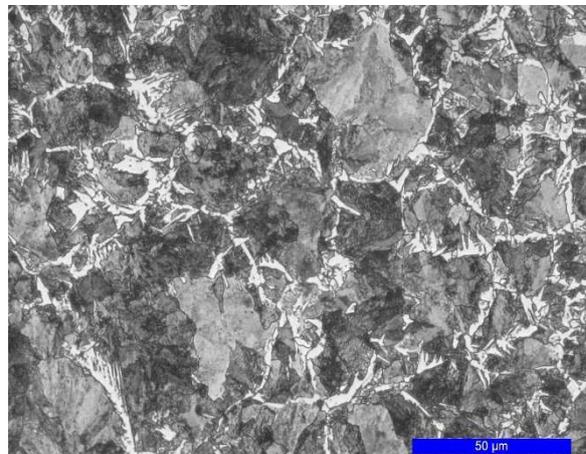
El tamaño de grano grueso y la presencia de ferrita acicular (tipo Widmanstätten) que se observan en la Fig.6, son típicos de la microestructura luego de un proceso de forja. Los tratamientos térmicos de normalizado, temple y revenido que se realizan luego de la forja deben borrar esta microestructura, esperándose una gran reducción el tamaño de grano.

La Fig.7 corresponde a la muestra atacada con Nital tomada del interior del gancho forjado luego del normalizado, temple y revenido. Se observa ferrita proeutectoide en borde de grano, bainita y perlita fina en las cercanías al borde de grano.

La microestructura corresponde con lo esperado luego de un temple, que no se traduce en martensita ya que los aceros tipo 1040 son de baja templabilidad. Respecto a la condición de forja, el tratamiento térmico llevó a una notable reducción del tamaño de grano.



**Fig.6** Microestructura del gancho en estado de forja, luego del ataque con Nital. Aumento: 5X



**Fig.7** Interior del gancho luego de los tratamientos térmicos. Se observa ferrita proeutectoide, perlita fina y bainita. Aumento: 50X

En las Fig.8a y Fig.8b se observan las microestructuras de la superficie de dos ganchos forjados, normalizados, templados y revenidos, pero el de la Fig.8a no sufrió la decarburación superficial durante el proceso de forja que si se visualiza en la microestructura de la Fig.8b

## Dureza

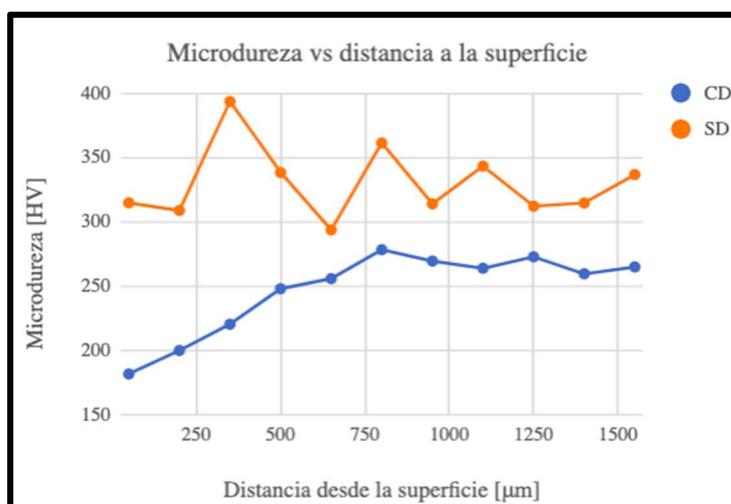
Los resultados del ensayo de dureza se presentan en la tabla 1. Las improntas 1 y 2 se tomaron a 1 mm de la superficie; las improntas 3 y 4 a 2 mm y la 5 a 2,5 mm. Como referencia se estableció CD para la muestra con decarburación superficial y SD para la que no estaba decarburada.

Se observa que el gancho que no sufrió decarburación presenta mayor dureza en la superficie que en el interior, a diferencia de la decarburada, donde la disminución del carbono superficial se refleja en la baja dureza y que se compara con los resultados obtenidos más alejado de la superficie.

**Tabla 1.** Resultados dureza Vickers

Impronta	Dureza	
	HV	
X=	CD	SD
1	258	306
2	262	312
3	262	262
4	266	276
5 (Medio)	//	255

Respecto al ensayo de microdureza Vickers, los resultados se presentan en el Gráfico 1. Se puede apreciar la diferencia en la dureza superficial consecuente de a decarburación y cómo va aumentando al alejarse de la superficie por el aumento del contenido de carbono. Por otro lado, la dureza del gancho sin decarburación siempre disminuye al alejarse de la superficie.



**Gráfico 1.** Resultados de microdureza.

## Conclusiones

El proceso de forja introduce defectos de superficie de tipo pliegues e intrusiones de óxido que deben ser controlados y eliminados toda vez que la sección de la pieza lo permita. Igualmente deben controlarse las temperaturas superiores y tiempos de operación para minimizar la decarburación.

Se puede concluir que los cuidados durante el proceso de forja tendrán consecuencias en el estado final del gancho; no obstante, si hubiera una concurrencia en la generación de defectos durante este proceso, podrían ser removidos posteriormente si fueran suficientemente superficiales.

Se aprecia una caída en la dureza superficial producto de la decarburación en una de la muestras templadas y revenidas. Si la decarburación no fuera tenida en cuenta, se incurriría en una superficie de menor dureza, no siendo deseado para los ganchos bajo estudio en el presente trabajo.

Cabe destacar que los aceros tipo AISI 1040 son aceros de baja templabilidad, esto concuerda con las microestructuras de los ganchos tratados térmicamente donde no llega a observarse martensita revenida como estructura predominante, en la superficie del gancho. Otros aceros, por ejemplo, los tipo AISI 4140, están especialmente diseñados para mejorar la templabilidad incorporan elementos de aleación, como son el Cr y Mo, alcanzando mayores durezas al poder obtener una microestructura de martensita revenida.

## Referencias

- [1] Digges, T.G. and Rosenberg, S.J. (1960). *Heat Treatment and Properties of Iron and Steel*. U.S. department of commerce, National Bureau of Standards (NBS).
- [2] Krauss, G. (2005). *Steels: processing, structure, and performance*. ASM International.
- [3] M.A. Grossmann and E.C. Bain (1964). *Principles of Heat Treatment*, 5<sup>th</sup> ed. ASM Internacional.
- [4] Kalpakjian, S.; Schmid, S. R. (2002). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. Pearson Educación.
- [5] Groover, M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. 3<sup>rd</sup> ed. Mc Graw Hill.