

Endurecimiento por aleación.
Aleaciones con transformación
martensítica.

Luis Íñiguez de Onzoño Sanz

Transformación martensítica o temple.

Veremos el efecto que tiene con 4 probetas de F-1140 calentándolas a 850°C durante 30 minutos en horno para que alcance la temperatura de temple logrando una estructura austenítica.

A continuación debemos realizar el temple que consiste en un enfriamiento más o menos rápido para obtener en vez de perlita y ferrita (que se obtienen al realizar un enfriamiento lento), una estructura en la que no da tiempo de precipitar consiguiendo mayoritariamente una estructura c.c. y que se quedan dentro el carbono deformando la estructura c.c. ocasionando esto una gran distorsión en la estructura cristalina de la pieza lo que otorga una gran resistencia al material.

El enfriamiento lo realizaremos de dos formas distintas para comprobar la variación del material respecto de la velocidad de enfriamiento. En agua la velocidad de enfriamiento será muy alta, sin embargo en aceite esta velocidad no será tan elevada.

Posteriormente comprobaremos en el durómetro la dureza de la pieza. Esta medición se realizará con escala HRC con un peso 150kg.

Los datos obtenidos son de 27 HRC en el caso del agua y de 25 HRC en el caso del enfriamiento por aceite.

Agua



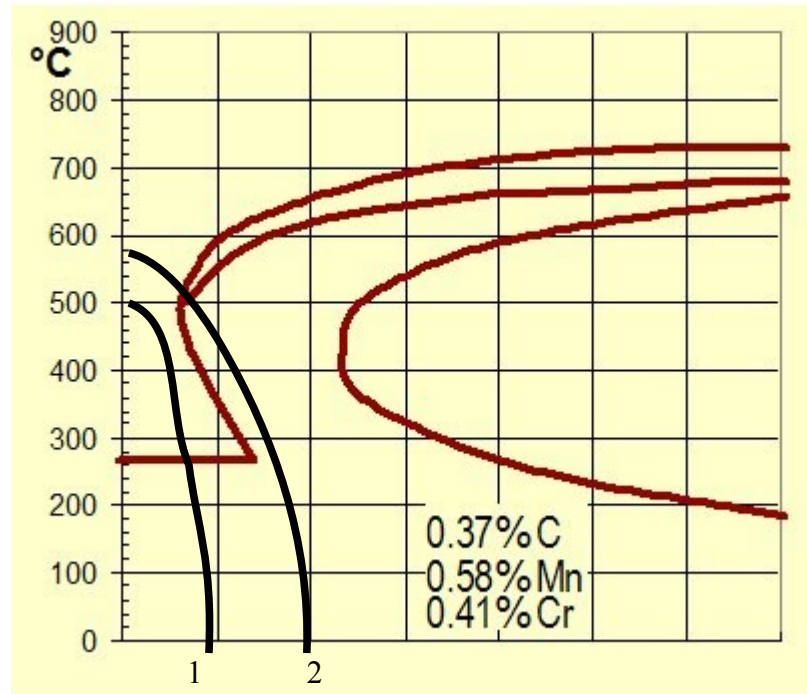
Aceite



La estructura martensítica depende de la cantidad de carbono, elementos de aleación... El F-1140 solo tiene carbono por tanto no es todo martensítica si no que parte es martensítica y el resto no se ha llegado a transformar. Este tendrá menos dureza que otro acero que se transforme entero consiguiendo la máxima dureza posible.

Para poder ver las composición de un material y sus transformaciones usábamos el diagrama de equilibrio pero el problema de este es que solo vale para transformaciones lentas.

En cambio el diagrama de transformación isoterma, o curvas de las S sirven para estudiar la sustancia con un tiempo de enfriamiento fuera del equilibrio.



Las curvas 1 y 2 dibujadas sobre el diagrama de transformación isoterma representan dos posibles casos de enfriamiento. La curva 1 representa un enfriamiento rápido y la segunda uno más rápido. Para conseguir un buen temple debemos seguir la 1ª línea para evitar la creación de otras estructuras. Estas estructuras serán dependientes de donde corten con las curvas S siendo las posibilidades de arriba a abajo: Austenita, perlita fina, perlita gorda, bainita superior y bainita inferior. Sin embargo si conseguimos llegar a la temperatura más baja sin cruzar ninguna línea S conseguiremos una estructura martensítica total.

Experiencia

Dejamos 30 minutos acero F-1140 a 850°C para posteriormente proceder al temple del mismo. Para ello necesitaremos de unos guantes protectores y una pinzas con las que sujetar el material cuando lo sacamos del horno y lo enfriamos.

- Enfriamiento en agua: Salta cascarilla, es el más rápido. Se obtiene una dureza entre 59 y 63 HRC. Para tomar correctamente esta medición es necesario lijar primero la superficie para quitar toda la cascarilla que saltó en el enfriamiento.
- Enfriamiento en aceite: Menor velocidad de enfriamiento. Cuando entra en contacto el aceite burbujea produciendo un humo de color blanco con un olor desagradable. Obtenemos unas mediciones de dureza de 41 HRC.

- Enfriamiento en aire: Se deja encima de un ladrillo reflectario y se obtiene, cuando alcanza la temperatura ambiente, una dureza de 27 HRC la cual es ligeramente superior al caso del recocido. En sí lo que hemos hecho ha sido normalizar la pieza para devolverla al estado normal.

De esta forma conseguimos una altísima dureza que en algunos casos es contraproducente debido a que será muy frágil. Para evitar este problema haremos uso del revenido.

Revenido

Con el revenido perderemos cierta dureza pero ganaremos tenacidad.

Para la experiencia del revenido calentaremos nuestras muestras a 300, 400 y 600°C para favorecer que el proceso de difusión precipite en forma de carburo de hierro obteniendo martensítica revenida que tendrá menos dureza que la martensítica pero tendrá mayor tenacidad.

Las piezas con las que experimentaremos estaba templadas previamente.

Metalografía del revenido

- A una hora y 200°C los precipitados de carburo de hierro no son muy grandes, siendo básicamente lo mismo pudiéndose distinguir un ligero oscurecimiento en la martensítica permaneciendo la perlita igual.
- A una hora a 400°C. Sabemos que la resistencia óptima se encuentra dentro del rango de temperaturas entre 400 y 600°C siendo por debajo de estas temperaturas un proceso muy lento al igual que por temperaturas más elevadas. En este caso se encuentra más oscura.
- Ahora 600°C. Se ve una estructura muy uniforme. Si siguiese mucho tiempo más la estructura final que obtendríamos sería ferrita más cementita precipitada, siendo esta última distinta a la obtenida en el caso del enfriamiento en equilibrio.

F-1252 Mayor cantidad de elementos de aleación.

	C	Mn	Si	Cr	Mo
F-1140	0,4-0,5	0,4-0,7	0,15-0,3	-	-
F-1252	0,5-0,6	0,4-0,7	0,1-0,3	0,9-1,5	0,2-0,4

La diferencia entre el 1140 y el 1252 es la mayor cantidad de elementos de aleación que aumentan la templabilidad del acero desplazando las curvas S hacia la derecha.

Metalográficamente en estado recocido son muy similares, no se aprecian diferencias.

En estado templado si que se aprecia una estructura 100% martensítica .

En estado revenido (tras el templado) a 200°C se ve una estructura martensítica algo austonizada, pero casi igual. Sin embargo a 600°C se ve muy oscuro y se ven precipitados de Cromo y Molibdeno, algo muy beneficioso.

Experiencia del revenido

Si medimos la dureza del F-1252 en estado templado nos da 59, 61, 62 HRC.

Cuando experimentamos con el revenido con 3 probetas de F-1252 a 200, 400 y 600°C durante 1 hora obtenemos los siguientes datos

Temperatura	Tiempo	Mediciones HRC	Media HRC
200°C	1h	50-58-59-56	55,75
400°C	1h	46-49-52-45	48
600°C	1h	34-41-35-36	36,5

Ensayo Yomini.

Cuando queremos estudiar la variación de la dureza en un material respecto de la velocidad de enfriamiento realizaremos esta experiencia. Se calienta una probeta mecanizada una forma en particular a la temperatura requerida para el experimento y se coloca tal y como aparece en la imagen con cuidado usándose unas pinzas para ello.

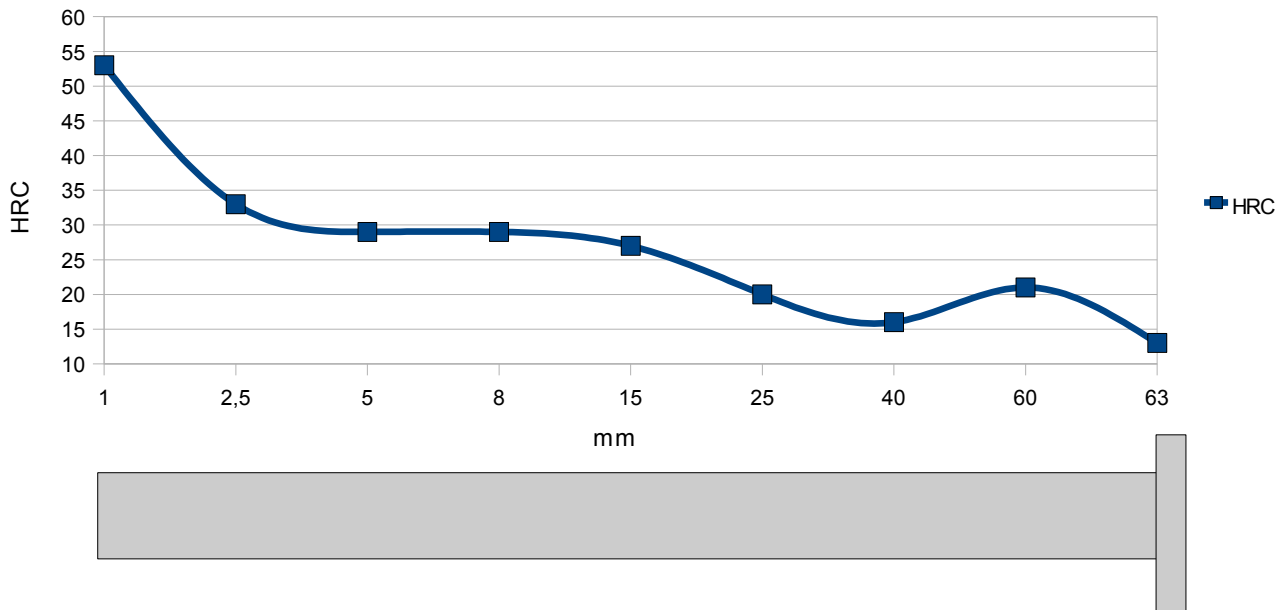


El instrumento que aparece en la figura consiste en un soporte para sujetar la probeta que aguante altas temperaturas y un chorro de agua que incida con la probeta en la parte inferior con una altura y caudal normalizados. Esto servirá para enfriar solo una parte de la probeta llevándose a cabo un enfriamiento paulatino del resto de la muestra pudiendo estudiar la variación de la dureza respecto velocidad de una forma fácil y rápida al tener que usar solo una muestra.

Para que los resultados salgan correctos se ha de realizar con todos los parámetros perfectamente controlados. En nuestro caso la probeta era de acero F-1140 pero al no estar controlados los parámetros los datos solo sirven de forma orientativa.

mm	1	2,5	5	8	15	25	40	60	63
HRC	53	33	29	29	27	20	16	21	13

Dureza vs. Profundidad



Se puede apreciar que hay un mucho mayor endurecimiento cuanto más cerca está del foco frío. Esto es así por que en esa zona se ha producido un enfriamiento mucho más rápido produciéndose una transformación martensítica completa.

El salto que se produce a una distancia de la base de 60mm es un error de medida seguramente debido a algún tipo de óxido o defecto en la superficie de medida ya que el valor debería de ser mucho más bajo.