

DEMO 201

Calentamiento y enfriamiento de una horquilla de acero



Autora de la ficha	Ana Cros
Palabras clave	Estructura cristalina. Composición. Cambios de fase. Propiedades mecánicas
Objetivo	Observar cómo cambian las propiedades mecánicas del acero tras procesos de calentamiento y enfriamiento. Relación de estos cambios con su estructura cristalina y composición química.
Material	Horquilla del pelo (de acero). Guantes de horno. Pinzas metálicas. Soplete de cocina. Vaso con agua.
Tiempo de Montaje	No requiere montaje. Se necesita agua. Comprobar que el soplete tiene gas.

Descripción

1.- El experimentador comienza mostrando a los alumnos la horquilla de acero. Forzar un poco la horquilla, abriéndola y soltándola de nuevo para mostrar sus propiedades elásticas. **NO CONVIENE** sobrepasar el límite de deformación elástica llegando a la deformación plástica ya que la horquilla no recuperará su estado inicial y habrá que coger otra horquilla para el resto del experimento. Sin embargo, este límite y sus consecuencias son elementos que pueden comentarse con los estudiantes: en la deformación **elástica**, bajo la fuerza aplicada los átomos se desplazan ligeramente de su posición de equilibrio. Al cesar la perturbación, recuperan su posición inicial. Por lo tanto, es un proceso reversible que sigue la Ley de Hooke (el desplazamiento es proporcional a la tensión aplicada). En la deformación **plástica** el desplazamiento de los átomos es mayor, lo que provoca un movimiento irreversible que reorganiza los átomos de forma permanente. Puede haber desplazamiento o generación de dislocaciones, cambio de estructura de grano etc. Como resultado el material no recupera su forma original al eliminar la tensión.

2.- Llenar de agua el vaso. A continuación, ponerse los guantes (al menos el guante de la mano que sujetará la horquilla con las pinzas). Encender el soplete y sujetar la horquilla con las pinzas de forma que la parte curva de la horquilla se sitúe en la zona azulada de la llama. Esta es la zona más caliente. Esperar a que la horquilla se ponga al rojo vivo (tradicionalmente, el color correspondiente a la temperatura adecuada para la transición de fase que se busca se describe como “color cereza brillante”, o bien “el color del sol al ponerse en el desierto”). Este proceso recibe el nombre de **recocido**.

3.- Una vez alcanzada la temperatura deseada, retirar la horquilla de la llama y sumergirla rápidamente en el agua (este procedimiento se denomina **templado**) y depositarla sobre la mesa (ya no quemará). Apagar el soplete y retirar el guante de la mano.

4.- Coger la horquilla y separar sus dos “patas” con contundencia: la horquilla debería romperse. El acero, que antes era elástico, se ha vuelto frágil.

El experimento puede pararse en este punto. También puede extenderse en varios pasos, según las siguientes instrucciones:

5.- Tomar otra horquilla y repetir los puntos 1 a 3 (es decir, volverla a calentar). Pero esta vez enfriarla “al aire”, es decir, sin sumergir en el agua.

6.- Una vez enfriada, probar a separar las dos “patas” de la horquilla. Debería quedar deformada permanentemente. Ha perdido su elasticidad, pero no es frágil (no se ha roto).

Hay una última variante: recuperar la horquilla transformada en los pasos 1 al 4 (pero si ya se ha roto no se puede, por lo que habría que repetir todo el proceso):

7.- Seguir los pasos 1 a 3 para obtener una horquilla templada (frágil). Pero ahora no deseamos romperla, sino que queremos que recupere su carácter elástico inicial.

8.- Una vez templada, calentar de nuevo la horquilla, pero a una temperatura ligeramente inferior. Este proceso se denomina **revenido**. El color no debe ser “cereza brillante”, sino más oscuro.

Para conseguirlo, situar la horquilla algo más alejada de la posición central de la llama que antes. Dejar enfriar lentamente, al aire. La horquilla recuperará sus características elásticas iniciales.

Explicación

La Real Academia Española de la Lengua define acero como “Aleación de hierro y carbono, en la que este entra en una proporción entre el 0,02 y el 2 %, y que, según su tratamiento, adquiere especial elasticidad, dureza o resistencia”.

Para entender sus propiedades físicas en función de la temperatura y de su historia térmica es necesario conocer cómo es la estructura cristalina del hierro y entender cómo esta estructura, junto con la adición de pequeñas cantidades de carbono, pueden influir sus propiedades elásticas. Cuando se somete el acero a un tratamiento térmico como el recocido, el templado o el revenido, lo que se está haciendo es reorganizar su estructura interna: los átomos, las dislocaciones y los defectos y, en su caso, las impurezas de carbono, se redistribuyen o modifican. Esto puede cambiar sus propiedades mecánicas.

Recocido: “relajar y reorganizar”. Consiste en calentar el acero a una temperatura elevada y luego enfriarlo lentamente.

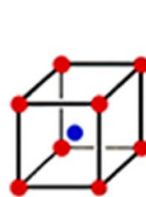
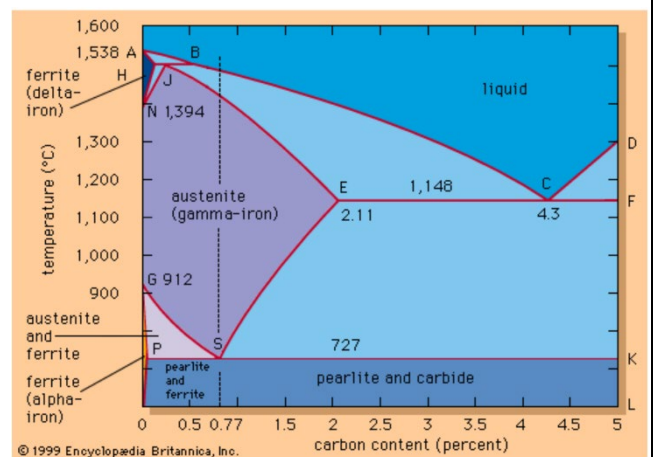
Correspondería al proceso descrito en los puntos 5 y 6. El calor permite que los átomos tengan tiempo para difundir y el largo tiempo de enfriamiento las permite reorganizarse. A nivel microscópico, estos procesos eliminan o reordenan las dislocaciones, reduciendo la densidad de defectos. Pueden producirse procesos de recrystalización, con la formación de granos más grandes (menor energía interna). Además, se liberan las tensiones internas acumuladas que pueda tener la estructura inducidas, por ejemplo, durante el procesamiento de la horquilla. Como resultado el acero se vuelve más dúctil y blando. Es lo que se busca para procesos de conformado (como el laminado o el estirado del acero), pero NO ES ADECUADO PARA UNA HORQUILLA, en la que se busca elasticidad.

Templado: “bloquear y endurecer”. El procedimiento de templado implica calentar el acero (normalmente hasta la fase austenita) y luego enfriarlo rápidamente, por ejemplo, sumergiéndolo en agua o en aceite. **Correspondería al proceso descrito en los puntos 1 a 3.** A diferencia del enfriamiento lento del recocido, este enfriamiento brusco deja “congelada” la estructura y no permite que los átomos puedan reorganizarse completamente.

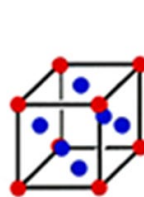
A nivel microscópico, durante el templado se forma una fase metaestable llamada *martensita*, que es muy dura. Los átomos de carbono quedan atrapados en posiciones intersticiales de la red, donde generan tensiones internas. El material acumula mucha energía interna y aumenta el número de dislocaciones. Como resultado el acero se vuelve muy duro, pero frágil.

Después del templado es posible realizar un **revenido**, que consiste en calentar el acero templado a una temperatura moderada. **Sería el proceso descrito en el punto 8.** El calentamiento permite aliviar parte de las tensiones internas, manteniendo parte de la dureza. Así se consigue un compromiso entre dureza y tenacidad (la tenacidad mide la energía absorbida antes de la fractura).

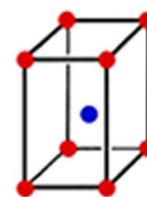
El diagrama adjunto resume las distintas fases del acero al carbono dependiendo de la temperatura y el contenido en carbón.



bcc-ferrita



fcc-austenita



bct-martensita

Estructura cúbica bcc: ferrita. Contiene una parte muy pequeña (0.025%) de átomos de carbono intersticiales.

Estructura cúbica fcc: austenita. Absorbe más carbono que la ferrita debido a sus huecos intersticiales. Se obtiene al calentar ferrita hasta 912 °C, temperatura a la que pasa de bcc (ferrita) a fcc (austenita). Puede absorber hasta 2% de carbono.

La martensita tiene una estructura tetragonal centrada en el cuerpo, que se forma debido a que los átomos de carbono no pueden escapar de la red cúbica de la austenita y quedan atrapados.

Sugerencias

Las distintas horquillas (la que se temple y se rompe, la que se deja enfriar al aire y la que luego se reviene) pueden calentarse al mismo tiempo. Luego una se deja enfriar lentamente mientras que la otra se temple en el agua y la tercera se reviene. Requiere una cierta habilidad manejar las tres horquillas a la vez, por lo que se recomienda calentar dos al mismo tiempo como mucho.

Referencias

- [1] <https://www.accu.co.uk/p/112-what-is-the-difference-between-ferritic-austenitic-martensitic-stainless-steels-accu>
- [2] Solid State Chemistry and its Applications. Anthony R. West. Ed. John Wiley and Sons. 1990.