

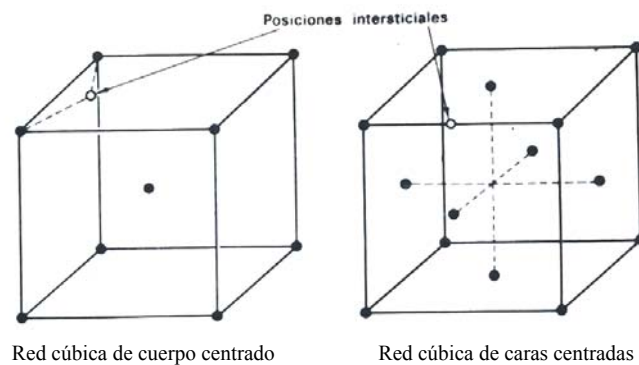
2.1. BREVES RESEÑAS METALÚRGICAS

2.1.BREVES RESEÑAS METALÚRGICAS.

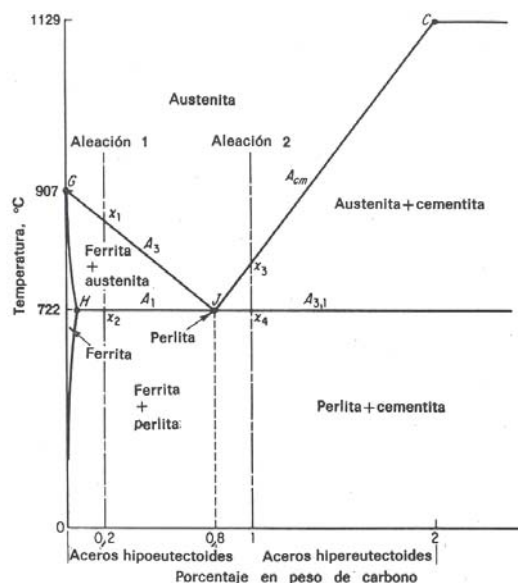
El diagrama hierro-carbono.

El hierro es un metal alotrópico, lo que significa que puede presentarse en diversas variedades de estructuras cristalinas, dependiendo de la temperatura a la que se encuentre.

Al solidificar a 1537 °C lo hace en la forma δ , que pertenece a la red cúbica de cuerpo centrado. Cuando desciende la temperatura a 1401 °C tiene lugar un cambio de fase reagrupándose los átomos y dando origen a la variedad γ , la cual es de red cúbica de caras centrada y no magnética. Al proseguir el enfriamiento del metal representa un nuevo cambio de fase a 907 °C, pasando la estructura del hierro de la variedad γ , cúbica de caras centradas, a la α , que pertenece a la red cúbica de cuerpo centrado y también es no magnética. Finalmente, a 767 °C aparece un cambio en las propiedades magnéticas del hierro α , el cual pasa de no magnético a magnético, sin que la estructura cristalina sufra ninguna variación. Esta transformación magnética no ejerce ninguna influencia sobre el tratamiento térmico de las aleaciones hierro-carbono.



La adición de elementos de aleación al hierro influye en las temperaturas a que se producen las transformaciones alotrópicas. Entre los elementos de aleación el más importante es el carbono.



En función del contenido de carbono suele dividirse el diagrama hierro- carbono (ver figura) en dos partes: una que comprende las aleaciones con menos del 2% de carbono, las cuales se llaman aceros, y otra integrada por las aleaciones con mas del 2% de carbono, las cuales se llaman fundiciones. A su vez, la región de los aceros se subdivide en otras dos: una formada por los aceros cuyo contenido en carbono es inferior al correspondiente a la composición eutectoide (0,8% de C), las cuales se llaman aceros hipoeutectoides, y la otra compuesta por los aceros cuyo contenido en carbono se encuentra entre 0,8 y 2%, y que se conocen por aceros hipereutectoides.

Definición de estructuras.

La cementita o carburo de hierro responde a la fórmula química Fe_3C y contiene 6.67%, en peso, de C. Es un compuesto intersticial típico, duro y frágil, cuya resistencia a la tracción es pequeña, pero que presenta una resistencia a la compresión elevada. De todas las estructuras que aparecen en el diagrama es la que ofrece mayor dureza.

Austenita. El hierro γ (de red cúbica de caras centradas) disuelve carbono, siendo la solubilidad máxima de éste en aquel de un 2% a 1129 °C, y la solución sólida intersticial así formada se denomina austenita. El valor medio de sus propiedades es: resistencia a la tracción 105 Kg/mm²; alargamiento 10% en 2 pulgadas; dureza 40 HRc aproximadamente.

Ledeburita. Bajo este nombre se conoce la mezcla eutéctica de austenita y cementita, la cual contiene un 4.3% de C y se forma a 1129 °C.

Ferrita. Con este nombre se designa la solución sólida α , la cual es una solución sólida intersticial formada por pequeñas cantidades de C disueltas en hierro α (de red cúbica de cuerpo centrado). Esta estructura es la mas blanda de todas las que aparecen en el diagrama. El valor medio de sus propiedades es: resistencia a la tracción 28 Kg/mm²; alargamiento 40% en 2 pulgadas; dureza inferior a 0 HRc.

Perlita. Recibe este nombre la mezcla eutectoide compuesta por 0.80% de C, que se forma en el enfriamiento lento a 722 °C. La mezcla está formada por una serie de láminas paralelas de muy pequeño espesor de ferrita y cementita. La dureza es de aproximadamente 20 HRc.

Solubilidad del carbono en el hierro.

La austenita, cuya estructura cúbica de caras centradas contiene 4 átomos en cada celdilla fundamental, presenta una mayor compacidad atómica que la ferrita, cuya estructura cúbica de cuerpo centrado cuenta sólo con 2 átomos en cada celdilla fundamental. Esto hace que al transformarse la austenita en ferrita durante el enfriamiento lento la transformación vaya acompañada de una expansión de la red.

El tratamiento térmico del acero.

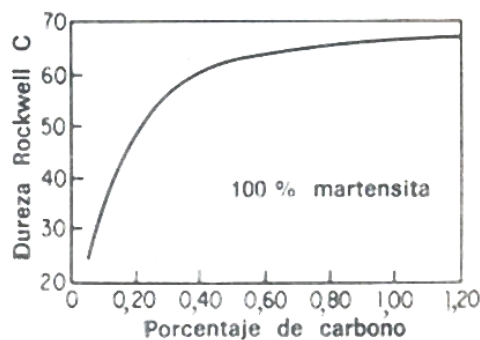
Definición: “*Es el proceso en que el acero, en estado sólido, es sometido a uno o varios ciclos de calentamiento para variar alguna o algunas de sus propiedades en la forma deseada*”.

El primer paso en el tratamiento térmico del acero consiste en conseguir su austenización, calentándolo a una temperatura igual o superior a la crítica.

El temple.

Cuando el enfriamiento se realiza a velocidades bajas o moderadas, los átomos de carbono pueden salir, por difusión de la estructura de la austenita, reagrupándose los átomos de hierro según la estructura de cuerpo centrado. Esta transformación del Fe γ en Fe α se realiza por un proceso de nucleación y crecimiento, y es función del tiempo. Si la velocidad de enfriamiento aumenta, el carbono no tiene tiempo suficiente para emigrar, por difusión, de la solución, y aunque los átomos de hierro se desplazan ligeramente, no pueden llegar a alcanzar la estructura de cuerpo centrado, porque parte del carbono queda retenido en la solución. La estructura resultante, denominada martensita, es una solución sólida sobresaturada de carbono retenido en una estructura tetragonal de cuerpo centrado. Esta distorsión tan grande de la estructura cristalina es la causa principal de la elevada dureza de la martensita. Como la celdilla fundamental de la martensita es menos compacta que la de la austenita, la transformación de ésta en aquella va acompañada de un aumento de volumen, el cual crea una serie de tensiones internas localizadas que dan lugar a la deformación plástica de la matriz.

Aunque la martensita siempre tiene mas dureza que la austenita de la que procede, las durezas elevadas sólo se consiguen en los aceros con un contenido de carbono suficiente, siendo la dureza máxima que se obtiene en un acero en estado martensítico función solamente del contenido de carbono.



Influencia del contenido de carbono sobre la dureza de un acero templado con una estructura totalmente martensítica

Temperatura de temple o de austenización.

En el caso de los aceros hipoeutectoides la temperatura de austenización recomendada es de unos 30 °C por encima de su temperatura crítica superior A_3 . Esta temperatura es la misma que se indicó para el recocido. Si el calentamiento se efectúa a temperaturas inferiores a A_3 , quedará sin transformarse cierta cantidad de ferrita proeutectoide, la cual, después del temple, dará lugar a la existencia de puntos blandos y a una dureza menor.

Homogeneidad de la austenita.

Al hablar de homogeneidad nos referimos a la uniformidad que presentan los granos de austenita en cuanto al contenido de carbono. Si se calienta un acero hipoeutectoide a la temperatura de temple, cuando atraviesa A_1 , los granos de austenita formados por transformación de la perlita, contendrán 0,8% de C. Al proseguir el calentamiento, la ferrita proeutectoide se disolverá y los granos de austenita formados contendrán muy poco carbono, por lo que, cuando atraviere la temperatura A_3 , el contenido de carbono de los granos de austenita no será igual en todos ellos. En el

temple, los granos de austenita mas pobres en carbono, como tiene una velocidad crítica de temple elevada, tenderán a transformarse en estructuras no martensíticas, mientras que los de mayor contenido de carbono, al poseer una velocidad crítica de temple pequeña, se transformarán en martensita. Esto da lugar a que la microestructura no sea uniforme y posea una dureza variable. Este inconveniente puede evitarse calentando el material muy lentamente, con lo cual el carbono se difunde obteniéndose en el temple una microestructura uniforme. No obstante, la excesiva duración de este proceso hace que industrialmente no sea aplicable. Resulta mas adecuado mantener el material durante un cierto tiempo a la temperatura de austenización, ya que a esta temperatura el carbono se difunde mas rapidamente, y la uniformidad se logra al cabo de un breve periodo de tiempo.

Mecanismo de disipación de calor en el temple.

La velocidad real de enfriamiento obtenida en el temple determina la estructura resultante del tratamiento térmico, así como los valores de la dureza y la resistencia. Si esta velocidad es superior a la velocidad crítica de temple, la austenita se transformará en martensita; por el contrario, si es menor, la estructura que se obtenga no será totalmente martensítica. En este último caso, cuanto mayor sea la diferencia entre las velocidades de enfriamiento, mas blandos serán los productos obtenidos en la transformación y menor la dureza resultante. Ahora bien, antes de continuar es conveniente estudiar el mecanismo mediante el cual se disipa el calor durante el temple.

La velocidad de enfriamiento no es constante en el temple, advirtiéndose tres fases muy señaladas cuyas características explicaremos a continuación.

Etapas A – Enfriamiento por capa de vapor: Cuando el metal se introduce en el medio de temple, como su temperatura es muy elevada, el líquido en contacto con la superficie del metal se vaporiza, formándose una capa delgada de vapor que rodea el metal caliente. El enfriamiento se hace por conducción y radiación a través de la capa gaseosa y, como la capa de vapor es mala conductora del calor, la velocidad de enfriamiento en esta fase es relativamente pequeña.

Etapas B – Enfriamiento por transporte de vapor: Cuando desciende la temperatura del metal, llega un momento en que la película de vapor desaparece, y el líquido se pone en contacto con el metal, originándose una violenta ebullición alrededor de éste. El metal cede calor muy rápidamente en forma de calor latente de vaporización. Esta fase es la mas rápida del proceso de enfriamiento.

Etapas C – Enfriamiento por líquido: Esta última etapa comienza cuando la temperatura de la superficie del metal es igual a la temperatura de ebullición del líquido de temple. Entonces, como ya no se forma vapor, el enfriamiento lo hace el líquido por conducción y convección. La velocidad de enfriamiento en esta etapa es menor que en las anteriores.

Muchos son los factores que influyen en la velocidad real de enfriamiento. Entre ellos los mas importantes son el tipo de medio de temple utilizado, la temperatura a que éste se encuentra y el estado superficial, forma y tamaño de las piezas a temprar.

Medios de temple.

A la vista del mecanismo de disipación de calor que acabamos de estudiar, el medio de temple ideal sería aquel que fuera capaz de comunicar inicialmente al acero una velocidad de enfriamiento superior a la crítica, de tal modo que no se realice ninguna transformación en la zona del diagrama T-I correspondiente a la nariz perlítica,

y después en la zona de temperaturas inferiores, una velocidad de enfriamiento pequeña para que no aparezcan deformaciones. Desgraciadamente no existe ningún medio que presente estas propiedades ideales. En el agua y en las soluciones acuosas de sales inorgánicas se consiguen durante las etapas A y B velocidades iniciales de enfriamiento elevadas, pero éstas se mantienen durante el enfriamiento a bajas temperaturas con el consiguiente peligro de que aparezcan grietas y deformaciones. En los aceites de temple normales, la etapa A o de enfriamiento por capa de vapor es mas larga, mientras que la B es mas corta, siendo la velocidad de enfriamiento menor.

Los distintos medios de temple utilizados en la industria ordenados en función de la severidad de temple, de mayor a menor, son los siguientes:

1. Solución acuosa con 10% de cloruro sódico (salmuera).
2. Agua corriente.
3. Sales líquidas o fundidas.
4. Soluciones acuosas de aceite sulfonado.
5. Aceite.
6. Aire.

Endurecimiento superficial por corrientes de inducción.

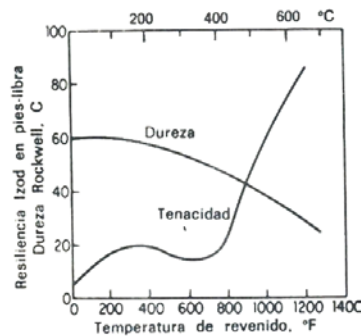
Es un tratamiento de temple superficial que se realiza sin que varíe la composición química del acero. Este procedimiento se aplica principalmente a los aceros con un contenido de carbono medio. La pieza que se va a endurecer superficialmente constituye el secundario de una instalación de calentamiento por corrientes de alta frecuencia, en la que el primario está constituido por una o varias espiras de tubo de cobre, por cuyo interior circula agua de refrigeración durante la operación. Cuando a través de las espiras del primario pasa una corriente alterna de alta frecuencia se crea un campo magnético alternativo, el cual da lugar al nacimiento en el acero de corrientes de Foucault y ciclos de histéresis. La resistencia que opone el material al paso de estas corrientes origina la transformación de la energía en calor, produciéndose el calentamiento de la pieza. En el endurecimiento superficial por corrientes de inducción, encierra gran importancia el hecho de que las corrientes de alta frecuencia se desplazan por la superficie del conductor, conociéndose este hecho con el nombre de efecto pelicular o efecto skin. La profundidad total a que penetra el calor depende tanto de la frecuencia empleada como del tiempo durante el cual puede transmitirse el calor hacia el interior por conducción. Mediante este procedimiento el calentamiento es sumamente rápido, cuestión de segundos, cortándose la corriente una vez terminado y templándose inmediatamente la pieza al ser enfriada por unos chorros de agua.

Revenido.

Los aceros, después del temple, suelen quedar demasiado frágiles para la mayoría de los usos a que van a ser destinados. Por otra parte, la formación de la martensita da lugar a considerables tensiones en el acero. Por todo ello, las piezas, después del temple, se someten casi siempre a un revenido, que es un tratamiento que consiste en calentar el acero a una temperatura mas baja que su temperatura crítica inferior A_1 . El objeto del revenido es, pues, eliminar las tensiones internas y aumentar la

tenacidad y ductilidad del acero, aunque este aumento de ductilidad se logre normalmente a costa de una disminución de la dureza y de la resistencia.

En general, podemos decir que, dentro del amplio intervalo de temperaturas de revenido, a medida que aumenta la temperatura disminuye la dureza y aumenta la tenacidad. Sin embargo, en la mayor parte de los aceros, cuando la temperatura está comprendida entre 204 y 426 °C, la resiliencia disminuye, aunque simultáneamente disminuya también la dureza y la resistencia.

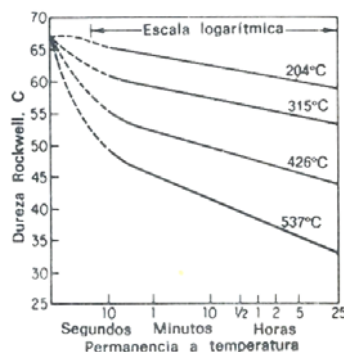


Influencia de un revenido de una hora a distintas temperaturas sobre la dureza y la resiliencia de un acero 4140

La zona de temperaturas de revenido comprendidas entre 204 y 426 °C constituye una línea divisoria entre el revenido que se debe dar al acero cuando se requiere una gran dureza o cuando se le pide una tenacidad elevada. Si lo que se desea conseguir es dureza o resistencia al desgaste, el acero debe revenirse a temperaturas inferiores a 204 °C; si lo que se pretende es que tenga tenacidad, entonces la temperatura de revenido del acero debe ser superior a 426 °C.

Cuando la temperatura alcanza los 204 °C, las tensiones residuales se han eliminado en gran parte, y al llegar a los 482 °C se puede decir que han desaparecido en su casi totalidad.

Como el revenido es un proceso en el que interviene la energía influyen en él tanto el tiempo como la temperatura. Así, los efectos que se consiguen con un revenido a una determinada temperatura durante un cierto tiempo son análogos a los que se logran con un revenido a una temperatura inferior durante un tiempo mas prolongado.



Influencia de la duración del revenido en la dureza de un acero de 0.82% de carbono templado y revenido a cuatro temperaturas distintas