

## Martensita y Martensita Revenida

La **MARTENSITA** es una estructura metaestable de baja temperatura de los aceros al C. Las correspondientes fases de equilibrio, ver diagrama Fe-C, son la ferrita ( $\alpha$ ) y la cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Ella se obtiene por enfriamiento rápido desde el campo austenítico, de aleaciones Fe-C con contenidos de C normalmente superiores a 0,2%p. Por ser metaestable, la martensita no se indica sobre el diagrama Fe-C.

Consideremos un acero Fe-1%p.C a 900°C. En tal caso, se tendrá una solución sólida homogénea de austenita,  $\gamma$ , con  $W_\gamma = 1\%$ p.C.

- Cuando el enfriamiento es suficientemente lento, el sistema podrá evolucionar bajo condiciones de equilibrio (en el rango caliente y tibio). Ello porque los átomos tendrán tiempo para difundir según disponga la energía libre de Gibbs (o, lo que es lo mismo, el diagrama de equilibrio). Así es como a temperatura ambiente se tendrán dos fases: fase ferrita  $\alpha$ , pobre en C, y cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), rica en C. Nótese que el mero hecho de observar estas dos fases a temperatura ambiente, siendo que a alta temperatura había una sola fase, es una prueba de que hubo difusión atómica durante el enfriamiento.

- Cuando el enfriamiento es suficientemente rápido, no habrá tiempo para la difusión durante el enfriamiento. Por lo tanto, no habrá cambios locales de composición y la composición seguirá siendo homogénea ( $\gamma$ , por tanto, única).

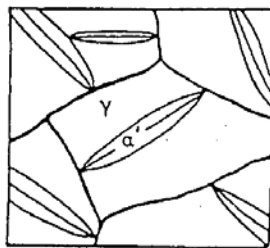
Al enfriar suficientemente rápido hasta por debajo de una temperatura llamada  $M_f$ , se tendrá una sola fase de la misma composición que la aleación (en este caso 1%p.C).

En el caso de los aceros, esta fase no es austenita, es una nueva fase, llamada martensita.

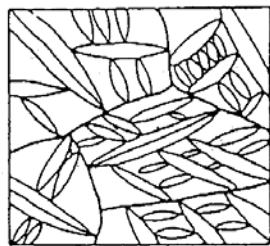
La transformación correspondiente se llama martensítica, una transformación sin difusión (muy importante). Ella se obtiene por un reacomodo local de los átomos, lo que da lugar a un cambio de estructura cristalina. Esta transformación ocurre en un rango de temperatura.

La martensita es la fase más dura que se puede obtener en los aceros; también, normalmente, es inaceptablemente frágil para aplicaciones prácticas directas. Bajo un microscopio óptico, la martensita se ve como agujas dentro de los antiguos granos de austenita (morfología acicular).

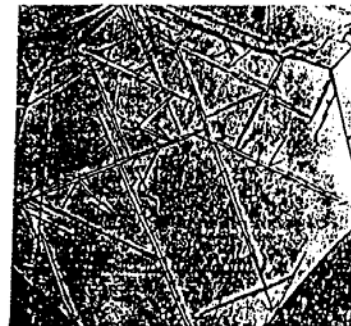
Para la martensita se emplea la nomenclatura M o  $\alpha'$ .



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 1 Las figuras a) y b) muestran esquemáticamente la aparición de agujas de martensita ( $\alpha'$ ) dentro de un grano de austenita ( $\gamma$ ). En el rango de temperaturas en que aparece la martensita durante el temple, mientras menor sea la temperatura, mayor será la cantidad de martensita presente. Las figuras c) y d) son metalografías de martensita.

### Martensita revenida

Es importante destacar que el contenido de carbono afecta, durante el enfriamiento, a las temperaturas de inicio y de fin de la transformación martensítica,  $M_S$  y  $M_F$ , respectivamente. A mayor contenido de C en el acero, menores son estas temperaturas, ver Figura 2.

Ahora bien, si el contenido de C es muy alto, como resultado de un temple hasta la temperatura ambiente, podría quedar **martensita retenida**; ello porque  $M_S$ , estaría bajo la temperatura ambiente.

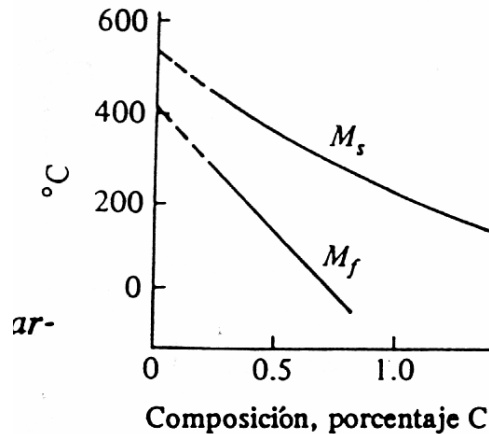


Figura 2 Efecto del contenido de Carbono sobre las temperaturas  $M_S$  y  $M_F$ , de aceros al Carbono.

### Estructura cristalina de la martensita

Consideremos una aguja de martensita, que es un monocristal de esa fase. La celda de la martensita es muy similar a la de la ferrita con dos diferencias:

- La martensita contiene mucho más C disuelto intersticialmente que el que corresponde a la ferrita de equilibrio (0,02%p., aproximadamente). Así, en un acero Fe-0,4%p.C, el contenido de C de la martensita será 0,40%, muy superior a 0,02%p.
- La segunda es que los átomos de C en la ferrita están equi-repartidos en las tres aristas de la celda, lo que hace que en promedio la celda siga siendo cúbica. En tanto que en un monocristal de martensita, los átomos de C se distribuyen en una única arista: ello hace que la arista será alargada y mientras más C tenga la aleación, más alargada será la celda, ver Figura 3.

Atendiendo a lo expuesto, ocasionalmente se alude a que la martensita tiene cierta similitud con una ferrita sobresaturada en C.

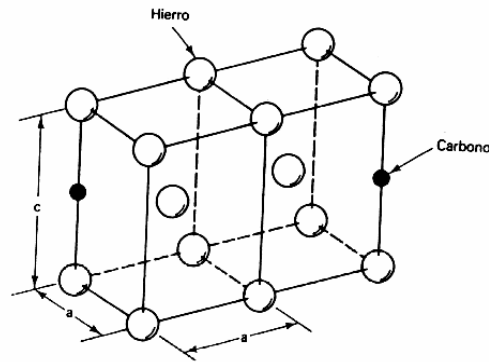


Figura 3 Estructura cristalina de la martensita: tetragonal de cuerpo centrado. Sus aristas mutuamente perpendiculares son  $a$ ,  $a$  y  $c$ . En un monocristal (aguja) los átomos de C se ubican intersticialmente en la mitad de la arista  $c$ .

#### Martensita revenida.

Al revenir la martensita, habrá difusión atómica en una matriz metaestable, altamente distorsionada y con muchas interfases martensita/martensita. En el revenido, el sistema deberá evolucionar hacia las dos fases de equilibrio, que son ferrita y cementita. Debido a las mencionadas características de la matriz habrá una nucleación muy copiosa. Por ello, las partículas de cementita aparecerán (nuclearán) en muchos puntos. Controlando adecuadamente las condiciones de temperatura y tiempo de revenido, se tendrá finos carburos en una matriz de ferrita. (No se tendrá perlita, asociada a nucleación limitada). La estructura bifásica fina resultante de la martensita revenida es de gran interés por su tenacidad y resistencia a la fatiga. Nótese que la martensita revenida no es una fase ni es ya martensita: son finas partículas de la fase cementita en una matriz de la fase ferrita.

Mientras más C contenga el acero, mayor será la cantidad de cementita (fase dura) al final del temple y revenido, en relación con la cantidad de ferrita (fase dúctil). Así, el mayor contenido de C es un factor que tenderá a aumentar la dureza de la estructura templada y revenida.

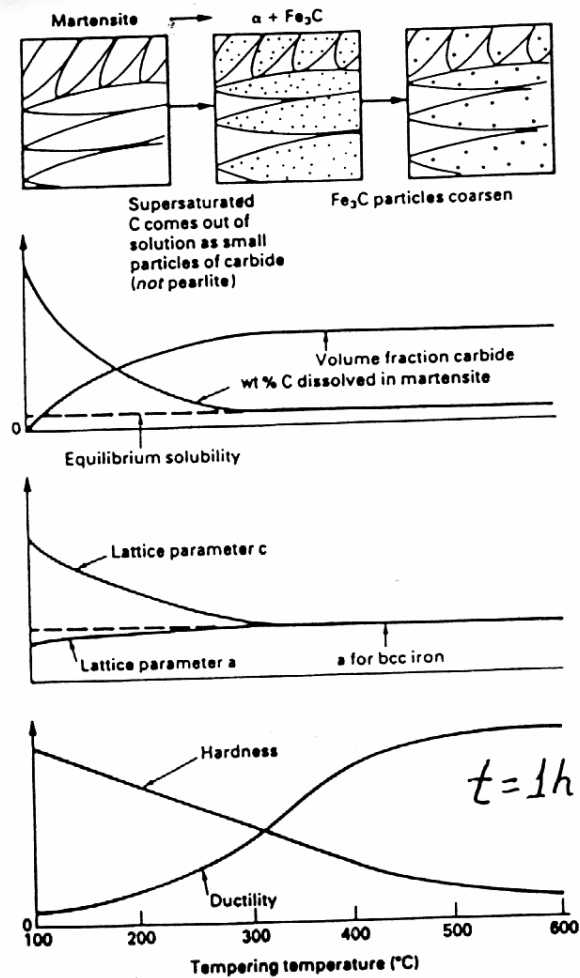


Fig. 11.10. Changes during the tempering of martensite. There is a large driving force trying to make the martensite transform to the equilibrium phases of  $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ . Increasing the temperature gives the atoms more thermal energy, allowing the transformation to take place.

Figura 4 Representación esquemática del efecto del revenido de la martensita sobre la estructura y propiedades de un acero al Carbono.