

METALOGRAFÍA DE LA FUNDICIÓN

La metalografía microscópica (o micrografía de metales) estudia los productos metalúrgicos, con el auxilio del microscopio, objetivando determinar sus constituyentes y su textura. Este estudio es hecho en superficies previamente pulidas y, en general, atacadas por un reactivo adecuado.

Actualmente, la metalografía ya es considerada uno de los análisis más importantes para garantizar la calidad de los materiales en el proceso de fabricación, y también para la realización de estudios en la formación de nuevas aleaciones de materiales.

Esta práctica se vuelve compleja pues los materiales presentan diferentes morfologías, dependiendo de los tratamientos térmicos aplicados y también de la composición química empleada.



Introducción.

Las fundiciones, como los aceros, son en esencia aleaciones de hierro y carbono aunque, considerando el diagrama Fe-C, las primeras contienen una cantidad de carbono superior a la de saturación de la austenita a temperatura eutéctica.

Por tanto, el contenido en carbono de las fundiciones varía de 2 a 6,67%. Sin embargo como los contenidos de carbono elevados confieren una gran fragilidad a la fundición, la mayoría de los tipos comerciales fabricados contienen una cantidad comprendida entre el 2,5 y el 4%.

La ductilidad de las fundiciones es muy baja, por lo que no puede laminarse, estirarse o deformarse a temperatura ambiente, no siendo la mayor parte de ella maleable a ninguna temperatura. Sin embargo, funden fácilmente y pueden moldearse formas complicadas que usualmente se mecanizan después a dimensiones.

Tipos De Fundición

La mejor manera de clasificar las fundiciones es en función de su estructura metalográfica.

Al estudiar los distintos tipos hay que considerar cuatro variables que influyen considerablemente en su formación, a saber: el contenido de carbono, el contenido en elementos de aleación e impurezas, la velocidad de enfriamiento durante y después de la solidificación, y el tratamiento térmico que reciben posteriormente. Estas variables determinan la condición y forma física del carbono.

El carbono puede encontrarse en la fundición combinado con el hierro en forma de cementita, o bien libre en forma de grafito.

La forma y distribución de las partículas de carbono libre influyen considerablemente en las propiedades físicas de la fundición. Los distintos tipos de las mismas son los siguientes:

Fundiciones blancas

Fundiciones grises

Fundiciones nodulares

Fundiciones maleables

Fundiciones en coquilla

Fundiciones aleadas

FUNDICIÓN BLANCA

Son aquellas en las que todo el carbono se encuentra combinado bajo la forma de cementita.

Todas ellas son aleaciones hipoeutécticas y las transformaciones que tienen lugar durante su enfriamiento son análogas a las de la aleación de 2,5 % de carbono.

La figura 1 muestra la microestructura típica de las fundiciones blancas, la cual está formada por dendritas de austenita transformada (perlita), en una matriz blanca de cementita.

Observando la misma figura con más aumentos, vemos que las áreas oscuras son **perlita** (fig. 2).

Fig 1: x100

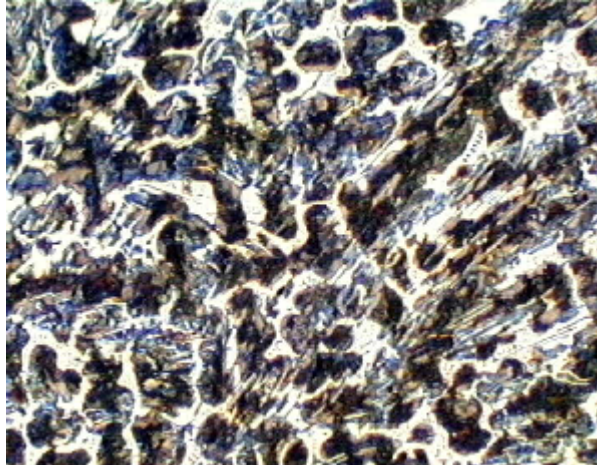
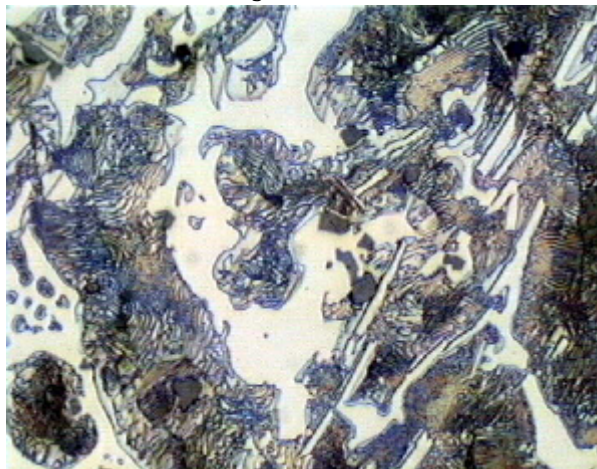


Fig 2: x400



Estas fundiciones se caracterizan por su dureza y resistencia al desgaste, siendo sumamente quebradiza y difícil de mecanizar.

Esta fragilidad y falta de maquinabilidad limita la utilización industrial de las fundiciones "**totalmente blancas**", quedando reducido su empleo a aquellos casos en que no se quiera ductilidad como en las camisas interiores de las hormigoneras, molinos de bolas, algunos tipos de estampas de estirar y en las boquillas de extrusión.

También se utiliza en grandes cantidades, como material de partida, para la fabricación de **fundición maleable**.

FUNDICIÓN GRIS

La mayoría de las fundiciones grises son aleaciones hipoeutéticas que contienen entre 2,5 y 4% de carbono. El proceso de grafitización se realiza con mayor facilidad si el contenido de carbono es elevado, las temperaturas elevadas y si la cantidad de elementos grafitizantes presentes, especialmente el silicio, es la adecuada.

Para que grafiticen la cementita eutética y la proeutectoide, aunque no la eutectoide, y así obtener una estructura final perlítica hay que controlar cuidadosamente el contenido de silicio y la velocidad de enfriamiento. El grafito adopta la forma de numerosas laminillas curvadas (Fig.1-4), que son las que proporcionan a la fundición gris su característica fractura grisácea o negruzca.

Fig 1, x100 pulida



Fig 2, x100



Si la composición y la velocidad de enfriamiento son tales que la cementita eutectoide también se grafitiza presentará entonces una estructura totalmente ferrítica (Fig. 1, x100 pulida).

Por el contrario, si se impide la grafitización de la cementita eutectoide, la matriz será totalmente perlítica (Fig. 2, x400).

La fundición gris constituida por mezcla de grafito y **ferrita** es la más blanda y la que menor resistencia mecánica presenta; la resistencia a la tracción y la dureza aumentan con la cantidad de carbono combinada que existe, alcanzando su valor máximo en la fundición gris perlítica.

Las figuras 3 y 4 muestran la microestructura de una fundición gris cuya matriz es totalmente perlítica.

Además, en la micrografía a 200 aumentos -igual que en la Fig. 2- se observan como unos granos blancos, los cuales resueltos a mayores aumentos (Fig. 4, x400) son, en realidad, esteadita.

Fig 3, x200

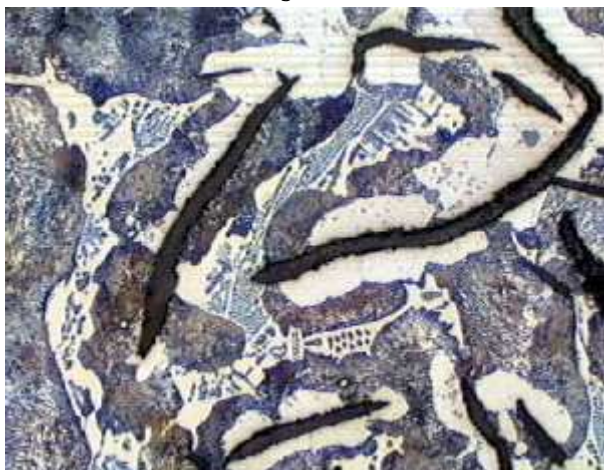
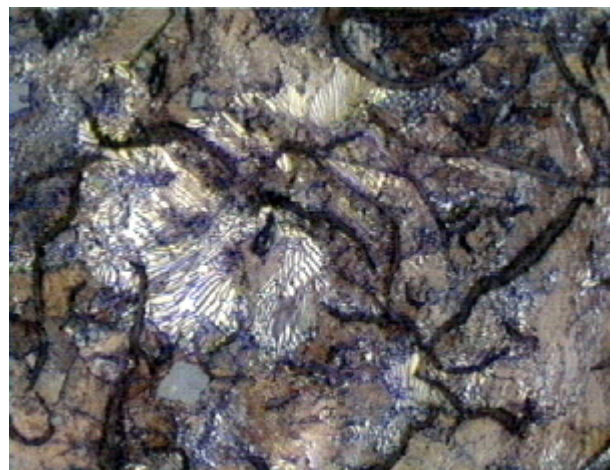


Fig 4, x400



La mayoría de las fundiciones contienen fósforo procedente del mineral de hierro en cantidades variables entre 0,10 y 0,90%, el cual se combina en su mayor parte con el hierro formando fosfuro de hierro (Fe_3P).

Este fosfuro forma un eutéctico ternario con la cementita y la austenita (**perlita** a temperatura ambiente) conocida como **esteatita** (Fig. 4), la cual es uno de los constituyentes normales de las fundiciones.

La esteadita, por sus propiedades físicas, debe controlarse con todo cuidado para obtener unas características mecánicas óptimas.

FUNDICIÓN NODULAR

Al encontrarse el carbono en forma esferoidal, la continuidad de la matriz se interrumpe mucho menos que cuando se encuentra en forma laminar; esto da lugar a una resistencia a la tracción y tenacidad mayores que en la fundición gris ordinaria.

La fundición nodular se diferencia de la **fundición maleable** en que normalmente se obtiene directamente en bruto de fusión sin necesidad de tratamiento térmico posterior.

Además los nódulos (Fig. 1) presentan una forma más esférica que los aglomerados de grafito, más o menos irregulares, que aparecen en la fundición maleable.

El contenido total en carbono de la fundición nodular es igual al de la **fundición gris**. Las partículas esferoidales de grafito se forman durante la solidificación, debido a la presencia de pequeñas cantidades de alguno elemento de aleación formadores de nódulos, normalmente magnesio y cerio, los cuales se adicionan al caldero inmediatamente antes de pasar el metal a los moldes.

La cantidad de ferrita presente en la matriz en bruto de colada depende de la composición y de la velocidad de enfriamiento.

Las fundiciones ferríticas (Fig. 2) son las que proporcionan la máxima ductilidad, tenacidad y maquinabilidad.

Fig 1, x100 pulida

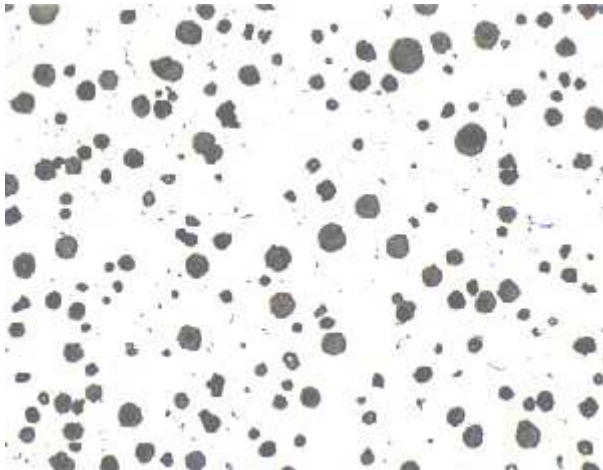
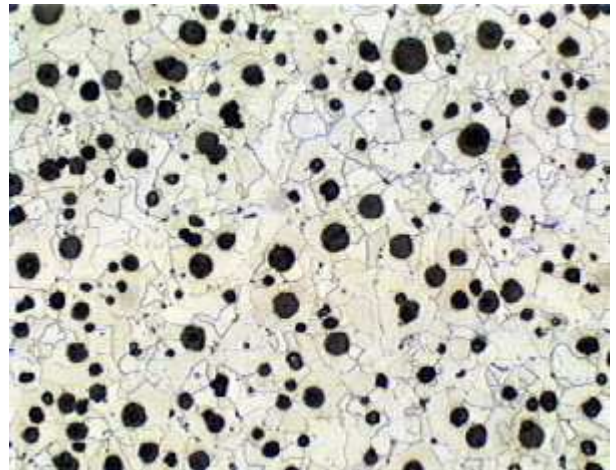


Fig 2, x100



Estas fundiciones, bien en bruto de fundición o tras haber sufrido un normalizado, pueden presentar también una matriz constituida en gran parte por perlita (Fig. 3 y 4).

Fig 3, x100

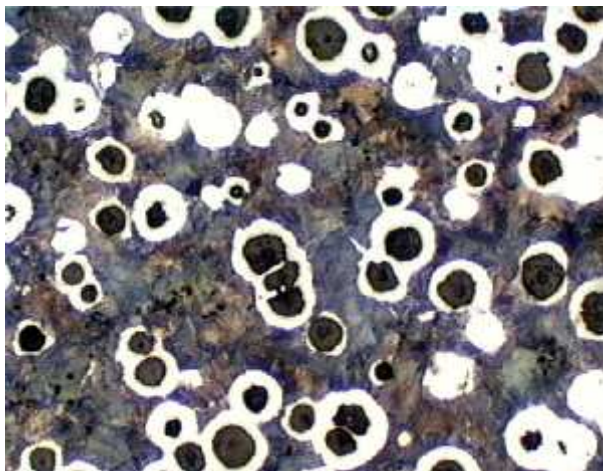
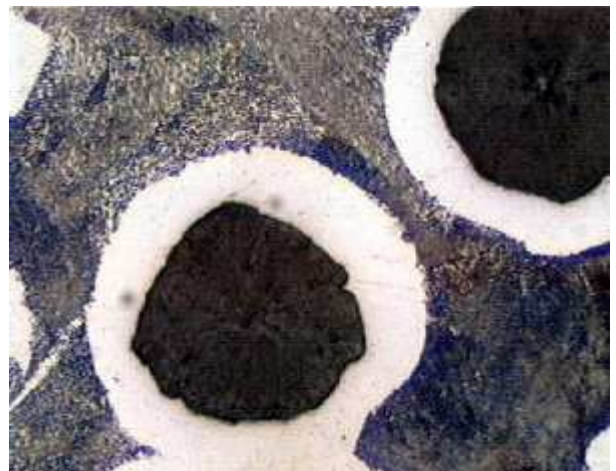


Fig 4, x400



FUNDICIÓN MALEABLE

La tendencia que presenta la cementita a dejar en libertad carbono, constituye la base de la fabricación de la fundición maleable. La reacción de descomposición se ve favorecida por las altas temperaturas, por la presencia de impurezas sólidas no metálicas, por contenidos de carbono más elevados y por la existencia de elementos que ayudan a la descomposición del Fe_3C .

La maleabilización tiene por objeto transformar todo el carbono que en forma combinada contiene la **fundición blanca**, en nódulos irregulares de carbono de revenido (grafito) y en **ferrita**. Industrialmente este proceso se realiza en dos etapas conocidas como primera y segunda fases de recocido.

En la primera fase del recocido, la fundición blanca se calienta lentamente a una temperatura comprendida entre 840 y 980°C. Durante el calentamiento, la **perlita** se transforma en austenita al alcanzar la línea crítica inferior y, a medida que aumenta la temperatura, la austenita formada disuelve algo más de cementita.

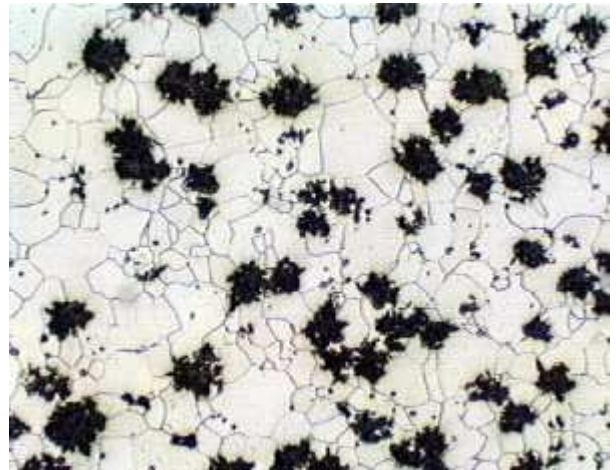
La segunda fase del recocido consiste en un enfriamiento muy lento al atravesar la zona crítica en que tiene lugar la reacción eutectoide. Esto permite a la austenita descomponerse en las fases estables de ferrita y grafito. Una vez realizada la grafitización, la estructura no sufre ninguna nueva modificación durante el enfriamiento a temperatura ambiente, quedando constituida por nódulos de carbono de revenido (rosetas) en una matriz ferrítica (Fig. 1 y 2). Este tipo de fundición se denomina normal o ferrítica (Fig. 2).

Bajo la forma de rosetas, el carbono revenido no rompe la continuidad de la matriz ferrítica tenaz, lo que da lugar a un aumento de la resistencia y de la ductilidad.

Fig 1, x100 pulida



Fig 2, x100



Si durante el temple al aire se consigue que el enfriamiento a través de la región eutectoide se realice con la suficiente rapidez, la matriz presentará una estructura totalmente perlítica.

Fig 3, x50

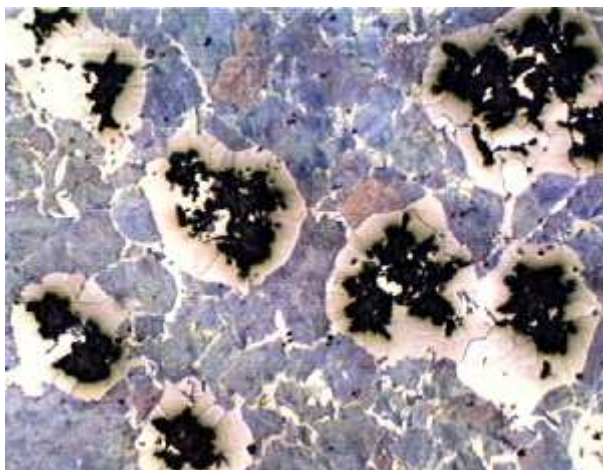


Fig 4, x200



Si el enfriamiento en la región eutectoide no se realiza a la velocidad necesaria para que todo el carbono quede en forma combinada, las zonas que rodean los nódulos de carbono de revenido estarán totalmente grafitizadas mientras que las más distantes presentarán una estructura totalmente perlítica, debido al aspecto que presenta estas estructuras al microscopio, se conocen como estructura de ojo de buey (Fig. 3 y 4).

Este tipo de fundición también puede obtenerse a partir de la fundición maleable ferrítica mediante un calentamiento de esta última por encima de la temperatura crítica inferior, seguido de un enfriamiento rápido.

FUNDICIÓN EN COQUILLA

Las fundiciones en coquilla, se obtienen colando el metal fundido en coquilla metálica. De esta forma se obtienen piezas constituidas por una capa periférica dura y resistente a la abrasión de **fundición blanca**, que envuelve totalmente a un corazón más blando de **fundición gris**, siendo necesario para conseguir buenos resultados tener un control muy cuidadoso de la composición y de la velocidad de enfriamiento.

Las fundiciones en coquilla pueden obtenerse ajustando la composición de la fundición de tal modo que la velocidad de enfriamiento del normal en la superficie sea la justa para que se forme fundición blanca, mientras que en el interior, al ser menor la velocidad, se obtiene fundiciones atruchadas y grises.

Jugando con los espesores metálicos del molde y con algunos componentes de la aleación como el silicio, manganeso, fósforo etc. se puede controlar el espesor de la capa de fundición blanca que se desea obtener.

FUNDICIÓN ALEADA

Las fundiciones aleadas son aquellas que contienen uno o más elementos de aleación en cantidades suficientes para mejorar las propiedades físicas o mecánicas de las fundiciones ordinarias.

Los elementos que normalmente se encuentran en las primeras materias, como el silicio, manganeso, fósforo y azufre no se consideran como elementos de aleación.

Los elementos de aleación se adicionan a las fundiciones ordinarias para comunicarles alguna propiedad especial, tal como resistencia a la corrosión, al desgaste o al calor, o para mejorar sus propiedades mecánicas.

La mayoría de los elementos de aleación adicionados a las fundiciones aceleran o retardan la grafitización, y ésta es una de las principales razones de su empleo.

Los elementos de aleación más utilizados son el cromo, cobre, molibdeno, níquel y vanadio.