



# TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS HIERROS FUNDIDOS GRISES Y NODULARES



Grandes pessoas, grandes produtos.



TUPY. Tecnologia brasileira. Referência mundial.

**Los hierros fundidos pueden ser sometidos a varios tratamientos térmicos para alcanzar los siguientes objetivos:**

- a) Alivio de tensiones provocadas por la solidificación;
- b) Obtención de mejor ductilidad y mejor maquinabilidad;
- c) Mejora de las propiedades mecánicas de resistencia;
- d) Descomposición de carburos, o
- e) Endurecimiento.



**La clasificación de los tratamientos térmicos para alcanzar las propiedades arriba mencionadas pueden ser clasificadas en:**

- a) Alivio de tensiones;
- b) Recocido;
- c) Normalizado;
- d) Revenido;
- e) Temple y revenido;
- f) Austempering;
- g) Martempering;
- h) Endurecimiento superficial.



Este tratamiento es efectuado para minimizar las tensiones surgidas en el material a consecuencia de la solidificación y puede ser utilizado para los hierros fundidos grises y nodulares, sin cambiar la micro estructura del material.

Para este tratamiento se utilizan temperaturas entre 510 a 680°C.

Temperaturas superiores eliminarán todas las tensiones, sin embargo, cambiarían la micro- estructura y reducirían la dureza y las propiedades mecánicas.



Se efectúa este tratamiento térmico en hierros fundidos gris y nodular, cuando se desea obtener además del alivio de tensiones, dureza más baja, máxima ductilidad (en nodular) y mayor maquinabilidad, obviamente, con menor resistencia mecánica.

Con este tratamiento se obtiene matriz ferrítica en función de la descomposición de la cementita de la perlita.



**Para hierros fundidos gris se utilizan dos diferentes ciclos:**

- a) subcrítico – consiste en el calentamiento del material entre 700 a 760°C con enfriamiento lento en el horno hasta 300°C. La matriz obtenida es predominantemente ferrítica, y normalmente utilizada cuando se desea una mejor maquinabilidad;
- b) Pleno – Consiste en el calentamiento del material entre 800 y 950°C y enfriamiento lento dentro del horno hasta 300°C. La matriz obtenida es totalmente ferrítica, promoviendo también la disolución de carburos eutécticos.



## **Para hierros fundidos nodular se puede emplear tres diferentes ciclos de recocido:**

- a) Calentamiento hasta 900 a 950°C – para la eliminación de carburos eutécticos en los cantos de piezas gruesas o piezas finas. El enfriamiento debe ser efectuado dentro del horno, para obtenerse una estructura totalmente ferrítica;
- b) Calentamiento hasta 800 a 900°C – cuando se desea obtener una estructura ferrítica y no hay presencia de carburos eutécticos. El enfriamiento debe ser efectuado dentro del horno;
- c) Calentamiento a 700°C y mantenimiento a esta temperatura por un largo período y enfriamiento en el horno (recocido subcrítico). Este tratamiento presenta un menor riesgo de deformación debido a la baja temperatura y estructura totalmente ferrítica. La matriz debe ser exenta de cementita libre.



**Las propiedades mecánicas y dureza típicas obtenidas en hierros fundidos nodulares después del recocido son las siguientes:**

- a) límite de resistencia a la tracción – 40,0 a 55,0 kgf/mm<sup>2</sup>;
- b) límite de escurrimiento - 27,0 a 40,0 kgf/mm<sup>2</sup>;
- c) alargamiento - 10,0 a 25,0 %;
- d) dureza brinell - 131 a 207 Hb.



El tratamiento térmico de normalización de hierros fundidos tiene por objeto un aumento de las propiedades mecánicas de resistencia y dureza, o la restauración de propiedades del estado bruto de fusión o tratamientos térmicos anteriores.

La normalización, produce una estructura homogénea de perlita fina.



## Este tratamiento consiste en:

- a) Calentamiento hasta la temperatura de austenización (850 a 930°C), para permitir que un determinado porcentaje de carbono entre en solución;
- b) Enfriamiento al aire, hasta la temperatura ambiente.

Se verifica en los hierros fundidos grises no aleados y sometidos a este tratamiento térmico, la disminución de las propiedades mecánicas debido a la formación de ferrita libre y /o aumento de la cantidad de grafito.



**En los hierros fundidos nodulares se observa normalmente aumento en los resultados de resistencia y dureza y reducción en los resultados de alargamiento.**

Las propiedades mecánicas típicas obtenidas en este tratamiento para hierros fundidos nodulares son:

- a) límite de resistencia a la tracción - 73 ,0 a 87,0 kgf/mm<sup>2</sup>;
- b) límite de escurrimiento - 51,0 a 66,0 kgf/mm<sup>2</sup>;
- c) alargamiento - 2 a 5%;
- d) dureza brinell – 240 a 300 Hb.



Este tratamiento térmico es efectuado a una temperatura inferior a la temperatura crítica y es utilizado para realizar alivio de tensiones, reducción de la dureza, y obtener una dureza deseada (nodular) en el caso de haber pasado por tratamiento de temple.

Para hierro fundido gris la temperatura de revenido es efectuada entre 500 y 600°C, y para nodular entre 550 y 650°C.



El objetivo de los tratamientos de temple y revenido, principalmente en el caso de hierro fundido nodular, es el de obtenerse una sensible elevación de la dureza con una determinada estructura y mejorar la resistencia a la tracción y al impacto.



## **Las propiedades mecánicas típicas obtenidas con este tratamiento en hierro fundido nodular son:**

- a) Límite de fluencia a la tracción – 87,0 a 110,0 kgf/mm<sup>2</sup>;
- b) Límite de Fluencia - 66,0 a 110,0 kgf/mm<sup>2</sup>;
- c) Alargamiento - 2,0 a 7,0 %;
- d) Dureza brinell - 270 a 350 Hb.

En el hierro fundido gris cuando es sometido al temple, se observa una reducción en la resistencia a la tracción a pesar del aumento en la dureza. Esta reducción en la resistencia se debe al aumento de tensiones internas en la estructura y formación de centros de nucleación de fisuras debido al efecto de talla del grafito durante la transformación a estructura martensítica.



## El tratamiento de temple y revenido consiste en:

- a) Calentamiento hasta la temperatura de austenización (850 a 930°C), para que el carbono entre en solución;
- b) Enfriamiento rápido, para obtenerse la estructura martensítica (enfriamiento en aceite o agua);
- c) Revenido a una temperatura inferior a la temperatura crítica, para eliminar tensiones dejadas por el temple y obtener la dureza deseada;



El martempering tiene por objetivo la obtención de estructura martensítica.

Consiste en el calentamiento hasta temperaturas entre 800 y 930°C, y un enfriamiento en baño de sal hasta temperaturas de 200 a 260°C, por encima del inicio de la transformación martensítica, durante el tiempo suficiente para que haya una homogeneización de la temperatura en la pieza, sin que se alcance la curva de inicio de transformación de la bainita. Se enfría a continuación la pieza en medio líquido hasta la temperatura ambiente.



# Tratamiento térmico – Austempering y Martempering



El austempering es utilizado cuando se desea, también, una elevada dureza asociada a una resistencia más alta, principalmente en el caso de nodular. Para hierro fundido gris no hay sentido en hacer mención a esta propiedad, siendo por esta razón, poco usual el tratamiento de austempering.

En el austempering, el calentamiento se da con temperaturas similares a las de la martempering y se enfría el material en baño de sal o de plomo hasta temperatura entre 250 y 450°C.

La pieza es mantenida en esta temperatura por tiempo suficiente para que haya la transformación, obteniéndose la estructura bainítica. Se obtienen con este tratamiento, durezas que varían de 269 a 534 HB para hierros nodulares.

Los hierros fundidos bainíticos presentan una excelente combinación de propiedades de resistencia, tenacidad y ductilidad, permitiendo su aplicación donde tradicionalmente se usaban aceros forjados o fundidos.

Además, suministran una reducción en el costo total de fabricación.



**Por la adición de elementos de aleación y adecuados ciclos de tratamientos térmicos es posible obtener las siguientes clases:**

CLASE	PROPIEDADES MECÁNICAS				Micro-estructura
	Limite de resistencia Tracción min. (MPA)	Limite de Escurrimiento min. (MPA)	Alargamiento min. (%)	Dureza Brinell Hb	
Alta Tenacidad	850	550	10	269/331	Bainita/ Austenita
	1000	680	6	302/363	Bainita/ Austenita
Alta resistencia	1200	800	2	341/444	Bainita/ Austenita
	1400	1000	1	401/534	Bainita/ Austenita/ Martensita

El alargamiento y la resistencia a la tracción son superiores, comparativamente a las demás clases de nodular.

La resistencia al impacto es elevada, próxima a la obtenida en materiales ferríticos.

La resistencia al desgaste del hierro fundido nodular bainítico es superior a la de los aceros de medio carbono y micro aleados, en parte conferida por la presencia de austenita en la matriz metálica.

## **Ventajas de este proceso comparando con los aceros:**

- Menor costo de maquinado debido a la homogeneidad de la estructura y a la presencia de grafito
- Menor consumo de energía para la obtención del producto final debido a la cantidad mas reducida de material para el maquinado
- Menor peso de las piezas, debido a que la densidad es aproximadamente 10% menor.
- Mayor capacidad de amortiguación de vibraciones y por tanto, menor ruido.
- Aumento de la vida de las herramientas de maquinado, cuando se efectúa antes del tratamiento térmico.
- Menor rechazo debido a la ausencia de defectos internos.



El objetivo de proceder al endurecimiento superficial es la obtención de una capa periférica de elevada dureza, asociada a un núcleo aún relativamente dúctil.

Se efectúa un calentamiento superficial de la pieza hasta una temperatura superior al límite inferior de la zona crítica, por tiempos que dependen de la profundidad del temple que se desea. Seguido de un enfriamiento en medio líquido, pudiendo, también, ser al aire.

Existen dos procesos de endurecimiento, ya sea, por llama o inducción.



El empleo de piezas sometidas previamente al tratamiento de alivio de tensiones, con matriz predominantemente perlítica, reduce el tiempo de calentamiento a un mínimo, dando mayor seguridad en cuanto al apareamiento de fisuras durante el enfriamiento. Se obtiene, después del tratamiento, matriz martensítica en la periferia de las piezas.

Después del tratamiento del temple superficial se recomienda efectuar alivio de tensiones entre 150 y 200°C, para minimizar las tensiones causadas por el endurecimiento superficial y las diferentes estructuras.

