



FACULTAD CATÓLICA DE QUÍMICA E INGENIERIA
"Fray Rogelio Bacon"

**Trabajo
Práctico**

Fundición Nodular

Materia: ESTUDIO Y ENSAYOS DE LOS MATERIALES

Tema: FUNDICION NODULAR

Carrera: INGENIERÍA INDUSTRIAL

Año: 2008

Consideraciones generales de las fundiciones

Con el nombre genérico de fundiciones se designa a un grupo muy importante de aleaciones a base de hierro con diversos contenidos de carbono y silicio, en las cuales el carbono se encuentra en cantidad superior a la que puede retener la austenita en disolución sólida a temperatura eutéctica (2%).

Cuando las fundiciones contienen otros elementos químicos especialmente añadidos o en cantidades suficientes para modificar apreciablemente sus estructuras o características físicas y mecánicas, entonces reciben el nombre de fundiciones aleadas, bien entendido que el silicio, el manganeso, fósforo y azufre, contenidos normalmente en las materias primas que sirven para su fabricación, no se consideran como elementos de aleación.

Actualmente en el mundo las fundiciones se producen en mayor tonelaje que cualquier otro tipo de aleaciones fundidas, debido a sus buenas propiedades y numerosas aplicaciones.

A la importante familia férrea de las fundiciones pertenecen diversas clases, las cuales dependen, entre otros factores, de la composición química, velocidad y condiciones de enfriamiento y tratamientos térmicos posteriores. Entre ellas se encuentra: fundición gris, blanca, atruchada, maleable europea, maleable (ferrítica y perlítica), nodular.

En términos generales, la cantidad de carbono en una fundición determina sus propiedades potenciales y el contenido en silicio influye sobre la forma que tomará el carbono y la obtención de dichas propiedades.

En las aleaciones Fe-C, el principal efecto del silicio es la de acelerar la velocidad de formación del grafito o la descomposición del carburo de hierro bajo la influencia del calor. El mecanismo de este efecto no se ha podido explicar de un modo completamente satisfactorio, pero la realidad es que existe, siendo fundamental para la metalurgia de la fundición.

Constituyentes microestructurales

En general las propiedades de las aleaciones dependen de su microestructura. Por tanto, el estudio microscópico de sus componentes es siempre muy importante, en especial en el caso de las fundiciones en las cuales la presencia del carbono o grafito tiene una influencia considerable. Tres son los constituyentes principales de las fundiciones: perlita, ferrita y grafito. También se encuentra presente el eutéctico ternario de fósforo, denominado esteadita, y cantidades variables de diversas inclusiones, principalmente de sulfuro de manganeso.

Grafito: El grafito es el elemento más importante de las fundiciones, y su forma, tamaño y distribución determina, principalmente, las características mecánicas de las fundiciones.

Es verdaderamente útil considerar a las fundiciones como aceros que contienen láminas, nódulos o concentraciones de grafito. Por tanto, las propiedades mecánicas serán las correspondientes a su matriz, modificadas por la presencia de las láminas o nódulos de grafito que alteran la continuidad de la misma. Como en el caso de los aceros, la resistencia y dureza se incrementa al aumentar la cantidad de perlita. En general, en las fundiciones, las resistencias más elevadas corresponden a las que poseen una matriz totalmente perlítica. Pero hay que tener en cuenta que el tamaño, forma y distribución del grafito modificará las propiedades intrínsecas de la matriz. En general, la influencia del grafito sobre la matriz, considerada como un acero, es de incrementar la resistencia al desgaste, capacidad de amortiguamiento, facilidad de mecanización, resistencia a la corrosión, y resistencia a los choques térmicos. Por el contrario, disminuye la dureza, resistencia, ductilidad, módulo de elasticidad, resistencia al choque y peligro de agrietamiento durante la solidificación, presentando como consecuencia de esta última propiedad una buena colabilidad.

Perlita: Una parte del carbono total de la fundición se encuentra en la forma combinada formando el constituyente microestructural conocido con el nombre de perlita, el cual, lo mismo que en el caso de los aceros, está formado por láminas alternadas de ferrita y cementita, dependiendo principalmente la separación de las laminas de la velocidad de enfriamiento. Para una misma concentración de carbono granítico y tipo y tamaño del mismo, las características de la fundición y su resistencia al desgaste está en relación

directa con el contenido en perlita de la matriz: mayor contenido en perlita, mayor resistencia.

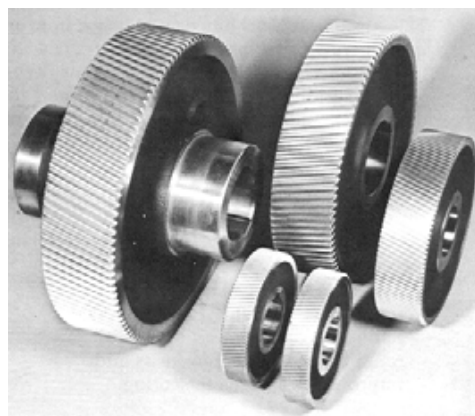
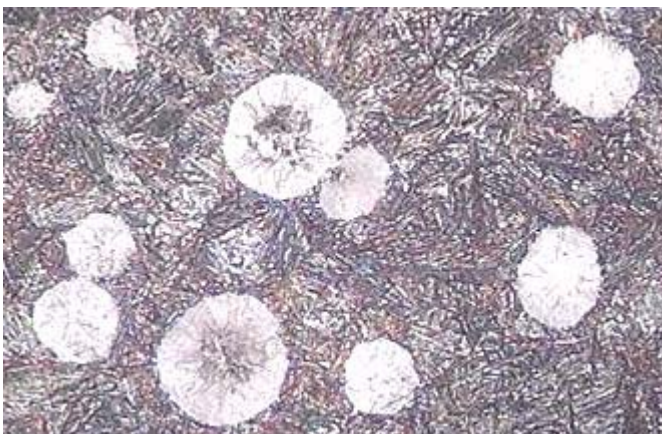
Ferrita: Una fundición contendrá ferrita libre cuando el contenido de silicio sea relativamente elevado, o bien si la velocidad de enfriamiento en el molde fue pequeña, y también si la fundición se ha sometido al tratamiento térmico de recocido.

La ferrita presenta una dureza y resistencia inferior a la perlita y favorece la maquinabilidad.

Cementita: la cementita o carburo de hierro es un constituyente microestructural muy resistente al desgaste, duro y, como consecuencia, muy frágil. Afectará a la maquinabilidad.

Martensita: En muchas ocasiones se templen las fundiciones, bien superficial o totalmente, para obtener que la superficie o el núcleo sea totalmente martensítico y, por tanto, muy duro. Es frecuente someter las piezas posteriormente a un revenido para proporcionar tenacidad con sólo un pequeño sacrificio de la dureza. Ajustado de esta forma el tratamiento térmico, se obtendrá una estructura a base de martensita revenida en la cual estarán embebidas láminas de grafito y pequeñas partículas de cementita primaria. Algunos autores recomiendan la estructura señalada como óptima para resistir el desgaste.

Fundición nodular



Para reducir el problema de la fragilidad de las fundiciones con grafito laminar, y en consecuencia su baja resistencia al impacto y para aumentar su ductilidad, se desarrolló la fundición nodular, en la cual el grafito se presenta bajo la forma de grafito esférico o nodular, siendo la matriz de tipo perlítico. Por tratamiento térmico adecuado puede descomponerse totalmente la perlita, obteniéndose las fundiciones nodulares ferríticas. La fundición nodular es el miembro mas joven de la familia de las aleaciones férreas, formando con las maleables un puente entre las propiedades de las fundiciones

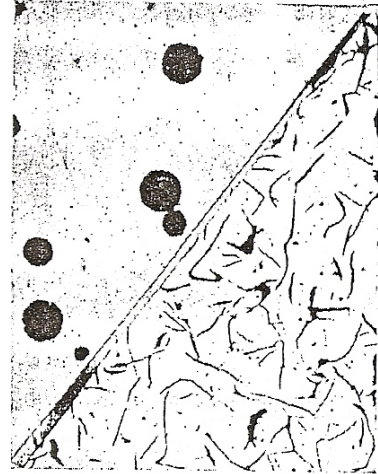


Figura 1

grises y los aceros moldeados. En el año 1948, H. Morrogh, de la British Cast Iron Research Association, presentó la posibilidad de obtener fundiciones nodulares mediante la adición de cerio. En el mismo año, la Internacional Niquel Co. también producía estas fundiciones, pero mediante la adición de magnesio. A la forma de tipo nodular, en la que se presenta el carbono libre se estos materiales, se debe sus buenas propiedades. En la figura 1 se compara la forma de grafito de una fundición nodular con una fundición gris, con 100 aumentos en ambas

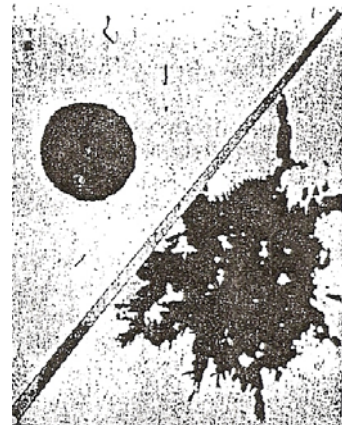


Figura 2

micrografías, se observa que la matriz se interrumpe mucho menos que cuando el grafito se encuentra en forma laminar, provocando una resistencia a la tracción y tenacidad mayores que en la fundición gris ordinaria. En la figura 2, vista con 500 aumentos, se aprecia la forma esferoidal perfecta de los nódulos y se compara con el grafito en forma de nidos o copos de una fundición maleable. En general, la fundicion nodular presenta propiedades bastante semejantes a las de las fundiciones maleables perlíticas (p.e.: amplio y variado campo de carga de rotura, apreciable ductilidad) con la ventaja de no necesitar el ciclo térmico de transformación que resulta indispensable en las fundiciones maleables, por lo cual, cuando este material hizo su aparición en la industria,

causó una verdadera revolución, siendo muchos los usuarios que vieron en ella una aleación que debía eliminar a muchos tipos de fundición. En realidad no se ha llegado a tal extremo; sin embargo sus aplicaciones son cada día más numerosas, el proyectista, de acuerdo con el metalurgista y en contacto con el fundidor, dispone de un material utilísimo para numerosas aplicaciones (por ejemplo cigüeñales, árboles de leva, ciertos mecanismos de biela-manivela, etc.).

El material base -mezcla de carbón (antracita), carbonato de calcio y Chatarra o arrabio- puede fundirse en diversos tipos de horno, tratándose con cerio, magnesio o combinación de estos elementos inmediatamente antes de la colada. Los fundidores han desarrollado diferentes métodos de adición del elemento capaz de convertir la fundición en nodular, los cuales dependen de numerosos factores: equipos de hornos, composición química de la aleación de partida, tamaño de la pieza, etc. No suele usarse mineral de hierro virgen como la magnetita, ferrita, limonita o hematina, entre otras cosas porque el magnesio tiende a actuar como escoriante en el proceso de reducción y no favorece la formación de los esferoides de carbón.

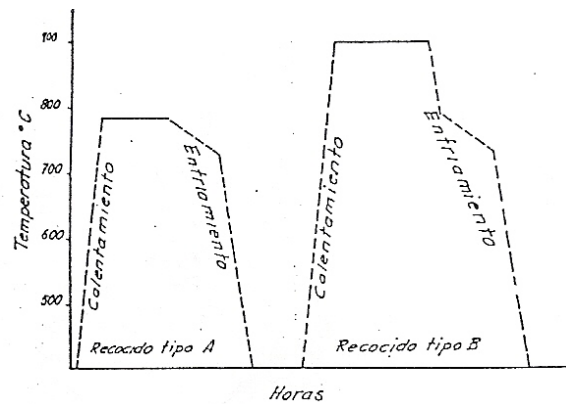
Los compuestos nodulizantes más empleados son los de magnesio, los cuales se colocan en la cuchara de colada inmediatamente antes de recibir ésta el material fundido para proceder a su moldeo.

La producción de fundición nodular requiere un estrecho control metalúrgico. Entre los factores más dignos de tenerse en cuenta figura la composición química de las materias primas, temperatura de colada y la ausencia de determinados elementos que, aun en concentraciones pequeñísimas, presentan marcado efecto inhibitor sobre la formación del grafito nodular. Estos elementos, tales como el titanio, estaño, arsénico y plomo, deben evitarse o eliminarlos a concentraciones despreciables. En algunas ocasiones se le añade a la fundición cerio, para reforzar la acción del magnesio y eliminar la acción inhibitora de los elementos citados.

El campo clásico de nodulares comprende un contenido en carbono total de 3,0-4,0%; silicio, 1,8-2,8%; variando el manganeso entre 0,15-0,90%. Las concentraciones de fósforo y azufre deben limitarse como máximo a 0,10 y 0,3%, respectivamente, y el magnesio, elemento favorecedor de la nodulización, varía entre 0,01-0,10%.

La selección de la composición química depende del tamaño de la pieza y de las propiedades que se le han de exigir, así como del proceso de fusión empleado y de si posteriormente han de ser sometidas a tratamientos térmicos.

Cuando las piezas se funden en secciones delgadas, entonces es frecuente la presencia de carburo libre. En estos casos y en aquellos en que se desee aumentar la tenacidad, resistencia al choque y maquinabilidad es necesario someter a las piezas a un recocido

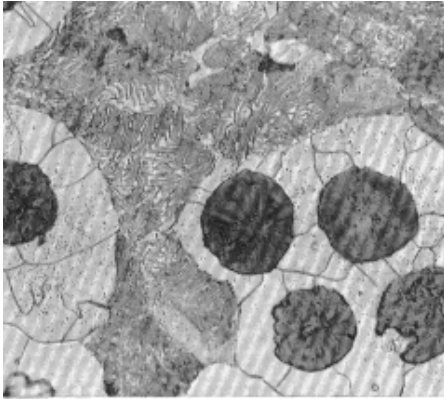


denominado ferritización, puesto que su misión es convertir la cementita libre o la componente de la perlita en ferrita. La figura representa dos tipos clásicos de recocido. El tipo A se utiliza para piezas que no presenten carburo libre. Se calientan los materiales a temperaturas próximas a 800°C, durante tiempos de 1 hora por pulgada de sección, con enfriamiento posterior a 70°C a una velocidad de 12°C por hora, seguido de un enfriamiento a la velocidad de 50°C por hora hasta 430°C. En el caso que exista cementita libre, el recocido que debe usarse es del tipo B, y, naturalmente, la rotura de las masas de carburo de hierro exigirá temperaturas más elevadas, del orden de los 900°C, durante tiempos largos, 2 horas por pulgada de sección. Enfriando en 1 hora a 780°C, para continuar posteriormente con enfriamientos, tiempos y velocidades similares al caso del recocido tipo A.

Cuando la pieza en período de servicio requiera elevadas dureza y resistencia, entonces debe ser sometida a un tratamiento térmico de bonificado, consistente en una austenización aproximadamente a 880 °C, seguida de un temple en aceite, con lo que obtendremos una estructura cuyo componente estructural fundamental es la martensita o productos intermedios. Por el tratamiento térmico de revenido posterior conseguiremos la dureza y resistencia deseada.

La fundición nodular es una fundición totalmente diferente a la Fundición Gris por su ductilidad, tenacidad y mayor resistencia a la tracción. La propiedad que más se valora en la mayoría de los diseños es la resistencia. Por regla general, no la resistencia a la rotura sino al límite de elasticidad, con un factor de

seguridad, es el que entra en los cálculos técnicos. Por lo que es superior a la fundición gris, al hierro maleable y al acero no aleado, en el límite de elasticidad.



Microestructura de la fundición nodular
ferrítico perlítica

El **magnesio** no se encuentra en la naturaleza en estado libre (como metal), sino que forma parte de numerosos compuestos, en su mayoría óxidos y sales. El magnesio elemental es un metal liviano, medianamente fuerte, color blanco plateado. En contacto con el aire se vuelve menos lustroso, aunque a diferencia de otros metales alcalinos no necesita ser almacenado en ambientes libres de oxígeno, ya que está protegido por una fina capa de óxido, la cual es bastante impermeable y difícil de sacar.

Este no se encuentra libre, aunque entra en la composición de más de 60 minerales, siendo los más importantes industrialmente los depósitos de dolomía, dolomita, magnesita, brucita, carnalita y olivino.

Los compuestos de magnesio, principalmente su óxido, se usan como material refractario en hornos para la producción de hierro y acero, metales no férreos, cristal y cemento, así como en agricultura e industrias químicas y de construcción. Además, el metal se adiciona para eliminar el azufre del acero y el hierro; se utiliza como material estructural y en aleaciones. Aunque el magnesio es abundante en la corteza terrestre, es más barato “explotarlo” del agua de mar. El magnesio constituye el segundo catión más abundante del mar (después del sodio); hay alrededor de 1.3g de magnesio por kilogramo de agua de mar. El proceso para obtener magnesio del agua de mar utiliza tres tipos de reacciones: de precipitación, ácido-base y redox.

El **cerio** es un carboxilato metálico producto resultante de la reacción de sales metálicas y ácidos orgánicos, es un secante primario que se lo utiliza

únicamente a altas temperaturas.

Tipos de fundiciones nodulares:

Se obtienen diferentes tipos de nodular que van en función de la composición y el proceso para su obtención, estos son: Nodular Ferrítico, se puede obtener as cast y también por tratamiento térmico de recocido con alargamientos superiores a 18 %, Nodular Semiperlítico, normalmente se obtiene as cast combinando las propiedades del Nodular Ferrítico y el Perlítico y Nodular Perlítico que por tratamiento térmico de normalizado mejora notablemente sus propiedades físicas. También se pueden lograr para piezas especiales un Nodular Perlítico Aleado con estructuras Bainíticas llegando a obtener de límite elástico convencional A 0.2 % 80 PSI, como también Nodulares Austeníticos Aleados con Níquel y Cromo para piezas resistentes a los cambios de volumen que trabajan a altas temperaturas. La fundición nodular se fabrica tratando el hierro líquido bajo en azufre (< 0,02% en peso) en cuchara, con un aditivo que contiene magnesio (0,04 a 0,06% en peso) para luego ser inoculado usando una aleación de silicio minutos antes de ser vertido.

Horno de cubilote

El equipo favorito para lograr este tipo de fundición es el horno de cubilote, el cual no es otra cosa que un elemento cilíndrico vertical de aproximadamente 6 metros de alto, el cual lleva los metales en el colocados, hasta el estado líquido y permite su colado, puede ser utilizado para la fabricación de casi todas las aleaciones de Hierro, tiene ventilación forzada por toberas ubicadas en la parte inferior del mismo.

El material se distribuye en forma de capas de aproximadamente 30 o 40 cm en su interior, alternado con carbón el cual permite que el proceso sea continuo.

Este tipo de horno esta recubierto de material refractario en su interior, el cual debe ser inspeccionado antes de cada carga ya que debido a la temperatura que se evidencia en su interior (aprox. 1500 C) podría perforar la estructura tubular y caer sobre los operarios que se encuentran realizando el proceso de colado en la base del horno.

Como crear grafito esferoidal

Para esta fundición se requiere grafito esferoidal, para crear este metal se siguen los siguientes pasos:

Desulfurización: El azufre provoca que el grafito crezca en forma de hojuelas, al fundir en hornos que en la fusión eliminen el azufre del hierro.

Nodulación: Se aplica magnesio, este elimina cualquier azufre y oxígeno que haya quedado en el metal. De no ser vaciado el hierro después de la nodulación, el hierro se convierte en fundición gris.

Inoculación: Un estabilizador eficaz de carburos es el magnesio y hace que en la solidificación se forme la fundición blanca. Después de la nodulación se debe inocular el hierro.

Hierro de grafito compacto. La forma de grafito es intermedia entre hojuelas y esferoidal. El grafito compacto da resistencia mecánica y ductilidad y el metal conserva una buena conductividad térmica y propiedades de absorción de la vibración.

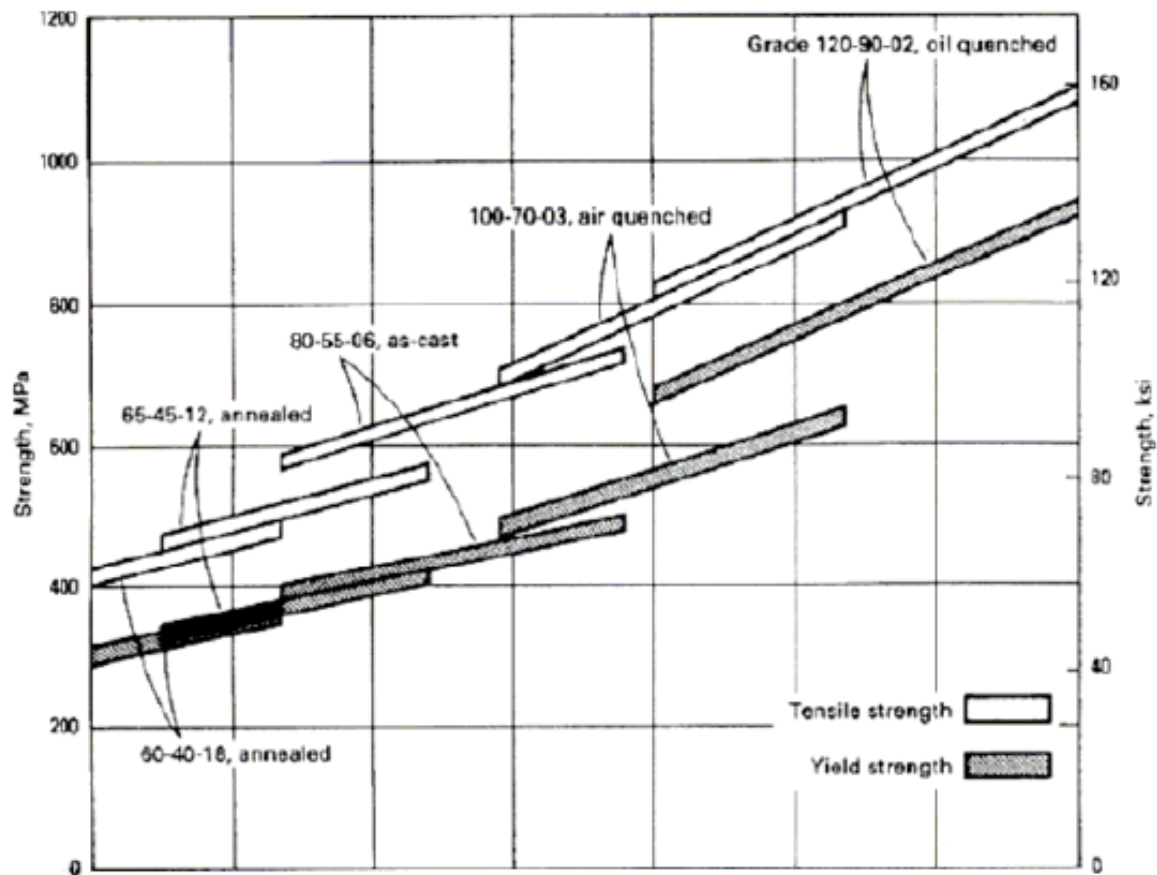
Clasificación

La clasificación de las fundiciones nodulares se realiza de acuerdo a la ASTM A-536 tomando en cuenta su resistencia y se designa una nomenclatura de tres números los cuales tiene en cuenta las resistencia en psi y el alargamiento siendo usuales fundiciones del tipo 60 – 40 – 18 con resistencia de 40 KPSI y alargamientos del 18 % o la 120 – 70 – 02 con una resistencia de 24 KPSI y un alargamiento promedio de 2 %, evidentemente a mayor resistencia mecánica menor capacidad de alargamiento.

Clase	Resistencia psix1000	Lím. Fluencia	Dureza brinell	Alargamiento (%)
60-40-18	42000	28000	149-187	18
65-45-12	45000	32000	170-207	12
80-55-06	56000	38000	187-255	6
100-70-03	70000	47000	217-267	3
120-70-02	84000	63000	240-300	2

Clasificación de la fundición nodular teniendo en cuenta sus características mecánicas de acuerdo con la norma ASTM A-536

	GRADO	DESCRIPCION	USOS GENERALES
ASTM A536	60-40-18	Ferrita; puede ser recocida	Piezas resistentes al impacto; servicio a bajas temperaturas
	65-45-12	Mayoritariamente ferrítica; de colada o recocida	Servicios generales
	80-55-06	Ferrítica-Perlítica; puede ser normalizada	Servicios generales
	100-70-03	Mayoritariamente Perlítica; puede ser normalizada.	La mejor combinación de resistencia al desgaste y tenacidad. Buena respuesta al endurecimiento superficial
	120-90-02	Martensítica; temple al aceite y revenido	La más tenaz y resistente al desgaste



El grafico presenta el esfuerzo ultimo de tension y el límite de fluencia de los 5 grados de la norma ASTM A536. Valores en MPa

Aplicación

La aplicabilidad de este tipo de fundición es muy amplia ya que posee, las características de una fundición gris, como ya se dijo, como son la resistencia a la corrosión, el bajo precio, así como una importante dureza, mejorada ahora por una gran maquinabilidad, por lo cual todas aquellas piezas fundidas tiene ha ser realizadas mediante este proceso ya que el acabado final puede ser dado con procesos de arranque de viruta.

- Un ejemplo de Industrias de trabajos con fundición nodular es PADMET (avellaneda- Santa Fe) produce y comercializa su amplia gama de productos elaborados en fundicion nodular o gris

Características

- Al contrario de una fundición gris, la cual contiene hojuelas de grafito, la fundición nodular tiene una estructura de colada que contiene partículas de grafito en forma de pequeños nódulos esferoidales en una matriz metálica dúctil. De este modo la fundición nodular tiene una resistencia mucho mayor que una fundición gris y un considerable grado de ductilidad, estas propiedades y otras tantas pueden mejorarse con la utilización de tratamientos térmicos.
- Al igual que una fundición gris, este material tiene la ventaja de poseer una excelente fluidez. De este modo es posible obtener piezas de reducidos espesores, siempre que se asegure un flujo lineal y calmado a la hora de llenar los moldes, esto es imprescindible para evitar el endurecimiento de los bordes y la formación de carburos en las secciones más delgadas.
- Para obtener la mejor combinación de resistencia, ductilidad y tenacidad, la materia prima debe ser escogida de modo que sea baja en impurezas. Particularmente deben evitarse aquellos elementos que promueven la reacción perlítica de la matriz.
- El elemento que controla el tipo de matriz es el manganeso, si se pretende conseguir una matriz ferrítica de colada, el contenido de manganeso no debe superar el 0.2% y si se desea obtener una matriz perlítica sin la utilización de tratamientos térmicos, el contenido de manganeso debe alcanzar el 1% en peso.
- La fundición nodular tiene varios usos estructurales, particularmente aquellos que requieren resistencia y tenacidad combinados con buena maquinabilidad y bajo costo.
- Entre las exclusivas propiedades de la fundición nodular se incluyen la facilidad para realizar tratamientos térmicos, ya que el carbono libre de la matriz se puede disolver a cualquier nivel para ajustar su dureza y propiedades mecánicas. El carbono libre puede ser endurecido selectivamente por temple a la llama, inducción, método láser o haz de electrones. De este modo, un recosido de 3 hrs a 650°C puede otorgar

tenacidad a las bajas temperaturas. También se puede al realizar un austemperado para obtener una fundición ADI, la cual posee un alto límite de fluencia, gran resistencia a la fatiga, alta tenacidad y excelente resistencia al desgaste.

- La fundición nodular es menos densa que el acero y la diferencia de peso entre ambos puede llegar al 10% en el mismo espesor.
- Por último, el contenido del grafito proporciona características de lubricación en engranajes móviles debido a su bajo coeficiente de fricción. Las cajas de engranajes pueden funcionar con mayor eficiencia si están fabricadas con fundición nodular.

