



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN



**OBTENCION DEL HIERRO BLANCO PARA SU
POSTERIOR TRATAMIENTO TERMICO DE
MALEABILIZADO**

T E S I S

Que para obtener el Título de:

Ingeniero Mecánico Electricista

P r e s e n t a :

PEDRO ARGUELLES RAMOS

ASESOR: IME JESUS GARCIA LIRA

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

| | Página |
|---|--------|
| 1.- GENERALIDADES | |
| 1.1.- Importancia. | 1 |
| 1.2.- Etapas del proceso de fabricación del hierro blanco. | 2 |
| 1.3.- Diagrama de fases Fe-C. | 2 |
| 1.4.- Clasificación y composición del hierro blanco (A.S.M). | 8 |
| 2.- OBTENCION DEL HIERRO BLANCO | |
| 2.1.- Tipos de hornos empleados. | 13 |
| 2.2.- Materiales de carga | 14 |
| 2.3.- Operación de fusión para el hierro blanco y su influencia en - el proceso de tratamiento térmico de maleabilizado. | 15 |
| 2.4.- Tipos de fundición maleable. | 22 |
| 2.4.1.- Fundición maleable blanca. | 22 |
| 2.4.2.- Fundición maleable negra. | 23 |
| 2.5.- Hornos de maleabilizado. | 24 |
| 3.- FUNDICION MALEABLE | |
| 3.1.- Tipos de hierro maleable (A.S.M). | 27 |
| 3.1.1.- Hierro maleable ferrítico (grado 32510, 35018). | 28 |
| 3.1.1.1.- Propiedades físicas del hierro maleable ferrítico. | 35 |

| | Página |
|---|--------|
| 3.1.2.- Hierro maleable perlítico (templado en aceite). | 36 |
| 3.1.2.1.- Proceso de maleabilización perlítico - (temple en aceite). | 39 |
| 3.1.2.2.- Propiedades físicas del hierro maleable- perlítico (temple en aceite). | 40 |
| 3.1.3.- Proceso de maleabilización perlítico (templado al aire). | 40 |
| 3.1.3.1.- Propiedades físicas del hierro maleable perlí- tico (temple al aire). | 41 |
| 3.2.- Principales reacciones superficiales en los hierros tratados - termicamente. | 42 |
| 3.3.- Influencia de los elementos sobre la maleabilización del hierro- y sus propiedades físicas y mecánicas. | 48 |
| 3.3.1.- Efecto de los elementos residuales. | 51 |
| 3.4.- Efecto de los elementos componentes de la aleación y de los - - elementos residuales sobre las propiedades físicas y mecánicas - del hierro maleable. | 55 |
| 3.4.1.- Elementos residuales. | 56 |
| 3.5.- Control de las muestras metalográficas. | 59 |
| 3.5.1.- Observación de la muestra sin atacar. | 60 |
| 3.6.- Acabado. | 63 |
| 4.- CONCLUSIONES | 66 |
| BIBLIOGRAFIA | 68 |

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1.- IMPORTANCIA

La importancia del hierro maleable es que debido a la fragilidad que presentan las fundiciones blancas y grises, éstas no pueden ser usadas para piezas que estarán sujetas a impactos ó choques que puedan sufrir una eventual deformación sin fractura. Esto se debe a la cementita - - (Fe_3C), la cual produce una fragilidad alta y por laminillas de grafito que alteran la cohesión del material.

En cambio cuando son sometidos a un recocido las fundiciones blancas tienden a modificar su estructura y propiedades adquiriendo cierta resistencia al choque e impacto, y tienden a adquirir la capacidad de soportar deformaciones a veces sin romperse.

La obtención de piezas de fundición maleable es mucho más difícil y complicadas que las de fundición gris.

Con el fin de obtener propiedades mecánicas mejores, son utilizados de preferencia los hierros fundidos con porcentajes de silicio y carbono más bajos que los comunes, lo que hace más difícil vaciar piezas de formas complicadas. Un horno de cubilote no es el más indicado para producir esta clase de hierros o fundiciones con una composición y temperaturas deseadas.

Para producir este tipo de hierros, el horno que se recomienda es el horno eléctrico de inducción.

1.2.- ETAPAS DEL PROCESO DE FABRICACION DEL HIERRO BLANCO

Las etapas en la producción del hierro blanco son:

- a).- Elaboración del hierro blanco controlando su composición química (CAPITULO 1).
- b).- Recocido de las piezas del hierro blanco para dar las propiedades requeridas (CAPITULO 3).

1.3.- DIAGRAMA DE FASES Fe - C

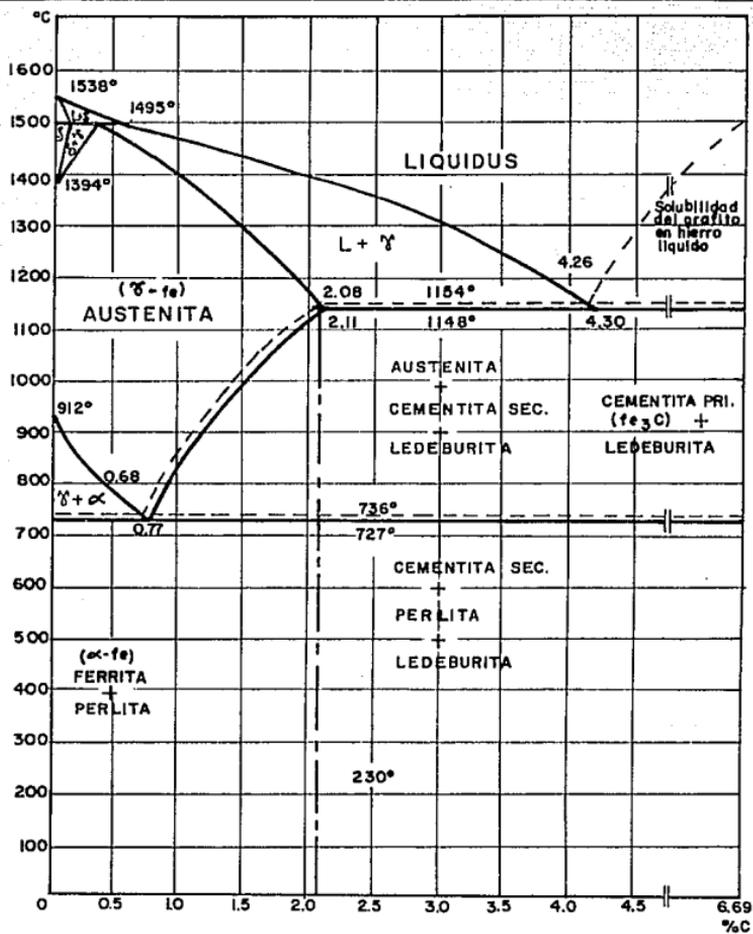
El hierro maleable es esencialmente una aleación de Fe-C, con contenidos importantes de elementos como el silicio, manganeso, azufre y fósforo, los cuales modifican su estructura y propiedades. Por eso es importante observar el diagrama de fases o de equilibrio hierro-carbono que se muestra en la figura 1.3.1.

En este diagrama de equilibrio se tiene que las líneas continuas se refieren al sistema metaestable ó hierro cementita, mientras que las líneas punteadas se refieren al sistema estable ó hierro grafito.

A continuación se describen los microconstituyentes más importantes presentes en las fundiciones o hierros de acuerdo al diagrama hierro-carbono, así como sus principales características:

FERRITA

La ferrita o hierro (α), es una solución sólida de carbono en hierro, en el cual puede haber elementos tales como silicio, fósforo, azufre, manganeso, etc. Cristaliza en el sistema cúbico centrado en el cuerpo (bcc).



U N A M F.E.S.-C I.M.E

TESIS PROF.
1992
ARGUELLES R.P

DIAGRAMA DE FASES
Fe-C

ACOT.
ESC.
FIG. 1.3.1

La ferrita es el constituyente más blando y tiene una dureza aproximada de 90 Brinell (BHN), presenta una resistencia de aproximadamente 250 kg/cm² y un alargamiento de 35%, siendo muy dúctil y maleable.

La ferrita disuelve como máximo 0.025% de carbono a una temperatura de 727°C, esta microestructura se observa en la figura número 1.3.2.



FIG. 1.3.2 FERRITA

CEMENTITA

La cementita es carburo de hierro (Fe_3C), que contiene 6.69% de carbono y 93.31% de hierro, cristaliza en el sistema ortorrómbico.

La cementita es el constituyente más duro alcanzando durezas superiores a 68 Rockwell-c (Rc) por lo cual es frágil y presenta baja ductilidad y maleabilidad.

Quando se observa al microscopio la cementita se observa blanca (parecido a la ferrita), con un brillo intenso, figura número 1.3.3.



FIG. 1.3.3 CEMENTITA

PERLITA

La perlita es el constituyente eutectoide del diagrama hierro-carbono.

Está formada por capas alternas de ferrita y cementita las cuales se presentan en forma de laminillas paralelas figura 1.3.4.

La perlita aparece por lo general cuando la austenita es enfriada lentamente, según la velocidad de enfriamiento las laminillas aparecen más o menos separadas, la distancia interlaminar sirve de base para clasificar la perlita en fina, mediana y gruesa.



FIG. 1.3.4 PERLITA

AUSTENITA

Es una solución sólida de carbono y hierro (γ), es un constituyente de composición variable que puede disolver hasta 2.11% de carbono a 1148°C. La austenita cristaliza en el sistema cúbico centrado en las caras (Fcc).

Es una fase estable a temperatura superior de 727°C, sin embargo, a temperaturas inferiores se descompone para formar algún otro compuesto.

La dureza de la austenita es aproximadamente de 300 Brinell (BHN); su resistencia varía de 950 a 1050 kg/cm² y su alargamiento entre 30 y 50%, es blanda, dúctil, tenaz y presenta gran resistencia al desgaste, - figura número 1.3.5.



FIG. 1.3.5 AUSTENITA

MARTENSITA

Después de la cementita la martensita es el constituyente más duro - presentando durezas desde 55 hasta 62 Rockwell-c (Rc).

La martensita se obtiene a partir de la austenita por enfriamiento rápido (temple). La martensita es una solución sobresaturada de carbono-

en hierro, debido al exceso de carbono, la martensita presenta una red tetragonal compacta donde los ejes del cubo sufre una contracción y otra se expande.

La martensita se presenta en forma de agujas las cuales son paralelas dentro del mismo grano y cambia de orientación formando ángulos aproximadamente de 60° entre grano y grano figura 1.3.6, en general la martensita va acompañada de austenita retenida en cantidades variables que dependen de diversos factores como: Tamaño de grano, temperatura del medio ambiente, velocidad de enfriamiento y composición química.

La martensita obtenida es dura y frágil de tal manera que para que un material pueda ser utilizado debe calentarse a temperatura por debajo de 727°C para eliminar tensiones y disminuir la fragilidad. Este calentamiento posterior al temple es conocido como revenido.

Después del revenido la martensita presenta una resistencia del orden de 1200 a 1250 kg/cm^2 y un alargamiento del 2.5 a 0.5% .



FIG. 1.3.6 MARTENSITA

GRAFITO

El grafito es la forma elemental de carbono. Es blando y de color gris oscuro se presenta basicamente en las fundiciones gris, maleable y dúctil. En la gris se forman laminillas, en la maleable se presenta en forma de rosetas y en la dúctil en forma de nódulos. El grafito es altamente responsable de las propiedades de las fundiciones, dicha influencia se acentúa por su cantidad, forma, distribución y tamaño.

Quando se presentan en forma de laminillas (fundición gris) disminuye la dureza, la resistencia y el límite elástico de la aleación, además reduce casi a cero la ductilidad, tenacidad y plasticidad.

Por otro lado, debido a sus características, mejora la resistencia a la corrosión y al desgaste ya que actua como especie de lubricante.

La influencia del grafito en las fundiciones maleables y dúctiles es la misma, solamente que en menor proporción que en las fundiciones grises, figura número 1.3.7.



FIG.1.3.7. Formas de grafito en las fundiciones de hierro: a) Laminar b) en forma de rosetas c) nódulos.

1.4.- CLASIFICACION Y COMPOSICION DEL HIERRO BLANCO (A.S.M)

La clasificación de un hierro blanco se basa principalmente en su composición y elementos de aleación, y el hierro blanco tiene una gama de composiciones y elementos de aleación para diversas aplicaciones.

En la siguiente tabla se muestra una clasificación general del hierro blanco.

TABLA N° 1.- CLASIFICACION GENERAL.

| HIERRO BLANCO | C | Si | Mn | Cr | Ni | BH |
|--|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----|
| CUBILOTE | 3.3 a 3.6 | 0.4 a 1.0 | 0.5 a 0.7 | | | 400 |
| CUBILOTE 1% Cr | 3.3 a 3.6 | 0.4 a 1.0 | 0.5 a 0.7 | 0.8 a 1.0 | | 444 |
| MALEABLE | 2.2 a 2.5 | 1.0 a 1.6 | 0.3 a 0.5 | | | 321 |
| MARTENSITICO Ni - Cr | 3.0 a 3.6 | 0.4 a 0.7 | 0.4 a 0.7 | 1.4 a 3.5 | 4.0 a 4.7 | 550 |
| MARTENSITICO Ni-Cr de alta resistencia | 2.9 max | 0.4 a 0.7 | 0.4 a 0.7 | 1.4 a 3.5 | 4.0 a 4.7 | 525 |
| Alto en Cr | 2.2 a 2.8 | 0.2 a 1.0 | 0.5 a 1.2 | 24.0 a 30.0 | | 500 |

En todos los casos el porcentaje máximo de azufre es 0.15, respecto al fósforo el porcentaje máximo esta entre 0.15 y 0.40.

Como la mayor parte de la producción del hierro blanco se hace en una matriz de perlita, es decir, con una estructura de perlita fina y carburo, si se adicionan aleantes para suprimir la transformación de la perlita, se obtienen hierros blancos martensíticos, como se ve en los renglones 4 y 5 de la tabla N°1.

El alto contenido de aleantes hace que la martensita se pueda obtener en secciones tal como se funden. Estas aleaciones se emplean principalmente por su resistencia a la abrasión en recubrimientos y esferas para molinos en equipos para minería, para fabricar cemento para la construcción así como en rodillos para el terminado del acero.

La clasificación que se muestra en la tabla N°2; tiene una mayor importancia para nuestro estudio, ya que es una composición utilizada para la obtención del hierro blanco y al mismo tiempo obtener los rangos de composición típica del hierro maleable ferrítico y el hierro maleable perlítico

TABLA N° 2 .-

CLASIFICACION DEL HIERRO BLANCO PARA LA OBTENCION DEL HIERRO MALEABLE

| ELEMENTO | HIERRO MALEABLE FERRITICO | | H. MALEABLE PERLITICO |
|---------------|---------------------------|-------------|-----------------------|
| | GRADO 32510 | GRADO 35018 | |
| CARBONO TOTAL | 2.30 a 2.65 | 2.00 a 2.45 | 2.00 a 2.65 |
| SILICIO | 0.90 a 1.65 | 0.95 a 1.35 | 0.90 a 1.95 |
| MANGANESO | 0.25 a 0.55 | 0.25 a 0.55 | 0.25 a 1.25 |
| AZUFRE | 0.05 a 0.18 | 0.05 a 0.18 | 0.05 a 0.18 |
| FOSFORO | 0.18 max | 0.18 max | 0.18 max |

El grado 32510 es generalmente producido por el método duplex, el cual es fundido en el horno de cubilote y refinado secundariamente en el horno de inducción. La cantidad de carbono y silicio es mayor que el grado 35018, obteniéndose mejores resultados en lo que respecta a la calidad y costeabilidad, ya que su producción se realiza en masa.

El grado 35018 se puede obtener en el horno de inducción ó cubilote; es controlado relativamente con contenidos bajos de carbono y silicio, por el cual la estructura en el recocido contiene menos porcentaje de grafito que un hierro maleable alto en carbono de tal manera que se obtiene mayor resistencia y ductilidad en el proceso.

COMPOSICION DEL HIERRO BLANCO (A.S.M.)

La composición del hierro blanco se basa principalmente de los siguientes elementos:

CARBONO

La profundidad de enfriamiento decrece y la dureza de la zona de enfriamiento aumenta con el mayor contenido de carbono. El carbono tiene un efecto similar sobre la dureza del hierro blanco; un hierro blanco de bajo carbono (aprox. 2.2%) tiene una dureza de 375 BH, un hierro blanco de un porcentaje de carbono mayor (aprox. 3.5%) puede alcanzar una dureza de 600 BH. Una aleación de hierro blanco con alto carbono es esencialmente para altas durezas y lleva consigo una máxima resistencia; sin embargo decrece la resistencia transversal y aumenta su fragilidad.

SILICIO

El control del contenido de silicio es necesario en la producción del hierro blanco ya que influye en la profundidad de enfriamiento, o interviniendo en otros factores por ejemplo:

- a) Temperatura de vaciado.
- b) Resistencia de las piezas fundidas en la sección de enfriamiento.
- c) Rango de temperatura de enfriamiento.
- d) Tiempo durante el cual, el metal esta en contacto con el enfriamiento.

El rango de silicio para el hierro blanco es gobernado por la magnitud de la sección (el cual controla el porcentaje de enfriamiento).

El silicio debe ser lo suficientemente bajo para prevenir la formación de apreciables cantidades de carbono grafitico. La combinación de carbono y silicio debe ser la apropiada para asegurar que las piezas de fundición sean blancas.

MANGANESO - AZUFRE

La adición de manganeso decrece la profundidad de enfriamiento hasta que el azufre sea neutralizado por la formación de sulfuro de manganeso. Sobre esta cantidad, el manganeso aumenta la profundidad de enfriamiento y dureza. Durante el enfriamiento de la fundición blanca, el manganeso decrece o previene el moteamiento de la sección.

FOSFORO

Aumenta la fluidez y decrece la profundidad de enfriamiento junto -
con el carbono y silicio en proporción de 0.10% P. Este elemento se - -
emplea también durante el temple de la fundición blanca, con un porcen -
taje máximo de 0.40% P.

CAPITULO 2

OBTENCION DEL HIERRO BLANCO

2.1.- TIPOS DE HORNO EMPLEADOS

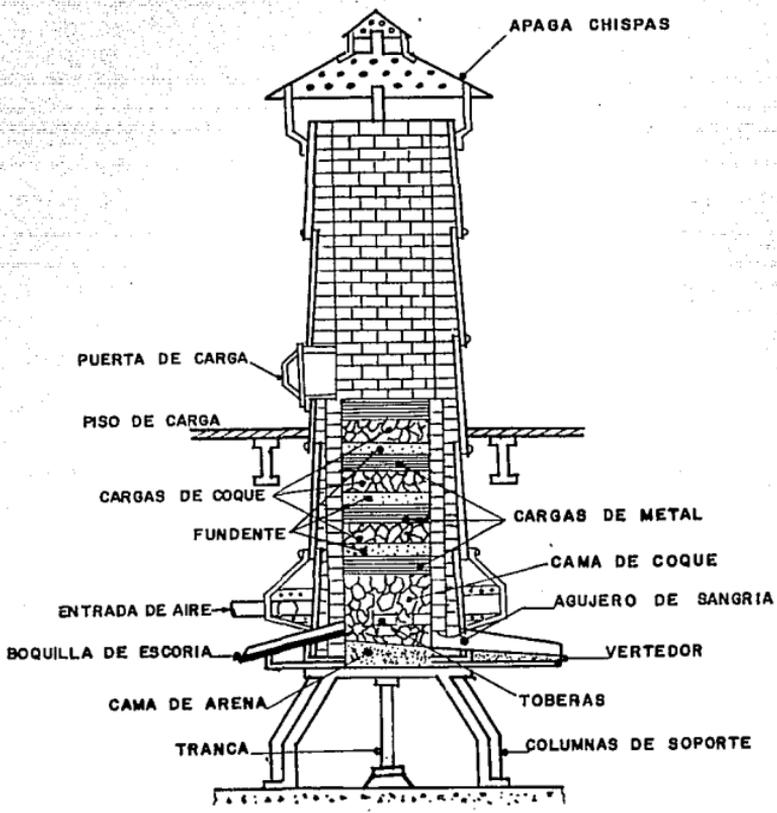
Para la obtención del hierro o fundición blanca se utilizan dos tipos de hornos que son: Horno de cubilote y Horno eléctrico de inducción.

HORNO DE CUBILOTE

En el horno de cubilote una vez cargado el coque hasta la altura conveniente, se procede a poner las cargas procurando en todo momento el descenso de éstas, removiendo con barras cuando se observa que aumenta la llama, lo que es indicio de que el material cargado no baja y si se descuida mucho en hacerlo bajar puede llegar hasta las toberas el hierro sin fundir, y tendremos un entorpecimiento en el horno, ya que al amortiguar las llamas se favorece la formación de anhídrido carbónico (CO_2) y es necesario conocer la combustión de manera que tengamos más anhídrido carbónico, porque quemando 1kg de carbono en forma de anhídrido carbónico desprende 8080 cal/kg y tan sólo 2473 cal/kg cuando se transforma en óxido de carbono (CO), esto se consigue aumentando la cantidad de aire y disminuyendo la cantidad de coque hasta los límites que permitan obtener el máximo rendimiento, ver la figura número 2.1.1.

La combustión en el cubilote además de las calorías desprendidas por los óxidos (CO_2) y (CO), cuenta con las de óxido de silicio (SiO_2) - - 1800 cal/kg, óxido de manganeso (MnO) 1700 cal/kg y óxido de hierro (FeO) 1300 cal/kg que en proporciones pequeñas se forman al fundirse las cargas.

El punto de fusión del hierro puro es aproximadamente de 1538°C, pero en fundición gris este punto varía por estar compuesto por muchos elementos, la alteración más importante se debe a la cantidad de grafito que -



| | | |
|-------------------------|-------------------|------------|
| U . N . A . M FES - C | | I . M . E |
| TESIS PROF. | HORNO DE CUBILOTE | ACOT. |
| 1992 | | ESC. |
| ARGUELLES R.P. | | FIG. 2.1.1 |

contenga.

La temperatura de fusión disminuye con la cantidad de carbono combinado. La fundición blanca, que esta exenta de grafito, funde a una temperatura aproximadamente de 1550°C, estando la temperatura de colada en un rango de 1450° a 1480°C.

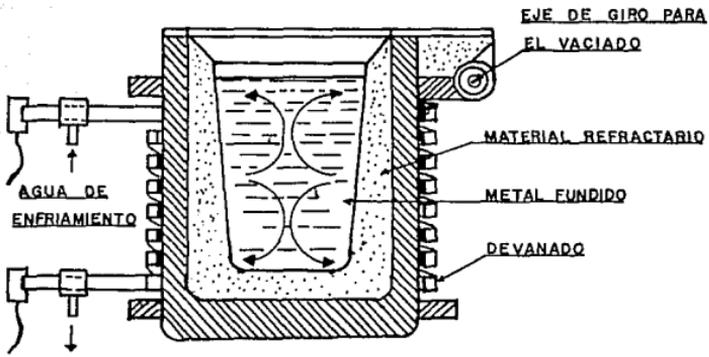
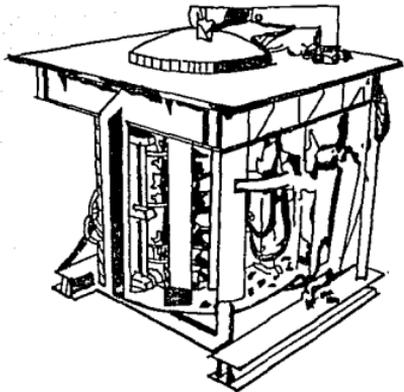
HORNO DE INDUCCION (De alta frecuencia).

En estos hornos el metal se funde en el crisol situado dentro del inductor que no es más que una espiral con varias espiras fabricadas de un conductor de corriente. Por el inductor se hace pasar una corriente - - alterna; en este caso el flujo magnético alterno producido dentro del inductor, induciendo en el metal corrientes parasitas (corrientes de EDDI), el cual provocan calentamiento en la carga metálica y ésta se funde.

La importancia de los hornos de inducción consiste en una intensa circulación del metal líquido. Esta circulación se origina por la interacción de los campos electromagnéticos excitados por las corrientes que pasan por el inductor y también las corrientes parasitas inducidas en el metal, figura número 2.1.2

2.2.- MATERIALES DE CARGA

Consiste usualmente en chatarra de acero al carbono y aceros aleados con bajo contenido de fósforo y azufre, fundentes, desulfurantes y lingotillo de arrabio de alto horno.



| | | | | | |
|----------------|--|--------------------|--|------------|--|
| U N A M | | F E S C | | I M E | |
| TESIS PROF | | HORNO DE INDUCCION | | ACOT. | |
| 1992 | | | | ESC. | |
| ARGUELLES R.P. | | | | FIG. 2.1.2 | |

En general las cargas que se utilizan en dichos hornos son las siguientes:

QUEBLOTE

| | |
|---------------|-----|
| Lingote | 40% |
| Chatarra | 60% |
| Coque | 12% |
| Piedra Caliza | 6% |

INDUCCION

| | |
|------------------|------------------------|
| Lingote | 40% |
| Retorno | 20% |
| Paca de acero | 40% |
| Grafito a granel | ⇒ { El (%) depende de- |
| Ferroaleaciones | |

2.3.- OPERACION DE FUSION PARA EL HIERRO BLANCO Y SU INFLUENCIA EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO TERMICO EN EL MALEABILIZADO.

Para llevar a cabo la preparación del hierro maleable se partirá de la fabricación de un hierro blanco, de tal manera que durante el tratamiento térmico se logre la precipitación del grafito.

A continuación citamos una serie de factores que favorecen la formación de núcleos de grafitización:

1.- FACTORES DE FUSION.

- a).- Sobrecalentamiento.- Se aumenta el número de núcleos sobrecalentando la fundición. Esto es sobre todo sensible cuando sobrepasan los 1500°C.

b).- La adición de ciertos elementos especiales como el aluminio favorecen la formación de núcleos.

c).- Composición.- El silicio y otros elementos grafitizantes favorecen la formación de núcleos.

d).- Equipo de fusión.- Los hornos rotativos y los hornos eléctricos producen más núcleos que los cubilotes debido a la alta temperatura que en ellos se pueden alcanzar y la menor oxidación que produce.

Uno de los factores principales, después del análisis químico es llevar a cabo la solidificación del hierro fabricado, que es el rápido desalojo de la pieza del molde en que fue vaciado, para un enfriamiento rápido:

2.- FACTORES DE SOLIDIFICACION.

a).- En piezas pequeñas se obtienen más núcleos que en grandes.

3.- TRATAMIENTO TERMICO

a).- El temple anterior al recocido de maleabilización favorece mucho la aparición de núcleos de grafitización.

b).- El revenido a una temperatura de 500°C, después del temple aumenta extraordinariamente el número de núcleos de grafitización.

4.- FACTORES DE RECOCIDO

a).- Se obtienen más núcleos de recocido cuando se rodean las piezas con mineral que cuando se rodean en cajas con arena, carbonato básico y algo de coque.

b).- Durante el recocido aumenta el número de núcleos de grafito.

LA INFLUENCIA DEL HIERRO BLANCO EN EL MALEABILIZADO

Si una fundición, con un contenido de carbono de 3.0% se enfría rápidamente desde su estado líquido, sin que se produzca grafitización, -adquiriendo además una coloración blanca, la aleación se llamará --- fundición Blanca, ver la siguiente figura 2.3.1.

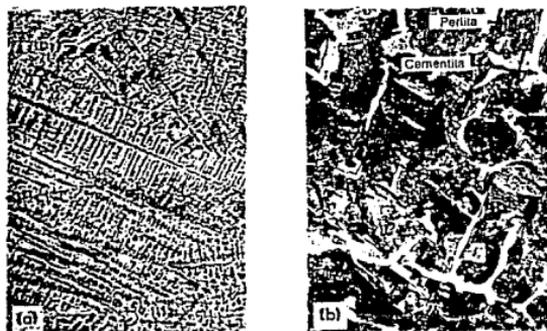


FIG. 2. 3.1

- a) Las áreas oscuras son dendritas primarias de austenita transformada a perlita en una red de cementita blanca. b) La misma muestra con - 250X, que muestra perlita oscura y cementita blanca, atacada con nital al 2%.

Durante el enfriamiento hasta los 1148, la austenita solidifica, a partir de la aleación fundida, en forma de dendritas, aproximadamente el 50% de la aleación se solidifica en esta forma. A los 1148°C, el líquido

alcanza la composición eutéctica de 4.3% de carbono y se solidifica como un eutéctico de austenita y cementita llamado Ledeburita.

Al enfriarse la fundición desde los 1148°C hasta los 727°C, el contenido de carbono de la austenita varía de 2.11% a 0.77%, donde la austenita se transforma en la composición eutectoide de ferrita y cementita (perlita).

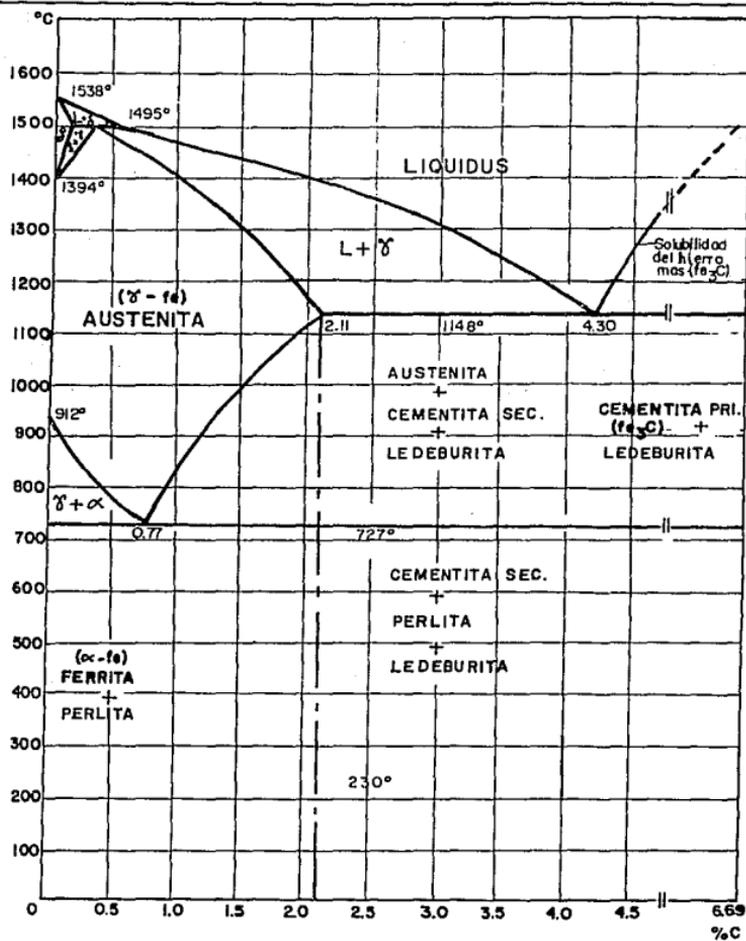
El tipo de solidificación de una fundición blanca puede determinarse, aproximadamente, con ayuda del diagrama hierro-carbono (SIST. METAESTABLE), ver la figura número 2.3.2.

Como ya se menciona anteriormente, el enfriamiento rápido evita la grafitización del carbono combinado en las transformaciones eutéctica y eutectoide de la fundición blanca, pero si se calienta nuevamente la pieza colada a una temperatura aproximadamente de 870°C, el grafito se formará lentamente adoptando una forma característica conocida como Carbono Recocido. La aleación resultante de este proceso se llama "Fundición Maleable ó Hierro Maleable".

La aleación de la matriz puede ser ferrita o perlita, si se enfría más rápidamente a partir de los 727°C al final del tratamiento térmico de maleabilización.

Se puede decir que el carburo que se precipita lo hace durante tres períodos importantes (figura número 2.3.3), los períodos son:

- 1.- 1148°C; la reacción eutéctica, $L \longrightarrow \gamma + \text{carburo}$. Se forman carburos del líquido.
- 2.- 1148 a 727°C; del eutéctico al eutectoide, $\gamma \longrightarrow \gamma + \text{carburo}$. El carburo se cristaliza sobre el carburo existente.



U N A M F.E.S-C I.M.E

| | | |
|---------------|---|------------|
| TESIS PROF. | DIAGRAMA (Fe-C) EN EL SISTEMA METAESTABLE | AGOT. |
| 1992 | | ESC. |
| ARGUELLES R.P | | FIG. 2.3.2 |

- 3.- 727°C; la reacción eutectoide, γ ---- α + carburo (como perlita). La microestructura final tiene, por lo tanto, un alto porcentaje de carburo, duro y frágil.

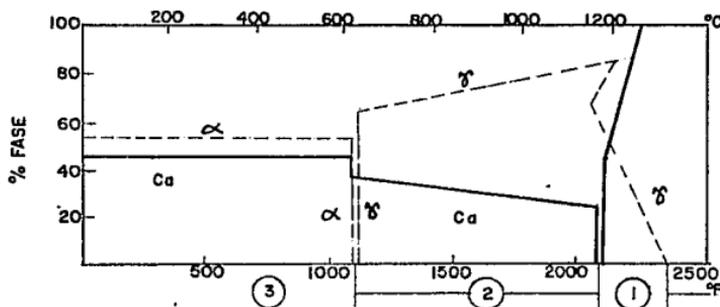


FIG. 2.3.3 Grafica de fracción de fases para el hierro fundido blanco

En una fundición de hierro blanco hipereutético (4.3 a 6.69% C), es probable que contenga laminillas de grafito que se separan en el momento de la solidificación, estas laminillas de grafito pueden existir en el arrabio teniendo un efecto perjudicial sobre la resistencia, entonces a niveles de fundición comercial se evitan este tipo de composiciones hipereutéticas, adoptándose mejor las composiciones de fundición hipoeutética (2.11 a 4.3% C).

Por otro lado tenemos que la fundición de hierro gris o hierro colado, como vulgarmente se le conoce, también puede transformarse en una -

fundición blanca, mediante un tratamiento térmico llamado temple. Este - consiste, una vez que se tienen las piezas coladas de fundición gris, en un calentamiento a una temperatura de aproximadamente 870°C, seguido de un enfriamiento rápido. De esta manera es como se evita la grafitización de la fundición gris obteniéndose una superficie blanca y dura.

La presencia de azufre, cromo y manganeso impiden la formación de - grafito, por eso los hierros ricos en cromo y manganeso son generalmente blancos, aún cuando la profundidad de enfriamiento es lenta.

Como la cementita es un compuesto intermetálico duro y frágil, el - hierro fundido blanco, contiene cantidades relativamente grandes de cementita, la cual hace al hierro duro y resistente al desgaste, y difícil de maquinar, por lo que se vera limitado en las aplicaciones de ingeniería, se utiliza en casos en que la resistencia al desgaste es lo más importante y el servicio no requiere ductilidad, por ejemplo: Camisas para mezcladoras de cemento, bolas de trituración para acería, dados de esti- ramiento, boquillas de extrusión.

El mayor tonelaje de hierro fundido blanco se emplea como material - de inicio, para manufacturas de hierro fundido maleable. A continuación se da las propiedades físicas de una fundición blanca.

TABLA Nº 3.- PROPIEDADES FISICAS DE LA FUNDICION BLANCA

| | | | | |
|-----------------------------|---------------------|---|---------------------|--------------------|
| DUREZA BRINELL | 375 | a | 600 | BH |
| RESISTENCIA TENSIL | 1407.4 | a | 4925.9 | kg/cm ² |
| RESISTENCIA A LA COMPRESION | 14074.0 | a | 17592 | kg/cm ² |
| MODULO DE ELASTICIDAD | 1.7x10 ⁶ | a | 1.9x10 ⁶ | kg/cm ² |

Para mantener un hierro blanco libre de grafito eutéctico durante la solidificación, sin que por ello disminuya demasiado el contenido de silicio, se recurre en la práctica a adiciones de elementos carburígenos - que impidan la formación de grafito eutéctico, pero que a la vez no impida ni retarde la necesaria grafitización durante el recocido de maleabilización.

Enseguida se muestra una serie de elementos que influyen en la solidificación del hierro blanco en el equilibrio Grafito-Cementita.

ELEMENTOS

CARBURÍGENOS

VANADIO

MANGANESO

CROMO

AZUFRE

MOLIBDENO

GRAFITIZANTES

SILICIO

NIQUEL

COBALTO

BORO

ALUMINIO

Los elementos más usados son el boro y el aluminio que se adicionan en cantidades no mayores de 0.003%, la acción beneficiosa de estos elementos en la maleabilización es debida a su propiedad de aumentar la formación de núcleos o centros de grafitización lo que aumenta la cantidad, forma y distribución de nódulos de grafito en el recocido, por lo tanto, la distancia que el carbono soluble en la austenita tiene que recorrer para depositarse en los nódulos en forma de grafito disminuye apreciablemente, facilitando grandemente el recocido y acortando el tiempo necesario para la maleabilización.

2.4.- TIPOS DE FUNDICION MALEABLE

El proposito de la maleabilización de la fundición blanca, consiste en transformar todo el carbono contenido, en forma de rosetas de carbono recocido ó grafito en una matriz de ferrita.

La fundición blanca dió origen a dos procesos en la fabricación del hierro maleable, que son los siguientes:

2.4.1.- Fundición maleable blanca o Europea (de corazón blanco).

2.4.2.- Fundición maleable negra o Americana (de corazón negro).

2.4.1.- FUNDICION MALEABLE BLANCA

Este proceso se descubrió en Europa, aproximadamente en el año de 1722 por Reaumur, quien consiguio experimentalmente esta fundición, haciendo maleable una pieza, con una composición especial y mediante su recocido.

Este proceso consiste en calentar las piezas coladas de hierro blanco a una temperatura de 800 a 980°C, en una atmósfera oxidante, el primer efecto de este calentamiento es la aparición de carbono recocido o grafito, pero debido a la oxidación presente, este carbono recocido es reducido en la superficie de la pieza; el carbono de la cementita (Fe_3C), a unos milímetros de profundidad forma con el oxígeno del óxido de hierro, un gas (CO ó CO_2), que se libera desprendiéndose de la pieza, quedando la pieza constituida por cristales de ferrita y perlita, ver - la figura 2.4.1.1, a y b.

A consecuencia de la descarburización, la estructura varía del centro al exterior, en el centro se encuentran nódulos de carbono recocido y en el exterior se encuentra ferrita.

En la fundición maleable blanca, la estructura y el análisis químico se modifican, por tener una zona descarburizante y por lo tanto una disminución de carbono; esta fundición se emplea para piezas de 3 a 4 milímetros de espesor y con un contenido de carbono de 3 a 4%.

2.4.2.- FUNDICION MALEABLE NEGRA

Esta fundición se descubrió en los Estados Unidos, en el año 1826, por Boyden, quien partiendo de una fundición blanca, efectuó el tratamiento térmico de recocido en una atmósfera neutra, es decir, que no provocase ninguna alteración de carácter químico en el material. Durante el proceso, la fractura del material resultó de color negro aterciopelado, del cual se deriva el nombre de la estructura.

Este proceso consiste en calentar las piezas coladas de hierro blanco a una temperatura de 750° a 950°C, en esta etapa se lleva a cabo la precipitación de grafito, mediante la transformación de la cementita (Fe_3C), por el cual el carbono se separa de ésta para disociarse en la matriz ferrítica, en forma de nódulos irregulares de grafito o carbono recocido, ver la figura número 2.4.1.1, c y d.

Una de las características de esta fundición es la formación de un anillo de perlita y ferrita; la existencia de este anillo es que la ferrita exterior se forma por la descarburización de la pieza, mientras que en el interior se concentra el grafito.

Para elaborar este tipo de piezas, su espesor debe estar comprendido entre 30 y 40 mm, con un contenido de carbono de 2 a 3%.

Fundición maleable blanca (a,b)



(a)

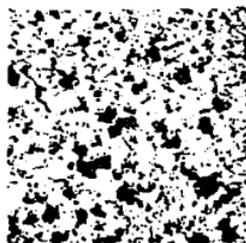


(b)

Fundición maleable negra (c,d)



(c)



(d)

| | | | | |
|-----------------|---------------------------|---------------|----------------|-----------|
| U . N . A . M | | F . E . S - C | | I . M . E |
| TESIS PROF. | FUNDICION MALEABLE BLANCA | | ACOT. | |
| 1992 | Y | | ESC | |
| ARGUELLES R. P. | FUNDICION MALEABLE NEGRA | | FIG. 2. 4. 1.1 | |

2.5.- HORNOS DE MALEABILIZADO

Han sido desde la introducción del hierro maleable de corazón negro, objetivo y meta de estudio para varios investigadores, pues a medida que se conocía más a fondo la dinámica de las transformaciones estructurales llevadas a cabo durante el proceso, surgió la necesidad del desarrollo técnico y mejoramiento de equipo a usar. Enseguida se analizarán algunos de los hornos más empleados, para el maleabilizado ó tratamiento térmico de recocado.

Actualmente en la industria moderna del hierro maleable a gran escala, se utiliza el "Horno Continuo", ya que es uno de los que ofrece mayores ventajas para grandes volúmenes de producción.

Este tipo de horno llega a medir hasta 60 metros de longitud y está diseñado para que la carga pase a través de él, donde se tienen diferentes temperaturas para llevar a cabo el tratamiento térmico.

La carga se introduce mediante un sistema de pistones empujadores - en el extremo de la carga, por lo regular estos hornos tienen capacidad hasta de 99 canastillas de carga que son colocadas en tres carriles, - cargándolos y descargándolos de tres en tres en un determinado lapso de tiempo que varía según la duración del tratamiento.

El ciclo de maleabilizado dura a veces hasta 48 hrs, dependiendo de varios factores como la composición química del hierro, tipo de horno, - tamaño o sección de las piezas y otros factores.

El calentamiento en este tipo de hornos, es por medio de: Tubos radiantes, quemador, canastillas.

A lo largo del horno se puede distinguir tres zonas diferentes que son básicas y son las siguientes:

ZONA CALIENTE O DE ALTA TEMPERATURA.- En esta zona se tiene en el extremo de la entrada la carga y la zona de precalentamiento en donde la carga se va calentando lentamente hasta alcanzar una temperatura de 950°C, después de esta zona se tiene un mantenimiento de temperatura donde la carga es sometida a la temperatura antes mencionada durante 10 ó 12 hrs.

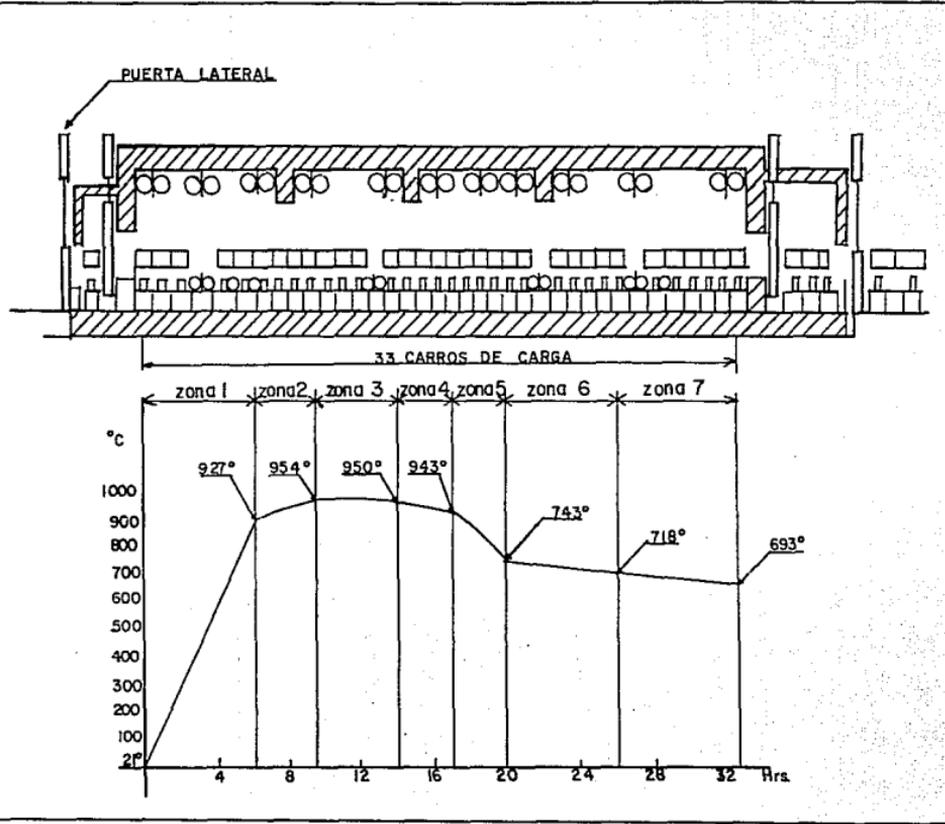
ZONA DE ENFRIAMIENTO.- Esta zona se caracteriza por efectuarse en ella un tratamiento rápido de la carga hasta aproximadamente 760°C, este enfriamiento rápido se lleva a cabo durante tres horas aproximadamente, - al pasar la carga por una zona donde se tienen los tubos radiantes con una circulación de aire frío.

ZONA DE ENFRIAMIENTO LENTO.- Después de la zona de enfriamiento rápido se tiene la zona de enfriamiento lento, donde la carga se enfría durante 13 ó 14 horas desde una temperatura de 760° hasta 700°C, esta zona de enfriamiento lento se llama la segunda fase o escalón de tratamiento de maleabilización la cual es más difícil y necesaria de controlar, por lo tanto, los hornos más modernos que se diseñan para esta parte de recocido, debe de realizarse por medio de electricidad de modo de controlar exactamente la velocidad de enfriamiento necesaria para asegurar una completa grafitización, con un control exacto de temperatura a través de esta zona.

En la figura 2.5.1 se muestra un esquema de un horno continuo típico para maleabilizado y el ciclo que se realiza.

Otros tipos de hornos para maleabilizado son los estacionarios de caja con empaques, los de carro y los de tipo elevador, los cuales son-

U. N. A. M. F. E. S. - C. I. M. F.
 TESIS PROF. 1992
 HORNO CONTINUO DE MALEABILIZADO
 ARRIELLES, R. P.
 ACCOT. ESC.
 FIG. 2.8.1



usados para fundiciones de mediana y baja producción.

HORNOS DE CAJAS

Como su nombre lo indica las piezas se empacan en cajas cuya forma es de crisol y son calentadas exteriormente, en ellos se empaca la carga y se procura cubrirla con algún material inerte como arena de sílice o escorias para evitar reacciones entre la superficie del metal y la atmósfera, desde luego un control adecuado del tratamiento es difícil y el hierro que se obtiene en estos hornos es de baja calidad.

HORNOS DE ELEVADOR

Estos hornos suelen ser de hogar rectangular y son calentados por medio de resistencias eléctricas, en ellos es posible mantener el control de la atmósfera al sellar el elevador y hacer las veces de piso de horno, conteniendo dos cámaras para efectuar las dos partes del tratamiento térmico.

CAPITULO 3

FUNDICION MALEABLE

La fundición maleable se obtiene como resultado de un calentamiento prolongado del hierro blanco a altas temperaturas (recocido).

Con esto se forma grafito en forma de rosetas. Este grafito en comparación con el grafito laminar disminuye considerablemente la resistencia y la estructura de la matriz metálica.

La matriz de la fundición maleable es ferrita (fundición maleable-ferrítica) y raramente perlítica (fundición maleable perlítica).

La mayor plasticidad la posee la fundición maleable ferrítica, que se utiliza ampliamente en la construcción de máquinas.

La fundición maleable se diferencia de la fundición gris por su bajo contenido de carbono y silicio; sin embargo el contenido menor de carbono favorece el aumento de plasticidad y el contenido de silicio al temple al aire de las piezas de fundición, se dificulta la precipitación en estas si persiste la estructura de grafito laminar.

El espesor de la pieza fundida no debe superar los 50 mm, con un tamaño mayor de la pieza de fundición en el corazón se forma grafito laminar y la fundición no es útil para el recocido.

El propósito de nuestro estudio se refiere principalmente a la Fundición Maleable Negra 6 Americana.

3.1.- TIPOS DE HIERRO MALEABLE (A.S.M)

En la actualidad se cuenta con tres tipos diferentes de hierro maleable, que difieren en sus propiedades físicas y metalográficas, aún cuando se parte de un metal base para los tres tipos. El proceso de

maleabilizado para estos tres tipos de hierro maleable también son diferentes y son los siguientes:

- 3.1.1.- HIERRO MALEABLE FERRITICO (GRADO 32510, 35018)
- 3.1.2.- HIERRO MALEABLE PERLITICO (TEMPLADO EN ACRITE)
- 3.1.3.- HIERRO MALEABLE PERLITICO (TEMPLADO AL AIRE)

3.1.1.- HIERRO MALEABLE FERRITICO (GRADO 32510, 35018)

En un principio se menciona la clasificación del hierro blanco para la obtención del hierro maleable ferrítico, conteniendo dos clases de grado:

El grado 32510, se obtiene en el método duplex, para la producción de las piezas de fundición de hierro maleable ferrítico, en masa, conocido también como grado 2°. El grado 35018, se produce en el horno de Inducción ó Cubilote, nombrandosele como grado 1°. Enseguida se da un rango de composición del hierro blanco, que se somete al recocido para obtener el hierro maleable ferrítico para los dos grados:

| | |
|-----------------|--------------|
| CARBONO | 2.00 a 2.65% |
| SILICIO | 0.90 a 1.65% |
| MANGANESO . . . | 0.25 a 0.55% |
| AZUFRE | 0.05 a 0.18% |
| FOSFORO | 0.18% MAX. |

Para el proceso de maleabilizado ferrítico, el principal objetivo es transformar a un hierro blanco de estructura consistente de aproximadamente 29.23% de cementita y 70.77% de perlita fina pero sin exis -

tencia de grafito eutéctico laminar.

El proceso de maleabilizado de acuerdo con los últimos adelantos técnicos y de equipo disponible, se lleva a cabo en un tiempo de 24 a 33 horas. El tratamiento de recocido se verifica en dos etapas o partes en el cual se producen las transformaciones metalúrgicas, ver la figura 3.1.1.1, donde se realiza un ciclo de maleabilizado, con el rango de composición anterior, para elaborar el hierro maleable ferrítico.

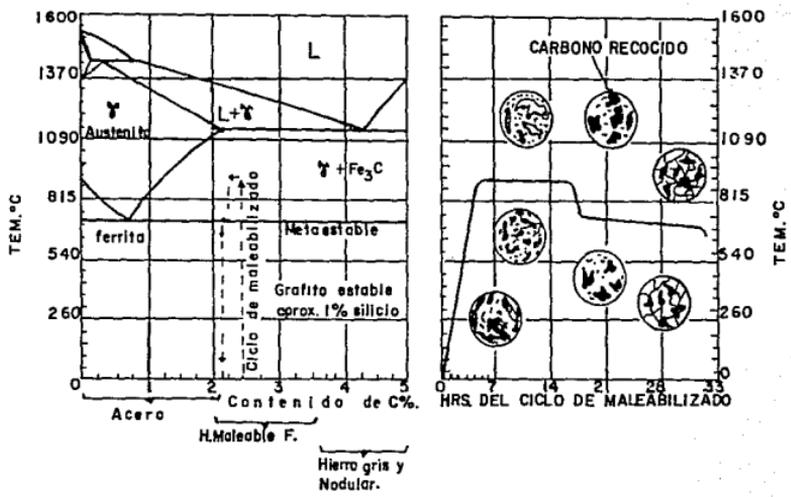
PRIMERA ETAPA DE RECOCIDO PARA EL MALEABILIZADO FERRITICO

Durante la primera etapa de recocido la fundición blanca es calentada entre 800° y 950°C, superior a la del punto eutéctico del diagrama hierro-carbono, donde la perlita laminar fina presente en la estructura en una proporción que varía de 60 a 80%, se transforma en austenita; mediante la difusión del carbono de la cementita dentro del hierro γ , la cual por tener una forma cristalina de red cúbica centrada en las caras permite la disolución del carbono hasta cierto límite por el acomodamiento de átomos de carbono en el interior de las celdas cristalinas-cúbicas del hierro γ . Los carburos libres ó cementita primaria que constituyen el otro componente estructural del hierro blanco no es afectado por el calentamiento hasta la temperatura de austenización, como se aprecia en la figura 3.1.1.1, donde la estructura del hierro blanco-arriba de la temperatura eutéctico consiste de cementita o carburo primario en austenita.

En esta etapa permanece de 6 a 14 hrs. o más según las necesidades y la composición de las piezas de fundición, durante el cual se lleva a cabo la grafitización del carbono contenido en toda la estructura, con la separación de cementita y el grafito en forma de rosetas mediante la reacción siguiente:



Diagrama de constituyentes y tratamiento térmico para el hierro maleable. El ciclo de maleabilizado esta a la izquierda y el cambio en la microestructura esta en el diagrama de la derecha.



U N A M F E S C I M E
 TESIS PROF.
 1992
 ARGUELLES R. P.
 DIAGRAMA DE CONSTITUYENTES
 ACOT.
 ESC.
 FIG. 3.1.1.1

En la mayor parte de las reacciones químicas, la reacción se lleva a cabo más rápidamente aumentando la temperatura, además que la solubilidad del carbono se ve aumentada por la misma razón, temperaturas mayores y cercanas al punto eutéctico no son recomendables pues aceleran la grafitización del carbono contenido en la cementita, provocando baja resistencia y se produce la deformación de las piezas, resultando antieconómico esta práctica y el gasto excesivo del refractario y combustible en los hornos. La temperatura óptima para llevar a cabo la grafitización en el hierro blanco, sin tener efectos dañinos es alrededor de 950°C, aunado esto a los siguientes factores:

- Manteniendo esta temperatura a 950°C, durante períodos largos de tiempo.
- Altos contenidos de carbono.
- La presencia de elementos que ayudan a la descomposición de la cementita mediante su acción grafitizante, tales como son el silicio, boro y aluminio.

La austenita del sistema metaestable puede disolver más carbono que la austenita del sistema estable de modo que si el hierro solidifica de acuerdo con el sistema metaestable, existe una tendencia del carbono a precipitar a la austenita como grafito libre originándose una cristalización en la interface de la cementita-austenita y la cantidad de carbono de la austenita decrece, en donde induce a la cementita adyacente a disociar más carbono y el carbono se deposita en forma de grafito en los núcleos de grafitización, formando núcleos irregulares.

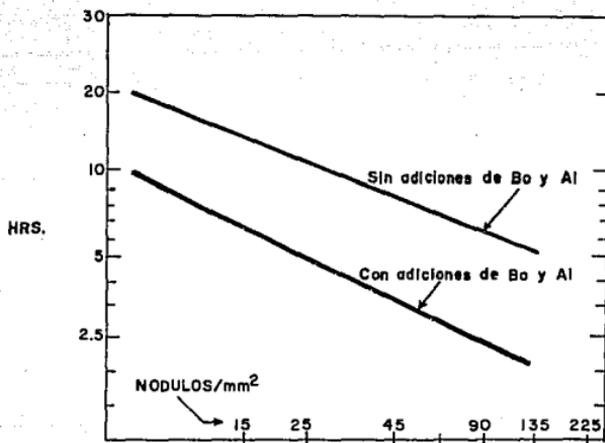
Resumiendo la primera etapa de recocido para la maleabilización - en sus procesos simultáneos son:

- Solución de la cementita en su interface con la austenita.
- Disociación de la cementita en sus dos elementos constituyentes, hierro y carbono.
- Migración de los átomos de carbono a través de la matriz de austenita hacia los núcleos de grafitización en la interface austenita-cementita.
- Precipitación del carbono en forma de grafito en los núcleos de modo que estos van creciendo.

Manteniendo al hierro blanco a la temperatura antes mencionada, - los cuatro pasos descritos se llevan a cabo hasta que toda la cementita es transformada o grafitizada, la estructura del hierro se compone de nódulos de grafito en una matriz de austenita en un punto de saturación de carbono de acuerdo con la temperatura de recocido, ya que - para hacer un fácil maleabilizado es necesario obtener un número suficiente de núcleos de grafitización.

Para aumentar el número de núcleos de grafitización se recurre a las siguientes prácticas:

- Obtener una dispersión fina de los carburos libres en el - hierro blanco mediante un enfriamiento rápido durante la - solidificación.
- Adicionar al hierro elementos grafitizantes como boro y - aluminio
- En la práctica se considera adecuada una cuenta de nódulos - de 80 a 120 por milímetro cuadrado, para poder obtener un - maleabilizado completo, ver la figura 3.1.1.2



Efecto del número de nódulos sobre el tiempo requerido para la primera parte del — maleabilizado.

| | | | |
|-----------------|--------------------------------|---------------|--------------|
| U. N. A. M | | F. E. S. - C. | I. M. E. |
| TESIS PROF. | NODULOS POR MILIMETRO CUADRADO | | ACOT |
| 1992 | | | ESC. |
| ARGUELLES R. P. | | | FIG. 3.1.1.2 |

SEGUNDA ETAPA DE RECOCIDO PARA EL MALEABILIZADO FERRITICO

Después de la primera etapa de recocido, las piezas fundidas se enfrían, entre 670° y 727°C, en preparación para la segunda etapa del tratamiento térmico, el ciclo de enfriamiento requiere de 2 a 6 horas, dependiendo del equipo utilizado.

En la segunda etapa de recocido, las piezas fundidas se enfrían lentamente a una velocidad de 8°C/hr, en la cual tendrá lugar la reacción eutectoide; durante el enfriamiento lento, se facilita la transformación de la cementita secundaria, que se precipita de la austenita y la transformación de la cementita perlítica en ferrítica y grafito en forma de rosetas. Como consecuencia del recocido completo la estructura se compone de formaciones redondas de grafito y granos de ferrita. A esta estructura se le conoce con el nombre de "Hierro Ferrítico Maleable o Estandar", como se muestra en la figura 3.1.7.3

Si la velocidad de enfriamiento es lenta la transformación procede de acuerdo con el sistema estable hierro-grafito, en tanto si la velocidad de enfriamiento es rápida, la grafitización no es completa entonces la transformación se lleva a cabo con el sistema metaestable hierro-cementita formándose perlita, esta perlita puede ser grafitizada a una velocidad de enfriamiento demasiado lenta, esto puede explicarse por solubilidad baja de carbono en la ferrita y por eso se tiene una velocidad lenta de difusión del carbono.

Se puede deducir de lo anteriormente dicho, que para obtener buenos resultados es necesario tener una velocidad de enfriamiento lenta y uniforme a través del intervalo crítico de temperatura eutectoide, así mismo la velocidad de enfriamiento debe ser lenta después de pasar el intervalo crítico con el fin de obtener una grafitización com-

pleta de la perlita en la segunda etapa, o de lo contrario el carbono a causa de una velocidad baja de difusión de la austenita a esta temperatura y en la ferrita después de atravesar la temperatura eutectoide no alcanza a depositarse en forma combinada, formándose perlita en las zonas adyacentes a los nódulos produciéndose la estructura llamada "Ojo de buey", la cual implica una deficiencia en la grafitización de esta segunda etapa.

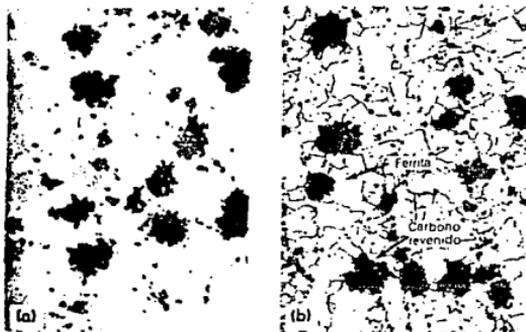


FIG. 3.1.1.3

a) Hierro maleable con nódulos de grafito "carbono recocido". b) Hierro maleable ferrítico atacado con 5% de nital.

Por otro lado se puede tener el caso de una área perlítica alrededor de la superficie de una pieza, sin tener propiamente un anillo perlítico producido por condiciones reductoras en la atmósfera del

horno, este tipo de estructura presenta un área perlítica abajo de la superficie de la pieza entre dos zonas completamente ferríticas y causada por la ausencia de nódulos de grafitización en el área cercana a la superficie de la pieza, por lo que el carbono no alcanza a recorrer distancias de difusión tan grandes hacia los nódulos interiores y queda depositado en forma combinada, formando el área perlítica antes mencionada, como se ve en la figura número 3.1.1.4



FIG. 3.1.1.4.

Estructura de un ojo de buey , los nódulos de carbono recocido están rodeados por áreas de ferrita blancas, con perlita laminar oscura localizada entre los ojos de buey.

Se ha comprobado que la baja concentración de nódulos en la zona superficial de las piezas es debida a la descarburización por oxidación y por un bajo contenido de carbono en el hierro.

3.1.1.1.- PROPIEDADES FISICAS DEL HIERRO MALEABLE FERRITICO

Designación A.S.T.M (American Society for Testing Matereals)

a.-) GRADO 32510

Resistencia mínima a la tracción

3515 kg/cm² ——— 50,000 lb/plg²

Resistencia elástica mínima

2285 kg/cm² ——— 32,500 lb/plg²

Resistencia a la compresión

1406 kg/cm² ——— 20,000 lb/plg²

Módulo de elasticidad

1.76 X 10⁶ kg/cm² 2.3 X 10⁷ lb/plg²

Alargamiento en barra

50.80 mm (2 plg), 2%

Resistencia al corte

80 a 90% de la resistencia a la tracción

Dureza Brinell

110 - 156

Aplicaciones del hierro maleable ferrítico, grado 32510.- Conexiones para tubería, cajas de engranes, eslabones de cadena, perchas y columpios de muelles, zapatas para frenos, masas para ruedas, piezas para la industria automotriz, eléctrica, ferroviaria e implementos agrícolas.

b.-J GRADO 35018

Resistencia a la tracción

3726 kg/cm² ——— 53,000 lb/plg²

Resistencia elástica mínima

2461 kg/cm² ——— 35,000 lb/plg²

Alargamiento en barra

50.80 mm (2 plg), 18%

Módulo de elasticidad

1.75 X 10⁶ kg/cm² ——— 2.0 X 10⁷ lb/plg²

Dureza Brinell

110 ~ 145

Aplicaciones del hierro maleable ferrítico, grado 35018.- Se emplea en herramientas de mano y piezas sujetas a alta presión, artículos para la industria petrolera, palancas de accionamiento de aparatos en general y piezas para la industria ferroviaria.

3.1.2.- HIERRO MALEABLE PERLÍTICO (TEMPLADO EN ACEITE)

La primera etapa de grafitización es un requisito indispensable para todos los métodos de manufactura de las piezas de hierro maleable.

La fundición de hierro maleable perlítico se obtiene por medio del recocido incompleto. Después de la primera etapa de grafitización a 950°C la fundición se enfría dentro del horno sin realizar la segunda etapa de grafitización. La estructura de la fundición maleable perlítica se compone de perlita fina y carbono recocido. Para elevar la resis-

tencia, la fundición maleable perlítica se somete a la esferoidización calentando entre 650° y 784°C, con el cual se obtiene la estructura de perlita granular.

Algunos de los métodos empleados para acelerar el recocido en el hierro maleable perlítico son:

- a.- El temple de la fundición blanca antes de recocerla, para aumentar los núcleos de grafitización.
- b.- La modificación de la fundición blanca con aluminio ó titanio.
- c.- El tratamiento térmico previo a bajas temperaturas para eliminar el hidrógeno, en relación a la primera etapa de grafitización se deja en un medio líquido (baño de sales), y la esferoidización en el horno eléctrico de mufla de 734° a 784°C.

La cantidad de perlita formada depende de la temperatura a que empieza el enfriamiento y la rapidez de enfriamiento; las altas temperaturas y rapidez de enfriamiento dan como resultado mayores cantidades de carbono retenido ó perlita.

Para el proceso del hierro maleable perlítico se requiere de una composición específica de un hierro blanco, por ejemplo:

| | |
|-----------------|--------------|
| CARBONO . . . | 2.00 a 2.65% |
| SILICIO . . . | 0.90 a 1.65% |
| MANGANESO . . . | 0.25 a 1.25% |
| AZUFRE . . . | 0.05 a 0.18% |
| FOSFORO . . . | 0.18% MAX. |

Si el temple en aceite produce una rapidez de enfriamiento suficientemente rápida a través del intervalo eutectoide la matriz será perlítica totalmente.

En los hierros maleables es común revenir después del enfriamiento en aceite u otro medio. El hierro maleable perlítico de estructura gruesa se revena a temperaturas elevadas entre 600° y 650°C para esferoidizar la perlita, ver la figura 3.1.2.1, mejorando la maquinabilidad y tenacidad acompañada de la disminución de dureza, pero si se desea aumentar las propiedades mecánicas de la matriz, es necesario recalentar de 15 a 30 minutos a una temperatura de 734° a 784°C para reautenizar y homogenizar la estructura de la matriz.

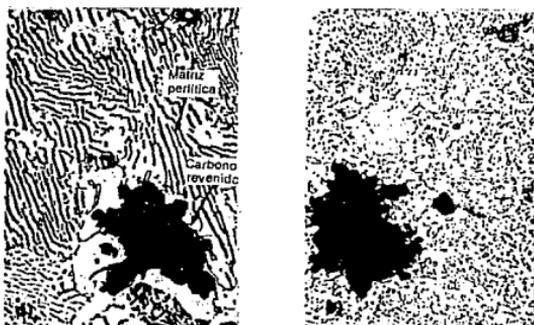


FIG. 3.1.2.1

a) Hierro maleable perlítico con 500X, b) Microes —
 tructura de un hierro maleable perlítico revenido
 para obtener una matriz esferoidal con 500X.

3.1.2.1.- PROCESO DE MALEABILIZACION PERLITICO (TEMPLE EN ACEITE)

Este proceso consiste en aprovechar el mismo horno que se utilizo para el proceso de maleabilizado ferrítico, de acuerdo a lo siguiente:

- En el horno de recocido, se mantendrá por 6 hrs. mínimo de 850 a 950°C, una hora antes de salir las charolas del horno se baja la temperatura a 784°C.
- Las charolas se vaciarán en un tanque de aceite para su enfriamiento rápido.
- La temperatura de temple con aceite debe ser de 60° ± 10°C.
- El aceite del tanque debe estar en un completo estado de agitación.
- Al salir la pieza del tanque no debe de almacenarse por un período mayor de 2 hrs, inmediatamente debe pasar a los hornos de revenido para evitar que se agrieten.
- Las piezas seran pasadas al tratamiento de revenido, donde se colocarán encima de la banda del horno y la velocidad de la banda estará en función del tiempo de revenido como también de la sección de las piezas a tratar.

Algunos de los usos del hierro perlítico maleable en la industria son: Cajas para ejes, diferenciales, ejes de levas, cigueñales para automóvil, engranes, pernos de unión y sobre todo para la elaboración de armas de fuego.

3.1.2.2.- PROPIEDADES FISICAS DEL HIERRO MALEABLE PERLITICO (TEMPLE EN ACEITE)

Designación A.S.T.M (American Society for Testing Materials)

Resistencia mínima a la tracción

5624 kg/cm² ——— 80,000 lb/plg²

Alargamiento en por ciento

50.80 mm (2 plg), 2%

Dureza Brinell

197 - 241

3.1.3.- PROCESO DE MALEABILIZACION PERLITICO (TEMPLADO AL AIRE)

Este proceso consiste en aprovechar el horno que se ocupó para el hierro maleable perlítico templado en aceite, con la diferencia que en lugar de vaciar las charolas en un tanque de aceite, las charolas se vaciarán en una parrilla vibratoria encerrada, que se encuentra a la salida del horno con ventiladores para el enfriamiento rápido a través del intervalo eutectoide. Una vez que las piezas han sido templadas con aire, pasaran a los hornos de revenido, para dar ciclos de revenido mucho más largos en comparación con las piezas de hierro maleable perlítico templado en aceite, consecuentemente tendremos propiedades físicas diferentes, ver la fig. número 3.1.3.1.

El hierro maleable perlítico templado al aire, se utiliza en la fabricación de: Balancines, embragues, bridas de ajuste para discos de freno, palancas de accionamiento para aparatos en general, piezas e implementos para la industria petrolera.

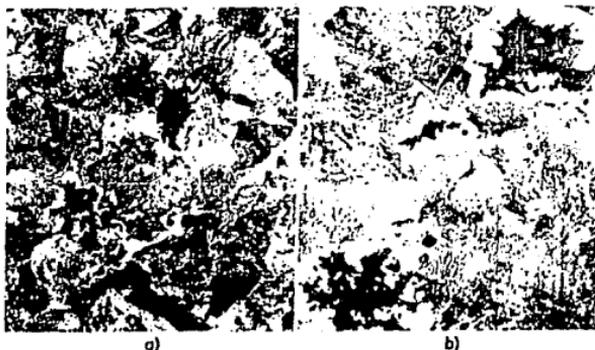


FIG. 3.1.3.1

Temple al aire del hierro maleable perlítico

0.45% Mn, 0.13% S, 1.50% Si, con 400X.

a) Temple rápido con rafagas de aire, -

b) Temple lento en aire.

3.1.3.1.- PROPIEDADES FISICAS DEL HIERRO MALEABLE PERLITICO (TEMPLE AL AIRE)

Designación A.S.T.M (American Society for Testing Matereals)

Resistencia mínima a la tracción

4569 kg/cm² ————— 65,000 lb/plg²

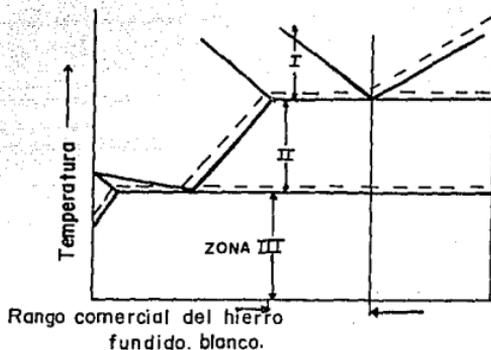
Alargamiento en porciento

50.8 mm (2 plg.), 10%

Dureza Brinell

170 - 207

Se muestra una representación esquemática de los procesos de maleabilización, en la figura número 3.1.3.1.1,



L - Líquido

P - Perlita

α - Ferrita

γ - Austenita

G_1 - Grafito - Carbono Recocido

| Enfriamiento rápido | |
|---------------------|------------------|
| I | $\gamma + L$ |
| II | $\gamma + Fe_3C$ |
| III | $P + Fe_3C$ |



H.F. BLANCO

Recalentar y mantener en la zona II.

| | Enfriamiento lento | Enfriamiento rápido |
|-----|--------------------|---------------------|
| II | $\gamma + G_1$ | $\gamma + G_1$ |
| III | $\alpha + G_1$ | $P + G_1$ |



H. MALEABLE FERRITICO. H. MALEABLE PERLITICO.

U . N . A . M

F.E.S - C

I.M.E

TESIS PROF.

1992

ARGUELLES R. P

RESUMEN MICROESTRUCTURAL

Y DE FASES.

ACOT.

ESC.

FIG. 3.1.3.1.1

METODO DE RECOCIDO

El recocido de la fundición maleable se efectúa en los hornos de crisol de tunnel, en los hornos de acción continua con atmósfera protectora; durante el recocido en los hornos sin atmósfera protectora, las piezas moldeadas de fundición blanca se colocan en cajas (de acero ó fundición blanca) llenandolas de arena.

En los hornos con atmósfera protectora, las piezas moldeadas se depositan directamente en cubetas, lo que reduce la duración del recocido y da una buena protección.

3.2.- PRINCIPALES REACCIONES SUPERFICIALES EN LOS HIERROS TRATADOS TERMICAMENTE

En cualquier proceso de tratamiento térmico del hierro es primordial mantener un control estricto sobre la atmósfera existente en los hornos, de lo contrario la superficie de las piezas tratadas sufrirán deterioros debido a las reacciones de oxidación entre la superficie del metal y la atmósfera.

Para el caso que estamos tratando, el proceso de maleabilización de la fundición blanca, requiere el uso de una atmósfera inerte de nitrógeno con contenidos balanceados de monóxido de carbono y dióxido de carbono y desde luego una eliminación casi total de oxígeno, es de vital importancia para obtener un hierro maleable de transformaciones estructurales adecuadas, como se muestra en la figura 3.2.1.

La estructura del hierro maleable consiste como ya se menciono anteriormente en micronódulos de carbono grafitico uniformemente distribuidos en una matriz ó fondo de ferrita, esta microestructura puede -

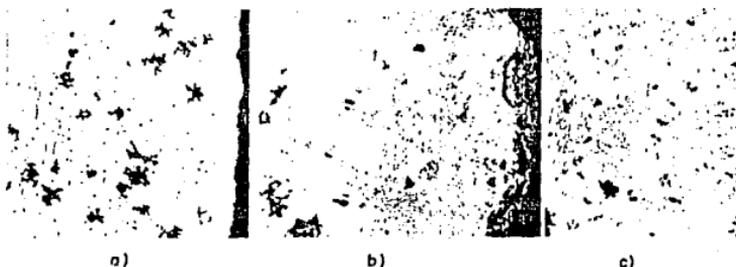


FIG. 3.2.1

Influencia de la atmósfera del horno en el recocido sobre la superficie de la estructura del hierro maleable, con 100X.

- a) Atmósfera conveniente 15.6% de CO y 5.4% de CO₂.
 b) Atmósfera del horno con alto (%) de CO.
 c) Atmósfera del horno con alto (%) de CO₂.

sufrir transformaciones en las superficies de las piezas debido a la acción del oxígeno, el bióxido y monóxido de carbono e inclusive del hidrógeno.

La eliminación total o parcial de este problema se consigue introduciendo en el horno de maleabilizado una atmósfera inerte y la forma más práctica de hacerlo es mediante el uso de una unidad generadora para esta atmósfera.

La finalidad de una unidad generadora de atmósfera inerte para maleabilizado no es en sí la producción de una atmósfera con 100% de nitrógeno sino la de una atmósfera de composición adecuada para el tipo y funcionamiento de los hornos de maleabilización. Al meter la carga al horno se introduce algo de oxígeno del aire de la atmósfera exte --

-rior y el horno debe contener cantidades adecuadas de monóxido de carbono para atrapar el oxígeno y formar bióxido de carbono en proporción tal que la cantidad formada esté balanceada con el monóxido de carbono que proviene de la atmósfera generada. De lo anterior se deduce que la atmósfera generada por la unidad debe estar libre de bióxido de carbono pues de lo contrario se tendrá en el horno una excesiva concentración de éste y se provocará la oxidación de la superficie del metal.

Básicamente una unidad generadora para producir una atmósfera inerte ideal para el proceso de maleabilización debe operar, en la siguiente forma:

Una mezcla adecuada de gas natural y aire son quemadas y los productos de esta combustión son en su mayor parte bióxido de carbono y vapor de agua, en menor proporción de monóxido de carbono. El bióxido de carbono en exceso debe ser eliminado por absorción en una solución saturada de mono-etanol-amina, esta absorción se lleva a cabo por torres por donde se hace pasar el gas obtenido de la combustión.

Existen principalmente dos reacciones superficiales en los hierros-tratados térmicamente y son los siguientes:

- 1.- OXIDACION.- El cambio más común que tiene lugar en la superficie de los hierros, es la oxidación que es el resultado de la combinación del oxígeno con el hierro, en alguna de sus formas como ($2FeO$, Fe_2O_3 , Fe_3O_4). El oxígeno así producido puede constituir una fina película ó una gruesa capa.
- 2.- REDUCCION.- La reducción es opuesto a la oxidación, una pieza de hierro con la superficie oxidada cuando se le calienta hasta el rojo en una atmósfera que contenga hidrógeno y monóxido de carbono, quedará con el óxido reducido a hierro puro de color gris plateado.

Entre las atmósferas protectoras que se aplican se encuentran las inertes y las reductoras que son utilizadas como protectoras en el tratamiento térmico.

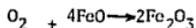
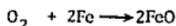
La atmósfera protectora más simple para el tratamiento de los hierros está formada por un gas inerte puro, tal como el argón, este gas no reacciona con la superficie del hierro para formar costras o cascarrillas de óxido, no se disuelve en el hierro ni ataca a las superficies pulidas, sin embargo, el argón no es de uso práctico por su alto costo y también debido a que no puede mantener la pureza requerida en el horno.

Dado que el nitrógeno es un gas inerte constituye otra alternativa pero, a pesar de su fácil adquisición en general no forma una atmósfera protectora adecuada debido a su propia carencia de protección contra impurezas tales como el oxígeno y descarbonización que produce en el hierro.

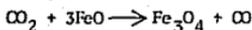
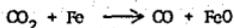
REACCION OXIDANTE

El oxígeno tanto en su estado libre en el aire ó en combinación con el CO_2 es la causa más común de oxidación que se desea evitar.

Las siguientes reacciones son el resultado característico del oxígeno libre en contacto con el hierro a temperaturas elevadas:



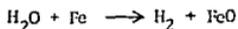
Estas oxidaciones pueden representar una variación entre un color azul fuerte y una capa de óxido suelta. El CO_2 reaccionará con el hierro de acuerdo con las siguientes ecuaciones:



Estas reacciones deben considerarse como residuales hasta un punto de equilibrio, en el cual la concentración del monóxido de carbono producido equilibrará la concentración de bióxido de carbono.

Si una atmósfera contiene partes iguales de monóxido y bióxido de carbono, se podrá calentar hierro en ella hasta una temperatura de 538°C aproximadamente sin que se forme oxidación azul.

La reacción de oxidación que sigue en importancia es la de vapor de agua con el hierro, de acuerdo con la siguiente ecuación:

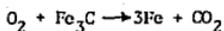


REACCION CARBURIZANTE Y DESCARBURIZANTE

El oxígeno a la vez que óxida también es un descarburizante en el hierro y carburo de hierro. Si la formación de la capa de óxido es rápida, el hierro se eliminará con tanta rapidez como el carbono, y la superficie resultante no mostrará descarburización, en cambio si el proceso de oxidación es lento el carbono puede eliminarse con mayor rapidez que el hierro, resultando la descomposición.

Las reacciones de oxígeno con el carbono y el carburo de hierro son las siguientes:





El vapor de agua oxidará al hierro y es un fuerte descarburizante. Como los demás gases oxidantes el CO_2 es descarburizante, además el CO_2 no sólo se combina directamente con el hierro y el carburo de hierro, si no se combinará con el hidrógeno para producir vapor de agua - por medio del CO_2 con el carburo de hierro que es:



Esta ecuación muestra que para mantener un equilibrio entre fases y el carburo de hierro debe existir una cierta relación de CO y CO_2 .

3.3.- INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS SOBRE LA MALEABILIZACIÓN DEL HIERRO Y SUS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS.

Para obtener un hierro maleable de buenas cualidades mecánicas y una buena disponibilidad para el maleabilizado, es necesario que el contenido de carbono se encuentre dentro de ciertos límites bien definidos, de los cuales no debe subir ni bajar. Deberá buscarse, por otra parte, un equilibrio entre el contenido de carbono, el contenido de silicio y el espesor de las piezas que se producirán. En efecto, el contenido de silicio se va a ver afectado por el carbono, en relación al maleabilizado, pues en términos generales podemos decir que el tiempo del ciclo de maleabilizado se acorta con un mínimo de carbono y un máximo de silicio. Esto se ajusta perfectamente bien al caso de piezas gruesas que requieren un mínimo de carbono; pero no a las delgadas que permiten un mayor contenido de carbono y que además lo exigen ya que de otra manera, la fluidez del hierro bajaría peligrosamente.

SILICIO

El silicio es un elemento sin el cual no habría maleabilizado, ya que ejerce una gran influencia grafitizante en dicho proceso, es decir, hace que la cementita se disocie en sus elementos Fe y C, y permite la formación de nódulos durante el maleabilizado, por eso es conveniente mantener su contenido al más alto nivel permisible, sin caer en la grafitización primaria, es decir, la precipitación del grafito durante la solidificación.

La acción grafitizante del silicio aumenta cuando tenemos velocidades de solidificación lentas, sobre todo cuando se producen piezas de sección delgada.

En cambio con un contenido bajo de silicio se pueden tratar piezas de sección más gruesas aunque el ciclo sea de mayor duración.

La influencia del silicio tanto en la primera etapa de grafitización como en la segunda etapa, se muestra en las gráficas de las figuras 3.3.1 y 3.3.2.

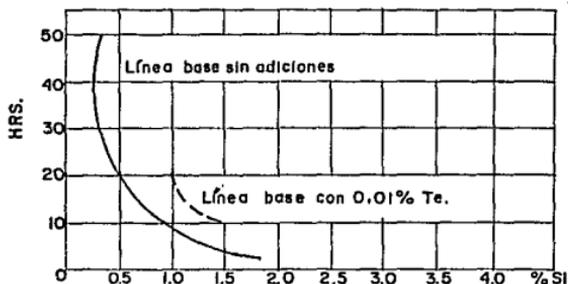


Fig. 3.3.1. Efecto del contenido de silicio en el tiempo requerido para la primera etapa de grafitización a 950°C para un calentamiento sin telurio o con 0.01% de telurio

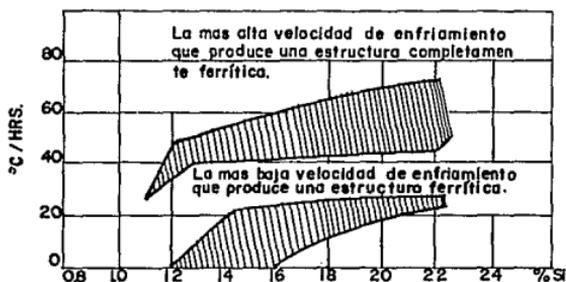


Fig. 3.3.2. El rango de la velocidad de enfriamiento de la segunda etapa de grafitización, esta en función del contenido de silicio.

AZUFRE Y MANGANESO

Los contenidos de azufre y manganeso deben estar balanceados para asegurar que todo el manganeso se combine con el azufre, y que sólo una mínima cantidad de manganeso esté presente en la fundición blanca, en exceso cualquiera de estos dos elementos retardaría la segunda etapa de grafitización y por lo tanto incrementaría los costos de maleabilizado y disminuiría la cantidad de las piezas tratadas.

Téoricamente se necesitan 1,7 partes de azufre para que se combine con una parte de manganeso y formen MnS , pero ordinariamente el contenido de manganeso se mantiene un poco en exceso, dicho exceso es del orden de tres veces el contenido de azufre ó dos veces el contenido de azufre más el 15%.

Una cantidad mayor de azufre a la necesaria para balancear el manganeso incrementa la nucleación, pero retarda peligrosamente la primera etapa de grafitización.

Puesto que tanto el azufre como el manganeso son carburo-estabilizadores, ejercerán un efecto estabilizador en los carburos de hierro.

Un exceso de manganeso tiene poca influencia en el proceso de solidificación y sólo retarda debidamente la primera etapa de grafitización.

En la grafitización eutectoide el manganeso es un fuerte carburo-estabilizador. Para fabricar hierros maleables perlíticos aleados si se emplea ventajosamente un exceso de manganeso como retardador de la segunda etapa de grafitización.

Un exceso de azufre retarda tanto la primera etapa como la segunda etapa de grafitización.

3.3.1.- EFECTO DE LOS ELEMENTOS RESIDUALES

CROMO

Este elemento está presente en todos los hierros maleables por lo menos en forma residual ya que es introducido con la chatarra de acero en la carga. Se halla contenido tanto en el carburo como en la austenita en una proporción de 5:8.1.

Puesto que el cromo es un fuerte estabilizador de carburos, cantidades en exceso del orden de 0.04 - 0.05% son indeseables en el hierro maleable ya que hace más difícil el maleabilizado. La alta tendencia del cromo a estabilizar los carburos se puede neutralizar mediante una adición de boro en forma de ferro-boro ó boro-aluminio.

FOSFORO

El fósforo es otro de los elementos que está siempre presente en el hierro maleable, su origen es el mineral de hierro que se carga a los altos hornos de donde se reduce el arrabio o hierro de primera fusión que es el material base para la fabricación de los hierros colados. Posee la mitad de la efectividad del carbono para mejorar la fluidez pero favorece la grafitización primaria ya que amplía el rango de enfriamiento eutéctico.

Un alto contenido de fósforo y silicio, junto con un rápido enfriamiento del hierro desde 593° a 204°C hará que el metal se vuelva frágil a la temperatura ambiente ó por encima de ella.

MOLIBDENO

Es un retardador moderado de la primera y segunda etapa de grafitización, mejora las propiedades físicas de los hierros maleables arriba

de los 650°C, estabilizando además su estructura. Se puede emplear también para evitar la fragilización en el revenido.

ALUMINIO

Es un poderoso grafitizante, pero tiende a perjudicar las propiedades mecánicas. Debido a que es un poderoso desoxidante, su acción de limpiar y refinar el metal conduce a incrementar la ductilidad y mejora la fluidez. Si el contenido de aluminio se eleva por encima de 0.01% entonces nos daña las propiedades mecánicas como consecuencia de la falta de sòlidez que ocasionan las inclusiones de aluminio.

BISMUTO

Adiciones arriba de 0.01% se usan para evitar la formación de grafito primario en estado de fundición, pero es común agregar al mismo tiempo boro en cantidades superiores de 0.004% para neutralizar la tendencia carburo-estabilizadora del bismuto durante el maleabilizado.

TELURIO

Es un fuerte carburo-estabilizador que se agrega al metal líquido en cantidades menores de 0.005% para evitar la grafitización primaria. Debido a su tendencia a retardar el maleabilizado, juntamente con él se agrega un 0.3% más de silicio.

Las adiciones de telurio a los hierros maleables pueden incrementar ó disminuir la cantidad de nódulos, dependiendo del contenido de silicio y otros aleantes.

COBRE

El cobre disminuye el tamaño e incrementa el número de nódulos de carbono recocido producidos durante la primera etapa de grafitización. Consecuentemente se puede reducir el tiempo del ciclo de maleabilizado.

También tiene influencia en la grafitización primaria equivalente a un décimo de la del silicio; por lo tanto para evitar la tendencia al moteado el contenido de silicio debe reducirse en 0.1% por cada 1.0% de cobre que se añade.

BORO

El boro en cantidades de 0.1% ejerce un efecto grafitizante y por lo tanto apresura la maleabilización, con posibles daños en las propiedades mecánicas. Cuando se añaden cantidades superiores a 0.1%, en las fundiciones se buscan cantidades elevadas de carburo-estabilizadores, por ejemplo el cromo, con el objeto de permitir una grafitización completa sin alargar el ciclo normal de maleabilizado.

TITANIO

Este elemento tiene más poder grafitizante que el silicio y por lo tanto su uso en el hierro maleable debe ser cuidadosamente controlado con el objeto de evitar la grafitización primaria de las fundiciones blancas.

El papel que representa el titanio al igual que el aluminio y el boro, se atribuye a que eliminan el nitrógeno, gas que reduce la nucleación y al eliminarlo se mejorará la grafitización.

CIRCONIO

El circonio es un elemento desoxidante y medianamente grafitizante que ha sido usado para ayudar al maleabilizado de las fundiciones blancas, cuando se realiza un ajuste de acuerdo con el contenido de silicio se puede introducir hasta un 0.5% de Zr sin formar grafito primario. Además, las fundiciones que lo contienen grafitizan completa y satisfactoriamente mejor que las que no lo llevan. El circonio es particularmente idóneo para sustituir al silicio en las fundiciones maleables de secciones gruesas.

La presencia del circonio acorta el ciclo de maleabilizado y disminuye el tiempo de exposición de las superficies de las fundiciones a la acción descarburizante y oxidante del aire y los materiales de empaque, por lo tanto mejora la maquinabilidad al lograr piezas menos oxidadas y ayuda a neutralizar los efectos del cromo.

NIQUEL

Es un grafitizador, pero sólo la mitad de efectivo que el silicio, también ayuda a la maleabilización ya sea acortando el tiempo o bajando su temperatura.

VANADIO

Es un formador de carburos muy potente, estabiliza la cementita, reduce la grafitización y disminuye la nucleación, se adiciona entre 0.10 a 0.25%, incrementando la resistencia tensil, la resistencia al corte y la dureza.

3.4.- EFECTO DE LOS ELEMENTOS COMPONENTES DE LA ALEACION Y DE LOS ELEMENTOS RESIDUALES SOBRE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL HIERRO MALEABLE.

ELEMENTOS COMPONENTES

CARBONO

La aparición de moteamiento en el hierro blanco es ocasionada por la grafitización primaria, lo cual origina a su vez que la resistencia mecánica baje y la fragilidad aumente. Y el contenido de carbono es de acuerdo al tipo de hierro maleable que se desee.

Si el contenido de carburo es alto, en relación con el contenido de carbono en las fundiciones duras, se obtienen mejores propiedades mecánicas después del maleabilizado. En general para piezas de mayor espesor se tienen contenidos de carbono más altos.

Pero debemos recordar que un bajo contenido de carbono bajará la fluidez del metal y no llenaría bien los moldes produciéndose entonces piezas con rechupes y grietas.

SILICIO

Es necesario un estrecho control del contenido de silicio y carbono, sobre todo cuando se cuelen piezas de diferentes secciones, con el objeto de obtener una fundición blanca sin grafitización primaria, que nos ocasionaría una disminución en las propiedades mecánicas del hierro después del maleabilizado. La dureza del hierro maleable aumenta con el incremento de silicio, como en la estructura perlítica.

MANCANESO

Un exceso de manganeso disminuirá las propiedades mecánicas de las piezas tales como la ductilidad.

Por otra parte contenidos altos de manganeso aumentan la dureza y también forma sulfuros con el azufre neutralizando así sus efectos negativos. Sin embargo, algunos de estos sulfuros quedan como inclusiones metálicas pequeñas disminuyendo las propiedades mecánicas del hierro maleable producido.

3.4.1.- ELEMENTOS RESIDUALES

AZUFRE

Un exceso de este elemento disminuye la ductilidad y la dureza de la pieza. Además el azufre forma sulfuros con el hierro y el manganeso que quedan como inclusiones metálicas pequeñas que dañan las propiedades físicas del hierro maleable.

CROMO

Este elemento es utilizado en su mayor parte en el temple de la fundición de hierro blanco.

El cromo es usado en pequeñas cantidades para el control de la profundidad de enfriamiento de los hierros en el temple, asegurando la estructura del hierro blanco; también ayuda a corregir irregularidades menores del hierro, tal como es la variación del contenido de carbono-ó silicio, por ejemplo, por cada 0.01% de cromo neutraliza aproximadamente 0.015% de silicio, con respecto a la profundidad de enfriamiento.

El cromo es usado en cantidades de 1 a 4% como un elemento de aleación en el hierro blanco, porque aumenta la dureza y mejora la resistencia a la abrasión; Durante el temple este estabiliza el carburo y suprime la formación de grafito.

El cromo hace el maleabilizado más difícil, debido a que deja una dureza tal, en la fundición blanca. No obstante el cromo tiene una función útil en algunos de los hierros maleables especiales. Donde se requiere una alta resistencia al desgaste y a la oxidación; en estos casos se halla presente junto al níquel y/o el cobre.

FOSFORO

El fósforo ayuda a la fluidez pero da por resultado la frágilidad a temperatura ambiente, lo cual es muy perjudicial para un material de buena calidad.

ALUMINIO

Es un poderoso desoxidante, pero debe usarse en cantidades menores de 0.01% ya que generalmente tiende a perjudicar las propiedades mecánicas del material.

COBRE

Tiene un efecto benéfico al evitar la pérdida de resistencia al impacto en el hierro maleable perlítico, cuando se expone a temperaturas de 450°C.

Mejora la resistencia a la corrosión; la adición de cobre al hierro maleable, mejora las propiedades mecánicas por medio del endurecimiento y el aumento de la resistencia, así como el refinamiento de

el proceso de recocido, durante el maleabilizado.

MOLIBDENO

Este elemento se emplea durante el temple de la fundición de hierro blanco con adiciones ligeras de molibdeno ya que aumenta la profundidad de enfriamiento, y es tan efectivo como el cromo. El objetivo que se busca en el temple es mejorar la resistencia superficial y que no persista el requiebramiento del material.

Adiciones del orden de 0.25 a 0.75% de molibdeno mejora, la resistencia a la tracción y aumenta la dureza sin disminuir el alargamiento.

También ayuda a estabilizar la estructura y mantener las altas propiedades de los hierros maleables perlíticos cuando son expuestos a temperaturas de 650°C.

Los hierros maleables que contienen 0.5% de cobre y 0.01% de molibdeno son más resistentes a la corrosión por ácidos y agua.

Aumenta la resistencia a la tracción y al alargamiento debido a su acción de refinamiento de grano y como consecuencia de una estructura fina de ferrita y carbono recocido.

NIQUEL

El níquel reduce la profundidad de enfriamiento de 1 a 4% con respecto al silicio. La reducción durante la profundidad de enfriamiento es acompañada por un aumento gradual en la dureza hasta que el contenido de níquel llegue a 4%. Su efecto en las propiedades mecánicas es similar al cobre. Alrededor de 1.0% de níquel da mejores resultados en el mejoramiento de las propiedades mecánicas, ejerce una influencia de refinamiento de grano y tiempo para estabilizar la perlita.

3.5.- CONTROL DE LAS MUESTRAS METALOGRAFICAS

El control metalográfico es el trabajo más importante del metalúrgico, tanto desde el punto de vista técnico como científico ya que es posible determinar el tamaño de grano, magnitud, forma de fases e inclusiones que tienen gran efecto sobre las propiedades mecánicas del metal, la estructura revelará el tratamiento térmico a seguir y mediante el proceso establecido por el metalúrgico se logrará obtener la composición adecuada; de la observación de la microestructura se puede valorar la eficiencia del proceso y eliminar aquellas fallas que presenten una estructura fuera de lo normal.

Para el hierro maleable el control metalográfico es vital, si se quiere controlar el hierro producido como ya se ha explicado anteriormente, pues se van produciendo transformaciones microestructurales hasta obtener una estructura consistente, que en este caso son: nódulos de grafito uniformemente distribuidos en una matriz de ferrita ó también nódulos de carbono recocido.

La observación de las muestras metalográficas da la pauta del proceso y en casos de anomalías habrá que corregirlas según sea la parte del proceso, como puede ser en la fusión, moldeo o por falta de elementos de aleación etc. El control metalográfico del hierro maleable se puede llevar a cabo de la siguiente forma.

CONTROL DE LAS MUESTRAS

Por lo general se lleva un control de barras de prueba que son coladas junto con la producción normal y que son maleabilizadas también junto con la producción; como también se escogen aquellas piezas más críticas por tener sus dimensiones diferentes y se toman muestras para

especímenes metalográficos de secciones gruesas y delgadas. Esto se realiza con la finalidad de conocer la cantidad de grafitización y saber si las características adquiridas corresponden a las de un hierro maleable, ya sea ferrítico o perlítico.

PREPARACION DE LAS MUESTRAS

Las muestras deben cortarse con un enfriamiento de agua para no alterar la microestructura del hierro; el pulido se realiza con lija de diferente grano hasta llegar al más fino y posteriormente pasa al pulido final con paño de billar, en discos con alúmina agregada, procurando no apoyar fuertemente la muestra sobre el disco para no arrancar el grafito de los nódulos.

3.5.1.- OBSERVACION DE LA MUESTRA SIN ATACAR

CONTEO DE LOS NÓDULOS

Es un factor importante ya que indica el grado de recocado del hierro y el control del número de nódulos da la orden para efectuar cambios en la composición química del hierro, sobre todo para aumentar o disminuir el silicio según sea alta o baja la cantidad de nódulos por milímetro cuadrado.

El procedimiento para efectuar el conteo de los nódulos consiste en observar la muestra a diferentes aumentos, así como también ver áreas diferentes de la muestra y se procede a efectuar el conteo de los nódulos en diferentes áreas y los aumentos en que se realiza la observación. Se toma como límites adecuados para controlar el recocado del hierro blanco entre 80 y 120 nódulos por milímetro cuadrado.

TAMAÑO DE LOS NÓDULOS

Aunque no se le toma demasiada importancia a este factor, se debe controlar el tamaño de los nódulos porque influye en la distribución y forma de los mismos, como se observa en las fotografías de la figura 3.5.1.1, lo cual se traduce, en alteraciones de las propiedades mecánicas; ya que si tenemos la distribución del nódulo en el centro de la pieza nos dará como resultado, un material blando superficialmente y duro en el centro.

FORMA DE LOS NÓDULOS

Este factor es de suma importancia y es uno de los objetivos del control metalográfico del hierro maleable, como se observa en las fotografías de la figura 3.5.1.2. En la observación de la forma de los nódulos se puede determinar en gran parte las propiedades mecánicas del hierro por ejemplo: Los nódulos con forma de cangrejo ó ramificaciones son los que ocasionan baja resistencia y líneas de cedencia.

La forma de los nódulos se controlan vigilando los siguientes factores en el proceso:

- 1.- Composición química (bajo contenido de silicio).
- 2.- Adición de elementos nódulizantes (bóro).
- 3.- Temperatura en el recocido (la temperatura en la primera parte del recocido no debe ser mayor de 960°C).

DISTRIBUCION DE LOS NÓDULOS

La distribución de los nódulos de grafito es de gran influencia en las propiedades mecánicas del hierro por lo que los nódulos alineados y aún en forma de cadenas ocasionan líneas de cedencia, sobre todo --- cuando las piezas son sometidas a trabajos pesados o de fatiga, por lo



a



b



c



d

100X SIN ATAQUE

| | | | |
|-----------------|---|----------|--------------|
| U N A M | | F.E.S.-C | I.M.E |
| TESIS PROF. | TAMAÑO DE LOS NODULOS EN LA MATRIZ DE UN HIERRO - MALEABLE. | | ACOT. |
| 1992 | | | ESC. |
| ARGUELLES R. P. | | | FIG. 3.5.1.1 |



a



b



c



d

100X SIN ATAQUE

U . N . A . M

F.E.S.-C

I.M.E

TESIS PROF.

FORMA DE LOS NODULOS EN
LA MATRIZ DE UN HIERRO
MALEABLE.

ACOT.

1992

ESC.

ARGUELLES R.P

FIG.3.5.1.2

consiguiente es necesario controlar este factor, ver las fotografías de la figura 3.5.1.3, metalográficamente este efecto es provocado por un exceso de elementos nodulizantes, como el boro. Una de las ventajas de estos nodulizantes es en la comprobación y la no obtención de grafito laminar.

OBSERVACION DE LA MUESTRA ATACADA

Para observar la matriz del hierro maleable se usa como reactivo de ataque una solución de nital de 3.5%.

Como ya se dijo la matriz de hierro maleable debe consistir de ferrita la presencia de perlita o cementita indica un tratamiento deficiente ó una composición química defectuosa.

La presencia de cementita indica los siguientes posibles errores en el proceso:

- 1.- Temperatura muy baja en la primera parte del recocido.
- 2.- Muy bajo silicio y carbono o la presencia de elementos carburígenos como el cromo.

La presencia de perlita indica los siguientes posibles errores en el proceso:

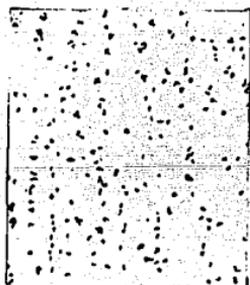
- 1.- Bajo porcentaje de silicio.
- 2.- Exceso de manganeso u otros elementos carburígenos.
- 3.- Presencia de elementos carburígenos
- 4.- Mal control de temperatura en la segunda etapa de tratamiento.



a



b



c



d

100 X SIN ATAQUE

U . N . A . M

F.E.S - C

I.M.E

TESIS PROF.

DISTRIBUCION DE LOS NODULOS

ACOT.

1992

EN LA MATRIZ DE UN HIERRO

ESC.

ARGUELLES R.P

MALEABLE.

FIG. 3.5.1.3

La cantidad excesiva de sulfuro de manganeso es debido a un alto porcentaje de azufre en el hierro, ocasionando una baja resistencia al impacto; otra ventaja que presentan los análisis metalográficos, es la observación de zonas superficiales descarburizadas o perlíticas lo que indica un mal control de la composición de la atmósfera en el horno, - ver la figura número 3.5.1.4.



FIG. 3.5-1.4

Análisis microestructural del hierro maleable ferrítico y conveniencia. 1) Buena superficie, 2) superficie — — aceptable, 3) superficie pobre — perlita laminar, 4) superficie no deseable — descarburización y perlita laminar.

3.6.- ACABADO

LIMPIEZA. - Una vez que las piezas han sido aprobadas por el laboratorio metalográfico son colocadas en cajas de forma determinada para dicho fin, estas cajas por medio de una grúa viajera son transportadas - hasta la alimentación de la máquina de limpieza, siendo ésta del tipo-

de bombardeo de granalla y la granalla a utilizar dependerá del tipo de material, dimensión de la pieza y su forma.

ESMERILADO.- Como las piezas de fundición maleable deben ser alimentadas, siempre tendrán salientes o exceso de material, y dependiendo del tipo de piezas deberá o no quitarse, para ello se recurre al esmeril, el más usual es el de bancada fija y de alta velocidad; el esmeril debe seleccionarse cuidadosamente ya que el abrasivo debe adaptarse al tipo de material a esmerilar para evitar el desgrane o el tape de la piedra abrasiva, así como el quemado de la pieza.

PRENSADO.- A veces en las piezas de fundición maleable se requiere por sus tolerancias efectuar una operación de prensado o conformado, esto se debe a la forma de las piezas ya que algunas de ellas pierden sus características dimensionales principalmente sus centros, al ser sometidas a tratamientos térmicos; esta operación se lleva a cabo generalmente con prensas de tipo hidráulico y de tonelajes adecuados.

REBABEO.- En esta operación se quitan las rebabas o imperfecciones de las piezas que no se quitaron en el esmerilado debido a su forma o dificultad, esto se realiza con escareadores neumáticos, manuales y cincelos de forma apropiada, el rebabeo tiene dos funciones:

- 1.- Que en operación estas rebabas se desprenden y no afecten el funcionamiento del conjunto de mecanismos.
- 2.- Que al hacer el manejo de las piezas, el operador de maquinado no sufrirá algún accidente a causa de las rebabas.

INSPECCION FINAL, - Consiste en someter las piezas a una inspección de control de calidad, hacer una revisión dimensional, pruebas de magna flux para detectar las posibles grietas originadas en caliente como en la operación de prensado, y muestras selectivas para la inspección final de dureza, resistencia a la tensión y deformación microestructural.

CAPITULO 4

CONCLUSIONES

Para obtener un Hierro Blanco ó Fundición Blanca con propiedades satisfactorias se debe seguir una serie de etapas o procesos, estas etapas van desde un buen control en la fusión hasta la separación de las piezas coladas.

Para ésto se requiere de un análisis químico y físico de cada uno de los materiales de carga que intervienen en la composición de la estructura y en el horno adecuado, que en este caso puede ser de INDUCION o de RESISTENCIA, por las ventajas que presenta cada uno de ellos.

También se requiere, de la ayuda de diagramas y gráficas que nos vayan indicando el grado de composición de la estructura para las posibles correcciones, tanto en el horno como en la olla de vaciado.

Posteriormente se realiza el tratamiento térmico, donde las piezas de fundición blanca son el metal base para obtener el hierro maleable y mediante experiencias anteriores se tienen temperaturas de recocidos, en el cual uno se guía, para obtener el tipo de hierro maleable deseado ayudandonos también de elementos (Carburigenos y Grafitizantes). Para nuestro estudio el más recomendable es el " Hierro Maleable Ferrítico " que requiere una atmósfera inerte, donde los gases de combustión estén controlados, como es el oxígeno y el bióxido de carbono, de lo contrario se tendrá en el horno una excesiva concentración de estos elementos y provocarán la oxidación de la superficie del metal.

Si se quiere obtener una excelente calidad en las piezas de maleabilizado es necesario tener un control metalográfico adecuado. Con el control metalográfico se puede determinar el tratamiento térmico que se requiere en cada fase del proceso, sobre todo si existen fallas que al-

terren la microestructura y el acabado del metal.

Una de las importancias de este material es que tiene gran diversidad de aplicación en las industrias, debido a su facilidad de manejo y sus propiedades físicas.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- TECNOLOGIA DE LA FUNDICION
Edoardo Capello
Edit. Gustavo Gili.
- 2.- INGENIERIA DE MANUFACTURA
U. Sharer
Edit. C.E.C.S.A
- 3.- INTRODUCCION A LA METALURGIA FISICA
Sidney H. Avner
Edit. Mc Graw-Hill
- 4.- MATERIALES DE INGENIERIA Y SUS APLICACIONES
Richard A. Flinn
Edit. Mc Graw-Hill
- 5.- METALOGRAFIA MICROSCOPICA PRACTICA
Harold Wrighton B. Graves
Edit. U.R.M.O
- 6.- METAL HANDBOOK Vol. 1
Properties and Selection of metal: 8 th, edition.
Cast Iron-Malleable Iron, pgs 366-379.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA⁹**

7.- METAL HANDBOOK Vol. 2

Heat Treating, Cleaning and Finishing.

Annealing of Malleable Iron, pgs 217-218.

8.- METAL HANDBOOK Vol. 5

Forging and Casting.

Production of Malleable Iron Casting, pgs 375-379.