

HORNO DE FUNDICION ROTATORIO

Ing. Quím. Ruben Febles

RESUMEN

El horno de fundición rotatorio es empleado en la obtención de fundición gris, nodular y aceros aleados y sin alear. Su capacidad oscila entre 50 - 10000 kg. por operación. Se empleó un horno con capacidad de 500 a 750 kg. Tiene la ventaja sobre el horno de Cubilote, en la elaboración de hierro gris de lograr fundiciones de bajo porcentaje de Carbono, mientras que la tendencia del Cubilote es aumentar el porcentaje de carbono de la carga y por ende del producto terminado.

Los bajos porcentajes de carbono obtenidos con el horno rotatorio son consecuencia de sus condiciones oxidantes.

Se han elaborado 5 fundiciones grises y 2 aceros al carbono sin alear. Los valores de Carbono Equivalente (CE) en las primeras están entre 3,3 y 3,8. En el caso de los aceros las estructuras metalográficas son de Perlita y Ferrita. Hemos elegido para este trabajo una fundición gris de CE - 3,54 con una dureza Brinell (HB) de 207 y un acero con la estructura citada y una dureza HB de 130.

Las elaboraciones de hierros grises (5) y de aceros al carbono sin alear (2), mencionadas fueron obtenidas a más bajo costo que en un horno Cubilote debido a: menor mano de obra (5 operarios en el Rotatorio y 8 en el Cubilote de 1 ton/hora); menor costo de combustible (producción 500 kgs. en 30 minutos en ambos) Fuel Oil Pesado en el H. Rotatorio y Coque de Fundición en el Cubilote. Menor costo de mantenimiento del refractario en el Rotatorio.

1- INTRODUCCION

Los aceros y fundiciones comunes son aleaciones de Fe-C. Por exigencias de elaboración contienen además Si, P, S y Mn, al estado de soluciones sólidas. Se agregan ciertos elementos en determinados casos como Cr, Ni, Mo, V, Cu, Al, etc. Esto

se hace incorporándolos en la carga o bien durante un agregado incorporado cuando se está llenando la cuchara denominada Inoculación. En ambos casos se emplean Ferroaleaciones de tamaño adecuado en la carga y pulverizadas en la Inoculación.

Composición química. En muchas especificaciones no es mandataria y si lo son la metalografía y las propiedades mecánicas. Sin embargo la producción de hierros grises, nodulares y aceros se basa en ella.

En la producción de aceros moldeados prevalece la calidad sin alear y sus características están dadas por el porcentaje de C, aconsejándose que los porcentajes de S y P estén como máximo en 0,05%. Por lo general a estos aceros se les agrega un porcentaje de Si que oscila alrededor de 0,20%. El acero moldeado debe ser recocido o normalizado. Si se tratara de un acero aleado habría que templarlo y revenirlo.

Dadas las características que confieren al producto, el S y el P merecen un particular comentario.

Influencia del S en el sistema Fe-C. En el examen metalográfico se distinguen los sulfuros por su color amarillo. La solubilidad del FeS en la aleación líquida Fe-C es limitada. El S casi no modifica el diagrama de estado y da fragilidad en caliente. En la carga del Cubilote aumenta su porcentaje (en la fundición gris se admite un máximo de 0,15%).

El FeS se mezcla con el metal fundido y al solidificar este, se forma una mezcla eutéctica FeS-Fe de punto de fusión 985°C que rellena el límite de los núcleos cristalinos y forma una red frágil. Además a 298°C y 138°C da cambios de volumen peligrosos para la resistencia mecánica. El S tiene gran afinidad por el Mn y el MnS que se forma pasa en parte a la escoria y el resto queda como inclusiones pequeñas no tan nocivas como la red FeS-Fe. El S disminuye la grafitización

especialmente si hay poco Si y si la velocidad de enfriamiento es grande. Influye en el moledo de piezas delgadas. La fundición con altos porcentajes de S adquiere tendencia al blanqueo y se vuelve espesa en estado fundido. Disminuye además la facultad de absorción del Fe por el C. En aceros de hornos con revestimiento ácido el S no debe ser mayor de 0,07%.

En el horno rotatorio se disminuye el porcentaje de S mediante el agregado a la carga de cenizas de soda en briquetas (0,2 a 2%).

Influencia del P en el sistema Fe-C. El P favorece la formación de grafito y aumenta la fluidez (condición necesaria para la obtención de fundiciones artísticas de paredes o secciones delgadas). Forma fosfuros que obran como inclusiones, reduciendo la resistencia mecánica. La combinación Fe₃P forma el eutéctico ternario Fe-Fe₃P-Fe₃C llamado Esteadita y cristaliza a 950°C. Piezas sometidas a violentos cambios de temperatura deben tener bajo porcentaje de P. El P vuelve a la fundición quebradiza en frío y rebaja la resistencia al choque. Cuando el porcentaje de P es de 0,09 la resistencia al impacto de los aceros al C disminuye dos veces aproximadamente en comparación con un acero que tiene 0,05% de P.

La cal viva usada también como fundente ayuda también a reducir el porcentaje de S y de P. Pero la reducción del P se logra generalmente por selección de la materia prima.

Descripción del horno rotatorio usado. Se compone de: Carcasa rotatoria, Regenerador, Quemador de fuel oil, precalentador de fuel oil Bomba y Tanque de Alimentación.

Carcasa. Formada por un cilindro de 1,50 m de longitud y m 0,76 de diámetro externo con un espesor de chapa de 1 cm. al cual están adosados a las platinas correspondientes, dos tronco-conos. Uno de ellos con boca

de carga de 20 cms. de diámetro interno y el otro con boca de salida de gases de 42 cm. de diámetro también interno, hacia el Regenerador (Intercambiador de calor para precalentamiento del aire de combustión con gases de chimenea).

Dos orificios de colada colocados simétricamente en la circunferencia del cilindro de la carcasa a 14 cms. de la platina de unión al tronco-cono con su boca de carga.

Adosadas al cilindro de la carcasa tenemos dos llantas de acero de 2 cm. de espesor y 5 cm. de ancho que rotan sobre 4 rodillos. La impulsión se logra con motor y reductor de engranajes. El recubrimiento interno del horno es de ladrillos refractarios ácidos (Al_2O_3 % = 45).

Del punto de vista de la atmósfera es comparable con el horno Siemens-Martin. En ambos la oxidación de la carga se hace con el oxígeno del aire de la combustión o con éste enriquecido con oxígeno (hasta un 30%).

En nuestro caso se empleó solo aire precalentado.

Los requerimientos para el revestimiento refractario de los hornos de Cubilote y Rotatorio están entre los más severos de la metalurgia. La falla o erosión del refractario es generalmente el resultado de: Abrasión, calor, esfuerzo mecánico y ataque químico.

Abrasión. Resulta del deslizamiento de la carga o de la acción del aire de soplado.

El calor ablanda algunos constituyentes del material refractario a temperatura menor que la del punto de fusión real del refractario. Esto favorece la abrasión por el aire y diversos materiales y la falla por reacción química. El calor contribuye también a la falla por esfuerzos mecánicos ya que perjudica la expansión y contracción normales del refractario. También perjudica cuando existe choque térmico.

Acción química. Es la causa mayor de falla ya que refractarios y escorias muchas veces tienen composición similar. El fundente, cenizas del coque (en el caso del Cubilote), tierra o arena adherida a la carga, óxido de hierro y todos los componentes de la escoria producida en la operación llegan a la zona más caliente sin

combinarse. Es imposible impedir que alguno de los componentes entren en contacto con el refractario y reaccionen con él bajando sus puntos de ablandamiento y de fusión.

A mayor temperatura de la escoria mayor fluidez y mayor acción disolvente del refractario.

La solución para bajar las pérdidas de refractario es, con respecto a la escoria, de compromiso entre una muy viscosa que no ataca al refractario pero que no elimina componentes indeseables y otra más fluida de lo necesario para disolver y eliminar impurezas pero también disolviendo el refractario.

La vida útil de un revestimiento refractario depende de la calidad del material refractario, su colocación y secado y de la operación del horno Cubilote o Rotatorio.

Soplado excesivo. Causa consumo elevado del revestimiento. El aire proyecta con su turbulencia partículas de escoria, fundente y de metal contra el revestimiento. Además el soplado excesivo oxida parte del hierro, el que se disuelve en la escoria y la hace muy corrosiva.

La carga tiene influencia: un porcentaje elevado de acero en la misma dará como resultado temperatura de fusión más alta y mayor cantidad de óxidos, disminuyendo la vida del revestimiento.

Fundente. Es importante para la vida del refractario; en general los de

carácter básico atacarán más rápido un refractario ácido que los fundentes menos básicos. Si se requiere escoria básica por razones de operación, el revestimiento será básico o neutro. El refractario más usado por su menor precio es el ácido.

El espesor mínimo del revestimiento deberá ser de 114 mm.. A mayor diámetro del Cubilote o de la carcasa rotatoria, aumentará el espesor y en el caso del Cubilote también en función de la duración de la operación.

El mortero con que se unen los refractarios deberá tener una refractabilidad igual a la del ladrillo.

II - ENSAYOS

Condiciones de trabajo y control del horno

Carga: 500 kgs. Para la fundición gris fue de 100% de chatarra gris con C% de 3,60. Para el acero al carbono fue de 100% de chatarra de acero (pernos, bulones, cigüeñales, discos de embrague y muelles). En resumen: mezcla de aceros SAE 1036-1045-1060 y 1095 con un C% promedio de 0,65.

Tiempo de fusión: 30 minutos para la fundición gris y 25 minutos para el acero.

Combustible: Fuel Oil Pesado
R.P.M. del horno: 4

| <u>Control del horno</u> | Fusión 8-4 | Fusión 21-3 |
|------------------------------------|------------|-------------|
| Temp. gases chimenea °C | 315 | 204 |
| " aire soplado °C | 100 | 100 |
| Color de humos (Bacharach) | 4 | 3,5 |
| CO % | 9,5 | 8,5 |
| Exceso de aire % | 55 | 80 |
| Tiraje chimenea pulg./agua | 0,08 | 0,08 |
| Temp. precalentamiento fuel oil °C | 90 | 95 |
| Presión Fuel Oil Kg. | 11,5 | 11,5 |
| Eficiencia del horno % | 76,5 | 80,4 |

Control de la fusión de hierro gris

Se emplea la determinación del Carbono Equivalente (CE) mediante el aparato diseñado para tal fin. El CE es empleado para comparar hierros grises de diferentes composiciones.

Para ello aplicamos la siguiente fórmula (que representa la composición básica de la fundición gris) $CE = C\% + 1/3(Si\% + P\%)$ donde C% es el porcentaje de carbono total (suma del carbono combinado Cc y del grafito Cg.). Las fundiciones

grises de alta calidad tienen CE que oscilan entre 3,3 y 3,8 correspondiendo este tramo al campo perltico. El CE permite conseguir la aleación más adecuada para cada pieza y mantenerla constante durante la producción. Las propiedades de la aleación son: forma de solidificación y estructura, relacionadas con composición química. Antes de colar se puede conocer la calidad y variarla mediante: sobrecalentamiento, corrección de los elementos de la carga e inoculaciones. La posible estructura y forma de solidificación surge del estudio del gráfico impreso por el aparato. El aparato comprende: probetero con termocupla (desechable), registrador electrónico y potenciómetro. El hierro líquido se vierte en el probetero y el equipo registra en un período muy breve las temperaturas en un diagrama del tipo siguiente:

A partir del momento que se llena el probetero, la temperatura baja continuamente hasta un punto en que se detiene y forma un escalón horizontal, aproximadamente isotérmico. Este punto se llama temperatura de "Liquidus" (LT) y para la fundición gris elegida dió 1260 °C. Acá comienza la precipitación de los cristales. La LT está relacionada con la composición química del metal y la mayor influencia la ejercen el Si y el C. Si aumentan baja la LT. Midiendo la LT se determina fácilmente el CE en base a la relación: $CE = 1580 - LT$

99,5

Si se conoce por experiencia el porcentaje de C o de Si, se puede determinar el valor faltante. Luego del escalón la temperatura sigue bajando y llega a la Eutéctica o de Solidificación (ET). Es el punto en que la línea de enfriamiento comienza a desviarse de su dirección normal.

La temperatura sigue bajando, pero luego se produce un pequeño aumento (Calor de cristalización mayor que las pérdidas), seguido por un descenso definitivo. Es el final de la solidificación eutéctica. Para una composición entre límites normales el valor de ET es de 1148 a 1155 °C. La diferencia entre la ET y la temperatura mínima de solidificación eutéctica es el período de Sub-enfriamiento o ΔT° máx. (ΔT° máx.) que se mide en el diagrama. El efecto del Sub-enfriamiento sobre la

estructura y forma de solidificación depende de la capacidad de formación de núcleos cristalinos y del gradiente de la velocidad de enfriamiento. Si se aumenta la cantidad de partículas extrañas y se disminuye el ΔT° máx. crece la tendencia a formar núcleos. Tenemos así un medio que indica el estado de la formación de núcleos en el hierro líquido. Hay gráficos que dan al número de células eutécticas por cm^2 en función del ΔT° máx. (Sub-enfriamiento). Un material líquido pobre en gérmenes de cristalización se caracteriza por un sub-enfriamiento alto; solidifica de preferencia en pocos núcleos de cristalización y en las paredes (Exógena). Si el Sub-enfriamiento es pequeño, el material rico en gérmenes da lugar a una cristalización endógena con muchos centros y en toda la sección (si la colonia de gérmenes fuera muy poblada, la solidificación puede resultar con microporosidad).

El punto máximo del ascenso leve de temperatura en el diagrama es la temperatura de "Solidus" (ST) y la diferencia LT-ST es el intervalo de solidificación.

Control de la fusión del acero

Mediante muestras instantáneas, usando el aparato para determinación de C, determinamos el porcentaje de éste. El aparato consiste de un hornillo de inducción donde se funde y oxida la muestra previamente pesada con O_2 . Se absorbe el CO_2 producido, con potasa cáustica y se mide luego la contracción producida en el volumen, calculándose el porcentaje de C.

Desarrollo del proceso de fusión

Su control ya lo hemos descrito. Los tres elementos principales, C, Si y Mn se oxidan en el orden siguiente: Mn, luego Si y finalmente el C. Precisan para ello un tiempo aproximado de 15 a 20 minutos. La oxidación de estos elementos se acompaña de un aumento notable de temperatura. La carga llega por ej. a la temperatura de 1400 °C y después del soplado asciende a 1550 - 1650 °C. La desoxidación final se hace en la cuchara inoculando con ferrosilicio y ferromanganeso. También se emplea Al o Siliciuro de Ca. El promedio de soplado es de 20 a 30 minutos en el proceso ácido y 5 minutos más en el

básico.

Fin del proceso

El C se oxida, se desprende CO produciéndose una fuerte ebullición del metal. Luego se quema en el aire y pasa a CO_2 , dando lugar a una llama clara. La terminación de la insuflación del metal líquido se controla visualmente por lo radiante de la llama y además desaparece casi totalmente la ebullición del metal. Se emplea un control fotoeléctrico para determinar el final de la insuflación deteniéndose la fusión en el momento requerido sin perjuicio de la observación visual antedicha. Si prosigue la insuflación el hierro se oxida y aparecen humos pardos. Al llegar al final del proceso se suspende el calentamiento, se quita la escoria del metal líquido, se le cuela y desoxida en la cuchara. Un factor importante es la escoria obtenida, su cantidad y calidad. Por encima del metal líquido tenemos la capa de escoria y la oxidación se realiza debajo de esta capa. El óxido de hierro formado pasa a la escoria y reacciona a su vez con el O_2 del aire soplado dando óxido de hierro magnético. Parte de éste en el límite de la capa fundida reacciona nuevamente con el hierro. Durante la fusión se producen residuos no metálicos que dan origen a esta escoria, formados por: arena y tierra adherida a la carga, cenizas del combustible, productos de oxidación y del revestimiento fluidificado durante la fusión. La escoria tiene un punto de fusión de aprox. 1700 °C (más elevado que la temperatura promedio de marcha del horno y del hierro líquido). Por ello es necesario agregar fundentes básicos, alcalinos o alcalino-térreos a la carga, que rebajan el punto de fusión a 1400-1450 °C y vuelven además más fluida a la escoria. Como fundentes se emplean piedra caliza, mármol en porcentaje de aprox. 2,0 sobre la carga. Bajo malas condiciones, se usan fundentes complementarios como CaC_2 y Na_2CO_3 en briquetas. Los porcentajes empleados oscilan entre 0,2 y 2,0.

Escorias y fundentes.

La escoria generalmente consiste de: Silicatos de Ca y de Mg más óxidos de Fe, Mn y Si; Alúmina, fosfatos, sulfuros y álcalis. La escoria sin el empleo de fundentes tiene alto porcentaje de SiO_2 , es viscosa y de punto de fusión como se dijo, alto. La escoria viscosa que envuelve al coque

en el caso del Cubilote, dificulta la toma del C por el metal fundido. Una baja basicidad de la escoria solo permite la absorción de pequeña cantidad de S. En estas condiciones las pérdidas de Si y Mn son muy altas. El control de la escoria es importante mediante fundentes primarios y secundarios. Los primarios son los carbonatos de Ca y de Mg. Se emplean en consecuencia piedra caliza, mármol y dolomita. Los secundarios son: Fluoruros de Ca y de Mg y Na_2CO_3 . La adición de carbonatos alcalinos debe controlarse bien ya que las escorias excesivamente básicas provocan oxidación del Si y ataque del revestimiento refractario. También se forman rápidamente óxidos de Fe y Mn.

Las tres características más importantes de la escoria son: Punto de fusión, Viscosidad y Poder mojanter. Se necesita que la escoria permanezca líquida, pero no demasiado, a las distintas temperaturas del horno, durante la fusión y el tiempo de colada y tenga alta tensión interfacial para evitar

ataque del revestimiento y facilitar la separación de la escoria del metal fundido. La mayoría de las escorias tienen estructuras determinadas debido a la red espacial de la sílice. Estas redes a su vez se encadenan tridimensionalmente. Los agregados de óxidos metálicos rompen la red tridimensional. De este modo el CaO se absorbe en el sistema por rotura del enlace entre dos grupos de sílice, intercalándose. Las uniones Si-O-Si son sustituidas por enlaces Si-O-Ca-O-Si. El comportamiento del Mg es similar. Luego comienza la reducción de viscosidad.

Fundentes. Disminuyen el Punto de Fusión de la escoria. Actúan sobre la viscosidad. Alto porcentaje de caliza aumenta la viscosidad. En cambio el CaF_2 y demás fluoruros y el Na_2CO_3 la disminuyen a causa de su influencia en la ruptura de la red tridimensional.

A mayor temperatura menor viscosidad.

Los fundentes actúan también sobre las características mojanter de la escoria. Se busca que la interfase escoria-coque tenga una tensión in-

terfacial baja, de modo que la escoria pueda depurar el metal y actuar sobre el coque, fluidificando los silicatos que contenga. Se intenta por otro lado que la energía interfacial escoria-refractario sea alta para evitar penetraciones y erosiones.

En la práctica se trata de llegar a un equilibrio y la fluidificación de la escoria debe ser controlada.

Resumiendo: Una escoria típica contiene cantidades importantes de CaO, MgO, FeO, SiO_2 , Al_2O_3 junto con pequeñas cantidades de MnO. También pueden estar presentes óxidos de Cr, álcalis, fluoruros, cloruros, hidróxidos y fosfatos.

El Punto de Fusión más bajo se alcanza con contenidos combinados de CaO y MgO entre 32 y 55%. Todos los óxidos y fluoruros presentes rebajan el P. de fusión. CaO, MgO, MnO, FeO y álcalis disminuyen la viscosidad al igual que los cloruros y fluoruros de Na, Ca y Al. El CaO y el MgO disminuyen las propiedades mojanter y el SiO_2 las aumenta.

Una fuente inevitable de escoria en el caso del Cubilote es la ceniza de coque.

III - RESULTADOS DE ENSAYOS

De las 5 fusiones de hierro gris obtenidas se eligió una. De los dos aceros al C sin alear elaborados también seleccionamos uno. Los resultados fueron:

| Fusión | C% | Si% | Mn% | P% | S% | HB | CE |
|--------------------|------|------|------|------|------|-----|------|
| Fundición gris 8-4 | 2,85 | 1,90 | 0,36 | 0,18 | 0,03 | 207 | 3,54 |
| Acero 21-3 | 0,25 | 0,14 | 0,38 | 0,04 | 0,02 | 130 | — |

Metalografía

Fundición gris 8-4. Matriz: Perlita fina laminar con 3% de Ferrita. Sin Cementita.

Grafito tipo "A"- Tamaño 4 a 5

Valores del diagrama:

LT= 1260°C ;

ET= 1150 °C ; Temperatura mínima de la solidificación eutéctica $T_{mfn.} = 1139$ °C

$\Delta t_{m\acute{a}x.} = 11$ °C

Acero 21-3. Matriz: Perlita y Ferrita.

IV - CONCLUSIONES

Con el horno rotatorio es posible obtener fundición gris con bajo porcentaje de C, lo cual es muy difícil de lograr con el horno de Cubilote. Con éste rara vez se baja del 3% de

C total. La tendencia del Cubilote es de aumentar los porcentajes de carbono y de azufre.

El horno rotatorio además es más flexible que el de Cubilote y permite la producción de aceros al carbono y aleados. Necesita menos mano de obra y los tiempos de fusión son cortos.

Se eligió el H. Rotatorio en lugar del H. de Cubilote porque ofrece a nuestro juicio las siguientes ventajas:

Una mayor flexibilidad dado que las cargas pueden ser diferentes para cada operación. Ello favorece la obtención de relativamente pequeño número de piezas con distintas composiciones de metal. En el

Cubilote para lograr esto es aconsejable vaciarlo totalmente, antes del ingreso de la nueva composición de la carga, que en muchos casos, si la capacidad del Cubilote es grande excede la cantidad exigida por las piezas a elaborar. Ello obliga a fabricar más cantidad de las mismas o buscarle otro destino al sobrante de metal.

A igualdad de producción horaria (nuestro horno rotativo equivaldría a un Cubilote de 1000 kg/hora) la mano de obra a emplear es menor en el horno Rotatorio siendo de 8 operarios para el Cubilote y de 5 operarios para el Rotatorio.

Menor costo de reparación del revestimiento el cual se realizó cada 10 operaciones, mientras que el H. Cubilote exige la reparación del refractario después de cada operación.

Además el revestimiento primario en el horno rotatorio necesitó ser totalmente cambiado en la fusión número 40 (la bibliografía cita valores de 70 fusiones). El consumo de ladrillos refractarios durante la operación es menor al del Cubilote. Esto también es válido para revestimientos monolíticos aplicados a presión o por apisonado.

Respuesta más rápida. Es mayor en el horno rotatorio, más aún si se dispone de una carcasa de repuesto (mientras que la primera se enfría y luego reparada si es necesario la otra está en operación).

Costo de combustible. Es menor en el rotatorio. Para obtener 500 kgs. en media hora se gastan 120 lts. de Fuel Oil Pesado (\$ 773,48/m³ puesto en fábrica) equivalentes a \$ 92,81. Para obtener 500 kgs. en el Cubilote citado se precisan 70 a 80 kgs. de

coque de fundición (a \$ 1,40/kg.) o sea \$ 98 y 112 respectivamente.

V - BIBLIOGRAFIA

Fundición de hierro. J. Navarro - Ed. Dossat, Madrid, 1947.

Modern Foundry Practice. E.D. Howard - Ed. Aguilar S.A., Madrid, 1953.

El horno de Cubilote y su operación. American Foundrymen's Society - Ed. Compañía Editorial Continental S.A., México, 1974.

Metals Handbook - Tomo 1 (American Society for Metals) - Ed. American Society for Metal, 1975.

S.A.E. - Tomo II - Ed. SAE, 1982.

Guía de la Fundición (CETEF - Centro Técnico de Fundición) - Ed. Impser S.A., Buenos Aires, 1984, 3a Edición.

ANEXO

Hierro y acero fundidos.

Teóricamente la separación entre los dos se fija en 1,7% de C. Del punto de vista práctico los aceros más usados están entre 0,1 y 0,8% de C y las fundiciones grises desde 2,5 a 3,6%.

Su microestructura está intimamente ligada a las propiedades mecánicas, físicas, etc.. Para su estudio conviene recordar que el hierro es el principal constituyente de hierros grises y aceros y se presenta en 4 formas alotrópicas. El hierro solidifica a 1535 °C. Entre 1535 y 1400 °C se encuentra en forma de Fe Delta. A 1400 °C disminuye la velocidad de enfriamiento debido a un desprendimiento de calor. Esto corresponde al cambio alotrópico de Fe Delta a Gama. Prosigue el enfriamiento y a 898 °C se transforma el Gama en Fe Alfa no magnético. A 768 °C éste se convierte en Alfa Magnético.

Si el hierro se calienta desde la temperatura ambiente hasta 1550 °C, los fenómenos descritos se presentan igual pero las temperaturas son un poco más altas: 790-910 °C y 1410 °C. Esta diferencia en lo que se define como puntos críticos o temperaturas críticas es debida a la resistencia de los sistemas cristalinos a transformarse. Por lo tanto a temperaturas de 898 - 910 °C el hierro se encuentra en estado Gama y puede disolverse hasta 1,7% de C. El hierro Alfa no Magnético corresponde al intervalo 768-790 °C y el hierro Alfa Magnético está por debajo de 768 °C.

Componentes estructurales de los hierros fundidos

La microestructura está formada por una matriz y por uno o más constituyentes en exceso. Los microconstituyentes de la matriz son los mismos de los aceros es decir: Ferrita, Perlita o mezclas de ambos. Por medio de ciertas adiciones de aleación o de tratamientos térmicos, la matriz puede consistir de Austenita, por ej. o productos de descomposición de la misma. Los constituyentes en exceso que se encuentran en los hierros fundidos pueden ser: Cementita Pro Eutéctica, Grafito, Esteadita, MnS, e inclusiones de escoria y óxidos. Todos ellos perjudican la resistencia y tenacidad de la matriz.

Ferrita. Es un cristal de Fe Alfa en el que están disueltos otros elementos presentes en el hierro fundido, tales como: C, Mn, P, Si, S, Ni, etc.. La disposición de los átomos en la Ferrita (estable a temperatura ambiente) pertenece al sistema cúbico centrado.

El Ni, Mn, Cu, Si, Al, etc. forman soluciones sólidas con ella.

La Ferrita es el más blando de los constituyentes (HB de 90 aprox.). Es dúctil y maleable.

Magnética. Su resistencia a la tracción es de aprox. 28 kg./mm². Muy poco C puede disolverse en ella. A 725 °C disuelve 0,035 % de C y a la temperatura ambiente 0,008 % de C.

En los hierros grises si se desea una buena resistencia a la tracción se evita la presencia de Ferrita.

Perlita. Es un constituyente eutéctico formado por capas alternadas de Ferrita (Hierro Alfa) y Cementita (Fe₃C).

Contiene aprox. 13,5% de Cementita y 86,5% de Ferrita. Su resistencia a la tracción es de 82 kg./mm². Aparece en el enfriamiento lento de la Austenita o por transformación

isotérmica de la misma en la zona de 650 - 725 °C. Tiene un reflejo nacarado (de ahí su nombre) y según la velocidad de enfriamiento las láminas aparecen más o menos separadas. La distancia interlaminares clasifica en: Perlita Gruesa con separación entre láminas de 400 milimicras; Normal con 350 milimicras y Fina con 250 milimicras. La Perlita de los aceros y de la fundición gris es similar y cuando es muy fina se la suele llamar Sorbita.

Cementita. Es un carburo de hierro (Fe₃C). Contiene 6,67 % de C y 93,33 % de hierro.

Es el más duro y frágil de los componentes de la microestructura. Su dureza es superior a 68 Rc (Rockwell C). Cuando el porcentaje de C es tan alto, que no todo el C está presente como Fe₃C en la Perlita, el exceso puede encontrarse como Cementita Libre (Cementita Pro Eutéctica).

Austenita. Es una solución sólida de C en hierro Gama. Puede contener hasta 1,7 % de C y es por lo tanto un constituyente de composición variable. Todos los aceros por encima de las temperaturas críticas, se encuentran formados por cristales de Austenita.

Aunque es un constituyente inestable se puede obtener esa estructura a la temperatura ambiente, por enfriamiento rápido de los aceros de alta aleación o de alto contenido de carburos y también de los hierros grises fuertemente aleados (con Ni por ej.).

En el enfriamiento la Austenita se transforma en Perlita a la temperatura crítica de 723 °C (en ausencia de Silicio). Si aumenta la cantidad de Si la transformación tiene lugar a temperatura superior a 723 °C.

Grafito. Es una forma de carbono ele-

mental. Es blando, frágil y débil. Ejerce fuerte influencia modificadora del hierro gris, en lo que respecta a las propiedades de su matriz. En ésta se presenta en forma de escamas que se clasifican en cinco tipos de grafito. Los tipos A, D y E se encuentran generalmente en los hierros grises y entre ellos se trata de reproducir el tipo A que es el más pequeño y representa al grafito eutéctico. La formación de grafito en el hierro gris al solidificarse está afectada en gran parte por la velocidad de enfriamiento. Una velocidad lenta promueve el efecto del Si que es grafitizante y alta lo inhibe. El silicio es un elemento necesario; reduce la estabilidad del Fe_3C y promueve la formación de grafito.

Ejemplos de procesos de enfriamiento
(Estado líquido - temperatura ambiente)

Acero de 0.20 % de C y Fundición Gris de 3.0 % de C.

Comienzo de Solidificación: Acero-1495 °C; Hierro Gris-1385 °C.

Precipitan al principio en ambos casos cristales de Austenita que a medida que desciende la temperatura son cada vez más ricos en C. Cuando el líquido madre llega a 1400 °C en el acero y 1135 °C en el hierro gris, solidifica totalmente. En el caso de la fundición Gris la solidificación da origen a Ledeburita (Cristales eutécticos compuestos a 1135 °C por 52% de cementita primaria y 48 % de Austenita). En la solidificación del acero no hay Ledeburita. En el caso del acero hasta 891 °C no ocurren anomalías y comienzan a nacer de la Austenita, cristales de Ferrita. Al llegar a 768 °C toda la Ferrita que nació sufre una transformación magnética. En el hierro gris al descender la temperatura y al bajar el contenido de C de la Austenita van apareciendo cristales de Cementita Secundaria. La disminución de temperatura influye también sobre la Ledeburita que a 727 °C se descompone y da Perlita. A 700 °C la Austenita del hierro gris y del acero llega a 0,90 % de C y se transforma en Perlita bruscamente obteniéndose: Hierro

Gris con estructura compuesta por cementita secundaria, (provenientes parte de la Austenita y parte de la Ledeburita), Cementita eutéctica, Perlita (proveniente de Austenita y Ledeburita) y Grafito en escamas.

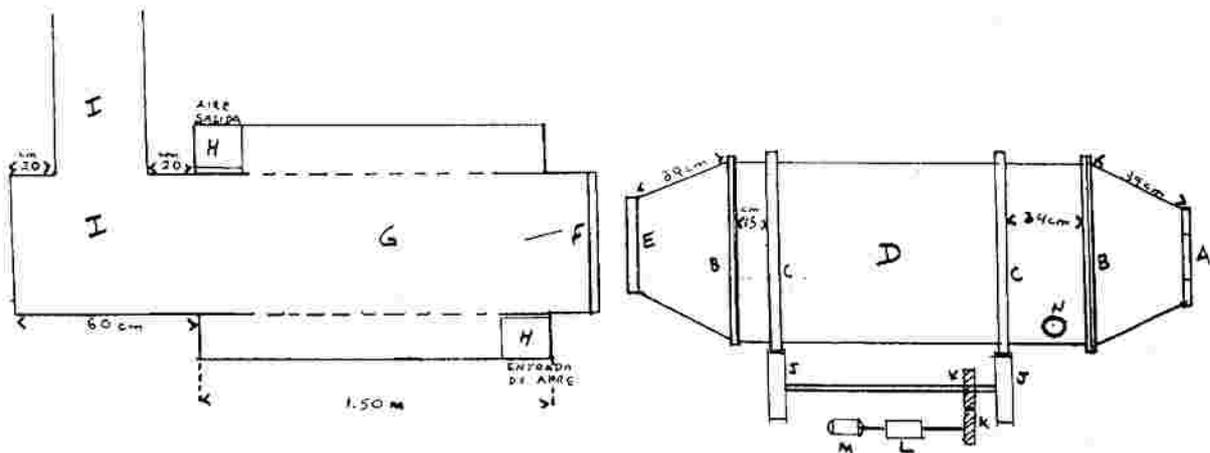
Acero con estructura de Perlita y Ferrita (puede haber Cementita libre).

Definiciones

Eutéctica. Son agrupaciones cristalinas obtenidas en la solidificación de soluciones líquidas.

Eutectoide. Son agrupaciones cristalinas que aparecen en la transformación de soluciones sólidas.

Cementita Primaria. Precipita al solidificarse la solución líquida.



REFERENCIAS

- A - Boca de carga: diam. interno = 20 cm y entrada del quemador y aire soplado ambos retráctiles (para cargar y escoriar).
- B - Platinas de unión
- C - Llantas de rodamiento: (espesor = 2 cm. / Ancho = 5 cm.)
- D - Carcasa rotatoria: diámetro exterior = 76 cm. Entre platinas 1.50 mts. longitud.
- E - Salida de gases de combustión: diámetro externo = 42 cms.
- F - Boca entrada de gases al regenerador: diámetro externo = 42 cms.
- G - Regenerador: (2 cilindros concéntricos) o precalentador de aire.
- H - Entrada y salida de aire proveniente de ventilador centrífugo de 5 CV - 19 cm x lado.
- I - Caja de humos y chimenea de 12 mts. altura / diámetro = 40 cms.
- J - Rodillos: diámetro = 33 cms. / ancho 8.5 cms. forma de llanta de locomotora.
- K - Engranajes helicoidales de reducción unidos respectivamente al eje del reductor y del comun a ambos.
- L = Reductor.
- M - Motor de 3 CV.
- N - Orificios de colada (2 simétricos) diámetro = 10 cms. (con tapa abulonada).