



Tecnología de obtención de hierro con grafito esferoidal por el método de vertido dinámico*

Víctor Manuel Arévalo Suárez

Carrera: Ingeniería Mecánica.

Universidad de Holguín (Cuba).

Resumen: Se realiza un análisis de los antecedentes en la producción del hierro con grafito esferoidal, las causas que provocan no poder establecer una línea de producción estable en el país. Esta investigación desarrolla una tecnología de producción de hierro con grafito esferoidal por el novedoso método dinámico bajo las condiciones específicas de la Empresa de Fundiciones Acero-Hierro de Holguín, de una manera competitiva, sostenible y sustentable.

Palabras clave: Hierro con grafito esferoidal; vertido dinámico; Empresa Fundición de Hierro y Acero.

Spheroidal Graphite Iron Production Technology by the method of dynamic discharge.

Abstrac: This work presents an analysis of the historical background of spheroidal graphite iron production and the reasons of being unable to attain a stable production in the country. As part of the research, a new technology to produce spheroidal graphite iron is developed by using a new dynamic method under the specific operating conditions of the steel-iron casting plant in Holguin in a competitive and sustainable manner. This innovation was awarded the "Innovador 8 de Octubre" distinction and it is in the process of being patented.

Key words: spheroidal graphite iron; dynamic discharge; Iron and Steel Casting Plant.

Introducción

La Empresa Fundición de Hierro y Acero (EFHA) es una de las pocas entidades en el país que produce, aunque en menor proporción, hierro con grafito esferoidal. La misma está ubicada en la carretera de San Germán kilómetro 3 ½, Holguín; fue fundada en julio de 1980 y redimensionada en el año 2003 y consta de dos talleres fundamentales para su producción.

El taller de producciones ferrosas, con un horno de cuba alta discontinuo de 700 mm de diámetro interior, posee una capacidad calculada de 360 toneladas al año. Se producen piezas principalmente para la Industria Mecánica, el MINAZ, el MINTUR, el MINBAS, entre otras. El moldeo se realiza en cajas metálicas de dimensiones 1000 x 800 x 300 mm y 630 x 500 x 250 mm y se utilizan mezclas en verde. En la actualidad, la carga para la producción del hierro fundido gris presenta la siguiente composición: 70% de chatarra de hierro y 30 % de retorno (Sánchez, 2009).

La producción de hierro con grafito esferoidal tiene como particularidad que cinco segundos después de ser vertido y bajar de 1360 °C comienza la desmodificación estructural pasando a una estructura vermicular o laminar, lo cual provoca un alto índice de rechazo por la obtención de fundición gris en lugar de fundición con grafito esferoidal, generando altos costos de producción (Batista, 2003).

Esto se solucionó aplicando una metodología de obtención de hierro con grafito esferoidal

por el novedoso método de "modificación dinámica", de una manera competitiva, sostenible, sustentable y aplicable a las condiciones específicas de la industria metalmeccánica internacional.

Obtención de hierro con grafito esferoidal por el método de vertido dinámico

Diversos investigadores han precedido esta investigación abordando la obtención del hierro con grafito en forma de esferoides, con la finalidad de determinar los parámetros que influyen sobre el proceso y el objetivo de lograr optimizar los mismos, de forma tal que se obtengan aleaciones con altas propiedades y con el menor costo posible.

Analizando los datos que provienen de uno de los 40 ensayos de solidificación, monitoreados, utilizando un termopar tipo K, fue colado en molde de arena a la temperatura de 1432 °C; mientras que el sobrecalentamiento del líquido en el horno de inducción de crisol fue de 1552 °C. Su composición química, en porcentaje en peso para los principales elementos, fue determinada por medio de un equipo analizador marca LECO y por la técnica de espectrografía de masas, con la siguiente composición química C-3,5; Mn-0,5; Si-2,74; Mg-0,038; P-0,038; Si-0,01.

El monitoreo y el análisis del proceso de solidificación (Figura 1) fue realizado a través del programa "ps3" lo que permitió conocer los siguientes parámetros del proceso: las temperaturas de los eutécticos estable y metaestable son de 1157 °C y 1091 °C, respectivamente; el tiempo de enfriamiento del líquido es de 15 segundos; el tiempo total de solidificación de 94 segundos y la temperatura final de solidificación de 1084 °C. El grado medido de eutecticidad de la aleación a través del Carbono Equivalente es CE=4,42 % y mediante el Índice de Saturación en Carbono es SC=1,04.

Como conclusiones de este experimento se puede decir que en realidad en las aleaciones comerciales esos esferoides presentan numerosas protuberancias que las alejan de la idealidad descrita anteriormente; es necesario clasificar las imperfecciones en los nódulos de la siguiente manera:

- Nódulos incompletos, como los producidos en los sobretratamientos con Mg.
- Híbridos o Híbridos Laminar-Nodular, generados por subtratamiento con Mg. Dichos nódulos exhiben protrusiones tipo laminar.
- Nódulos Explotados, como los que ocurren en piezas de gran espesor, debido a

flotación de esos esferoides y se ubican en las mazarotas y también en regiones donde existe muy baja presión. Este hecho, conduce a una considerable expansión de los nódulos debido a la explosiva evaporación del Mg.

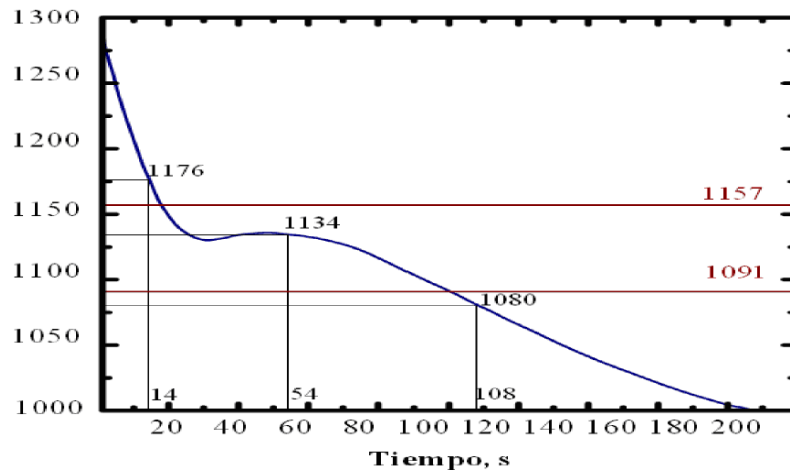


Figura 1. Curva de enfriamiento y valores de las temperaturas eutécticas en función del silicio.

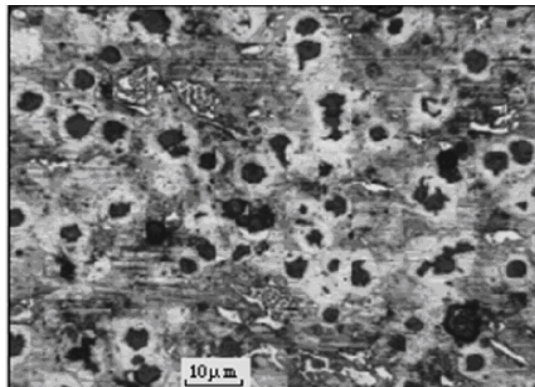


Figura 2. Panorámica a 100x de la microestructura justamente debajo de donde estaba la punta del termopar para monitoreo de la historia térmica de solidificación.

Como aporte, esta tecnología alternativa dinámica para la obtención de hierro con grafito esferoidal da solución a estos problemas que no permiten el establecimiento confiable de una línea de producción de hierro con grafito esferoidal que cumpla con las normas internacionales que rigen este tipo de producción; esta investigación genera un aporte tecnológico novedoso al obtener por primera vez fundición con grafito esferoidal por el método dinámico.

Los resultados del análisis implican que para la producción competitiva de hierro con grafito esferoidal se debe aumentar el Rendimiento Tecnológico General disminuyendo el

índice de rechazo y el peso del metal desmodificado, por lo que la tecnología propuesta debe disminuir el tiempo de solidificación, logrando un alto aprovechamiento del caldo metálico. Para el cumplimiento de estos objetivos se aplica la tecnología alternativa dinámica siguiente:

Sobre una rampa metálica de 4000 mm x 4000 mm, construida de angulares de Ac 45 y chapas de 3 mm de espesor, sostenida por 6 muelles y un vibrador electromagnético en el centro, se colocan los moldes a verter. Como se indica en la instrucción tecnológica que se incorpora en el anexo 1, en el momento de ser vertidos los moldes se aplican las cargas dinámicas y se realiza el vertido, lo cual permite disminuir el tiempo de solidificación de la pieza, por la acción de agitación provocada por la dinámica que propicia un aumento de la pérdida de temperatura, es decir, aumenta la velocidad de enfriamiento y solidificación de los fundidos de hierro con grafito esferoidal, lográndose la solidificación de las piezas fundidas antes de la desmodificación del caldo metálico.

Discusión de resultados

1. Resultados económicos: La tecnología desarrollada ha permitido llegar a índices de eficiencia competitivos que han favorecido la producción a escala industrial de hierro con grafito esferoidal bajo las condiciones de la industria siderúrgica cubana actual, como lo son la disminución de la pérdida metálica en un 5,5 %, aumento del peso del hierro modificado y el rendimiento tecnológico general. Esto permitirá desarrollar de forma real los planes de sustitución de piezas de acero por piezas de hierro con estructura esferoidal, por ejemplo: sustituyendo las piezas de aceros tecnológicamente posibles de la KTP, el peso de la maquinaria disminuiría en un 30 %, necesitándose un motor de menor potencia, menos combustible y menor compactación de los suelos al paso de la combinada, lo que trae como consecuencia menores costos de producción.
2. Impacto medioambiental: El análisis de los resultados demuestra que este trabajo tiene un gran impacto sobre el medio ambiente, ya que se disminuye en buena medida la emisión de gases a la atmósfera y desechos sólidos, como cenizas y escorias al entorno.
3. Influencia en la defensa: El objeto social de la EFAH de Holguín es la producción de fundidos para la Empresa IMPAG y para la fábrica de combinadas cañeras KTP que en la actualidad realizan la reparación y modificación de la técnica militar, donde se utilizan considerablemente las producciones generadas por la tecnología desarrollada en este trabajo.

Conclusiones

La desmodificación del carburo en la producción de hierro con grafito esferoidal en la EFAH limita las producciones.

La tecnología tradicional no permite el desarrollo de la producción de hierro con grafito esferoidal a escala industrial por las altas pérdidas que esta provoca.

El desarrollo de la tecnología de vertido dinámico permite la producción de hierro con grafito esferoidal, cumpliendo con las propiedades que rigen este tipo de producción en el mundo de manera competitiva, sostenible y sustentable.

Recomendaciones

Como la tecnología de obtención de fundiciones con grafito esferoidal, por el método de vertido dinámico, se encuentra en fase experimental, recomendamos sea puesta en serie "Cero", para luego situarla a escala industrial, demostrar su efectividad y generalizarla en todas las fundiciones del país.

Referencias bibliográficas

BATISTA, A. 2003: *Análisis y procedimientos para la obtención de hierro con grafito esferoidal por el método "In Mold" bajo las condiciones específicas de la Industria en Cuba*. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Holguín.

SÁNCHEZ, R. P. 2009: Tecnología para la manufactura competitiva de fundidos de aleaciones de Cobre. En: IV Conferencia Científica. CD-ROOM. ISBN-978-959-16-1010-2.

*Trabajo presentado en el XIX Fórum Científico Nacional de Estudiantes Universitarios de Ciencias Técnicas. Tutorado por el M.Sc. Rigoberto Pastor Sánchez Figueredo. Esta tecnología obtuvo la "Condición de innovador 8 de Octubre" y se encuentra en trámites de ser patentada.

Anexos

Anexo 1. Instrucción de Vertido Dinámico del hierro en moldes de arena en la EFAH elaborada por la Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya".

INSTRUCCIÓN



Tecnología alternativa dinámica de vertido de hierro nodular en moldes

Código: IT 4.5.1-11

Revisión: 01

Fecha: 6/02/2011

Página: 1 de 7

Índice

1.0 Objetivo.

2.0 Alcance.

3.0 Definiciones.

4.0 Responsabilidades.

5.0 Referencias. 6.0

Desarrollo. 7.0

Registros

Modelo "Control del Vertido"

1. OBJETIVO

Describir los pasos a seguir para el vertido del hierro líquido en los moldes.

2. ALCANCE

La presente Instrucción es aplicable al vertido del hierro con grafito esferoidal con el horno de cubilote.

3. DEFINICIONES

No se aplica.

4. RESPONSABILIDADES

4.1 El Jefe de brigada de fusión tiene la responsabilidad de que se cumpla estrictamente lo descrito en esta instrucción.

4.2 El controlador de la calidad tiene la responsabilidad de:

- Velar por que se cumpla lo descrito en esta instrucción.
- Medir la temperatura del metal.

- Llevar la probeta para ensayos al laboratorio.

4.3 El resto de las responsabilidades se encuentran descritas en el acápite DESARROLLO.

5. REFERENCIAS. No se aplica.

6. DESARROLLO.

6.1 Generalidades.

6.1.1 Antes del vertido de los moldes el Jefe de Brigada de Fusión debe conocer:

- El número, el peso, la cantidad y el tipo de piezas que se van a verter.
- Parámetros dinámicos de la rampa de vertido.
- La composición química de la aleación a verter, la temperatura de vertido del molde, peso de metal en el mismo, tiempo de mantenimiento del metal líquido en el molde hasta desmoldeo y la situación de los pesos para la carga de los moldes.

6.2 Lugar de trabajo y equipamiento de los vertedores. El área o lugar de trabajo de los vertedores incluye:

6.2.1 El área de toma del metal líquido de los hornos, la rampa de vertido, el área de colada de la granallera y las áreas de vertidos en las cuales están situadas los moldes que se van a verter.

6.2.2 En la colada se utilizan los equipos y herramientas siguientes:

- Cubos de vertido de 2 t; 1,2 t; 0,3 t y 0,08 t.
- Rampa de vertido.
- Grúa puente.
- Mecanismo de vertido.
- Carro para transportar las cazuelas.
- Herramientas: Palancas, limpiadores, tubo de acero de Ø 14 mm.
- Balón de oxígeno.

6.3 El Jefe de Brigada de Fusión debe revisar el estado técnico de las grúas viajeras, del vibrador electromagnético y la posibilidad de ejecutar todos los mandos correctamente.

6.4 Los vertedores están obligados a:

6.4.1 Revisar el buen estado del revestimiento refractario de los cubos de vertido a utilizar así como el funcionamiento y centrado del seguro.

6.4.2 Revisar el estado del mecanismo de inclinación de los cubos de vertido.

6.4.3 Revisar que todas las herramientas necesarias se encuentren en el área.

6.4.4 Retirar todo tipo de objetos y materiales que no se necesitan y que pueden provocar accidentes.

- 6.4.5 Preparar la cantidad de ferro aleaciones necesarias para modificar la aleación a obtener y su colocación en los cubos antes de la colada.
- 6.5 Secuencia de actividades para el vertido:
(La colada sólo se realizará después de la preparación del lugar de trabajo, herramientas y los equipos según las responsabilidades de los implicados).
- 6.5.1 Preparar los moldes para verter la probeta tecnológica para ensayos en presencia del Controlador de la Calidad y del Jefe de Brigada de Fusión.
- 6.5.2 En el caso que corresponda se colocarán las adiciones y ferroaleaciones en el fondo del cubo previamente calentado.
- 6.5.3 Vertido del metal al cubo.
- 6.5.4 Limpiar la escoria si fuera necesario. Adicionar 2 palas de conque caliente al espejo del metal.
- 6.5.5 Medir la temperatura del metal dentro de las cazuelas según la tecnología.
- 6.5.6 Efectuar el vertido de la probeta para ensayos, en presencia del controlador de la calidad y el jefe de brigada.
- 6.5.7 Transportar el cubo por medio del carro hasta el área de la rampa de vertido. Adicionar al espejo del metal un ladrillo refractario de desecho previamente calentado, colocándolo de forma tal que obstruya el paso de la escoria a través del labio de la cazuela.
- 6.5.8 Transportar el cubo por medio de la grúa hasta el molde.
- 6.5.9 Bajar el cubo hacia el tragadero del molde, siendo la altura o distancia del flujo líquido no mayor de 150–200 mm.
- 6.5.10 Encender el vibrador de la rampa de vertido y realizar el vertido con un flujo líquido continuo en el comienzo hasta llenar el sistema de alimentación y lento al final del vertido, de forma tal que no se derrame el metal del molde.
- 6.5.11 Evitar que el metal líquido se derrame por la parte superior de los respiraderos del molde.
- 6.5.12 Si durante el vertido el molde hierve, se producen explosiones o se escapa el metal por el (los) plano (s) divisorio (s) el vertido se interrumpe.
- 6.5.13 El metal que sobra en los cubos se vierte en las lingoteras.
- 6.5.14 Después de terminado el vertido se procede a la limpieza del cubo, utilizando para ello los tubos de acero Ø 14 mm y el balón de oxígeno, hasta eliminar el metal incrustado. Además deben limpiar y reparar las herramientas que han sido utilizadas y se apaga el vibrador magnético de la rampa una vez solidificado el metal.
- 6.6 Protección e higiene del trabajo.

6.6.1 Los vertedores deben ser instruidos respecto a las técnicas de seguridad, protección e higiene del trabajo y a lo establecido en la presente instrucción.

6.6.2 Está prohibido:

- Utilizar cubos de fundición húmedos, mal secados o que no han sido calentados hasta el rojo la primera vez que se han utilizado.
- Utilizar cubos de fundición con partes exteriores locales rojas.
- Utilizar herramientas húmedas y defectuosas.
- Verter el metal en el piso. Verter la escoria en otro lugar que no sean los preparados para ello.
- Pasar y permanecer debajo del cubo de vertido.
- Transportación de cubos de fundición que no estén protegidos al giro contrario o con el mecanismo de seguridad defectuoso.
- Trabajar con grúas defectuosas.
- Trabajar con el mecanismo de vertido de monorraíl defectuoso.
- Utilizar la grúa por personas que no posean la calificación correspondiente.

6.7 Frecuencia de cumplimiento:

Durante la jornada de la fusión en los hornos de cubilote. 7. REGISTROS.

7.1 Los registros se controlan según lo establecido en el PG 1.2.4-04 "Control de los Registros de la Calidad".

Elaboró: Víctor Manuel Arévalo Suárez. Diplomante.

Revisó: MSc. Rigoberto Pastor Sánchez Figueredo. Tutor.

Aprobó: Ing. Alexis Ronda Oro. Oponente (Especialista FAH).

Anexo 2.

Tabla 1. Comparación del comportamiento de los índices tecnológicos

No	Parámetros	Tipo de Tecnología		Eficiencia	
		Tradicional	Dinámica	Unidades	(%)
1	Tiempo de solidificación (s)	0,63	0,99	36	57,14
2	Peso del caldo de hierro Gris (Kg.)	1000	1000	-	-
3	Rendimiento metálico(%)	94.44	94.44	-	-
5	Índice de rechazo (%)	35	5	30	85.9
6	Perdida metálica (%)	13	5.5	7.5	57.69
7	Rendimiento tecnológico general (%)	53.41	84.79	31.38	58.75
8	Energía eléctrica	471,8365	297,2136	174.6229	37.9
9	Fuel Oil	0,0281	0,01 77	0.0104	37.01
10	Combustible diesel	0,0000	0,0000	-	-
11	Combustible gasolina	1,3618	0,8578	0.504	37
12	Chatarra de hierro	1,8724	1,1794	0.693	37.01
13	Carbón coque	0,5430	0,3420	0.201	37.01
14	Leña P/Combustible	0,0749	0,0472	0.0277	36.98
15	Agua (granalla, mezcla y fusión)	3,7447	2,3588	1.3859	37
16	Oxígeno industrial	0,3745	0,2359	0.1386	37
17	Alcohol natural	1,8724	1,1794	0.693	37.01
18	Productividad (Kg/C.)	850	850	700	82,35
19	Costo (\$/Ton)	2444,95	1915,23	529.72	21.66
20	Precio (\$/Ton)	2647,68	2.117,96	529.72	20