

“Prolongación de la vida útil del revestimiento refractario en un horno de inducción de INTRAMET”

Federico Ochoa Mite¹ , Ignacio Wiesner Falconí²

¹Ingeniero Mecánico 2005

² Director de Tesis. Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1971, Postgrado en México, UNAM – Politécnica de México, Investigador visitante del CENIM – España y el IPT – Brasil, Profesor de la ESPOL desde 1975.

RESUMEN

A fin de dar mayor vida útil al refractario monolítico sinterizado “in situ” del horno de inducción magnético usado para la fundición de partes de alta complejidad en la empresa de INTRAMET, se hacen cambios en la densidad de la mezcla de agregados, se varían los contenidos de ácido bórico, usado como agente ligante de la sinterización, y se establece una curva de elevación de temperatura con relación al tiempo para obtener mejores características mecánico-refractarias en el crisol del horno.

La metodología a seguir en el desarrollo de esta tesis será, primero describir el funcionamiento de los hornos de inducción sin núcleo, luego se presenta una descripción del equipo y los problemas encontrados en el refractario del crisol.

En el capítulo dos se presentan las alternativas de solución que se tiene para el refractario las cuales se escogen dependiendo del tipo de colada a fundir en esta clase de hornos eléctricos de inducción, también se determina la correcta combinación de granulometría y de su correspondiente porcentaje de ligante.

En el capítulo tres se realiza una evaluación de los parámetros que más han incidido en el mejoramiento de la productividad y en sus costos de producción.

Por último se dan las conclusiones y recomendaciones, para proteger y prolongar la vida del horno de inducción.

Abstract

To propose of increasing the useful life of the refractory monolithic sintered in place the induction furnace of INTRAMET, they established changes in their density, in the content of used boric acid as bond addition and the bend of sinterized of the refractory one settles down this it is obtained of the temperature versus time and with it to obtain better characteristics mechanic-refractory in the coreless of the induction furnace.

Detail of the furnace of magnetic induction is described without nucleus, the alternatives of refractory and specifically those of sand of silica, are carried out the techniques of installation of the lining of the refractory one it is burned the evaluations of the installations then and conclusions and recommendations are given.

Introducción

La aparición del calentamiento eléctrico de metales por medio de bobinas de inducción magnética se debe entre otros a un ilustre guayaquileño, el Dr. Cryoano Tama, quien inscribió las primeras patentes sobre este tema en Alemania y EEUU a comienzos del siglo pasado.

La empresa INTRAMET posee un equipo para fusión de metales usando este principio y en las placas de identificación, las patentes usadas para su fabricación se lee AJAX-TAMA dando fe que lo que se asevera en esta tesis es verdad.

La fusión con horno de inducción revolucionó la fundición de metales ya que compitió con los costos de los tradicionales hornos de cubilote, de amplia aceptación mundial y proporcionó la seguridad de conocer la composición química del metal antes de hacer el colado, superando ampliamente la operabilidad de los cubilotes.

En Brasil, se tienen más de 8.000 hornos de inducción funcionando todos los días del año para suplir la demanda de partes para la industria automotriz principalmente y demás sectores de la producción.

En Ecuador, existen solo dos hornos de este tipo en funcionamiento con capacidad alrededor de 450 Kg. para producir piezas fundidas en acero de baja y media aleación y en particular INTRAMET se dedica a la producción de aceros inoxidable con diferentes propósitos tecnológicos, desgaste por corrosión a temperatura ambiente y a temperatura elevada, además tiene en producción materiales resistentes al desgaste abrasivo tales como hierro blanco aleado con 12% de Cromo y acero al Manganeso.

Los cuarzos suecos son de uso intensivo en la mayoría de las fundiciones en todas partes aunque poseen una pureza no mayor al 98%; en cambio las sílices que vienen provenientes del Oriente Ecuatoriano poseen una pureza sobre el 98%. Por lo que nos vimos animados al desarrollo de refractarios para hornos de inducción con materiales propios. El tema

tratado en esta tesis es de gran importancia ya que representa un enorme ahorro el no tener que importar material de alto costo y de inferior calidad porque la refractariedad de la Sílice depende del grado de pureza.

Contenido

El horno de inducción de INTRAMET a presentado fallas en su revestimiento por lo que se realizó el presente estudio para mejorar su producción y seguridad. Una de las causas principales que motivo este trabajo fue la falla del revestimiento que duró una mínima cantidad de 12 coladas que esto transformado en toneladas de producción nos representa un total de 6 Ton de acero.

En un horno de inducción propiamente dicho sin núcleo consta de una bobina tubular de cobre la cual encierra una capa de material refractario alrededor de toda la parte circunferencial así a como toda la longitud interior del horno.

Los hornos de media frecuencia de tiristores poseen un convertidor de frecuencia. la línea trifásica alimenta al transformador y este a su vez a un rectificador de corriente de tiristores a 60 Hz del tipo de puente de Graetz luego la corriente pasa a un equipo de filtrado compuesto por una reactancia de alisado para obtener una corriente continua después de a un ondulator o convertidor de frecuencia monofásico destinado a transformar la corriente continua de entrada en corriente de media frecuencia, de ahí al circuito del horno formado por la bobina, el banco de condensadores de corrección del factor de potencia propia del equipo y por último el circuito de control manejado electrónicamente.

Cabe resaltar que la finalidad del aislamiento refractario en el horno de inducción es de:

Contener la colada

Disminuir las pérdidas de calor

Lograr en su exterior un ambiente adecuado.

En su interior proteger a la bobina de inducción.

Cortar la penetración de metal fundido o derrame de metal.

Soportar la temperatura máxima de operación.

Ser buen aislante térmico y eléctrico.

Soportar los cambios bruscos de temperaturas

Resistir la erosión causada por el torrente de gases ascendentes, el descenso de las cargas y de la escoria.

Tener alta resistencia a la compresión.

El revestimiento refractario para hornos de inducción puede ser seleccionado por su composición química: ácidos, básicos y neutros dependiendo principalmente de la colada a fundir y la formación del crisol del horno de inducción debe ser en sitio del tipo apisonable tal como la arena de sílice que corresponde químicamente a un refractario del tipo ácido y que es usado para la fundición de acero principalmente.

La principal característica de estos refractarios es la de soportar las fundiciones con escorias ácidas tales como la fusión de fundición gris y acero moldeado que es lo que produce INTRAMET, entre los refractarios que cumplen con estos requerimientos esta la SiO₂ Sílice (Oxido de silicio).

Para los hornos de inducción se usa la arena de sílice en forma de cuarzo sueco, nuestro suelo también proporciona la sílice nacional, provenientes específicamente del oriente de la Provincia de Zamora del Cantón Guaysini, su análisis químico de SiO₂ = 98.3%. Por cuestiones de logísticas, de ahorro de divisas y además por tener las propiedades requeridas se usa nuestra sílice.

El cálculo de la masa ó cantidad de material refractario requerido es:

$$M = \rho \times V$$

Donde:

M = Masa.

ρ = Densidad de la sílice (2650 Kg/m³).

V = volumen.

El volumen que ocupa el refractario dentro del horno se obtiene de:

$$V = \pi H (Dt + t^2) + \pi h (D+2t)^2/4.$$

Donde:

D = diámetro exterior del modelo de chapa metálica = 0.36 m

H = altura del modelo de chapa metálica = 0.66 m

T = espesor de la pared del revestimiento = 0.09 m

h = espesor del revestimiento en la base = 0.08 m

Reemplazado valores se tiene

$$V = \pi \times 0.66(0.360 \times 0.09 + 0.09^2) + \pi \times 0.08(0.360+2(0.09))^2/4$$

$$V = 0.102 \text{ m}^3$$

Por lo tanto su masa dada en kg será de:

$$M = 2650 \text{ Kg/m}^3 \times 0.102 \text{ m}^3$$

$$M = 271.08 \text{ kg } \text{ ó } 597.47 \text{ lbs}$$

El total requerido de arena sílice para el llenado total del revestimiento entre la chapa metálica y la capa de protección de la bobina es de 597 lbs. Esta capa de protección en nuestro caso es de tela de asbesto de 6mm de espesor recubierto con cemento Concrax 1500 con un espesor de 18 mm quedando con un diámetro de 540mm disponible para la sílice.

Por lo que se requiere de 197lbs de grano grueso que representa el 33%.

De 179 lbs correspondiente al 30% de grano medio, 101.5 lbs de grano fino que corresponde al 17 % y se necesita de 119.4 lbs de grano ultra fino que es el 20%, además se debe adicionar 5.97 lbs de ácido bórico correspondiente al 1%.

En nuestro caso se tiene un horno con una capacidad máxima de 0.5 ton por lo que el método a seguir para la aplicación del revestimiento monolítico fue el apisonado manual.

El fondo del horno es apisonado con capas de 8 cm, para cerciorarse del espesor de la capa del fondo del horno se debe usar un medidor de profundidad tomado con referencia la parte superior del horno. El exceso de apisonar con la herramienta puede causar segregación en el fondo de la capa del revestimiento aminorando su vida útil.

Una vez que el refractario con su ligamento a sido instalado correctamente, la masa del refractario debe ser calentada en orden para activar el ligante y juntos formar el crisol. El calor debe ser aplicado de una manera controlada, para remover lentamente alguna humedad, y también se permiten que ocurran los cambios cristalinos en el desarrollo inicial del cerámico con el ligante. Este proceso es normalmente llevado a cabo durante la fusión de la primera carga metálica esta primera fundida se la conoce como el quemado del revestimiento.

Para realizar la sinterización del revestimiento del horno de inducción se dio cita al personal designado a las 23h00, para arrancar con el proceso a las 24h00. Antes de iniciar se realiza

una última revisión del horno en general: nivel de agua del sistema de enfriamiento, si las bandas de los motores tienen su temple correspondiente, ajustes de abrazaderas, ajustes de los contactos y terminales eléctricos se registran los datos y se luego se levanta un gráfico temperatura Vs tiempo para obtener la curva de sinterizado.

Después se realizó el seguimiento del comportamiento del revestimiento específicamente de su diámetro en cada una de las 25 coladas que duro el nuevo revestimiento además el comportamiento de su espesor el porcentaje de desgaste y la prolongación de su vida útil.

El diámetro con el cual se dio inicio este nuevo ciclo de vida del refractario es de $\varnothing = 360$ mm, con un espesor de $t = 90$ mm. Pero al llegar el refractario a un (30% ó 40%) se debe reemplazar dicho refractario y empezar el proceso de cambio de arena sílice siguiendo los procedimientos aquí explicado, este cambio de refractario se debe realizar por seguridad de la bobina y del horno en si y principalmente por la seguridad del personal que labora en dicho equipo y en la empresa. Ya que una explosión metal-agua es de una gran magnitud.

Si se toma el promedio de desgaste permisible del refractario en un 35% esto nos da un espesor t de 31.5mm, ó un diámetro $\varnothing = 63$ mm.

Entonces nuestro diámetro con el que debemos parar por seguridad es de $\varnothing = (360 - 63) \text{ mm} = 423 \text{ mm}$.

Entre las evaluaciones de la implantación se debe mencionar.

Las mejoras más importantes que se mencionan es la incidencia en la seguridad de la operación, en el incremento de la producción en nuestro caso cantidad de coladas con el mismo costo de un solo revestimiento del crisol eso si con una buena preparación del material refractario, el mejoramiento de la productividad en base al mejoramiento de la vida útil del refractario evidenciado por el incremento de coladas para el costo de la sinterizado del refractario.

La cantidad de coladas que se obtuvieron antes de este estudio fueron de 12 coladas problema por el cual se dio paso al presente trabajo para analizar las posibles fallas del refractario, después de finalizado este trabajo se realizaron las correcciones, se tomaron medidas de

precaución y con el nuevo refractario llegó a 25 coladas por lo que su vida útil mejoro y se prolongó.

Se pueden mencionar al menos 6 mejoras logradas en este trabajo:

1. Se logro determinar la granulometría recomendada para esta clase de aplicación de la arena sílice en los hornos de inducción.
2. Se estandarizo el porcentaje de ácido bórico utilizada para facilitar el transporte de materia en la sinterización.
3. Por medio de la herramienta construida para medir el diámetro interior e inferior del refractario se pudo llevar el control del desgaste del crisol.
4. Se determino el máximo diámetro con el cual se puede operar el horno, a partir de ese diámetro se debe parar el horno para reparar o empezar con el proceso del cambio del refractario.
5. Debido a que la mayor demanda de fundición es hierro gris comparado con el acero, se tomo la decisión de usar dos dimensiones de modelo en chapa metálica para el aglomerado: Una de mayor dimensión para hierro gris con lo cual se tiene un espesor del revestimiento de 90 mm, con una mayor capacidad de colada. El otro modelo de menor dimensión con lo cual se incrementa el espesor del refractario a 100 mm con una menor capacidad de colada solamente destinado para acero.
6. Para la sinterización del refractario se debe usar la curva de quemado que corresponde para la sílice.

Conclusiones y Recomendaciones

Después de haber realizado el trabajo de mejoramiento del refractario del horno de inducción establecemos las siguientes conclusiones:

- Se logró prolongar la vida útil del refractario en un 100% luego de seleccionar la granulometría correcta con su respectivo porcentaje de ligante.

► Se mejoró la producción con más coladas de fundición ya que se duplicó (25) en relación a las 12 coladas obtenidas antes de este estudio.

► Se disminuyeron los tiempos de paradas del horno de inducción evitando así un lucro cesante.

► Se brindó mayor seguridad en su entorno poniendo un límite mínimo de espesor

► Se mejoró la técnica para hacer correctamente nuestros propios refractarios de los hornos de inducción.

Las recomendaciones para mantener el refractario en buen uso son las siguientes:

► Antes de proceder a la sinterización del revestimiento se recomienda realizar un análisis de su composición para conocer de antemano que curva de temperatura se requiere para evitar defectos en el aislamiento.

► Se recomienda llevar un historial o bitácora de mantenimiento del sistema.

► Inspeccionar visualmente después de cada colada el diámetro del revestimiento.

► Para mejorar condiciones de operación ensayar con refractario monolítico de alta alúmina para tener un crisol para cuando se trate de materiales con escoria básica.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Ceramic Society Bulletin, Volume 8, No. 10, Octubre 2001.
2. ASM International, Ceramics and Glasses, Volume 4, First Printing, USA 1991
3. BCIRA /ELECTRICITY SUPPLY INDUSTRY Manual on Refractories for Coreless Induction Furnaces in Ironfoundries 1979 Birmingham, England
4. SHACKELFORD JAMES Ciencia de Materiales para Ingenieros tercera Edición México 1995
5. FINN LYNGGAARD, Tratado de Cerámica, Omega,
6. JOSE A. MANRIQUE. Transferencia de Calor, Harla S.A, México 1981
7. JULIO ASTIGARRAGA URQUIZA, Hornos Industriales de Inducción, McGraw-Hill, Colombia, 1999
8. KREIT, FRANK, Principles of Heat Transfer, Intext Educational Publishers 1973
9. NICOLAS LARBURU ARRIZABALAGA. Maquinas Prontuario Paraninfo 1990.
10. R.W. GRIMSHAW, the Chemistry and Physics of Clays and Other Ceramic Materials, John Wiley & Sons, 1971.
11. SERWAY RAYMOND A., Física, McGraw-Hill, México 1992
12. SMITH, CORRIPIO, Control Automático de Procesos, Noriega Limusa, Mexico 1991.
13. Guías de producción más limpia 2 Fundición, México, 1era Edición 1988
14. FH NORTON, Cerámica para el Artista Alfarero, CECSA, México
15. W.W.W MODERCASTING.COM/Spanish/furnace.pdf
16. Guías de Referencia para el Mantenimiento Apropiado del Horno de Inducción sin Núcleo. Escrito: GEORGE HARRIS. Traducido: Samuel Piña.
17. Química de materiales cerámicos. Por Javier Alarcón.
18. TERMODINÁMICA FAIRES/SIMMANG UTEMA, MEXICO 1991.