

# Selección y Aplicación de Fundentes en la fusión de Aluminio para piezas de Fundición

Autor Ing. José Luis Figueroa M.  
jueves, 15 de enero de 2009

## Resumen

Todo fundidor acepta que la generación de escoria en la fusión de aluminio es parte inherente del proceso de fundición, sin embargo se sabe que la cantidad de escoria está influenciada, por el tipo de horno, los ajustes del quemador, el tipo de carga metálica al horno, las temperaturas de proceso y las propias condiciones del horno.

Esta escoria que no es otra cosa que óxidos de los componentes de la aleación tiende a atrapar aluminio líquido y también, si no es retirada adecuadamente en los procesos anteriores al vaciado de las piezas, podría ser la causa de inclusiones no metálicas, también la cantidad de esta escoria es un indicador de la cantidad de mermas que se tienen de la carga metálica, el desarrollo de innumerable cantidad de fundentes a lo largo de los últimos 20 años hace necesario que los fundidores de aluminio conozcan las diferentes características de un fundente que dependerán de la parte del proceso donde será utilizado en el manejo del aluminio.

## Introducción

La Interacción química de las aleaciones de aluminio fundido con Hidrogeno y Oxigeno, es la parte imposible de eliminar y que debe ser mantenida dentro de control en cualquier fundición de aluminio que este buscando la competitividad en un mercado donde los costos y los niveles de calidad son parte del día a día.

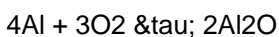
Fig. 1 Interacción química del Aluminio con Hidrógeno y oxígeno.

2

Las ecuaciones químicas entre aluminio, hidrogeno y Oxigeno, han sido comentadas y publicadas en innumerables trabajos de investigadores y expositores alrededor del mundo.



2



Para un Ingeniero de fundición, una rápida y práctica interpretación de estas reacciones es la relación directa que tienen con:

- La merma metálica en la fusión y los procesos posteriores hasta el vaciado de la pieza.
- La formación de inclusiones metálicas que aparecerán en las piezas con su consecuente retrabajo ó rechazo de las mismas.
- La formación de natas y depósitos de alúmina en las paredes de Hornos de fusión, ollas de transferencia, Hornos de retención, bocas de hornos y crisoles

#### EFFECTO DE ESTOS ÓXIDOS EN EL RENDIMIENTO METALICO

Estos óxidos de aluminio que se muestran en las ecuaciones arriba mencionadas son "films", ó delgadas películas de óxidos y que como ya cometamos son una parte intrínseca del proceso del manejo del metal fundido la parte benéfica de estas películas de oxido es la de proteger al metal debajo de la película de oxidación adicional, Sin embargo, la parte nociva se observa en las operaciones subsecuentes de transferencia, escoreo, limpieza, desgasificado, y vaciado, donde el metal tiene algún movimiento que rompe las películas promoviendo una oxidación mayor de la aleación y una aglomeración de estas películas, estas operaciones causan que las películas delgadas de oxido de aluminio se rompan y reoxiden formando la escoria espesa que se observa en los hornos de fusión ó en las ollas de transferencia. También el movimiento constante del metal y la interacción física y química con esta escoria, propicia el encapsulamiento de pequeñas gotas de aluminio no oxidado y forma lo que se conoce como una escoria húmedas El contenido del aluminio metálico en las escorias húmedas es de alrededor de 60% a 80% mientras el restante 40 a 20 % es óxido de aluminio. Esta cantidad de aluminio puede ser reducido hasta niveles de 30% con la utilización de técnicas apropiadas de adición de fundente y escoriado.

Fig. 2. Después de fundido el metal, en las maniobras posteriores cada vez que el "film", de oxido se rompa habrá reoxidación de los óxidos y del aluminio protegido, lo que hará que los óxidos se aglomeren y crezcan.

Partículas de la película de óxidos

PARED DEL HORNO ÓXIDOS EN METAL LIQUIDO PARED DEL HORNO ÓXIDOS EN METAL LIQUIDO PARED LIQUIDO ÓXIDOS EN ALUMINIO FUNDIDO ÓXIDOS GRANDES DE LOS RETORNOS FUNDIDOS ÓXIDOS FINOS DISPERSO METAL DE CALIDAD CON BAJO NIVEL DE INCLUSIONES ÓXIDOS INCLUSIONES

## EFFECTO EN LA CALIDAD DEL METAL

Además de la formación y la eliminación de esta escoria, otro problema son las inclusiones no metálicas que se forman en el baño fundido de metal que se suspenden y flotan en el baño. Los óxidos y las impurezas permanecerán suspendidas en el baño líquido porque su estructura es porosa y algunas veces contienen algún gas incluido. Este problema podría empeorarse si se tiene un proceso de fusión inadecuado principalmente en hornos de reverbero donde un mal ajuste en los quemadores puede oxidar demasiado la carga metálica en el periodo de fusión, aún cuando se parta de primario. También los retornos de metal (del sistema de llenado del molde y mazarotas), normalmente tienen una mayor cantidad de inclusiones metálicas y no metálicas, por lo que según el tipo y el origen del metal de retorno ó chatarras externas y a las condiciones de almacenamiento, el metal puede contener las cantidades considerables de ambas impurezas metálicas y no metálicas.

Fig. 3 Diferentes tipos de Óxidos suspendidos en aluminio fundido.

## EFFECTO EN LOS REFRACTARIOS DE LOS HORNOS.

Principalmente en los Hornos de reverbero, la aglomeración de estos óxidos y su contacto con las paredes del horno tiende a formar depósitos de corundum ( $Al_2O_3$

), que reducen la capacidad de los hornos y disminuyen la vida del refractario, además de incrementar las pérdidas caloríficas a través de las paredes del horno.

4

OO

## EFFECTO EN LAS OLLAS Y HORNOS DE RETENCION.

Aunque en las ollas de transferencia por el movimiento del horno no se llega a la condición de la formación de corundum, la acumulación de los óxidos reduce la capacidad de las ollas además de disminuir la vida de los canales en los hornos, las cajas de filtración y las propias ollas de transferencia.

Fig. 6 Formación de capas de óxidos en las ollas de transferencia y en las bocas de los hornos de baja presión

Inclusion de corundum Marca despues del daño a la herramienta de maquinado Inclusion maquinado

#### EFFECTO EN LAS PIEZAS DE FUNDICION.

Son innumerables los trabajos que se han publicado respecto a las inclusiones no metálicas y metálicas en las piezas de aluminio, básicamente causan puntos duros, discontinuidad en las piezas, y lo peor es cuando el defecto causa el rechazo de la pieza.

Fig. 7 marca de la herramienta de maquinado (después de romperse el filo), por una inclusión no metálica.

Como puede observarse estos óxidos derivados de la solubilidad de hidrógeno en el aluminio y la afinidad química que tienen estas aleaciones con el oxígeno, tienen efecto en prácticamente todo el proceso de fundición y del manejo del aluminio líquido.

Son muchos los investigadores y Fundidores que han analizado el carácter químico de estas impurezas, y de la eliminación de las mismas, la sedimentación, la filtración, y la desgacificación, son algunas de las técnicas que se utilizan, sin embargo la práctica mas común en los diferentes tipos de hornos y en las distintas operaciones de las fundiciones, desde las mas modernas a las mas pequeñas es el uso de fundentes,

El carácter Químico de los fundentes y su acción para controlar la cantidad de merma, y la separación adecuada de los óxidos presentes en el metal ha sido estudiada por muchos años, sin embargo es el enfoque práctico/económico el que debe ser evaluado y considerado de una manera muy seria en la ingeniería de procesos, para no caer en el error de considerar el uso de los fundentes como una parte en el proceso de poca importancia ó de poco valor agregado.

Hoy en día existe una innumerable cantidad de marcas de fundentes, que van desde simples mezclas caseras de sales hasta sofisticados fundentes granulares fabricados con equipos especiales. Por otro lado la conciencia ecológica en los directivos y trabajadores de las fundiciones exige la elaboración de productos menos agresivos a nuestro medio ambiente sin una reducción en su eficiencia ó un costo extraordinario. Es esta enorme diversidad de marcas y productos lo que en un momento dado ha restado importancia a la calidad de los productos y a las técnicas apropiadas del uso de los mismos, es importante que el tema de uso de los fundentes sea analizado en cada una de las empresas que los usan y que exista una conciencia de que una buena aplicación de un buen producto puede ser la diferencia en los costos de producción y de la calidad de las piezas, es importante que estos productos no sean vistos como un mal necesario al que hay que comprar al mas bajo precio posible los ingenieros de proceso deben establecer una comunicación adecuada con sus departamentos de compras en un lenguaje que les permita a ambos llegar a considerar a los fundentes en su verdadera importancia y valor para el proceso. Por otro lado los directivos de las empresas deben fomentar una filosofía de aplicación de la Ingeniería de procesos en sus plantas y permitir y fomentar la evaluación adecuada de los insumos de los talleres de fundición, con un criterio basado en costo/beneficio y no en el precio. Por otro lado los proveedores deberán considerar conocer perfectamente las condiciones de proceso de la fundición antes de lanzar una propuesta de la gran variedad de productos que hoy en día existen, y comprender exactamente para que parte del proceso esta dirigida la aplicación.

Pues bien, el propósito de este trabajo es concientizar a los fundidores de la importancia de desarrollar una técnica adecuada de aplicación de fundentes y desde un punto de vista práctico se busca indicar algunas reglas ó conceptos que le ayuden a definir el fundente mas adecuado para su proceso.

6

## FUNDENTES

En la fusión y manejo del aluminio, se reconocen 5 tipos de fundentes necesarios en todo el proceso.

- Fundentes de Cobertura
  
- Fundentes de Escoriado
  
- Fundentes de Limpieza
  
- Fundentes para limpieza de paredes (Hornos)
  
- Fundentes especiales (Modificadores, refinadores)

Cada uno de estos fundentes tiene una aplicación específica y por tanto características bien definidas las cuales deben ser perfectamente comprendidas para poder desarrollar la técnica más apropiada y efectiva para el proceso en el que vayan a ser aplicados. Una técnica bien desarrollada debe incluir los siguientes puntos.

- Fundente adecuado (cobertura, escoriado, limpieza etc.)
  
- Cantidad de fundente definida mediante análisis de escorias y calidad de metal.
  
- Momento de adición

- Forma de adición, dependiendo del equipo ó el proceso que se trate (limpieza en las ollas, escoreo, cobertura en desgasificado, limpieza de paredes, etc.)

- Establecimiento de un buen contacto del fundente con la escoria, el metal, las paredes, según sea el caso y el objetivo que se este buscando

Fundentes de Cobertura.

Originalmente este tipo de fundentes estaba dirigido principalmente a las fundiciones de aluminio primario donde la función principal es crear una barrera líquida entre la atmósfera del horno (las flamas), y el aluminio fundido. Que ayudara en la prevención de oxidación del metal y ayudar a evitar la absorción de hidrogeno. Una de sus características era su temperatura de fusión que oscila entre los 420 a 600 °C. Algunas fundiciones reportaron una mayor interacción química con los refractarios de este tipo de fundentes de carácter líquido y hoy en día se encuentran en el mercado fundentes de carácter sólido, que forman una buena barrera de protección con la atmósfera de los hornos con poca interacción química con los refractarios de los hornos con excelente desempeño en la fusión de chatarra delgada de aluminio, rebabas, latas, etc. reduciendo las pérdidas por oxidación (mermas).

Fundentes de Escoreo.

Los fundentes de escoreo sirven para retirar la escoria del metal fundido, como ya explicamos la escoria que se encuentra en los hornos a final de fusión contiene aluminio líquido atrapado, la función principal de estos fundentes es separar este aluminio de la escoria.

Esto se lleva a cabo mediante la exotermicidad controlada del fundente, el calor que se genera mejora la "mojabilidad" de la escoria y se produce un efecto de coalescencia que hace que las pequeñas gotas de aluminio escurran formando gotas más grandes que fácilmente se separan de la escoria para integrarse al metal base. Es importante en estos fundentes que la exotermicidad no sea excesiva ya que parte de esta reacción se lleva a efecto en un medio oxidante que en exceso puede "quemar" u oxidar las gotas de aluminio que queremos recuperar ó incluso oxidar metal de la interfase con la escoria.

Existen en el mercado infinidad de marcas con características exotérmicas, la recomendación es evaluar el fundente valuando el % de aluminio en la escoria, la cantidad de escoria generada y la compatibilidad química del fundente con la aleación base, sobre todo en aquellas que se requieren bajos niveles de Ca, Na, u otros elementos.

7

Fundentes de Limpieza

Los fundentes de limpieza tiene como objetivo principal el de ayudar a eliminar los óxidos del metal un fundente diseñado específicamente para la limpieza del metal promueve una escoria ligeramente menos seca que un fundente de escoreo ya que su función es reaccionar en el seno del metal y no tanto en la escoria que se encuentra en la superficie.

Todos los fundentes deben ser agitar enérgicamente con la escoria ó con el metal para que se establezca un contacto íntimo y se lleven a cabo las reacciones buscadas y los efectos deseados, bien sea en la escoria ó en el metal, por lo que se recomienda contar con las herramientas necesaria para llevar a cabo la agitación del fundente al momento de la adición.

Fundentes de limpieza de paredes.

Estos fundentes están diseñados para ablandar y ayudar en la eliminación de las aglomeraciones de óxidos sobre las paredes de los hornos que tienen a reducir la capacidad de los hornos y "ensuciar", más el metal, dada la gran exotermicidad de estos productos no se recomienda agregarlos a la escoria del metal, para la limpieza de paredes se debe bajar el nivel de metal a manera de dejar libre la línea de escoria para poder aplicar el fundente abajo y arriba de la línea normal de nivel de metal, después de la limpieza se debe retirar perfectamente la escoria y adicionar fundente de cobertura, es muy importante agregar el fundente de limpieza de paredes con equipo de proyección adecuado como son tanques presurizados ó pistolas tipo venturi, la presión de aire en estos equipos es crítica ya que el fundente debe atravesar el tubo de aplicación con una velocidad tal que no de tiempo a que reaccione dentro del tubo y lo tape. El error más común en la limpieza de paredes es agregar poco fundente y no escoriar lo suficiente, lo que provoca que queden muchos óxidos en el seno del metal, y estos se incrementaran con las fusiones subsecuentes.

8

Cloruros Floruros Sulfatos Carbonatos Nitratos Polvo aplicarlos Cloruros Floruros Sulfatos Carbonatos Nitratos Polvo al aplicarlos Composición Química Uniforme Menor Polvo al aplicarlos

Fundentes especiales.

Existen fundentes especiales, que suelen ser inyectados al metal para diversos propósitos el ejemplo más ilustrativo de este tipo de aplicaciones son los equipos de inyección de fundente que cuentan hasta con 3 depósitos de fundente con los que se lleva a cabo una limpieza profunda del metal, después una modificación de la aleación y por último una refinación de grano, todo ello inyectando fundente durante el periodo de desgasificado.

Algunas otras especialidades son fundentes son los eliminadores de magnesio, eliminadores de calcio y los fundentes libres de calcio ó sodio.

Nuevas Tecnologías

Como ya mencionamos dadas las necesidades de utilizar materiales menos agresivos a el medio ambiente y a mejorar las condiciones de trabajo en los talleres de fundición algunos proveedores se han dado a la tarea de aplicar nuevas tecnologías en la fabricación de fundentes tratando de mejorar la calidad de los mismos y dar un beneficio en el costo final de las piezas de fundición, esta nueva generación de fundentes para la fundición de aluminio son los Granulares los cuales presentan entre otras las siguientes ventajas, (baja generación de polvos, menor cantidad a utilizar, y una composición química muy homogénea, contra las mezclas mecánicas de sales) fig 9.

La utilización de este tipo de fundentes mejorara sin lugar a dudas las condiciones de trabajo, sin embargo se debe poner especial atención a la aplicación de los mismos, una agitación adecuada ayudara a definir la cantidad ideal de fundente a agregar, y se deberá recibir atención técnica del proveedor para seleccionar el fundente adecuado al proceso de la fundición





Fig. 10 cuadro de "pasos", por los que atraviesa el aluminio y donde se genera un movimiento del metal que crea óxidos en suspensión y los lugares donde puede ser aplicado el fundente, es importante hacer notar que no se está sugiriendo agregar fundente en todas estas etapas, sino más bien mostrar donde pueden ser removidos los óxidos y retirada la escoria, la decisión final la tendrá el fundidor dependiendo de las facilidades de su proceso, y de la chatarra que parte, además del estado en que se encuentren sus hornos de fusión.

10

APLICACIÓN (para) UNIDADES Granular Polvo Limpieza (aplicación manual) % 0.080.12 Escoreo (Crisol u olla) Kg/m<sup>2</sup> 0.7 - 0.91 - 1.2 Limpieza (inyectado) % 0.08 N/RE scoreo en Reverbero Kg/m<sup>2</sup> 1.2 - 1.41.6 - 1.8 Fusión (chatarra ligeras) % N/R 1 - 5.0 Tiempo de reposo después de la aplicación Minutos 5 a 101 - 12. Rangos típicos de aplicación de fundentes

En cuanto a la cantidad de fundente a utilizar Una guía se puede ver en la tabla 1, estos valores pueden ser un punto de partida, que deberá ser ajustado considerando:

- El tipo de carga metálica que se usa, la utilización de chatarra ligera como virutas, latas, o laminillas, necesitara la utilización de un buen fundente de cobertura y tal vez una cantidad mayor del fundente de escoreo.

- Para fundentes de escoreo la cantidad de escoria a final de fusión, entre más escoria haya que tratar para recuperar el aluminio metálico atrapado en ella, mayor será la cantidad de fundente en el escoreo, sin embargo debe ser observada la cantidad de fundente que a veces se adiciona junto con la carga (fundente de cobertura), ya que un exceso de fundente en esta etapa puede ser la causa de un exceso de escoria al final de fusión sobre todo para aquellos hornos grandes de más de 25 toneladas.

Tabla 1. Rangos típicos de aplicación de fundentes

Observaciones importantes en la aplicación:

La Aplicación de los fundentes de cobertura ó de escoreo, normalmente son aplicados manualmente, y en hornos de gran tamaño con palas mecánicas, mientras que para fundentes de limpieza de paredes se aplican mediante pistolas de lanzamiento ó equipos de presurización de polvos. Y para el caso de fundentes inyectados la tendencia es realizarlo con el equipo de desgasificado

La parte esencial en la aplicación de fundentes, independientemente del tipo que se traten (granulares o mezclas de polvos), es la agitación de los mismos y su íntimo contacto con la Fase que se está tratando (metal, escoria ó el refractario). Dependiendo del tamaño del horno la agitación puede hacerse manualmente con una herramienta que promueva una agitación efectiva fig. 11., ó en los hornos grandes esto se hace con medios mecánicos, algunas veces con

montacargas. Los tiempos recomendados de entre la agitación y el escoreo de los fundentes suele ser de 1 a 3 minutos en crisoles y ollas de transferencia y 5 a 10 minutos en hornos de reverbero.

Esto nos lleva a considerar tres factores importantes en la eficacia de una técnica de aplicación de fundentes: la temperatura del metal, la agitación del fundente, y el tiempo de activación (ó reposo) después de la agitación.

11

Algunas deficiencias comunes en la aplicación de fundentes.

- Una de las fallas más comunes en las fundiciones durante la aplicación de un fundente, principalmente en los hornos de reverbero es que el fundente simplemente se arroja dentro del horno sin esparcirlo sobre la superficie de escoria ó metal que será tratado.

- La agitación inadecuada por no contar con herramientas adecuadas, o por falta de supervisión a los operadores.

- La adición indiscriminada de Fundente, (normalmente de mas).

- El cálculo erróneo de agregar el fundente en base a la carga metálica, cuando solo va a reaccionar con la escoria y esto es cubrir área (m<sup>2</sup>

).

- En el uso de fundentes de limpieza en las ollas de transferencia ó en el llenado de crisoles de retención la adición simple del fundente al fondo de la olla o crisol, en lugar de agregarlo al chorro de metal para mejorar el contacto metal - fundente.

- El uso de un fundente determinado por precio, y que no cumple con las características para lo que se pretende usar.

- La evaluación errónea (a ojo), del desempeño de un fundente sin utilizar principios básicos de Ingeniería de Procesos, (análisis de aluminio metálico en la escoria, cantidad de escoria por fusión &ldquo;mermas&rdquo;, pruebas de nivel de inclusiones en el metal, rechazo por inclusiones en las piezas, mejora al medio ambiente de trabajo, \$/Kg. de metal Facturado, por concepto de fundente), la falta de estas consideraciones algunas veces, nos lleva a utilizar una sal, &ldquo;fundente económico&rdquo;, que se convierte en un gasto en el proceso sin que agregue el valor que debería.

Rastrillado mal hecho, que arrastro aluminio a la tina.

Cantidad de fundente, nótese las partes de metal que están Retención. Por falta de escoreo con un fundente exotérmico

Expuestas a la atmósfera oxidante del horno.

#### Bibliografía

1. P. Crepeau, &ldquo;Molten Aluminum Contamination: Gas, Inclusions and Dross&rdquo;, Aluminum Alloy Castings&rdquo;, 4th

2. D. Apelian, &ldquo;How Clean is the Metal you Cast? The Issue of Assessment: A Status Report&rdquo;, 3 International Conference on Molten Aluminum Processing, 1995, pp 1-13.

rd

3. M. H. Kogan, &ldquo;Design and Development of Fluxing Agents for the Aluminum Foundry Alloys&rdquo;, 2 International Conference on Molten Aluminum Processing, 1992, pp1 - 15.

nd

4. T. A. Utigard, et al, &ldquo;The Properties and Uses of Fluxes in Molten Aluminum Processing&rdquo; Journal of Metals, November 1998, pp 38-43. International Conference on Molten Aluminum Processing, 1989, pp 25-1 - - 25-12.

5. S. R. Sibley, &ldquo;Granular Fluxes For Aluminum Alloys, Environmental And Technological Advances&rdquo;, 4th International Conference on Molten Aluminum Processing, 1995, pp 417-430.