
Jornada: “Metalurgia de las fundiciones de hierro y conceptos avanzados de caracterización”

El pasado día 4 de Marzo tuvo lugar en Azterlan la Jornada “Metalurgia de las fundiciones de hierro y conceptos avanzados de caracterización”, que contó con la destacada participación de 89 técnicos pertenecientes a 45 empresas de la industria de fundición.

La colaboración del Instituto de Fundición TABIRA con empresas relevantes del sector auxiliar ha permitido, entre otras cosas, la puesta en marcha de esta propuesta técnica, orientada a la metalurgia de las fundiciones férreas.

La jornada contó con la participación activa de ESFEMETAL S.L., RIO TINTO Iron & Titanium y AZTERLAN, cuyos técnicos hicieron posible la puesta en marcha de esta actividad, orientada al desarrollo del conocimiento de la metalurgia de los componentes fundidos. La sesión de trabajo permitió a su vez desarrollar conceptos relacionados con las propiedades mecánicas de los materiales de hierro, que juegan un papel determinante ya desde la propia etapa del diseño, y están directamente relacionadas con el ciclo de vida del producto.

La última parte de la sesión de trabajo permitió plantear reflexiones acerca de la situación actual de la industria de fundición en uno de los países de mayor crecimiento económico mundial, como es el caso de China.

En su primera intervención, Mr. Pierre Marie-Cabanne, Director de los Servicios Técnicos de Sorelmetal, repasó junto con los asistentes las etapas principales del proceso de fabricación de componentes fundidos de grandes espesores en fundición nodular.

Tras una breve introducción en la que dio a conocer algunos datos sobre el desarrollo de la fundición esferoidal ha experimentado en los últimos años (cabe destacar el incremento de producción de componentes de gran tamaño destinados al sector eólico, con un total de 500.000 toneladas producidas a nivel mundial en el año 2008), el Sr. Cabanne se centró en las distintas etapas del proceso, analizando los defectos asociados a cada una de ellas y presentado vías de resolución para los mismos. La producción de componentes masivos de fundición nodular requiere de avanzados conocimientos técnicos y rigurosos procedimientos de control de proceso y de calidad.

El control de la composición química y la temperatura de colada se muestran como dos parámetros clave del proceso. Trabajar con Carbonos Equivalentes altos conlleva la formación de defectos tales como la flotación de grafito y grafitos estallados. El Sr. Cabanne hizo mención expresa al defecto de grafito Chunky, como una de las malformaciones gráficas más comunes en componentes de grandes espesores, y que ejerce una importante reducción de las propiedades mecánicas de las piezas.

Una cuidada selección de la temperatura de colada y, consecuentemente, de las temperaturas de fusión, son un factor clave para obtener la composición química objetivo y una pieza libre de defectos como los micro-rechupes, escorias y dross. De acuerdo al Sr. Cabanne, se deberá seleccionar la temperatura de colada en función del espesor de la pieza (bajas temperaturas conllevan el aumento de escorias, posibles faltas de llenado, juntas frías, mientras que trabajar con altas temperaturas favorece la formación de penetraciones, pérdida de nucleación, e incremento de la contracción del metal y, correspondientemente, de rechupes).

La composición de la carga metálica es a su vez muy importante, puesto que el hierro nodular no es solo una aleación Fe-C-Si. Es necesario contar con la presencia de otros elementos que favorezcan la nucleación, pero que no sean nocivos para el metal, como por ejemplo el Mo, Ti, Mn, V, Nb, W,etc

En la actualidad se realiza el tratamiento de Mg sin ningún criterio especial para componentes fundidos de grandes espesores. De cualquier forma, se pueden presentar ciertos defectos asociados a la etapa de tratamiento de Mg, como es la generación de escorias (exceso de Mg unido a una cuchara sucia), y el dross (directamente relacionado con la turbulencia del metal).

La inoculación es a su vez una etapa crítica para la fabricación de componentes fundidos de grandes espesores. Sin embargo, la presencia de algunos elementos en los productos inoculantes (como es el caso del exceso de Bi y del Zr), pueden generar malformaciones gráficas y, consecuentemente, una influencia directa en las propiedades mecánicas de la pieza. Una buena recomendación realizada por el Sr. Cabanne consiste en analizar la respuesta del metal a la inoculación, realizando pruebas con un inoculante base y comparándolo con inoculantes más potentes en piezas test.

De igual forma, la presentación del Sr. Cabanne citó una serie de recomendaciones para asegurar la calidad superficial de este tipo de componentes, incidiendo en la importancia de la robustez del molde, niveles de S en la arena, tipo de pintura y procedimiento de aplicación, etc.

La correcta alimentación y el llenado de las piezas son a su vez fundamentales para asegurar una calidad final de pieza. Regímenes de llenado turbulentos favorecen la formación de Dross, que afecta directamente a las propiedades mecánicas (tenacidad y resiliencia).

A modo de conclusión, las piezas de gran tamaño tienden a presentar determinados defectos metalúrgicos, de sobra conocidos hoy en día. La producción de este tipo de componentes de fundición nodular requiere por tanto de avanzados conocimientos técnicos y, rigurosos procedimientos de control y de calidad a lo largo de todas y cada una de las etapas el proceso.



Mr. Pierre Marie-Cabanne
RIO TINTO Iron&Titanium



*Sr. Diego Siendones
ESFEMETAL S.L.*

La segunda ponencia de la jornada corrió a cargo del Sr. Urko Uribe, Coordinador del Área de Ensayos Físicos de AZTERLAN, que dio comienzo a su intervención introduciendo una serie de reflexiones previas, directamente relacionadas con las demandas de los consumidores de componentes fundidos (optimización de los diseños, mejora de las propiedades mecánicas, reducciones de peso, empleo de materiales y procesos alternativos, ... etc).

El Sr. Uribe hizo un repaso a la norma UNE-EN 1563, y a los distintos ensayos de caracterización que se realizan de forma habitual en los componentes de fundición de grafito esferoidal. Si bien dicha norma hace mención en uno de sus anexos a conceptos relacionados con la caracterización dinámica, lo cierto es que hasta el momento se emplea lo que se ha venido a denominar como una “caracterización convencional” de dichos materiales férreos, consistente en los ensayos de tracción y de flexión por choque.

En la segunda parte de su intervención el Sr. Uribe planteó nuevos conceptos sobre las propiedades dinámicas de los materiales fundidos y definió las claves de los ensayos de mecánica de fractura. Componentes sometidos a cargas cíclicas en niveles inferiores a la resistencia máxima de la pieza pueden llegar a producir su fallo final (rotura en servicio). Este fenómeno se conoce como “fatiga de los materiales”.

La fatiga tiene su origen en micro-deformaciones locales, que generan la nucleación y posterior propagación de grietas, que pueden acabar con la rotura súbita de la pieza. Desde el punto de vista de las deformaciones locales, es la forma de fallo provocada por la acción repetida de deformaciones inelásticas alternadas altamente localizadas, que provocan la creación de una grieta en una cierta zona del elemento estructural o la propagación de alguna grieta ya existente.

En un proceso general de fatiga, pueden diferenciarse tres etapas que se presentan de forma sucesiva hasta la rotura del componente:

- 1.- Nucleación e iniciación de la grieta en zonas en las que las concentraciones de tensión provocan deformaciones plásticas cíclicas.
- 2.- Propagación de la grieta a través de la zona plástica en la que se originó.
- 3.- Propagación de la grieta fuera de la zona de influencia de la concentración de tensiones hasta el fallo final.

La importancia relativa de cada una de estas etapas puede ser muy variable y depende de muchos factores, como pueden ser el tipo de material, el nivel tensional al que se encuentra sometido nuestro componente, la frecuencia de carga, etc

El acabado superficial y la propia geometría del componente, son dos factores que inciden tremendamente en el comportamiento a fatiga de las piezas. De ahí el interés y la necesidad de avanzar en ambos sentidos, optimización de geometrías y de acabado superficial de los componentes fundidos.

La caracterización de la vida a fatiga de los materiales férreos se realiza a través de ensayos de caracterización dinámica que vienen representados por las curvas S-N o diagramas de Wöhler.

Estas curvas se obtienen a través de una serie de ensayos donde una probeta se somete a cargas cíclicas de amplitud constante, con un valor máximo de tensión inferior a la resistencia máxima del material, y se contabilizan los ciclos necesarios para que se produzca su rotura. La curva S-N se da por finalizada cuando se alcanza un nivel de tensión en el que no se produce la rotura de las probetas para un número establecido de ciclos (habitualmente $N_f=4 \times 10^6$ ciclos). Los resultados se representan en un diagrama logarítmico o doblemente logarítmico de tensión S (eje de ordenadas), frente al número de ciclos alcanzados por la probeta N (eje abscisas).

La normativa aplicable a este tipo de caracterizaciones es la ASTM E 466 “Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials” y la ISO 1099 “Metallic materials. Fatigue testing. Axial force controlled method”.

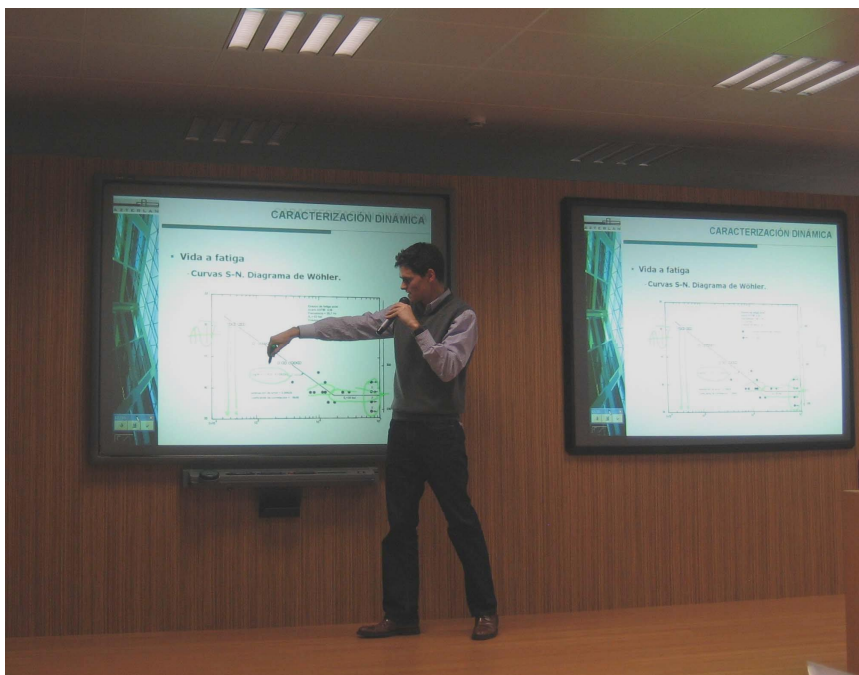
El Sr. Uribe dio a conocer a su vez las claves para la caracterización de la tenacidad a fractura de la fundición esferoidal. La mecánica de fractura estudia y modeliza el comportamiento de la rotura de los materiales una vez agrietados. Nos aporta parámetros que se pueden emplear directamente para el desarrollo y diseño de nuevos componentes como por ejemplo, el factor de intensidad de tensiones crítico K_{IC} , que relaciona el nivel tensional del componente con el tamaño del defecto.

Para poder caracterizar una fundición ferrítica se recomienda el uso de la Mecánica de Fractura Elasto-Plástica (MFEP) ya que las condiciones impuestas por la Mecánica de Fractura Elástica Lineal (MFEL) son excesivamente rigurosas.

Para la determinación de este parámetro de diseño se aplica generalmente la norma de ensayos ASTM E1820 “Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness”. Dicha norma describe el tipo de probetas a mecanizar, los parámetros básicos de los diferentes tipos de ensayo y las ecuaciones necesarias para el cálculo de los diferentes parámetros de fractura como son el K_{IC} , J_{IC} , CTOD, etc..

La comunicación del Sr. Uribe concluyó con la presentación de los resultados de un caso práctico de una caracterización de la tenacidad a fractura de una fundición nodular, más en concreto, de un material EN-GJS-400-18-LT.

Por tanto, la caracterización convencional de los materiales utilizados en los componentes estructurales del Sector Eólico debe recibir la consideración de básica, dadas las grandes limitaciones que conlleva. El límite de fatiga y la tenacidad a fractura de los materiales, son determinantes para optimizar el diseño de los componentes fundidos.



Sr. Urko Uribe
AZTERLAN

El Sr. Julián Izaga, Director de Tecnología e Innovación de AZTERLAN, realizó una brillante presentación orientada a dar a conocer los factores metalúrgicos que influyen en el comportamiento y en las propiedades mecánicas de las piezas fundidas.

La parte inicial de la ponencia estuvo dirigida a la presentación de una serie de conceptos metalúrgicos básicos, que hicieron posible una mejor comprensión de los mecanismos de solidificación que tienen lugar en los componentes fundidos (solidificación eutéctica, carbono equivalente, carbono equivalente del líquido, relación entre la flotación del grafito y los valores máximos del carbono equivalente del líquido, etc).

A continuación el Sr. Izaga hizo especial mención a los distintos factores que tienen una influencia sobre la micro estructura y las propiedades mecánicas de los materiales de hierro: la importancia de las distintas etapas del proceso de elaboración del metal líquido y la composición química (además de los elementos primarios de la aleación, existen otros componentes determinantes en la calidad final de los componentes fundidos), que junto con la velocidad de enfriamiento, definen el modelo de solidificación del metal y las características finales del mismo.

La presentación concluyó con la descripción detallada de dos defectos de fundición, dando a conocer su origen, la incidencia en pieza, junto con posibles vías de trabajo para su resolución.

El primero de ellos, conocido como “vírgulas de nitrógeno” hace referencia a un defecto con forma de cavidades alargadas, semejante a las grietas, en las que el nitrógeno es el gas desencadenante. Se trata por tanto de un problema de evolución gaseosa, cuyo desarrollo guarda relación directa con la presencia de nitrógeno, y su génesis se relaciona directamente con el contenido de este elemento en el metal o en los materiales de moldeo.

El defecto se presenta en piezas de tamaño variable, siendo más frecuentes y de mayor severidad en el caso de las piezas gruesas. Estas vírgulas son más frecuentes en piezas de fundición gris y, habitualmente, no se detectan hasta el mecanizado, ya que se trata de una irregularidad subcutánea.

El segundo defecto al que hizo referencia el Sr. Izaga se le conoce como “penetraciones”. Se trata de un defecto relacionado con el estado superficial de la pieza fundida. Como su propio nombre indica, el defecto se desarrolla por la penetración del metal en los espacios intergranulares propios de la arena, pudiendo verse afectadas tanto superficies generadas por el molde como por el macho. Se manifiesta a modo de costra (constituida por un entramado de arena y metal), con cierto aspecto esponjoso, en la que la rugosidad es exageradamente elevada, muy superior a la habitual en las piezas fundidas.

Las piezas gruesas son más sensibles que las de pequeño espesor, ya que en el desarrollo de este defecto existe cierta componente térmica. A su vez los hierros grises son más propensos a dar problemas de esta naturaleza, dado que su tensión superficial es más baja que la de los hierros esferoidales.

El defecto se presenta cuando la presión metalostática, la presión dinámica y la capilaridad superan la contrapresión generada por la fricción metal-molde y los gases asociados a la colada.



Sr. Julián Izaga
AZTERLAN

La jornada concluyó con una nueva intervención de Mr. Pierre-Marie Cabanne que compartió con los asistentes sus impresiones acerca de la situación de la industria de fundición en China, tras una reciente visita a destacadas fundiciones del país.

Dicha intervención permitió plantear una interesantísima reflexión sobre la irrupción de nuevos “global players” en el escenario mundial de la industria de fundición, como es el caso concreto de China.

Los contenidos técnicos de las distintas intervenciones, junto con el gran interés mostrado por el sector, fueron algunas de las claves del éxito de esta Jornada técnica.

Desde el Instituto de Fundición TABIRA seguiremos potenciando estos marcos de trabajo, con el principal objetivo de compartir y desarrollar el conocimiento, y de lograr una industria de fundición más competitiva.