

“Análisis de inclusiones en aceros. Metalurgia, normativa y procedimientos de análisis”

Instituto de Fundición TABIRA • mayo 2015

El Workshop Técnico “Análisis de inclusiones en aceros” permitió a cerca de sesenta profesionales de la industria conocer de primera mano, durante dos intensas jornadas de trabajo, los últimos avances y herramientas para el análisis de inclusiones no metálicas en aceros.

El Centro de Investigación Metalúrgica IK4-AZTERLAN acogió durante los días 12 y 13 de mayo de 2015 el Workshop Técnico “Análisis de inclusiones en aceros”, en el que un numeroso grupo de profesionales pudo profundizar y desarrollar nuevos conocimientos acerca del contenido inclusionario de los aceros. El alto grado de interés mostrado por las empresas en esta propuesta se puso de manifiesto en la alta asistencia a las jornadas de trabajo planteadas, con más de 40 compañías presentes.

El papel que juegan las inclusiones no metálicas en los aceros tiene una gran relevancia, hasta el punto de influir de forma determinante en sus características mecánicas. Los avances experimentados en las tecnologías de análisis de imagen, permiten a su vez mejorar la caracterización de los aceros y el contenido de inclusiones en los mismos, mediante su preparación y procesamiento específico a través de herramientas analíticas avanzadas.



Cerca de 60 profesionales de más de 40 empresas se congregaron en IK4-Azterlan durante las dos jornadas de trabajo

Esta actividad técnica permitió a sus participantes avanzar en conocimientos sobre conceptos de análisis de imagen aplicados a la evaluación de inclusiones en aceros y su caracterización de acuerdo con los estándares más actuales, haciendo especial incidencia en las normativas EN 10247 y en la influencia que tienen las inclusiones no metálicas en las propiedades del acero.

Esta jornada ha contado con la colaboración de técnicos de la compañía LEICA MICROSYSTEMS y especialistas del Centro de Investigación Metalúrgica IK4-AZTERLAN, que combinaron presentaciones teóricas con sesiones prácticas donde se trabajó con microscopios ópticos y macroscopios digitales, pudiendo analizar los asistentes muestras traídas por ellos mismos.

Tras la correspondiente bienvenida a los asistentes por parte del **Sr. José Javier González**, del Instituto de Fundición Tabira, el **Sr. Dionís Díez**, Especialista de Aplicaciones para Europa de Leica Microsystems, realizó una introducción al marco general de la jornada de trabajo. Se realizó inicialmente una presentación de las personas y empresas asistentes al workshop, donde se pudo visualizar cómo la amplia variedad de empresas presentes, representantes de toda la cadena de valor de la industria, manifestaron y compartieron sus necesidades específicas en relación con el campo del análisis de inclusiones.



Sr. Dionís Díez. LEICA MICROSYSTEMS, Especialista de Aplicaciones para Europa

La primera de las ponencias que abrió el programa técnico establecido para el seminario corrió a cargo del Sr. Dionís Díez, que dio inicio al acto con una primera presentación enfocada a las “Inclusiones en aceros”. El objetivo de esta ponencia fue introducir a la audiencia en conceptos de metalurgia de las inclusiones en aceros, así como en criterios de clasificación de las mismas.

Las inclusiones no-metálicas aparecen como precipitados de morfología diversa en los aceros y su caracterización en cuanto a cantidad, tamaño, forma y distribución se lleva a cabo de acuerdo a una normativa específica que puede incluir además el análisis químico para determinar la composición de las mismas. Su origen se encuentra en la presencia de elementos traza (N,O,S) provenientes de las materias primas utilizadas en la elaboración del acero y del propio proceso de obtención del mismo. El tratamiento del acero líquido realizado en cuchara (metalurgia secundaria), con sus etapas de desgasificación, desoxidación, desulfuración, etc. tiene una influencia determinante en el contenido y naturaleza de las inclusiones, y las operaciones posteriores de conformado como la laminación modifican la forma y distribución final de las mismas.

Se mostraron ejemplos del resultado de la modificación de las inclusiones y de los mecanismos de deformación de las mismas durante las operaciones de conformado del acero.

A continuación se presentó una clasificación de las técnicas de análisis disponibles, tanto de volumen como de superficie, así como las ventajas e inconvenientes de los métodos directos (microscopías óptica y electrónica, técnicas de extracción) frente a los indirectos, como la inspección por ultrasonidos o la espectrometría OES-PDA. Concluyó esta primera presentación con un ejemplo donde se mostró la complementariedad de la información aportada por las diferentes técnicas.



El Sr. Dionís Díez, en su ponencia sobre metalurgia de inclusiones no metálicas

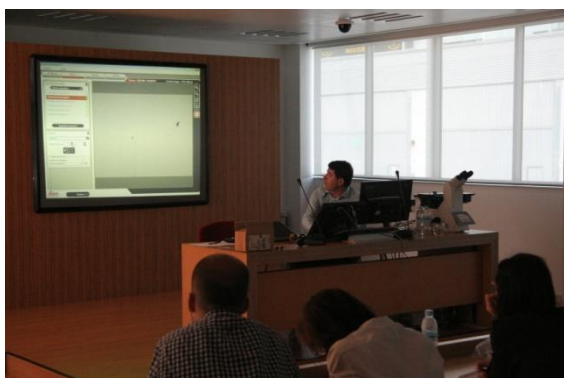
El programa técnico continuó con una nueva ponencia del Sr. Dionís Díez, que centró su intervención en *“Normativa, perspectiva histórica y selección”*.

La revisión del cuerpo normativo sobre inclusiones comenzó con una breve cronología de los intentos por clasificar las inclusiones no metálicas en los aceros, desde los primeros gráficos con los índices JK hasta la reciente norma europea EN 10247. Los parámetros elegidos por cada norma en cuanto al color o el nivel de gris de las inclusiones, así como su tamaño, relación de aspecto y distribución permiten clasificar las inclusiones en distintos grupos asociados a una naturaleza química particular: sulfuros, alúminas, silicatos, óxidos y nitruros.

Cada una de las normas utilizadas en nuestro entorno industrial (ASTM, ISO, DIN, EN) aplica sus propios criterios en cuanto al número y localización de las probetas, imágenes de referencia y métodos de clasificación, por lo que se llevó a cabo una comparativa de normas y métodos, tanto los basados en comparación visual como en análisis de imagen. El cálculo de los índices de severidad, así como la expresión de los resultados para cada método, es el factor principal a la hora de establecer especificaciones técnicas de los productos de acero en cuanto a su contenido de inclusiones. Por ese motivo se explicó paso a paso el procedimiento a seguir para los métodos más extendidos (peor inclusión, peor campo, métodos estadísticos) sobre casos prácticos y con la ayuda de las imágenes de referencia o de las mediciones realizadas por análisis de imagen.

Se incluyó en esta presentación una introducción a los fundamentos y el desarrollo de la norma europea EN 10247, para acabar con un esbozo de las perspectivas de futuro en cuanto a la implantación definitiva de esta norma y sus implicaciones prácticas.

Por último, la revisión de la normativa complementaria en cuanto a métodos estereológicos y estadística de valores extremos permitió completar toda la información que la metalografía cuantitativa puede aportar para la caracterización de inclusiones en aceros.



El Sr. Dionís Díez, mostrando el uso del software Leica Steel Expert

La última de las ponencias de la mañana, presentada por el Sr. Dionís Díez, se basó en una profundización sobre “*Procedimientos de análisis*”. Para esta presentación, se realizaron demostraciones prácticas sobre el software especializado Leica Steel Expert.

En esta ponencia se resaltó la importancia de una adecuada preparación metalográfica de las probetas sobre la calidad de los resultados, presentando la influencia de las distintas rutas de preparación basadas en el uso de abrasivos ligados o suspensiones de diamante, así como una clasificación de los defectos más habituales y su repercusión en el análisis de inclusiones. Se presentaron unas recomendaciones generales en cuanto a las etapas finales de pulido y la limpieza de las probetas para finalizar con la evaluación de la calidad resultante de la preparación mediante la técnica microscópica DIC de contraste interferencial.

La presentación continuó con una comparativa en términos de exactitud y precisión de las diferentes aproximaciones prácticas al análisis de inclusiones, desde las técnicas basadas en comparación visual directa y el uso de retículas de ocular o generadas por software, hasta el análisis de imagen realizado de manera manual o automática en función del grado de motorización del microscopio.

Para una inspección completamente desatendida de las muestras de acuerdo a los métodos más exhaustivos de la normativa es necesario llevar a cabo algunos ajustes previos en la adquisición y procesamiento de las imágenes, como la corrección de sombras y la delineación de contornos de las inclusiones, así como una correcta asignación de colores o niveles de gris en la etapa de binarización.

Se concluyó con una exposición de los puntos a favor y en contra de las distintas técnicas con unas recomendaciones generales sobre el tipo de microscopio y el nivel de software más adecuados a cada necesidad y para cada una de las posiciones en la cadena de valor, desde el acerista hasta el usuario final pasando por las empresas de transformación

La primera ponencia técnica de la tarde, previa a las sesiones prácticas, fue realizada por el **Sr. Jose Antonio Goñi**, Responsable del Área de Metalurgia de IK4-Azterlan.

Tras una jornada de trabajo profundizando en la metodología para una clasificación normalizada del contenido inclusionario, el Sr. Goñi planteó un cambio de enfoque, mas orientado al sentido de este tipo de mediciones que a su metódica. Así, asumiendo por una parte como premisa de partida que las inclusiones son impurezas indeseables que afectan negativamente a las características mecánicas de los materiales, pero también que la presencia de inclusiones no es una anomalía, sino que son intrínsecas al acero, se propuso una reflexión de hasta qué punto las deficiencias funcionales de los componentes pueden atribuirse al contenido inclusionario de los materiales o por el contrario son debidas a una mala elección de material.

Así, se explicó el efecto que tienen las inclusiones en función de su tamaño, forma y naturaleza, introduciéndose el concepto de propiedades interfaciales, para argumentar que las inclusiones se comportan a todos los efectos como cavidades o huecos y su repercusión en las características mecánicas es independiente de su naturaleza. Se comentaron además aspectos tales como la anisotropía o propiedades transversales y cómo la incidencia de las inclusiones depende de las características del material (límite elástico). Para finalizar, se explicó el efecto de las inclusiones en roturas dúctiles y frágiles. Todo ello ilustrado con diferentes ejemplos reales de componentes metálicos, fallos en servicio e imágenes de fractografía por microscopía electrónica de barrido.



Sr. Jose Antonio Goñi. IK4-AZTERLAN, Subdirector del Área de Materiales

El enfoque de la presentación del Sr. Goñi generó un interesante debate entre los asistentes al evento, poniendo de manifiesto, por un lado, la necesidad de abordar el análisis de inclusiones desde una perspectiva global para poder entender su influencia real en la aparición de defectos en los materiales, y por otro, la gran importancia de generar espacios técnicos donde poder compartir con las empresas ejemplos y casuísticas que les ayuden a enfocar adecuadamente este tipo de análisis.

A continuación, se dio paso a las sesiones de trabajo práctico por grupos con los equipos de LEICA MICROSYSTEMS.

De la mano del Sr. Dionís Díez, los participantes pudieron asistir a una demostración práctica del análisis de imagen aplicado a inclusiones en modo manual y automático sobre sus propias muestras, que incluyeron aceros al carbono, inoxidable y resulfurados de fácil mecanización. La evaluación de resultados permitió comparar la idoneidad de los distintos métodos de la normativa en cada aplicación, como por ejemplo el método A de peor campo de ASTM o el método K de la norma DIN.



A la izda., el Sr. Dionís Díez con el microscopio óptico DMI8 A. A la dcha. y abajo, el Sr. Alberto Torcal con el nuevo macroscopio digital DVM 6

Con el nuevo macroscopio digital DVM 6 se mostraron las posibilidades de este equipo para la inspección macroscópica de inclusiones y el análisis de fallos con aplicación a inspección de defectos y fractografía.

Esta práctica estuvo facilitada por el **Sr. Alberto Torcal**, Representante de Ventas Zona Norte, y el **Sr. Guilherme Godinho**, Manager de Ventas Sur de Europa, ambos de LEICA MICROSYSTEMS.



Los participantes pudieron comprobar in situ las funcionalidades del nuevo macroscopio digital DVM 6

A modo de resumen final, este workshop ha permitido a las empresas asistentes profundizar en la metalurgia de las inclusiones no metálicas y en su caracterización, así como compartir conocimientos sobre la influencia que ejercen en las propiedades de los aceros.

El nivel y el alto conocimiento técnico compartido a través de todas las presentaciones, el intercambio de experiencias planteado por los distintos ponentes, junto con la destacada participación de las empresas, han sido algunas de las claves del éxito de esta jornada.

Desde la organización del acto, agradecer el esfuerzo y la colaboración de los técnicos de LEICA MICROSYSTEMS y del Centro Tecnológico IK4-AZTERLAN, que han hecho posible la coordinación y materialización de este interesante espacio técnico de trabajo.



El equipo de ponentes y facilitadores de este Workshop Técnico

Organizadores y entidades colaboradoras:

