TRATER Press
NOVIEMBRE 2014 • Nº 43
REVISTA DEL TRATAMIENTO TÉRMICO
www.pedeca.es

insertec
Hornos y Refractarios

SOLUCIONES PARA EL
Tratamiento Térmico

Ingeniería y Servicios Técnicos, S.A.
Avda. Cervantes, 6 - 48970 BASAURI - Vizcaya, Spain
Tel.: + 34 944 409 420 • FAX: + 34 944 496 624
e-mail: insertec@insertec.biz - **www.insertec.biz**

TRATER Day

JORNADA TÉCNICA

En el marco de la Feria Metalmadrid se va a celebrar el TRATER Day, jornada técnica el día 29 de octubre, donde se expondrán conferencias técnicas de compañías del sector del Tratamiento Térmico, tanto de fabricantes de hornos, como de elementos para ellos.

PROGRAMA Día 29 de Octubre

10:00 Entrega de Acreditaciones

10:30 Conferencia 1	PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA INDUCCIÓN APLICADOS AL CALENTAMIENTO Y AL TRATAMIENTO TÉRMICO: PASADO, PRESENTE Y FUTURO. ONDARLAN.
11:00 Conferencia 2	INSTALACIONES DE CONTROL DE AMONÍACO Y SUS ATMÓSFERAS EN LOS PROCESOS DE NITRURACIÓN GASEOSA. AIR LIQUIDE.
11:30 Conferencia 3	HORNOS PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO DE PIEZAS DE CHAPA DE ALEACIONES DE ALUMINIO PARA USO AERONÁUTICO. HEA.

12:00 Café + Contacto asistentes / Conferenciantes

12:30 Conferencia 4	TRATAMIENTOS TÉRMICOS. FUNDAMENTOS E INSTALACIONES TIPO RECOMENDADAS. INSERTEC.
13:00 Conferencia 5	CONTROL DE PIROMETRÏA SEGÚN NORMATIVA AMS-2750-E. SUMINISTRO Y CALIBRACIÓN.
13:30 Conferencia 6	¿POR QUÉ SE NECESITAN TRATAMIENTOS TÉRMICOS SUPERFICIALES? LAS RESPUESTAS Y LAS SOLUCIONES OFERTAS CON LOS NUEVOS PROCESOS. ALD

14:00 Cóctel Comida + Contacto Asistentes / Conferenciantes

16:40 Cierre Jornada y Visita Feria

C/ Goya, 20. 4°. • 28001 MADRID • Telf.: 91 781 77 76 • Fax: 91 781 71 26

metalmadrid '14

29 30 OCT'14

Nuestra Portada

Nuestro programa de fabricación incluye aplicaciones de tratamiento en:

- Metales Férricos y No Férricos.
- Trabajo en Continuo o Intermitente.
- Con o sin Atmósferas Protectoras.
- Con calentamiento Eléctrico o a Gas.

Tipos de Hornos para estas Aplicaciones y Procesos:

- Horno de Carro.
- Horno de Campana.
- Horno de Cámara.
- Máquina de Cargar.
- Horno de Cinta "Cast Link"
- Horno de Cinta de Malla.
- Horno de Pote.
- Horno de Tambor.
- Horno de Empuje.
- Horno de Solera de Rodillos.
- Horno con Tanque de Temple incorporado.
- Horno de Solera Giratoria.
- Horno de Retorta Rotativa.
- Estufas con recirculación.
- Equipos para Calentamiento.
- Horno de Vacío.
- Equipos Auxiliares.

Ingeniería y Servicios Técnicos, S.A.
Avda. Cervantes, 6 - Basauri, Vizcaya, Spain
Tel.: 34-944 409 420 / Fax: 34 - 944 496 624
www.insertec.biz
e.mail: insertec@insertec.biz

Sumario • Noviembre 2014 - Nº 43

Editorial 2

Artículos

- Fórum de ARCAS - *Por Juan Martínez Arcas* 4
- Nueva cámara para ver el interior de hornos y calderas - *Por Land Instruments* 6
- Nueva versión del sistema Instron® MPX 8
- AMETEK Land introduce los nuevos termómetros portátiles sin contacto Cyclops L 10
- Medidas de temperatura en tratamientos térmicos de aluminio según CQI-9 - *Por Ernesto Guerra* 12
- Temple no rotativo de cigüeñales y de árboles de levas - *Por Gary Doyon, Valery Rudnev, John Maher, Glen Desmier, Jeff Elinsky y Eugenio Pardo* 14
- La Energía, primer factor de competitividad para la Industria - *Por Confemetal* 22
- Influencia de los tratamientos térmicos en la respuesta a tracción y a fatiga para un acero TWIP - *Por N. Salán, J. Calvo, A. Mateo, J. J. Roa, G. Fargas y G. Sixto* 28
- Fabricación de hornos a medida, la nueva tendencia del mercado 34
- Algunas consideraciones sobre la oxidación interna superficial en las capas cementadas. Medidas para evitarla - *Por Frank Badía y Manuel Antonio Martínez Baena* 35

EMPLEO 43

Guía de compras 44

Síguenos en

Director: Antonio Pérez de Camino
Publicidad: Carolina Abuin
Administración: María González Ochoa

PEDECA PRESS PUBLICACIONES S.L.U.
Goya, 20, 4º - 28001 Madrid
Teléfono: 917 817 776 - Fax: 917 817 126
www.pedeca.es • pedeca@pedeca.es

ISSN: 1888-4423 - Depósito legal: M-53065-2007
Diseño y Maquetación: **José González Otero**
Creatividad: **Víctor J. Ruiz**
Impresión: **Villena Artes Gráficas**

Redactor honorífico: José María Palacios

Colaboradores: Manuel A. Martínez Baena, Juan Martínez Arcas y Jordi Tartera

Por su amable y desinteresada colaboración en la redacción de este número, agradecemos sus informaciones, realización de reportajes y redacción de artículos a sus autores.

TRATER PRESS se publica seis veces al año: Febrero, Abril, Junio, Septiembre, Noviembre y Diciembre.

Los autores son los únicos responsables de las opiniones y conceptos por ellos emitidos.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de cualquier texto o artículo publicado en TRATER PRESS sin previo acuerdo con la revista.

Asociación colaboradora
ASAMMET Asociación de Amigos de la Metalurgia

Editorial

Recientemente la secretaria general de Industria, Begoña Cristeto, anunció que durante los próximos cinco años, los fabricantes de vehículos con instalaciones en España van a invertir 5.000 millones de euros. Y que esto conllevará 6.000 puestos de trabajo directos y unos 25.000 indirectos.

Queda claro que nuestro sector no vive sólo del automóvil, pero es un buen dato para que la industria en general comience a renovar equipos, puesto que el automóvil y su producción nos afectan directamente.

En este último trimestre, varias jornadas técnicas y ferias están previstas próximamente en distintos puntos de nuestra geografía: **MOLD Day**, **TRATER Day**, **TECNALIA**, **ASERM**, **ASAMMET**, **TEDFUN** y 2 ferias **METALMADRID** y **EMAF** en Oporto. Encontrarán más información en páginas interiores.

Nuestras revistas estarán presentes en todos ellos, un buen sprint para finalizar el año. Agradecemos su confianza y ahí les esperamos.

Antonio Pérez de Camino

SECO/WARWICK Diseño Personalizado en Hornos de Vacío

Nos encontramos con retos de ingeniería únicos cada día para los clientes de todo el mundo!

CVD | Pack-Slurry Revestimiento I FIC

CVI | Forros de freno de aviones

Recocido Tube - 32 m

Multicámara | Forja vacío

Trenes de aterrizaje de enfriamiento de gas y petróleo

Engranajes de molino de viento

Horno de vacío ultra alto con vacío hasta 10^{-7} mbar

Autoclave

30bar recocido H_2

1500°C sinterización H_2

Unión por difusión

120 toneladas

HPGQ 16 bar L = 3.600 mm

Grafitización horno hasta 2400°C

Cuarzo - recocido

Hacemos desafíos de proceso imposibles que se convierten en una realidad a través de equipos de innovación y diseño.

SECO/WARWICK

www.secowarwick.com
vacuum@secowarwick.com.pl

Fórum de ARCAS

Por Juan Martínez Arcas

Pueden formularnos las preguntas que deseen sobre la problemática de los Tratamientos Térmicos, dirigiéndose a la revista:

Por carta: Goya, 20, 4º - 28001 Madrid
Teléfono: 917 817 776 - Fax: 917 817 126
E-mail: pedeca@pedeca.es

Tanto preguntas como respuestas irán publicadas en sucesivos números de la revista por orden de llegada, gracias a la activa colaboración de D. Juan Martínez Arcas.

Pregunta nº 43

Como deciamos en el número anterior, la industria de automoción sigue demandando cada vez más nuevos materiales que aumenten la resistencia mecánica a la vez la seguridad, disminuir el peso de los vehículos, etc.: Las acererías o algunas de ellas dio respuesta en su momento a estas exigencias y que a su vez representaba un reto tecnológico dando paso a los ya conocidos " ACEROS DE ALTA RESISTENCIA".

Este gran avance o ventaja se convierte en el peor de sus enemigos, ya al conformar la chapa los costes de producción se incrementaron, pero no por el coste de la chapa o materia prima.

Los esfuerzos se centraron en su momento en cómo mejorar la productividad (actualmente se sigue en la misma línea) elección de aceros de herramientas para trabajo en frío o bien otros.

Análisis numéricos de solicitación mecánica de la matriz, composición química y estructura metalográfica, estudios de desgaste del útil y propuesta de Recubrimientos así como tratamientos específicos para la matriz o útil en cuestión.

Se ha intentado dar respuesta a la pregunta sobre los Aceros de Alta Resistencia para EMBUTICIÓN", LAS APORTACIONES HAN SIDO DIVERSAS PARA ESTE FÓRUM.

Pero a parte de lo expuesto, eran casos muy particulares e interesados, muy positivos por cierto, pero no eran apropiadas para este Fórum.

En el siguiente cuadro veremos la comparación entre los aceros dulces utilizados para embutición tipo St12 y St14 y los aceros de alta resistencia, tipo HSS y UHSS.

Consideraciones en la matriz para estampación de aceros de alta resistencia

Acero dulce comparado con acero de alta resistencia

	Acero dulce		Acero de alta resistencia	
	FeP01 (St 12)	FeP04 (St 14)	HSS (HSLA)	UHSS
Contenido en manganeso, %	0,6	0,4	1,5	1,5
Otros aleantes	P + S		P + S + Cu + V + Ti + Nb	
Estructura de fases	Aleación dulce		Microaleación	Martensita
Límite elástico, MPa	280 máx.	210 máx.	210 – 550	550 – 800
Resistencia a tracción, MPa	270 – 410	270 – 350	No disponibles	1000 – 1700
Recuperación elástica,*	1 – 3		30 máx.	

HSS: High Strength Steel HSLA: High-Strength Low-Alloy
UHSS: Ultra High Strength Steel

Nota importante: Los aceros rápidos con sus siglas puede dar lugar a confusiones y que pueden ser graves con los aceros de alta resistencia. Los primeros conocidos por HSS (en ingles High Speed Steel) y los segundos High Strength Steel, no deben de confudirse, ambos son acrónimos ya que son totalmente distintos tanto en composición como en aplicaciones.

HEA

SINCE 1945

www.alferieff.com • hea@hornoshea.com

Nueva cámara para ver el interior de hornos y calderas

Por Land Instruments

LAND ha tenido durante tiempo la tecnología para visualizar el exterior de calderas calientes. Con la introducción de la nueva cámara NIR-b Boroscópica, es posible utilizar nuestra probada tecnología para monitorizar con precisión el interior de hornos, con solamente una pequeña apertura en la pared.

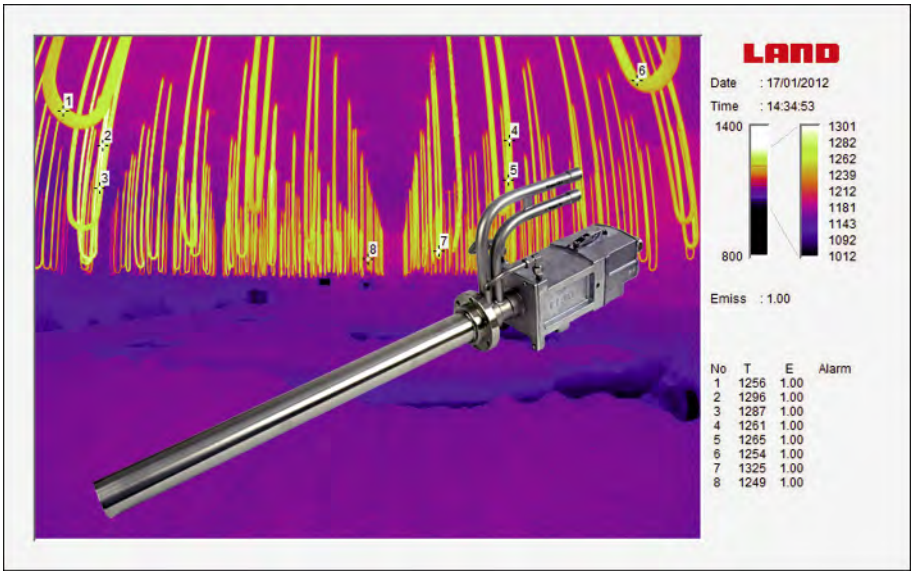
La NIR-b proporciona imágenes radiométricas de alta resolución de 320.000 pixels, dando información detallada de temperatura transmitida a través de una conexión digital de alta velocidad.

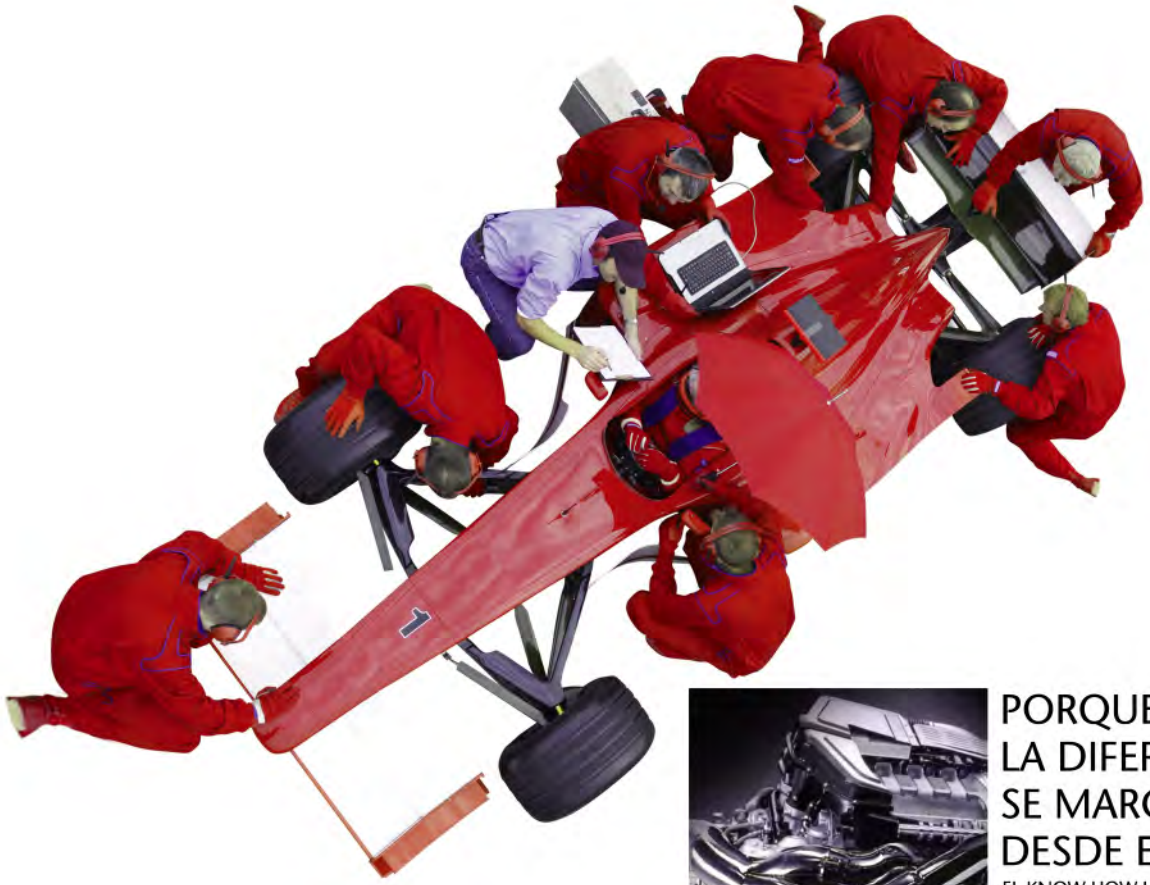
Incluye como características clave, un campo de visión de 90º que proporciona una visión interna completa del horno o tanque; sistema de refrigeración por agua de altas prestaciones con bajo consumo, incluso a las temperaturas más altas del horno; además de una instalación sencilla y fácil de utilizar.

Adicionalmente incluye como opción un mecanismo Auto-Retract que protege la cámara si la fuente de alimentación falla, o si hay una interrupción en el suministro de agua o aire a la purga.

Medida de temperatura precisa que se mantiene, permitiendo al operador utilizar la información en aplicaciones de control de proceso.

La NIR-b forma parte del grupo de productos de Proceso de Imágenes que también incluyen la nueva cámara ARC y los sistemas de barrido LSP-HD de alta velocidad y resolución para escaneo de productos en movimiento.

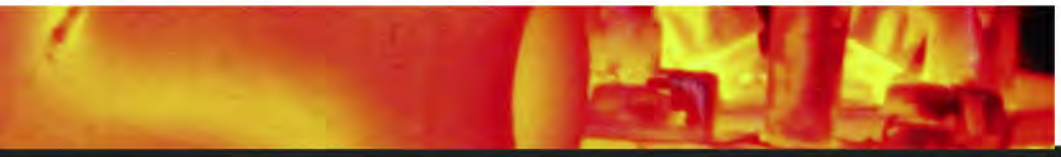




PORQUE LA DIFERENCIA SE MARCA DESDE EL PRINCIPIO

EL KNOW HOW UNIDO AL CUIDADO DE LAS PRIMERAS FASES DE FABRICACION MARCAN LA CALIDAD, FIABILIDAD Y DURABILIDAD FINAL DEL PRODUCTO.

MEDIANTE HORNOS DESARROLLADOS, INSTALADOS Y MANTENIDOS POR ARROLA SE FABRICAN COMPONENTES PARA LA MAS ALTA COMPETICION.



ARROLA®

SERVICIO INTEGRAL
PARA INSTALACIONES
DE TRATAMIENTO TERMICO

SERVICIO INTEGRAL

PARA INSTALACIONES DE TRATAMIENTO TERMICO Y GALVANIZADO EN CALIENTE

DISEÑO Y FABRICACION DE INSTALACIONES - ASISTENCIA TECNICA
METROLOGIA Y CALIBRACION - CONTROL DE ATMOSFERA
SISTEMAS INFORMATICOS PARA CONTROL Y REGISTRO DE DATOS

POLIGONO INDUSTRIAL ARGIXAO, PAB. 60
E 20700 ZUMARRAGA (GIPUZKOA) SPAIN
TEL. (+34) 943 72 52 71 FAX. (+34) 943 72 56 34
info@arrola.es www.arrola.es

publiadk

Nueva versión del sistema Instron® MPX

Las máquinas motorizadas de ensayos de péndulo de impacto serie MPX de Instron, fabricante líder de sistemas de ensayo para la determinación de las propiedades mecánicas de materiales y componentes, han sido diseñadas específicamente para la realización de ensayos de impacto en materiales metálicos, siguiendo los métodos Charpy e Izod. Las energías de impacto disponibles van desde 300 a 900 julios. El software Fracta™, que forma parte del sistema de ensayo, permite una captación sencilla de datos y el cálculo de la energía de impacto. En caso de mayores exigencias en cuanto al análisis y registro de los datos de medida, el sistema ofrece la posibilidad de llevar a cabo un "upgrade" e instalar una cuchilla de impacto Charpy instrumentado y el software de adquisición de datos Impulse™, para la medición directa de la fuerza de impacto y la velocidad del martillo.

Características especiales de los sistemas de péndulo de impacto MPX:

- Inicio automático del ensayo.

  En los sistemas de la serie MPX, el ensayo se inicia automáticamente una vez cerrada la puerta. De esa manera, se reduce el tiempo de ensayo, aumentando así la productividad. Además, los sistemas cumplen con las normas nacionales e internacionales para el ensayo a temperaturas no ambientales, como p. ej. las exigencias del instituto NIST (National Institute of Standards and Technology) en cuanto a un período de no más de 5 segundos, entre el momento de sacar la probeta de la cámara de temperatura y el fin del ensayo.

- Peso intercambiable del martillo.

  Al contrario de la mayoría de los demás sistemas de péndulo de impacto en el mercado, en los que todavía es necesario desmontar el martillo completo para cambiar de peso, el sistema MPX, gracias a sus pesos intercambiables del martillo, permite la adaptación rápida y sencilla de la energía de impacto sin tener que cambiar el mango del martillo.

- Seguridad.

  Para garantizar la seguridad de manejo en cualquier momento durante la realización del ensayo, la serie MPX incorpora un sistema de protección de seguridad, que satisface las altas exigencias para la otención del certificado europeo CE y cumple con la norma ISO 13849.

JORNADA TÉCNICA

MEJORA DE LOS MOLDES PARA FUNDICIÓN INYECTADA

- Nuevos aceros para moldes de fundición inyectada (Presentación de Kind&CO)
- Mecanizado y herramientas para los nuevos aceros y aceros de altas prestaciones para moldes de inyección (Mitsubishi).
- Soldadura de aceros para moldes de inyección (Castolin).
- Aumento de la productividad, calidad y vida del molde mediante el uso inteligente de los desmoldeantes (Henkel).
- Sensórica avanzada para moldes de inyección (Kistler).
- Diseño, materiales y tratamientos para contenedores de fundición inyectada (TTT).
- Nuevos tratamientos térmicos y superficiales (Vacutrem).
- ¿Cómo conseguir financiación en el campo de la innovación a nivel nacional / internacional? (CDTI)

PRECIO: 30€
INSCRIPCIONES:
sara.lanchas@tecnalia.com
Plazas limitadas

5 de Noviembre de 2014
Tecnalia Research Innovation
Mikeletegi 2, Donostia

tecnalia Inspiring Business
KIND&CO EDELSTAHLWERK
Castolin Eutectic
Henkel
MITSUBISHI MITSUBISHI MATERIALS CORPORATION
TTTCast® Herramientas para fundición inyectada Die-Casting Tools
CDTI
KISTLER measure. analyze. innovate.
VACUTREM

AMETEK Land introduce los nuevos termómetros portátiles sin contacto Cyclops L

Con sus nuevas capacidades de registro de datos, modo ruta configurable y software, los Cyclops L posicionan a AMETEK Land como líder de la industria en termómetros portátiles sin contacto de alta calidad.

Cuatro nuevos modelos en la familia Cyclops L que cubren un rango de medida de 200 a 3.000 °C.

Apropiados para un amplio rango de aplicaciones tales como metal líquido, acero, producción de vidrio, hornos y muchas otras.

Modo único Ruta que permite al usuario configurar una ruta alrededor de su planta, identificando su localización con una descripción, un valor de emisividad, un factor de corrección de ventana si procede y un identificador único. Este modo de medida permite la repetición completa de lecturas, haciendo al termómetro la herramienta ideal para múltiples aplicaciones que requieren un seguimiento regular y fiable.

Alta capacidad de registro de datos. Memoria interna de hasta 9.999 lecturas que pueden descargarse al software opcional para su posterior análisis y comparación.

El nuevo software de adquisición de datos permite conectar los termómetros Cyclops L a un ordenador personal o a un dispositivo móvil para ver, analizar y grabar las lecturas de temperatura. La conexión puede ser vía Bluetooth o por cable USB.

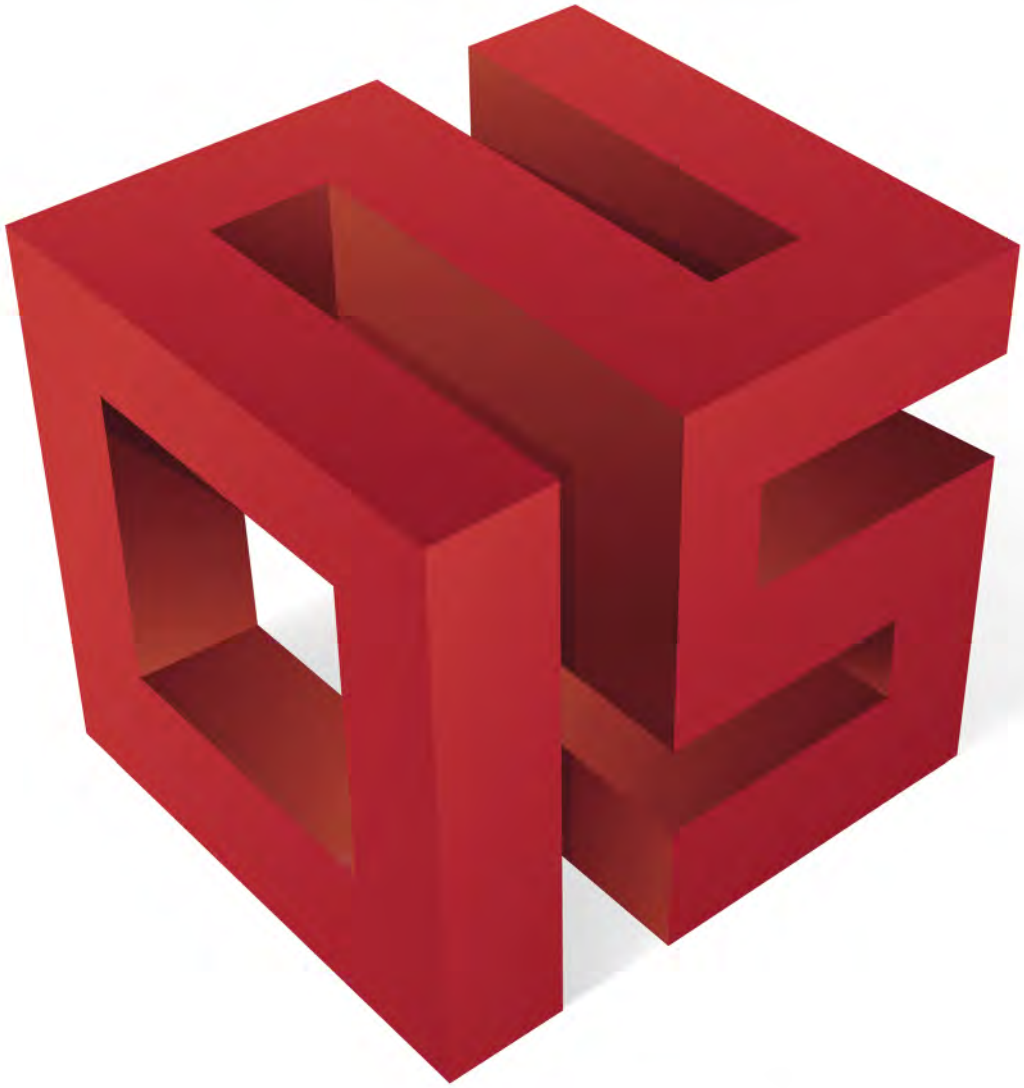
Modelos disponibles para un amplio rango de aplicaciones incluyendo la fundición de metales, fabricación de acero, procesos petroquímicos y laboratorio I+D…

Campo de visión estrecho y preciso enfocable con visión a través de la lente. Medidas sin deriva que aseguran la fiabilidad de las lecturas.

Nueva cubierta industrial de goma para una mayor protección contra daños accidentales, además de un nuevo protector de lente.

Calibración UKAS opcional en todos los modelos.

metalmadrid `15



SERÁ MUCHO MÁS...

+ m² Exposición + Expositores y Maquinaria

+ Jornadas Técnicas + Novedades en Robótica y Composites

Infórmate ya y aprovecha las ventajas de ser el primero en reservar tu espacio.

www.metalmadrid.com
comercial@metalmadrid.com

Medidas de temperatura en tratamientos térmicos de aluminio según CQI-9

Por Ernesto Guerra, EUCON, distribuidor de PhoenixTM

Con la nueva version de la CQI-9 3ªedición llegan nuevos requisitos a la industria de tratamientos térmicos de aluminio. Entre otras cosas, aquí se define con más precisión cuándo, cómo y con qué frecuencia se deben chequear los procesos en hornos y el equipamiento.

Así la 3ª Ed. de la CQI-9 pide por ejemplo una prueba de uniformidad de temperatura de la cámara del horno cada tres meses, un chequeo de la precisión de todos los termopares de regulación y otros requisitos (para más detalles vea CQI-9 3rd - Fuente AIAG).

Durante una prueba de uniformidad de temperatura la consigna del horno se regula a varias temperaturas de proceso.

Los sensores se colocan en cada esquina de la cámara del horno (en hornos batch) o se distribuyen a través de la anchura del horno (hornos continuos).

Las medidas se pueden hacer con el horno cargado o sin carga.

El método tradicional para medir temperaturas en un horno continuo es usar largos termopares colocados sobre un producto o una muestra que se pasan a través del horno.

La desventaja es que la producción debe ser parada o rebajada y con un horno parcialmente cargado, los resultados no muestran las condiciones reales de producción.

Así mismo sería recomendable usar termopares más cortos ya que esto reduciría el coste de cada medida y la posibilidad de interferencias magnéticas y eléctricas en las medidas de estos termopares.

Como herramienta ideal para cumplir los requisitos de la CQI-9 o la AMS2750E, PhoenixTM ha desarrollado los sistemas de obtención de perfiles de temperatura HTS01 y HTS06.

El dispositivo pasa por el horno (también por temples en agua o aire) y mide las temperaturas en hasta 20 puntos del producto o del horno.

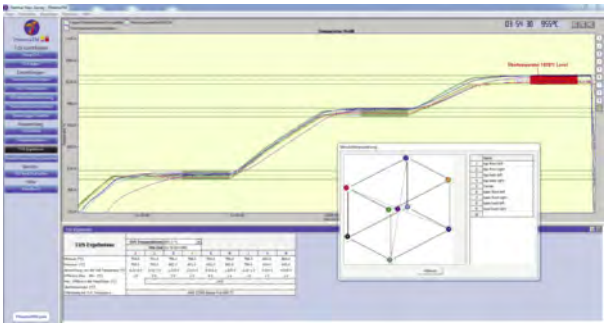
El sistema se puede colocar fácilmente en la línea de producción con los productos, causando muchas menos interferencias a la producción que el método de “termopares largos” y ofrece una medida mucho más precisa de la temperatura real del producto, ya que el nivel de carga del horno se ve menos afectado.

La medida se realiza en gran parte de forma automatizada, permitiendo ahorros de tiempo de trabajo y permite el manejo fácil incluso por usuarios con poca experiencia.

Los registradores PTM1 cumplen los requisitos de la CQI-9 3rd y la AMS2750-E y pueden registrar el perfil de temperaturas del proceso completo en el horno en todos los puntos de medida y transmitir la señal en tiempo real a un PC fuera del horno. La tecnología integrada Zigbee permite el uso de repetidores wireless y con su telemetría de 2 vías puede asegurar los buenos resultados de la transferencia.

El software, "Thermal View Survey" realiza los cálculos de estudio de hornos conforme a los requisitos de la AMS2750E (y la CQI-9).

Permite incorporar los factores de corrección de los termopares y el registrador, definir por el usuario los niveles de temperatura del estudio y las tolerancias admisibles, análisis de la colocación de los termopares, búsqueda de sobrecalentamientos



(overshoot), importar/exportar datos y realización de informe impreso conforme a AMS2750.

Como Nuevo producto PhoenixTM presenta el Thermal View Mobile Software para Android. El registrador y las pruebas se pueden programar, operar y analizar directamente en un Smartphone o una tablet.

PhoenixTM también ofrece sistemas de medida con Tablets preconfiguradas o instala soluciones para sistemas ya existentes.

Temple no rotativo de cigüeñales y de árboles de levas

Por Gary Doyon, Dr. Valery Rudnev, John Maher, Glen Desmier, Jeff Elinsky, INDUCTOHEAT, Inc., USA y Eugenio Pardo ONDARLAN, S.L. (GRUPO INDUCTOTHERM, Spain)

El Tratamiento Térmico por Inducción es una elección muy común, cuando se trata de templar y revenir cigüeñales y árboles de levas de calidad. Este artículo explicará cómo las mejoras que continuamente se están llevando a cabo en la tecnología, hacen que un buen proceso se pueda convertir incluso en mejor.

TRATAMIENTO TÉRMICO DE CIGÜEÑALES EN EL PASADO

En los motores de combustión interna, bombas, compresores, etc... se utilizan en gran medida los cigüeñales, perteneciendo además al grupo de los componentes de automóvil más críticos de entre los que pesan desde los 13 kg hasta 40 kg, dependiendo del motor.

Un cigüeñal, generalmente fundido o forjado, está compuesto por una serie de muñecas y de apoyos, compensados por contrapesos (Figura 1). En los cigüeñales, entre los materiales más frecuentemente utilizados, están los aceros forjados, la fundición nodular, los aceros microaleados forjados y la fundición nodular austemperizada (1, 2)). Algunas de las características más importantes de los cigüeñales son la alta resistencia, la elasticidad, una buena resistencia a la abrasión, bajo peso, bajas vibraciones, precisión geométrica, longitud corta y bajo coste. La mayoría de estos atributos se mejoran mediante el temple por inducción.

En la medida en que los elementos del cigüeñal (apoyos y muñecas) son pequeñas con respecto a las dimensiones externas de los contrapesos, las bobinas tradicionales envolventes no pueden pasar libremente desde un elemento tratado térmicamente al siguiente. Este hecho obliga a disponer de diseños específicos de inductores.

Un cigüeñal está compuesto por muñecas, apoyos y contrapesos.

Inductores de bisagra o divididos

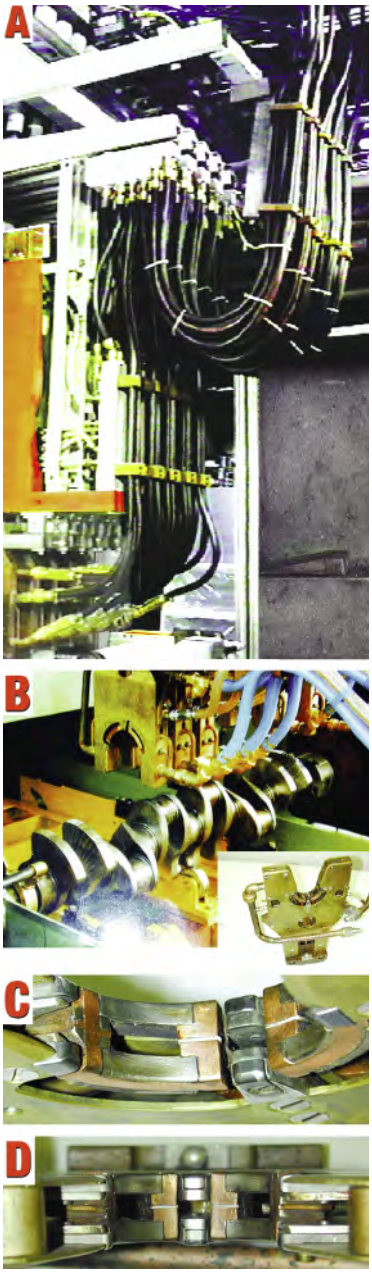
Para templar cigüeñales por inducción, en los años 50 se desarrollaron inductores especialmente diseñados con bisagras o divididos en dos partes (Figura 2). No era necesaria la rotación del cigüeñal. Algunas de las desventajas principales de estos inductores eran su corta vida, su escasa fiabilidad y sus bajas tasas de productividad (3). La corta vida de los inductores es el resultado de la necesidad de "romper" el paso de la corriente a través de los contactos para las altas corrientes involucradas. El área de contacto es la parte más débil de estos inductores. Al cerrar el inductor, debe hacerse con la suficiente presión como para asegurar un buen contacto eléctrico entre las partes móviles. Siendo realistas, las bobinas no tienen superficies de contacto perfectamente lisas.

Inductores de bisagra o divididos utilizados en los años 50.

El área de amarre del inductor también contribuye a la corta vida del mismo a causa del desgaste y de los contaminantes, los cuales provocan sobrecalentamientos excesivos e incluso arcos eléctricos y, finalmente, fallos prematuros. Independientemente de las dosis de pulido y limpieza de la superficie de contacto, las bolsas de aire y los islotes contaminados del área de contacto forzarán a la corriente a circular a través de los puntos de contacto localizados de sólido a sólido. Como resultado se experimenta la aparición de un incremento localizado de densidad de corriente y un incremento de resistencia eléctrica del área de contacto, en comparación con las áreas de cobre sólido del inductor y la generación de calor es directamente proporcional al cambio de la resistencia eléctrica. La calidad del contacto eléctrico se degrada sustancialmente tras las múltiples aperturas y los cierres del inductor en el entorno de producción. Los contaminantes crecen rápidamente en las superficies de contacto, lo que aumenta más, si cabe, la resistencia eléctrica del área de contacto, obteniéndose como resultado una escasa fiabilidad y variaciones en la potencia inducida en la pieza calentada.

Inductores en forma de "U"

Desde los años 60 hasta el año 2000, la mayoría de las máquinas de inducción para el temple de cigüeñales utilizaban inductores en forma de "U", montados sobre un cigüeñal en rotación durante el calentamiento. Según el proceso citado, cada muñeca y cada apoyo se calientan respectivamente por la proximidad de un inductor en forma de "U", mientras el cigüeñal gira respecto a su eje principal. Teniendo en cuenta que los ejes de las muñecas son excéntricos al eje principal, las muñecas giran orbitalmente respecto a dicho eje principal. La trayectoria circular orbital de un sistema tan pesado debe mantenerse con mucha precisión mediante un sistema especial de control, que proporcione una modulación de potencia para cada elemento del cigüeñal susceptible de calentamiento durante la rotación (Figura 3, A&B).



Proceso de temple rotativo utilizando inductores en forma de "U". Nota: se requieren de 6 a 10 guías de carburo (localizadores) por cada inductor.

Hay varias desventajas asociadas a esta tecnología, entre las que se incluyen:

- Altos costes de mantenimiento y corta vida de utillajes.

- Diseño del sistema de gran tamaño y ruidoso.
- Baja repetitividad de patrones, alta sensibilidad del sistema.
- Alto tiempo de paradas.

Otros problemas con respecto a la utilización de inductores en forma de "U" son:

- Se requieren localizadores de carburos con una media de 6 a 10 localizadores por cada inductor individual. Los carburos "se montan" en la superficie de los apoyos/muñecas a altas temperaturas. El proceso requiere un gap de aire pequeño y crítico (0,25 mm-0,4 mm) entre el inductor y la pieza que hace difícil monitorizar el desgaste del carburo y que conduce a un entrenamiento tedioso para corregir los ajustes y a la necesidad de experiencia en el ajuste adecuado de los localizadores, todo ello sujeto a errores humanos. Debido al pequeño gap de aire y al desgaste no controlado de los localizadores de carburo, el inductor en forma de "U" a menudo toca accidentalmente la superficie en rotación del cigüeñal. Esto provoca fugas de agua, roturas prematuras y afecta negativamente a la calidad de los piezas tratadas (por ejemplo, corrimiento de los patrones, aparición de "granos blandos" sobre la superficie templada). Además, cada localizador es simplemente una pieza adicional que puede fallar.
- La necesidad de tener un gap de aire tan crítico y pequeño (0,25 mm-0,4 mm) en el inductor, junto con la apreciable cantidad de calor irradiada desde la superficie tratada y la atmósfera de neblina, aceleran el deterioro del cobre por estrés-corrosión y estrés fatiga, desarrollándose grietas en el inductor.
- Los inductores en forma de "U" se fabrican utilizando una de estas dos técnicas: "banding" o "brazing". En ambos casos, siempre son motivo de preocupación la precisión y la repetitividad en las geometrías complejas de los inductores. (Figuras 3 C&D).
- Los inductores en forma de "U" producen un patrón de calentamiento "no simétrico" en cualquier tiempo dado, porque el calor se aplica sólo a menos de la mitad de la zona objetivo del cigüeñal (figura 3.B). El resto de la muñeca/apoyo está sometido a un proceso de "conducción-refrigeración". La naturaleza no simétrica del calentamiento con inductores en forma de "U" puede provocar potencialmente perfiles de dureza no uniformes y necesita disponer de tiempos de calentamiento relativamente más prolongados (de 7 s a 20 s), los cuales, por otra parte, tienen como consecuencia un calentamiento de una mayor parte del acero que la requerida, con las consecuentes excesivas distorsiones experimentadas y el derroche de energía.

TECNOLOGÍA MEJORADA - EL PROCESO SHarP- C

Con objeto de utilizar el temple solicitado sin tener que hacer rotar el cigüeñal, a principios de la década pasada (año 2000) se introdujo una tecnología patentada no rotativa que se denomina SHarP-C (4-5). Desde el inicio de su aparición, esta tecnología se ajustó finamente, llegando a ser un proceso avanzado y probado que elimina la necesidad de rotar el cigüeñal durante los ciclos de calentamiento y enfriamiento, superando las desventajas de la corta vida de los inductores de tipo mordaza. La figura 4 muestra la máquina CrankPro, que incorpora la tecnología SHarP-C proporcionando un temple y revenido de altas producciones para cigüeñales.

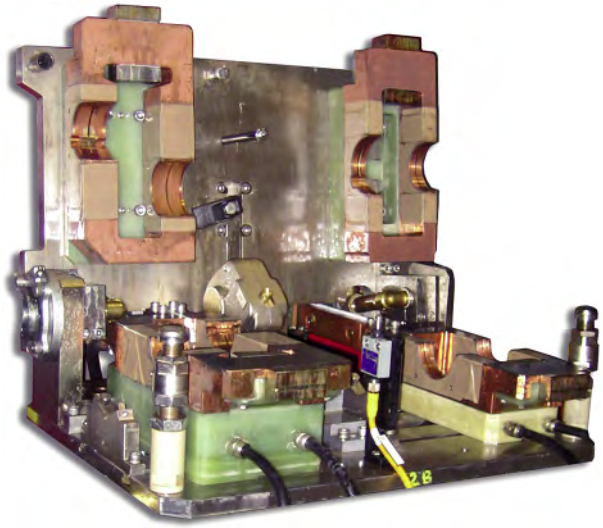
El equipo CrankPro® consta de tecnología patentada por Inductoheat para el temple y revenido no rotativo de cigüeñales.

Según el proceso patentado de temple no rotativo, un inductor consta de dos secciones (figura 5) – un inductor superior (pasivo) y un inductor inferior (activo). El inductor inferior, que es activo, se conecta a un generador de media o alta frecuencia, mientras que el inductor superior (pasivo) representa un cortocircuito (un lazo). La sección inferior es un inductor estacionario, mientras que el induc-

tor superior se puede abrir y cerrar. Cada sección dispone de dos áreas semicirculares donde se colocan las zonas del cigüeñal.

Tras la carga del cigüeñal con un robot en la posición de calentamiento, el inductor superior pivota hasta una posición "cerrada" y se aplica potencia desde el generador hasta el inductor inferior (activo). La corriente comienza a circular por el inductor inferior. Al estar acoplado electromagnéticamente con el inductor superior, el flujo de corriente del inductor inferior inducirá corrientes de Foucault que empezarán a circular en el inductor superior. Estas corrientes inducidas se orientarán en sentido contrario a la fuente de corriente como ocurre en el caso de los transformadores. Cualquier zona calentada del cigüeñal "ve" el inductor SHarP-C como si fuera una bobina totalmente envolvente clásica de alta eficiencia (1-5).

Esta tecnología no rotativa de inducción para temple y revenido proporciona muchos beneficios tales como la reducción de costes y características superiores de mantenibilidad, calidad y fiabilidad.



Inductor patentado para temple no rotativo.

Entre otros beneficios se hallan también los siguientes:

- Los patrones de calentamiento quedan "atrapados en el lugar" y son muy repetitivos, dado que

FABRICACIÓN SENSORES DE TEMPERATURA

- Fabricación propia de Termopares y Termoresistencias.
- Especializados en tratamientos térmicos.
- Fabricación especial AMS-27850-E.
- Fabricación especial para hornos de vacío.
- Condiciones especiales para fabricantes de hornos.

LABORATORIO CALIBRACIÓN in situ

- Laboratorio acreditado ENAC en temperatura, in-situ y en nuestras instalaciones.
- Calibración de instrumentación, sensores de temperatura y hornos (TUS y SAT).
- Especialización en AMS-2750-E.
- Control de periodicidades entre calibraciones.
- Plataforma de certificados on-line.
- NUEVO servicio de calibración de transmisores de vacío in situ y en nuestro laboratorio.

SCI Suministro y Calibracion Industrial s.l.

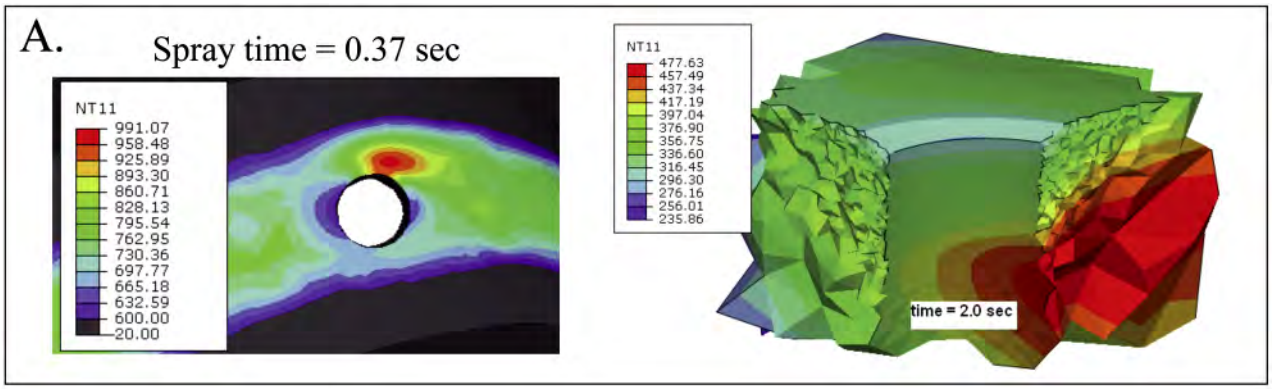
www.sciempresa.com

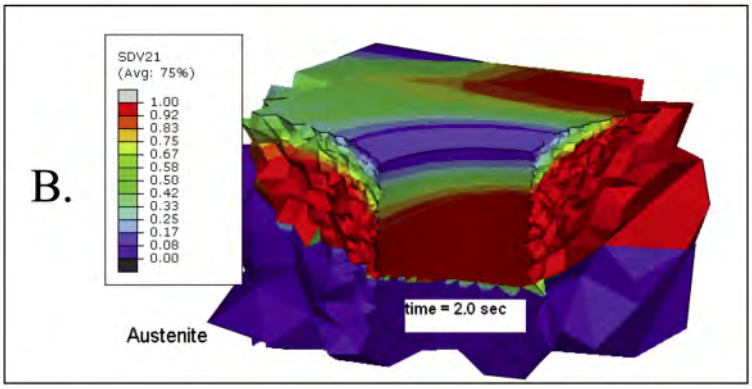
Ribera de Axpe 11, D2, L203, 48950 Erandio - Vizcaya • Tel. +34 944765276 • Fax: +34 944766021 • e-mail: sci@sciempresa.com

El proceso de temple no rotativo proporciona muñecas y apoyos de cigüeñales con propiedades microestructurales superiores.

ni los inductores ni el cigüeñal experimentan movimiento, durante el ciclo de tratamiento térmico.

- Los inductores son mucho más robustos, rígidos y repetitivos, mecanizados en máquinas de CNC, a partir de cobre sólido, sin piezas soldadas por "brazing" ni "banding". Esto elimina la distorsión del inductor y el corrimiento del patrón de dureza. Hay muchos menos componentes en el diseño patentado de los inductores, obteniéndose mayor fiabilidad al disponerse de menos piezas que puedan fallar.
- No hay desgaste de los localizadores involucrados. El proceso SHarP-C utiliza inductores que no necesitan guías de contacto.
- Por término medio, se reducen los tiempos de calentamiento en el rango de 2 a 4 segundos, proporcionando algunos beneficios entre los que están la reducción de energía y la minimización de las distorsiones en las formas. La reducción de la distorsión total experimentada es tradicionalmente uno de los factores más importantes a la hora de tratar térmicamente los cigüeñales. Afecta directamente a la cantidad de metal que se deba rectificar. Uno de los elementos más importantes cuyos efectos son más pronunciados en la distorsión es la cantidad de calor generado en el

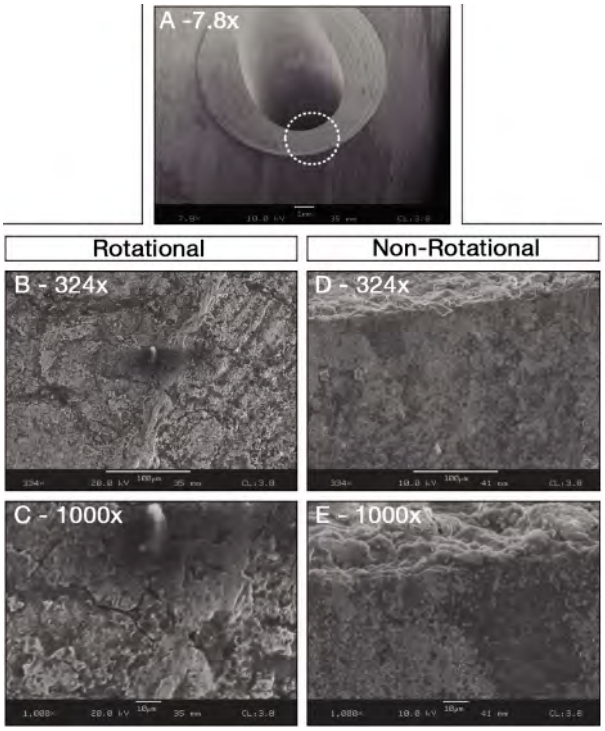




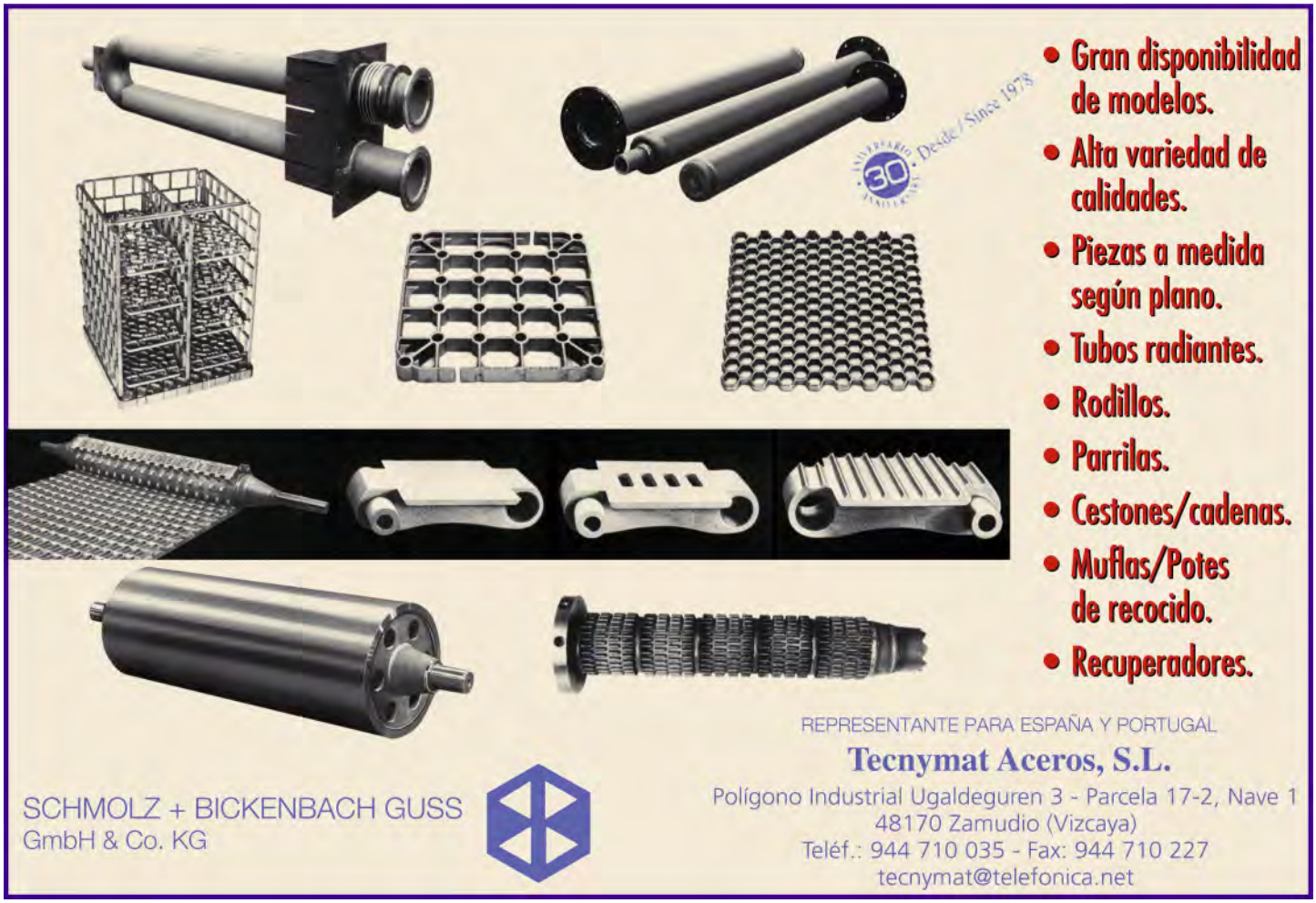
Modelización computerizada de los perfiles de temperatura durante el enfriamiento en el temple con spray de un cigüeñal (A) y predicción de la transformación de austenita (B). Cortesía de Deformation Control Technology, Inc.

cuerpo del cigüeñal. A mayor metal calentado, mayor expansión del metal, lo que da lugar a mayor distorsión. La significativa reducción en el tiempo de calentamiento inherente a este proceso patentado, da lugar únicamente a una pequeña masa de metal calentado. Se minimiza la zona afectada por el calor con la consecuente minimización de la expansión del metal y, obviamente, la minimización de la distorsión (típicamente, la distorsión es menor que 25 micras).

- Las muñecas y los apoyos de los cigüeñales tienen propiedades microestructurales superiores. Entre ellas, se experimenta una notable reducción en el tamaño de grano, en la descarburización y en la oxidación de las superficies de las muñecas y de los apoyos. La zona endurecida está claramente definida y "distinta" (figura 6) sin la "zona de transición borrosa" que se presenta cuando los tiempos de calentamiento se alargan. La profundidad de penetración del temple consta de una microestructura fina de martensita. Las tensiones superficiales compresivas obtenidas al aplicar la tecnología SHarP-C son imperativas a la hora de prevenir el desarrollo de grietas superficiales. Se han llevado a cabo estudios intensos de modelos computerizados en cooperación con



Los resultados de un análisis SEM (microscopio electrónico de barrido) de regiones similares cercanas a un agujero de aceite, usando tecnología rotativa y no rotativa. Nota: Hay evidencias de licuación en juntas de grano con el proceso rotativo.



expertos mundiales como el Dr. Lynn Ferguson de Deformation Control Technology, Inc. para proporcionar una distribución favorita de las tensiones residuales y transicionales de los cigüeñales tratados térmicamente (Figura 7).

- La necesidad de tener parte de la superficie de los cigüeñales a altas temperaturas durante tiempos prolongados, como ocurre con la tecnología rotativa, se asocia a menudo con un fenómeno metalúrgico no deseado como es la licuación en las juntas de grano. Este fenómeno, básicamente, incrementa la fragilidad y la sensibilidad a la fractura intergranular, sobre todo en el área de los agujeros para el aceite. Gracias a las características del proceso SHarP-C estos fenómenos no deseados quedan eliminados. La figura 8 muestra los resultados de un análisis SEM (microscopio electrónico de barrido) de regiones similares localizadas muy próximamente al agujero de aceite para las tecnologías rotativa y no rotativa.
- El gap de aire del inductor al cigüeñal es mucho mayor en la tecnología SHarP-C que en la rotativa, para el temple de cigüeñales. Esto crea las condiciones favorables para reducir los problemas de estrés-corrosión y de estrés-fatiga en el cobre y permite aumentar drásticamente la vida de los útiles.
- Una precisa mecanización de los inductores con máquinas CNC y el uso de pallets de "cambio rápido" garantizan que los inductores se alineen automáticamente con respecto al cigüeñal después de un cambio de los mismos. No se necesitan procesos de ajuste costosos en tiempo para "retocar" cada inductor después de ser reemplazado. Este mismo diseño permite que la instalación sea rápida, carente de errores, "lista para producir" reduciéndose enormemente el tiempo de puesta a punto.
- Puesto que no se necesita rotación alguna en los cigüeñales, no es necesario mover estructuras pesadas de más de 900 kg a través de un camino orbital durante el calentamiento. No se necesitan contactos giratorios de alta corriente o cables flexibles susceptibles de desgaste. Sólo hay una acción de "apertura-cierre" de una sección de inductor no conectada a potencia. Todo ello mejora los aspectos de seguridad.

Contorno endurecido real en la sección de un árbol de levas obtenido mediante temple no rotativo.

REVENIDO DE CIGÜEÑALES

La transformación martensítica surgida por medio del temple crea una estructura dura asociada a una baja tenacidad. El revenido que sigue a la etapa del temple es tan importante como éste.

Metalúrgicamente, el revenido proporciona las microestructuras requeridas para las propiedades deseadas. Sin embargo, en entornos de altas producciones, las necesidades de espacio para un horno de revenido pueden superar los 30 m2 y disponer de 150-250 cigüeñales simultáneos. Los hornos de revenido requieren tiempos de arranque largos, y la necesidad de calentar el cigüeñal en su totalidad implica tiempos improductivos y una reducción de la eficiencia energética. Ambos factores se consideran desventajas de los hornos de revenido. A principios de la década pasada se incorporó el revenido por inducción a las máquinas de temple por inducción de cigüeñales.

En revenidos de tiempos cortos mediante inducción, con objeto de proporcionar un efecto similar al de los revenidos de tiempo largo en horno, es necesario utilizar temperaturas más altas. Hay diferentes maneras de determinar la correlación tiempo-temperatura entre los hornos convencionales a bajas temperaturas y tiempos largos frente a los revenidos por inducción a temperaturas superiores y tiempos cortos, incluyendo la ecuación de Hollomon-Jaffe, la correlación de Grange-Baughman, y otras.

El revenido de cigüeñales por inducción utiliza densidades de potencia mucho más bajas y tiempos de ciclo más largos que en el temple. Si se realiza correctamente, el revenido por inducción puede alcanzar resultados muy similares a los del revenido tradicional en horno. Se pueden utilizar ciclos de revenido de cigüeñales unipulso o multipulso (6). El ciclo de revenido multipulso representa un ciclo de inducción "amable", generando condiciones de revenido más similares a las de horno tradicional que con ciclos unipulso. Según el revenido multipulso, el tratamiento corresponde a una combinación de revenido bajo potencia (utilizando pulsos de calor de

baja densidad de potencia) y auto-revenido (utilizando el calor residual acumulado durante el ciclo térmico para la austenización). Una combinación de revenido por inducción bajo potencia (el calor se transmite desde la superficie hacia la región subsuperficial) y de auto-revenido (el calor fluye desde la región interna hacia la superficie) proporciona ventajas significativas en comparación con los procesos de revenido en los que sólo se aplica uno de los dos fenómenos. Una de las ventajas consiste en las condiciones térmicas sustancialmente más uniformes y de mayor controlabilidad. Si se aplica únicamente el auto-revenido, éste recae sólo en el calor acumulado de las regiones internas del cigüeñal durante su ciclo de calentamiento inicial para endurecer. Debido a ello, por su propia naturaleza, si sólo se utiliza el auto-revenido, la distribución de calor es no uniforme ya que las diferentes masas de metal adyacentes a las partes endurecidas producen diferentes magnitudes de efectos de conducción térmica.

Por el contrario, utilizando simultáneamente el revenido mediante inducción y el auto-revenido, ambos procesos se complementan mutuamente produciendo una distribución de calor más uniforme de cara al revenido. Por esta razón, el revenido multipulso SHarP-C es más ventajoso en comparación con el de pulso único, obteniéndose mejores calidades.

CONCLUSIÓN

La aplicación de la Tecnología SHarP-C se ha extendido también al tratamiento de árboles de levas, obteniéndose como resultado una distorsión prácticamente indetectable, así como una excelente aptitud a la hora de obtener un patrón envolvente óptimo de endurecimiento (figura 9). Esto abre la posibilidad de eliminar las operaciones posteriores de enderezado y reducir drásticamente la eliminación de material superficial.

REFERENCIAS

1. G. Doyon, D. Brown, V. Rudnev, G. Desmier, J. Elinski, "Taking the crank out of crankshaft hardening", Industrial Heating, December 2008, p.41-44.
2. V. Rudnev, D. Loveless, et. Al., Induction Heating Handbook, Marcel Dekker, NY, 2003, 800p.
3. V. Rudnev, Systematic analysis of induction coil failures. Part 9: Clamshell inductors, Heat Treating Progress, Jan/Feb., 2007, p. 17-18.
4. US Patent # 6,274,857,2001.
5. US Patent # 6,859,125,2005.
6. G. Doyon, V. Rudnev, J. Maher, Induction hardening of crankshaft and camshafts, ASM Handbook, Vol.4C: Induction Heating and Heat Treating, 2014.

La Energía, primer factor de competitividad para la Industria

Por Confemetal

En España, el consumo energético industrial representa, aproximadamente, la cuarta parte de la demanda energética final nacional. Para la Industria en general y especialmente para el Sector del Metal, la energía se sitúa entre los costes de producción más relevantes, en algunos casos, incluso por encima de los costes laborales.

La energía es una materia prima clave para la Industria y su precio, fiabilidad y seguridad de suministro son factores decisivos de competitividad, muy especialmente para las empresas exportadoras.

En línea con esa importancia capital que la energía tiene para su actividad y su competitividad, los sectores industriales están implicados, desde hace décadas, en un proceso continuo de mejora de su eficiencia energética, hasta el punto de que la gestión energética se ha convertido, dentro de la estructura productiva industrial, en una de las herramientas de gestión de mayor relevancia.

Sin embargo, ese esfuerzo realizado para racionalizar el consumo, asegurar el suministro, incorporar fuentes energéticas más limpias y seguras, y reducir el impacto de su coste en el precio final del producto, no está ofreciendo los resultados esperados porque no se ve acompañado por una regulación administrativa y fiscal acorde con la importancia de la energía para la Industria, y con la relevancia de la propia Industria para el conjunto de la economía.

Los precios, regulados y muy poco flexibles de la energía imponen a los consumidores industriales, especialmente a los más intensivos en su uso, costes muy elevados y por encima de los de otros países, lo que se traduce en una seria desventaja competitiva tanto a nivel europeo como internacional.

Esos sectores industriales más intensivos en el uso de la energía, que coinciden básicamente con los más eficientes en su uso porque obviamente quien más consume más invierte en mejorar su eficiencia, están siendo expulsados fuera de Europa debido a los altos precios de la energía, con la consiguiente pérdida de empleos, y sin que los beneficios medioambientales conseguidos hayan pasado, en muchos casos, de ser mínimos o incluso inexistentes.

El precio final de la energía que debería ser una de las bases principales de la competitividad de nuestra Industria, o cuando menos no actuar como una rémora, se incrementó entre 2008 y 2012, para los consumidores industriales en un 3,5 por ciento, muy por encima de la tasa de inflación anual.

Ese incremento, según la Comisión Europea, se debe al aumento de los costes de redes de transporte y distribución, a impuestos y a cargas incorporadas a las tarifas eléctricas finales, en España muy especialmente a la partida destinada al apoyo al antiguo régimen especial (apoyo a las renovables, cifrado en más de 9.000 millones de euros para 2013), y a la inclusión de los sobrecostes no peninsulares (esti-

"I Jornada Metal Duro-Asammet"

6 de noviembre de 2014

Sala de Actos EUETIB (Compte d'Urgell 187, 08036 Barcelona)

En esta actividad se dan cita la experiencia y "know-how" de reconocidos profesionales e investigadores de los distintos ámbitos de interés relacionados con el Metal Duro en la industria española e internacional.

PROGRAMA

9:00 - 9:20	Registro participantes
9:20 - 9:40	Inauguración
9:40 - 10:40	Conferencia ***"Metal Duro: un caso de éxito tenológico 'ejemplar' desde la Ingeniería de los Materiales"*** L.M. Llanes, Catedrático UPC, Director Dept. CMEM
10:40 - 11:40	Mesa Redonda ***"Metal Duro: dónde, cómo y por qué"*** L. Miñarro, Segment Manager SANDVIK-HYPERION F. Borrego, Director Técnico METALOGRÁFICA S.A. F. Montalà, Director Técnico FLUBETECH
11:40 - 12:30	Pausa café - Networking
12:30 - 13:00	***Productos Metal Duro - SANDVIK COROMANT*** P. Inglés, Soporte Técnico COROMANT
13:00 - 13:30	***Fabricante con Metal Duro - TEMSA*** X. Cullell, Manager Director TEMSA
13:30 - 14:00	Debate
14:00 - 15:30	Pausa Lunch - Networking
15:30 - 17:30	Mesa Redonda: ***"Aplicaciones del Metal Duro"*** E. Sánchez, Director Técnico AMES R. Rojas, Tool & Die Shop Manager TE CONNECTIVITY M. Jiménez, Director Producción GRUPO VARAS J. Iglesias, Director Técnico ACERINOX-INOXFIL
17:30 - 18:00	Debate y clausura Jornada

INSCRIPCIÓN (información en **www.asammet.com**)

- **PARTICULARES: 25 €** (incluye cuota de asociación a ASAMMET-2015, café y lunch)
- **EMPRESAS: 50 €** (incluye cuota ASAMMET-2015, 2 inscripciones personales, café y lunch)
- **PATROCINADORES: 200 €** (incluye cuota ASAMMET-2015, 10 inscripciones personales, café, lunch y soporte publicitario)
- Gratuito para socios/as de ASAMMET

Contacto organización: **Núria Salán (asammet@asammet.com)**

mada en más de 1.800 millones para ese mismo año).

Esta situación española no se corresponde con las recomendaciones de la Comunicación de la Comisión Europea «Por un renacimiento industrial europeo», que invitaba a los Estados miembro a reconocer la importancia fundamental de la Industria para impulsar la competitividad, el crecimiento sostenible y una integración más sistemática de los aspectos relacionados con la competitividad en todos los ámbitos políticos.

La Comunicación subrayaba que la competitividad debe constituir el núcleo de toda política energética, e invitaba a los Estados a tomar medidas en el mercado interior y a nivel internacional, para garantizar un acceso a la energía y a las materias primas a unos precios asequibles que reflejen realmente las condiciones internacionales.

Ese objetivo de competitividad en el sistema de producción y suministro energético, debe corresponderse con otros dos objetivos esenciales, como la garantía de un suministro seguro y fiable, y el respeto al medio ambiente, para el diseño de un sistema energético europeo eficiente y favorecedor tanto de sostenibilidad como de la actividad económica.

El objetivo de conseguir una economía baja en emisiones de carbono en el horizonte 2050, marca también ese diseño y exige una evaluación de la relación coste/beneficio de cualquier regulación del sector energético a nivel europeo y nacional, de modo que las iniciativas legislativas en materia energética no se apliquen contra y a costa del desarrollo industrial.

Esa evaluación implica un análisis del impacto de cada nueva iniciativa y del efecto acumulado que producirá sobre los de las disposiciones ya en vigor, y exige una coordinación real del desarrollo de las distintas políticas europeas planteadas en los ámbitos energético y de lucha contra el cambio climático, para que no supongan un menoscabo de la competitividad de la Industria Europea.

Para la Industria es imprescindible reducir al mínimo el negativo impacto económico que el cumplimiento de los compromisos internacionales adquiridos en materia de medio ambiente, está teniendo en su actividad y su competitividad.

En esa línea, el acuerdo internacional sobre cambio climático que se pretende alcanzar deberá ser equilibrado y proporcionado. Todos los países, sin excepción, deben asumir compromisos que no deben ser voluntarios pero sí coherentes, y no deben poner en peligro las inversiones e instalaciones actuales y la actividad de las empresas ya existentes.

Ese acuerdo internacional, suscrito por todas las partes, deberá ser jurídicamente vinculante y habrá de incluir objetivos equiparables para todos los países industrializados y medidas de mitigación para los países en desarrollo, en función de sus responsabilidades y capacidades.

En general, la reducción de emisiones de dióxido de carbono debe ser asequible, tecnológicamente neutral y basada en reglas de mercado.

En ese proceso no se puede prescindir de ninguna tecnología energética madura, competitiva y de baja intensidad en carbono, lo que debe permitir también hablar de energía nuclear bajo parámetros de máximo control y seguridad.

Europa en su conjunto debe buscar en el ámbito de la energía un equilibrio entre seguridad en el suministro a costes razonables, lo que es crucial para la competitividad de los fabricantes europeos, y el apoyo a las oportunidades de negocio de tecnologías verdes.

Tanto la Unión Europea como los gobiernos nacionales deben evitar incrementar todavía más el precio de la energía para la Industria y revertir una situación por la que, en los últimos años, las empresas europeas han pagado cerca del doble por la electricidad y cerca de tres veces más por el gas, que sus competidores estadounidenses.

Para ello es necesario desarrollar y ampliar las infraestructuras eléctricas, especialmente las conexiones internacionales de redes, de manera que funcione un verdadero mercado interior europeo de la electricidad, que pueda convertirse en elemento clave para la reducción del precio final de la energía en la Unión Europea.

En definitiva, ese sistema energético seguro y a costes razonables permitiría a las empresas, no sólo desarrollar tecnologías verdes para una economía más limpia y obtener productos orientados al mercado y exportables, sino también asumir un liderazgo internacional en tecnologías verdes.

MÁQUINAS DE MEDIA FRECUENCIA

PARA CALENTAMIENTO Y TRATAMIENTO TÉRMICO

POTENCIAS
DESDE 5 KW
HASTA 50 KW

FRECUENCIAS
DESDE 20 KHZ HASTA 50 KHZ

INDUCTOTHERM GROUP | IBERIA

- Fabricación con tecnología de última generación
- Servicio de reparación local
- Servicio técnico local altamente cualificado
- Repuestos originales en stock
- Instalación y puesta en marcha
- Asesoramiento técnico

ONDARLAN, S.L.:
+34 943 635079
o visite: www.ondarlan.com
email: oficina@ondarlan.com

INDUCTOTHERM® GROUP

Leading Manufacturers of Melting. Thermal Processing & Production Systems for the Metals & Materials Industry Worldwide.

Worldwide Melting Group Companies
Seaford, Australia; Herstal, Belgium; Sau Paulo, Brazil; Shanghai, China; Droitwich, England; Paris, France; Simmerath, Germany; Ahmedabad, India; Irun, Spain; Kobe, Japan; Busan, Korea; Saltillo, Mexico; Taipei, Taiwan; Istanbul, Turkey; Rancocas, USA

MOLD Day

JORNADA TÉCNICA

En el marco de la Feria **MetalMadrid**, el Jueves 30 de octubre se va a celebrar el **Mold Day**, jornada técnica donde se expondrán conferencias de compañías referentes del Mecanizado - Matricería, Molde e inyección.

Programa

10:00 - 10:30 Entrada - Entrega de Acreditaciones, documentación, presentaciones.

10:30 - 11:10 1ª Conferencia QSM - Los 10 Mandamientos en la Matricería – Mecanizados – Moldes - Inyección. Ponente Sr. Miguel Ángel de Ortúzar – Flash MPS oferte Moldes y Matrices rápidamente

11:10 - 11:40 2ª Conferencia EROWA ibérica - De la producción a la productividad en el mecanizado – moldes. Ponente Sr. Noe Reinoso

11:40 - 12:00 Café + Contacto asistentes B2B. Relleno del cupón del Sorteo MPS

12:00 - 12:30 3ª Conferencia TopSolid'Mold: nuevos retos en el diseño 3D de moldes, Tecnocim. Ponente: Sr. Héctor Soler

12:30 - 13:00 4º Conferencia KIND&CO EDELSTAHLWERK Aceros de alto rendimiento para la fundición inyectada a presión - Ponente: Sr. Carlos Viñallonga

13:00 - 13:30 5º Conferencia GNC Láser "Temple láser en moldes y Matrices"- Ponente: Sr. Odei Areta (Responsable del área de Desarrollo)

13:30 - 14:00 6º Conferencia FLUBETECH PVD & CVD Coatings "Recubrimiento PVD de última generación para moldes de inyección". Ponente: Sr. Carles Colominas

14:00 - 15:30 Cóctel Comida + Contacto Asistentes B2B + Entrega de premios del sorteo MPS

15:30 Cierre Jornada y Visita Feria.

Incluye:

- .- Entrada a la Feria MetalMadrid
- .- Asistencia a la Ponencia
- .- Documentación de las ponencias.
- .- Coffe – break. B2B
- .- Participación al sorteo de 2 Licencias MPS software para el cálculo de costes del Molde
- .- Comida. B2B. Entrega del premio del sorteo durante la comida ¡Suerte¡

Patrocina la revista Mold Press. Organiza QSM, para más información 658 88 12 90 o sistemas@qsm.com.es

Flubetech · EROWA · KIND&CO EDELSTAHLWERK · TopSolid Mold · QSM - GPROY · GNC Láser · MOLD Press

metalmadrid `14 29 30 OCT'14

30 €

206 páginas

40 €

316 páginas

40 €

320 páginas

La aparición en el año 2008 del primer volumen de **TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS ACEROS**, dedicado a los **Principios del Tratamiento Térmico de los Aceros** marcó un hito en este importante campo de conocimiento para quienes nos hemos dedicado a la Metalurgia. Sus autores, Manuel Antonio Martínez Baena y José María Palacios Repáraz –fue el último libro que se publicó en vida– especialistas conocidos y reconocidos en este campo, nos legaron unas lecciones magistrales reproduciendo y ampliando los artículos publicados en **TRATER Press** y otras revistas especializadas.

Dos años después, el segundo volumen **Aceros de construcción mecánica y su tratamiento térmico. Aceros inoxidables** nos ilustró sobre los aceros de uso mayoritario en la industria y la construcción, con una especial dedicación a los aceros inoxidables y a los mecanismos de corrosión.

Ahora aparece el tercer volumen **Aceros de herramientas para trabajos en frío y en caliente, su selección y tratamiento térmico. Aceros rápidos**. Como en el volumen anterior, el libro está dividido en dos partes. La primera se inicia considerando los criterios actuales de selección de los aceros para la fabricación de útiles y herramientas, las propiedades y características fundamentales que determinan la selección de un acero para herramientas y los factores metalúrgicos y tecnológicos que influyen en el comportamiento de una herramienta. Se añaden algunas consideraciones sobre la teoría y práctica del tratamiento térmico de los aceros aleados de herramientas y luego se particularizan los aceros al carbono para herramientas, los aceros aleados para trabajos en frío y para trabajo en caliente. También se tienen en cuenta una serie de consideraciones sobre los aceros utilizados en la fabricación de útiles y herramientas para la extrusión en caliente, sobre los aceros utilizados en la fabricación de moldes para fundición inyectada y sobre los más utilizados en la fabricación de moldes para la industria de los plásticos. Dada la importancia que tienen, la parte 2 está dedicada exclusivamente a los aceros rápidos, su utilización y tratamiento térmico.

Como los libros precedentes, está firmado por Manuel Antonio Martínez Baena incluyendo a José María Palacios Repáraz quien, aunque nos dejó en 2008, sigue siendo el inspirador del texto. Aunque ambos autores son autoridad en todos los campos de los aceros, se nota su preferencia por el complejo campo de los aceros de herramientas. Sus 187 figuras y 40 tablas son un perfecto indicativo del conocimiento teórico y práctico que tienen de estos aceros. Manuel Antonio, con su gracejo granadino, ha sabido dar amenidad y actualidad a temas tan arduos como los tratamientos criogénicos o los numerosos tratamientos superficiales incluidos CVD, PVD y PECVD.

Puede ver el contenido de los libros y el índice en www.pedeca.es o solicite más información:

Teléf.: 917 817 776

E-mail: pedeca@pedeca.es

Influencia de los tratamientos térmicos en la respuesta a tracción y a fatiga para un acero TWIP

Por N. Salán[1, 2, 3, 4], J. Calvo[1, 3, 5], A. Mateo[1, 2, 3], J. J. Roa[1, 2, 3], G. Fargas[1, 2, 3] y G. Sixto[4]

RESUMEN

Los Aceros TWIP (TWinning Induced Plasticity) se caracterizan por sus excelentes propiedades mecánicas, ya que presentan alores elevados de resistencia a la tracción, manteniendo niveles elevados de ductilidad, siendo muy valorados en la industria automovilística para la elaboración de componentes estructurales.

La particular respuesta y comportamiento de estos materiales se debe a su composición química, en la que destacan los contenidos en Mn superiores al 18%, que garantizan una microestructura austenítica, muy propensa al maclado como mecanismo principal de deformación.

En este estudio se pretende caracterizar el efecto del tamaño de grano, modificado mediante tratamientos térmicos de recristalización (para temperaturas comprendidas entre 1.000 y 1.200 °C), los valores de dureza, la respuesta a tracción y también en el comportamiento a fatiga de un acero TWIP.

La caracterización microestructural del acero, tanto en las condiciones de partida (as received) y tras los tratamientos térmicos, se han efectuado mediante microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido (MEB), microscopía de fuerza atómica (AFM) y microscopía de haz de iones focalizado (FIB).

Autores: Núria Salán (CIEFMA-ETSEIAT), Jessica Calvo (PROCOMAME-ETSEIB), Antonio M. Mateo (CIEFMA-ETSEIB), Joan Josep Roa (CIEFMA-ETSEIB), Gemma Fargas (CIEFMA-ETSEIB) y Guillem Sixto (ETSEIAT).

* CIEFMA: Centro de Integridad Estructural y Fiabilidad de Materiales (UPC-BarcelonaTECH).
* ETSEIAT: Escuela Técnica Superior de Ingenierías Industrial y Aeronáutica de Terrasa.
* PROCOMAME: Procesos de Conformado de Materiales Metálicos (UPC-BarcelonaTECH).
* ETSEIB: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona.

Todos son del Departamento de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica (CMEM-UPC).

1. INTRODUCCIÓN

Los aceros TWIP (TWinning Induced Plasticity, plasticidad inducida por maclaje) pertenecen al grupo de los aceros AHSS (Advanced High Strength Steels, aceros avanzados de alta resistencia), que se caracterizan por presentar valores de resistencia a la tracción por encima de 1.000 MPa y, a la vez, valores de ductilidad superiores al 50%. Las características de los aceros TWIP los convierten en materiales ideales para aplicaciones en las que se requieran buenas características de absorción de energía a impacto con un mínimo de espesor [1]. Estos aceros presentan, además, valores muy elevados de su coeficiente de endurecimiento por deformación, lo que proporciona un amplio rango de condiciones de trabajo en las que se puede garantizar una deformación plástica homogénea.

El comportamiento particular de este tipo de aceros se debe a que el principal mecanismo de deformación es el maclado [2,3], gracias a la acción del Mn como elemento de aleación (presente en proporciones comprendidas entre 20 y 30%) y a la presencia de otros elementos como Al, Si o C [4].

Pese a su excelente combinación de propiedades mecánicas, estos aceros suelen presentar inconvenientes durante su procesamiento, en tanto que los elevados contenidos en Mn suelen inducir segregación y rechupes en los componentes obtenidos por fusión y moldeo [5]. Por otro lado, sus características mecánicas dificultan notablemente su conformado por deformación plástica, lo que obliga a considerar temperaturas de proceso muy elevadas. La laminación en caliente de la chapa es una etapa crí-

tica en el procesamiento de los aceros TWIP, ya que ayudará a la homogeneidad química de los aceros minimizando el efecto de las segregaciones y, a su vez, será la etapa durante la cual se controle el tamaño de grano, mediante un adecuado control de mecanismos como la recristalización.

En este estudio, se pretende caracterizar el efecto del tamaño de grano en la respuesta mecánica a tracción y a fatiga, así como la variación de deformación y dureza específica de un acero TWIP. En este caso, el control microestructural se realizó mediante diferentes tratamientos térmicos que garanticen la recristalización del material, con el fin de generar diferentes tamaños de grano partiendo de un acero TWIP con un tamaño de grano muy fino.

En estudios anteriores se ha observado que el acero de estudio en estado de recepción (as received), presenta un tamaño de grano tan pequeño que difícilmente se reducirá más mediante tratamientos térmicos. Así, este artículo se centra en el análisis de la influencia de un tamaño de grano superior al habitual, como condición de partida, en las propiedades mecánicas del acero TWIP 17Mn sometido a tratamientos térmicos de recristalización, dado que para estos aceros, el control del tamaño de grano es básicamente el factor determinante que proporcione la obtención de una microestructura deseada para garantizar la respuesta en servicio requerida. La finalidad principal de este trabajo conduce a un estudio del comportamiento a tracción y a fatiga de un acero TWIP bajo la influencia de un tratamiento térmico de recristalización.

2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Los aceros TWIP se caracterizan, principalmente, por sus elevados porcentajes en Mn, en un nivel de aleación global muy elevado. En la Tabla 1 se recogen los porcentajes en masa de los elementos de aleación mayoritarios en el acero utilizado para la realización de este estudio.

Este acero adopta una estructura cristalina FCC a temperatura ambiente gracias a la presencia de elementos gammágenos, como Mn, Si, Ni y Al. El Mn, además de estabilizar la fase gamma (Fe-γ), controla la energía de falla de apilamiento en valores de 20 a 45 mJ/m^2, con lo que se prioriza el maclado (twinning) como mecanismos de deformación.

2.2. Tratamientos térmicos

La franja de temperaturas consideradas, para seleccionar las condiciones de tratamiento térmico, se halla comprendida entre 1.000 y 1.200 ºC. En este trabajo, la limitación de temperatura a 1.200 ºC se ha considerado para evitar que el acero, a temperaturas superiores pudiera presentar problemas de fusión incipiente.

Así, los tratamientos de recristalización (1.000, 1.050, 1.100, 1.150 y 1.200ºC) se han realizado en un horno tubular con una atmósfera protectora de Ar. El tiempo de permanencia ha sido de 1 h/tratamiento.

2.3. Caracterización

Tras la realización de los tratamientos térmicos, se ha procedido a la caracterización microestructural del material, mediante desbaste, pulido y ataque químico (Nital 2% y Picral 5%) y electroquímico (Ácido oxálico, 5-10V, 5-20 s) [6,7]. Una vez revelada la microestructura, se han realizado micrografías mediante microscopía óptica convencional y mediante microscopía confocal (interferometría láser).

La caracterización mecánica se ha llevado a cabo mediante ensayos convencionales de dureza (microdureza), tracción y fatiga. Para el análisis de los valores de dureza, se han realizado un mínimo de 10 indentaciones por muestra bajo cargas de 1 kg (15 s).

Por otro lado, para la realización de ensayos de tracción se ha utilizado una máquina servohidráulca INSTRON 5585H, con probetas planas normalizadas (ASTM E8-04) de 124 mm de longitud y 32 mm de zona calibrada, pulidas superficial y lateralmente (Fig. 1a).

Para la realización de ensayos de fatiga se han probetas planas normalizadas (ASTM E466-96), también pulidas superficial y lateralmente, en condiciones de tracción-tracción uniaxial, hasta 107 ciclos, con incremento de la tensión máxima según el método S-

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti
0.722	0.071	16.760	0.018	0.015	0.035	0.343	0.139	1.922	0.023	0.055	0.021	0.096

Tabla 1. Composición química en porcentaje másico para el acero utilizado (TWIP 17Mn).

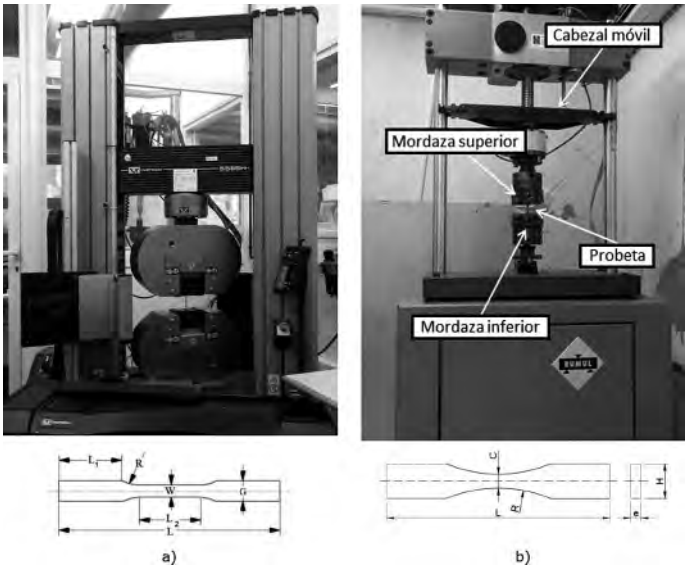


Fig. 1. a) Equipo INSTRON 5585H y esquema de las probetas utilizadas para la caracterización mecánica a tracción; b) Equipo RUMUL 654/73y esquema de las probetas utilizadas para los ensayos a fatiga realizados con el acero TWIP estudiado.

taircase [8,9] y considerando una frecuencia media de trabajo de 150 Hz. Se ha utilizado una máquina de fatiga por resonancia RUMUL 654/73 (Fig. 1b).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización microestructural ha permitido poner de manifiesto la modificación del tamaño de grano promedio, así como su distribución, a causa de los tratamientos térmicos. La realización de diversos tipos de ataque ha permitido considerar, en cada caso, las imágenes más adecuadas para determinar el tamaño de grano y su distribución (Fig. 2).

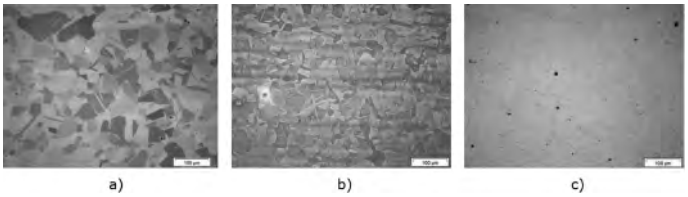


Fig 2. Micrografías de un acero TWIP con diversos reactivos de ataque: a) Nital 2%; b) Picral 5%; c) ataque electrolítico con Ácido Oxálico.

El tamaño y la distribución de grano para el acero TWIP as received, previamente a la realización de tratamientos térmicos, se muestra en el gráfico de la Fig. 3a. Puede apreciarse cómo, a tenor de las medidas realizadas, se determina un tamaño promedio de 6,2 µm.

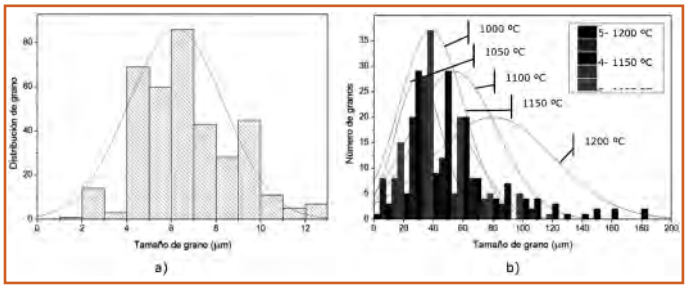


Fig. 3. Tamaño y distribución de grano en el acero TWIP 17Mn: a) as received; b) tras la realiación de tratamientos térmicos de recristalización.

El análisis de los resultados muestra que, con el aumento de la temperatura de recristalización, aumenta también el tamaño de grano promedio, llegando a alcanzar valores próximos a las 80 µm, mientras que, previamente a los tratamientos térmicos, el tamaño era inferior a 10 µm.

Asimismo, se ha detectado un notable incremento de la dispersión en los tamaños de grano con la temperatura de tratamiento. Este último fenómeno puede justificarse por el hecho de que la velocidad de crecimiento de grano no sea la misma en función de la orientación de los mismos, lo que provocaría que, a mayores temperaturas, el crecimiento del tamaño de grano se vea descompensado, aumentando la dispersión de tamaños.

En la Fig. 4 se muestra, en un único diagrama, el efecto de la temperatura de tratamiento térmico en el tamaño de grano para el acero TWIP, pudiéndose establecer una expresión, para la relación entre la temperatura de tratamiento térmico de recristalización y el tamaño de grano final, como la que se muestra a continuación, en la que y representa el tamaño de grano (en µm) y x representa la temperatura de tratamiento, en ºC.

$$y = 4.627 * e^{0.002x} \qquad (1)$$

De manera similar, en la Fig. 5 se recoge el efecto de la temperatura de tratamiento térmico en los valores de dureza.

La caracterización mecánica del acero TWIP tratado y sin tratar, mediante ensayos convencionales de tracción, ha puesto de manifiesto que tanto el límite elástico como el valor de resistencia a tracción, disminuye con el tratamiento térmico de recristalización, tanto más cuanto mayor es la temperatura del tratamiento. De esta manera, el límite elástico del material sin tratamiento (as received) es de 440 MPa y disminuye hasta un mínimo valor

de 285 MPa para el acero sometido a 1.200 °C durante una hora.

Paralelamente, el valor de resistencia mecánica decrece desde 1.500 MPa para el material as received hasta un mínimo de 1.350 MPa para el tratamiento de 1.200 °C (Fig. 6).

Los valores de ductilidad se ven también modificados, de manera coherente a la variación en las magnitudes tensiles, aumentando desde un 45% para el material no tratado hasta valores comprendidos entre 53 y 55% para el acero sometido a tratamientos térmicos de recristalización.

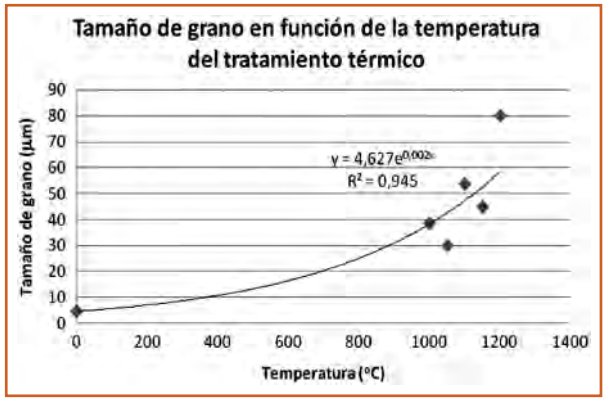


Fig. 4. Relación entre la temperatura de tratamiento térmico y el tamaño de grano para un acero TWIP.

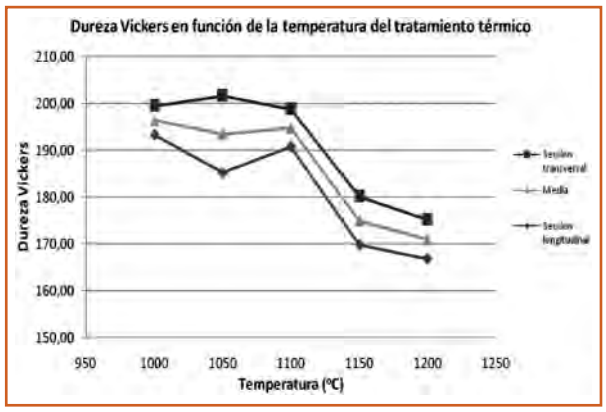


Fig. 5. Relación entre la temperatura de tratamiento térmico y la dureza Vickers para un acero TWIP.

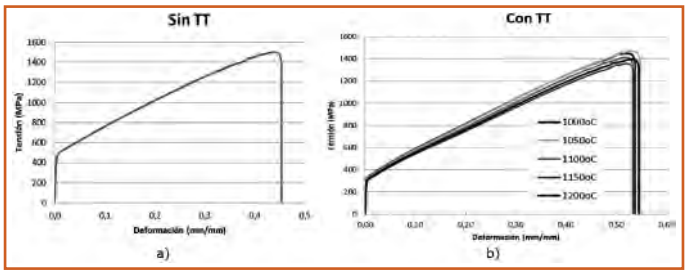


Fig. 6. Curvas de tracción (esfuerzo/deformación) para un acero TWIP, a) as received; b) tras haber sido sometido a tratamientos térmicos de recristalización.

Tras la caracterización mecánica a tracción, se han realizado ensayos de fatiga por resonancia en material as received y también en material tratado térmicamente. Llegado este punto, y atendiendo a la duración de los ensayos de fatiga y a la diferencia de variación para los diferentes tratamientos térmicos, se ha considerado la optimización de recursos y se ha estimado un único valor de temperatura de recristalización, comprendido en la zona central del rango estudiado: 1.100 °C.

En cuanto a la caracterización a fatiga, se han realizado los ensayos determinando los límites de ensayo (tensión media y desviación estandar) según el método staircase. Tanto para el acero TWIP sin tratamiento alguno (as received), como tras un tratamiento de recristalización a 1.100 °C, los resultados de los ensayos realizados se muestran en los gráficos de la Fig. 7.

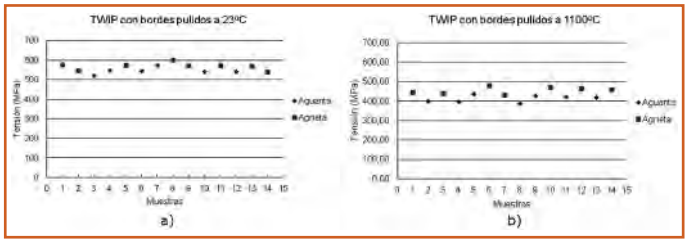


Fig. 7. Resultados de los ensayos de fatiga (107 ciclos, 150 Hz) para el acero TWIP, a) as received; b) sometido a tratamiento térmico de recristalización de 1.100 °C/ 1 h.

Se puede apreciar cómo el límite a fatiga disminuye sensiblemente con la realización del tratamiento térmico, desde un valor de 579 MPa para el acero sin tratamiento (as received) hasta 450 MPa tras una recristalización a 1.100 °C/1h. Estos resultados están en concordancia con los reportados por Bathias [10] y Grassel [11].

Para poder justificar este comportamiento, se ha procedido a realizar un exhaustivo estudio de la superficie de las probetas ensayadas a fatiga, tanto para el material as received como para el material sometido a tratamiento de recristalización. La Fig. 8 nos muestra una imagen de AFM (modo topográfico) de las maclas generadas después de $5 \cdot 10^6$ ciclos (Fig. 8a) y de la zona de rotura después de someter dicha probeta a $1 \cdot 10^6$ ciclos (imagen de error, Fig. 8b).

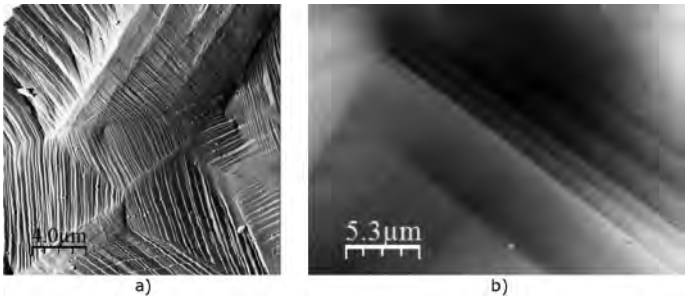


Fig. 8. Superficie de una probeta de acero TWIP ensayada a fatiga. a) Imagen de topografía, obtenida por AFM; b) Imagen de error de la zona de fractura después de 1·10⁶ ciclos.

La identificación de microfisuras, agentes iniciadores de las fisuras que provocan la ruptura en los ensayos de fatiga, localizadas en los bordes de grano con profusión de maclas, pone de manifiesto la relación entre bordes de grano+maclas y formación de fisuras. En la Fig. 9 se muestran imágenes de MEB ensayado a fatiga, y se aprecia la existencia de microfisuras "alineadas" a lo largo de un borde de grano en una zona maclada.

Es, pues, de esperar, que si el tamaño de grano disminuye, en un mismo borde de grano pueden aparecer mayor cantidad de microfisuras con una misma orientación, de manera que, con facilidad, estas microfisuras se podrían conectar para dar lugar a una fisura mayor que inicie la ruptura por fatiga del material ensayado.

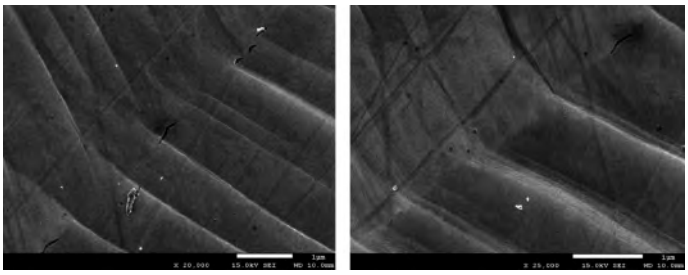


Fig. 9. Imágenes se MEB correspondientes a zonas de borde de grano de un acero TWIP en el que, durante el ensayo de fatiga, se ha generado una profusión de maclas.

De aquí, se puede establecer una relación directa entre tamaño de grano y susceptibilidad a fatiga, de modo que se justificaría que tamaños de grano mayores, que corresponden al acero TWIP sometido a tratamientos térmicos de recristalización, en los que se pueden "sumar" mayor cantidad de microfisuras "alineadas", se asocien a límites de fatiga también inferiores. La Fig. 11 nos muestra una imagen de FIB/SEM de la interacción entre dos granos,

Fig. 11. a) Trinchera elaborada para el análisis mediante FIB; b) Detalle de la trinchera en el que se muestra un borde de grano ("línea" vertical) y la deformación superficial en la zona de confluencia de los dos cristales maclados, como una protuberancia.

Fig. 11a. La Fig.11b nos muestra la zona de interacción (límite de grano); en ella, se puede apreciar la generación de un sistema de maclado primario.

En la parte superior de la imagen (Fig. 11b), en el centro, se observa además una sobreelevación provocada por la acumulación de tensiones en la zona de límite de grano, que provoca la deformación de los cristales.

4. CONCLUSIONES

El estudio, realizado con un acero TWIP sometido a tratamientos de recristalización a temperaturas comprendidas entre 1.000 y 1.200 °C, ha puesto de manifiesto que:

- Los tratamientos térmicos de recristalización producen un aumento considerable del tamaño de grano, desde un valor medio por debajo de 10 µm, hasta valores superiores a 80 µm. Se ha comprobado que cuanto mayor es la temperatura de tratamiento, tanto mayor es el tamaño de grano final.
- El efecto de la temperatura de tratamiento térmico en la microestructura, tiene una notable influencia en las características mecánicas del material estudiado. Así, los valores de dureza ponen de manifiesto que el acero se "ablanda" con los tratamientos de recristalización, tanto más cuanto mayor es la temperatura de tratamiento. Paralelamente, mientras que los valores de límite elástico y de resistencia a tracción también revelan una relación inversamente proporcional entre su variación y la temperatura, de modo que a mayor temperatura de tratamiento térmico de recristalización, menores son las propiedades tensiles, los valores de ductilidad del acero TWIP tratado térmicamente son superiores a los del acero as received.
- La respuesta a fatiga de este material, antes y después de un tratamiento de recristalización, re-

alizado a 1.100 °C, es también notablemente distinta, de manera que se aprecia una disminución próxima al 25 % en los valores de límite a fatiga entre el material sin tratamiento y el material tratado. Esta diferencia parece estar relacionada con la modificación en el tamaño de grano, en tanto que las microfisuras que se generan en el material ensayado a fatiga, aparecen mayoritariamente en los bordes de grano, alineadas, y cuanto mayor longitud tiene éste, se favorece la combinación de microfisuras que generen una fisura inciadora de fractura en el acero.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a POSCO el suministro del material, así como la financiación recibida del Ministerio de Ciencia e Innovación a través del proyecto de Investigación MAT09-14461,del proyecto MAT 2012-34602 y de l'Agencia de Gestió i Ajuts Universitaris i de Recerca de la Generalitat de Catalunya, a través del proyecto 2010 CON3 42.

6. REFERENCIAS

[1] Information on www.worldautosteel.org, Advanced High Strenght Steels AHSS, Application guidelines, (2009).

[2] Frommeyer, G., Drewes, E.J and Engl, B., La Revue de Métallurgie, 10, p. 1245 (2000).

[3] Grässel, O., Krüger, L., Frommeyer, G. and Meyer, L.W., Int. J. Plasticity, 16, p. 1391 (2000).

[4] Reyes, F., Calvo, J., Cabrera, J.M., Mejía, I., Steel Research Int, 83, p. 344 (2012).

[5] Gigacher, G., Pierer, R., Wiener, J., Bernhard, B., Adv. Eng. Mater., 8, p.1096 (2006).

[6] L. Samek, S. Tollabimazraehno, E. Arenholz, K. Hingerl, Characterization of the microstructure of a high-strength manganese steel using different microscopy methods. Springer (2011).

[7] B.C. De Cooman, L. Chen, H.S. Soo Kim, Y. Estrin, S.K. Kim, H. Voswinckel, State-of-the-Science of High Manganese TWIP Steels for Automotive Applications. Springer (2010).

[8] S.K.Lin, Y.L.Lee, M.W.Lu, Evaluation of the staircase and the accelerated test methods for fatigue limit distributions, International Journal of Fatigue, 23, p. 75-83 (2001).

[9] D.Grove, F. Campean, A comparison of two methods of analyzing staircase fatigue test data, Vol. 24, p.485-497, Quality and Reliability Engineering International (2008).

[10] C.Bathias, J.P.Baïllon, La fatigue des matériaux et des structures, 2e édition revue et augmentée. Hermes, p.68-71 (1997).

[11] O. Grassel, L. Kruger, G. Frommeyer, L.W. Meyer, High Strength Fe-Mn (Al, Si) TRIP/TWIP Steels development-properties-application. Vol 16, N 10. Elsevier (2000).

Ponencia presentada en el XIII Congreso Tratermat de Barcelona (Abril 2013). Publicada con la autorización expresa de la Dirección del Congreso y los autores.

Fabricación de hornos a medida, la nueva tendencia del mercado

La actual situación económica está obligando a los fabricantes a buscar soluciones con el fin de optimizar los procesos productivos, para conseguir este objetivo resulta necesario fabricar máquinas especialmente adaptadas a las necesidades de cada cliente. HORNOS DEL VALLES, S.A. se está especializando en este tipo de trabajo sin dejar de lado los modelos de hornos que desde hace tiempo forman parte de su catálogo y que tantos éxitos les ha reportado.

El primer semestre del año ha sido de trabajo intenso con proyectos muy motivadores en el sector del tratamiento térmico y en especial en el mundo tan exigente como en el automovilístico. Ante las necesidades del cliente diseñan un horno a su medida para el tratamiento térmico de piezas estampadas en caliente. (fotografia 1)

El constante aumento de precios de los recursos energéticos ha incrementado la importancia de maximizar el ahorro en el consumo. Por las propias características del sector son hornos que habitualmente están en marcha 24 horas de forma continua y hace que el coste energético pase a ser la partida más significativa.

En el momento de diseñar un horno ponen especial énfasis en desarrollar una estructura robusta, con un grosor de aislamiento que garantice el mínimo de pérdida calorífica. En este caso se escogió un revestimiento interior del horno en fibra cerámica de alta densidad para asegurar un coeficiente de transmisión óptimo y al mismo tiempo conseguir la máxima velocidad para recuperar la temperatura durante los ciclos de trabajo.

Respecto al sistema de apertura de la puerta se planteaba un reto, pues una de las exigencias del tratamiento que debía realizar el cliente, exigía una apertura y cierre de la puerta a una velocidad rápida, teniendo en cuenta el tamaño y el tipo de estructura del horno. Se optó por la instalación de un motor de dos velocidades que permitía obtener la velocidad adecuada en todo momento y que garantizara la seguridad de los operarios.

El sector automovilístico es una industria muy exigente que trabaja a un ritmo muy intenso, por este motivo se le debe garantizar un servicio de mantenimiento rápido y eficaz. Uno de los puntos fuertes de HORNOS DEL VALLES, S.A. es que no trabajan con servicios de mantenimiento externos, operarios de plantilla con una gran experiencia atienden directamente todas los problemas que puedan surgir.

Algunas consideraciones sobre la oxidación interna superficial en las capas cementadas. Medidas para evitarla

Por Frank Badía, Director de Calidad de Tratamientos Térmicos Badía y Manuel Antonio Martínez Baena, Ingeniero Metalúrgico

Introducción

La oxidación interna superficial forma parte de los efectos secundarios indeseables de la cementación y carbonitruración + temple de piezas de acero de construcción en general. No obstante, en la práctica, hay casos en que dicha oxidación no representa un problema real de uso y aplicación en las piezas cementadas o carbonitruradas, ya que la capa superficial afectada es totalmente eliminada, por una u otra razón, a lo largo del proceso de acabado de la pieza en cuestión.

Una intervención previa, destinada a prevenir la oxidación interna superficial, es siempre positiva y hay que poner todos los medios conocidos a nuestro alcance para evitarla.

Con estas consideraciones pretendemos, de forma muy escueta, exponer algunas experiencias propias; y dar una pequeña visión de conjunto sobre los problemas de la oxidación superficial interna, así como ciertas medidas para minimizar y/o evitar al máximo la mencionada oxidación.

OXIDACIÓN INTERNA SUPERFICIAL

La oxidación interna superficial de las capas cementadas es un hecho bien conocido en la cementación de piezas de acero, cuando se tratan en atmósferas que contienen **CO-H_2O**, muy ricas en **CO**. Este fenómeno se produce cuando el oxígeno (**O**) se difunde en el acero y se combina con algunos de sus elementos de aleación muy afines con aquél, tales como el cromo (**Cr**), el manganeso (**Mn**), el silicio (**Si**), titanio (**Ti**), etc.; produciéndose una oxidación parcial en la zona más externa de la superficie de la capa cementada; **figura 1**.

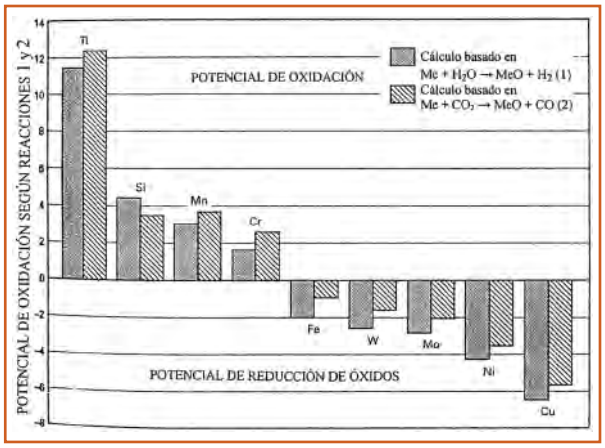


Figura 1. *Potencial de oxidación y de reducción de óxidos de los principales aleoelementos presentes en la composición de los aceros de cementación. Cementación en una atmósfera cementante rica en* ***CO*** *a una temperatura de 930 °C [según Kozlovki].*

La formación de óxidos en la superficie de la capa cementada es muy lenta, debido a la muy baja solubilidad del oxígeno (**O**) –*algunas* ppm– en el acero. La difusión del oxígeno es menor que la del carbono [2 a 3 *veces inferior*]; motivo por el cual la profundidad de oxidación es, también, mucho menor que la propia profundidad de la capa cementada, y por ello son muy frecuentes unas profundidades de oxidación máxima del orden de 10 a 30 micras (10 ÷ 30 µm); **figura 2**.

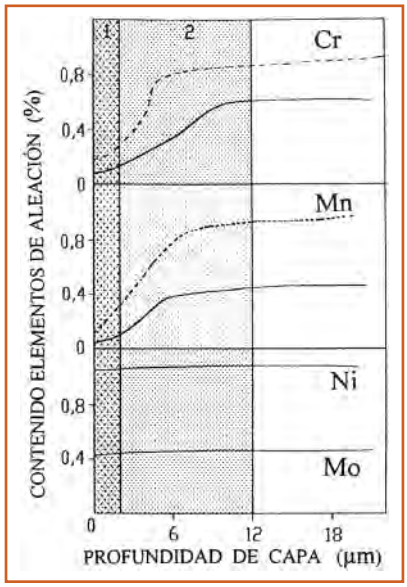


***Figura 2**. Distribución de los elementos de aleación en la solución sólida de la superficie cementada sometida a oxidación superficial interna y de las capas que se forman. Línea punteada = acero **Cr-Mn**. Línea continua = acero **Cr-Ni-Mo**.*
***1**. Capa muy fina de óxidos. **2**. Zona de oxidación interna.*

Es un hecho comprobado que no se puede producir una oxidación interna en el hierro puro, como tampoco ocurre en cualquier metal también puro. Las potenciales condiciones de su formación son las mismas que para la oxidación exterior, y ésta siempre precede a la oxidación interna.

La oxidación interna del carbono disuelto en el hierro es prácticamente imposible, ya que el monóxido de carbono (**CO**), presente en la atmósfera cementante, requiere para su absorción en la capa superficial del material de grandes intersticios que, normalmente, no existen ni pueden fácilmente formarse por la propia acción del monóxido de carbono (**CO**).

Por tanto sólo ciertos elementos de aleación, [**Cr**, **Mn**, **Si**, **Ti**, etc] presentes en la composición del acero correspondiente, pueden ser afectados por la oxidación superficial interna. Dichos elementos tienen una afinidad mucho más elevada con el oxígeno (**O**), más que con el hierro (**Fe**) y con el carbono (**C**) respectivamente. Por otra parte los mencionados aleoelementos, tienen que estar en concentraciones suficientes para evitar el efecto de dilución.

MORFOLOGÍA DE LOS ÓXIDOS DE LAS CAPAS SUPERFICIALES

Los óxidos que se producen en las capas afectadas durante los procesos de cementación o carburación son de dos tipos diferentes, ya que su morfología depende según la zonas a donde se ubican: (1) en la primera de ellas, la más superficial, sólo tiene una profundidad máxima de 5 µm, superficie que está formada de finos óxidos más o menos esferoidales distribuidos de forma irregular; (2) la segunda zona de mayor espesor (< 30 µm), más interna, está formada por óxidos laminares distribuidos a lo largo de los límites de grano; ver **figuras 2** y **3**.

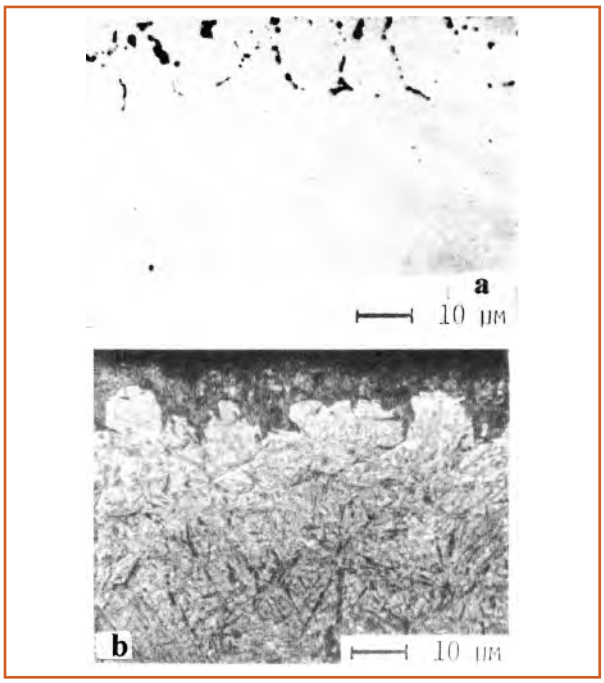


***Figura 3**. Redes de oxidación superficial interna. **Acero 20MnCr5**. Los óxidos aparecen más nítidos cuando la superficie pulida de la probeta no está atacada (**a**)... Cuando se ataca para revelar su estructura se produce un efecto de enmascaramiento de tales óxidos (**b**).*

Mediante una microsonda de energía dispersiva (**EDS**) se ha puesto de manifiesto que las partículas intergranulares, situadas en la zona más periférica de la superficie afectada, tienen un gran contenido en cromo (**Cr**). Mientras las que están en los límites de grano *–zona interior de la capa en cuestión–*, son óxidos de morfología fibrosa ricos en manganeso (**Mn**) y en silicio (**Si**). Dicha morfología es muy similar a las estructuras laminares perlíticas [ferrita + cementita]; lo cual pone de manifiesto que, la oxidación presente en los límites de grano, se ha originado por la transformación discontinua de los óxidos de silicio y de los óxidos de manganeso en la austenita en solución sólida.

PROFUNDIDAD DE LA OXIDACIÓN SUPERFICIAL

Al cementar las piezas de acero en atmósferas de **CO_2/CO** y **H_2O/H_2** y en la zona más superficial de la capa cementada tiene lugar la oxidación interna de

los elementos de aleación, antes citados, que poseen una gran afinidad con el oxígeno. Por supuesto mucho mayor que la del hierro y que la del carbono.

A consecuencia de la oxidación interna que se produce en dicha capa, se forman partículas dispersas de los elementos de aleación del acero correspondiente. La oxidación interna superficial, como antes se ha comentado, se debe a la difusión de los átomos de oxígeno en el hierro y a la difusión opuesta de los aleantes del acero.

Análisis termodinámicos han demostrado que durante los procesos de cementación con los tipos de atmósferas ya mencionados, ricos en **CO**, los elementos presentes en el acero: titanio (**Ti**), silicio (**Si**), manganeso (**Mn**) y cromo (**Cr**) interaccionan con el oxígeno y forman, en la zona más periférica de la capa afectada, óxidos dispersos. Otros elementos, por el contrario, y que pueden estar presentes también en el acero, tales como el volframio (**W**), níquel (**Ni**), y molibdeno (**Mo**) no se oxidan, y sus potenciales posibles óxidos se diluyen en la atmósfera carburante; ver **figura 1**.

Según sea el potencial de oxígeno de la atmósfera cementante y la composición del acero a tratar, la oxidación interna superficial puede ocurrir sin y con la formación, en la periferia de la pieza, de una muy fina película compuesta de óxidos complejos de tipo espinela [óxido de hierro y cromo]. La débil difusión del oxígeno en el acero motiva que la formación de los óxidos sea más lenta que la propia difusión del carbono en el acero. Es frecuente observar profundidades de oxidación comprendidas entre las 10 y 20 µm en piezas cementadas con un espesor de capa de 1 mm.

Normalmente la zona de oxidación interna de la capa cementada está constituida por: (1) una fina película –3 ÷ 5 µm– formada principalmente por óxidos compuestos de hierro y cromo [$\mathbf{FeO.Cr_2O_3}$], distribuidos de forma intergranular y más o menos globulares; y (2) la propia zona de oxidación interna, de un máximo de 30 µm de espesor, donde destacan inclusiones de óxidos compuestos de hierro y manganeso [$\mathbf{FeO.Mn_2O_3}$], laminares y fibrosos, distribuidos a lo largo de los límites de grano, y en las áreas cercanas a ellos.

La formación de óxidos, en la superficie del material, hace que la austenita en solución sólida se empobrezca de los aleoelementos [**Cr**, **Mn**, etc.], con lo que disminuye su estabilidad y, por tanto, contribuyen también a la descomposición de dicha austenita durante el temple; así como al desarrollo y formación de constituyentes intermedios [sorbita, troostita]. Ocasionando al mismo tiempo una muy sensible bajada de la dureza superficial de la capa afecta; **figura 4**.

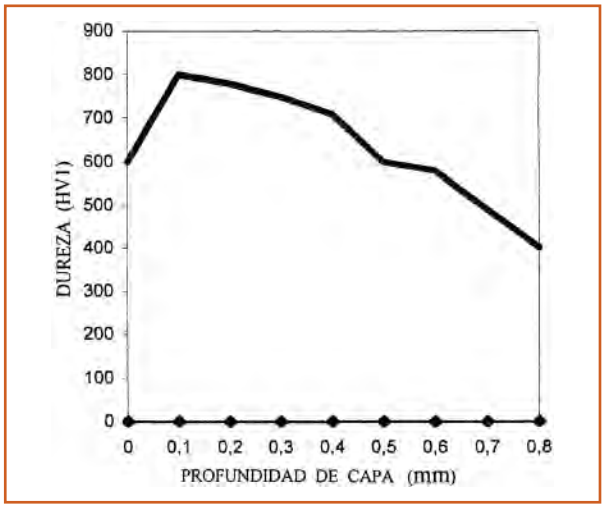


***Figura 4**. Perfil de dureza de la capa cementada. Al inicio se observa una sensible bajada de la dureza debido a la oxidación superficial interna.*

Después del tratamiento final de temple, en la zona de oxidación superficial interna de la capa cementada, se forman redes de troostítica-perlítica muy características. Tal oxidación se pone de manifiesto midiendo la profundidad alcanzada de las redes de troostítico-perlíticas, después de ser atacada ligeramente la probeta con Nital al 4%: solución alcohólica de ácido nítrico; **figura 5**.

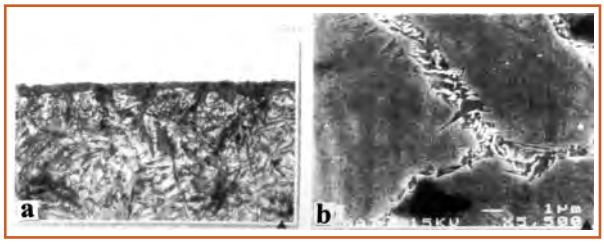


***Figura 5**. Capa superficial de óxidos y de troostita sobre una estructura de martensita + cementita, de una pieza cementada y templada (**a**)... Resolución en **MEB** de una red de troostita-perlita fina. **Acero 27MnCr5**: misma pieza (**b**).*

ESTRUCTURAS CARACTERÍSTICAS DE LAS CAPAS CON OXIDACIÓN INTERNA SUPERFICIAL

En los procesos de cementación, o de carbonitruración, cuando la oxidación interna superficial es importante y, además, está presente en aceros de baja

templabilidad, se altera por completo la estructura de la capa afectada.

Cuando los aleoelementos del acero [**Cr**, **Mn**, **Si**, etc.] se combinan con el oxígeno, aquéllos prácticamente desaparecen de la solución sólida austenítica. Y a consecuencia de ello baja la templabilidad de la capa afectada, ya que se forman en algunas zonas de la misma, –*tras el temple previo*– constituyentes no martensíticos: bainita, troostita, perlita, etc.

La formación de estructuras no martensíticas en las piezas, es muy perjudicial para la superficie en cuestión, por varias razones: (1) disminuye la dureza y la resistencia de la capa cementada, al no conseguirse en el temple estructuras enteramente martensíticas; y (2) por otra parte, las tensiones residuales originadas en la superficie pueden alterar la resistencia a la compresión de la capa cementada y templada.

Las tensiones se originan durante la transformación de la austenita, en la fase temple, apareciendo entonces los constituyentes intermedios, –*bainita*, *troostita* y *perlita*– ya que la descomposición de la austenita, en los referidos constituyentes, se producen a temperaturas más elevadas que la de la transformación martensítica. De hecho, en la mayoría de veces, cuando las partículas de óxidos superficiales disueltos en la austenita ya están transformadas, las zonas en contacto ricas en carbono todavía están en fase austenítica. Cuando la austenita rica en carbono se transforma en martensita, con el consiguiente aumento de volumen, comprime a la zona superficial compuesta por los constituyentes intermedios ya transformados, generándose así las mencionadas tensiones superficiales.

En ensayos de fatiga por torsión de piezas cementadas y templadas, normalmente con destino a la industria del automóvil, no es infrecuente observar fallos como consecuencia de la aparición de grietas de fatiga prematura, en piezas con una fuerte oxidación interna superficial originada durante el proceso de cementación.

ALGUNAS DE LAS MEDIDAS QUE SE UTILIZAN PARA MINIMIZAR LA OXIDACIÓN INTERNA SUPERFICIAL

Es un hecho evidente que la oxidación interna superficial se manifiesta en los procesos clásicos de cementación gaseosa. Es, además, un problema que no puede ser del todo eliminado a corto y a medio plazo, ya que por ahora no tiene una total solución.

No obstante hoy día existen varias medidas para reducir y minimizar, en parte, la oxidación interna superficial de las capas cementadas, algunas de ellas intentaremos exponerlas con más o menos acierto:

I. Adición de amoniaco en la última fase del ciclo de cementación

La posibilidad hasta ahora más simple y económica para evitar en el temple la formación de perlita o de troostita, en la capa superficial cementada, consiste en añadir amoníaco a la atmósfera carburante en los últimos 15 minutos finales del proceso de cementación en atmósfera convencional. Se puede efectuar muy bien durante la fase de difusión, y/o en su bajada hasta la temperatura de temple.

Se sabe que el nitrógeno eleva la estabilidad de la austenita y disminuye, por tanto, la velocidad crítica de temple del acero correspondiente; compensando de esa forma, y en cierta manera, la pérdida de templabilidad de los elementos más fácilmente oxidables en el proceso de cementación (**Mn**,**Cr**, etc.), que tienen una acción templante comparable a la del nitrógeno.

II. Utilización de aceros de cementación con aleoelementos no propensos a la oxidación interna superficial

Otra forma de minimizar la oxidación interna superficial está en la acertada elección de los aceros de cementación, intentando aumentar en su composición el número de elementos de aleación que le confiera una mayor templabilidad. Con ese mayor aumento de aleación en el acero ocurre que, aunque algunos de esos aleoelementos se combinen parcialmente con el oxígeno, la templabilidad no desciende lo suficiente para que se obtenga una insuficiente transformación del constituyente martensítico.

Los aceros aleados al **Ni-Mo-V** disminuyen al máximo las consecuencias nocivas de la oxidación interna superficial, ya que tales aleoelementos tienen una oposición manifiesta a dicha oxidación. Estos aceros, durante el temple en aceite, aseguran en la superficie de la pieza cementada una estructura enteramente martensítica.

Es normal aconsejar, para piezas que soporten considerables cargas, aceros aleados con un máximo de 0,60% de **Cr**; 0,50% de **Mo**; 1% de **Ni**; y 0,20 de **V**.

III. Importancia del contenido en CO de la atmósfera carburante

Además de los factores antes enumerados, hay otros factores que también influyen en la profundidad e intensidad de la oxidación interna superficial; **p.ej.**: el punto de rocío de la atmósfera carburante durante el calentamiento de la carga del material a cementar, el tiempo y la temperatura de cementación, y algunos otros requisitos.

Pero, sobre todo, hay un factor importantísimo que tiene una influencia decisiva en la formación de la oxidación interna superficial, tal es la cantidad o volumen de **monóxido de carbono** (**CO**) presente en la atmósfera cementante.

Es un hecho constatado y fundamental, para que se den unas normales condiciones de cementación, el **CO** tiene que estar siempre presente en la atmósfera del horno. Es cierto también, que la oxidación interna superficial se incrementa con mayor intensidad, cuanto más alto sea el contenido de **CO** en la atmósfera carburante.

Según el Dr. B.Edenhofer y colaboradores, los resultados que se han obtenido con un acero de cementación típico, el acero **16MnCr5** [0,16% de **C**; 0,30% de **Si**; 1,1% de **Mn**; y 0,85% de **Cr**], después de ser cementado en una atmósfera de nitrógeno-metanol, durante 4 horas a una temperatura de 950 °C con un potencial de carbono de 1,15% (**Cp** = 1,15%); han demostrado, que cuando se ha duplicado el contenido de **CO** de la atmósfera del horno [de un 20% se ha pasado a un 40% en volumen], el espesor de la oxidación interna superficial también se ha duplicado: de 15 a pasado a 30 µm. La **figura 6** muestra las micrografías de 2 probetas cementadas en dichas atmósferas con los distintos contenidos en **CO**.

La razón del incremento de la profundidad de oxidación interna superficial, con el aumento del contenido de **CO** de la atmósfera cementante, es evidente. De acuerdo con la ecuación, en la que el carbono transferido está caracterizado por la reacción del **CO**:

$$\mathbf{CO} \rightarrow \mathbf{CO}\ \text{ad} \rightarrow \mathbf{(C)} + \mathbf{O}\ \text{ad}$$

El **CO** absorbido se divide en un átomo de carbono absorbido y un átomo de oxígeno, también, absorbido; y ambos átomos difunden en la superficie del acero produciendo: (1) el átomo de carbono = capa cementada, y (2) átomo de oxígeno = oxidación parcial en el interior de la capa cementada. El incremento del contenido de **CO** significa una mayor absorción de **CO** y por consiguiente una mayor oxidación en la superficie interna.

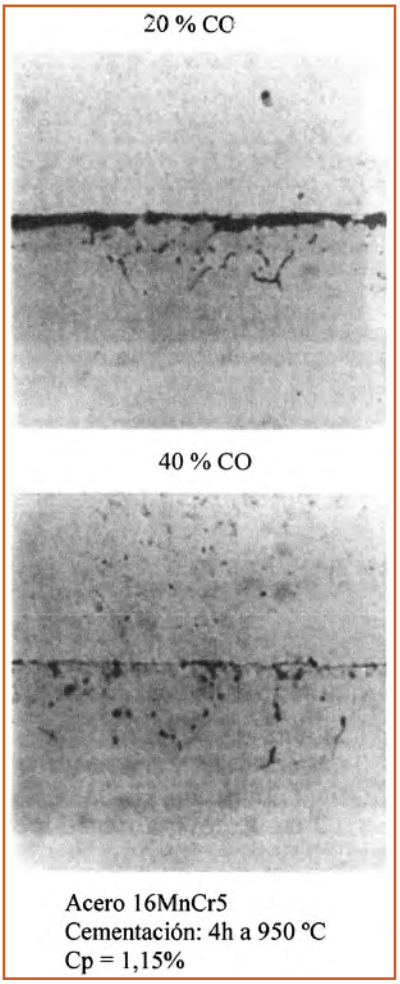


***Figura 6**. Profundidad e importancia de la oxidación interna superficial según el contenido (%) de **CO** en la atmósfera cementante.*

La conclusión que se puede sacar de estas apreciaciones es que, cuanto menor sea el contenido de **CO** en la atmósfera carburante, habrá menor cantidad de oxidación interna superficial en las piezas así cementadas.

Por tanto, en la utilización de atmósferas carburantes en horno atmosférico convencional [atmósferas de $\mathbf{CO/CO_2}$ y $\mathbf{H_2O/H_2}$], será conveniente reducir al máximo el contenido de **CO.**

En la mayoría de los casos, aplicando los métodos actuales para la determinación y medida de los gases de la atmósfera carburante, sería suficiente corregir al mínimo posible el contenido de carbono de la capa superficial cementada. Eventuales soluciones de este tipo podrían frenar el avance de la oxidación interna superficial de las piezas así ce-

mentadas; reduciéndola a un mínimo, prácticamente, despreciable.

Contrariamente a lo que se esperaba, con la aplicación de nuevas tecnologías han surgido otros problemas *–de cierta gravedad–* distintos a la oxidación interna superficial, que tienen una relación muy directa con la puesta en marcha de las nuevas tecnologías. Nos referimos a la **cementación al vacío a baja presión** y los problemas que conlleva; por lo cual creemos se deben hacer ciertas puntualizaciones:

A. Sublimación de los elementos manganeso (Mn) y cromo (Cr)

Existe una sublimación selectiva de ciertos aleoelementos del acero que se cementa al vacío y baja presión, cuya tensión de vapor a alta temperatura alcanza el nivel del vacío realizado en el horno cementante. Esto es particularmente acusado en los aceros de cementación aleados con cromo (**Cr**) y con alto manganeso (**Mn**), ya que puede existir la pérdida de la mayor parte del cromo y del manganeso de la superficie de las piezas a cementar, durante su calentamiento entre los 850 y 950 °C bajo un vacío de 10^{-4} bar.

La sublimación parcial del manganeso y/o del cromo, durante el proceso de cementación en vacío a baja presión, origina ciertas irregularidades superficies en la capa cementada. Este fenómeno tendría un efecto comparable al de la misma oxidación interna superficial, ya que dichos aleoelementos desaparecen de la solución sólida austenítica de la capa cementada, obteniéndose sólo entonces *–después del temple–*, constituyentes estructurales intermedios [perlita/troostita]. Con lo que hay una sustancial disminución de las características superficiales, muy por debajo de las exigidas a toda pieza en servicio: pieza cementada y templada.

B. Formación masiva de carburos en los límites de grano

La cementación en vacío a baja presión acelera la carburación, debido fundamentalmente a su más alta temperatura y a la presión a la que se efectúa el proceso. La presencia a veces de un excesivo contenido de carbono y una mayor profundidad de la capa cementada, origina una sobrecarburación en las aristas vivas en las piezas correspondientes. Fenómeno éste formado por grandes masas de carburos que precipitan en los límites de grano; **figura 7**.

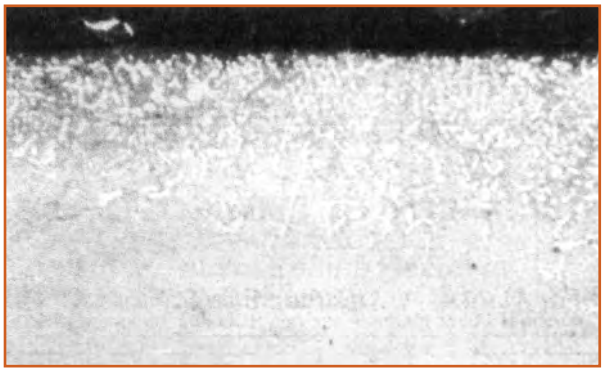


***Figura 7**. Capa cementada. Redes intergranulares de carburos en grandes masas, origen de sobrecarburación en un proceso de cementación al vacío a baja presión.*

Todo esto provoca, generalmente, una alta fragilidad de la capa cementada y templada que puede ser, en algunas ocasiones, causa prematura de rotura en servicio de las piezas en cuestión. Existen, pues, fundados riesgos de fisuración y de desconchado en servicio de la capa endurecida; al mismo tiempo que no hay posibilidad alguna de mejora en la resistencia al desgaste de la misma.

A pesar de todo lo hasta ahora expuesto, los más recientes progresos realizados en las técnicas de cementación al vacío y a baja presión nos ofrecen unas buenas perspectivas que nos aseguran una ausencia total de la oxidación interna de la capa cementada y la posible solución del resto de los problemas antes enumerados.

PERSPECTIVAS ACTUALES. Nuevas tecnologías de cementación

Desde hace aproximadamente tres décadas se han ido desarrollando nuevas técnicas de cementación: (1) cementación por plasma al vacío; y (2) cementación a baja presión al vacío. En dichos procesos de cementación se utilizan atmósferas de gases carburantes, donde no hay presencia alguna de la acción del oxígeno; por lo que difícilmente las piezas y componentes tratados en tales instalaciones pueden ocasionar oxidación interna superficial en la capa cementada.

La **cementación a baja presión** nace a principios de los años 80. El tratamiento se realiza en hornos de vacío y a una temperatura ligeramente superior que las normales utilizadas en la cementación convencional en horno atmosférico, pero con presiones muy bajas que están comprendidas entre **1** y **10 mbar**. Como cementante se empleaba, en un principio, el gas propano (**C_3H_8**) que permite transferir una cantidad significativa de carbono (**C**) por unidad de tiempo.

En el proceso de cementación al vacío a baja presión con propano (**C_3H_8**), se han obtenido importantes ventajas frente a la cementación en horno atmosférico convencional [atmósferas de **CO/CO_2** y **H_2O/H_2**]: (1) ausencia total de oxidación interna de la capa cementada; (2) unos resultados más reproducibles y más regulares; (3) reducción sustancial del tiemplo total de cementación, para una igual profundidad de capa cementada; y (4) menor consumo de energía y de gas cementante.

Pero hay también, como antes se ha mencionado, ciertos y graves inconvenientes: (1) sobrecarburación en las aristas vivas de las piezas cementadas, por la formación de mayor número de carburos. Esto es debido principalmente a las grandes dificultades que existen para el logro de un perfecto equilibrio termodinámico durante la carburación; y a la imposibilidad, por tanto, de controlar con exactitud el potencial de carbono (**Cp**) a lo largo del ciclo completo de cementación; (2) formación de depósitos carbonosos –*hollín* y *alquitrán*– en las piezas que se cementan.

Por las graves complicaciones aparecidas y ocasionadas, la aplicación industrial del proceso de cementación al vacío y a baja presión con gas propano (**C_3H_8**) ha sido muy limitada, ya que se ha confirmado que dicho carburante no es el más apropiado para esta forma de cementación.

A partir de los años 90, amplios y costosos estudios sobre la cementación a baja presión confirmaron que el gas propano (**C_3H_8**) es, en su mayoría, el responsable de todos los males e inconvenientes que ocasiona la cementación a baja presión, cuando se utiliza dicho hidrocarburo como gas carburante. Estos inconvenientes se minimizaron –*en gran medida*– con la aplicación industrial del **acetileno** (**C_2H_2**)**.** Su capacidad de transferencia de carbono es mucho mayor frente a la del gas propano y del resto de hidrocarburos utilizados en cementación; –**figura 8**– además de no necesitar requisito especial alguno para controlar correctamente todo el proceso de cementación.

Cementaciones con gas acetileno (**C_2H_2**) alcanzan perfiles de carbono bien definidos, al mismo tiempo que se obtienen piezas muy limpias: sin sobrecarburación, ni tampoco depósitos carbonosos. Todo esto en tiempos de cementación más cortos, con profundidades de capa mayores; **figuras 9** y **10**.

En estas dos últimas décadas el aumento en el empleo de la cementación al vacío a baja presión, aprovechando el gas acetileno (**C_2H_2**) como gas carburante, ha sido espectacular. La mayoría de las más importantes empresas que fabrican piezas y componentes, especialmente de automoción: toberas de bombas de inyección, ejes de dirección, engranajes de cajas de cambio, sistemas de dirección, suspensión etc.; utilizan esta forma de cementación al vacío a baja presión, con acetileno (**C_2H_2**) como gas cementante.

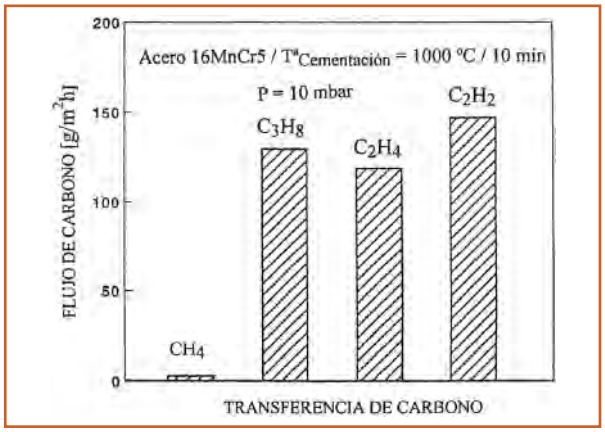


***Figura 8**. Valores de la transferencia y flujo de carbono según el tipo de hidrocarburo cementante.* ***Acero 16MnCr5**: cementación al vacío a baja presión a 1.000 °C durante 10 minuros.*

Técnica capaz de cementar [**p.ej.**: la superficie interna de las toberas de inyección] con una uniformidad sorprendente –*diferencia máxima de profundidad en la capa cementada* = 0,10 mm– con una ausencia total de oxidación interna y una muy buena regularidad de la capa cementada; **figuras 11** y **12**. Las grandes presiones de inyección de hasta 2.000 bar, e incluso más, nece-

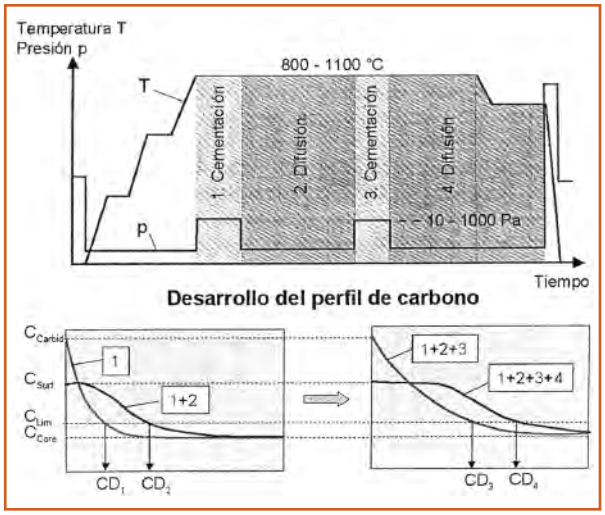


***Figura 9**. Cementación al vacío a baja presión en acetileno (**C_2H_2**). Diagrama de secuencia temperatura-tiempo-presión.*

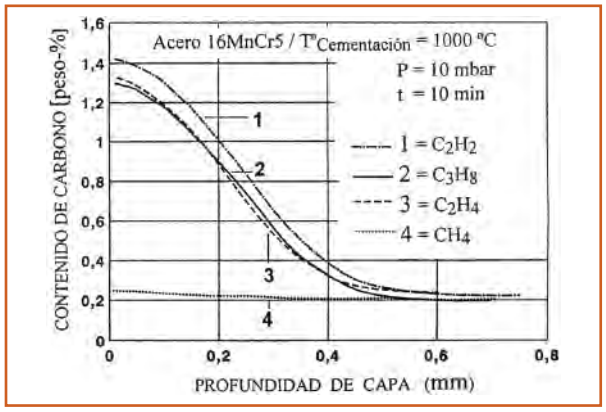


***Figura 10**. Perfiles de profundidad de capa y contenido (%) de carbono según el tipo de hidrocarburo utilizado en la cementación al vacío a baja presión.*

sarias para la mejora de la combustión de aceites pesados, requieren de todos los componentes del sistema de inyección una muy alta resistencia a la fatiga.

Resumiendo: últimamente la utilización del gas acetileno (**C_2H_2**) para la cementación al vacío a baja presión ha reemplazado, en la mayoría de las importantes instalaciones de tratamiento térmico de nuestro país, a las instalaciones de cementación en horno atmosférico convencionales y también a las de vacío a baja presión con propano (**C_3H_8**). La cementación al vacío a baja presión con gas acetileno comparte con la de propano la ventaja de producir capas cementadas con ***oxidación interna = cero***. No obstante la cementación al vacío a baja presión y de gas acetileno (**C_2H_2**), como medio cementante, tiene la ventaja añadida de un indiscutible porcentaje más alto de transferencia de carbono, produciendo al mismo tiempo una profundidad de capa uniforme y fiable, en tiempos también más cortos.

La potencia singular de difusión y penetración del gas acetileno (**C_2H_2**), como antes se ha comentado, permite cementar cargas de piezas de una densidad mayor y donde los componentes de muy reducidas dimensiones; con cavidades, agujeros ciegos, –**figura 13**– entallas finas y profundas, etc, presentan capas endurecidas mucho más uniformes y homogéneas que las conseguidas con los otros gases hidrocarburantes.

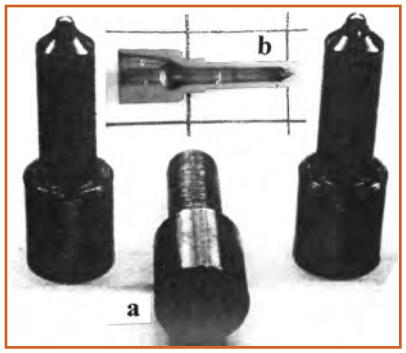


***Figura 11**. Toberas de inyección (**a**)… Corte longitudinal de la pieza y profundidad de capa cementada (**b**)… **Acero 16MnCr5** cementado a 900 °C y templado en gas nitrógeno a alta presión: 10 bar.*

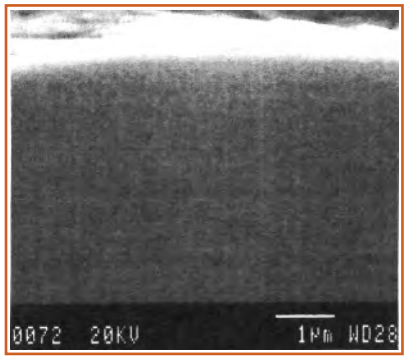


***Figura 12**. Micrografía de capa cementada al vacío a baja presión en gas acetileno (**C_2H_2**). Capa exenta de oxidación interna, homogénea y continua.*

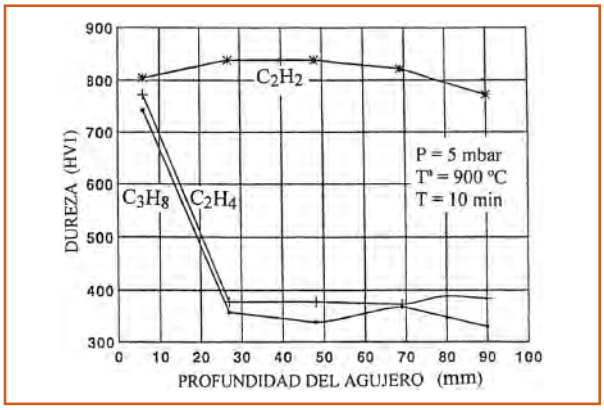


***Figura 13**. Diferencias en la profundidad de capa y de dureza a lo largo de un redondo con agujero ciego de ø 3 mm x 90 mm de longitud, según el hidrocarburo utilizado en la cementación al vacío a baja presión de dicho agujero.*

BIBLIOGRAFÍA

KOZLOVKI. Metallovdenie i Thermidreskaya. *Obrabotka Metallov*, nº 3, páginas 2-7, Marzo 1967.

Yu. LAJTIN. B. ARZAMASOV. *Tratamiento Químico Térmico de los metales*, páginas 104-107. Moscú 1987.

R.CHATTERJEE-FISCHER. Internal Oxidation during Carburizing and Heat Treating. *Metallurgical Transactions*, páginas 1553-1560. Vol. 9A, año 1978.

B.EDENHOFER, P.CAZENAVE. Technology, Advantages and Applications of Direct-feed Atmospheres for Carburizing. *Heat Treatment of Metals*. Páginas 55-59, año 1995.

R.HOFFMANN, W:VOGEL. Oxydation marginale. Origines, étendue et effets. **Traitement Thermique –CEMENTATION-TREMPE**– Nº 309 páginas 13-19, año 1998.

B. EDENHOFER, F. BLESS, W. GRÄFEN, M. GARAGORRI [IPSEN]. Cementación a baja presión con acetileno, en nuevas células de cementación nodulares con sistemas de temple flexibles – TRATAMIENTOS TÉRMICOS Nº 81 páginas 36-41, año 2003.

CORED WIRE SALES AGENT WANTED

For the Spanish Foundry Market.
Do you hit the nail when it comes to sales?
If so, we would like to hear from you!

ODERMATH
STAHLWERKSTECHNIK GMBH

P.O. Box 10 05 56 • D-40769 Monheim am Rhein
Tel: +49 2173 595 221 • www.odermath.de • info@odermath.de

Directivo con más de 15 años de experiencia en área industrial (producción, ingeniería e I+D+i), tanto en fundiciones de acero como fundición gris y nodular, se ofrece para:

- Proyectos como freelancer.
- Interim management.
- Posiciones vacantes en área industrial, también Europa.

Contactar con pedeca@pedeca.es / Ref. 6

EMPLEO

Empresa introducida en el sector de fundición no férrica.

Busca representante
en el Pais Vasco, Navarra, Asturias y Galicia.

Se valorarán sus conocimientos y relaciones comerciales.

Interesados dirigirse directamente a pedeca@pedeca.es - REF.: 8

SILVIA BACCO

TRADUCCIONES: SECTOR FUNDICIÓN

INGLÉS-FRANCÉS-ESPAÑOL

- Normas y manuales técnicos
- Artículos y patentes
- Folletos publicitarios y newsletters
- Sitios web y videos institucionales

info@centrodeidiomas.com.ar
www.centrodeidiomas.com.ar
skype: silviabacco

SE VENDEN

3 HORNOS DE TEMPLE Y REVENIDO, Y 2 HORNOS DE REVENIDO MARCA BERCO-RIPOCHE, TIPO NVR 220 Y NVR 160, DIMENSIONES DE CARGA 1.400 X 1.400.

INTERESADOS CONTACTAR EN EL TLNO. 976 454136 ó MAIL JRRAMIREZ@ALUMALSA.COM PREGUNTAR POR SR. JOSÉ RAMÓN RAMÍREZ

JEFE DE ACERÍA

Se necesita para integrarse a empresa siderometalúrgica ubicada en Guayaquil, Ecuador.
El cargo implica la supervisión integral de la división acería compuesta de 2 hornos de inducción y máquina de colada continua horizontal para la producción de palanquillas de acero.
El candidato debe tener experiencia comprobada en operaciones similares, dotes de liderazgo, formación y conducción de equipos de trabajo, y sólidos conocimientos de planificación y control de producción.
Se ofrece remuneración y beneficios acordes con la responsabilidad.

Interesados enviar antecedentes (C.V.) a jefeaceria@talme.net

Ref. 9

COMPRO

Máquinas y materiales de fundición a las ceras o Zamak.

Toda España

Tels.: 629 373 422 - 914 603 040
E-mail: ansape0756@yahoo.es

Ingeniero Industrial

con más de 12 años de experiencia técnico-comercial y de gestión de proyectos en construcción, industria y aprovisionamiento a fundiciones.
Se ofrece para puestos de Sales Manager, KAM o similar a nivel nacional con disponibilidad internacional.

Contactar con pedeca@pedeca.es / Ref. 7

Especialistas en Tecnologías del Vacío

- Bombas y sistemas de vacío
- Detección de fugas
- Reparación y mantenimiento de cualquier marca, utilizando repuestos originales y con garantía de 1 año
- Servicio de alquiler

Oficina de Ventas y Servicio Técnico
Oficial en España
Oerlikon Leybold Vacuum Spain S.A.
T 93 666 43 11 • F 93 666 43 70
info.vacuum.ba@oerlikon.com
www.oerlikon.com/leyboldvacuum

oerlikon
leybold vacuum

HOT técnicas en Hornos HOT S.L.

- HORNOS PARA TRATAMIENTO TÉRMICO
- UTILLAJES, PARRILLAS, CESTAS
- PINTURAS PROTECTORAS
- HORNOS DE LABORATORIO
- DISEÑO, CONSTRUCCION Y ASESORAMIENTO
- SERVICIO TÉCNICO, REPUESTOS

AICHELIN Group
Lohmann Qualität in Edelstahl
Stop off paints LUISO®

TECNICAS EN HORNOS HOT S.L.
Polígono Ibaiondo
Pabellón nº 13
20120 Hernani - Spain
e-mail: hot@tecnicashot.com
TF : + 34 943 33 72 33
Fax : + 34 943 33 72 34
Mv. : + 34 609 20 00 90

SECO/WARWICK
Heat Processing Equipment

SECO/WARWICK EUROPE Sp. z o.o.
ul. Świerczewskiego 76
66-200 Świebodzin
tel.: 683819800
fax: 683819805
europe@secowarwick.com.pl
www.secowarwick.com

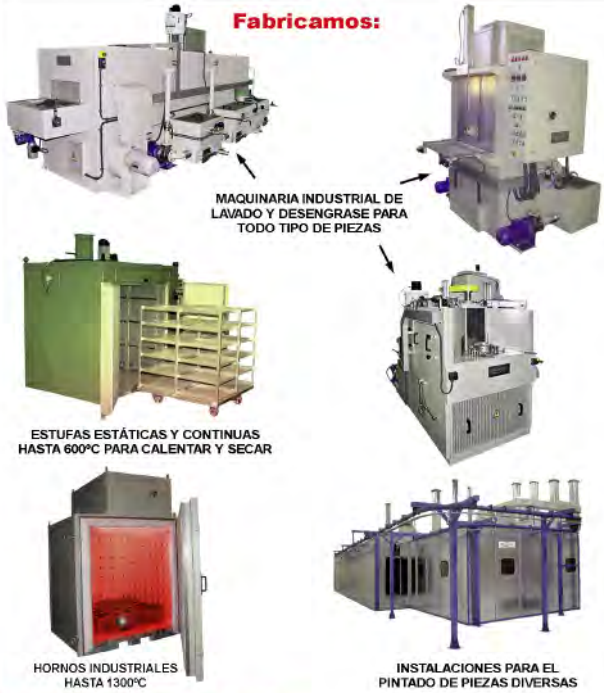
vacuum furnace ◦ atmosphere furnace ◦ aluminium process
vacuum metallurgy ◦ controlled atmosphere brazing
special furnaces ◦ spare parts ◦ repairs ◦ modernizations

innovation · performance · reliability

Pometon
Líder en fabricación y desarrollo de granallas y polvos metálicos

Pometon España, SAU
Dr. Bergós s/n
08291 Ripollet (Barcelona) • SPAIN
Tel.: (+34) 935 863 629
Fax: (+34) 936 917 234
info@pometon.net
www.pometon.net

Fabricamos:



·MÁQUINAS PARA TRATAR SUPERFICIES : - Lavar, - Desengrasar, - Fosfatar...
·HORNOS Y ESTUFAS PARA : - Templar, - Secar, - Fundir, - Cocinar ...
·INSTALACIONES DE PINTURA : - Lavado, - Fosfatado, - Pintado, - Secado...

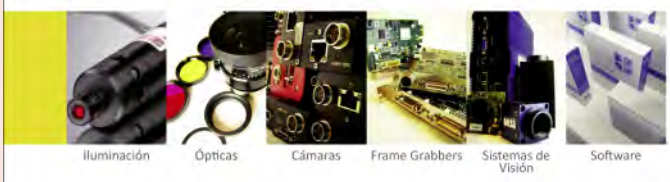
Bautermic
Tel: 933 711 558 - Fax: 933 711 408
www.bautermic.com
e-mail: comercial@bautermic.com

ACEMSA
Centro Metalográfico de Materiales

C/ Arboleda, 14 - Local 114
28031 MADRID
Tel. : 91 332 52 95
Fax : 91 332 81 46
e-mail : acemsa@gmx.es

Laboratorio de ensayo acreditado por ENAC

- *Laboratorio de ensayo de materiales : análisis químicos, ensayos mecánicos, metalográficos de materiales metálicos y sus uniones soldadas.*
- *Solución a problemas relacionados con fallos y roturas de piezas o componentes metálicos en producción o servicio : calidad de suministro, transformación, conformado, tratamientos térmico, termoquímico, galvánico, uniones soldadas etc.*
- *Puesta a punto de equipos automáticos de soldadura y robótica, y temple superficial por inducción de aceros.*
- *Cursos de fundición inyectada de aluminio y zamak con práctica real de trabajo en la empresa.*



INFAIMON
SU ASESOR EN VISIÓN ARTIFICIAL

| www.infaimon.com | infaimon@infaimon.com

Metall Technologie Holding

B.M.I. El especialista en hornos para tratamientos térmicos al vacío

- Temple gas y aceite
- Revenido y recocido
- Nitruración baja presión
- Nitruración iónica
- Cementación baja presión
- Soldadura brazing
- Sinterizado
- MIM

APLICACIONES TERMOTECNICAS, S.L - Apdo. 4052 - 48080 BILBAO – ESPANA
TEL : 94.426.25.22 FAX: 94.426.22.62
info@aplitec-tt.com ; www.aplitec-tt.com ; www.bmi-fours.com

APLITEC

DEGUISA

INGENIERÍA DE REFRACTARIOS Y COMBUSTIÓN

Compromiso y fiabilidad

www.deguisa.com

Emison

GRUPO EMISON

C/ Vallirana, 67 - 08006 Barcelona - Teléf.: 938 792 871
Internet: www.emison.com - e-mail: marc@emison.com

- Fabricantes de hornos desde 1957.
- Hornos para fundición.
- Hornos de mufla.
- Depuradoras de humos.
- Equipos especiales.
- Tratamiento térmico de metales.
- Hornos continuos con atmósfera controlada.
- Equipos de incineración.
- Hornos de temple.
- Hornos de soldadura.
- Hornos de revenido.
- Hornos de recocido.
- Hornos de pavonado.
- Hornos de sales.

Flexinox INDUSTRIAL

www.flexinox.com

ESPECIALISTAS EN LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS PARA TRATAMIENTO TÉRMICO Y RECAMBIOS EN ACEROS REFRACTARIOS

TUBOS RADIANTES
MUFLAS
RETORTAS
UTILLAJES
CESTAS Y CRISOLES
CADENAS

REPARACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE HORNOS
(OBRAS REFRECTARIAS)

Representante para España de **AUBE-LINDBERG**

FILINOX, S.A.
C/ Sant Adrià, 76
08030 Barcelona

Tel.: 93 223 26 62
Fax: 93 223 26 67
customer@inoxidables.com

PYRO® CONTROLE
CHAUVIN ARNOUX GROUP

SSi SUPER SYSTEMS INC.

TKK EREMA
TOKAI KONETSU KOGYO CO., LTD.

HITECH INSTRUMENTS LTD

WINNER TECHNOLOGY CO.,LTD.
주식회사 위너테크

- Sondas de oxígeno
- Analizadores de gases
- Pruebas de uniformidad de temp. AMS2750D, E y CQI9 r3
- Sondas de temperatura
- Videoregistradores
- Reguladores de temperatura
- Thyristores
- Resistencias CSi y MoSi2
- Automatización de hornos

ENTESIS
Galileu 313 baixos
08028 Barcelona
Telf: 934105454
Fax: 934199733
http://www.entesis.net
info@entesis.net

APLITEC

Utillaje tipo mecano, cestas, tubos radiantes
Fundición acero inoxidable refractario

CFC

CODELE SA

Utillaje forming

ECONOX SA

RD

APLICACIONES TERMOTECNICAS, S.L Apdo. 4052 - 48080 BILBAO - ESPANA
Tel: +34. 94.426.25.22 Fax:+34. 94.426.22.62 info@aplitec-tt.com www.aplitec-tt.com

tecno piro®

-temple -soldadura -recocido -sinterizado -revenido

HORNOS DEL VALLES, S.A.
Mancomunitat,3 08290 CERDANYOLA DEL VALLES
(Barcelona) T/ 93 692 66 12 Fax 93 580 08 27
hdv@tecnopiro.com tecnopiro.com

PROYCOTECME

HORNOS INDUSTRIALES PROYECTOS Y CONSTRUCCIÓN

Especialistas en Tratamiento Térmico

Pol. Ind. Can Castell
c/ Industria, 113 - Nave 1-K
08420 Canovelles (Barcelona) Spain

Teléf.: +34 938 467 984
Fax: +34 938 401 492
www.proycotecme.com

Interbil
Ingeniería Térmica Bilbao s.l.

P.I. Sangróniz, Iberre 1-M5
E-48150 SONDICA (Vizcaya)
Tel.: 94 453 50 78
Fax: 94 453 51 45
bilbao@interbil.es

Ingeniería y Productos para Hornos y Procesos Térmicos

- Ingeniería de Hornos.
- Suministro y fabricación de resistencias.
- Quemadores recuperativos y regenerativos.
- Reguladores de potencia.
- Sistemas de control de procesos.
- Control de atmósferas.

www.interbil.es

ARROLA®
SERVICIO INTEGRAL
PARA INSTALACIONES
DE TRATAMIENTO TERMICO

HORNOS INDUSTRIALES

DISEÑO Y FABRICACION DE INSTALACIONES - ASISTENCIA TECNICA
METROLOGIA Y CALIBRACION - CONTROL DE ATMOSFERA
SISTEMAS INFORMATICOS PARA CONTROL Y REGISTRO DE DATOS

POLIGONO INDUSTRIAL ARGIXAO, PAB. 60
E 20700 ZUMARRAGA (GIPUZKOA) SPAIN
TEL. (+34) 943 72 52 71 FAX. (+34) 943 72 56 34
info@arrola.es www.arrola.es

Wheelabrator

Su Proveedor de soluciones en Tratamiento de Superficies

Maquinaria y consumibles para granallado, chorreado, shotpeening y acabado por vibración.

Gran Vía de les Corts Catalanes 133, At.B, 08014, BARCELONA
Tel. +34 934211266 Fax. +34 934223137

wheelabrator
shaping industry

www.wheelabratorgroup.com • contact@wheelabratorgroup.es
Norican Group es la empresa matriz de DISA y Wheelabrator

S. A. METALOGRAFICA
TRATAMIENTOS TÉRMICOS
DESDE 1949

NUESTROS SERVICIOS	CAPACIDADES MÁXIMAS
• TT VACIO DE: MOLDES, MATRICES Y HERRAMIENTAS • CEMENTACIÓN Y CARBONITRURACIÓN • NITRURACIÓN • NITROVAC-S®:NITROCARBURACIÓN ANTIOXIDANTE • TENIFER: NITRURACIÓN ANTIDESGASTE • TT ACERO RÁPIDO • HIPERTEMPLE • BONIFICADO, RECOCIDO Y NORMALIZADO • OXY-VAPOR®: TT ANTIGRIPANTE • NOXYT®: PAVONADO DURO • ANÁLISIS DE MATERIALES • ASESORAMIENTO METALÚRGICO • CARBOVAC®: CEMENTACIÓN VACIO • IONIT OX®: NITROCARBURACIÓN POR PLASMA	• TEMPLE EN VACÍO: ø 1500 x 2000 mm (Moldes hasta 2500 Kg) • NITRURACIÓN Y • NITROCARBURACIÓN: ø 1000 x 1500 mm • CEMENTACIÓN • CARBONITRURACIÓN • BONIFICADOS: 1600 x 1600 x 700 mm (Piezas hasta 2000 Kg)

Polig. Ind. POLIZUR - Naves 4, 5 y 6
08290 CERDANYOLA (Barcelona)
www.metalografica.com
metalografica@metalografica.com

Nanoindentación
Medición de espesor de recubrimientos
Análisis de materiales
Inducción magnética
Corrientes de Foucault
Fluorescencia de rayos X
Coulombimetría

FISCHER INSTRUMENTS, S.A.
Almogàvers, 157 3ª, 08018 BARCELONA
Tfno: 93 309 79 16 Fax: 93 485 05 94
www.helmut-fischer.com
fischer

Espesor de recubrimientos · Análisis de materiales · Microdureza · Ensayo de materiales

Safe Cronite
L'esprit industriel

Diseño y fabricación de piezas fundidas en aleación de cromo / níquel

SAFE Cronite - Ilárraza, 14 - 01192 ILARRAZA (ALAVA)
Tfno.: 609 419 325 - Fax: +33 243 212 463
E-mail: maricarmen.garcia@safe-cronite.com - www.safe-cronite.com

NAKAL®
heat treatment equipment

Furnaces for Gas Nitriding

Best technology
Best result

JSC Nakal - Industrial furnaces
Moscow region, Russia
Tel./Fax. +7 (495) 988-40-47, 988-40-48
nakal@nakal.ru www.nakal.ru

- Gran disponibilidad de modelos.
- Alta variedad de calidades.
- Piezas a medida según plano.
- Tubos radiantes.
- Rodillos.
- Parrillas.
- Cestones/cadenas.
- Muflas/Potes de recocido.
- Recuperadores.

SCHMOLZ + BICKENBACH GUSS GmbH & Co. KG

REPRESENTANTE PARA ESPAÑA Y PORTUGAL
Tecnymat Aceros, S.L.
Polígono Industrial Ugaldeguren 3 - Parcela 17-2, Nave 1
48170 Zamudio (Vizcaya)
Teléf.: 944 710 035 - Fax: 944 710 227
tecnymat@telefonica.net

Hornos industriales para el tratamiento térmico

SOLO Switzerland

www.soloswiss.es

SOLO Swiss
CP 7127 - 2500 Bienne 7 - Suiza

mail@soloswiss.com
Tel. : +34 656 878 067

COMERCIAL SATEC
SOCIEDAD LIMITADA

COMERCIAL SATEC, S.L.
PA.E. ASUARAN Edificio Enekuri, nave 9
48950 ERANDIO (Bizkaia)
Tel:++34 944711663 - Fax:++34 944711741
info@comercial-satec.com - www.comercial-satec.com

Hornos Tratamiento Térmico de CIEFFE
Cámara, contínuos, de cinta, rodillo, solera móvil, empuje, vacío, fosa y campana, nitruración, lavadoras, generadores endogas, hornos especiales, líneas automáticas, para cementación, LPC, temple, revenido, nitruración, LPN, recocido, sinterizado, brazing, forja, aluminio, ...

Pinturas protectoras de NÜSSLE
Pinturas protectoras para cementación nitruración y oxidación CONDURSAL y CONDURON.

Aceites, Polímeros de BURGDORF y OSMIROL
Aceites y polímeros de temple de alto rendimiento. Antioxidantes, desengrasantes.

Repuestos y servicio para tratamiento térmico de HSH Härterei GmbH
Reparaciones, retrofits, muflas, sondas, cadenas, ventiladores, termopares, utillajes.

HÄRTETECHNIK BURGDORF OSMIROL NÜSSLE · CIEFFE · HSH HÄRTEREITECHNIK

Hornos industriales y estufas

Borel Swiss
Rouges-Terres 61 - 2068 Hauterive - Suiza

www.borel-hornos.com
email : mail@borel.eu
tel. : +34 656 878 067

Borel Special Furnaces Switzerland

testo 350

Instrumentos de medición portátiles, fabricados conforme el estándar ISO 9001, para los siguientes parámetros.

- Temperatura
- Humedad
- Velocidad
- Presión
- Calidad del aceite culinario
- **Productos de la combustión**
- Calidad del aire
- pH
- Luz/Sonido
- rpm

Instrumentos Testo, S.A.
Tel: 93 753 95 20
www.testo.es

We measure it. testo

Termopares especiales · calibraciones ENAC · automalización de procesos · Reguladores · Video-Registradores · pirometro infrarrojo · calibración hornos de vacio · experiencia · desde -200 a 2400ºC · Termopares · Suministro y Calibracion Industrial s.l. · sondas pt-100 · servicio técnico · instrumentación · calibración insitu · calibración TUS · cámara termografica · todo en temperatura · Indicadores · consultoria AMS-2750-D · calibración SAT · expertos en normativa aeronáutica

SCI www.sciempresa.com

Ribera de Axpe,11,d2,L203,48950 Erandio tel.944765276 sci@sciempresa.com

insertec
Hornos y Refractarios
Ingeniería y Servicios Técnicos, S.A.
Avda. Cervantes, 6 - 48970 Basauri, Vizcaya
Tel.: 944 409 420 • Fax: 944 496 624
e-mail: insertec@insertec.biz • www.insertec.biz

HEA
SINCE 1945
HORNOS INDUSTRIALES
www.alferieff • hea@hornoshea.com
Tel: 916396911 • MADRID

SPECTRO
Driven to Discover

Espectrómetros para analizar metales

Espectrometria de arco/chispa para analizar la composición química porcentual (%) de materiales metálicos

Tel. 94 471 04 01 – Fax 94 471 17 41 – comercial@spectro.es

SPECTRO Hispania, S.L.
P.A.E. Asuarán, Edificio Enekuri –Nave 9
48950 ERANDIO (Asua) – Vizcaya

www.spectro.com

INDICE de ANUNCIANTES

ACEMSA 44
APLITEC 45
ARROLA 7
B.M.I. 45
BAUTERMIC 44
BOREL SWISS 47
COMERCIAL SATEC 47
DEGUISA 45
EMISON 45
ENTESIS 45
FISCHER INSTRUMENTS 46
FLEXINOX 45
HEA 5
HORNOS DEL VALLÉS 21
HOT AICHELIN 44
INFAIMON 44
INSERTEC . . . . . PORTADA
INSTRUMENTOS TESTO 47
INTERBIL . . . . . Contraportada 4
JORNADAS ASAMMET 23
JORNADAS TECNALIA 9
LIBROS TRATAMIENTOS TÉRMICOS . 27
METALMADRID 11
MOLD DAY 26
NAKAL 46
OERLIKON LEYBOLD VACUUM . . . 44
ONDARLAN 25
POMETON 44
PROYCOTECME 45
REVISTAS TÉCNICAS . . . . . Contraportada 3
S.A. METALOGRÁFICA 46
SAFE CRONITE 13
SECO WARWICK 3
SOLO SWISS 47
SPECTRO 47
SUMINISTRO Y CALIBRACIÓN . . . 17
TECNYMAT 19
TRATER DAY . . . . . Contraportada 2
WHEELABRATOR 46

Próximo número

DICIEMBRE

Gases especiales. Atmósferas. Fuentes de energía. Dispositivos ópticos. Equipos e instrumentos de control y medición. Hornos de temple, revenido. Lubricantes. Hornos de gas y electricidad. Tratamiento térmico de moldes. Transporte y elevación. Tratamiento de superficies. Hornos de cinta. Medio ambiente.

SU MEJOR COMUNICACIÓN

REVISTAS PROFESIONALES DEL SECTOR INDUSTRIAL

¿Conoce nuestras revistas digitales?

Ventajas de las que puede beneficiarse:

- Anuncios enlazados con su web y redes sociales
- Búsquedas precisas por palabras
- Compartir artículos
- Disponible en su tablet, smartphone u ordenador
- Fácilmente descargable

Puede verlas en: www.pedeca.es/revistas

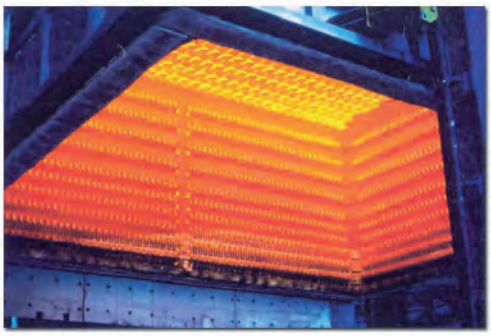
Solicítelas en: pedeca@pedeca.es

PEDECA Press Publicaciones

SOMOS SU MEDIO

C/ Goya, 20. 4º. • 28001 MADRID • Telf.: 91 781 77 76 • Fax: 91 781 71 26 • pedeca@pedeca.es • www.pedeca.es

Hornos
Laboratorio e industriales



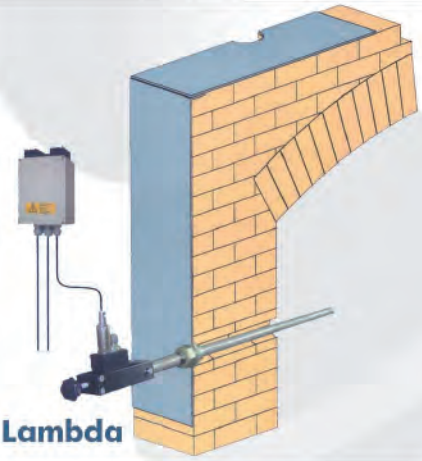
Quemadores
recuperativos y regenerativos

Reguladores de Potencia
a Tyristores:

AEG
Power supply systems

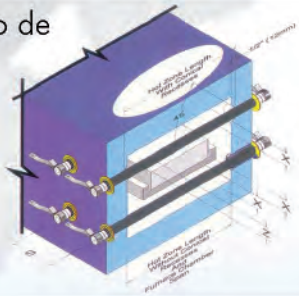
Equipos de control de atmosferas:

mesa electronic



Sonda Lambda

Carburo de Silicio



Fabricación de resistencias,
en hilo o pletina conformadas a medida segun plano.

MoSi2 (Hasta 1800°C)

interbil
Ingeniería Térmica Bilbao s.l.

P.I. Sangróniz, Iberre 1-M5
E-48150 SONDICA (Vizcaya)
Tel: 94 453 50 78 Fax: 94 453 51 45
bilbao@interbil.es

www.interbil.es

SYSTEM CERTIFICATION ISO 9001:2000 SGS ACREDITADO POR ENAC