TRATER press

JUNIO 2014 • Nº 41

REVISTA DEL TRATAMIENTO TERMICO

www.pedeca.es

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

THINK BIG THINK BIEMH

28 BIEMH

BIENAL ESPAÑOLA
DE MÁQUINA-HERRAMIENTA

2-7 JUNIO 2014

Una gran feria con grandes soluciones para hacer grandes negocios, donde **el expositor es el protagonista.**

BIEMH PREVIEW
PRESENTATION & NETWORKING

Encuentros comerciales
internacionales previos al certamen

Colaboran

EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO
EKONOMIAREN GARAPEN ETA LEHIAKORTASUN SAILA
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO ECONÓMICO Y COMPETITIVIDAD

AIMHE
ASOCIACIÓN DE IMPORTADORES DE MÁQUINA - HERRAMIENTA

Organizan

AFM Advanced Manufacturing Technologies
www.afm.es

BEC! BILBAO EXHIBITION CENTRE
EXPOSSIBLE!
www.biemh.com

Nuestra Portada

ARROLA

ARROLA diseña instalaciones para el tratamiento térmico de metales férricos y no férricos, dentro de las tecnologías de vacío y atmósfera controlada, con tecnologías innovadoras y adaptadas a los requerimientos solicitados.

Sus soluciones técnicas, la capacidad de servicio y la cercanía al cliente hace de **ARROLA** un proveedor de instalaciones único dentro del mercado nacional.

ARROLA
Polígono Industrial Argixao, 60
20700 ZUMÁRRAGA
GUIPÚZKOA - ESPAÑA
Teléf.: (+34) 943 725 271
Fax: (+34) 943 725 634
www.arrola.es
info@arrola.es

Sumario • Junio 2014 - Nº 41

Editorial 2

Noticias 4

Datapaq lanza la versión 7.3 de Insight • SPOT – temperatura sin contacto.

Artículos

- Fórum de ARCAS - *Por Juan Martínez Arcas* 6
- Hannover Messe 2014 8
- Coyuntura del metal - *Por Confemetal* 10
- Andalucía se convierte en líder en exportaciones aeronáuticas a Francia, con 594 millones en 2013, hasta 10 veces más que en 2004 14
- Estudio del tratamiento térmico de difusión de recubrimientos de aluminio sobre aceros ferríticos - *Por Marcos Gutiérrez del Olmo, Vanessa González Martín y Alina Agüero Bruna* 16
- Para una mejor comprensión de la inducción, en aras de optimizar el uso de bobinas para forja - *Por Manuel Castro, Luis Gorjón y Eugenio Pardo* 25
- Algunas consideraciones sobre los aceros para rodamientos - *Por Manuel Antonio Martínez Baena y José Mª Palacios Reparaz* (†) 34

EMPLEO 43

Guía de compras 44

Indice de Anunciantes 48

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

Continuamos al alza con las cifras de venta de vehículos en España.

Según los datos proporcionados por las distintas asociaciones (ANFAC, ANESDOR, FACONAUTO, ...) el mercado de la motocicleta vuelve a marcar cifras muy positivas por octavo mes consecutivo. El pasado mes de abril han aumentado un 17,8 % con 9.807 motocicletas matriculadas.

También el mercado del automóvil sigue aumentando por octavo mes consecutivo. Se han matriculado en abril 80.174 automóviles, lo que supone un crecimiento del 28,7 %.

Y por último, el sector de vehículos industriales ha crecido en torno al 34 %, ya que en abril se han vendido 1.157 unidades.

Con todos estos datos, notamos que el consumo vuelve a tomar cuerpo, tanto para ventas como para producción que tan bueno es para nuestro sector, con lo que poco a poco irá llegando al resto de sectores.

Con este número que tiene en sus manos, estaremos presentes en la **BIEMH** de Bilbao, donde distribuiremos ejemplares gratuitamente.

Allí nos vemos.

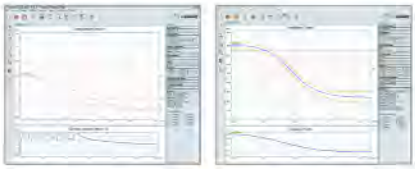
Antonio Pérez de Camino

SECO/WARWICK GROUP

Excepcional cementación a baja presión: *FineCarb® y PreNitLPC®*

Requerimientos

Simulación



Cementación SimCarb® — Temple SimHard®

Realización

Resultado

Beneficios

- ✓ Mayor eficiencia mediante la reducción del tiempo de proceso y un menor costo de cementación en comparación con la tecnología tradicional
- ✓ Excelente uniformidad de cementación incluyendo agujeros ciegos profundos y cargas densas
- ✓ No IGO (oxidación intergranular)
- ✓ Resultados precisos del simulador de procesos SimVac® y control de proceso fiable
- ✓ Múltiple disminución del consumo de atmósfera cementante
- ✓ No hay riesgo de explosión atmósfera
- ✓ Única tecnología protegida
- ✓ Tecnología respetuosa con el medio ambiente (sin emisiones de CO_2 y CO)

24/7 apoyo técnico y tecnológico

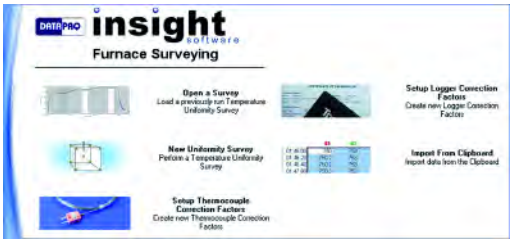
SECO/WARWICK

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

Datapaq lanza la versión 7.3 de Insight

Datapaq lanza la versión 7.3 de su software Insight, con funciones mejoradas para el perfilado y análisis de temperatura de todo tipo de procesos industriales de calentamiento.

Insight soporta ahora la exportación en directo (tiempo real) de datos mediante OPC (»Open Platform Communications»). OPC es un estándar de automatización industrial que permite la comunicación entre un origen de datos (servidor OPC) y una aplicación de software (cliente OPC).



Los datos pueden incluir datos de proceso y registros de alarmas y eventos. Con Insight actuando como servidor OPC, los datos se pueden transmitir directamente desde el registrador a la propia aplicación de gestión de proceso, cliente OPC, preferida del usuario, para ayudar de este modo al control de procesos en vivo y a la mejora de la productividad.

La actualización de software introduce, además, herramientas fáciles de usar para las versiones específicas de la industria de hornos, que soportan la optimización de procesos, lo que ayuda a los usuarios en la configuración de los procesos de calentamiento y enfriamiento, y en la adaptación de los parámetros sin ejecuciones de prueba repetidas.

Info 2

SPOT – temperatura sin contacto

El nuevo SPOT R100 es un termómetro multimodo para altas temperaturas, con una combinación única de cinco modos de funcionamiento, ratio, dos longitudes de onda corta, multi-modo y dúo. El modo ratio está específicamente diseñado para aplicaciones de tratamiento térmico de metales, donde la alta precisión de medida de temperatura que proporciona el termómetro SPOT, es vital en el control de

procesos y de calidad del producto.

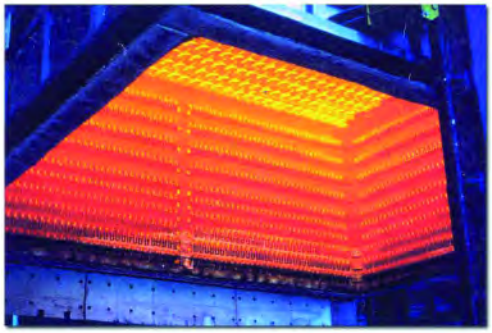
Fija un nuevo estándar de facilidad de uso, que integra funciones avanzadas de procesamiento y no necesita un procesador adicional. Dispone de un sencillo interface integrado en el termómetro para su ajuste local y configuración (incluyendo tamaño y distancia de enfoque, temperatura, emisividad, alarmas, rango de medida, etc.). Adicionalmente el equipo dispone de una cámara integrada para enfocar fácilmente el objetivo. Se puede configurar remotamente vía navegador web o a través del software SPOT Viewer.

Su tamaño y diseño hacen que pueda reemplazar fácilmente los termómetros instalados existentes.

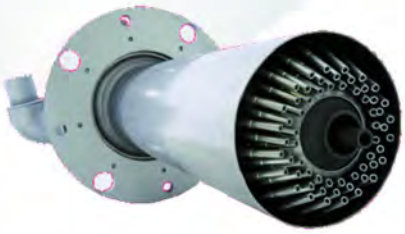
Los termómetros SPOT utilizan un LED de enfoque de impulsos (no hay requisitos de seguridad del láser) patentado de alta luminosidad, que confirma la distancia de enfoque y el área de medida fácilmente y con precisión. Todos los termómetros SPOT ofrecen una combinación de salidas Ethernet, Modbus TCP, Vídeo y Analógica (Entradas y Salidas) como estándar. Todos los parámetros de medida incluyendo Promedio, Pico, Modo Master, Compensación de temperatura de fondo, son también estándar en todos los modelos.

Info 3

Hornos
Laboratorio e industriales



Quemadores
recuperativos y regenerativos



Reguladores de Potencia
a Tyristores:

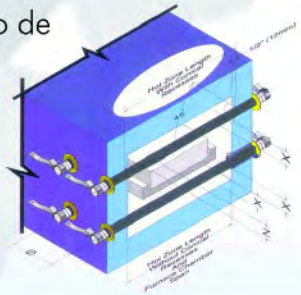
AEG
Power supply systems

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

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.

Resumen de los Materiales Alternativos, compuestos intermetálicos

A lo largo de las últimas revistas TRATER Press, números 37, 38, 39 y 40 hemos ido observando que las superaleaciones pueden ser sustituidas por otros compuestos intermetálicos, asimismo se han comentado algunos de sus inconvenientes y los resultados más recientes de las investigaciones, y para ello los hemos clasificado por grupos: Aliminuros de níquel, de titanio, de hierro y otros intermetálicos.

Debido a las crecientes demandas por parte del sector aeronáutico, de materiales resistentes, tenaces y dúctiles, sobre todo a elevadas temperaturas y que puedan sustituir a las mencionadas superaleaciones.

En los cuatro artículos se han sintetizado las propiedades más características de estos compuestos tales como la estructura ordenada, los altos valores del límite elástico, resistencia a la rotura y que mantienen hasta elevadas temperaturas.

No ha sido fácil desarrollar este interesante tema, las aportaciones en esta ocasión han escaseado, pero creo que se ha podido apreciar y valorar la existencia y posibilidades de estos Materiales Alternativos.

Nota: Próximamente desarrollaremos el interesante tema de los “Aceros de alta resistencia para una aplicación concreta, como es la embutición”, como siempre pueden formularnos las preguntas y aportar ideas prácticas a la dirección indicada.

Gracias

DISEÑANDO Y FABRICANDO
HORNOS Y ESTUFAS
INDUSTRIALES
DESDE 1945

HORNOS ALFERIEFF

contabiliza la construcción de más

de 1100 hornos, por ello, contamos hoy

con una renombrada experiencia en

el campo de los hornos industriales

CONSTRUYENDO FUTURO

▶ AERONÁUTICA ▶ ESPACIO ▶ FERROCARRIL ▶ NAVAL ▶ AUTOMOCIÓN ▶ EÓLICA ▶ FOTOVOLTAICA ▶ TERMOSOLAR ▶ ELÉCTRICO ▶ I. PESADA

HORNOS ALFERIEFF®

HEA

Email: hornos@alferieff.com · **www.alferieff.com**

HANNOVER MESSE 2014

No cabe duda: La última edición de HANNOVER MESSE tuvo un destacado toque holandés. En palabras del mismo País Asociado Holanda, el "dutch touch" describe perfectamente la acogida positiva por parte del público. Con nueve stands colectivos, más de 250 empresas y 80 eventos especiales, los Países Bajos entusiasmaron al público de la feria industrial más destacada del mundo. "Global Challenges, Smart Solutions", así rezaba el lema con el que los neerlandeses consiguieron convencer a los visitantes profesionales internacionales de su potencial innovador y su saber hacer tecnológico. Representantes de alto rango del mundo de la política y la economía acudieron a Hannóver para iniciar nuevos negocios y cooperaciones.

Desde la ceremonia de inauguración, los holandeses dejaron muy claro que iban a ejercer el papel de País Asociado presentándose como invitado simpático y seguro de sí mismo. Mark Rutte, el primer ministro de Holanda, manifestó en la inauguración: "Los Países Bajos no se suelen asociar automáticamente con el progreso tecnológico." Y esto no está bien. "Si usted conduce un coche con transmisión automática de alta tecnología, existe una probabilidad del 75 por ciento de que procede de Holanda", aseveró Rutte. "Los Países Bajos han aprovechado HANNOVER MESSE para demostrar al mundo que participarán activamente en el diseño de la industria del futuro, aportando su fuerza, sus soluciones inteligentes y su gran simpatía", resumió el doctor Jochen Köckler, miembro de la junta directiva de Deutsche Messe AG. "Como País Asociado, Holanda ha sido el candidato perfecto. El gran número de empresas emocionantes ha enriquecido HANNOVER MESSE 2014 con sus temas y sus presentaciones." Por otro lado, los representantes de la economía y la política aprovecharon la oportunidad para entablar y ampliar contactos. A lo largo de múltiples charlas, mesas redondas y encuentros, los neerlandeses desplegaron sus soluciones innovadoras para la industria del futuro al tiempo que buscaron el intenso intercambio de opiniones, sin por eso olvidarse del lado divertido de las cosas. Cuando de día todo giraba en torno a las soluciones inspiradoras y presentaciones impresionantes, el lema de las tardes fue un simpático "Relax and get in touch with the Dutch".

La superficie total de exposición neerlandesa se duplicó, en comparación con las ediciones anteriores. El número de expositores experimentó asimismo un incremento en el año de País Asociado, ascendiendo a la cifra de 250 empresas. Los temas centrales de la participación holandesa se enmarcaron sobre todo en el sector de la construcción de maquinaria y la industria de subcontratación, aunque las empresas del País Asociado estuvieron presentes en todas las secciones de HANNOVER MESSE. En las áreas temáticas centrales de HANNOVER MESSE, Automatización y TI, Energía y Tecnología Medioambiental, Subcontratación Industrial, así como Investigación y Desarrollo, los Países Bajos hicieron hincapié de su gran competencia. Además, el país dedicó cada día de la semana ferial de HANNOVER MESSE a un lema específico. Después del día inaugural, las presentaciones del martes giraron en torno a la energía, el miércoles se desarrolló bajo el signo de las innovaciones, el jueves se centró en el capital humano y el lema de viernes rezaba Ciencia de la Vida y Salud.

La próxima edición de HANNOVER MESSE tendrá lugar del 13 al 17 de abril de 2015.

HORNOS DE INDUCCIÓN
PARA FORJA INDUCTOFORGE DE INDUCTOTHERM

I-HAZ:
MAXIMIZA EL CONTROL DEL PROCESO

MODO STAND-BY:
MINIMIZA LOS RECHAZOS EN PARADAS Y ARRANCADAS

INDUCTOTHERM GROUP | IBERIA

- Fabricación local 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

Coyuntura del metal

Por Confemetal

Actividad Productiva

El índice de Producción del Metal (IPIL) aumentó un 1,0% interanual en enero de 2014, tras el incremento de diciembre (4,7%), con lo que continúa la tendencia positiva iniciada en septiembre pasado. En el 4º trimestre se anotó un crecimiento de la producción del 3,5%, tras el 1,2% del tercero y el 0,6% del segundo, con tasas trimestrales positivas por primera vez desde mediados de 2011. En 2013, la producción aminora la caída y desciende sólo un –0,9%, frente al –10% anotado en 2012.

El Índice de Cifra de Negocios de la Industrial del Metal (ICNMET), que mide la evolución de la demanda actual, bajó en enero un –2,2% interanual, después del 2,9% de diciembre. En 2013, la media del año fue del –1,9%, si bien, en el cuarto trimestre se observó cierta mejora al aumentar este indicador un 1,4% de aumento en comparación al mismo trimestre del año anterior. Todas las ramas de actividad del Metal reducen su cifra de negocio en 2013, excepto la de vehículos de motor, remolques y semirremolques.

INDICADORES DE ACTIVIDAD DE LA INDUSTRIA DEL METAL
Códigos CNAE 2009. Base 2010=100

% sobre mismo periodo del año anterior	% variación - Índices de Producción			% variación - Índices de Cifra de Negocios			% variación - Índices de Entrada de Pedidos		
	NOV 13	DIC 13	ENE 14	NOV 13	DIC 13	ENE 14	NOV 13	DIC 13	ENE 14
24. Metalurgia, fab. productos acero, acero y ferroaleaciones	6,2	11,3	8,3	-9,4	-2,3	0,4	2,6	0,3	-2,0
25. Fab. prod.metálicos excepto maquinaria y equipo	-2,1	4,8	-5,2	-6,1	-6,7	-4,6	-6,8	15,4	-5,3
26. Fab. prod. informáticos, electrónicos y ópticos	5,9	-1,7	14,0	-0,1	5,3	-7,5	-12,3	35,8	13,7
27. Fabricación de material y equipo eléctrico	-9,0	-3,1	0,3	-11,5	-2,0	-6,0	-6,1	7,6	-11,8
28. Fab. de maquinaria y equipo n.c.o.p. (*)	3,2	1,9	5,3	-3,1	-3,2	-2,3	-6,5	-14,1	2,1
29. Fab. vehículos de motor, remolques y semirremolques	6,7	10,8	4,0	10,4	11,4	-1,6	1,9	18,7	6,4
30. Fabricación de otro material de transporte	-0,1	-8,7	-5,4	-9,8	14,2	4,1	-31,7	85,8	74,5
33. Reparación e instalación de maquinaria y equipo	5,3	13,9	-5,2	1,2	5,8	-4,5	-31,1	14,9	-5,0
Industria del Metal	**1,8**	**4,7**	**1,0**	**-1,7**	**2,9**	**-2,2**	**-7,0**	**23,5**	**2,3**

(*) n.c.o.p.= no clasificado en otra parte. - Fuentes: INE y Confemetal

El Índice de Entrada de Pedidos de la Industria del Metal (IEPMET), que mide la evolución de la demanda futura, fue positivo en enero, registrando un aumento del 2,3%, después de la elevada tasa de variación interanual de diciembre, el 23,5%. En 2013 registró un descenso del –1,3%, aunque en el cuarto trimestre obtuvo una tasa de variación positiva del 4,2%, después del 6,2% del trimestre anterior. En el año 2013, las entradas de pedidos, han mantenido un perfil negativo en todas las ramas de actividad, excepto en vehículos de motor, remolques y semirremolques.

Comercio Exterior

Las exportaciones del Sector del Metal en diciembre aumentaron un 5,6% en comparación al mismo mes del año anterior, tras el –2,6% de noviembre. En 2013 anotan un crecimiento del 7,1% en comparación al mismo período del año anterior. En el cuarto trimestre, las exportaciones del Metal aumentaron un 2,8%, las importaciones un 11,2%y el superávit comercial se situó en 1.359 millones de euros.

En el 2013, las exportaciones de metales comunes y sus manufacturas bajan un –3,1%, mientras que aumentan las de maquinaria, aparatos y material

metalmadrid `14

29-30 OCT'14

ÚLTIMA HORA PARA RESERVAR TU STAND EN METALMADRID 2014

¡ÚLTIMOS 25 STANDS!

Tu presencia en MetalMadrid, impulsará tu negocio.

PATROCINAN

Hoffmann Group — Tools to make you better

TRUMPF

FUCHS

SCHUNK

ESTE AÑO JUNTO

COMPOSITE SPAIN

COLABORAN

AIRBUS

Talgo

GOBIERNO DE ESPAÑA — MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO

ORGANIZA

grupo metalia

ROBOMATICA

www.metalmadrid.com

comercial@metalmadrid.com

EVOLUCIÓN DE LOS PRECIOS MÍNIMOS DE VENTAS (1)
(Índice base 2011 = 100)

AÑO 2013 - 2014	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Tendencia ABR
LARGOS:							
- Perfiles estructurales	82,70	82.70	82.70	81.05	79,43	79,43	Alza
- Perfiles comerciales	113,10	115,36	115,36	115,36	113,05	113,05	Subida
- Redondos corrugados	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	–

(1) Estos datos deben tomarse como un índice de tendencia, en ningún caso como referencia firme de precios. Fuente: UAHE. N.D.=No disponible

ÍNDICE DEL PRECIO PARA EL ACERO CORRUGADO
(Índice Base enero 2012 = 100)

Últimos meses	INDICE	Variación con respecto al mes anterior	Variación con respecto al mismo mes del año anterior
Octubre	86,49	-0,43	-7,01
Noviembre	84,79	-1,97	-8,20
Diciembre	86,40	1,90	-8,87
Enero	86,59	0,23	-9,99
Febrero	84,15	-2,83	-12,54
Marzo	80,98	-3,77	-12,57

Fuente: Consejo Superior de Cámaras de Comercio

eléctrico un 5,1%, las de material de transporte un 14,2% y las de instrumentos mecánicos de precisión un 4,8%. En cuanto a las importaciones, las de metales comunes y sus manufacturas disminuyen un –3,0% en 2013, las de maquinaria, aparatos y material eléctrico aumentan un 1,3%, las de material de transporte un 9,6% y las de instrumentos mecánicos de precisión un 3,9%. El saldo comercial del sector del metal sigue siendo positivo, pero va reduciéndose mes a mes. En 2013 acumula un total de 11.553 millones de euros. Cabe destacar el impulso de las importaciones en los últimos meses, que empieza a ser superior al de las exportaciones.

Mercado Laboral

El número de afiliados a la Seguridad Social en la Industria del Metal alcanzó en febrero de 2014 la cifra de 657.582 personas, frente a los 665.461 afiliados del mismo mes del año anterior, lo que supone una caída del –1,2%, siguiendo la tendencia de descenso de los meses anteriores. En la media del año alcanzan las 656.695 personas lo que supone un descenso del –1,3% en comparación a los 665.435 afiliados del mismo período del año anterior (8.740 afiliados menos).

Evolución del Mercado de Productos de Acero

Productos Siderúrgicos Largos

Según la última información facilitada por la Unión de Almacenistas de Hierros de España (UAHE), los últimos datos muestran unos precios sin variación y unas expectativas de subida en el próximo mes. Sin embargo, la experiencia indica prudencia a la hora de valorar este dato, ya que hay que analizar el origen de la expectativa… ¿una posible mejora de la demanda o la necesidad de sobrevivir? Conviene esperar para ver la solidez de esta tendencia al alza.

Precios de Acero Corrugado

El Consejo Superior de Cámaras de Comercio elabora mensualmente el Índice de Precios para el Acero Corrugado en España. En la elaboración de este índice colaboran las empresas del sector, tanto productores de la materia prima, como demandantes.

El Índice Cámaras del Precio para el Acero Corrugado de marzo 2014 fue 80,98 puntos, lo que supone una disminución del 3,8% respecto al dato de febrero (84,15). Con respecto al mismo mes del año anterior, el precio del acero corrugado se ha reducido un 12,57%.

MIDEST

2014 PARIS

El nº1 mundial de los salones de subcontratación industrial

Working together!*

*Trabajando juntos

4 > 7 DE NOVIEMBRE

Paris Nord Villepinte - Francia

www.midest.com

MIDEST ES UN ACELERADOR DE NEGOCIOS Y DE DIVERSIFICACIÓN COMERCIAL

Verdaderas opportunidades de negocio comprobadas por los expositores:

> **92%** de los expositores muy satisfechos o satisfechos con su participación .

> **93%** afirman que MIDEST permite encontrar nuevos proyectos.

Contratantes con proyectos concretos*:

> Referenciar nuevos subcontratistas **(98%)**.

> Encontrarse con expositores de alto nivel **(91%)**.

PRESENCIA DE TODOS LOS SECTORES DE LA SUBCONTRATACIÓN

Transformación de metales /
Transformación de Plásticos, Caucho, Composites /
Electrónica, Electricidad /
Microtécnicas /
Servicios para la industria /
Transformación de madera /
Mantenimiento industrial

maintenance expo 2014

MIDEST, ESCAPARATE MUNDIAL DE LAS HABILIDADES

42 101 profesionales pertenecientes a todos los sectores de actividad venidos de 85 países.

1 702 expositores procedentes de 38 países.

Reed Expositions

Informaciones, fórmulas de exposición y precios en www.midest.com
Olga Pons - Tel.: + 34 93 424 40 00 - gpe@gpexpo.com

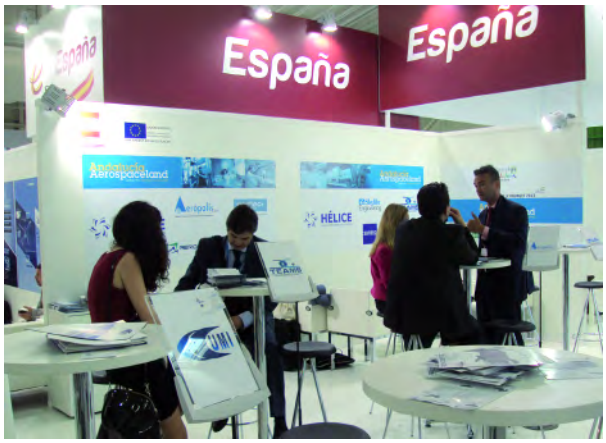
Simultáneamente con maintenance expo 2014

Andalucía se convierte en líder en exportaciones aeronáuticas a Francia, con 594 millones en 2013, hasta 10 veces más que en 2004

Andalucía exportó en 2013 material aeronáutico a Francia por valor de 594 millones de euros en 2013, el doble que el año anterior y 10 veces más que en 2004. Esto convierte a Andalucía en la comunidad autónoma líder en ventas al país galo, con el 60,5% del total nacional, por primera vez por delante de la Comunidad de Madrid, y confirma al país vecino como el primer destino de las exportaciones del clúster andaluz, con el 39% del total.

Precisamente Francia es, con 50 empresas participantes, el país extranjero que tiene hasta la fecha mayor representación en Aerospace & Defense Meetings Sevilla 2014, el mayor evento de negocios del sector aeroespacial celebrado en España, que tendrá lugar entre el 3 y el 6 de junio, organizado por la Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo, a través de Extenda-Agencia Andaluza de Promoción Exterior. AIRBUS Group es el principal patrocinador del evento, al que también prestan apoyo especial Alestis Aerospace, Aernnova y Aciturri, los tres Tier 1 españoles de aeroestructuras, y la compañía andaluza Sofitec.

Andalucía fue en 2013 la primera región española exportadora de productos aeronáuticos al país galo, con el 60,5% del total nacional, adelantando a la Comunidad de Madrid, que ha liderado el ranking hasta 2012, y que en 2013 exportó 329 millones, el 33,5% nacional.



Cádiz y Sevilla son las provincias que concentran la práctica totalidad de las ventas andaluzas al país galo. La primera, con un total de 354 millones de euros (59,6% del total de 2013), registró un crecimiento del 84% respecto al año anterior y ha multiplicado por siete sus ventas desde 2004. Por su parte, Sevilla vendió productos aeronáuticos a Francia por valor de 240 millones de euros (40,4%), lo que significa multiplicar por 2,6 la cifra del año anterior y por 28 la de 2004, que fue de 8,6 millones de euros. Las empresas malagueñas también realizaron ventas menores en 2013, por un valor total de 34.000 euros.

Por productos, las principales partidas exportadas a Francia en 2013 fueron la de 'Partes de aeronaves', con 403,8 millones de euros (68% del total del año), que experimentó un crecimiento del 78,4% respecto al año anterior; y la de 'Aeronaves (como aviones y helicópteros)', que, con unas ventas de 189,8 millones de euros (32%), triplicó el dato de 2012.

Amplia representación francesa en ADM Sevilla 2014

De las 277 empresas de 23 países que hasta la fecha han confirmado su participación en ADM Sevilla 2014, 50 provienen de Francia, lo que significa que este país concentra casi el 40% de la delegación extranjera que estará presente en el evento. En este sentido, cabe destacar la presentación del encuentro realizada en Lyon a principios de abril, en la que participaron 14 empresas francesas. Esta presentación también se ha llevado a cabo ante varios clústers españoles en las ciudades de Madrid, Barcelona y Zaragoza.

Entre los participantes de esta segunda edición, destaca la presencia de 12 grandes contratistas internacionales (OEMs), entre los que se encuentran los grandes fabricantes mundiales, como Boeing, Airbus Group, Bombardier y Embraer, así como de 33 Tiers 1 (fabricantes de primer nivel), algunos de ellos franceses, como Aerolia, Daher, Latecoere, Sogerma, Safran o Thales. También han confirmado su presencia ocho clústers aeroespaciales de cinco países, incluido el clúster europeo, que agrupan a más de medio centenar de empresas más.

La relación existente entre la aeronáutica andaluza y el país francés se pone también de manifiesto en la habitual participación de empresas de la comunidad en el Salón Internacional de la Aeronáutica y el Espacio – París Le Bourget. En su última edición, en 2013, fueron nueve las empresas de la región que participaron en el mismo con el apoyo de Extenda, agrupando la mayor representación dentro del pabellón nacional.

Apoyo industrial e institucional

ADM Sevilla se consolida en su segunda edición como el mayor evento de negocios del sector aeroespacial celebrado en España, convirtiendo a Andalucía en un punto de referencia del negocio a nivel mundial. El evento está organizado por la Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo, a través de Extenda-Agencia Andaluza de Promoción Exterior, y la firma francesa ABE-BCI.

El encuentro, que tendrá lugar del 3 al 6 de junio, cuenta con AIRBUS Group como principal patrocinador, acompañado por los tres Tiers 1 españoles de aeroestructuras (Alestis Aerospace, Aernnova y Aciturri) y la andaluza Sofitec.

Financiado en 80% con fondos procedentes de la Unión Europea con cargo al Programa Operativo del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (Feder) de Andalucía 2007-2013, ADM Sevilla 2014 tiene además el apoyo de las principales entidades y organismos del sector en España, como Tedae (Asociación Española de Empresas Tecnológicas de Defensa, Aeronáutica y Espacio) y de la propia Andalucía, con el cluster Hélice, que presta una especial colaboración, así como el CATEC, Aerópolis y Tecnobahía. Asimismo, al ser un evento estratégico para la atracción de inversiones, cuenta también con el apoyo de 'Invest in Andalucía (Agencia IDEA y Extenda) y de 'Invest in Spain (ICEX, Ministerio de Economía y Competitividad).

Estudio del tratamiento térmico de difusión de recubrimientos de aluminio sobre aceros ferríticos

Por Marcos Gutiérrez del Olmo[1], Vanessa González Martín[1] y Alina Agüero Bruna[1]

[1] Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial Esteban Terradas

RESUMEN

La resistencia a la oxidación y corrosión de los intermetálicos ordenados de aluminio, es extensamente conocida por su habilidad para formar películas compactas de bajo espesor de óxido de aluminio adherente, que protegen al material base. Una de las técnicas más versátiles y fáciles para obtener este tipo de recubrimientos es mediante la aplicación de "slurries". Los recubrimientos "slurry" de Aluminio se basan en una suspensión de polvo metálico de este metal en un aglutinante y requieren un tratamiento térmico posterior para provocar los procesos de reacción e interdifusión con el sustrato, formando un intermetálico hierro-aluminio. Se ha demostrado que al exponerlos en atmósfera de vapor son capaces de proteger al sustrato hasta por lo menos 50.000 horas a 650 °C.

La calidad final del recubrimiento viene determinada principalmente por el espesor de la capa formada tras el tratamiento térmico de difusión y la concentración de aluminio en la misma. La fragilidad de los intermetálicos formados durante el tratamiento, así como la diferencia de coeficientes de expansión térmica entre el recubrimiento y el sustrato, provocan la aparición de grietas en el recubrimiento, exponiendo al sustrato a la atmósfera provocando oxidaciones locales y posterior desprendimiento del mismo. No obstante, en los ensayos realizados en laboratorio, se ha observado que este tipo de recubrimientos presenta la capacidad de autoprotegerse, a pesar de la aparición de grietas evitando estos problemas.

La temperatura, el tiempo y la atmósfera son parámetros clave en cualquier proceso de difusión y reacción. En este trabajo se estudia el mecanismo de formación de los recubrimientos de aluminio, analizando la influencia de estas variables durante el tratamiento térmico de difusión, con el objetivo de optimizar la calidad del recubrimiento y evitar la formación de grietas en el mismo. Para ello se analiza la microestructura final del recubrimiento mediante FESEM-EDX.

Palabras Claves: Intermetálicos, aluminuro, slurry, ferrítico, tratamiento térmico.

1. INTRODUCCIÓN

Las aleaciones intermetálicas ordenadas constituyen una clase única de materiales metálicos, ya que forman estructuras cristalinas con largos rangos de ordenación, por debajo de sus temperaturas críticas. Las estructuras y propiedades de los intermetálicos ordenados fueron estudiadas extensivamente en la década de los 50 y 60 del siglo XX; como resultado de estos esfuerzos muchas de sus propiedades fueron identificadas y caracterizadas. Los intermetálicos de aluminio y silicio son normalmente resistentes a la oxidación y corrosión, gracias a su habilidad para formar películas compactas de óxido adherente que protegen la base del metal. La restringida movilidad atómica generalmente lleva a procesos de difusión más lentos y una mejor resistencia a la fluencia en redes ordenadas.

Los intermetálicos FeAl han acaparado mucho la atención desde 1930, cuando se descubrió su exce-

lente resistencia a la corrosión, sobre todo en composiciones de más del 18% atómico de aluminio [1,2]. Con el aumento de la temperatura por encima de los 600 °C, la resistencia mecánica de los intermetálicos FeAl disminuye drásticamente, mientras que el módulo de elasticidad aumenta [3,4]. Teniendo en cuenta su baja ductilidad a temperatura ambiente, la disminución de su resistencia por encima de los 600 °C es un factor que ha limitado el uso de estos materiales para aplicaciones estructurales a esas temperaturas, donde su excelente resistencia a la corrosión le daría un valor añadido sobre otros materiales. Se han continuado realizando esfuerzos en muchas partes del mundo para desarrollar intermetálicos FeAl con mejores propiedades a alta temperatura como resistencia a la tensión, fluencia y fatiga [5,6], pero los compuestos intermetálicos son muy frágiles, debido al hecho de que poseen vectores de Burgers grandes y un número muy bajo de sistemas de deslizamiento. Debido a esto no suelen utilizarse como materiales estructurales a elevada temperatura y en ambientes agresivos. Sin embargo, debido a su buen comportamiento frente a la corrosión y oxidación a elevada temperatura, pueden utilizarse como recubrimiento de materiales que presenten mejores propiedades mecánicas.

En 1993 Martin Sundqvist y Sture Hogmark [7] publicaron un artículo en el que ponían de manifiesto el ataque de aluminio fundido sobre la superficie de máquinas herramienta. Las partículas de aluminio fundidas (~100 micras) solidificaban en la superficie de la herramienta y al eliminarlas se detectaba la evidencia del ataque al sustrato. Este ataque no era más que la reacción de difusión entre el aluminio y el sustrato ferrítico de la herramienta. Se ha simulado este ataque en el laboratorio (figura 1). Lo que para Martin era un fallo a su molde ahora surge como una oportunidad.

Hay muchas formas de generar estos recubrimientos mediante un aluminizado superficial, pero la forma más económica y versátil de conseguirlo es

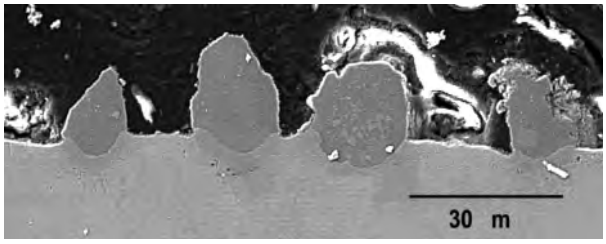


Figura 1. Reproducción en laboratorio de los conos formados por el ataque del aluminio sobre la superficie de la máquina herramienta. En la sección del cono se ven diferentes fases.

mediante un slurry. Un slurry es una suspensión de polvo metálico en un aglutinante. Al igual que cualquier suspensión pueden aplicarse mediante procedimientos ya optimizados y utilizarse a nivel industrial. En algunas ocasiones se emplean como pinturas, que tras un proceso de secado y curado forman una película homogénea que aísla al material base del medio, proporcionándole propiedades anticorrosivas o de mejora frente al desgaste a temperatura ambiente; actualmente es una de las alternativas a la sustitución del cadmiado en algunas aplicaciones [8]. En otras ocasiones, y sobre la que trata este artículo, la realización de un tratamiento térmico posterior al curado provoca la difusión y reacción de los elementos del slurry con los elementos del sustrato formando intermetálicos, sin variar las propiedades mecánicas del material recubierto [9].

En el caso de slurries cuya carga metálica es aluminio depositado sobre aceros ferríticos y tras someterlos a un tratamiento térmico de difusión, se forma una zona compuesta por intermetálicos de hierro-aluminio (Fe_xAl_y) e intermetálicos de aluminio-cromo (Al_xCr_y), embebidos en una disolución sólida de hierro-aluminio. Esta capa presenta muy buenas propiedades frente a la oxidación y corrosión a alta temperatura, de hecho se ha demostrado que al exponerlos en atmósfera de vapor son capaces de proteger al sustrato hasta al menos 50.000 horas a 650 °C [10].

El mecanismo de protección de estos recubrimientos se basa en la formación de una capa muy fina de óxido protector de aluminio, que es muy adherente y estable. Además, según se va destruyendo esta capa, el material expuesto al ambiente corrosivo, al ser rico en aluminio, la regenera rápidamente. La calidad final del recubrimiento viene determinada principalmente, por el espesor de la capa formada tras el tratamiento térmico de difusión y la concentración de aluminio en la misma. La fragilidad de los intermetálicos formados durante el tratamiento, así como la diferencia de coeficientes de expansión térmica entre el recubrimiento y el sustrato, provocan la aparición de grietas en el recubrimiento exponiendo el sustrato a la atmósfera de trabajo, lo que podría ocasionar oxidación local y posteriormente el desprendimiento del mismo. No obstante, en los ensayos realizados en laboratorio, se ha observado que este tipo de recubrimientos presenta la capacidad de autoprotegerse a pesar de la aparición de grietas, evitando estos problemas. La

temperatura, el tiempo y los especies químicas utilizadas son parámetros clave en cualquier proceso de difusión y reacción, pero aquí además hay que tener en cuenta la atmósfera en la que se realiza el tratamiento y la microestructura del acero ferrítico.

El aluminio funde a la temperatura de 660.452 °C [11] y el hierro a 1.538 °C [11]. Si se parte de una concentración determinada de hierro y aluminio en estado líquido y se enfría la mezcla, se pueden formar en condiciones controladas, intermetálicos, disoluciones sólidas o mezcla de ambos. Pero ¿qué ocurre si la temperatura de la mezcla no supera, por ejemplo, los 700 °C? En principio habría aluminio líquido sobre la superficie sólida del acero ferrítico y, debido a la difusión y a la reacción química entre los dos metales, pueden formarse soluciones sólidas y/o nuevos compuestos intermetálicos.

En este trabajo se estudia la influencia del tiempo y de la temperatura durante el tratamiento térmico de difusión, con el objetivo de optimizar la calidad del recubrimiento y evitar la formación de grietas en el mismo.

2. PARTE EXPERIMENTAL

Materiales

En el presente trabajo se utilizó el acero ferrítico/martensítico P92, con la composición química (% masa) mostrada en la tabla 1.

P 92	C	Cr	Mo	W	Mn	Ni	Si	S	N
%wt	0,106	8,96	0,47	1,84	0,45	0,06	0,04	0,001	0.05

Tabla 1. Composición del acero ferrítico P92.

Las muestras se cortaron mediante el proceso de electroerosión sin tenerse en cuenta la direccionalidad de los granos. Se prepararon muestras de 20 x 10 x 3 mm para realizar las pruebas.

Preparación de la superficie

Las muestras se lijaron en una lijadora LECO VARI/POL VP-50, con un papel P180 de carburo de silicio. Una vez eliminado el óxido de la superficie, se introdujeron en un vaso de precipitados con etanol en el interior de un baño de ultrasonidos, para eliminar grasa y cualquier partícula residual adherida a la superficie.

Aplicación del slurry

La deposición del aluminio sobre el material se realizó mediante un slurry, compuesto por polvo de aluminio de 5 micras de diámetro con una pureza del 99.90% en peso (BendaLutz/2111387-3), en una disolución acuosa de ácido fosfórico y ácido crómico. Se utilizó una pistola aerográfica para depositarlo sobre las probetas ya preparadas superficialmente y desengrasadas.

Posteriormente se procedió al secado durante 15 minutos a 80 °C y al curado del slurry durante 30 minutos a 350 °C, con el objetivo de crear una película sólida sobre la muestra. Para ello se utilizó una estufa (CCI PT-100).

Tratamientos térmicos

Para la realización de los tratamiento térmicos se utilizó un horno tubular de la marca Carbolite. En todos los casos de estudio se utilizó una atmósfera inerte de argón. Las muestras se dejaron enfriar en el horno hasta temperatura ambiente.

Los recubrimientos de difusión de aluminio sobre aceros ferríticos-martensíticos se generan mediante un tratamiento térmico en atmósfera de gas inerte a 700 °C, durante al menos diez horas, para formar intermetálicos.

En este trabajo se han realizado a varias temperaturas, a saber, 630 °C, 650 °C, 700 °C y 1.050 °C.

Del mismo modo se han realizado tratamientos térmicos en atmósfera de gas inerte a 700°C, sobre diferentes muestras durante intervalos de 5, 10, 60 y 600 minutos.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Formación del recubrimiento en función de la temperatura

Es bien conocido, que los aceros ferríticos de alto contenido en cromo, tienen en su superficie una película de óxidos de cromo y óxidos de hierro de varias micras de espesor. Para que el aluminio pueda difundir, es necesario eliminar esa película que impide la reacción y la interdifusión de los átomos del recubrimiento con los átomos del sustrato.

En muchas ocasiones, después de realizar el tratamiento térmico de difusión sobre muestras de acero ferrítico y austenítico, se obtiene una gran discontinuidad en el recubrimiento, detectándose

zonas donde no existe recubrimiento. Este fenómeno se asocia a la limpieza inadecuada antes de recubrir las muestras, lo cual explica lo que ocurría en el artículo de Martin Sundqvist y Sture Hogmark [7] (figura 1).

El recubrimiento inicial del slurry sin tratamiento térmico era, aproximadamente, de unas 100 micras de espesor. Posteriormente se procedió al secado y al curado del slurry, con el objetivo de crear una película sólida sobre la muestra. Una vez secado y curado se pueden observan las partículas de Al en el recubrimiento, como se ve en la figura 2.

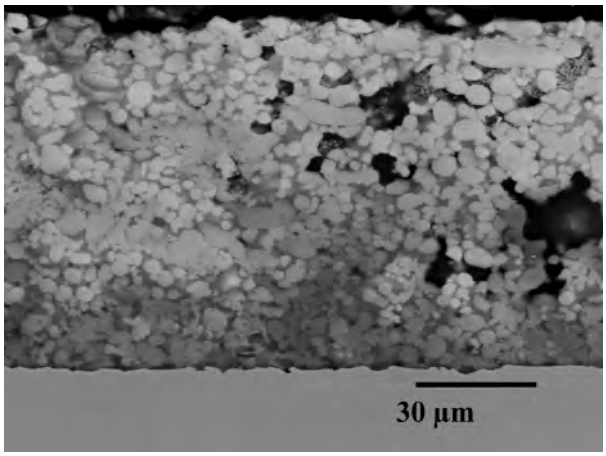
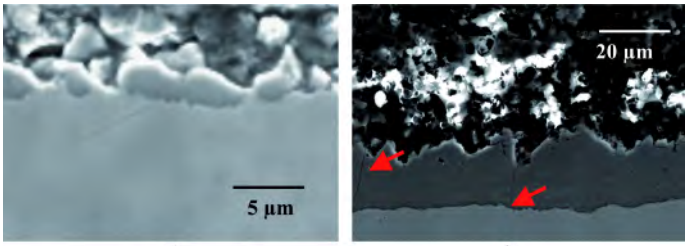


Figura 2. Slurry de aluminio depositado sobre la muestra antes de realizar el tratamiento térmico de difusión.

Para ver cómo influye la temperatura en la formación del recubrimiento, se sometieron las muestras a varios tratamientos térmicos durante diez horas, variando únicamente la temperatura de los mismos, manteniendo en todos los casos la atmósfera inerte de argón. Las muestras se dejaron enfriar en el horno hasta temperatura ambiente.

Se realizaron experimentos a temperaturas menores que el punto de fusión del aluminio –660,452 °C [11]– con el objetivo de determinar la reacción sólido-sólido con el sustrato. La primera prueba se realizó a 630 °C y la segunda a 650 °C. En la figura 3a se puede ver cómo el recubrimiento formado no es uniforme con un espesor máximo de 5 µm. En la figura 3b se puede ver cómo el espesor del recubrimiento aumenta con la temperatura, alcanzando un espesor máximo de 25-30 micras, y comienzan a aparecer grietas en el recubrimiento, que no avanzan hacia el interior del sustrato, marcadas con una flecha en la imagen 3b). En la parte superior de la zona de difusión puede verse parte del slurry que no ha difundido.



a) b)

Figura 3. a) Recubrimiento generado después de 10 h a 630 °C en atmósfera de gas inerte. b) Recubrimiento generado después de 10 h a 650 °C en atmósfera de gas inerte.

Al realizar el tratamiento de referencia, diez horas a 700 °C, puede verse en la figura 4 cómo el recubrimiento aumenta de espesor respecto a temperaturas menores, acentuándose la aparición de grietas y la porosidad, no sólo en la zona superior del intermetálico, sino también en la intercara con el sustrato. Además puede apreciarse cómo aparecen tres zonas diferenciadas, a saber, el sustrato, el recubrimiento y una intercara entre ambos. Además en el recubrimiento se distingue lo que parecen precipitados de un color más claro.

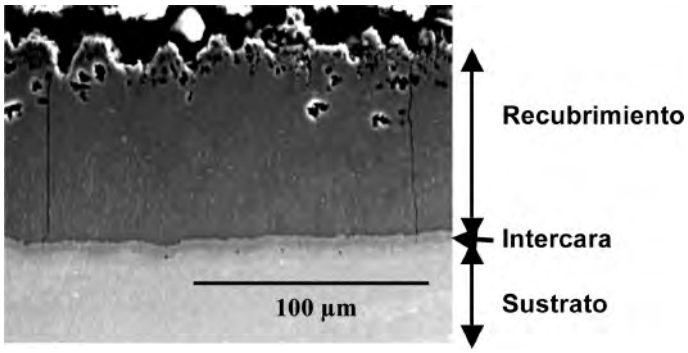


Figura 4. Recubrimiento generado después del tratamiento térmico de difusión de 10 h a 700 °C en atmósfera de gas inerte.

Con el objetivo de determinar la reacción sólido-líquido con el sustrato se realizaron tratamientos a temperaturas mayores. Si se aumenta aún más la temperatura, hasta los 1.050 °C, se ve en la figura 5, cómo el espesor aumenta notablemente y cambia la microestructura obtenida, apreciándose límites de grano en el recubrimiento y precipitados con forma de aguja, marcadas con flechas en la figura 5. Además desaparece la intercara que se veía en el recubrimiento de 700 °C, pero aparece una nueva capa cerca de la superficie con un tamaño de grano menor. La porosidad en la intercara desaparece ya que con la temperatura también aumenta la difusión de los huecos y sólo se aprecia sobre la superficie del recubrimiento.

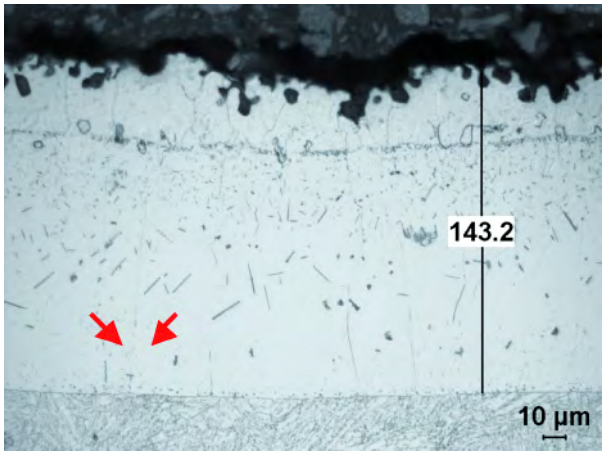


Figura 5. Recubrimiento generado después del tratamiento térmico de difusión de 10 h a 1.050 °C en atmósfera de gas inerte.

Formación del recubrimiento en función del tiempo

Como ya se ha visto (figura 4), la temperatura de 700 °C es suficiente para formar el intermetálico y generar el recubrimiento. Para ver cómo influye el tiempo en la formación del recubrimiento, las muestras se sometieron a varios tratamientos térmicos, manteniendo la temperatura constante a 700 °C y la atmósfera de gas inerte, pero durante distintos intervalos de tiempo (5, 30, 60 y 600 minutos). Las muestras se dejaron enfriar en el horno hasta temperatura ambiente.

Como puede verse en la figura 6, conforme aumenta la duración del tratamiento térmico, también aumenta el espesor del recubrimiento. Si bien entre la muestra de 5 minutos y 10 minutos de tratamiento la diferencia de espesor es casi del doble, entre las muestras de 60 y 600 minutos no ocurre lo mismo. Esto es debido a que el aluminio es el elemento limitante, ya que una vez que se consume el contenido en la capa inicial depositada, se detiene aparentemente la formación del recubrimiento, ya que los recubrimientos realizados por difusión son recubrimientos vivos que varían con el tiempo al someterlos a temperaturas próximas a las de tratamiento. Como se puede ver en la figura 7, en la muestra de 600 minutos de tratamiento aparece una intercara en el recubrimiento que no existe en la de 60 minutos. Eso se debe a que el recubrimiento reacciona con el sustrato formando una nueva fase. Se observa que incrementando el tiempo del tratamiento aumenta el espesor del recubrimiento y aumenta la porosidad cerca del sustrato y en la superficie del recubrimiento. Gracias a los resultados obtenidos mediante EDS se observa un aumento de contenido de Fe en el recubrimiento, hasta una zona donde aparecen multitud de precipitados de Cr, quizás éste sea el lugar donde estaba la superficie original del sustrato.

Los recubrimientos de aluminuro se han generado aplicando un slurry, seguido de un tratamiento térmico. Se ha comprobado mediante microscopía electrónica y DRX que en aceros ferríticos la deposición del slurry de aluminio seguida de un tratamiento térmico de 10 h a 700 °C, genera un recubrimiento complejo de aluminio (figura 7) compuesto por varias fases intermetálicas incluyendo $FeAl_3$, Fe_2Al_5 y FeAl. Por debajo del recubrimiento aparecen precipitados aciculares de AlN en el sustrato, si éste tiene suficiente N (≥ 0.01 wt. %) [12,13]. Se aprecian grietas a lo largo del recubrimiento, debido probablemente a la fragilidad de la fase Fe_2Al_5 y a la diferencia entre los coeficientes de expansión térmica entre las diferentes fases.

Estudio del mecanismo de formación

Los mecanismos de formación del recubrimiento implican desde la fusión del aluminio, seguida de un complejo proceso de disolución del acero en el aluminio fundido, hasta la interdifusión sólido-líquido, formación de intermetálicos y difusión sólido-sólido en la intercara entre el sustrato y el recubrimiento, favorecida esta última por los límites de grano. Con el objetivo de entender mejor este proceso, se ha llevado a cabo una serie de ensayos variando la dura-

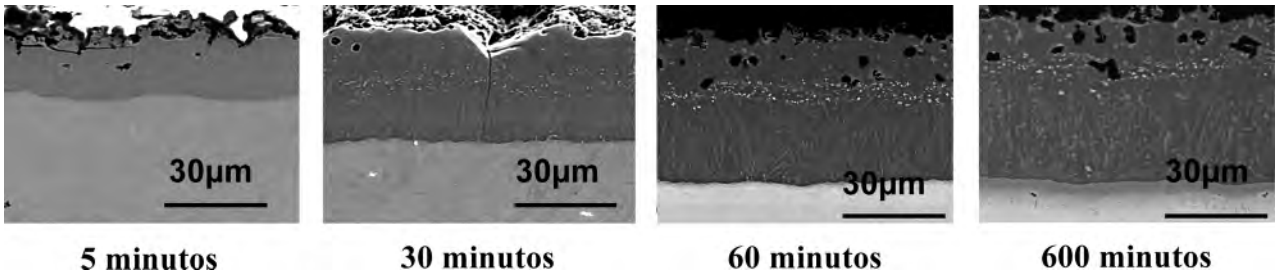
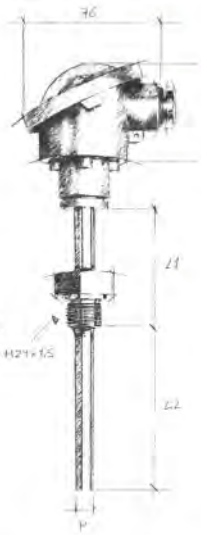


Figura 6. Variación del recubrimiento en función de la duración del tratamiento térmico a 700 °C en atmósfera de gas inerte.

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.

Suministro y Calibracion Industrial s.l.

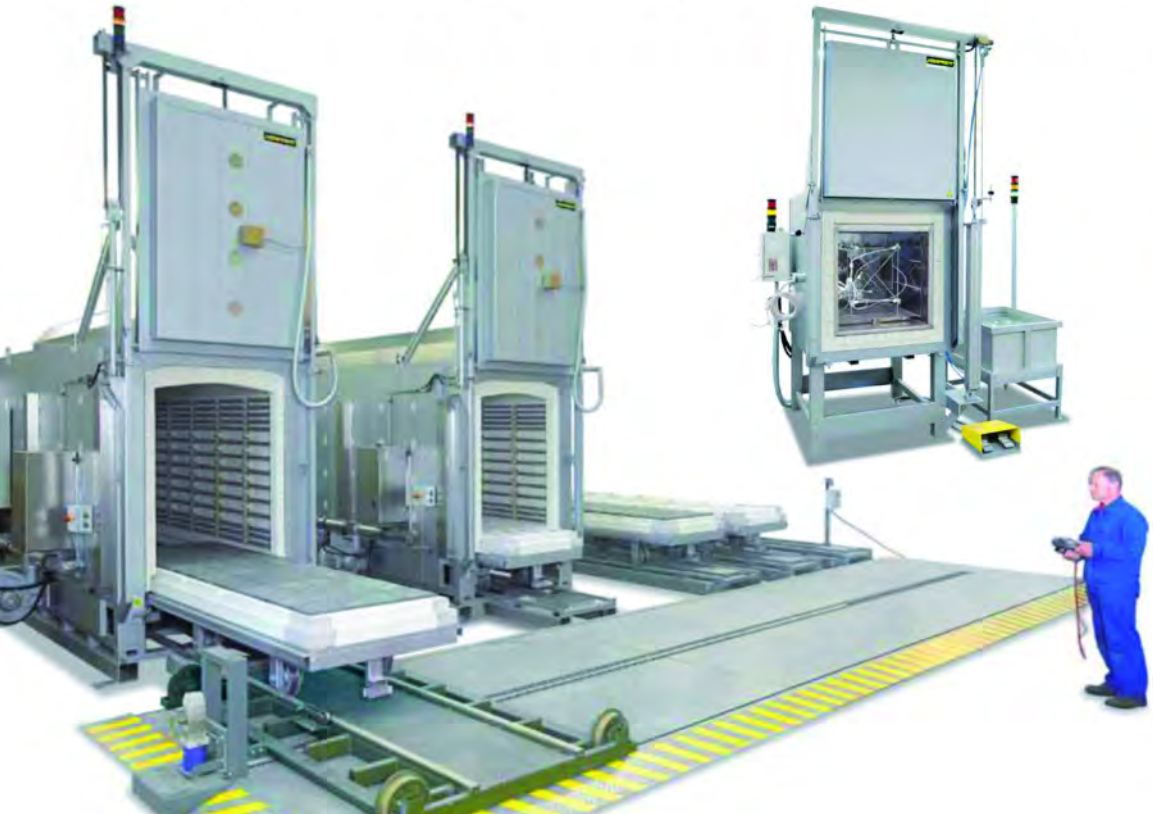
www.sciempresa.com

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

Nabertherm

MORE THAN HEAT 30-3000 °C

HORNOS INDUSTRIALES PARA TRATAMIENTO TÉRMICO



Distribuidos por: HOT

TECNICAS EN HORNOS HOT, S.L.

Polígono Ibaiondo
Pabellón nº 13
20120 Hernani - Spain
Tel: +34 943 33 72 33
Fax: +34 943 33 72 34
Mv.: +34 609 20 00 90
mail: hot@tecnicashot.com

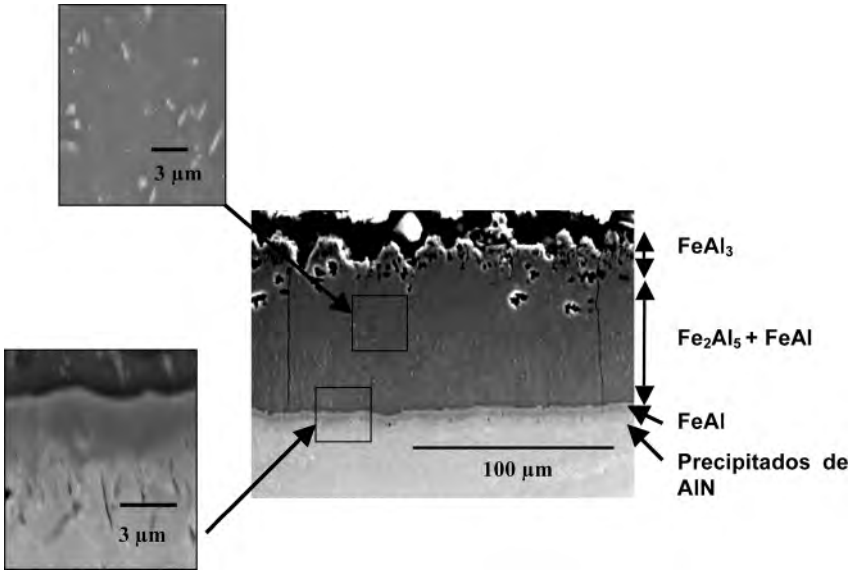


Figura 7. a) Composición y microestructura del recubrimiento generado por el tratamiento térmico a 700 °C en atmósfera de gas inerte.

ción del tratamiento térmico, durante 5, 10, 30 y 60 minutos para comparar la microestructura con el tratamiento original de 600 minutos a 700 °C.

Corte transversal

Si el tratamiento térmico se para después de sólo 5 minutos alcanzada la temperatura, se pueden observar precitados aciculares de $FeAl_2$ así como de Cr_4Al_9 embebidos en una matriz de aluminio fundido en la parte superior del sustrato (figura 8). Asimismo, los precipitados de $FeAl_2$ continúan reaccionando con el aluminio, generando fases intermetálicas ricas en aluminio como son $FeAl_3$ y Fe_2Al_5 que constituyen el recubrimiento. Se pueden observar (figura 9) precipitados aciculares de AlN (100 nm - 1 µm de longitud) por debajo del recubrimiento, justo en la parte superior del sustrato. El análisis por EDS indica una alta proporción de Al equivalente a $FeAl_3$, así como varios precipitados ricos en Cr de color blanco presentes en la parte inferior del recubrimiento. El análisis por EDS indica que la fina capa pobre en Al está muy cerca de la proporción de FeAl.

En la probeta tratada durante 10 minutos se observa un aumento del espesor del recubrimiento hasta las 36 micras, los precipitados ricos en Cr parecen tender a alinearse en paralelo con la superficie del recubrimiento diferenciando dos zonas, una exterior libre de precipitados, en la que se aprecia cierto grado de porosidad, y una interior rica en precipitados. La microdureza de la zona exterior es de 860 HV, mientras que la de la zona rica en precipitados es de 980 HV. Los valores bibliográficos para el $FeAl_3$ y Fe_2Al_5 son de 892 y 1.013 HV respectivamente [14,15]. Además la difracción por electrones mediante TEM confirma que la zona superior rica en aluminio está formada por $FeAl_3$ mientras que la zona inferior es de Fe_2Al_5. La acumulación de precipitados de Cr en la interfase puede ser causada por la baja solubilidad del Cr en la fase Fe_2Al_5.

Las muestras tratadas durante 30 y 60 minutos son similares salvo por el aumento en el espesor del recubrimiento. Puede observarse cómo la capa superior de $FeAl_3$ no varía de espesor (10-15 µm) aumentando la porosidad de esa zona, mientras que la inferior de Fe_2Al_5 crece hacia el interior del sustrato. Finalmente en la muestra tratada durante

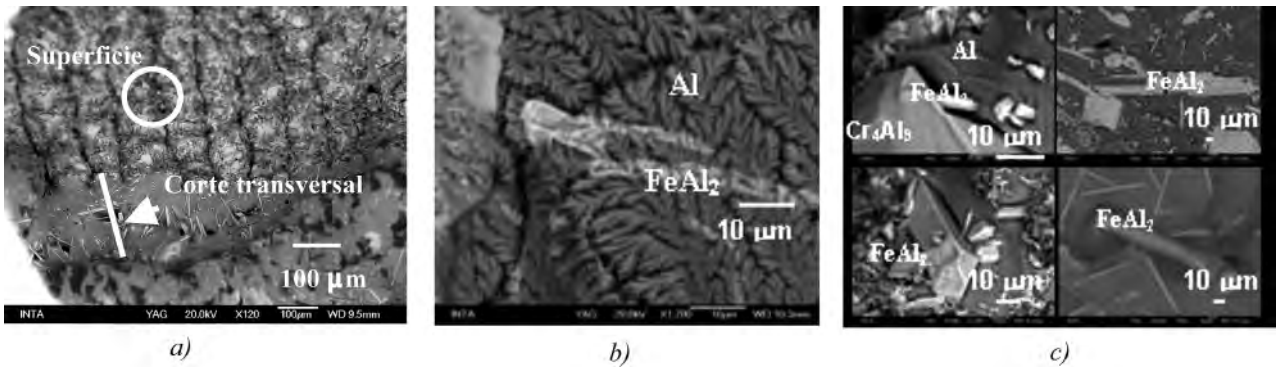


Figura 8. a) Vista en 3D del recubrimiento. b) Detalle de la superficie. c) Detalles de los precipitados formados.

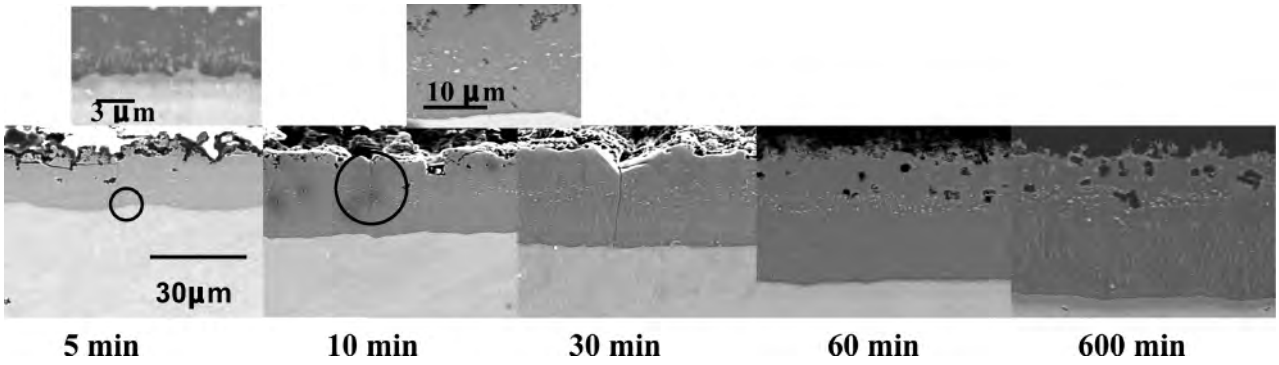


Figura 9. Variación del recubrimiento en función del tiempo de tratamiento térmico.

600 minutos se observa cómo ha crecido la capa de Fe_2Al_5 hasta que comienza a aparecer una nueva capa de FeAl en la zona inferior del recubrimiento, la capa de FeAl va creciendo a expensas de la reserva de aluminio que existe en el Fe_2Al_5, convirtiéndose la zona de FeAl en la etapa limitante.

Al ir aumentando el tiempo de tratamiento, el Al continúa reaccionando con el Fe del sustrato, provocando una disminución de la concentración de Al en el recubrimiento. Esto provoca un aumento en el espesor del recubrimiento, a la vez que el N del sustrato se libera en cantidad suficiente dando lugar a la aparición de nitruros. La cantidad de aluminio disminuye hacia el interior del sustrato (figura 10).

4. CONCLUSIONES

Los recubrimientos de aluminuro se han generado

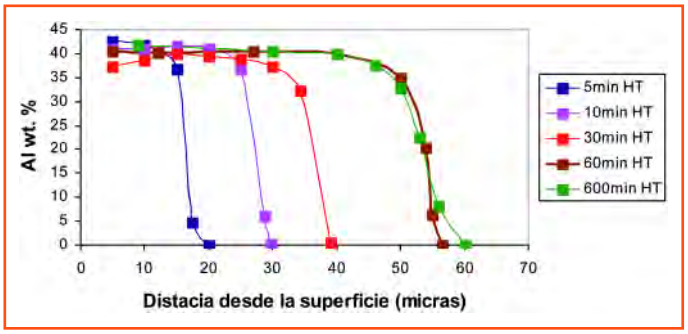


Figura 10. Variación de la cantidad de aluminio en profundidad, medido desde la superficie, para distintos tiempos de tratamiento térmico.

aplicando un slurry, seguido de un tratamiento térmico. Se ha comprobado mediante microscopía electrónica y Rx que en aceros ferríticos la deposición del slurry de aluminio seguida de un tratamiento térmico de 10 h a 700 °C, genera un recubrimiento complejo de aluminio compuesto por varias fases intermetálicas incluyendo $FeAl_3$, Fe_2Al_5 y FeAl. Por debajo del recubrimiento aparecen precipitados aciculares de AlN en el sustrato, si éste tiene suficiente N (≥ 0.01 wt. %). Se aprecian grietas a lo largo del recubrimiento, debido probablemente a la fragilidad de la fase Fe_2Al_5 y a la diferencia entre los coeficientes de expansión térmica entre las diferentes fases.

Actualmente no se conoce con exactitud cómo se forman los recubrimientos de aluminio mediante difusión en aceros ferríticos. En este trabajo se ha intentado buscar una explicación al crecimiento y desarrollo de este tipo de recubrimientos. La temperatura es un factor clave para la activación del proceso, aunque en un estrecho rango puede mejorar la formación y desarrollo de las fases deseadas. Si la reserva inicial de aluminio es suficiente, el espesor del recubrimiento aumentará con el tiempo, favoreciendo a su vez la eliminación de porosidad cerca de la intercara.

La aparición de una capa de nitruros en la intercara con el sustrato se hace más visible con la duración del tratamiento. Además estos nitruros evitan la interdifusión entre el aluminio y el sustrato, por lo que mantiene el porcentaje de aluminio en el recubrimiento haciéndolo más estable y duradero.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a los miembros del Área de Materiales Metálicos del INTA, especialmente a F. Gallego, D. Sayazo y a M. Almazán por su asistencia técnica. Éstos resultados se han obtenido dentro del proyecto Degradación y Protección de Materiales en Atmósferas de Oxi-combustión ref. ENE2011-29203-C02-01 del Ministerio de Ciencia e Innovación.

6. REFERENCIAS

[1]. DEVAN, J.H: 1989, In Oxidation of High-Temperature Intermetallics pp.1007-115. Warrendale, P.A: The Materials Society. Eds. T. Grobstein and J. Doychak.

[2]. ZIEGLER, N., 1932, Trans. AIME 100:267.

[3]. LIU, C.T., SIKKA, V.K., and McKamey, C.G., 1993 Alloy Development of FeAl Aluminide Alloys for Structural Use in Corrosive Enviromments. ORNL/TM-12199. Oak Ridge, TN; Oak Ridge National Laboratory.

[4]. McKamey, C.G., LIU, C.T., DAVID, S.A. HORTON, J.A. PIERCE, D:H:, and CAMPBELL, J.J., 1988, Development of Iron Aluminides for Coal Conversión Systems. ORNL/TM-10793. Oak Ridge, TN; Oak Ridge National Laboratory.

[5]. McKAMEY, C.G. DEVAN, J.H. TORTORELLI, P.F., and SIKKA, V.K., 1991, J. Mat. Res., 6(8); 1779-1805.

[6]. DIHEM, R.S. and MIKKOLA, D.E., 1987, In High-Temperature Ordered Intermetallics II, MRS Symp. Proc. 81: 329-334.

[7]. MARTIN SUNDQVIST AND STUREHOGMARK. Effects of liquid aluminium on hot-work tool steel. Tribology international 1993 Vol26 N2.

[8]. A. AGÜERO, M. GUTIÉRREZ, M. GARCÍA, J. GARCÍA DE BLAS, L. MADUEÑO, J. C. DEL HOYO AND S. ULARGUI, "Al Slurry Coatings to Replace Cd for Aeronautic Applications", Surface & Coatings Technology, 213 (2012), 229-238.

[9]. A. AGÜERO, R. MUELAS, M. GUTIÉRREZ, R. VAN VULPEN, S. OSGERBY AND J. BANKS, "Cyclic Oxidation And Mechanical Behaviour Of Slurry Aluminide Coatings For Steam Turbine Components", Surf. & Coat. Technol., 201 pp 6.253-6.260 (2007).

[10]. A. AGÜERO, K. SPIRADEK, M. GUTIÉRREZ, R. MUELAS AND S. HÖFINGER, "Microstructural Evolution of Slurry Fe Aluminide Coatings During High Temperature Steam Oxidation", Materials Forum, 595-598 pp. 251-259 (2008).

[11]. Binary Alloy Phase Diagrams. ASM International. Second Edition. Volume 1: 138-140, 147-149.

[12]. Y. ZHANG, B. PINT, K. COOLEY AND J. HAYNES: Surface & Coatings Technology Vol. 202 (2008), p. 3.839.

[13]. A. AGÜERO, Materials for Advanced Power Engineering 2006 Part II (2006), p. 949.

[14]. S. KOBAYASHI AND T. YAKOU: Material Science and Engineering, Vol. A338 (2002), p. 44.

[15]. M. POTESSER, T. SCHOEBERL, H. ANTREKOWITSCH AND J. BRUCKNER, EDP Congress 2006, TMS (2006), p. 167.

Para una mejor comprensión de la inducción, en aras de optimizar el uso de bobinas para forja

Por Manuel Castro, Luis Gorjón y Eugenio Pardo. ONDARLAN S.L. (Inductotherm Group Iberia)

1. INTRODUCCIÓN

Incluso para aquéllos que nunca han tenido un contacto de primera mano con el calentamiento por inducción, existen multitud de fenómenos de inducción observables en el panorama industrial. Quizás el más perverso de todos sea el calor generado por las pérdidas magnéticas en los núcleos de los transformadores: un daño colateral de la inducción que los diseñadores eléctricos se empeñan en minimizar. Sin embargo, la utilización beneficiosa de este mismo efecto colateral ha dado pie al desarrollo de toda una tecnología, capaz de aprovechar el calor generado en un conductor mediante la inducción electromagnética, con objeto de calentarlo y someterlo a diferentes procesos industriales como son la fusión, la forja y el tratamiento térmico.

Las bases del fenómeno del calentamiento por inducción son simples. Un voltaje alterno aplicado a un inductor o bobina (generalmente el inductor suele ser un solenoide) genera una corriente alterna en el circuito del inductor. Esta corriente alterna lleva asociado un campo electromagnético variable a su alrededor. La variación del campo es de la misma frecuencia que la de la corriente. El campo electromagnético variable mencionado "induce" unas corrientes eléctricas (corrientes de Foucault en terminología francesa o Eddy currents en terminología anglosajona) en los materiales conductores que se encuentran bajo su influencia. Estas corrientes inducidas son también de la misma frecuencia que la corriente del inductor, pero se oponen a ella.

Toda corriente circulando por un conductor produce calor por el llamado efecto Joule. El calor generado por efecto Joule en un circuito eléctrico, es similar al calor generado por el rozamiento en un sistema mecánico. Ambos suelen ser perjudiciales. Sin embargo, en el calentamiento por inducción se trata de hacer un uso útil de este calor, de la misma manera que en el mundo mecánico aprovechamos el rozamiento y nos frotamos las manos en los días de frío para calentarnos.

2. LA BOBINA O INDUCTOR

Una bobina de inducción actúa, en cierto modo, de una manera similar a una lupa en un sistema óptico. La lupa dobla los rayos de luz y los concentra para producir imágenes virtuales o para focalizar los rayos en un punto y quemar un papel. De hecho, en la microscopía electrónica, en lugar de lentes se utilizan bobinas para cambiar las trayectorias de los electrones y formar imágenes en la pantalla de un televisor. Algo similar ocurre con las bobinas de inducción, sobre todo en las de diseño solenoidal, como es el caso de las bobinas de forja. La corriente variable que circula por cada espira genera un campo electromagnético cuyas líneas de flujo atraviesan la bobina. Si plegamos multitud de espiras, como si de un acordeón se tratase, cada espira contribuirá a reforzar las líneas de flujo que longitudinalmente atraviesan el solenoide. De este modo incrementamos la intensidad del campo electromagnético variable en su interior.

Si colocamos un material conductor en el interior

de la bobina o del solenoide, el intenso campo magnético variable generado dentro del solenoide "inducirá" las corrientes de Foucault mencionadas anteriormente y por efecto Joule, el conductor se calentará. A mayor intensidad de campo, mayor será la intensidad de las corrientes inducidas y por tanto mayor será el calor generado, ya que éste se calcula según la siguiente fórmula (1):

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

donde Q es el calor generado, R es la resistencia del conductor, I la intensidad eléctrica y t es el tiempo.

Por último, cabe decir que las corrientes de Foucault se generan en la superficie del conductor. Su penetración hacia el interior del mismo en una bobina solenoidal varía según la fórmula (2):

$$\delta \approx \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}}$$

en la que δ es la penetración, f es la frecuencia, μ es la permeabilidad magnética del conductor y σ es la conductividad del mismo.

De esta fórmula se deduce que podemos controlar la penetración de las corrientes de Foucault modificando la frecuencia de trabajo: a mayor frecuencia menor penetración. De aquí surge una de las mayores ventajas de la tecnología de calentamiento por inducción: no sólo podemos controlar la cantidad de calor aportado a la pieza mediante la potencia del equipo; también podemos controlar la localización y penetración del mismo mediante la frecuencia de resonancia del sistema. Esta capacidad de control convierte a la inducción, en una tecnología óptima para el tratamiento térmico superficial de metales. A altas frecuencias calentamos superficialmente, es decir, penetramos poco; a bajas frecuencias penetramos más hacia el interior.

El diseño de bobinas para las diferentes aplicaciones de tratamiento térmico y calentamiento constituye un campo tecnológico vasto y fascinante. En la figura 1 se pueden apreciar diferentes solucio-

SCOPE

The workshop will address the current scientific and technological advances in the field of surface engineering for applications involving extreme or singular conditions such as high temperature, corrosive environments, biological fluids, severe loads, strong erosion or abrasion, etc.

Particular emphasis will be placed on the coating development and surface modification for achievement of improved performance in applications related to energy, mechanical, automotive, aeronautical and biomedical sectors.

This meeting will provide an excellent opportunity to gather experienced scientists and industrial partners in a discussion forum to exchange ideas that promote cooperation and technology transfer.

SESSIONS

A. Surface engineering for **energy** applications

B. Surface engineering for **mechanical** applications

C. Surface engineering for **optical** applications

D. Surface engineering for **biomedical** applications

MAIN TOPICS

- Protection in mechanical components submitted to friction, wear or fatigue (gears, cutting tools, engines, etc.)
- Coatings for energy sectors (solar pannels, CSP, fuel cells, etc.)
- Protection against corrosion, high temperature or oxidation conditions (steam pipes and turbines, reactors, etc.)
- Surface functionalization for components used in biological or medical applications (prosthesis, tools, etc.)
- Surfaces exposed to aggresive environment (sand and dust erosion, corrosive liquids, etc.)

Chairmen:
- Francisco Javier Pérez-Trujillo
- Juan Carlos Sánchez-López

Scientific Committee:
J.M. Albella, A.R. Glez-Elipe, A. Conde, J.A. Puértolas, G. G. Fuentes, J. Barriga, I. Jiménez, J.R. Ramos, A. Agüero, M. Brizuela, M. Vilasi, A.Cavaleiro, J. Esteve, J. San Román, J. Esteban, J.L. Endrino

Organized by: FUNCOAT Surface Functionalisation of Materials for High Added Value Applications · Consolider · ingESnet · INTA · CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas · Gobierno de España · Ministerio de Economía y Competitividad

nes que dependen de la geometría de la pieza, del equipo generador de potencia y frecuencia de trabajo, así como de las características del proceso de calentamiento, fusión y/o tratamiento térmico.

3. LAS BOBINAS EN EL PROCESO DE FORJA

En forja, las bobinas están construidas en forma de solenoide, con un número de espiras predeterminado y una longitud aproximada de la bobina de entre 1 m y 2 m (ver fi-

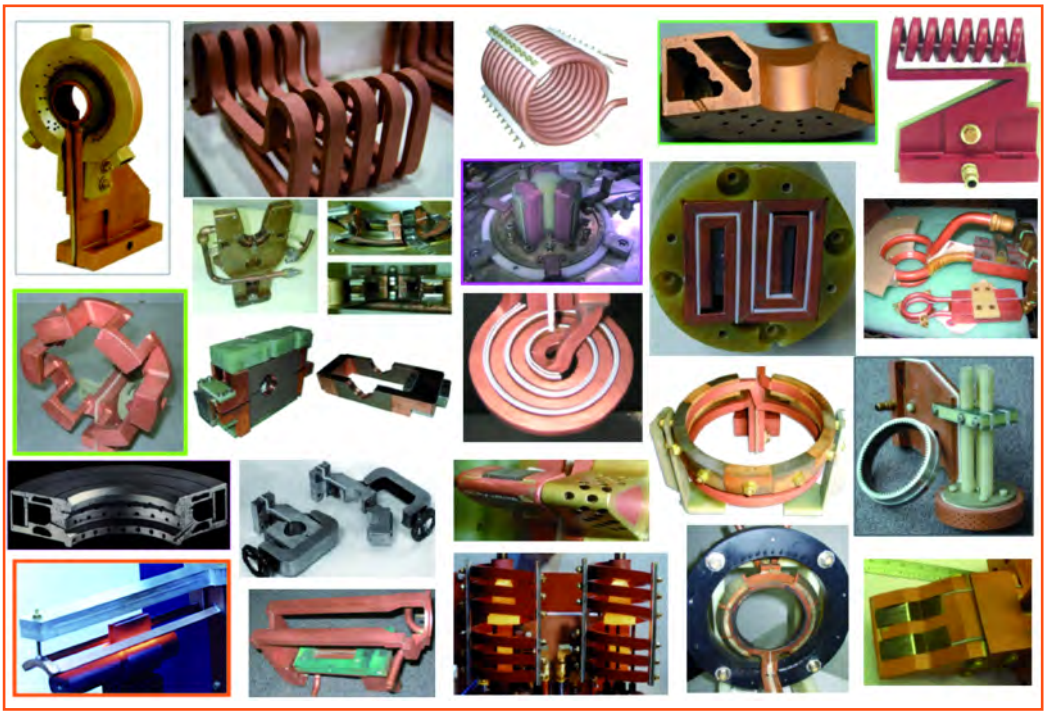


Figura 1.

guras 2, 3 y 4). El solenoide está formado por tubo de cobre con agua refrigerada circulando en su interior. Los tacos de forja circulan por dentro del solenoide atravesando una o más bobinas, según sea la necesidad de homogeneización de su temperatura de forja. A mayor productividad, mayor velocidad de avance de los tacos y, por tanto, mayor número de bobinas para la obtención de tacos homogéneamente calentados, ya que debemos dar a los tacos un tiempo mayor (mayor longitud de bobinas) para transmitir el

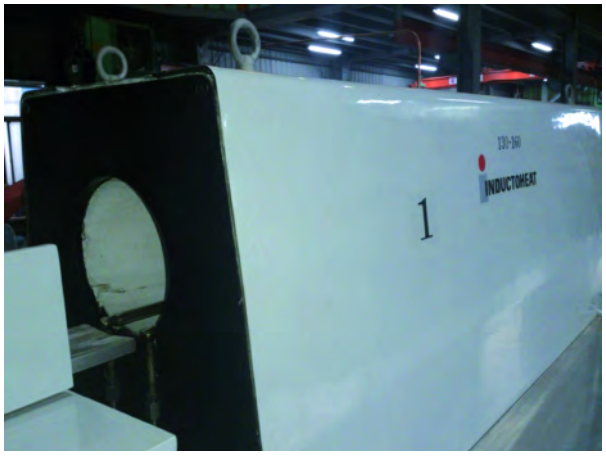


Figura 2.

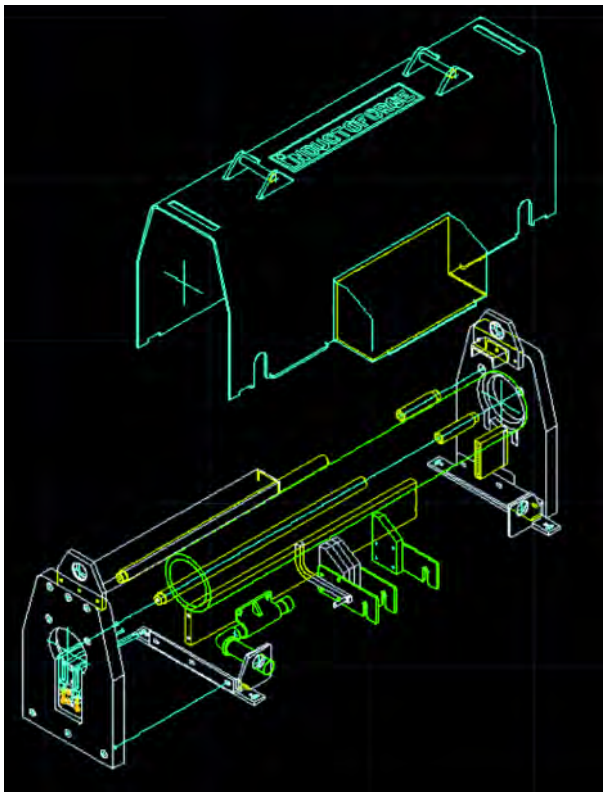


Figura 3.

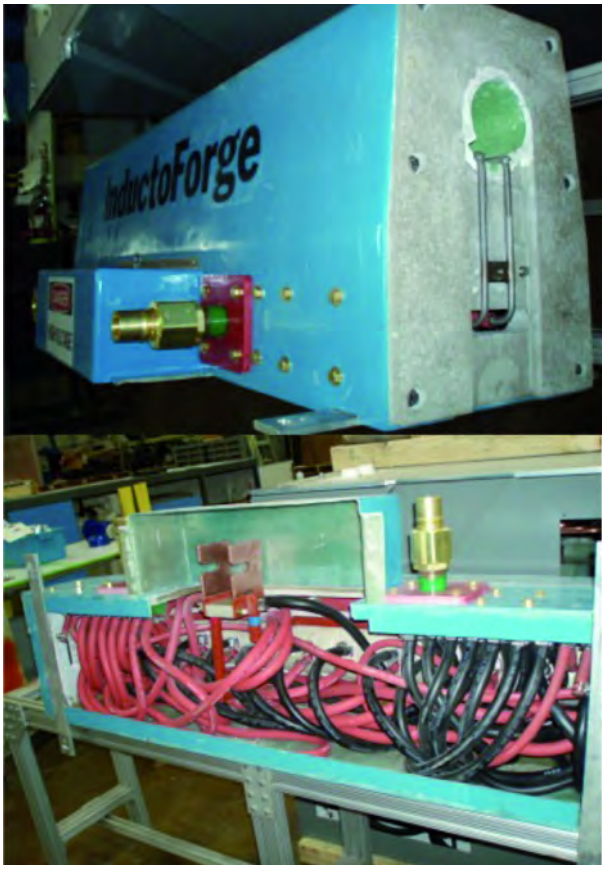


Figura 4.

calor por conducción, desde la corteza del taco hasta su interior. Esto es así porque las corrientes inducidas no penetran en el taco en su totalidad, como se aprecia en la fórmula 1: el núcleo se calienta por conducción de calor desde la zona de circulación de las corrientes de Foucault hacia el interior (ver figuras 5 y 6). Por consiguiente, es necesario un tiempo mínimo para que el taco alcance la misma temperatura en el núcleo que en la superficie, como puede observarse en la figura 6.

Con objeto de evitar las pérdidas de calor por radiación, las bobinas de forja se recubren con material refractario para minimizar la radiación de calor del taco. En ausencia de refractario se desaprovecharía gran cantidad de energía y sobre todo la superficie del taco se enfriaría rápidamente, impidiéndose el calentamiento uniforme necesario, previo al golpe posterior de la prensa.

Por último, las espiras de las bobinas están aisladas eléctricamente entre sí mediante uno de los dos métodos siguientes: bien el vendaje del cobre mediante cinta aislante o bien el recubrimiento por inmersión en polvo. Este segundo método re-

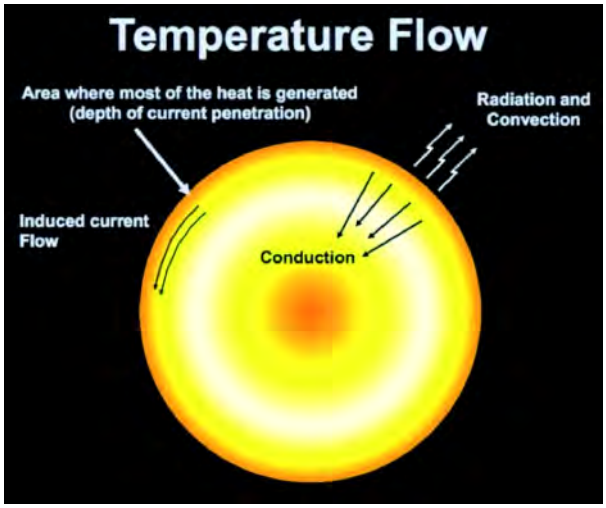


Figura 5.

quiere una exquisita limpieza del cobre previa a la inmersión y sobre todo, no permite modificar la geometría del mismo tras el recubrimiento, por el peligro de agrietamiento. Sin embargo, la inmersión es un proceso mucho menos intensivo en mano de obra que el vendaje, ya que reduce en un 50%

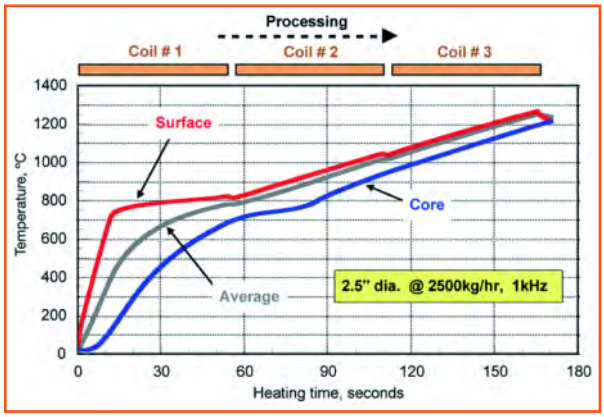
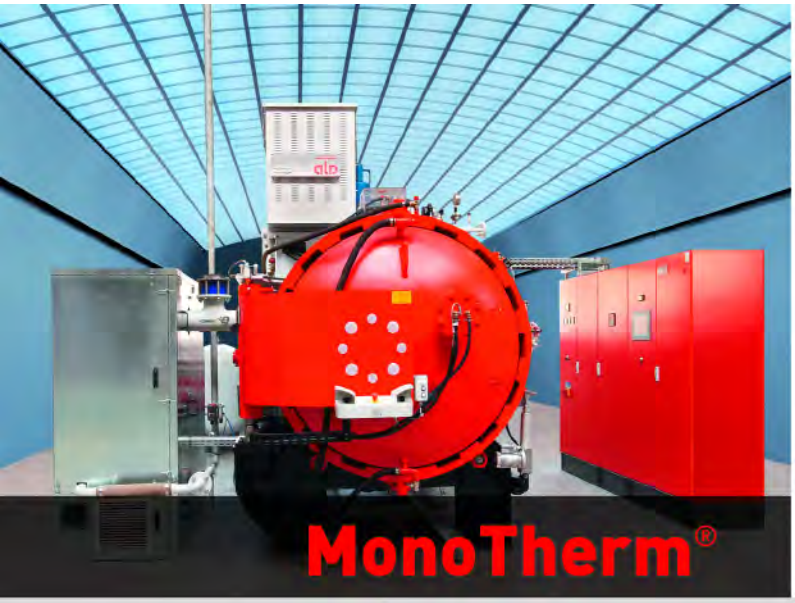


Figura 6.

el tiempo de reparación de una bobina, como veremos más adelante. (ver figura 7).

4. LA FRECUENCIA DE RESONANCIA EN UN CIRCUITO L-C

De un modo simplificado, el funcionamiento de un horno de inducción se ajusta al esquema de un circuito L-C. Para quienes no tienen conocimientos de



© appeal 104 403

Una flexibilidad que renta

Desde hace muchas décadas, ALD Vacuum Technologies construye hornos con cámara de vacío con éxito. Ahora, la nueva generación de hornos con cámara de vacío de tipo MonoTherm® ofrece la mayor flexibilidad en el tratamiento térmico.

El diseño modular proporciona los medios para personalizar la producción, según los exactos y especiales requisitos. Eso permite reducir los costes de producción, mejorar la eficiencia operativa, así como una productividad aumentada además de una alta compatibilidad ambiental.

¡Póngase en contacto con nosotros para más información!

ALD Vacuum Technologies GmbH
Wilhelm-Rohn-Strasse 35
63450 Hanau, ALEMANIA
Teléfono +49 (0) 6181 307-0
Email info@ald-vt.de
Internet www.ald-vt.de

MTC Metal Treatment Consult
101 rue de Mundelsheim
73290 La Motte Servolex, FRANCIA
Teléfono +33 (0) 479 651852
Email mtc@mtc-fours.com

Figura 7.

electricidad ni de electrónica, es conveniente utilizar analogías mecánicas para explicarlo. La analogía mecánica de una resistencia es el rozamiento o fricción que disipa energía y genera calor. Los condensadores (C) funcionan como si de muelles se tratasen, almacenando energía. Por el contrario, la analogía mecánica de una bobina es un volante de inercia que almacena energía oponiéndose al cambio. Condensadores y bobinas resultan ser almacenes de energía. Por otro lado, en otra analogía mecánica, se pueden comparar los transformadores eléctricos con reductoras mecánicas (ver figuras 8, 9 y 10).

En un circuito L-C el equilibrio se alcanza cuando la impedancia es mínima, es decir, cuando la reactancia inductiva es igual a la reactancia capacitiva. Esto significa que en equilibrio, la energía liberada por el condensador (elemento capacitivo) es igual a la absorbida por la bobina (elemento inductivo). Es

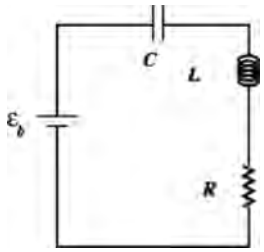


Figura 8.

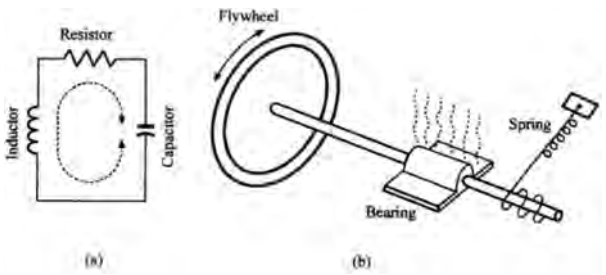


Figura 9.

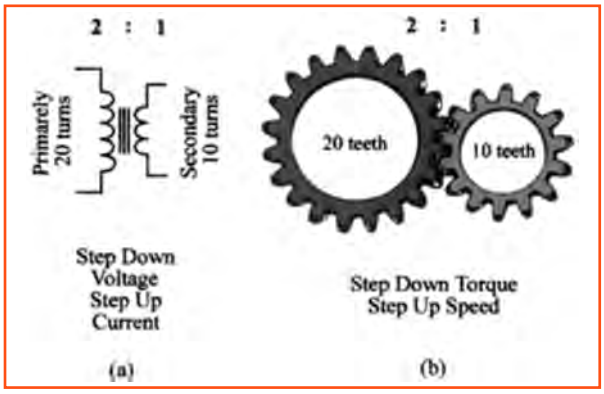


Figura 10.

decir, durante la primera mitad de un ciclo de entrada, el inductor absorbe toda la energía liberada por el condensador, y durante la segunda mitad del ciclo el condensador vuelve a capturar la energía proveniente del inductor. Es precisamente esta condición "oscilatoria" la que se conoce como resonancia, y la frecuencia en la que esta condición se da es la llamada frecuencia resonante.

En la figura 9 podemos ver la analogía mecánica de un circuito resonante, en el que la barra gira a derecha y a izquierda a la frecuencia de resonancia, a medida que el muelle y el volante de inercia intercambian mutuamente sus energías acumuladas.

Esta frecuencia resonante es la frecuencia del campo electromagnético variable, generado en la fuente de corriente para los procesos de inducción. Su valor es según la fórmula 3, con L y C la inductancia y la reactancia respectivamente:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Por tanto, mediante una relación adecuada en el diseño, número de bobinas y de condensadores, podemos construir un horno cuya frecuencia de trabajo sea la frecuencia deseada. Una vez diseñadas las bobinas de forja, añadiendo o quitando condensadores, podremos ajustar y optimizar la frecuencia de resonancia de trabajo, para cada caso. Téngase en cuenta que en el campo de la forja, ésta frecuencia se encuentra en la ventana de entre 1 y 10 KHz, es decir, estamos hablando de hasta 10.000 ciclos por segundo.

5. LA FRECUENCIA ADECUADA Y EL DIÁMETRO ÓPTIMO

Como se ha visto anteriormente, en el proceso de forja, la productividad del proceso (kg/h) viene de-

terminada por la potencia del equipo utilizado, mientras que el diámetro de los tacos susceptibles de calentar determina la frecuencia óptima de trabajo. En la tabla 1 se puede apreciar, cómo seleccionar la frecuencia en función de los diferentes diámetros de trabajo y de los materiales. Si utilizamos una frecuencia inferior a la recomendada, las corrientes de Foucault penetrarán en el taco más de lo debido y si utilizamos una frecuencia superior, las corrientes no penetrarán lo suficiente. En el primer caso, dependiendo del déficit de frecuencia, puede haber incluso cancelación de corrientes si este déficit es muy alto, e impedir alcanzar la temperatura requerida. Si el déficit no es muy alto, se alcanzará la temperatura pero a un coste energético superior. En el segundo caso, para frecuencias excesivas, el núcleo del taco no se calentará lo suficiente aunque la superficie alcance la temperatura deseada. También puede ocurrir que el calor en la superficie sea excesivo y se produzca fusión y pegado de los tacos. No olvidemos que las corrientes inducidas giran más o menos superficialmente alrededor del eje de simetría de revolución del propio taco. Por último, hay que tener en cuenta que los pirómetros sólo miden la temperatura superficial, nunca la del núcleo y, por ello, en muchos casos podemos tomar como buenos, tacos que estén internamente fríos. Debemos §tener mucha precaución en este asunto.

Por otro lado, el binomio bobina-taco, para funcionar óptimamente, debe tener simetría de revolución. De este modo, las líneas de flujo del campo magnético variable inducido serán paralelas al eje de simetría del taco e inducirán corrientes de Foucault de la misma intensidad en su superficie. Por ello, en teoría, cada taco deberá de estar lo más centrado posible en la bobina, con objeto de aprovechar al máximo el flujo magnético. Si esto no es así, se produce un desacoplamiento en el sistema y los tacos "desacoplados" pueden requerir una mayor intensidad de campo (mayor energía) para su calentamien-

Cómo seleccionar eficientemente la frecuencia en función del diámetro (en mm)

Material	Temp.	30 kHz	6 kHz	3 kHz	1 kHz	500 Hz	200 Hz
Acero	1250 °C	10-30	20-65	24-85	50-150	80-200	120-350
Bronce	750 °C	6-12	10-20	15-30	20-50	25-150	45-250
Cobre	850 °C	2-4	4-15	10-20	10-20	20-150	40-250
Aluminio	450 °C	4-8	8-20	15-25	20-50	20-160	35-250

Unidades : mm

Tabla 1.

HOT Técnicas en Hornos HOT S.L.

AICHELIN Group

HORNOS DE TRATAMIENTO – MAQINAS DE INDUCCION - QUEMADORES

Hauzer TECHNO COATING PVD / PACVD TECHNOLOGY

EQUIPOS DE PVD – Y - PACVD

Lohmann Qualität in Edelstahl

UTILLAJES – PARRILLAS - CESTAS

PINTURAS ANTICEMENTANTES - ANTINITRURANTES

DISEÑO Y CONSTRUCCION

HORNOS DE LABORATORIO E INVESTIGACION

SERVICIO TECNICO

REPUESTOS PARA HORNOS IPSEN

TECNICAS EN HORNOS HOT S.L.

Polígono Ibaiondo
Pabellón nº 13
20120 Hernani - Spain

TF : + 34 943 33 72 33
Fax : + 34 943 33 72 34
Mv. : + 34 609 20 00 90

e-mail: hot@tecnicashot.com

to adecuado y homogéneo, así como de mayor tiempo (o longitud de bobina). Consecuentemente, cada diseño de bobina es sólo válido para un rango determinado de diámetros, como puede verse en las figuras 11 y 12.

6. MANTENIMIENTO

En una bobina de forja la corriente eléctrica circula por las espiras. Además, hay circulación de agua de refrigeración por el interior del tubo hueco que constituye la bobina. Por último, hay un movimiento permanente de los tacos, que avanzan a través del solenoide sobre patines metálicos durante el proceso de calentamiento. Simultáneamente la bobina está sometida a fuerzas electromagnéticas y vibraciones surgidas del carácter variable del campo electromagnético que genera. Electricidad, calor y movimiento mecánico son los tres factores más importantes que contribuyen a envejecer y deteriorar las bobinas. Los fallos de refrigeración pueden "quemar" y fundir el cobre. Un mal aislamiento puede hacer saltar arcos eléctricos entre espiras, o entre una espira y el taco, principalmente a través de la cascarilla desprendida. También el refractario puede agrietarse debido al golpeo, vibraciones y rozamiento de tacos mal alineados. Todo ello ocurre siempre en un entorno de altas temperaturas, lo que en definitiva, hace de las bobinas un elemento semi-consumible cuyo

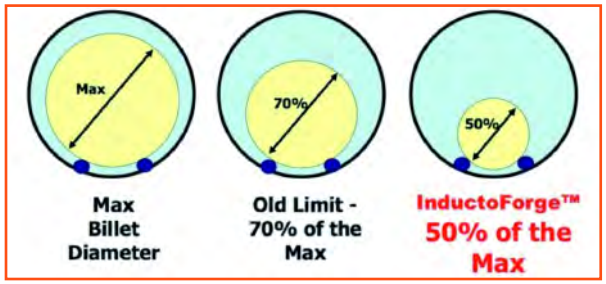


Figura 11.

Bobinas estándar para cada diámetro

UF 45	13-15mm	UF 90	33-50mm	UF 144	85-100mm
UF 52	16-20mm	UF 108	50-65mm	UF 170	100-120mm
UF 67	20-33mm	UF 127	65-85mm	UF 200	120-150mm

Figura 12.

Figura 13.

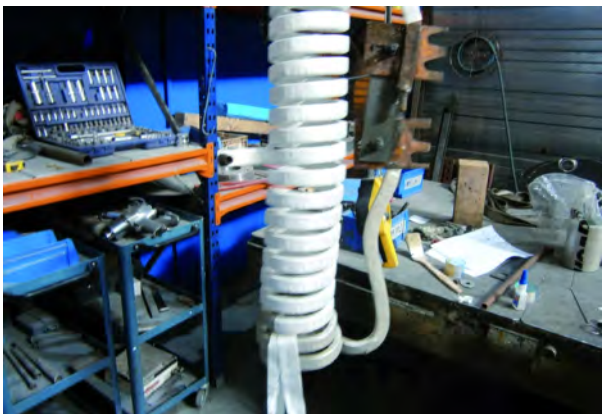


Figura 14.

mantenimiento y reparación periódicos son fundamentales en un taller de forja.

La reparación de las bobinas de forja requiere de un protocolo exhaustivo que permita la detección de fugas de agua, la comprobación de los aislamientos y su sustitución en los casos de deterioro de los mismos, el picado del refractario defectuoso y su cambio por refractario nuevo... Una adecuada selección de los materiales utilizados en las sustituciones anteriores (refractario, cintas aislantes, polvo, barnices, pintura anti-calórica, bobinas, soldaduras y recargues ...) permitirá una mayor duración de las bobinas reparadas. Respecto al aislamiento de las espiras, como se ha mencionado anteriormente, caben dos opciones excluyentes: el vendaje del cobre por medio de diferentes calidades de cinta o la inmersión del mismo en polvo aislante. La inmersión es un proceso rápido que simplifica el aislamiento respecto al vendaje, ya que el encintado de una bobina es un procedimiento muy largo y tedioso. Cada vez es mayor la tendencia en el mercado a utilizar bobinas aisladas con polvo fluidificado en lugar de encintadas. Sin embargo, a día de hoy, el encintado sigue siendo el método de aislamiento más común.

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

Algunas consideraciones sobre los aceros para rodamientos

Por Manuel Antonio Martínez Baena y José Mª Palacios Reparaz (†)

Introducción

Tradicionalmente los aceros para rodamientos constituyen una categoría aparte del conjunto de aceros finos de construcción mecánica. Son materiales muy limpios, de alta pureza y elevada resistencia a la fatiga, que deben responder a una serie de requisitos, entre los cuales destacamos los más importantes:

- Gran resistencia a las solicitaciones cíclicas de compresión superficial.
- Gran resistencia a las solicitaciones de cizalladura –*esfuerzos cortantes*– que, según la teoría del contacto elástico de **Hertz**, son máximas en aquella zona inmediatamente por debajo de la superficie de la zona de contacto.
- Gran dureza superficial. [HRC = (62 ÷ 65)].
- Gran resistencia al desgaste.

Es necesario, pues, para tales requisitos disponer de aceros de fácil temple y que se consiga en ellos una estructura fundamentalmente martensítica, con una muy importante cantidad de carburos finos repartidos de forma homogénea por toda la masa matricial.

El conjunto de características de este grupo de aceros es muy relevante, dado la considerable e importante repercusión económica que tienen los rodamientos en la industria en general. En efecto, se estima que la producción mundial de rodamientos, de todo tipo y dimensiones, llega aproximadamente a más de dos millones de toneladas/año [> 2.000.000 Tm/año]. Esto supone que la producción de acero para rodamientos, sobrepasará también, los tres millones de toneladas/año, [>3.000.000 Tm/año]; de las cuales el 80 por 100 (80%) se fabrica, como más adelante veremos, en una sola calidad de acero: el **acero 100Cr6**. A este hecho insólito, se le añade el carácter específico de las exigencias solicitadas a los aceros para rodamientos. Por lo que entendemos que las altas exigencias y normativas del acero, derivan directamente de las propiedades intrínsecas del propio rodamiento y de su forma de funcionamiento, que conducen asimismo, a unas soluciones metalúrgicas sin parangón en el ámbito de los aceros finos de construcción mecánica.

Las altas exigencias solicitadas en las especificaciones de los aceros para rodamientos, han obligado al acerista a una mejora continuada en todas las pautas de fabricación del acero –*fusión*, *colada*, *desbaste*, *laminación*, *tratamientos térmicos de recocido*, etc.– y realizar exhaustivos controles a lo largo de todo el proceso metalúrgico, para satisfacer al máximo las necesidades de este sector industrial de alta tecnología, que necesita un acero con calidad muy específica.

1. Mecánica de los rodamientos y sus exigencias metalúrgicas

Desde el punto de vista de caracterización del material, el aspecto más importante de la mecánica

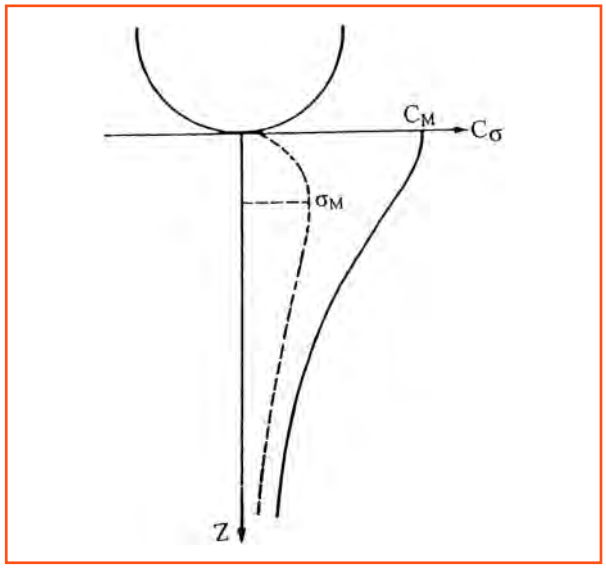


***Figura 1**. Teoría de los contactos elásticos de Hertz. Diagrama de los esfuerzos en el contacto por rodadura.*
***C_M** = tensión máxima de compresión.*
***σ_M** = tensión máxima de cizallamiento.*

de los rodamientos es el carácter puntual del contacto entre aro-cuerpo rodante. La teoría de contactos elásticos de **Hertz** –**figura 1**– puede resumir el complejo sistema de esfuerzos aplicados en la superficie de rodadura de las piezas en contacto: camino de rodadura-cuerpo rodante.

Los esfuerzos de compresión normales alcanzan su máximo en $\mathbf{C_M}$, centro del contacto elíptico en la huella de la superficie, mientras que el esfuerzo máximo cortante σ_M está situado más hacia el interior del material. La teoría de **Hertz** pone de manifiesto que entre dos piezas en contacto y bajo cargas o esfuerzos cíclicos se producen:

- Tensiones de compresión máximas en superficie que pueden alcanzar valores, normalmente, comprendidos entre 250 y 350 daN/mm^2 [$\mathbf{C_M}$ = (250 ÷ 350) daN/mm^2 = (2.500 ÷ 3.500) MPa].

- Tensiones de cizallamiento cuya amplitud máxima, conseguida en profundidad, que pueden sobrepasar los 100 daN/mm^2 [$\sigma_M \geq$ 100 daN/mm^2 ≥ 1.000 MPa].

Valores tan elevados de las solicitaciones, particularmente relacionados con el trabajo normal de cualquier tipo de rodamiento, son del todo inhabituales en el cálculo de otro tipo de piezas mecánicas. A esta primera característica, propia de la mecánica de los rodamientos se añade, de una manera evidente, el hecho de que las solicitudes soportadas por el material son cíclicas y dan lugar a problemas de fatiga. Siendo ésta la causa principal del origen y degradación progresiva de los componentes integrantes del rodamiento.

La conjugación de estos dos factores, –*solicitaciones elevadas* y *esfuerzos de fatiga*– conduce naturalmente a la exigencia de un material –**acero**– capaz de adquirir por temple, una dureza elevada en la zona de contactos elásticos de **Hertz**. En la práctica se considera una dureza superior a los 58 HRC (HRC ≥ 58)... mejor si se sobrepasan los 60 HRC (HRC ≥ 60). En el plano metalúrgico, tales y fundamentales exigencias pueden ser satisfechas con el empleo sistemático de aceros altos en carbono [**C** = (0,80 ÷ 1,00%)] y con un aceptable contenido de cromo [**Cr** = (1,35 ÷ 2,10%)]. Son aceros de endurecimiento total o másico de temple martensítico.

2. Los diferentes grupos de aceros para rodamientos

Los tres grupos principales de aceros para rodamientos, completamente diferenciados, son asimismo de importancia muy desigual, ya que en el grupo de aceros con cromo (**Cr**) de **baja aleación** y **temple másico**, el acero **100Cr6** es el más característico, ya que representan alrededor del 90 por 100 (90%) de la producción total de los aceros para rodamientos.

El grupo de **aceros de cementación** constituyen la otra parte esencial: al rededor del 10 por 100 (10%). Al grupo de **aceros fuertemente aleados** –*aceros inoxidables martensíticos* y *aceros rápidos*– para usos especiales, le corresponde apenas el 1 por 100 (≤ 1%) del acero total producido para rodamientos.

2.1. *Aceros al cromo de débil aleación* y *de temple másico*

La composición química de los aceros de este grupo se deriva de la composición del acero base **100Cr6**; **tabla I**. El acero **100Cr6** es el más representativo de todos los aceros para rodamientos, ya que con él se cubre el 95 por 100 (95%) de las necesidades de los aceros con temple profundo o másico, destinados a la fabricación de rodamientos.

ACERO EN/UNE Simbólica	COMPOSICIÓN QUÍMICA [%]					
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
100Cr6	0,95 ÷ 1,10	0,15 ÷ 0,35	0,20 ÷ 0,40	1,35 ÷1,60	0,10	–
100CrMn6	0,90 ÷ 1,05	0,50 ÷ 0,70	1,00 ÷ 1,20	1,40 ÷1,65	–	–
100CrMo7	0,90 ÷ 1,05	0,20 ÷ 0,45	0,20 ÷ 0,40	1,65 ÷1,95	0,15÷0,30	–
100CrMnMoV8	0,90 ÷ 1,05	0,60 ÷0,90	1,50 ÷1,70	1,80 ÷2,10	0,25÷0,40	0,05 ÷ 0,15

***Tabla I**. Composición química de los principales aceros de baja aleación al cromo (Cr), de temple másico.*

La composición química media característica del acero **100Cr6**, es muy simple: **C = 1,00%**; **Cr = 1,50%**. La existencia del resto de aceros de la **tabla I** está, no obstante, justificada por la templabilidad limitada del acero **100Cr6** para ciertas dimensiones –*sección* y *espesor*–, especialmente considerables de algunos rodamientos. En la práctica y observando las curvas Jominy de este grupo de aceros, –**figura 2**– nos permite satisfacer casi todas las necesidades de fabricación.

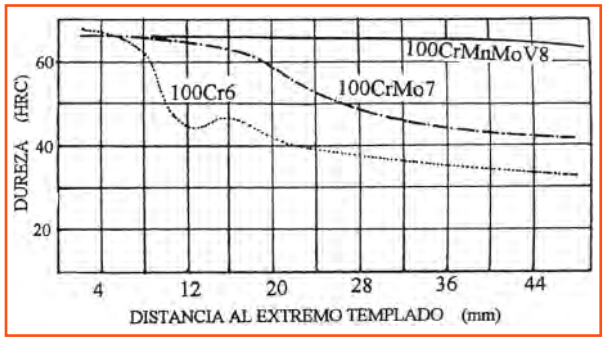


***Figura 2**. Curvas Jominy de 3 aceros al cromo para rodamientos de temple másico. **Tabla I**.*

El aumento de templabilidad de los aceros **100CrMn6** y **100CrMo7** se debe al alto manganeso [**Mn** = (1,00 ÷ 1,20%)] del primero y al contenido de molibdeno [**Mo** = (0,15 ÷ 0,30%)] del segundo. Templabilidad que, en ambos, se puede considerar como muy próxima entre sí. La elección entre una u otra composición corresponde básicamente a las tradiciones propias de cada fabricante de rodamientos. Señalaremos, no obstante, que la ventaja de utilizar el acero **100CrMn6** es fundamentalmente por su más baja temperatura de austenización, que ocasiona una menor propensión a las deformaciones por temple y revenido, y al mismo tiempo tiene una mayor aptitud al temple bainítico y/o bainítico-martensítico; **figura 3**. Tratamiento éste que, a igual dureza de un temple + revenido con-

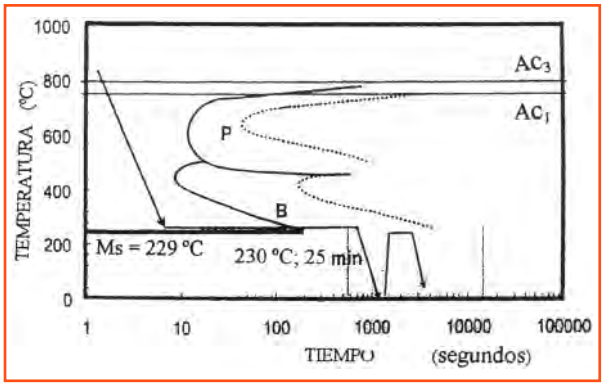


Figura 3.** Esquema representativo del temple bainítico-martensítico + revenido a 180 °C. **Acero 100CrMn6.

vencional, aumenta la tenacidad y resistencia a la fatiga de las piezas así endurecidas.

La utilización del acero **100CrMnMoV8** está reservada, por su mayor aleación, a la construcción de rodamientos de grandes dimensiones. Circunstancia ésta que limita muy mucho su producción, ya que la aplicación de tales rodamientos es muy escasa.

2.2. *Aceros de cementación*

Los **aceros de cementación** se utilizan en la industria del rodamiento cuando interesan particulares características de dureza sólo en superficie del componente, y en el núcleo la tenacidad típica de los aceros de bajo carbono templados.

En la categoría de aceros de cementación indicamos cuatro composiciones principales; **tabla II**. El acero más utilizado es el **20NiCrMo2**, ya que su consumo representa aproximadamente el 85 por 100 (85%) del total de los aceros de cementación empleados en la fabricación de rodamientos. Los aceros al cromo-manganeso (**Cr-Mn**) son más económicos debido a su menor aleación.

ACERO EN/UNE Simbólica	COMPOSICIÓN QUÍMICA [%]					
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
20NiCrMo2	0,18 ÷ 0,23	0,10 ÷ 0,40	0,70 ÷ 0,90	0,40 ÷ 0,70	0,40 ÷ 0,60	0,20 ÷ 0,30
18NiCrMo4	0,16 ÷ 0,22	0,20 ÷ 0,35	0,50 ÷ 0,80	0,90 ÷ 1,20	0,35 ÷ 0,55	0,20 ÷ 0,30
20NiCrMo7	0,16 ÷ 0,22	0,20 ÷ 0,35	0,45 ÷ 0,65	1,65 ÷ 2,00	0,40 ÷ 0,60	0,20 ÷ 0,30
20MnCr5	0,17 ÷ 0,22	0,15 ÷ 0,40	1,10 ÷ 1,40	–	1,00 ÷ 1,30	–

***Tabla II**. Grupo de aceros de cementación de baja aleación.*

Los aceros al níquel-cromo-molibdeno [**Ni-Cr-Mo**], presentan una gran facilidad de cementación, circunstancia que es debida al perfecto equilibrio entre sus aleoelementos: níquel (**Ni**), Cromo (**Cr**) y molibdeno (**Mo**). No obstante, la templabilidad y las propiedades de empleo –*dureza*, *límite elástico*, *resistencia a la fatiga*, etc.– son muy similares al de los aceros cromo-manganeso (**Cr-Mn**); por lo que, también, la elección de uno u otro grupo de aceros es cuestión de tradición.

En este grupo de aceros [**Ni-Cr-Mo**], el incremento sistemático de los contenidos de níquel (**Ni**) corresponde, al igual que ocurre en el grupo de aceros al cromo (**Cr**) de temple profundo, a un aumento progresivo de la templabilidad del acero base; que responde fundamentalmente a la necesidad de conseguir las características mecánicas necesarias para cada tipo de rodamiento en función de sus dimensiones.

2.3. *Aceros de alta aleación para rodamientos de usos especiales*

En esta categoría de rodamientos sólo nos limitaremos a la utilización de aceros inoxidables empleados en la fabricación de rodamientos de uso en medios corrosivos; **tabla III**.

El acero más utilizado es **X100CrMo17**, debido a su alta templabilidad y a una muy aceptable resistencia a la corrosión en ambientes agresivos. El acero **X55Cr13** le sigue, pero a gran distancia.

ACERO Norma EN/UNE Simbólica	COMPOSICIÓN QUÍMICA media [%]				
	C	Si	Mn	Cr	Mo
X55Cr13	0,55	0,40	0,50	13,00	–
X100CrMo17	1,00	0,40	0,60	17,00	0,50

***Tabla III**. Grupo principal de aceros inoxidables martensíticos de uso en rodamientos.*

El tratamiento térmico –*temple + revenido*– de los aceros inoxidables, el temple es más complejo en comparación con el de los aceros del primer grupo; –*aceros de baja aleación al cromo de temple másico*– lo mismo ocurre con el grupo de los aceros de cementación. Circunstancias que conducen a diferencias sustanciales del mencionado tratamiento térmico en este grupo de aceros inoxidables:

- Temperaturas de austenización y temple por encima de los 1.000 °C.
- Significativo aumento de austenita retenida de temple que obliga, en la mayoría de los casos, a realizar un tratamiento suplementario a temperatura bajo cero (**–0 °C**): tratamiento subcero.

En todos los casos y en los tres grupos descritos, la elección de las temperaturas de revenido después del temple, está igualmente influenciada por la composición química del acero correspondiente.

- Aceros que componen las **tablas I** y **II**. Temperaturas de revenido comprendidas entre 160 y 180 °C con las que se consigue conservar la dureza mínima de trabajo en servicio: 60 HRC (HRC ≥ 60). Prácticamente no se altera la dureza alcanzada en el temple.
- Aceros inoxidables: **tabla III**. La resistencia a la corrosión va unida a una excelente estructura martensítica de temple, por lo que la temperatura de revenido ha de ser baja. Se recomienda una temperatura del orden de 160 ± 10 °C. Hay que evitar temperaturas de revenido relativamente altas, ya que provocan una menor dureza y una más baja resistencia a la corrosión.

3. La elaboración de los aceros para rodamientos

En la actualidad, particularmente en el campo de los aceros para rodamientos y otros aceros especiales, se ha pasado de realizar la elaboración del acero, ***fusión*** y ***afino***, en el horno de arco eléctrico, a utilizar sólo el horno eléctrico para efectuar la fusión y la defosforación. El afino se realiza en una instalación independiente denominada **horno-cuchara**, que se complementa con una **estación de desgasificado al vacío**. El conjunto de instalaciones compone el sistema o proceso de elaboración actual del acero líquido –*horno-cuchara-vacío* [**HCV**]–, denominado **metalurgia secundaria**; **figura 4**.

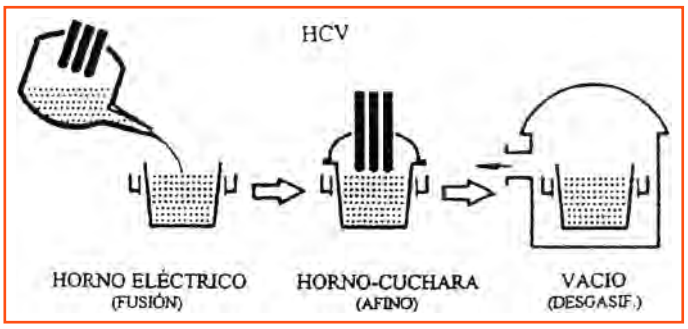


Figura 4. *Esquema representativo del proceso de fabricación de los aceros para rodamientos y aceros de herramientas en general: Horno-Cuchara-Vacío* (**HCV**).

Tales instalaciones, junto con otros cuidados en el proceso clásico de fusión, permiten la fabricación de **aceros limpios** –*clean steel*– y llamados por algunos, también, aceros **ULO** –*ultra low oxygen*–. Los aceros limpios se van incorporando de forma sistemática a la fabricación de rodamientos y a otras piezas de alta responsabilidad mecánica**:** (1) piezas que necesiten para su hechurado en frío una cierta e importante conformabilidad; (2) piezas que necesiten elevada resistencia a la fatiga; (3) piezas que necesiten gran templabilidad y tamaño de grano controlado; y (4) grandes piezas resistentes al agrietamiento inducido por hidrógeno: **copos**.

La técnica de fabricación de los aceros limpios ha aportado una notable mejora de calidad. Las condiciones de pureza en fósforo (**P**) y en azufre (**S**) exigidas en los cuadernos de cargas, relativo a los aceros para rodamientos, son indicadas en las cláusulas concernientes a la limpieza inclusionária: **aceros limpios**.

Las severas exigencias de los aceros para rodamientos, junto a la demanda de una alta calidad interna de las barras, alambrones y demás productos elaborados en caliente, así como una buena reproducibilidad de la repuesta del material a los tratamientos térmicos; ha obligado a los aceristas a poner a punto, reiteramos, unas muy competentes instalaciones de **metalurgia secundaria.** La generalización de este proceso para la fabricación de los aceros para rodamientos, ha comportado una mejora general en la calidad metalúrgica de los mismos**:**

- Desaparición casi completa de los defectos internos, referente a la presencia del hidrógeno.
- Disminución muy importante de los contenidos residuales de oxígeno, y asimismo mejora general de la pureza en inclusiones tipo óxidos.
- Aumento de los resultados de temple, preferentemente de endurecimiento martensítico.

Todo esto conduce a la obtención de un canal de análisis más repetitivo que asegura una regularidad cuasi perfecta en los tratamientos térmicos, limpieza inclusionária y micrográfica extraordinarias, así como excepcionales resultados en el endurecimiento por temple.

4. El recocido de los aceros para rodamientos

Los componentes de los rodamientos –*anillos* y *cuerpos rodantes*– se fabrican partiendo de barras, alambres, tubos, piezas forjadas, etc.; materiales todos ellos a los que se les da forma mediante mecanizado con arranque de viruta o bien por estampado o forjado en frío y, a veces, en caliente. Para esto es necesario que el acero, tanto para uno u otro sistema de mecanizado, tenga una buena calidad de recocido.

4.1. *Recocido de los aceros al cromo de temple másico*

Estos aceros en su estado natural, es decir en bruto de laminación o de forja, son prácticamente inmecanizables, ya que su estructura está constituida por**:**

- Una precipitación de cementita proeutectoide sobre los primitivos granos de austenita.
- Una masa matricial completamente perlítica, constituida por un agregado de laminillas alternadas de ferrita y de cementita: **perlita**.

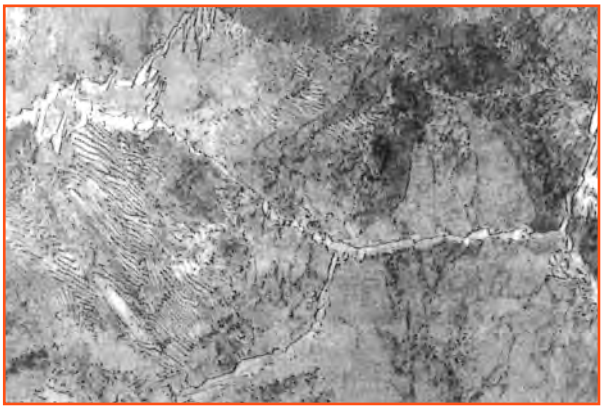


***Figura 5**. Estructura en estado bruto de laminación o de forja (X 1000). **Acero 100Cr6**.*

Una estructura natural bruto de laminación o de forja –**figura 5**–, volvemos a insistir, es extremadamente difícil de mecanizar por arranque de viruta. Imposible también de estampar o conformar en frío, debido fundamentalmente a su elevada dureza (HB > 300). De hecho la única estructura capaz de dejarse trabajar, tanto por arranque de viruta o bien por forja o estampación en frío, –*la práctica así lo demuestra*– es la que denominamos globular; constituida por finos glóbulos de cementita dispersos uniformemente en una masa matricial o matriz ferrítica, –**figura 6**– que representa igualmente el ablandamiento máximo del material correspondiente (HB ≤ 220).

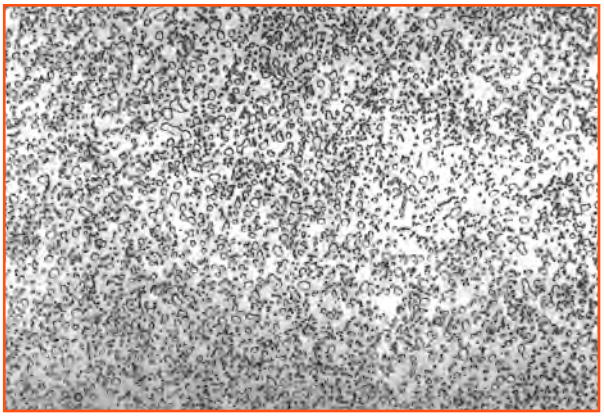


Figura 6**. Estructura correcta de recocido globular (X 1000). **Acero 100Cr6.

El ciclo de recocido globular de los aceros al cromo para rodamientos –**figura 7**– comporta dos fases fundamentales:

- Una puesta en solución de los carburos en la austenita, cuando el acero es calentado a una temperatura por encima de la de los puntos críticos **Ac_1/Ac_3**, pero claramente por debajo de la temperatura **Acm** para disolución completa de los carburos**.** Con ello se trata de obtener la disolución y rotura parcial de las laminillas de cementita; procurando, al mismo tiempo, que permanezca una fina dispersión de carburos en la austenita.

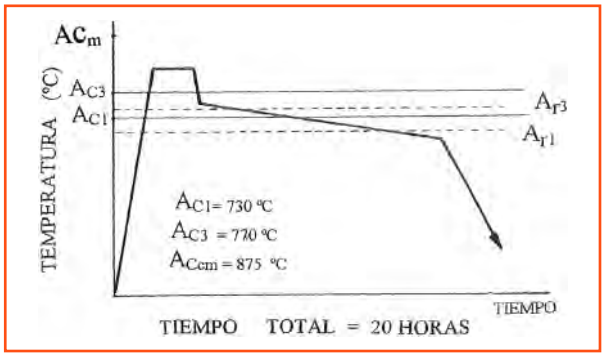


Figura 7**. Diagrama de secuencia tiempo-temperatura (**TT**) del recocido globular. **Acero 100Cr6.

- Un periodo difusión, caracterizado por un enfriamiento muy lento y controlado del material en el intervalo de coalescencia de los carburos, durante el cual el carbono sin disolver precipita sobre los carburos no disueltos, sin que se formen ni crezcan nuevos gérmenes.

Los factores que influyen, de una manera decisiva, en esta forma de recocido son:

A. Un buen control de la temperatura y del tiempo de recocido –*tiempo de austenización entre* 1 a 2 *horas a temperatura comprendida entre* 790 y 820 ºC–con lo que normalmente se consigue una correcta distribución de los carburos; posibilitando, al mismo tiempo, la presencia de los gérmenes para conseguir la ulterior coalescencia y globulización de los mismos.

Una puesta en solución insuficiente de los carburos –*temperaturas* y/o *tiempos incorrectos*– no permite una total y completa transformación de la estructura inicial de forja o de laminación; dejando en tal caso, regiones de no coalescencia que son muy propias de ese estado estructural.

Por el contrario, una disolución excesiva de los carburos conduce, por defecto, a un número de gérmenes que no es suficiente para impedir que se produzca la precipitación del carbono, durante el

enfriamiento del material que sigue en el proceso del recocido. En consecuencia, una excesiva disolución de los carburos provoca por principio, una estructura globular grosera que posibilita, inevitablemente, la formación y la presencia de eventuales lagunas o fracciones de perlita en la estructura del material afectado; **figura 8**.

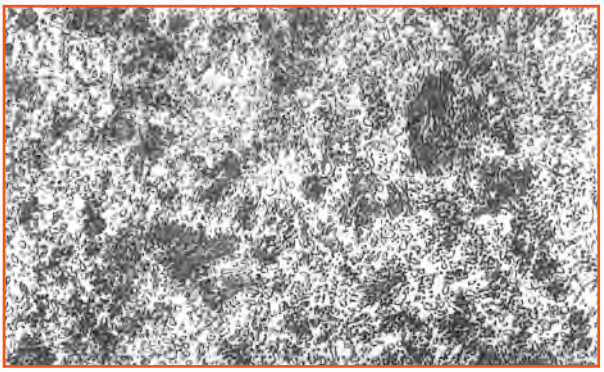


Figura 8**. Estructura no correcta: coalescencia grosera de cementita parcialmente globulizada y algunas lagunas aparentes de nueva perlita (X1000). Recocido globular realizado a una temperatura demasiado alta.* ***Acero 100Cr6.

B. Un control adecuado de la velocidad de enfriamiento [(10 ÷ 15) °C/*hora*] en la fase final de recocido permite al carbono sobresaturado difundirse en los gérmenes más próximos. La velocidad de enfriamiento está estrechamente ligada, a la puesta en solución de los carburos**.** Velocidades de enfriamiento demasiado rápidas, permiten la precipitación de glóbulos de cementita –***carburos***– de tamaño excesivamente pequeño. Carburos puntiformes que normalmente son el origen de estructuras globulares muy finas, no deseables, que posibilitan la presencia de fracciones de perlita.

El tiempo aproximado o duración total del recocido globular es del orden de unas 25/30 horas Las acerías utilizan para estos menesteres hornos continuos, que acortan sustancialmente los ciclos de recocido –**figura 9**–. Son hornos dotados normalmente de atmósfera protectora para evitar posibles descarburaciones del material que se recuece.

El recocido globular se realiza tanto en los aceros al cromo de más baja aleación y de temple profundo, como en los aceros de más alta aleación. Con tal tratamiento térmico se busca esa **estructura globular** característica con la que se puede alcanzar, como antes hemos indicado, un equilibrio entre una aceptable maquinabilidad y una baja dureza. La estructura globular es asimismo la más adecuada para obtener resultados regulares y uniformes en el temple posterior de las piezas fabricadas: aros o caminos de rodadura y cuerpos rodantes.

***Figura 9**. Horno de recocido continuo con atmósfera protectora, para barras laminadas, rollos y productos forjados.*

4.2. *Recocido de los aceros de cementación*

Aunque en la mayoría de las veces los aceros de cementación se podrían trabajar en estado bruto de laminación o forja; el recocido, no obstante, es útil para conseguir**:** (1) una mejor estructura de mecanizado; (2) distensionar el material y minimizar, en lo posible, las eventuales distorsiones que se pueden originar en el posterior tratamiento térmico final de las piezas: cementación + temple + revenido; y (3) regeneración del grano austenítico para asegurar las mejores características que se pueden alcanzar en los tratamientos térmicos y termoquímicos posteriores.

En el caso de los aceros de cementación distinguimos dos formas de recocido fundamentales; **figura 10**:

- Recocido total o de regeneración.
- Recocido isotérmico o de maquinabilidad.

En el **recocido total** o de regeneración –*curva de enfriamiento* **A** *del diagrama de la* **figura 11**– calentamos, de forma homogénea y regular, el material por encima del punto $\mathbf{Ac_3}$ y, después de un tiempo de permanencia a la temperatura de austenización, se enfría lentamente dentro del horno, con el fin de asegurar una transformación completa de la

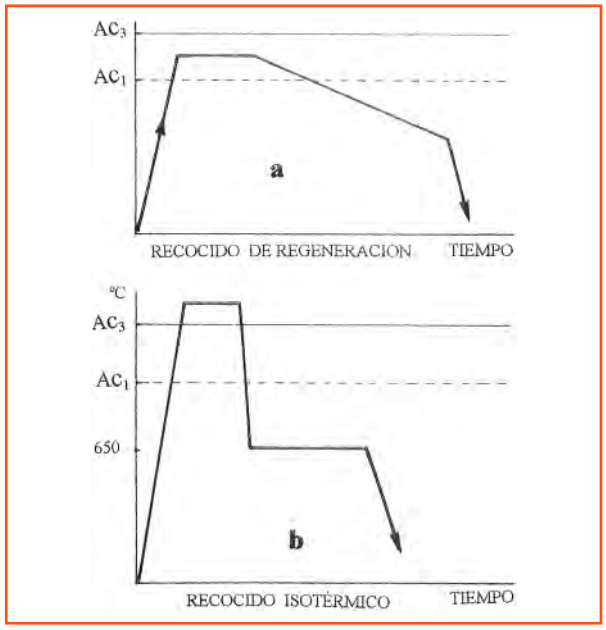


***Figura 10**. Diagramas de secuencia tiempo-temperatura (**TT**). Clásicos recocidos de los aceros de cementación para rodamientos: (**a**) recocido de regeneración; (**b**) recocido isotérmico.*

austenita en ferrita-perlita; estructura ésta que en la práctica, es válida para mecanizados poco dificultosos.

Cuando el recocido se realiza con calentamientos y enfriamientos no apropiados, hay entonces, una insuficiente regeneración de la estructura laminar, obteniéndose en tal caso, estructuras ferrito-perlíticas en bandas; **figura 12**. La estructura en bandas es muy perjudicial para el mecanizado y, también, para el posterior tratamiento final: cementación + temple.

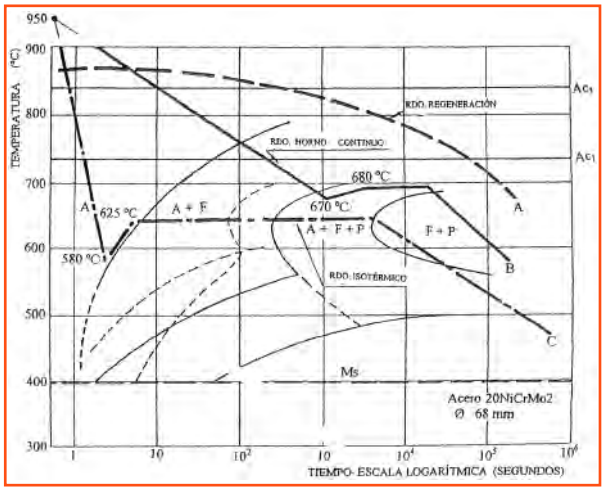


***Figura 11**. Diagrama de transformación isotérmica y transformación en continuo. **Acero 20NiCrMo2**. Representación de los diferentes ciclos de recocido y curvas de enfriamiento correspondientes.*

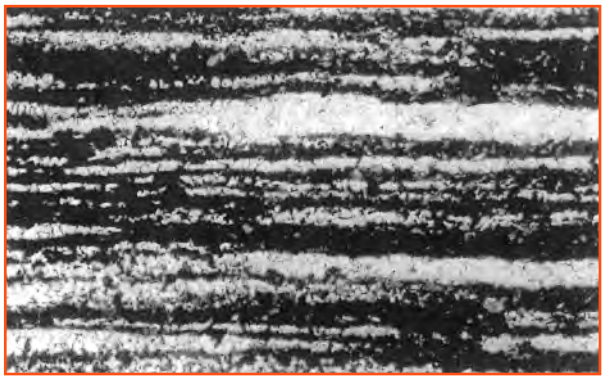


***Figura 12**. Estructura en bandas de ferrita y de perlita (X150). Constituyentes que, habitualmente, aparecen en los recocidos de regeneración de aceros de bajo carbono y de baja aleación. Curva de enfriamiento **A**. **Acero 20NiCrMo2**.*

El efecto desfavorable de tal estructura –*bandas de ferrita* y *de perlita*– ha estado muy discutido en la literatura especializada; de hecho la experiencia así lo ha demostrado. Es más perjudicial, sobre todo en aquellas operaciones de mecanizado que comportan arranque lento de viruta: taladrado, brochado, etc.

Con el recocido **isotérmico**, se evita en lo posible, la mencionada estructura en bandas. Conviene calentar el acero por encima de la temperatura del punto crítico **Ac_3**, y después de un tiempo adecuado de austenización, enfriarlo enérgicamente, hasta una temperatura próxima a la de la "nariz" perlítica de la curva de la "**S**" del diagrama **TTT** correspondiente –*curva de enfriamiento* **C** *de la* **figura 11**– manteniéndolo el tiempo suficiente a esa temperatura, hasta la total descomposición de la austenita en perlita. Este recocido, **recocido isotérmico**, conduce a una estructura de ferrita-perlita no bandeada, particularmente denominada estructura "blanca y negra", **figuras 13**.

Una estructura no bandeada es muy difícil de conseguir a nivel de acería, ya que precisa instalaciones de hornos continuos muy especiales. Los hornos utilizados en las acerías, aunque tienen una zona intermedia de enfriamiento enérgico del material –*barras laminadas*, *rollos*, *alambrones laminados* y *productos forjados*– hasta el tope de los 670 °C de temperatura, no se logra nunca un perfecto recocido isotérmico (100%); aunque en la mayoría de veces puede ser suficiente en la práctica: curva de enfriamiento **B** del diagrama de la **figura 11.** La estructura de la **figura 14** corresponde a esta forma de recocido.

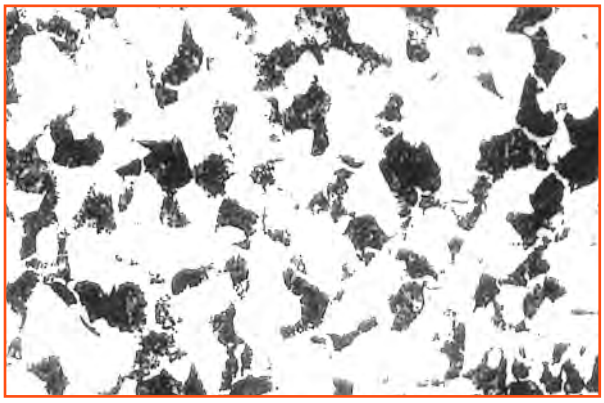


Figura 13. *Estructura en bloque no bandeada de ferrita + perlita "estructura blanca y negra" (X150)*. *Recocido isotérmico. Curva de enfriamiento* **C**. ***Acero 20NiCrMo2***.

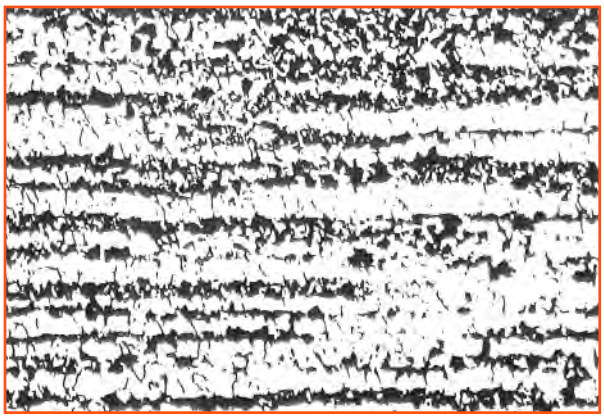


Figura 14. *Estructura ligeramente bandeada (X150). Ciclo de recocido seudoisotérmico realizado en horno continuo y en la propia acería. Curva de enfriamiento* ***B***. *Acero* ***20NiCrMo2***.

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

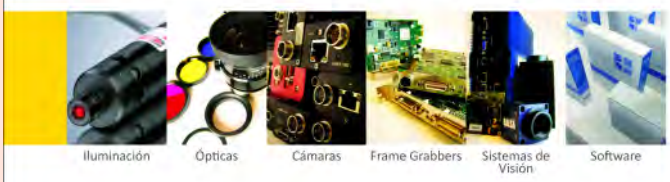
ACEMSA

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 tra-*



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.

HITECH INSTRUMENTS LTD

TKK EREMA
TOKAI KONETSU KOGYO CO., 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 S.A.

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.

Ingeniería y Productos para Hornos y Procesos Térmicos

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

- 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

S. A. METALOGRAFICA

desde 1949

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

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 • DUR-BRILL®: NIQUELADO DURO • OXY-VAPOR®: TT ANTIGRIPANTE • NOXYT®: PAVONADO DURO • ANÁLISIS DE MATERIALES • ASESORAMIENTO METALÚRGICO • DURPLAN®: TEMPLE PIEZAS PLANAS	• TEMPLE EN VACIO	ø 1500 x 2000 mm (Moldes hasta 2400 Kg)
	• NITRURACIÓN Y • NITROCARBURACIÓN	ø 1000 x 1500 mm
	• CEMENTACIÓN • CARBONITRURACIÓN • BONIFICADOS	1600 x 1600 x 700 mm (Piezas hasta 2000 Kg)
	• TEMPLE EN PRENSA	Piezas hasta 5000 m/m

CENTRAL
Polig. Ind. POLIZUR - Naves 4, 5 y 6
08290 CERDANYOLA (Barcelona)
93 580 53 53 FAX 93 580 29 61

DURPLAN®
C/ Turó de l'Home, 2
08400 GRANOLLERS
93 861 60 77 FAX 93 861 60 78

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

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 · automatización de procesos · Reguladores · Video-Registradores · pirometro infrarrojo · calibración hornos de vacio · experiencia · desde -200 a 2400ºC · Termopares · 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 Suministro y Calibracion Industrial s.l.
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

HORNOS ALFERIEFF
contabiliza la construcción de más de 1100 hornos, por ello, contamos hoy con una renombrada experiencia en el campo de los hornos industriales.

HEA HORNOS ALFERIEFF

VISITE NUESTRA NUEVA www.alferieff.com
C/Doctor Marañon, 11 · 28220 Majadahonda (Madrid)
Tel: +34 91 639 69 11 · Fax: +34 91 639 48 18 · Email: hornos@alferieff.com

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 52
APLITEC 53
ARROLA . . . . . PORTADA
B.M.I. 53
BAUTERMIC 52
BIEMH . . . . . Contraportada 2
BOREL SWISS 55
COMERCIAL SATEC 55
DEGUISA 53
EMISON 53
ENTESIS 53
FERIA METALMECANICA PERU . . . 42
FILINOX 53
FISCHER INSTRUMENTS 54
HORNOS ALFERIEFF 7
HORNOS DEL VALLÉS 53
HOT AICHELIN 31
HOT NABERTHERM 21
INFAIMON 52
INSERTEC 55
INSTRUMENTOS TESTO 55
INTERBIL 5
LIBROS TRATAMIENTOS TÉRMICOS . 33
METALMADRID 11
MIDEST 13
MTC-ALD VACUUM 29
NAKAL 54
OERLIKON LEYBOLD VACCUM . . . 52
ONDARLAN 9
POMETON 52
PROYCOTECME 53
REVISTAS DIGITALES . . . . . Contraportada 4
REVISTAS TÉCNICAS . . . . . Contraportada 3
S.A. METALOGRÁFICA 54
SAFE CRONITE 23
SECO-WARWICK 3
SOLO SWISS 55
SPECTRO 55
SUMINISTRO Y CALIBRACION . . . 17
TECNYMAT 15
WHEELABRATOR GROUP 54
XTREME COAT . . . . . 26 y 27

Próximo número

SEPTIEMBRE

Nº Especial **EUROSURFAS** (Barcelona).
Espectrómetros. Equipos de control.

INFORMACIÓN DE CALIDAD

REVISTAS PROFESIONALES DEL SECTOR INDUSTRIAL

6 NÚMEROS ANUALES

90 € (I.V.A. incluido) Edición Nacional

115 € (I.V.A. incluido) Edición Internacional

5 NÚMEROS ANUALES

65 € (I.V.A. incluido) Ed. Nacional

85 € (I.V.A. incluido) Ed. Internacional

9 NÚMEROS ANUALES

115 € (I.V.A. incluido) Ed. Nacional

150 € (I.V.A. incluido) Ed. Internacional

6 NÚMEROS ANUALES

90 € (I.V.A. incluido) Ed. Nacional

115 € (I.V.A. incluido) Ed. Internacional

PEDECA *Press* Publicaciones

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

www.pedeca.es

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