XII CONGRESO NACIONAL DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS Y DE SUPERFICIE

TRATERMAT 2010

PAMPLONA
20 Y 21 DE OCTUBRE 2010

TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE MATERIALES: ACEROS, FUNDICIONES, ALEACIONES NO FÉRREAS, ALEACIONES BIOMEDICAS

TEMPLES SUPERFICIALES, POR INDUCCIÓN Y LASER

TRATAMIENTOS TERMOQUIMICOS: CEMENTACION, NITRURACION, PLASMA OXIDACION

SHOT PEENING Y LASER PEENING

TRATAMIENTOS DE SUPERFICIE Y RECUBRIMIENTOS: PROYECCIÓN TERMICA, CVD, PVD, IMPLANTACION IONICA

TRATAMIENTOS DE ACTIVACION Y POLIMERIZACION POR PLASMA

HORNOS, INSTALACIONES, TRATAMIENTOS EN VACIO, ATMOSFERAS, FLUIDOS DE TEMPLE Y ENFRIAMIENTOS A GAS, ROBOTICA, INSTRUMENTACION Y CONTROL, MODELIZACION Y SIMULACION.

TECNICAS DE ANALISIS, MICROSCOPIA, ENSAYOS DE RUGOSIDAD, DUREZA, FRICCION, DESGASTE, CORROSION

GESTION DE PROCESOS, CALIDAD, ENERGIA, MEDIO AMBIENTE, PREVENCION DE RIESGOS

www.tratermat2010.com

ORGANIZAN

ain CENTRO DE INGENIERÍA AVANZADA DE SUPERFICIES

atc A.I.T. CSIC inasmet

TRATER Press
REVISTA DEL TRATAMIENTO TÉRMICO
ABRIL 2010 • Nº 16
www.pedeca.es

NOSOTROS VEMOS SUS NECESIDADES EN TRATAMIENTO TERMICO

SECO/WARWICK S.A.
ul. Sobieskiego 8
66-200 Swiebodzin Polonia
tel. + 48 68 3820 500; fax + 48 68 3820 555
info@secowarwick.com.pl www.secowarwick.com.pl

SECO/WARWICK
EQUIPO DE TRATAMIENTO TERMICO EN VACIO

Persona de contacto:
Bartosz Rybczynski, tel. + 48 68 3820 561
b.rybczynski@secowarwick.com.pl

Robotik 2010

2ª Feria Intersectorial de Robótica y Automática

Si estás en el sector... ¡este es el momento!
¿Aún no has reservado tu stand?
No dejes pasar esta ocasión de mejorar los negocios de tu empresa.

Sabadell 5, 6 y 7 de mayo de 2010
Centro de Ferias y Congresos de Sabadell

Consulta las ventajosas condiciones de participación en
comercial@firarobotica.com o al **tel. 93 168 91 88**
www.firarobotica.com

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

Nuestra Portada

Nosotros vemos sus necesidades en tratamiento térmico

Hornos de doble cámara con enfriamiento a gas o en aceite.
Hornos de temple de alta presión - 25 bar helio.
Cementación en vacío FineCarb®, Sistema modular rotativo.
Hornos de revenido con retorta y opción de nitruración gaseosa ZeroFlow®.
Aplicación especial, 10-7mbar, 2.300C.
Temple a alta presión / Hornos de alto vacío verticales y horizontales.
Sinterizado en vacío.
Turbina de gas / Componente del recubrimiento del sistema de sinterizado.
Repuestos, reparaciones y modernizaciones.

ARROLA HORNOS Y SERVICIOS, S.L.L.
Pol. Industrial Argixao, 60 - E 20700 - Zumarraga (Gipuzkoa) Spain
tel (+34) 943 725 271 - fax (+34) 943 725 634
info@arrola.es - www.arrola.es
Persona de contacto: Bakame Egiguren Soraluze
begiguren@arrola.es

SECOWARWICK S.A.
ul. Sobieskiego, 8 - 66-200 Swiebodzin Polonia
tel + 48 68 3820 500 - fax + 48 68 3820 555
info@secowarwick.com.pl - www.secowarwick.com.pl
Persona de contacto: Bartosz Rybczynski, tel + 48 68 3820 561
b.rybczynski@secowarwick.com.pl

LZT ELTERMA S.A.
ul. Swierczewskiego, 76 - 66-200 Swiebodzin Polonia
tel +48 68 3819 800 - fax +48 68 3819 805
elterma@elterma.com.pl - www.elterma.com.pl
Persona de contacto: Jesús Armando Morán Gallardo
tel +48 68 3819 837 - j.moran@elterma.com.pl

Sumario • Abril 2010 - Nº 16

Editorial 2

Noticias 4

ArcelorMittal Sestao y Vicinay Cadenas, galardonadas • Ahorre con Gala Gar • MATELEC'10.

Artículos

- Fórum de Arcas - *Por Juan Martínez Arcas* 6
- El grupo tecnológico de inducción GH Group, se amplía con una nueva filial en Estados Unidos 8
- II ICEHVE - *Por Manuel A. Martínez Baena* 10
- Hornos Gallur 12
- La subcontratación aeronáutica en Francia, una oportunidad para los inversores internacionales 14
- La feria líder del sector convoca a más de 1.000 empresas 16
- Jornadas técnicas. Soluciones innovadoras de vacío en I+D, energías renovables e industria de proceso 18
- La producción española de acero sigue mostrando tendencias a la recuperación en el mes de marzo 19
- Quemador Ecothal SER - *Por Xavier Palet Lozano* 20
- Noticias HERAEUS 21
- Influencia del modo de sinterización en la microestructura y dureza de elementos obtenidos mediante el método de la metalurgia del polvo - *Por M. A. Justyna Wendland, Ph. D. Jacek Borowski, M. A. Walerian Majchrzak y Ada Adamek* 22
- Algunas breves consideraciones sobre los aleaciones Monel (Ni-Cu) de alta resistencia a la corrosión - *Por Manuel Antonio Martínez Baena y José Mª Palacios Reparaz* (†) 26
- La dilatometría en el diseño y simulación de tratamientos térmicos - *Por J. M. Artímez* 33

Guía de compras 44

Indice de Anunciantes 48

Director: Antonio Pérez de Camino
Publicidad: Ana Tocino
Carolina Abuin

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

La revista TRATER Press, una vez más, está presente en certámenes y eventos. Nuestra revista contribuye a la mejora, participación e innovación con informaciones actuales y relevantes dentro del sector.

Así mismo, impulsa la transferencia de contactos entre lectores y anunciantes.

El próximo número es el Especial BIEMH, que se celebrará del 31 de mayo al 5 de junio en las instalaciones de BEC (Bilbao), donde también acudiremos como expositores. Si quieren pasar por nuestro stand, les atenderemos en el Pabellón 2 Stand A/06. Distribuiremos revistas gratuitamente a expositores y visitantes.

Todavía está a tiempo de incluir publicidad en la revista. Si tiene stand, es una manera de ampliar su representación durante estos días. Y si no lo tiene, una manera de estar presente.

Recordar una vez más que el evento más importante del año del sector es el TRATERMAT. Más información en Contraportada 4.

Parece que el sector quiere moverse y hay una motivación enorme, pero faltan las grandes inversiones, que son las que confirmarán el movimiento ascendente y el inicio de la cadena.

Esperemos que no tarde.

Antonio Pérez de Camino

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

HORNOS ALFERIEFF

CONSTRUYENDO FUTURO

contabiliza la construcción

de más de 1100 hornos,

por ello, contamos hoy

con una renombrada

experiencia en el campo

de los hornos industriales.

DISEÑANDO Y FABRICANDO

HORNOS Y ESTÚFAS INDUSTRIALES

DESDE 1945

HORNOS ALFERIEFF®

HEA

Avda. Reyes Católicos, 2- 1ºB - 28220 Majadahonda (Madrid) - Tel: +34 91 639 69 11 - Fax: +34 91 639 48 18 - Email: hornos@alferieff.com

www.alferieff.com

ArcelorMittal Sestao y Vicinay Cadenas, galardonadas

Las dos empresas siderúrgicas vascas, miembros de UNESID, han sido galardonadas con el "Premio de Medio Ambiente a la Empresa, Sección País Vasco 2009-2010", convocado por la Dirección General de Medio Ambiente de la Unión Europea y organizado por el Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco.

El objetivo del premio es reconocer públicamente aquellas organizaciones que con sus actuaciones han contribuido al cumplimiento de los principios de desarrollo sostenible.

El Premio a la Gestión, galardón dirigido a organizaciones con visión estratégica y con sistemas de gestión que permitan mejorar su contribución al desarrollo sostenible, ha sido concedido a la empresa ArcelorMittal Sestao. Vicinay Cadenas ha resultado premiada en la categoría de Producto y/o Servicio para el Desarrollo Sostenible, categoría que reconoce la labor de desarrollo de nuevos productos o servicios que promuevan modelos de producción y consumo más sostenibles.

La edición 2009-2010 ha reunido cerca de una veintena de candidaturas, que participarán en la edición estatal de estos premios, convocados por el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, a través de la Fundación Entorno y la Fundación Biodiversidad. Las entidades ganadoras representarán a España en el certamen europeo que tendrá lugar en Bruselas el próximo mes de junio, en el marco de la Semana Verde Europea.

Info 1

Ahorre con Gala Gar

Con el nuevo regulador GasFree de Gala Gar es capaz de ahorrar hasta un 50% de consumo de cualquier gas de protección de la soldadura de MIG, MAG y TIG.

Este ahorro es debido a la reducción de la presión a la que el gas es aportado al proceso, reduciéndose a valores entre 0,2 y 0,6 bar, manteniendo en todo momento la cantidad de gas necesaria para un proceso de la máxima calidad.

En el caso de soldadura por puntos, se puede obtener hasta un 60% de ahorro, mientras que en el caso de cordones longitudinales se puede obtener alrededor de un 25%.

Este manorreductor fabricado por Gala Gar está especialmente indicado para procesos donde se producen un gran número de aperturas y cierres de la válvula de paso de gas.

Info 2

MATELEC'10

El Salón Internacional de Material Eléctrico y Electrónico, MATELEC'10, que organiza IFEMA del 26 al 29 de octubre próximos, acogerá diversas iniciativas enmarcadas en el proyecto "Tecnologías para la producción sostenible: mejora de la competitividad de la industria mediterránea a través de la optimización de costes y de la eficiencia energética", liderada por la Asociación Española de Fabricantes y Exportadores de Material Eléctrico y Electrónico, AMEC-AMELEC, y promovida por el Consorcio MedAlliance y el equipo de coordinación del Programa Invest In Med.

Este proyecto incluye la celebración de una jornada técnica sobre Tecnologías y soluciones de Eficiencia Energética y Energías Renovables aplicadas en los procesos industriales. El énfasis en el tema energético está en sintonía con el objetivo horizontal de las políticas de cooperación de la Comisión Europea de apoyar proyectos que contribuyan a la Producción Sostenible y, al mismo tiempo, a difundir la tecnología española en estos ámbitos.

Otro de los temas que se abordarán será el de las Tecnologías para la producción sostenible: mejora de la competitividad de la industria mediterránea a través de la optimización de costes y de la eficiencia energética, un proyecto coordinado por AMEC-AMELEC, junto a la Confederación de Asociaciones Egipcias y Europeas (CEEBA), la Cámara de Industrias Jordana (JCI) y la Cámara de Comercio, Industria y Agricultura de Beirut, Líbano (CCIB).

Info 3

Hornos
Laboratorio e industriales

Quemadores
recuperativos y regenerativos

Reguladores de Potencia
a Tyristores:

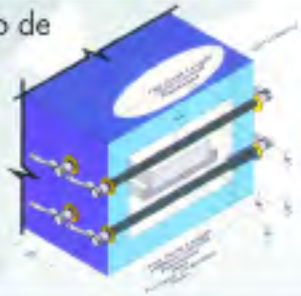
AEG
Power supply systems

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 1800ºC)

Interbil

Ingeniería y Productos para Hornos y Procesos Térmicos

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

www.interbil.es

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.

Como hemos visto en capítulos o fórum anteriores, los fabricantes de Aceros Especiales para Herramientas y concretamente para los de Trabajo en Caliente han respondido positivamente a las exigencias de un mercado muy competitivo, dando respuestas a sus demandas y que en definitiva son las altas exigencias en servicio, pretendiendo así ser uno de los suministradores de la materia prima para la fabricación de Moldes de inyección de metales o aleaciones no férreas (aluminio, cobre, latón y zamak).

Son varias actualmente las especificaciones disponibles para cubrir las versiones mejoradas de los aceros ya mencionados (H 11, H 12 y H 13) y por tanto con menores niveles de inclusiones e impurezas, además de una microestructura controlada.

Las más conocidas son: Chrysler Corp. NP 2080, German Die Caster Assn VGD Merkblatt M82, Automóviles Peugeot-Citroen E.01.10.455G, Regie Renault y finalmente la Guía de Aceros para Moldes y Matrices de la Fundación Ascamm – Centro Tecnológico y que de alguna forma aglutina y simplifica las anteriores.

Todas ellas tienen por objeto:

1. Definir los aceros más apropiados para la fabricación de moldes de inyección de metales.
2. Definir el estado de suministro.
3. Definir sus propiedades mecánicas y comparativas que serán garantizadas, a petición, con certificado de conformidad.
4. Recomendaciones pertinentes para el mecanizado, tratamientos térmicos específicos, así como las recomendaciones que se consideren para optimizar el resultado de sus aceros.

Estas publicaciones o documentos representan muchas ventajas para los técnicos e ingenieros de fundición, que no tienen los medios para diferenciar por sí sólos todas las alegaciones individuales y así poder realizar un control de la calidad en la recepción de dicha materia prima.

De todas formas es muy importante una revisión periódica para su puesta al día de estas especificaciones conjuntamente con las acererías suministradoras de la materia prima, mejorando así su nivel de calidad así como la confianza en el suministrador.

Esta mutua colaboración parece ser que es de vital importancia.

En el siguiente número veremos cuáles son la ventajas de todo lo expuesto para el fundidor.

NOTA: Han sido muchas las aportaciones de todo tipo y por cierto algunas muy valiosas, como ya veremos en los sucesivos Fórum.

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

El grupo tecnológico de inducción GH Group, se amplía con una nueva filial en Estados Unidos

La empresa GH Electrotermia, matriz del grupo, ha adquirido la mayoría del capital de la compañía estadounidense Induction Atmospheres.

La empresa GH Electrotermia, especialista en soluciones llave en mano de calentamiento por inducción para procesos industriales, ha adquirido la mayoría de la estadounidense Induction Atmospheres.

La compra de la compañía estadounidense, que está ubicada en Rochester (Nueva York), supone el afianzamiento en el mercado estadounidense bajo el nombre de GH Induction Atmospheres. De esta forma, sigue su política de estar cerca de los clientes.

"GH Induction Atmospheres ofrecerá nuevos productos y mercados a GH Group de forma internacional", dice el presidente de GH Group José Vicente González. "Con su personal e instalaciones aumentaremos la eficacia en el suministro de sistemas de calentamiento de inducción en Estados Unidos. Este es exactamente el tipo de sinergia que buscábamos en una compañía de EEUU. Estamos entusiasmados con el futuro de ambas compañías".

La empresa valenciana facturó 27,4 millones de euros en 2009 y además cuenta con plantas productivas en Valencia, China, India, Alemania y Brasil, de ingeniería, fabricación, comercialización y suministro de soluciones completas de calentamiento por inducción.

Además de implantaciones comerciales a través de filiales en Francia y México; y una extensa red comercial de agentes.

Además de entrar en un nuevo mercado, la ad-

quisición de Induction Atmospheres le permite tener presencia en los sectores de la aeronáutica y electromedicina, además del automóvil, el ferrocarril, el cable, las energías renovables, la forja, el tubo, etc.

El calentamiento por inducción es un método rápido, preciso y sin contacto de calentar metales que ahorra en la producción espacio, tiempo y dinero.

Recientemente la revista americana especializada Industrial Heating Magazine seleccionó esta tecnología como una de las "10 Tecnologías a considerar" en su edición de enero de 2009.

Los sistemas de GH Group proporcionan procesos industriales limpios, sin ruidos y de alta eficiencia energética que reducen el consumo de combustibles fósiles.

Sobre GH Electrotermia

GH Electrotermia S.A., basado en Valencia, España, es un suministrador líder a nivel mundial de sistemas de inducción para calentamiento por inducción en procesos industriales. Desde 1961, GH Group ha instalado más de 3000 equipos en más de 50 países.

Sobre GH Induction Atmospheres

GH Induction Atmospheres, fundada en 2002 y basada en Rochester (Nueva York), es un fabricante líder e integrador de sistemas llave en mano de sistemas de inducción para aerospacial, medicina y aplicaciones de producción de energía.

II ICEHVE

Por Manuel A. Martínez Baena

A primeros de marzo, ha tenido lugar en Barcelona, la II Conferencia sobre Ética y Valores Humanos en Ingeniería (II ICEHVE), relevante evento organizado por la WFEO (World Federation of Engineering Organizations) y la Cátedra UPC-ENDESA RED de Valores Humanos en Ingeniería Victoriano Muñoz Oms (VMO). La WFEO, con sede en París, agrupa más de 80 entidades nacionales de ingeniería y ha propiciado una ingeniería a favor de la paz y el bienestar, promoviendo intercambios y cooperación, así como un desarrollo humano sostenible. La Cátedra de empresa VMO es un modelo de conexión entre la universidad (UPC) y el tejido empresarial (ENDESA RED) que apoya la atención a los valores humanos en la ingeniería como una competencia transversal, más allá de los específicos intereses tecnológicos.

Durante los días 2 y 3 de marzo, en el marco incomparable de La Pedrera de Gaudí, los asistentes pudieron compartir las opiniones y experiencias de numerosas personalidades y altos directivos españoles de empresas líderes en los sectores tecnológicos de la Ingeniería en nuestro país, que han aportado sus ideas y visiones sobre aspectos actuales y de futuro relacionados con la ética profesional y los valores humanos asociados a la profesión de la Ingeniería.

El día 4 de marzo, la Conferencia se trasladó a las instalaciones de la Universidad Politécnica de Catalunya, en Barcelona y, durante toda la mañana del último día de congreso, se pudieron compartir temas relevantes, así como realizar preguntas a los ponentes de las mesas redondas, debatir y conversar, en una agradable atmósfera de proximidad, favoreciendo el intercambio de información, ideas y opiniones.

Durante estos tres días, cabría destacar la participación de Barry Grear, ex-presidente de la Federación Mundial, y de María Jesús Prieto, presidenta

actual de la WFEO y de la propia conferencia, primera mujer que ostenta esta alta representación de escala mundial. Otros conferenciantes que han contribuido a convertir este evento en una actividad referente, han sido Antón Costas, Presidente del Consejo Consultivo de Endesa en Cataluña; José Esquinas, Director de la Cátedra de Estudios del Hambre y la Pobreza; José María Fluxá, Presidente del Foro del Agua; José María Galván, Profesor de Teología Moral en la Facultad de Teología de la Pontificia Università della Santa Croce, en Roma; Ishii Yumio, Presidente del Comité de Prevención de Desastres de WFEO, Teófilo-Julián del Pozo, fundador de BTT Telecomunicaciones, y Sam Kundishora, Presidente del African Engineers Forum.

Esta información recoge mi percepción y la de nuestros amigos y compañeros de ASAMMET, Juan Martínez Arcas, Manuel Martínez Baena y José Antonio Tardío Torío, que hemos participado en este evento, en calidad de asistentes y también como participantes, ya que la Secretaria de ASAMMET, Núria Salán, actuó de moderadora en la última mesa redonda del día 4 de marzo.

TRATER Press

Suscripción anual 2010
6 números
90 euros

pedeca@pedeca.es

Tel.: 917 817 776

Fax. 917 817 126

Hornos Gallur

La compañía fabrica desde 1941 hornos eléctricos y cualquier aparato de aplicación térmica para la industria (cerámica, vidrio, joyería, metales, plásticos, etc.), cubriendo con todas las necesidades de los clientes desde la fabricación hasta el servicio postventa.

Poniendo a su disposición una amplia gama de hornos con la mayor calidad a unos costes competitivos y una cartera de clientes que avalan su experiencia.

Teniendo muy presente los riesgos que supone trabajar con altas temperaturas, toma las precauciones para que estos hornos sean seguros tanto en aislamiento eléctrico como en dispositivos de seguridad, cumpliendo con la normativa vigente.

La plantilla está formada por un grupo de profesionales con muchos años de experiencia y que trabajan con materiales de última generación.

Hornos para tratamiento térmico

En el extenso campo de tratamiento térmico de metales, disponen de hornos para trabajos tales como templar, revenir, recocer y empavonar piezas metálicas.

Documentación del proceso a través de un registrador de curva (Opcional). Posibilidad de incorporar mecanismo para atmósfera inerte y gas protector (opcional). Temperatura máxima desde 200 °C hasta 1.100 °C.

Otros productos

Fabrican y reparan cualquier aparato eléctrico para aplicación térmica, para la industria. Así como sensores de temperatura y equipos de control.

AFE
AFE CRONITE TECHNOLOGIES
Diseño y fabricación de piezas fundidas
en aleación de cromo / níquel
Parillas apilables
Muflas
Cintas de
eslabones
Montajes estándar
y personalizados
Platos, Parillas, Cestas
Montajes hornos
de pote
Rodillos
Turbinas, Guías
Grafito, CFC
AFE Cronite Technologies · Ilárraza, 14 · 01192 ILARRAZA (ALAVA)
Tfno.: 945 293 400 · Fax: 945 293 145 · E-mail: M.GARCIA@afecronite.com · www.afecronite.com

SU MEJOR COMUNICACIÓN
REVISTAS PROFESIONALES DEL SECTOR INDUSTRIAL
FUNDI Press
MOLD Press
TRATER Press
SURFAS Press
Soluciones
Insertec
Nadcap
ASHLAND
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

La subcontratación aeronáutica en Francia, una oportunidad para los inversores internacionales

La industria aeronáutica y espacial francesa detenta una posición privilegiada entre los países europeos, debido a su volumen de negocios de cerca de 37.000 millones de euros (2008), 134.000 empleados y 2.400 millones de euros destinados a I+D. Además, cuenta con un tejido de empresas especializadas en equipamientos aeronáuticos de primer orden, gracias, en gran parte, a la presencia histórica de Airbus.

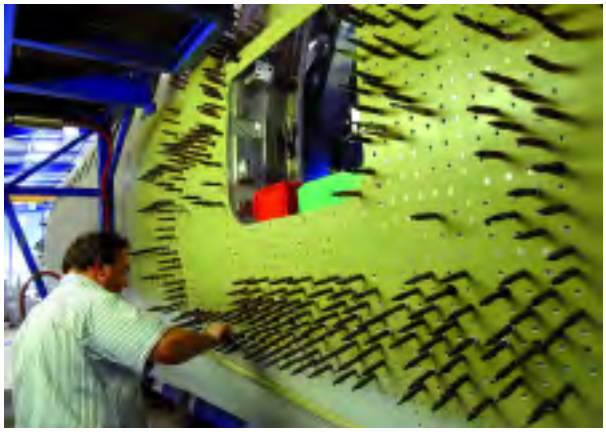
En dicho sector, tradicionalmente muy vinculado al contexto internacional (el 40% de los componentes de un Airbus A380 se fabrican en Estados Unidos), existen múltiples ejemplos de cooperación. Entre otros, podemos citar a CFM Internacional, cuyo logro industrial franco-americano en la producción de los motores CFM56 es altamente apreciado por las compañías aéreas.

En cuanto al segmento de la subcontratación aeronáutica francesa se refiere, éste realiza un volumen de negocios superior a los 10.000 millones de

euros, emplea a unas 80.000 personas y engloba un amplio abanico de equipamientos especializados: motores (Safran), electrónica de a bordo (Thalès Avionics), radionavegación (Safran y Thalès), acondicionamiento interior de los aviones civiles (C&D Europe, Camel Diam), sistemas armamentísticos y misiles de aeronaves militares (EADS, Thalès), trenes de aterrizaje (Messier-Dowty, Hispano-Suiza).

Efectivamente, una dinámica de reagrupamiento y diferentes colaboraciones cruzadas entre PYMES están siendo llevadas a cabo en el campo de la subcontratación aeronáutica. En el último salón Internacional de la Aeronáutica y del Espacio de Paris-Le Bourget, varias PYMES, como Meca'Com, AeroTeam, Induxial y Ingéliance, expusieron en el mismo pabellón. Esta capacidad para compartir sus diferentes competencias representa un factor clave para los inversores extranjeros.

Así, la subcontratación aeronáutica está muy com-



prometida con las tecnologías del futuro. El uso en la aviación de materiales compuestos, en particular de los polímeros, no deja de aumentar, con el fin de desarrollar nuevas tecnologías para las alas de las futuras generaciones de aviones.

En este sentido, la entidad japonesa Toray ha abierto una unidad de producción, Toray Films Europe, dedicada a la fabricación de películas de polipropileno biestirado, fabricadas anteriormente en Estados Unidos. Además, el subcontratista aeronáutico Spirit AeroSystems, cuya sede se encuentra en Estados Unidos, inició a finales de 2009 la construcción de una planta de ensamblaje de piezas compuestas en Montoir-de-Bretagne, en la región francesa del Loira Atlántico, realizando con ello una inversión de varias decenas de millones de euros.

Los objetivos de desarrollo sostenible del sector aéreo de aquí al año 2020 contemplados por la ley del 3 de agosto de 2009 de programación relativa al desarrollo del Grenelle de l'environnement, conocido como «Grenelle I», son la reducción por pasajero-km del 50% del consumo de carburante, del 80% de las emisiones de óxido de carbono y del 50% de ruido. La presión medioambiental impone a esta industria nuevos desafíos tecnológicos que estimularán la I+D. Los Clústeres representan una verdadera ventaja para el sector, ya que contribuyen de forma importante a la actividad de I+D de la aeronáutica francesa. Algunos de ellos son:

Aerospace Valley (región Aquitania y Midi-Pirineos), con 94.000 empleos, de los cuales 8.500 son investigadores, alberga un número considerable de grupos internacionales, entre ellos EADS, Freescale Semiconductors, Goodrich, Honeywell, Rockwell Collins o Siemens.

ASTech Paris Région (región Ile-de-France) agrupa a unas 100.000 personas, así como a la mayor parte de empleos de I+D del sector en Francia, y empresas tan importantes como Dassault Aviation, Safran o Astrium.

Pégase (región Provenza-Alpes-Costa Azul), que emplea a unas 35.000 personas, el 30% se dedica a la investigación. Su especialidad es la industria espacial, y acoge a más de 250 empresas.

«Francia dispone de un tejido de empresas especializadas en equipamientos aeronáuticos de primer orden en Europa, gracias a la presencia histórica de Airbus y a la reciente creación de estructuras cooperativas (clústeres y reagrupamiento de empresas). Esta capacidad para compartir sus competencias es un factor clave para los inversores extranjeros», sostiene David Appia, Presidente de la AFII.

AFII, la Agencia francesa para las inversiones internacionales se ocupa tanto de la promoción, la prospección, como la canalización de inversiones internacionales. Asimismo fomenta la realización de proyectos y facilita la inversión en Francia.

La feria líder del sector convoca a más de 1.000 empresas

En pocas semanas abrirá sus puertas la 26ª edición de BIEMH, Bienal Española de Máquina-Herramienta que reunirá en Bilbao Exhibition Centre a más de 1.000 firmas expositoras los días 31 de mayo a 5 de junio.

En total son ya 1.037 los fabricantes internacionales, importadores y distribuidores que han confirmado su presencia en la muestra, donde ofrecerán un escaparate muy sólido y representativo de productos y servicios. En él, la presencia de nombres propios como ABB, BLM, CMZ Machinery Group, Curvaser, Danobat, DMG, Durmazlar-Mahenor, Fagor, Fanuc, Fresmak, Goiti, Goratu, Gurutzpe, Ibarmia, Intermaher, Kuka, Lincoln, Lomusa, Mori Seiki, Nicolás Correa, Ona, Sariki, Tomos, Trumph, Unceta, Zayer y otros muchos acredita la fortaleza del certamen en un momento aún complejo y difícil para el sector, a pesar de los signos de recuperación que empiezan a vislumbrarse.

En efecto, gracias a su consolidada proyección interior y exterior, que posiciona la Feria como uno de los primeros certámenes europeos en su especialidad, la BIEMH se presenta este año como un espacio estratégico.

Establecer contacto directo con clientes y proveedores, identificar posibles vendedores o compradores, analizar oportunidades de exportación e importación conocer los avances del sector y cerrar contratos son las posibilidades que ofrece un foro cuyas firmas extranjeras suponen, hasta la fecha, un 40%.

Alemania e Italia, países de referencia en la industria mundial de máquina-herramienta, tendrán un protagonismo muy destacado en la exposición que también reunirá firmas procedentes de Argentina, Austria, Bélgica, Corea del Sur, China, Dinamarca, Eslovaquia, EE.UU., Francia, Holanda, India, Israel, Japón, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia, Suiza, Taiwán y Turquía.

Los sectores con mayor volumen de superficie serán los de máquina-herramienta por arranque, con un 28% del total, y el de máquina-herramienta por deformación con un 24%.

El resto de la muestra se completará con otras áreas como las de herramientas, metrología y CAD/CAM, manipulación y robótica, soldadura, accesorios, servicios, equipos electrónicos, otras máquinas y equipos hidráulicos y neumáticos.

OBJETIVO DE LA CAMPAÑA DE VISITANTES: COMPRADORES INTERNACIONALES

Cuando aún faltan 5 semanas para su celebración más de 44.500 profesionales se han inscrito en la BIEMH, en respuesta a las iniciativas desarrolladas en la campaña de visitantes entre los agentes, instituciones y asociaciones de los sectores de automoción, aeronáutico, ferroviario, energía renovables y de bienes de equipo, entre otros.

Por otra parte, ya han comenzado a recibirse las primeras confirmaciones del programa de delegaciones de compradores, con grupos de China, Brasil, México Argentina, Hungría Ucrania e Israel.

Brasil, México, EE.UU., Canadá, Alemania, Francia, República Checa, Polonia, China e India son los países que se han definido como prioritarios para la campaña de visitantes de la BIEMH de este año.

Por ello, el equipo organizador del certamen ha centrado en estos mercados buena parte de sus esfuerzos promocionales, con acciones directas de diversa índole (viajes, campañas publicitarias y de telemarketing, entre otras), dirigidas a profesionales con gran capacidad de compra.

En el ámbito nacional, las regiones preferentes han sido, además del propio Pais Vasco, las de Levante, Cataluña y Madrid.

Más allá de este primer nivel, de máxima intensidad, los trabajos de captación de visitantes en general se han apoyado en el marketing directo (envíos masivos por fax y mail de comunicados, edición de newsletters…), utilizando un registro de potenciales clientes que ha superado las 70.000 direcciones, nacionales e internacionales.

Los visitantes de la BIEMH podrán organizar su participación en la convocatoria de una forma sencilla a través de la web, en el apartado de "búsqueda de expositores", que este año ofrece múltiples posibilidades de consulta y de ordenar la información a través de nuevas aplicaciones.

Jornadas técnicas. Soluciones innovadoras de vacío en I+D, energías renovables e industria de proceso

Oerlikon-Leybold Vacuum, líder mundial desde hace 160 años en la fabricación de sistemas de vacío, organiza las próximas Jornadas Técnicas, a impartir en Barcelona el 4 de mayo de 2010 mañana y tarde.

Durante este seminario mostrarán las últimas aplicaciones de vacío y alto vacío para la investigación (medición, generación y control), así como las soluciones más innovadoras en técnicas de fabricación de sistemas para generación de energía de fuentes renovables, y en la industria de proceso para su optimización coste-rendiminento. Además tendrá la posibilidad de realizar sus preguntas sobre todos estos temas a los expertos.

PROGRAMA

Jornada de mañana:
Soluciones innovadoras de vacío en I+D

8:40 Registro.

9:00 Introducción.

9:15 Sr. Dieter Müller/Sr. Ralf Funke. Turbovac SL y Turbovac MAG: Generación de alto y ultra-alto vacío mediante bombas turbomoleculares. Principios físicos y últimas tendencias.

10:15 Sr. Pierre Lantheaume. Trivac NT: Obtención de vacío mediante bombas de paletas de última generación.

11:15 Descanso café.

11:45 Sr. Dieter Müller/Sr. Ralf Funke. Más allá de la medición de vacío. Total control de sistemas y procesos mediante VACVISION. Demostración práctica.

13:00 Comida.

Jornada de tarde:
Última tecnología de vacío para energías renovables e industria de proceso

14:30 Sr. Pierre Lantheaume. Sogevac B: Bombas de paletas en aplicaciones fotovoltaicas y eólicas. Aplicaciones prácticas y demostración.

15:15 Sr. Kavreet Bhangu. Recientes desarollos en bombas de vacío secas de aplicación en energías renovables e industria de proceso.

15:15 DRYVAC: La nueva referencia en generación de vacío seco con sistemas compactos.

16:00 Bombas de lóbulos RUVAC WH: tamaño reducido pero eficiencia duplicada.

16:45 Descanso café.

17:15 Dryvac y WH: Las nuevas tecnologías aplicadas a la cadena de producción fotovoltaica, renovables e industria de proceso.

18:00 Clausura del seminario, preguntas y entrega del Certificado de Asistencia.

La producción española de acero sigue mostrando tendencias a la recuperación en el mes de marzo

Avance de datos de UNESID

La producción de acero bruto en las fábricas españolas durante el mes de marzo ha ascendido a 1,6 millones de toneladas, un 19,3% más que en el mes de febrero y un 33% más que el mes de marzo de 2009.

Con esta cifra se recupera el nivel de actividad del último trimestre de 2009, tal como se aprecia en el gráfico adjunto. La subida sobre el año pasado es lógica, si se tiene en cuenta que la producción de principios de 2009 fue la más baja de toda la década.

Realizando comparaciones trimestrales, en el primer trimestre de 2010 se han producido un 2,8% más de toneladas que en el cuarto de 2009, y 36,6% más que en el homólogo primer trimestre de 2009.

Anualmente, los doce últimos meses (abril-09 a marzo-10), con 15,5 millones de toneladas, siguen presentando un descenso del 8,1% con respecto a los doce meses anteriores (abril-08 a marzo-09), en los que se produjeron 16,9 millones de toneladas.

Quemador Ecothal SER

Por Xavier Palet Lozano. Sales Engineer. Sandvik Española S.A.

Kanthal, líder en sistemas de calentamiento para el tratamiento térmico, presenta: Quemador Ecothal SER, ahorre en energía y aumente su productividad.

Quemador de Alta eficiencia

El quemador Ecothal SER tiene una eficiencia probada del 80%, lo cual es 10-20% superior a los sistemas convencionales SER.

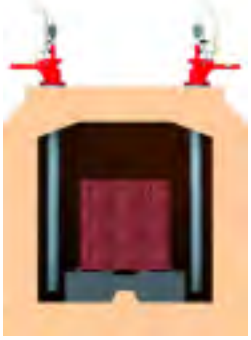
Esto es debido a un novedoso diseño del quemador y al uso de materiales capaces de trabajar a altas temperaturas producidos por pulvimetalurgia. Esto da al cliente la posibilidad de incrementar productividad o ahorrar en energía.

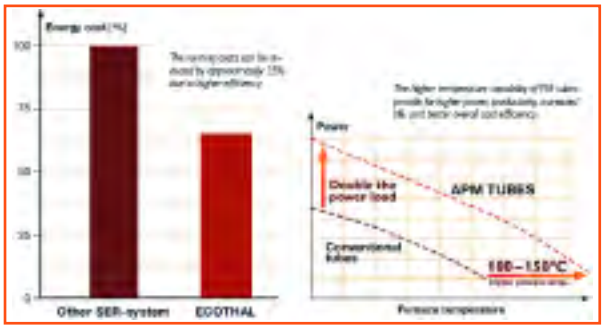
Reducción de gases NOx

El quemador Ecothal SER es uno de los más limpio del mercado. Una eficiente combustión, junto con FGR (Flue Gas Recirculation), reduce CO y NOx. El sistema cumple con la legislación en materia medioambiental.

Bajo Coste Energético

La alta eficiencia de Ecothal SER ahorra dinero, usando menos energía para realizar el mismo trabajo. En algunos casos hasta un 35%.





Bajo Mantenimiento

Diseño del quemador de alto rendimiento, fácil de montar, componentes metálicos.

Tubos radiantes metálicos en aleación APM (FeCrAl), sin casi formación de cascarilla, ni depósitos de carbono, no necesaria rotación.

Diseño adaptable

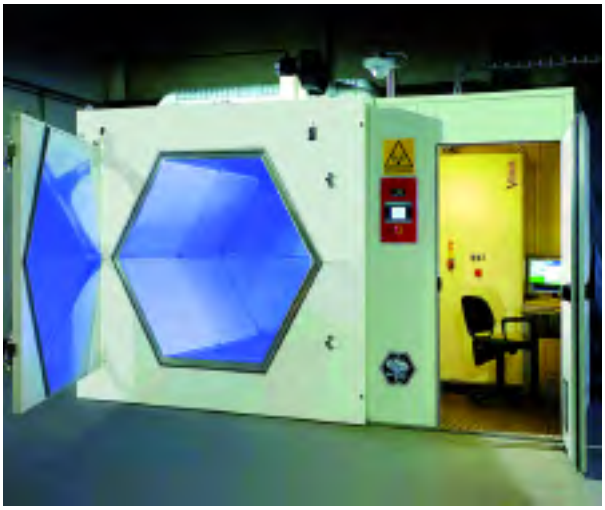
Tanto para aplicación horizontal como vertical.

Noticias HERAEUS

Los procesos térmicos forman parte de las operaciones básicas en la industria, ya sea para fabricación, evaluación y/o prueba de los materiales. Heraeus - Vötsch diseña y fabrica desde hace más de 100 años equipos relacionados con la tecnología de los tratamientos térmicos.

Con una amplia gama de modelos y tamaños estandarizados, es posible satisfacer los deseos más exigentes, tanto en calidad, como en durabilidad.

Nos complace presentarles los nuevos modelos de hornos y estufas industriales VTU/VTL desde 200 hasta 8.000 litros para la nueva norma EN 1539, correspondiente a tratamientos térmicos con presencia de disolventes y los hornos de microondas para el curado de fibra de carbono.



Influencia del modo de sinterización en la microestructura y dureza de elementos obtenidos mediante el método de la metalurgia del polvo

Por M. A. Justyna WENDLAND, Ph. D. Jacek BOROWSKI, M. A. Walerian MAJCHRZAK Metal Forming Institute, Poznan, Polonia
Lic. Ing. Adam ADAMEK SECO/WARWICK S.A., Swiebodzin, Polonia

Resumen

El artículo describe el proceso de fabricación de piezas de polvo, utilizado en Metal Forming Institute.

Los autores comparan las características de elementos realizados según el proceso elaborado en el Instituto de Tratamiento Plástico, con utilización de dos modos distintos de sinterización final de piezas estampadas presinterizadas.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo dinámico de diversos sectores industriales fuerza una intensa demanda de ambos - nuevos materiales de construcción y tecnologías innovadoras. Durante los últimos años, se ha podido constatar un acelerado desarrollo de la metalurgia de polvos. Esto se debe a la automoción, así como al crecimiento de la industria aeronáutica. Según los autores de esta tesis [1], en la actualidad alrededor del 70% de la producción mundial de productos sinterizados es generada precisamente por la industria de la automoción.

Es importante destacar que la principal ventaja de las nuevas tecnologías de fabricación incorporando la aplicación de metalurgia de polvos, es la capacidad de componer cierta composición química de los materiales en polvo y, además, la posibilidad de inventar y diseñar las características físicas, mecánicas y de funcionamiento de los productos finales y productos semiacabados. Estos procesos permiten la producción en serie y masa de elementos de forma sofisticada, manteniendo una significativa precisión dimensional con operaciones de baja tecnología, y después, no requiere mecanizado adicional. Debido a la dirección de reducción de costos, el beneficio importante de estas tecnologías es el bajo consumo de energía por unidad y casi se han usado todos los materiales [1, 2, 3].

2. ALCANCE DEL ENSAYO. PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA LOS EXÁMENES

En el Metal Forming Institute de Poznan, Polonia se han realizado las nuevas pruebas tecnológicas de fabricación de piezas usando una sola etapa de formación que se muestra en la figura 1. Todas las muestras para las pruebas se han hecho con mezcla de polvo de metal elaborado por el Metal Forming Institute, con la base de polvo de Astaloy fabricado por Höganäs, empresa de Suecia.

El proceso de producción de piezas de construcción hechas de polvo sinterizado según la nueva tecnología, comenzó con el prensado de la mezcla debidamente preparada en una matriz.

Conforme con el proceso adoptado, las piezas estampadas así realizadas fueron posteriormente sinterizadas. El objetivo de este proceso consistía en la unión de piezas estampadas y eliminar el agente lubricante del volumen de las muestras. Las muestras preparadas de esta forma fueron sometidas al proceso de sinterización final.

Fig. 1. La tecnología de fabricación de elementos de polvos sinterizados en una sola operación de formación plástica.

Fig. 2. Horno industrial de vacío tipo VPT de la empresa Seco/Warwick.

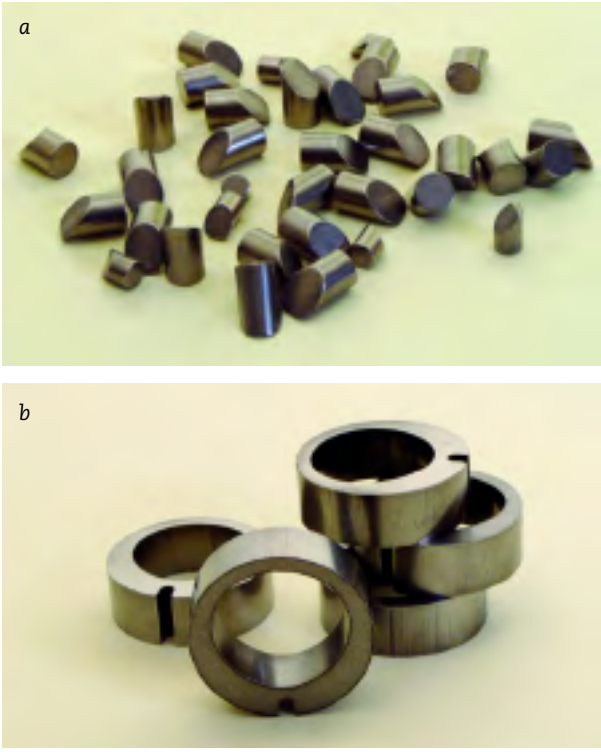


Fig. 3. Fotografías de muestras para el ensayo: a) muestras tipo cuña tipo. b) muestras anillo de levas.

El objetivo de las pruebas era determinar la influencia del modo de sinterización final sobre la estructura y propiedades de las muestras. Un lote de muestras fue sinterizado con el modo tradicional, en la atmósfera endotérmica generada a partir de gas natural en un horno de túnel. El segundo lote de muestras fue sinterizado en el horno de vacío tipo VPT hecho por Seco/Warwick (Fig. 2).

Las muestras preparadas de esta forma fueron sometidas al granallado o ambas al tratamiento térmico y granallado. El granallado, el tratamiento de eliminación de material con material abrasivo, se utiliza para redondear los bordes filosos de las muestras y para eliminar los sedimentos que quedan después del proceso de sinterización. El propósito del proceso térmico es modificar la capa externa de las muestras.

3. METODOLOGÍA DE ENSAYO

Se probaron 3 tipos de serie de muestras: cuña 5, cuña 7 y el anillo de levas (Fig. 3). Las muestras fueron moldeadas y preliminarmente sinterizadas con los mismos parámetros de entrada.

Posteriormente, las muestras se dividieron en dos lotes. Las piezas del lote I fueron sinterizadas en un horno de túnel en atmósfera endotérmica. Las piezas del lote II fueron sinterizadas en el horno de vacío tipo VPT de Seco/Warwick, dimensiones del área de trabajo: 400 x 400 x 600 mm.

Este tipo de horno se utiliza principalmente para el tratamiento termoquímico (cementación en va-

cío), procesos de temple, revenido, soldadura, así como el recocido. Debido a su universalidad, el proceso de sinterizado también se puede realizar en este horno, gracias a su cámara de grafito que permite calentar hasta la temperatura de 1.350 °C. Las resistencias de calentamiento anchas y planas permiten obtener una distribución homogénea de temperatura durante el calentamiento, lo que mejora los resultados del proceso de sinterización.

Un sistema especial del circuito de con gas inerte ayuda a enfriar la carga bajo control, permitiendo de esta manera la reducción y el control de las deformaciones de los elementos tratados. Gracias a la aplicación de ambos, un eficiente sistema de bombeo, así como un sistema de control moderno del horno horno tupo VPT, el proceso de sinterizado dura solamente aprox. 3,3 h (fig. 4).

Fig. 4. El proceso de sinterización final en el horno de vacío tipo VPT.

Posteriormente, las muestras después de la sinterización final en un horno de túnel y en horno de vacío del tipo VPT, fueron sometidas a un análisis metalográfico así como de dureza según la escala HRA. En cada etapa de fabricación las muestras fueron sometidas al control dimensional.

4. RESULTADOS DE LA PRUEBA

Las muestras tipo cuña 5, tipo cuña 7 y anillo de levas, realizadas conforme con la tecnología en el Instituto fueron observadas bajo el microscopio óptico Nikon Eclipse L150. Los resultados seleccionados se muestran en la figuras 5 - 7. Las imágenes de ambos tipos de sinterizado final se hicieron en la misma sección transversal de las muestras.

Las muestras fueron sometidas también a los exámenes de dureza con el durómetro Future Tech FR-3e en la escala HRA. Los resultados se presentan en la tabla 1. El análisis de dimensiones de las muestras después de ambos modos de sinterización final, mostró que el modo de sinterización final utilizado no influye en las dimensiones de muestras. En ambos casos los resultados están dentro de las tolerancias de dimensionales requeridas.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los exámenes realizados de la influencia de modo de sinterización final de muestras de polvos sinterizadas en atmósfera endotérmica en un horno de túnel, y sinterizadas en un horno de vacío tipo VPT, a la estructura y dureza para 3 series de tipos de muestras (cuña 5, cuña 7, anillo de levas) demostraron que:

1) En ambos casos de sinterización las muestras presentan la misma estructura y dureza comparable.
2) El modo de sinterización no afecta a la precisión dimensional de las muestras producidas. En cada serie de tipo de muestras (cuña 5, cuña 7, anillo) las tolerancias dimensionales requeridas se mantienen.

Tipo de muestra	Cuña 5		Cuña 7		Anillo de levas	
Atmósfera de sinterización	Endotérmica	Vacío	Endotérmica	Vacío	Endotérmica	Vacío
Pos.	Dureza, HRA					
1	38,9	35,4	42,6	44,3	43,9	46,3
2	38,1	37,9	43,3	46,2	45,7	46,8
3	35,9	36,1	45,0	42,5	44,1	43,9
4	38,3	38,7	46,5	43,5	45,4	44,6
Media	37,8	37,0	44,3	44,1	44,7	43,9

Tabla 1. Dureza de las muestras después de la sinterización final.

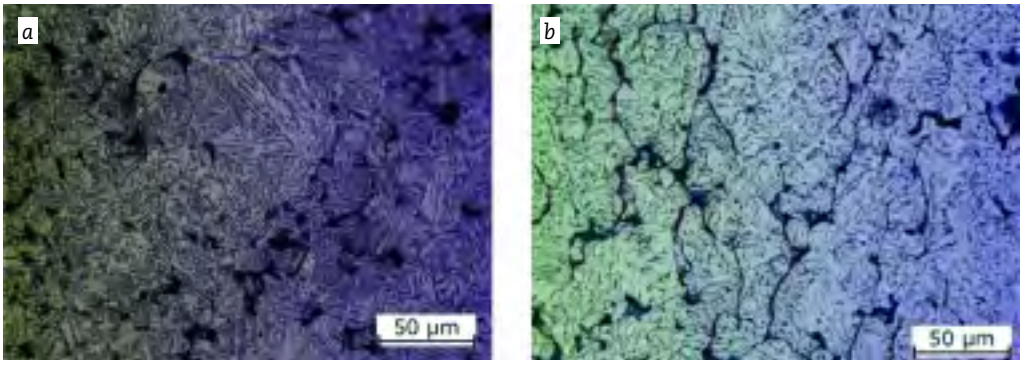


Fig. 5. Imágenes de la observación metalográfica de muestras tipo cuña 5. a) muestras sinterizadas en atmósfera endotérmica en un horno de túnel. b) las muestras sinterizadas en el horno de vacío VPT.

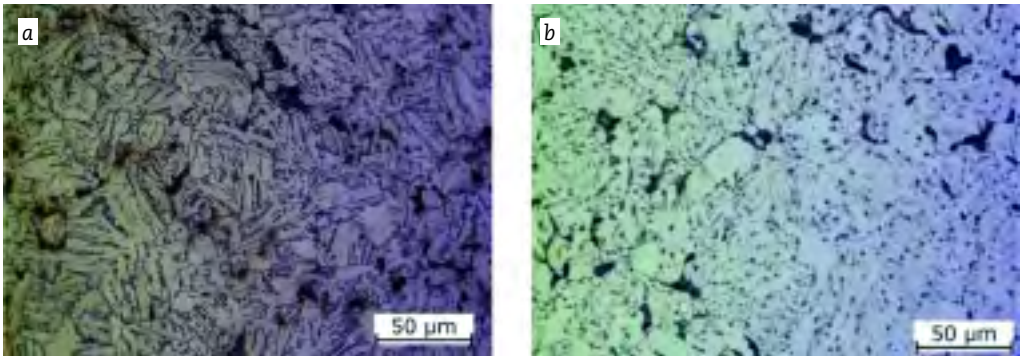


Fig. 6. Imágenes de la observación metalográfica de muestras tipo cuña 7. a) muestras sinterizadas en atmósfera endotérmica en un horno de túnel. b) las muestras sinterizadas en el horno de vacío VPT.

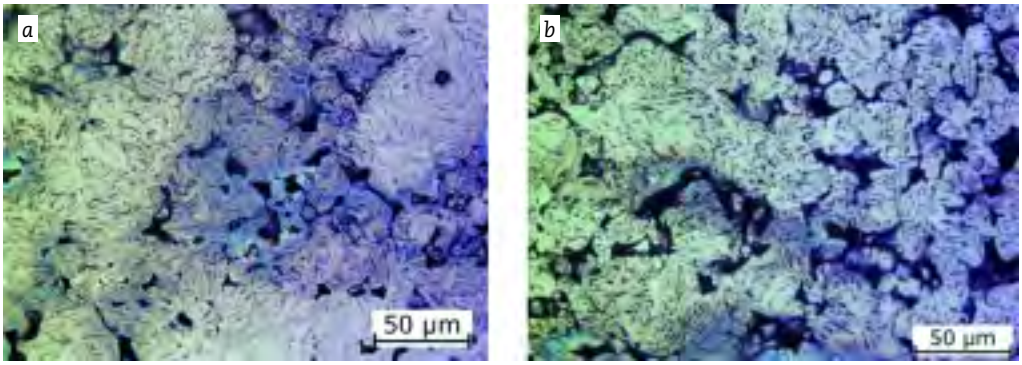


Fig. 7. Imágenes de la observación metalográfica de muestras tipo anillo de levas. a) muestras sinterizadas en atmósfera endotérmica en un horno de túnel. b) las muestras sinterizadas en el horno de vacío VPT.

3) Para el tipo de muestras realizado, producidas a partir de mezcla de polvo, preparado en el Instituto sobre la base de Astaloy Mo realizados por Höganas, el proceso de sinterización final, ya sea en endogas o en el vacío, puede ser intercambiable.

El trabajo científico se ha ejecutado en el marco de la actividad estatutaria financiado por el Ministerio de Ciencia y Educación Superior: NM 21 000 901 - Aplicación de la nanotecnología y nanopartículas para la producción de bajo coeficiente de fricción de elementos sinterizados.

BIBLIOGRAFIA

[1] Romaƒski A., Motyka M.: Application of powder metallurgy for automotive industry. XXXI Materials Engineering School, Kraków-Krynica 7-10. X. 2003, page 315-322.

[2] Szczepanik S.: University Science & Didactic Publishing House, Krakow 2003 r.

WiÊniewska-Weinert H., Leszczyƒski V., Stojanov A. (and others). Unpublished thesis elaborated within own tests, 2003.

Algunas breves consideraciones sobre las aleaciones Monel (Ni-Cu) de alta resistencia a la corrosión

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

Introducción

Las aleaciones **Monel**, como en el enunciado se indica, son aleaciones de gran resistencia a la corrosión debido, sustancialmente, a su alto níquel (**Ni**) y a un muy aceptable contenido de cobre (**Cu**); dado que contienen, aproximadamente, dos terceras partes de níquel (**Ni**) y una tercera parte de cobre (**Cu**). Son, industrialmente, las aleaciones más importantes de base níquel (**Ni**).

Al ser soluciones sólidas homogéneas de níquel (**Ni**) y cobre (**Cu**), presentan mejor resistencia a la corrosión que el níquel (**Ni**) y/o que el cobre (**Cu**) en estado puro. Las aleaciones **Monel**, salvo algunas excepciones, son más resistentes a la corrosión que el níquel (**Ni**) en ambientes reductores, y más resistentes que el cobre (**Cu**) en ambientes oxidantes. Sin embargo, su resistencia a la corrosión en soluciones alcalinas es similar a la del níquel (**Ni**) en estado puro, pero es, asimismo, mucho menor en ambientes y soluciones cáusticas concentradas. Y especialmente son muy resistentes a los ácidos, álcalis, salmueras, productos alimenticios, aguas y a la acción atmosférica en general.

Sus propiedades mecánicas, muy aceptables, son mayores que las de los bronces y latones, pero menores que las de los aceros aleados. Poseen, igualmente, una excelente resistencia a la fatiga y, también, una buena tenacidad.

El **Monel-400** –*composición media*: 66% **Ni** y 33% **Cu**– es la aleación base de la serie y es magnética según sea la composición y grado de acritud del material. A la aleación **Monel R-405** –*mismo contenido de* Ni y *de* Cu– se le adiciona una cantidad controlada de azufre (**S** ≈ 0,04%) para mejorar su maquinabilidad. La aleación **Monel K-500** es una variante de la primera y que puede ser endurecida por precipitación, debido a la adición de aluminio (**Al**) y titánio (**Ti**); y es, a su vez, totalmente amagnética. Las composiciones nominales de las aleaciones **Monel** se indican en la **tabla I.**

Aleación	Ni %	Cu %	C %	Mn %	Si %	Fe %	Ti %	Al %	S %
Monel-400	66,00	31.50	0.12	0.90	0,15	1.35			
Monel R-405	66.00	31.50	0,18	0.90	0,15	1.35			0.04
Monel K-500	65,00	29,50	0,15	0,60	0,15	1,00	0,50	2,80	

Tabla I. Principales aleaciones MONEL. Composición media.

En este trabajo nos centraremos única y exclusivamente en las dos aleaciones **Ni-Cu** más utilizadas en la industria en general: (1) **Monel-400**; y (2) **Monel K-500**.

ALEACIÓN Monel-400 DE ALTA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN

La aleación **Monel-400** tiene en su composición un contenido de níquel entre 60 y 75 por 100 [**Ni** = (60 ÷ 75%)] y el resto de cobre (**Cu**), elemento éste que complementa las propiedades del níquel (**Ni**) mucho mejor que el propio hierro (**Fe**). Es una aleación

de una muy aceptable resistencia mecánica y de alta resistencia a la corrosión en una amplia gama de ambientes ácidos y alcalinos, y especialmente, en ambientes reductores.

A. Tratamiento térmico

Las aleaciones puras níquel-cobre (**Ni-Cu**), al ser estos aleoelementos completamente miscibles en estado líquido y solubles en solución sólida, como se puede observar en la **figura 1**, no poseen puntos críticos de transformación de fase desde la línea "sólidos-líquidus", y son monofásicas –*fase* γ– en estado sólido. Únicamente las aleaciones de alto contenido en níquel (**Ni**) presentan un cambio magnético de dicha fase.

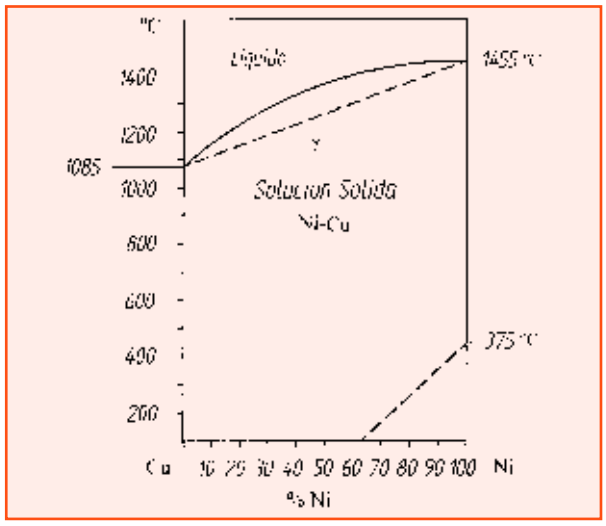


*Figura 1. Diagrama Níquel-Cobre (**Ni-Cu**).*

La aleación **Monel-400**, por lo antes indicado, no puede ser endurecida por tratamiento térmico. Para eliminar las tensiones originadas por trabajo de deformación en frío, y con ello aumentar el alargamiento, se recomienda recocer el material calentándolo a una temperatura comprendida entre 800 y 900 °C y enfriándolo, después, al aire ambiente.

B. Características mecánicas

Las características mecánicas de la aleación **Monel-400** varían según el grado de deformación en frío sufrido. En el diagrama de la **figura 2**, se puede observar la variación de la resistencia (**R**), límite elástico (**LE**) y del alargamiento de rotura (**A**), en función de la dureza de un redondo estirado en frío. Y en la **tabla II** indicamos los valores orientativos de utilización: resistencia mecánica, límite elástico, alargamiento de rotura y resiliencia, de la aleación **Monel-400**, en los distintos estados de suministro.

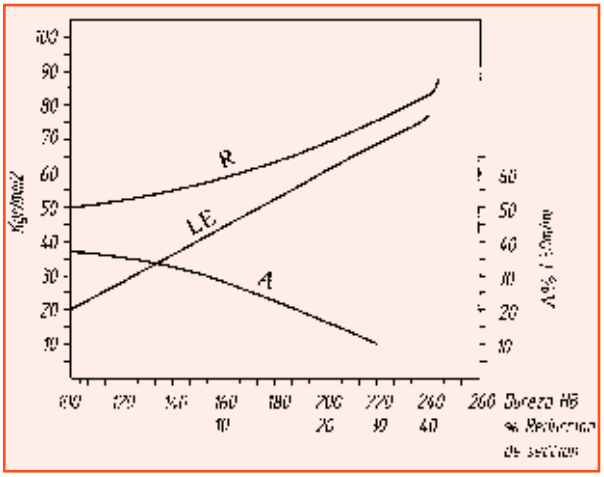


*Figura 2. Variación de las características mecánicas –resistencia **R**, límite elástico **LE**, y alargamiento **A**– según el grado (%) de deformación en frío. Aleación **Monel-400**.*

C. Forja

La aleación **Monel-400** se forja con relativa facilidad a una temperatura comprendida entre 1.100 y 1.180 °C, procurando acabar el trabajo de forja a una temperatura siempre por encima de 1.000 °C.

D. Maquinabilidad

La aleación **Monel-400** presenta una muy aceptable maquinabilidad. Se puede mecanizar, normalmente, con herramientas de corte fabricadas con

Estado del material	R (MPa)	LE (MPa)	A% (l=50mm)	Resiliencia (pi) (Kgs/cm²)
Forjado o laminado en caliente	500 ÷ 650	250 ÷ 500	40 ÷ 20	12
Laminado en frío y recocido	450 ÷ 550	180 ÷ 250	50 ÷ 30	18
Laminado en frío ¼ duro	550 ÷ 600	300 ÷ 450	40 ÷ 20	10
Laminado en frío duro	700 ÷ 900	630 ÷ 800	15 ÷ 2	8

Tabla II. Valores orientativos de las principales características mecánicas. Aleación Monel-400.

acero rápido; y, asimismo, observando las mismas precauciones que se tienen en el mecanizado de los aceros ordinarios de construcción al carbono.

E. Resistencia a la corrosión

Como dato orientativo podemos afirmar que la aleación **Monel-400** es más resistente, a la acción corrosiva, que el níquel (**Ni**) puro en medios reductores y, también, más que el cobre (**Cu**) en medios oxidantes. Indicamos a continuación la resistencia a la corrosión del **Monel-400** en distintos medios corrosivos:

1. *Resistencia a la acción corrosiva de la atmósfera*. La aleación **Monel-400** resiste satisfactoriamente la acción corrosiva de las atmósferas rurales; sin embargo en atmósferas industriales con altos contenidos sulfurosos, su resistencia a la acción corrosiva disminuye progresivamente.

2. *Resistencia a la acción corrosiva de las distintas aguas*. La aleación **Monel-400** resiste muy bien la acción corrosiva de toda clase de aguas naturales, aguas destiladas, aguas salinas, etc.

3. *Resistencia a la acción de soluciones salinas*. La solución de sales neutras o alcalinas –*carbonatos*, *sulfatos*, etc.– producen , en la práctica, una acción corrosiva casi nula sobre la aleación **Monel-400.** Hay que resaltar la excelente resistencia a la corrosión, que presenta dicha aleación, frente a soluciones refrigerantes: cloruro de calcio y cloruro de sodio.

La acción de las sales ácidas oxidantes sobre la aleación **Monel-400** produce una cierta corrosión –*máximo* 0,50 mm/año *del espesor del material atacado*–. Hay que resaltar la excelente resistencia a la corrosión que esta aleación presenta frente a las soluciones de sulfato amónico, cloruro amónico y cloruro de cinc. Por el contrario no resiste muy bien las soluciones oxidantes como son el sulfato y cloruro de hierro, cloruro de cobre, etc.; y, asimismo, no resiste la acción corrosiva de soluciones ácidas que contienen cromatos y/o dicromatos.

En lo que concierne a las sales alcalinas oxidantes la aleación **Monel-400** resiste muy bien la acción de este tipo de corrosivos. Hacemos mención, por ser de uso más corriente, la gran resistencia a la corrosión que tiene frente a las concentraciones de hipocloritos.

4. *Resistencia a los ácidos minerales*. La aleación **Monel-400** posee una muy buena resistencia a la acción corrosiva de soluciones ácidas concentradas. Hay que resaltar la excelente resistencia a la corrosión frente a soluciones sulfúricas: (1) Concentraciones de hasta el 85 por 100 de ácido sulfúrico (SO_4H_2 ≤ 85%) a temperatura ambiente; y (2) Concentraciones entre 10 y 15 por 100 de ácido sulfúrico [SO_4H_2 = (10 ÷ 15%)] hasta 100 °C de temperatura. Presenta, igualmente una muy buena resistencia a la corrosión frente a otros ácidos: clorhídrico, fluorhídrico fosfórico, etc.

5. *Resistencia a los compuestos orgánicos*. La aleación **Monel-400** resiste la acción corrosiva de los compuestos orgánicos, ácidos grasos, aceites y derivados del petróleo hasta temperaturas próximas a 350 °C.

6. *Resistencia a los álcalis*. La aleación **Monel-400** posee una excelente resistencia a la corrosión frente a casi todas las soluciones alcalinas. Resiste la acción corrosiva de los compuestos de la sosa mejor que cualquier aleación no férrica; igualmente ocurre con concentraciones a altas temperaturas. En el amoniaco, concentraciones de hasta 3 por 100 (**NH_3** ≤ 3%) se obtienen buenos resultados, pero en soluciones más concentradas (**NH_3** > 3%), se aprecia una sensible disminución de su resistencia a la corrosión.

7. *Resistencia en caliente*. La aleación **Monel-400** presenta en general buena resistencia a la corrosión y conserva sus características mecánicas hasta una temperatura, normalmente, comprendida entre 400 y 500 °C. En el diagrama de la **figura 3**, se observa la variación de las características mecánicas, obtenidas por deformación en frío, en función de la temperatura. La resistencia a la corrosión varía, como es lógico, con la temperatura.

En la **tabla III** se dan las temperaturas máximas de empleo, de la aleación **Monel-400**, en distintos medios corrosivos. Se indican, al mismo tiempo, aquellas otras temperaturas a las que nunca debe llegar el material en su trabajo mecánico.

La aleación **Monel-400**, como hemos indicado a lo largo de este trabajo, posee una elevada resistencia a la corrosión frente a multitud de agentes corrosivos: agua de mar, ácidos, –*sulfúrico*, *fosfórico*, *clorhídrico*,– productos farmacéuticos, sulfato amónico, ácidos grasos, aceites derivados del petróleo, etc. Debido a esa excelente resistencia a la corrosión se

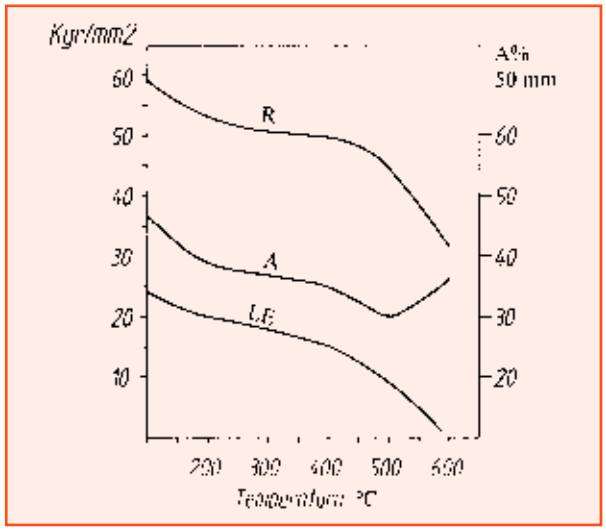


*Figura 3. Características mecánicas –resistencia **R**, límite elástico **LE**, y alargamiento **A**– según la temperatura. Ensayo de tracción rápido. Aleación **Monel-400**.*

Atmósferas no sulfurosas		Vapor	Atmósferas sulfurosas			
			Temperatura máxima de empleo		Temperatura que sobrepasa el límite de empleo	
Oxidantes	Reductoras		Oxidantes	Reductoras	Oxidantes	Reductoras
540 °C	820 °C	320 °C	300 °C	250 °C	500 °C	320 °C

*Tabla III. Temperaturas máximas y límites de empleo de la aleación **Monel-400**.*

utiliza, igualmente, en instalaciones químicas de petróleo y de vapor, en equipos navales como componentes de motores, así como ejes para hélices, válvulas y bombas; también, en intercambiadores de calor, calderas, tuberías y tanques de presión, y un largo etcétera.

ALEACIÓN Monel K- 500 DE ALTA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN

La aleación **Monel K-500** –*composición media* [**Ni** 65,50%); **Cu** 29,50%; **Al** 2,70%;**Ti** 0,60%]–, combina las excelentes propiedades de resistencia a la corrosión, característica de las aleaciones níquel-cobre (**Ni-Cu**), con una muy buena dureza y resistencia mecánica.

El incremento de las características mecánicas que se obtiene en aleación **Monel K-500** se debe, especialmente, a la presencia del aluminio (**Al**) y del titanio (**Ti**). Tales aleoelementos son los responsables del incremento de dureza y de la resistencia; componentes éstos que mediante el tratamiento térmico,–*solubilización + envejecimiento* o *maduración*– forman compuestos intermetálicos que precipitan en finas partículas a lo largo de los planos de deslizamiento, o en los límites de grano de una masa matricial blanda níquel-cobre (**Ni-Cu**), dando lugar a un considerable incremento de las características mecánicas.

A. Tratamiento térmico

La aleación **Monel K-500** es susceptible de endurecimiento mediante tratamiento térmico. Como antes se ha indicado, el mecanismo de endurecimiento consiste, pues, en provocar la precipitación, mediante envejecimiento o maduración, de unos compuestos intermetálicos [$\mathbf{Ni_3}$ (**Ti-Al**)], muy duros, en el seno de una masa matricial blanda de níquel-cobre (**Ni-Cu**). El control de esa precipitación dará lugar a los distintos niveles de dureza y resistencia mecánica que más adelante se indican. En la **figura 4** se expresa gráficamente el efecto del tiempo –*a temperatura de envejecimiento o maduración* (590 °C)– en la dureza alcanzada.

Los distintos niveles de dureza deseables, para una correcta utilización, que se procuran con-

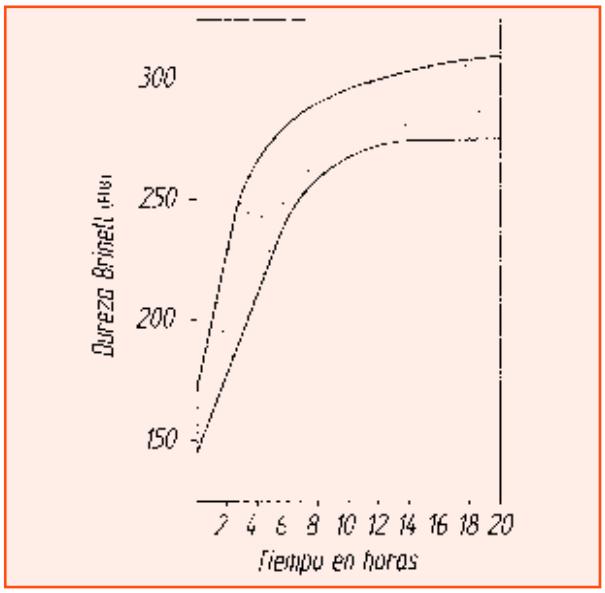


*Figura 4. Influencia del tiempo a temperatura de envejecimiento –590 °C– sobre la dureza (**HB**). Aleación **Monel K-500**.*

seguir en la aleación **Monel K-500** se alcanzan, normalmente, mediante el ciclo de tratamiento térmico –*controlando el tiempo* y *la temperatura de enfriamiento*– que se indican a continuación:

1. *Material blando con dureza entre* 140 y 180 BRINELL.

El tratamiento térmico, consiste en calentar el material a una temperatura de precipitación de 590 °C; alcanzada esta temperatura de envejecimiento o maduración, se mantiene un mínimo de 15 horas. Cumplido ese tiempo, el material se enfría en el horno a 10 °C/hora hasta llegar a 480 °C; y, a continuación se saca del horno y se enfría al aire ambiente.

Este proceso de envejecimiento o maduración es recomendable para materiales que han sido trabajados en caliente, forja o laminación, y después recocidos y solubilizados. También para rollos de alambre trefilado en frío e, igualmente, recocidos.

2. *Material estirado en frío con acritud media*: *dureza entre* 175 y 250 BRINELL.

El tratamiento consiste en calentar el material a una temperatura de envejecimiento o de maduración de 590 °C; alcanzada esta temperatura se mantiene un mínimo de 9 horas. Cumplido el tiempo de permanencia a tal temperatura, el material se enfría en el horno a 10 °C/hora hasta llegar a 480 °C; y, a continuación se saca del horno y se enfría al aire ambiente.

Para los materiales de menor dureza (HB ≤ 175) es recomendable mantener el material, una vez alcanzada la temperatura de precipitación de 590 °C, un tiempo de permanencia comprendido entre 10 y 16 horas a dicha temperatura, para conseguir con ello las mayores características mecánicas.

Los materiales de la banda más alta dureza (HB = 250), precisan de menor tiempo –9 *horas*– para alcanzar la máxima precipitación.

Este proceso de envejecimiento o maduración es aplicable a productos estirados o laminados en frío con grados de reducción media e, igualmente, en aquellos otros casos en que el material haya sufrido un en endurecimiento intermedio.

3. *Material estirado en frío con fuertes reducciones*: *dureza entre* 260 y 325 BRINELL.

El tratamiento térmico consiste en calentar el material a una temperatura de envejecimiento o de maduración de 590 °C; alcanzada esta temperatura se mantiene un mínimo de 6 horas. Cumplido ese tiempo, el material se enfría en el horno a 10 °C/hora hasta llegar a 480 °C y se saca, a continuación, del horno enfriándose al aire ambiente.

Cuando es necesario lograr, en el material, la mayor precipitación de compuestos submicroscópicos [**Ni_3 (Ti-Al)**], y con ello alcanzar la máxima dureza, se aconseja un mayor periodo de permanencia a la temperatura de envejecimiento o maduración: 8 a 10 horas. Tal proceso de envejecimiento o maduración se aplica, particularmente, en aquellos materiales que han sufrido un gran deformado en frío.

Recocido de solubilización

Tratamiento térmico indicado para ablandar y, al mismo tiempo, homogeneizar la masa matricial que ha sido endurecida, tanto por deformación en frío como por envejecimiento o maduración. El tratamiento consiste en calentar el material a una temperatura comprendida entre 980 y 1030 °C, y mantenerlo a dicha temperatura el tiempo preciso para obtener una buena homogeneidad estructural; acabado este periodo, se enfría el material en agua. La dureza que se consigue es de 150 a 180 HB. El tiempo de permanencia a la temperatura de recocido ha de ser sólo el preciso, ya que las aleaciones **Monel K-500** son muy propensas al crecimiento exagerado del tamaño de grano, más cuando se calientan en el nivel alto de temperatura de recocido: a mayor temperatura y tiempo de recocido, mayor aumento de tamaño de grano.

B. Forja

La aleación **Monel K-500** se forja a una temperatura máxima de 1.150 °C, procurando que el calentamiento se realice de la forma lo más homogénea posible manteniendo el material a la temperatura indicada el menor tiempo y evitar, así, un crecimiento exagerado del tamaño de grano. Otra premisa fundamental, es la de acabar el trabajo de forja a una temperatura siempre por encima de 1.050 °C.

C. Maquinabilidad

La aleación **Monel K-500** presenta una buena maquinabilidad, cuando el material se encuentra en

estado de recocido de solubilización. Se puede mecanizar, normalmente, con herramientas de corte fabricadas con acero rápido, observando las mismas precauciones que se tienen en el mecanizado de los aceros ordinarios de construcción al carbono. En algunas ocasiones interesa mecanizar el material, después de que éste haya sufrido el tratamiento térmico de envejecimiento o maduración; en estas condiciones el material es obviamente más duro, pero es todavía suficientemente mecanizable.

Estado y T.Térmico	R MPa	LE MPa	A% L 50mm	Resiliencia (p) Kgm/cm²
Material laminado en caliente y solubilizado	650 - 750	280 - 420	45 - 35	12 (transversal) 17 (longitudinal)
Material laminado en frío, solubilizado y envejecido o madurado	900 - 1150	600 - 850	35 - 20	9 (transversal) 11 (longitudinal)
Alambre estirado en frío y solubilizado	650 - 750	280 - 420	50 - 25	22 (longitudinal)
Alambre estirado en frío, solubilizado y envejecido o madurado	900 ÷ 1350	600 ÷ 850	35 ÷ 20	17 (longitudinal)

Tabla IV. Valores medios, orientativos, de las características mecánicas según el estado del material y el tratamiento térmico sufrido.

Condición y estado	Temperatura	Resistencia (MPa)				
		Deformación		Rotura		
		0,1(0)% en 10.000 horas	1,00% en 10.000 horas	100 h	1.000 h	10.000 h
Laminación en frío y tratamiento de maduración o envejecimiento	400 °C	680				
	426 °C	330	620	–	–	–
	480 °C	170	340	470	320	230
	540 °C	60	150	300	210	150
	600 °C		70	240	190	140

Tabla V. Resistencia a la fluencia de la aleación Monel K-500 a diferentes temperaturas y tiempo de exposición. Material laminado en frío y con tratamiento térmico de envejecimiento o maduración.

D. Características mecánicas

Las características mecánicas de la aleación **Monel K-500** varían en función del grado de deformación y del tratamiento térmico realizado. En la **figura 5** se indica la influencia del grado de deformación en frío (%) y el tratamiento térmico, sobre la dureza y la resistencia del material. En la **tabla IV** se exponen los valores medios, orientativos, de las características mecánicas alcanzadas según el estado del material y tratamiento térmico.

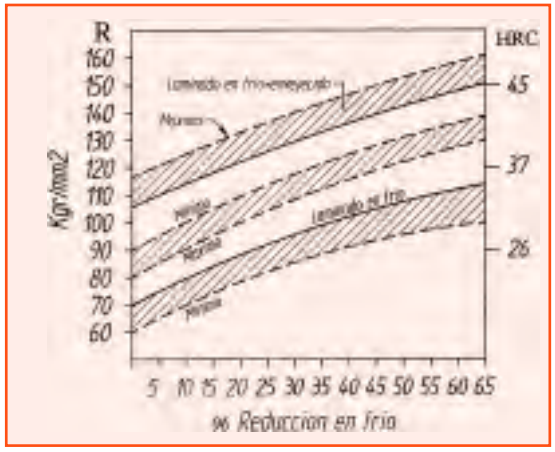


*Figura 5. Influencia del grado de reducción en frío (%) y del tratamiento térmico aplicado, sobre la resistencia (**R**). Aleación **Monel K-500**.*

E. Resistencia a la fluencia en caliente

En la **tabla V** se indican los valores medios de resistencia a la fluencia a distintas temperaturas y tiempo de exposición a tales temperaturas de la aleación **Monel K-500.** Material laminado en frío con tratamiento térmico de envejecimiento o maduración.

F. Características mecánicas a temperatura por debajo de cero

La aleación **Monel K-500** posee buenas características de resistencia mecánica y de resiliencia a temperaturas por debajo de cero grados centígrados (**– 0** °C). Esto se debe, fundamentalmente, por una parte a su estructura monofásica (γ) que no presenta transformaciones de fase a temperaturas muy por debajo de cero; y, por otra, a su composi-

ción básica níquel-cobre (**Ni-Cu**) que le hace muy estable en tales condiciones.

Como datos orientativos se indican en la **tabla VI** los resultados medios que se obtienen, a temperatura bajo cero, en la aleación **Monel K-500**: probetas laminadas en caliente, con tratamiento térmico previo de solubilización más envejecimiento o maduración.

Temperatura de ensayo	R MPa	LE MPa	A% L 50 mm	Resiliencia (p) Kgm/cm²
25 °C	1080	660	22	10 (Longitudinal)
75 °C	1160	750	24	11 (Longitudinal)
200 °C	1280	850	30	11 (Longitudinal)
250 °C	1400	970	28	

Tabla VI. Resultados medios obtenidos sobre probeta laminada en caliente y con tratamiento térmico de precipitación, según la temperatura de ensayo. Aleación ***Monel K-500****.*

G. Resistencia a la corrosión

La resistencia a la corrosión de la aleación **Monel K-500** es similar a la del **Monel-400**. Resiste muy bien la acción corrosiva de la atmósfera, la de las aguas y soluciones salinas (neutras, alcalinas, ácidas). Presenta, igualmente, una excelente resistencia a la corrosión a los ácidos minerales y compuestos orgánicos.

H. Aplicaciones típicas

Las aleaciones **Monel K-500** se utilizan en aquellas aplicaciones en las que existe una alta exigencia de resistencia a la corrosión junto con unas elevadas características mecánicas.

Se utiliza normalmente en ejes y árboles para hélices y bombas –*sector naval*–; una típica aplicación del **Monel K-500**, en este campo, es en ejes de cola para barcos. Otra utilización es la fabricación de válvulas y herramientas para el corte de productos corrosivos, etc.

En general, las aplicaciones de la aleación **Monel K-500**, son similares a del **Monel-400** con la ventaja sobre ésta: que las piezas y elementos mecánicos fabricadas con **Monel K-500** pueden ser endurecidos mediante tratamiento térmico de precipitación; y utilizadas, asimismo con características mecánicas más altas, hasta tres veces superiores.

La dilatometría en el diseño y simulación de tratamientos térmicos

Por J. M. Artímez. Centro Tecnológico del Acero y Materiales Metálicos. Fundación ITMA, Asturias.

RESUMEN

El ciclo térmico al que se somete la mayoría de los materiales induce sobre éstos una serie de cambios internos que están asociados a variaciones características de volumen. El registro de las anomalías dimensionales que tienen lugar a lo largo de un ciclo térmico (fundamento de la técnica dilatométrica) permite la determinación de las temperaturas críticas asociadas a los diferentes cambios de fase o del estado magnético, el estudio de fenómenos de disolución y precipitación, etc. Esta técnica de caracterización permite, por lo tanto, la determinación de los diagramas de transformación isoterma y en enfriamiento y calentamiento continuos, el estudio de la cinética de dichos cambios microestructurales y, en definitiva, constituye una técnica de inestimable valor en el diseño y simulación de tratamientos térmicos y termomecánicos. A continuación se exponen, a modo de ejemplo, algunos casos prácticos que lo ilustran.

1. Introducción

Es bien sabido que las propiedades de un determinado componente están directamente ligadas a su microestructura. A su vez, esta microestructura es función no sólo de la composición química del componente, sino también de toda su historia térmica y termomecánica. En este sentido, el tratamiento térmico es una etapa fundamental del procesamiento del componente, de la que dependen sus propiedades finales y, en definitiva, su vida útil en servicio, pues incide directamente en la configuración microestructural que finalmente adopta una determinada calidad.

La dilatometría constituye una técnica muy útil para diseñar y simular tratamientos térmicos. Esta técnica, como se describirá posteriormente con mayor detalle, permite conocer la evolución dimensional de una muestra de longitud inicial conocida a lo largo de su tratamiento térmico (dilatometría de temple) o termomecánico (dilatometría de temple y deformación). De esta forma es posible determinar cuándo empiezan y terminan las transformaciones microestructurales que sufre un determinado material a lo largo de su tratamiento térmico; tanto en el calentamiento como en el enfriamiento, así como durante los diferentes mantenimientos que puedan tener lugar a lo largo del mismo. Con la dilatometría de temple y deformación es posible, además, estudiar cómo influye la deformación o la tensión aplicada en determinados cambios microestructurales; siendo posible, por lo tanto, simular determinados procesos de conformación termomecánica y predecir la microestructura final.

En el presente artículo primeramente se describe brevemente esta técnica y se muestran a continuación diferentes casos prácticos, con el fin de dar a conocer algunas de las muchas aplicaciones que tiene esta técnica.

2. Breve descripción de la técnica

En la figura 1 se muestra una configuración habitual que permite la determinación de la evolución

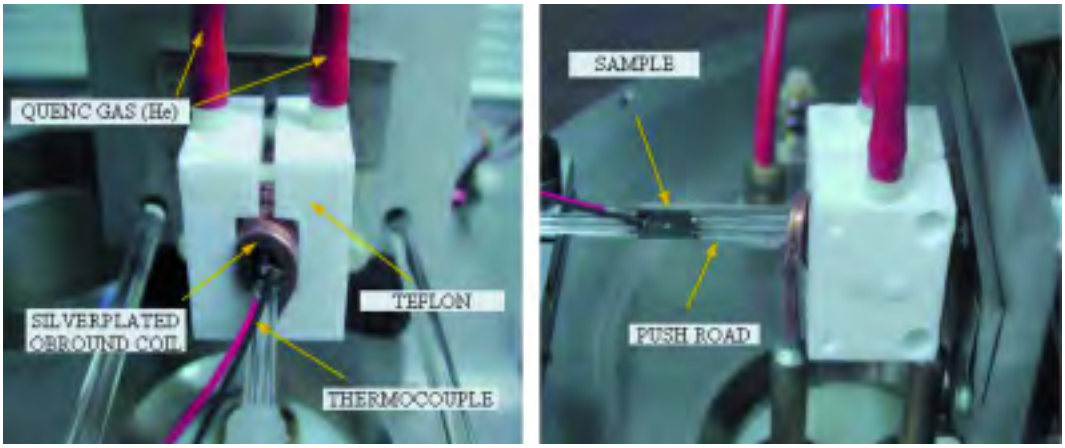


Figura 1: Posible configuración de un ensayo dilatométrico.

dimensional de una muestra de longitud inicial conocida a lo largo de un determinado ciclo térmico. La muestra se coloca entre una parte fija y una parte móvil conectada a un transductor de gran sensibilidad, capaz de detectar cambios de longitud de 0.05 µm. En el caso de muestras metálicas, éstas suelen ser calentadas mediante una bobina de inducción de forma tal, que la distancia de acoplamiento sea la óptima con el fin de conseguir calentamientos homogéneos y rápidos (si esto fuese necesario). El enfriamiento se suele realizar con gas (helio o nitrógeno, por ejemplo). Operando de este modo se pueden lograr velocidades de calentamiento muy elevadas: superiores a los 1.000 °C/s en todo el rango de temperaturas (incluso a temperaturas superiores a la temperatura de Curie) así como también velocidades de enfriamiento (en probetas de 1 mm de espesor) del orden de los 700 °C/s (próximas a las que se obtienen en chapas de espesor similar mediante temple con agua). La temperatura máxima que se puede lograr con estos hornos de inducción es del orden de los 1.500 °C, dependiendo del material de la muestra. Si es necesario evitar fenómenos de descarburización y oxidación superficiales, el ensayo puede realizarse en alto vacío o en atmósfera controlada. En el caso de muestras metálicas, el control y el registro de la temperatura se realizan a través de termopares soldados por puntos a la muestra.

El registro de la evolución dimensional de la muestra en función del tiempo y de la temperatura constituye la curva dilatométrica. La interpretación de los cambios dimensionales definidos en esta curva permite conocer, como ya se ha indicado, los puntos críticos de transformación, la cinética de determinados cambios de fase o, simplemente, el coeficiente de dilatación térmica lineal. En la figura 2 se muestra un dilatograma correspondiente a la etapa de calentamiento que da lugar a la austenización de un acero al carbono. Se puede ver cómo la contracción inducida por el cambio alotrópico permite determinar con nitidez el rango de temperaturas en el que tiene lugar la transformación austenítica en este acero (entre Ac_1 y Ac_3).

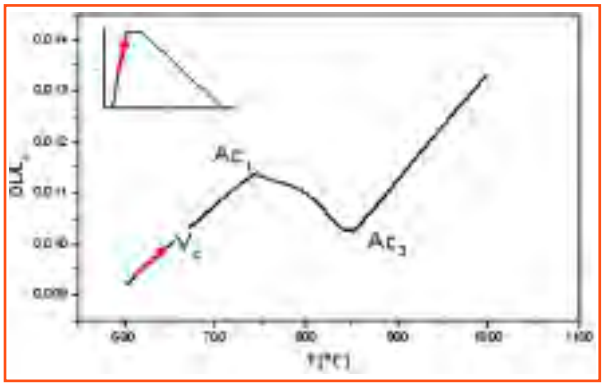


Figura 2: Curva dilatométrica "$DL/L_0(T)$". Ac_1 y Ac_3 representan las temperaturas de inicio y fin de la austenización para la velocidad de calentamiento V_c.

En los casos prácticos que se mostrarán a continuación se emplearon dos dilatómetros con diferentes configuraciones en función de la geometría de las probetas dilatométricas empleadas (cilíndricas macizas, cilíndricas huecas o planas) y de las velocidades de calentamiento y enfriamiento requeridas.

3. Aplicaciones

Por supuesto, una de la aplicaciones más directas de la técnica dilatométrica es la determinación del

coeficiente de dilatación térmica lineal. Aunque conocer esta propiedad física es muy importante desde diferentes puntos de vista, en los casos prácticos que se presentan a continuación se muestran otras aplicaciones relacionadas más directamente con el diseño de tratamientos térmicos.

A continuación se analiza el empleo de la dilatometría para caracterizar algunas de las transformaciones microestructurales que tienen lugar a lo largo del recocido continuo de aceros laminados en frío. La figura 3 muestra, de forma esquemática, las diferentes transformaciones que pueden tener lugar durante uno de estos tratamientos. En la figura 4 se

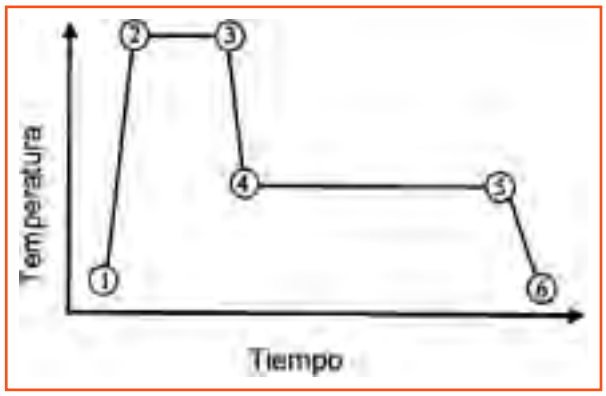


Figura 3: Transformaciones que tienen lugar durante el recocido continuo de aceros laminados en frío. 1→2 recristalización, disolución de la cementita y transformación austenítica (parcial o total) 2→3 progreso isotérmico de la transformación austenítica, redistribución del carbono y elementos de aleación, crecimiento del tamaño de grano, posible precipitación de carbonitruros 3→4 descomposición parcial de la austenita (ferrita, perlita o bainita, por ejemplo) 4→5 transformación bainítica, formación de ferrita bainítica, redistribución del carbono 5→6 formación de bainita y/o martensita.

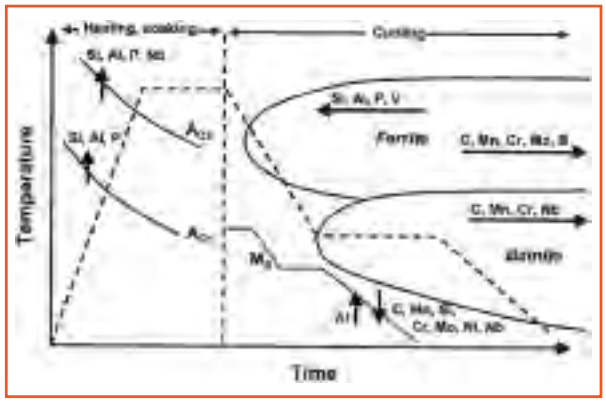


Figura 4: Efecto de los elementos de aleación sobre las curvas de transformación durante el recocido continuo de un acero dual (DPS) [1].

muestra de forma esquemática la influencia que tienen diferentes elementos de aleación utilizados habitualmente en la producción de aceros duales sobre las transformaciones de fase que se producen durante el ciclo de recocido.

Durante la formación de austenita a partir de la microestructura original (ferrita y perlita normalmente) se produce una contracción debido a la mayor densidad de la fase austenítica. Si las muestras dilatométricas se calientan rápidamente (tratando de evitar que tenga lugar la transformación durante el calentamiento continuo) hasta diferentes temperaturas de recocido, austenítico o intercrítico (dominio de ferrita+austenita) se puede obtener la evolución dimensional de las mismas durante el mantenimiento isotermo lo que permite conocer la cinética de dicha transformación (curvas ITH).

A modo de ejemplo, en la figura 5 se muestra la evolución de la transformación austenítica en el caso de un acero de fase dual (DP600) en función de la temperatura de recocido para una velocidad de calentamiento de 20 °C/s (similar a la de un recocido industrial en una línea de recocido en continuo de productos laminados en frío). Diferentes muestras dilatométricas fueron calentadas hasta diferentes temperaturas de recocido, se mantuvieron luego a esas temperaturas durante 10 minutos y seguidamente fueron calentadas, también a 20 °C/s hasta el dominio austenítico. Mediante la regla de la palanca (empleando los coeficientes de dilatación de la estructura ferrito-perlítica y de la estructura austenítica) se determinó la evolución del contenido de austenita en función de la temperatura (figura 5a). También se obtuvo la evolución de dicha transformación en función del tiempo a las diferentes temperaturas empleadas (figura 5b). Téngase en cuenta que la contracción de la muestra no está asociada exclusivamente a la formación de austenita. Esta técnica no permite discriminar si el cambio dimensional está asociado al cambio alotrópico o a fenómenos de recristalización y de redistribución del carbono, por ejemplo; por lo que el empleo de la regla de la palanca da resultados sólo aproximados. Se puede apreciar (figura 5a) que parte de la transformación austenítica tiene ya lugar durante el calentamiento, antes de que se haya alcanzado la temperatura de recocido, excepto en el caso de la temperatura más baja. También se puede apreciar (figura 5b) que la transformación austenítica al inicio de cada mantenimiento es relativamente rápida y progresa después de forma más lenta (la austenita se forma rápidamente a

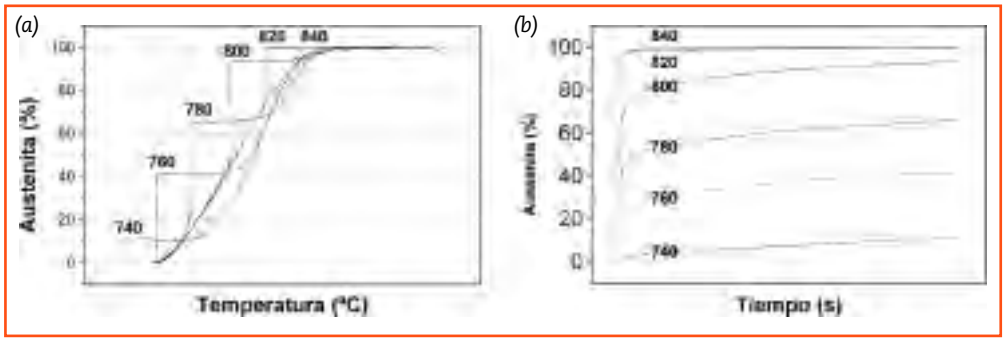


Figura 5: Evolución del porcentaje de austenita en función de la temperatura (a) y del tiempo de recocido (b).

partir de la perlita original y luego progresa más lentamente a partir de la ferrita).

En la figura 6 se muestra la evolución microestructural de este acero en función del tiempo de recocido para una temperatura de recocido de 760 °C y una velocidad de calentamiento de 20 °C/s. La microestructura corresponde a probetas templadas desde dicha temperatura tras los mantenimientos indicados por lo que el microconstituyente más claro corresponde a martensita. Nótese que un mantenimiento de sólo 1 s no permite la completa disolución de la perlita y que 10 s no son suficientes para conseguir producir la disolución completa de la cementita.

Siguiendo el mismo procedimiento se puede estudiar la influencia de la velocidad de calentamiento en la cinética de la transformación austenítica. En la figura 7 se muestra la evolución de la austenita a dos temperaturas de recocido intercrítico diferentes (pertenecientes al rango intermedio de temperaturas de recocido intercrítico). La figura muestra claramente cómo un aumento en la velocidad de calentamiento da lugar a un menor contenido de austenita; especialmente para mantenimiento cortos. Nótese además cómo la cantidad de austenita formada isotérmicamente tras el calentamiento más rápido se va aproximando a la que se obtiene

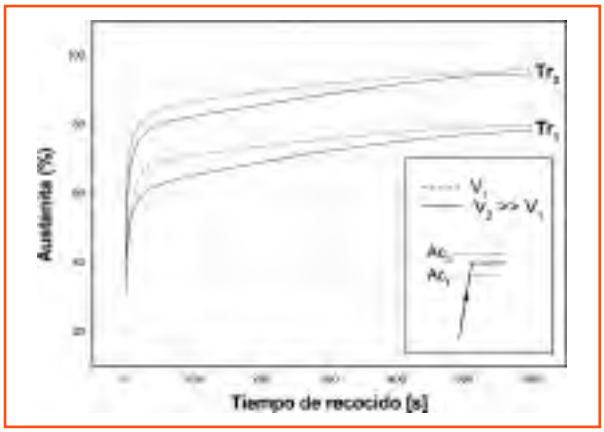
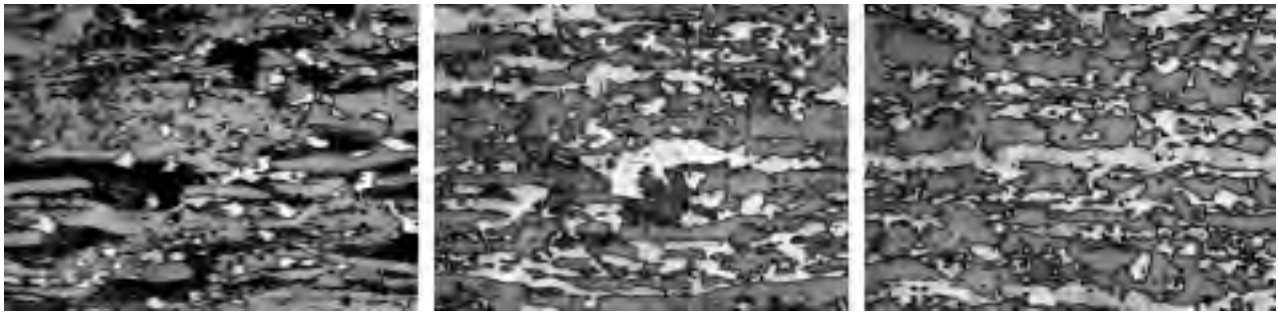


Figura 7: Influencia de la velocidad de calentamiento en la cinética de la transformación austenítica en el dominio intercrítico.

tras el calentamiento más lento a medida que aumenta el tiempo de mantenimiento. Este fenómeno es más notable en el caso de la temperatura de recocido más baja. Esto puede explicarse teniendo en cuenta que el coeficiente de difusión del carbono es función de la temperatura.

La cantidad y estado de la austenita juega un papel muy importante en su posterior descomposición y la dilatometría permite determinar, de un forma



1 s 10 s 100 s

Figura 6: Evolución de la martensita (obtenida mediante enfriamiento rápido de la austerita generada en el tratamiento) en función del tiempo de mantenimiento a la temperatura de recocido de 760 °C.

bastante aproximada, el contenido de austenita en función de la velocidad de calentamiento y de la temperatura y tiempo de recocido.

En la práctica de muchos tratamientos térmicos se alcanzan velocidades de calentamiento muy elevadas. Este puede ser el caso de un tratamiento térmico localizado realizado por láser o por inducción. En este caso resulta de gran utilidad conocer la evolución de las temperaturas críticas correspondientes a la austenización en función de la velocidad de calentamiento. A modo de ejemplo, en la figura 8 se muestra la evolución de la temperatura Ac3 de tres aceros de fase dual (DP600) en función de la velocidad de calentamiento.

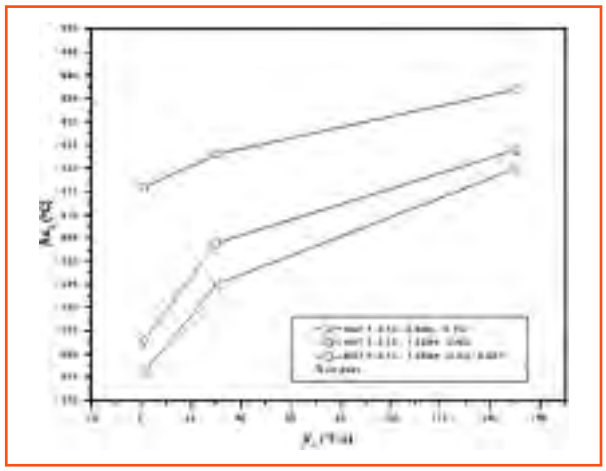


Figura 8: Evolución de la temperatura Ac3 de tres aceros DP600 en función de la velocidad de calentamiento.

Se puede apreciar cómo la temperatura de fin de la transformación austenítica aumenta a medida que aumenta la velocidad de calentamiento. También se puede apreciar la gran influencia que tienen el Si y el P en la evolución de la temperatura crítica Ac3 al tratarse de elementos de aleación fuertemente alfágenos.

Otro ejemplo es el que se puede observar en la figura 9, en la que se puede apreciar la evolución de las temperaturas Ac_1 y Ac_3 en función de la velocidad de calentamiento de un acero libre de intersticiales (IFS). La figura muestra que las temperaturas de inicio y fin de la austenización crecen con la velocidad de calentamiento hasta 50 °C/s, mientras que velocidades de calentamiento superiores a ésta no tienen un efecto significativo en dichas temperaturas.

Con el empleo de dilatómetros de temple ultrarrápido es posible, en muchos casos, seguir la evolución de la temperatura de inicio de la transformación martensítica correspondiente a la austenita formada a diferentes temperaturas de recocido. Esta es además una forma indirecta de conocer la evolución del contenido en carbono de la austenita en el rango de recocido intercrítico. En la figura 10 se muestra la evolución de la temperatura Ms de la austenita obtenida en el tratamiento intercrítico de un acero DP1000 en función de la temperatura y del tiempo de recocido.

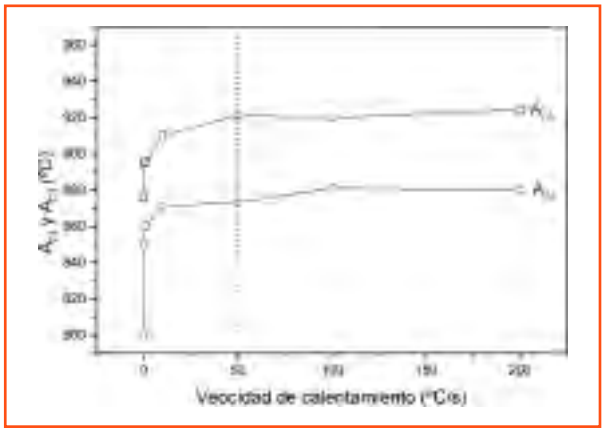


Figura 9: Evolución de las temperaturas Ac_1 y Ac_3 de un acero IFS en función de la velocidad de calentamiento. (1.9 C, 1590 Mn, 97 P, 61 Ti, 0.8 B, 4.5 S, 1.3 N, x 10^{-3} % en masa).

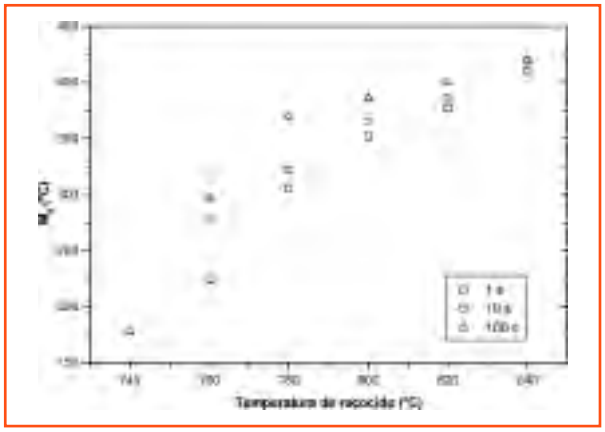


Figura 10: Evolución de la temperatura M_s de la austenita intercrítica en función de la temperatura y tiempo de recocido. Velocidad de calentamiento: 20 °C/s.

La figura muestra con claridad cómo a medida que aumenta la temperatura de recocido aumenta la temperatura Ms como consecuencia principalmente de que al aumentar la cantidad de austenita formada durante el recocido disminuye su contenido en carbono. También se puede apreciar que, para

una misma temperatura de recocido, al aumentar el tiempo de recocido, aumenta también la temperatura Ms lo que es indicativo que la transformación austenítica progresa isotérmicamente. Nótese que en el rango medio de la región intercrítica se observa un aumento notable de la temperatura Ms durante el mantenimiento; fenómeno mucho menos acentuado a las temperaturas más bajas y más altas del rango intercrítico. También se aprecia que a 760 °C el mayor aumento de la temperatura Ms se produce en los primeros 10 s; sin embargo a 780 °C el mayor aumento tiene lugar desde los 10 hasta los 100 s de mantenimiento. Esto podría explicarse teniendo en cuenta que una vez que se produce la descomposición de la perlita, la austenita progresa a partir de la ferrita. En el rango de la descomposición de la perlita, un aumento del tiempo de mantenimiento da lugar a un rápido enriquecimiento en carbono de la austenita resultante. Sin embargo, a las temperaturas a las que la austenita progresa a partir de la ferrita, la redistribución del carbono es el mecanismo que regula la transformación.

La técnica dilatométrica constituye una herramienta de gran valor para crear diferentes microestructuras de una forma muy sencilla en función de distintos parámetros. A modo de ejemplo, en la figura 11 se muestra la evolución de la dureza de un acero industrial DP1000 en función de la temperatura y tiempo de recocido. Nótese el amplio rango de propiedades mecánicas que se pueden conseguir con este acero, variando tan sólo los dos parámetros a los que se ha hecho referencia. De cualquier manera, el ensayo dilatométrico ha de completarse con una caracterización microestructural para confirmar el porcentaje de fases predichas por dilatometría y, a la vez, conocer la configuración microestructural

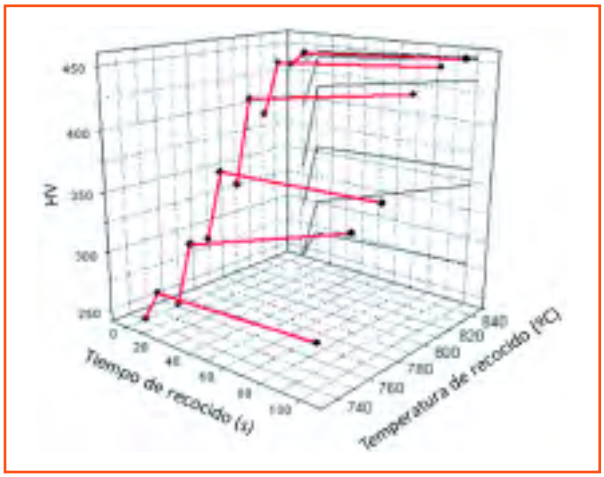


Figura 11: Evolución de la dureza en función de la temperatura y tiempo de recocido de un acero DP1000.

resultante (morfología, tamaño y localización de los microconstituyentes), factor éste imprescindible para explicar otras propiedades, como la conformabilidad de la calidad resultante.

Una de las aplicaciones más útiles de la dilatometría es la determinación de las curvas de transformación durante el enfriamiento continuo (CCT) o de la descomposición isotérmica de la austenita (TTT). Con objeto de conocer la ruta de enfriamiento adecuada durante un determinado tratamiento térmico, varias probetas dilatométricas se enfrían desde una determinada temperatura a diferentes velocidades y se registran las anomalías dimensionales en las curvas "DL/L0(T)". Estos ensayos deben complementarse con la determinación de la dureza y la caracterización microestructural de cada una de las probetas ensayadas. En la figura 12 se mues-

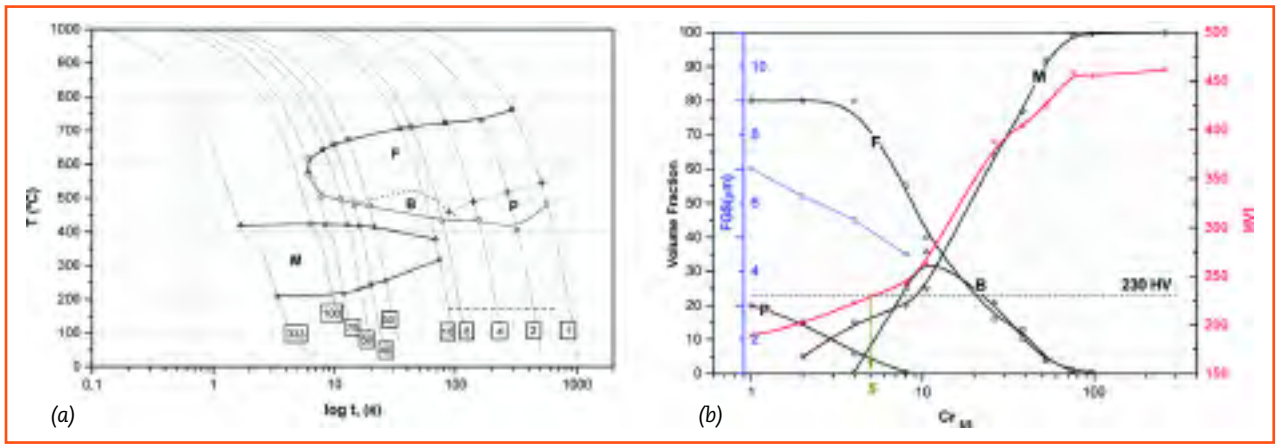


Figura 12: Curva CCT (a) y evolución microestructural y dureza asociada (b). Acero DP1400. Temperatura de austenización: 1.050 °C.

tra, a modo de ejemplo, las curvas CCT y la evolución tanto de la microestructura (porcentaje de constituyentes y tamaño de grano ferrítico) como de la dureza en función de la velocidad de enfriamiento (velocidad de enfriamiento entre 800 y 500 °C) de un acero DP1400 sometido a un tratamiento de recocido de austenización completa a 1.050 °C.

Otra de las aplicaciones de esta técnica consiste en simular la evolución microestructural en una unión soldada o de una zona sometida a un tratamiento térmico localizado. Por ejemplo, en la figura 13 se muestra la evolución de las curvas CCT de un acero DP1400 en función de la temperatura de austenización. Se puede notar con claridad cómo estas curvas se desplazan hacia temperaturas más bajas y hacia tiempos mayores a medida que aumenta la temperatura de austenización, como consecuencia de la mayor estabilidad de la austenita de partida. La figura 14 muestra la evolución de la microestructura y dureza de este acero para una velocidad de enfriamiento de 30 °C/s en función de la temperatura máxima alcanzada en el calentamiento previo.

En la figura 15 se muestra otro ejemplo en el que se puede apreciar la influencia de la velocidad de enfriamiento en la microestructura final. En este caso se trata de un acero de herramienta semirrápido. Mediante ensayos dilatométricos es posible conocer con relativa facilidad cuál es la velocidad de enfriamiento crítica para evitar la formación de perlita; microconstituyente de menor dureza y por ello muy perjudicial en este tipo de aceros dado su efecto negativo sobre su resistencia al desgaste. La figura 15 muestra la necesidad de utilizar una velocidad V_2 10 veces más rápida que V_1 para evitar la formación de perlita en este acero.

Una aplicación más de la dilatometría es el estudio del tratamiento térmico de revenido. En el caso de los aceros de herramienta puede ser necesario reali-

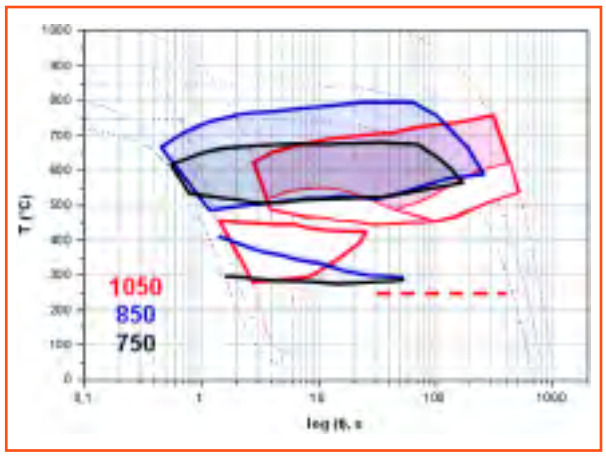


Figura 13: Curvas CCT de un acero DP1400 en función de la temperatura de calentamiento previo.

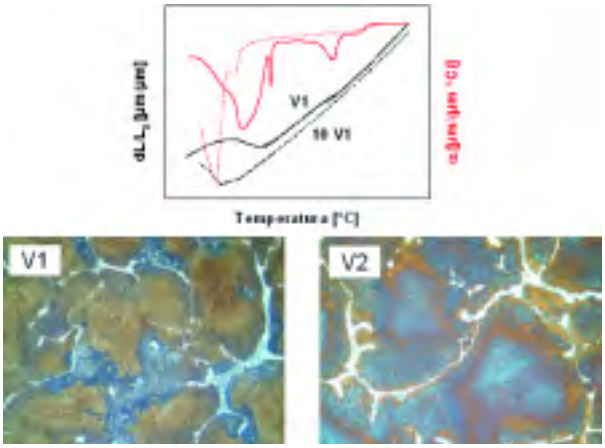
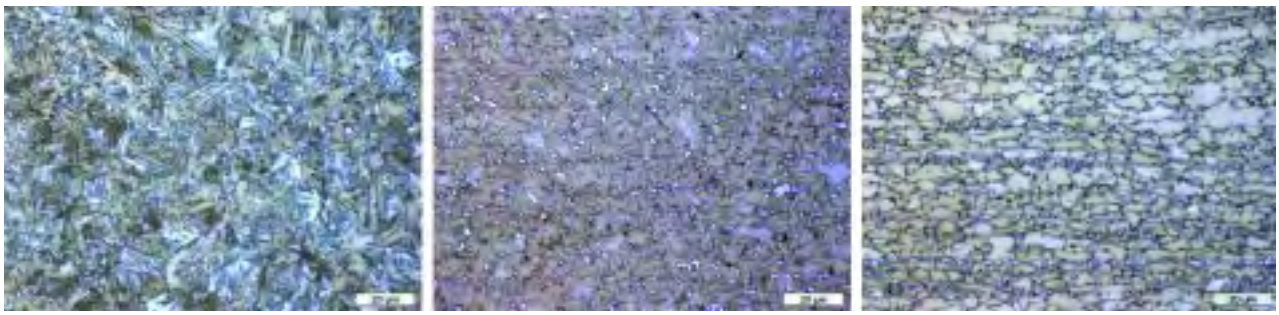


Figura 15: Curvas dilatométricas en el enfriamiento desde la temperatura de temple obtenidas para dos velocidades de enfriamiento diferentes, V_1 y V_2 = 10xV_1.



1.050 °C 850 °C 750 °C

Figura 14: Evolución de la microestructura y dureza del acero DP1400 para una velocidad de enfriamiento de 30 °C/s en función de la temperatura máxima alcanzada: 1.050 °C (32%F, 60%B, 8%M; 239 HV), 850 °C (84%F, 2%P+B, 14%M; 190 HV) y 750 °C (85%F, 9%P+B, 8%M; 189 HV).

zar dos o incluso tres revenidos con el fin de eliminar la austenita retenida. En la figura 16 se muestra la evolución dimensional de una probeta dilatométrica durante un tratamiento térmico que simula el tratamiento industrial de un acero rápido y que consiste en un temple y doble revenido. Se aprecia claramente que la austenita retenida se desestabiliza tras el primer revenido (nótese la anomalía dimensional asociada a su transformación martensítica durante el enfriamiento subsiguiente). Sin embargo, durante el segundo revenido sólo se aprecia un pequeño aumento dimensional a la temperatura de revenido, pero ya no se detecta transformación alguna durante el enfriamiento final.

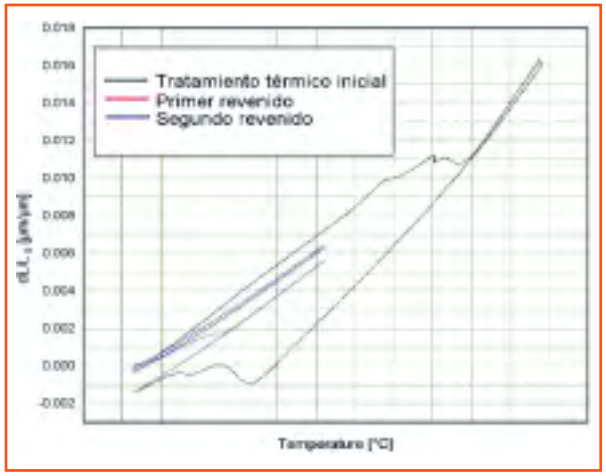


Figura 16: Curva dilatométrica correspondiente al tratamiento térmico industrial de un acero rápido.

La posibilidad de detectar la desestabilización de la austenita retenida durante el revenido mediante el cambio de volumen isotérmico que se puede producir a la temperatura de revenido (o incluso durante el calentamiento) y el que tiene lugar como consecuencia de su transformación martensítica durante el enfriamiento subsiguiente, permite resolver problemas como el que, a modo de ilustración, se describe brevemente a continuación.

Se trata de conocer el origen de unos defectos superficiales detectados en un recargue de acero de herramienta realizado sobre un cilindro tensor. El defecto, como se puede apreciar en la figura 17 consiste en la formación de un "patrón" de desgaste superficial heterogéneo. Según la información facilitada en su momento, el recargue había sido realizado por arco sumergido y con flux no aleante. Posteriormente se había aplicado un tratamiento térmico de revenido a 500 °C.

En la figura 18 se muestra la evolución microestructural observada en una superficie transversal a la dirección de deposición del recargue. Se puede apreciar un elevado contenido de austenita retenida; que es especialmente elevado en las zonas más claras del recargue que se aprecian en la figura 17 y que constituyen las zonas de solape de los cordones. Es este alto contenido de austenita retenida el responsable del rápido desgaste del cilindro. Con objeto de conocer la estabilidad de esta austenita retenida se simuló dilatométricamente un ciclo térmico lo más parecido posible al de deposición del recargue (con el fin de conocer la temperatura de inicio de la transformación martensítica en el enfriamiento subsiguiente) y varios revenidos a diferentes temperaturas, con el resultado que se puede ver en la figura 19. En primer lugar se pudo comprobar que la temperatura Ms resultó ser mucho menor que la esperada. En segundo lugar, se

Figura 17: Aspecto superficial del desgaste del rodillo tras un breve período de vida en servicio.

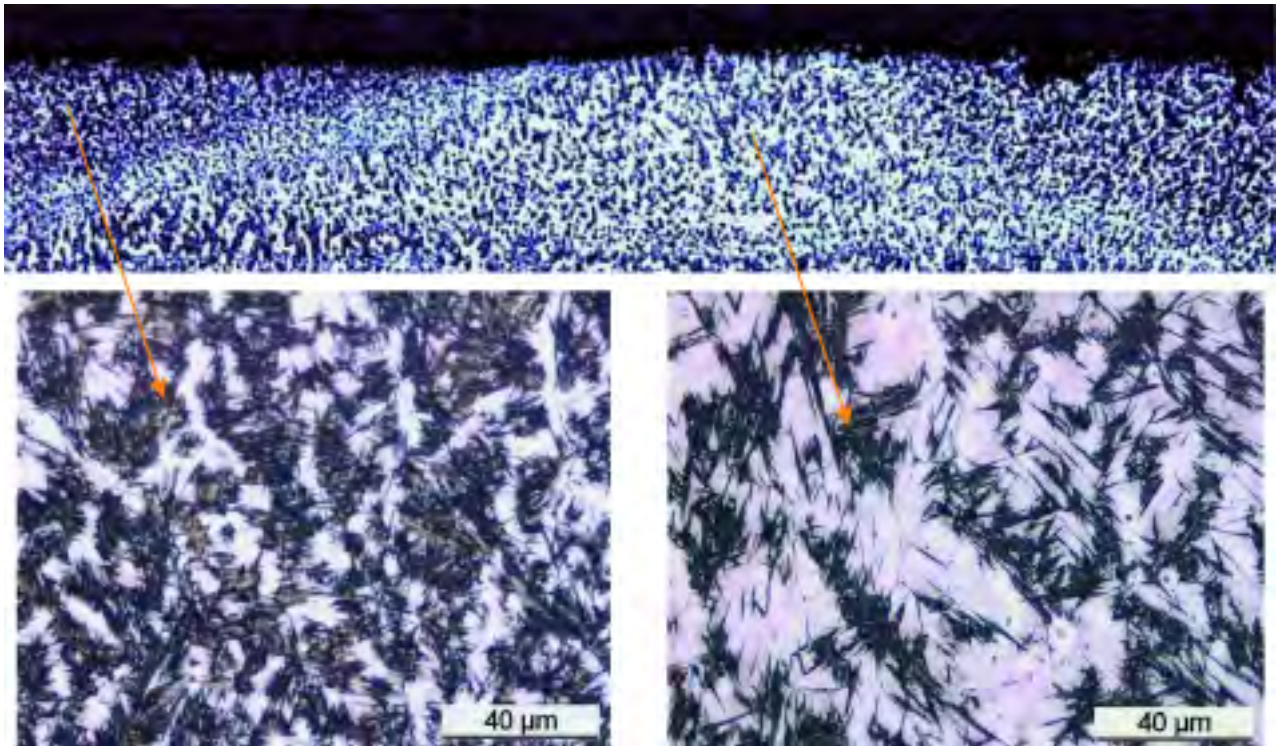


Figura 18: Evolución microestructural en la superficie del recargue. El mayor contenido de austenita retenida coincide con las zonas claras de la superficie del rodillo.

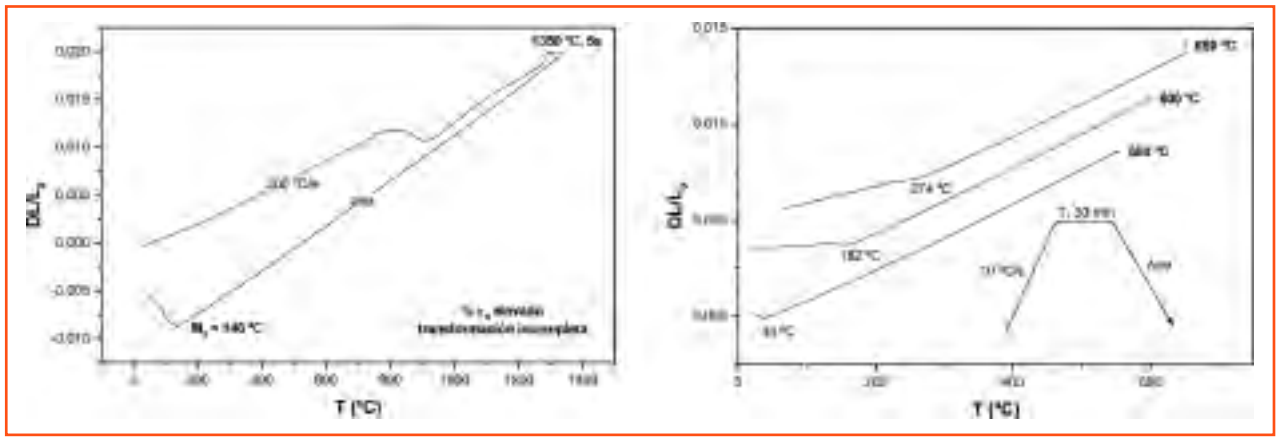


Figura 19: Determinación de la temperatura M_s característica del recargue (izquierda) e influencia de la temperatura de revenido en el grado de acondicionamiento de la austenita retenida.

demostró que la temperatura de revenido aplicada al recargue (500 °C) no es lo suficientemente elevada como para acondicionar la austenita retenida siendo necesarios revenidos a 600 °C. El estudio dilatométrico demostró que se había empleado un flux aleante y que, especialmente en las zonas de solape de los cordones (regiones más aleadas), la austenita retenida era demasiado estable como para ser acondicionada durante el revenido a 500 °C.

4. Conclusiones

En este trabajo se han expuesto variados ejemplos de la aplicación de la técnica dilatométrica para el diseño y simulación de tratamientos térmicos.

Las aplicaciones de la dilatometría son muy numerosas y los ejemplos descritos no son más que una breve ilustración de algunas de ellas. Las técnicas dilatométricas también pueden emplearse para de-

terminar cinéticas de transformaciones de fase y de precipitación y disolución de carburos; por ejemplo, durante el tratamiento térmico de temple de aceros rápidos [2] o durante el recocido continuo de aceros duales tal y como se ha ilustrado en algunos de los ejemplos descritos.

La transformación bainítica isoterma de los aceros con efecto TRIP o la partición del carbono en aceros QP, son otras posibles aplicaciones de la dilatometría en el campo de los aceros avanzados de alta resistencia.

La posibilidad de aplicar deformaciones (a tracción y/o compresión) durante el ciclo térmico permite simular ciclos termomecánicos. Además, algunos dilatómetros están dotados de módulos de tracción que permiten también realizar ensayos de tracción y de fluencia a temperaturas muy superiores a las que normalmente se pueden alcanzar en máquinas universales de ensayos mecánicos.

Una de las limitaciones de la técnica dilatométrica es que sirve para conocer cuándo tiene lugar una transformación, pero no da información de la naturaleza de la misma.

En la mayoría de los casos, esta limitación se suple con la experiencia o mediante un análisis microestructural y de dureza, no siendo necesario, en la mayoría de los casos, recurrir a otras técnicas como la difracción de rayos X; aunque en otros casos, sí es necesario.

Sirva como ejemplo el caso en el que se requiera conocer el tipo de carburos que se están poniendo en solución durante el tratamiento de austenización previo al temple de un acero rápido. Otra limitación de esta técnica tiene que ver con la aplicabilidad de la misma a la predicción de las fracciones volumétricas de los diferentes constituyentes generados durante un determinado ciclo térmico.

Por ejemplo, en el caso de la determinación del contenido de austenita intercrítica aplicando la regla de la palanca es necesario tener en cuenta que la variación dimensional no sólo está inducida por la formación de austenita sino también por la redistribución del carbono y, si se emplean velocidades de calentamiento propias de recocidos ultracortos, también es posible que se superponga el fenómeno de recristalización en el rango de temperaturas intercríticas inferiores. Así mismo, también ha de considerarse el posible cambio de volumen anisotrópo de la probeta dilatométrica durante el tratamiento térmico [3].

De cualquier manera, a pesar de estas limitaciones, la dilatometría, en combinación con la caracterización microestructural, constituye una herramienta de inestimable valor en el diseño y simulación de tratamientos térmicos y termomecánicos [4-12].

5. Referencias

[1] W. Bleck, K. Phiu-on, Microalloying for new steel processes and applications, Materials Science Forum, 500-501, 2005, 97-112.

[2] The kinetics of phase transformations during tempering in high-speed steels. P. Bala. Pacyna. JAMME, Vol 23, August, 2007.

[3] Dilatometric analysis of austenite decomposition considering the effect of non-isotropic volume change. Dong-Woo Suh, Chang-Seok Oh, Heung Nam Han, Sung-Joon kim. Acta Materialia 55 (2207) 2659-2669.

[4] Uncertainties in dilatometric determination of martensite start temperature. Hong-Seok Yang and H.K.D.H. Bhadeshia. Materials Science and Technology 2007 Vol 23 N °5.

[5] Role of dilatometry in development of multiphase steels. Takacs, W and Vero, B 2005.

[6] A global optimization technique to identify overall transformation kinetics using dilatometry data - applications to austenitization of steels. Tszeng, TC and Shi, G. 2004.

[7] Dilatometry Determination of Phase Transformation Temperatures during Heating of Nb Bearing Low Carbon Steels. Ahmed Ismail Zaky Farahat. Journal of Materials Processing Technology. 2007.

[8] Dynamically transformed ferrite fraction inferred from dilatometry measurements after deformation. Xinjun Sun, Han Dong, Qingyou Liu and Yuqing Weng Materials Science and Engineering: A. 2007.

[9] Continuous cooling transformation diagrams and properties of micro-alloyed TRIP steels. M. Zhang, L. Li, R.Y. Fu, D. Krizan and B.C. De Cooman Materials Science and Engineering: A, Volumes 438-440, 2006,296-299.

[10] Application of significance tests in quantitative metallographic analysis of a C–Mn–B steel. J. Kupczyk. Materials Characterization, Volume 57, Issue 3, September 2006, Pages 171-175.

[11] Interpretation of a dilatometric anomaly previous to the ferrite-to-austenite transformation in a low carbon steel. Tommy De Cock, Carlos Capdevila, Francisca G. Caballero and Carlos García de Andrés ScriptaMaterialia, Volume54, Issue5, March2006, Pages 949-954.

[12] Application of dilatometric analysis to the study of solid–solid phase transformations in steels. C. García de Andrés, F. G. Caballero, C. Capdevila and L. F. Álvarez. Materials Characterization, Volume 48, Issue 1, February 2002, Pages 101-111.

Este libro es el resultado de una serie de charlas impartidas al personal técnico y mandos de taller de un numeroso grupo de empresas metalúrgicas, particularmente, del sector auxiliar del automóvil. Otras han sido impartidas, también, a alumnos de escuelas de ingeniería y de formación profesional.

El propósito que nos ha guiado es el de contribuir a despertar un mayor interés por los temas que presentamos, permitiendo así la adquisición de unos conocimientos básicos y una visión de conjunto, clara y sencilla, necesarios para los que han de utilizar o han de tratar los aceros y aleaciones; no olvidándonos de aquéllos que sin participar en los procesos industriales están interesados, de una forma general, en el conocimiento de los materiales metálicos y de su tratamiento térmico.

No pretendemos haber sido originales al recoger y redactar los temas propuestos. Hemos aprovechado información procedente de las obras más importantes ya existentes; y, fundamentalmente, aportamos nuestra experiencia personal adquirida y acumulada durante largos años en la docencia y de una dilatada vida de trabajo en la industria metalúrgica en sus distintos sectores: aeronáutica –motores–, automoción, máquinas herramienta, tratamientos térmicos y, en especial, en el de aceros finos de construcción mecánica y de ingeniería. Por tanto, la única justificación de este libro radica en los temas particulares que trata, su ordenación y la manera en que se exponen.

Iniciamos, pues, estas publicaciones con el volumen I:
"PRINCIPIOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS ACEROS".

Manuel A. Martínez Baena
José Mª Palacios Repáraz

Disponible el libro de los Tratamientos Térmicos, uno de los libros más esperados dentro del Sector, por sólo

30 euros

El precio incluye IVA, gastos de envío aparte.

Índice general

Presentación ... 7

Prólogo ... 9

PARTE 1. INTRODUCCIÓN A LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS ... 17

I. Conceptos fundamentales ... 19
Introducción ... 19
Estados alotrópicos del hierro y puntos críticos ... 19
Carburos de hierro. Cementita ... 22
Diagrama hierro-carbono ... 23
Diagrama de transformación isotérmica de la austenita. Diagramas TTT ... 30
Diagrama de transformación en enfriamiento continuo. Diagramas TEC ... 38
Templabilidad ... 39
Ensayo de templabilidad Jominy ... 42
Bandas de templabilidad ... 44

PARTE 2. TRATAMIENTOS TÉRMICOS INDUSTRIALES ... 49

II. Tratamientos térmicos básicos de los aceros ... 51
Introducción ... 51
Ciclos de tratamiento térmico ... 51
Calentamiento ... 51
Tiempo a la temperatura de tratamiento ... 53
Enfriamiento ... 53
Tratamientos térmicos básicos más utilizados ... 53
Normalizado ... 56
Recocidos ... 57
Recocido de regeneración ... 58
Recocido globular ... 59
Recocido subcrítico ... 61
Temple ... 64
Calentamiento ... 65
Mantenimiento a temperatura de austenización ... 65
Enfriamiento ... 66
Factores que influyen en la práctica del temple ... 66
Etapa del vapor ... 71
Etapa de ebullición ... 73
Etapa de convección ... 74
Clases de temple ... 76
Revenido ... 80
Factores que influyen en el revenido ... 81
Fragilidad de revenido ... 83
Revenido de la martensita ... 88
Dureza secundaria ... 90
Bonificado ... 91

III. Tratamientos isotérmicos de los aceros ... 93
Introducción ... 93
Austempering. Temple bainítico ... 95
Martempering. Temple diferido martensítico ... 99
Recocido isotérmico ... 100
Patenting. Patentado ... 100
Tratamiento subcero ... 102
Tratamiento criogénico ... 104

PARTE 3. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES ... 105

IV. Cementación ... 113
Introducción ... 113
Mecanismos de la cementación ... 114
Factores que intervienen en la cementación ... 116
Composición química del acero ... 117
Potencial de carbono ... 117
Temperatura de cementación ... 118
Tiempo de cementación. Formación de capa ... 118
Clasificación de los procesos de cementación ... 123
Cementación sólida. Cementación en caja ... 123
Cementación gaseosa ... 125
Cementación líquida ... 129
Mecanizado y tratamientos térmicos de las piezas cementadas ... 133
Otras formas de cementación: (1) Cementación a baja presión; (2) Cementación iónica; (3) Cementación a alta temperatura ... 138

V. Nitruración ... 143
Introducción ... 143
Principios generales comunes a los diferentes procesos de nitruración ... 144
Capa de combinación o capa blanca ... 145
Zona de difusión ... 148
Nitruración gaseosa ... 151
Nitruración líquida o nitruración en sales ... 153
Aumento de volumen ... 156
Otras formas de nitruración ... 157
Nitruración iónica ... 158
Sulfocarburación ... 160
Nitrocarburación ... 164
Oxinitrocarburación ... 169
Recubrimientos superficiales mediante deposición de capas duras ... 172

VI. Carburación ... 175
Introducción ... 175
Características del proceso de carburación ... 177
Atmósferas carburantes empleadas ... 177
Temperatura de carburación ... 178
Características y naturaleza de las capas carburizadas ... 178
Tratamientos térmicos utilizados ... 180
Durezas superficiales alcanzadas ... 180
Ciclos tipo de carburización ... 182
Ventajas e inconvenientes de la carburización con respecto a la cementación ... 182
Austenita retenida en la superficie de las piezas carburizadas ... 183
Aceros que normalmente se utilizan en la fabricación de piezas que después tengan que sufrir el tratamiento de carburización ... 185

VII. Temples superficiales ... 187
Introducción ... 187
Características de la capa superficial endurecida ... 188
Temple a la llama. Flameado ... 190
Temple por inducción ... 193
Temple superficial por rayos láser ... 198
Calidad de los aceros para temple superficial ... 200

Consideraciones finales ... 203

Bibliografía ... 205

Para más información:
Teléfono: 917 817 776
e-mail: pedeca@pedeca.es

Vendemos fundición completa

Hornos inducción 600 kg/h.

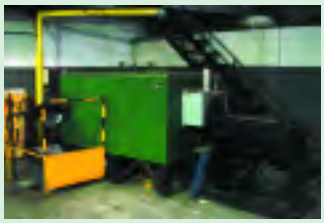
Moldeado Pepset.

Mezcladora, carrusel, recuperadora de arena, desmoldeadora, horno de recocido, espectrómetro, etc.

Toda o por partes.

Teléfs.: 949 214 288, 660 324 139 y vrise@hotmail.com

Se Vende



- Horno continuo Guinea Shaker-S30 de 30 kW y 50 kg de producción hora, el horno está funcionando y recién reparado.
- Horno de nitruración Aube Lindberg 1717 con dos crisoles más regulación, consumo 30 kW, con un diámetro de 550 m/m * 750 m/m.

- Lavadora de tricloroetileno.

TRATAMIENTOS TÉRMICOS MARGO
C/ MINUTISA, 10 - 47012 VALLADOLID
983-206-113 – E-mail: tratamientosmargo@hotmail.com

SE VENDE HORNO DE FOSA "NUEVO A ESTRENAR"

Características:

- Calentamiento eléctrico (250 kW).
- Dimensiones 1.750 mm ancho x 2.500 mm largo x 2.500 mm alto.
- Temperatura trabajo 750 °C máx.
- Sistema de recirculación interna.

Teléfono de Contacto: 650 714 800

PYRO CONTROLE
SSi SUPER SYSTEMS INC.
HITECH INSTRUMENTS LTD
EREMA
WINNER TECHNOLOGY CO LTD
- Sondas de oxígeno
- Analizadores de gases
- Pruebas de uniformidad de temperaturas - AMS2750D
- Sondas de temperatura
- Videoregistradores
- Reguladores de temperatura
- Thyratrons
- Resistencias CSi y MoSi2
- Automatización de hornos
ENTESIS
Galileu 313 baixos
08028 Barcelona
Telf 934105454
Fax 934199733
http://www.entesis.net
info@entesis.net

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

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

APLITEC
CODERE SA
SOUTTE
ECONOX
RD
APLICACIONES TERMOTECNICAS, S.L.
Tel: +34. 94.426.25.22 Fax: +34. 94.426.22.62

Emison
GRUPO EMISON
C/ Vallirana, 67 - 08006 Barcelona - Teléf.: 938 792 871 - Fax: 932 111 838
Internet: www.emison.com - e-mail: marc@emison.com
- Fabricantes de hornos desde 1957.
- Hornos de crisol.
- Más de 120 modelos en stock.
- Hornos de mufla.
- Hornos para las artes del fuego.
- Depuradores de humos.
- Equipos para joyería.
- Equipos especiales.
- Equipos para laboratorios.
- Tratamiento térmico de metales.
- Estufas de secado y calefacción.
- Equipos de incineración.

tey
Tratamientos Térmicos de Aceros Aleados y Consulting Técnico - Metalúrgico
Polígono Industrial ARTIA
48291 - ATXONDO - Bizkaia
Tlf.: 94 621 55 90
Fax.: 94 620 23 70
administracion@industriastey.com

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

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 - ESPAÑA
TEL: 94.426.25.22 FAX: 94.426.22.62

• Gran disponibilidad de modelos.
• Alta variedad de calidades.
• Piezas a medida según plano.
• Tubos radiantes.
• Rodillos.
• Parrillas.
• Cestones/cadenas.
• Mufla/Potes de recocido.
• Recuperadores.
Terminal Acerola S.L.

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 ARCIXAO, 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

AFE
AFE CRONITE TECHNOLOGIES
Diseño y fabricación de piezas fundidas en aleación de cromo / níquel
AFE Cronite Technologies - Ilarraza, 14 - 01192 ILARRAZA (ALAVA)
Tfno.: 945 293 400 - Fax: 945 293 145
E-mail: M.GARCIA@afecronite.com - www.afecronite.com

METALOGRÁFICA DE LEVANTE S.A.
TRATAMIENTOS TÉRMICOS
SERVICIO Y CALIDAD
Temple en Vacío
Cementación
Nitruración, Nipro
Carbonitruración
Temple en Atmósfera Controlada
Temples de muelles, series, etc.
Estabilizados, normalizados, recocidos
Deshidrogenados, Recristalización, etc.
Laboratorio Metalúrgico
Espectrometría
Consulting
Recogidas y entregas de material

S. A. METALOGRAFICA
TRATAMIENTOS TÉRMICOS
NUESTROS SERVICIOS
CAPACIDADES MÁXIMAS
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

Interbil
Ingeniería Térmica Bilbao s.l.
Ingeniería y Productos para Hornos y Procesos Térmicos
- Ingeniería de Hornos.
- Suministro y fabricación de resistencias.
- Quemadores recuperativos y regenerativos.
- Reguladores de potencia.
- Sistemas de control de procesos.
- Control de atmósferas.
www.interbil.es

EUCON
• AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS.
• ANALIZADORES DE GASES.
• SONDAS DE OXÍGENO PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS Y COMBUSTIÓN.
• MONITORIZACIÓN DE TEMPERATURAS EN HORNOS.
• GENERADORES DE NITRÓGENO GASLAB.
• HORNOS: ELTERMA PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS Y NITREX PARA NITRURACIÓN.
Parque Empresarial Villapark - Av. Quitapesares, 8 nave 8
Apartado 46 - 28670 Villaviciosa de Odón (Madrid)
Tel.: 916 165 814 - Fax: 916 165 783
E-mail: eucon@grupoeucon.com - www.grupoeucon.com

TRATAMIENTO DE SUPERFICIES
• Granalladoras de turbina
• Equipos de chorreado
• Lavadoras y túneles de lavado
ABRASIVOS Y MAQUINARIA, S.A.
Telf. 93 246 10 00 - 93 246 16 01
E-mail: info@aymsa.com
www.aymsa.com

Solución total con un único proveedor

PROGRAMA DE FABRICACIÓN:

- Hornos de atmósfera de una o varias cámaras.
- Hornos de vacío horizontales y verticales.
- Instalaciones continuas de atmósfera.
- Instalaciones continuas de vacío.
- Generación de atmósferas para procesos.
- Control y automatización de procesos.
- Investigación, fabricación, servicio postventa, formación.

Ipsen International GmbH
Flutstrasse 78 – 47533 Kleve, Alemania – Teléfono 0049-2821-804-518
www.ipsen.de

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.

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

Centro Metalográfico de Materiales

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

Laboratorio de ensayo acreditado por ENAC

- Laboratorio de ensayo de materiales : an lisis qu micos, ensayos mec nicos, metalogr ficos de materiales met licos y sus uniones soldadas.
- Soluci n a problemas relacionados con fallos y roturas de piezas o componentes met licos en producci n o servicio : calidad de suministro, transformaci n, conformado, tratamientos t rmico, termoqu mico, galv nico, uniones soldadas etc.
- Puesta a punto de equipos autom ticos de soldadura y rob tica, y temple superficial por inducci n de aceros.
- Cursos de fundici n inyectada de aluminio y zamak con pr ctica real de trabajo en la empresa.

INDICE de ANUNCIANTES

ABRASIVOS Y MAQUINARIA . . . 46
ACEMSA 47
AFE CRONITE 13
APLITEC 45
ARROLA 7
BAUTERMIC 15
BIEMH 17
BMI 45
BRUKER 44
COMERCIAL SATEC 9
EMISON 45
ENTESIS 45
EUCON 46
FISCHER INSTRUMENTS 44
FLEXINOX 45
HORNOS ALFERIEFF 3
HORNOS DEL VALLES 45
INDUSTRIAS TEY 45
INSERTEC 47
INSTRUMENTOS TESTO 47
INTERBIL 5
IPSEN 47
LIBRO TRATAMIENTOS TERMICOS 43
METALOGRÁFICA DE LEVANTE 46
PROYCOTECME 45
REVISTAS TECNICAS . . . . . Contraportada 3
ROBOTIK . . . . . Contraportada 2
S.A. METALOGRÁFICA 46
SECO . . . . . PORTADA
SPECTRO 44
SUMINISTRO Y CALIBRACIÓN INDUSTRIAL 47
TECNYMAT ACEROS 11
TRATAMIENTOS TERMICOS ESPECIALES 47
TRATERMAT . . . . . Contraportada 4
WHEELABRATOR 44

Próximo número

JUNIO

Gases especiales. Elementos y útiles para hornos. Robots. Software de control. Automatización. Microscopía. Análisis de gases, agua. Sales. Utillajes. Recambios.