TRATER Press

NOVIEMBRE 2017 • Nº 61

REVISTA DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

www.pedeca.es

insertec
Furnaces & Refractories

WHERE ENGINEERING BECOMES HEAT

Etxerre Kaminoa 21 \
48970 Basauri \ Bizkaia \ Spain

Tel.: +34 - 944 409 420 (Furnaces)
+34 - 944 409 450 (Refractories)

insertec@insertec.biz

www.insertec.biz + Online Store

metalmadrid '17

Décimo Aniversario

Junto a ROBOMATICA COMPOSITE SPAIN

REGISTRO ONLINE GRATUITO

Para EMPRESAS y PROFESIONALES

registroonline

15 y 16 Noviembre 2017

Pabellones 2 y 4
Feria de Madrid

PATROCINAN

Hoffmann Group – Tools to make you better · FUCHS – Lubricants. Technology. People. · SCHUNK · TRUMPF

COLABORAN

AIRBUS · Talgo · Gestamp · Gobierno de España – Ministerio de Industria, Energía y Turismo · Comunidad de Madrid · MADRID

ORGANIZA

grupo metalia

REGISTRATE COMO VISITANTE PROFESIONAL EN NUESTRA WEB

www.metalmadrid.com

www.compositespain.com · www.robomatica.es

Nuestra Portada

insertec
Furnaces & Refractories
WHERE ENGINEERING BECOMES HEAT

Etxerre Kaminoa, 21
48970 Basauri - Bizkaia - Spain
Tel: +34-944 409 450
Fax: +34-944 407 201
www.insertec.biz

Somos fabricantes de hornos de tratamientos térmicos, forja y calentamiento, esenciales en industrias tan diversas como las energías renovables, la automoción, la aeronáutica, las petroquímicas, etc.

Nuestro compromiso es dar soluciones innovadoras al sector del calor industrial, diseñando y fabricando hornos industriales y refractarios a medida; estableciendo relaciones duraderas que superen las expectativas de nuestros colaboradores.

Sumario • Noviembre 2017 - Nº 61

Información

- El III Fórum Técnico de Tratamiento Térmico "TRATER Day 2017" compartirá los últimos avances asociados a las tecnologías de tratamiento térmico **4**
- Ipsen International GmbH en España y Portugal **6**
- CETEMET es una de las siete entidades españolas seleccionadas por el CDTI para promocionar actuaciones internacionales durante dos meses en Bruselas **8**
- WindEurope invita a sus expositores principales a conocer Bilbao Exhibition Centre **10**
- III Fórum Técnico de Tratamiento Térmico 2017 **11**
- El titanio y sus aleaciones (Parte I) - *Por Manuel Antonio Martínez Baena* **16**
- Nuevo libro **28**
- Fórum de ARCAS - *Por Juan Martínez Arcas* **30**
- Nueva línea de Tratamiento Térmico SOLO Swiss en China **31**
- Creaform lanza SmartDENT 3D™, un potente software de análisis de daños **32**
- Las exportaciones aeronáuticas alcanzan la cifra récord de 1.544 millones **36**
- La mejora de la cartera de pedidos de las industrias de Bizkaia augura un buen cierre de año **38**
- Revolución –no evolución– necesaria para avanzar en tratamientos térmicos por inducción - *Por Gary Doyon, Valery Rudnev, Collin Russell y John Maher* **40**

Guía de compras **47**

Índice de Anunciantes **50**

Síguenos en

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

PEDECA PRESS PUBLICACIONES S.L.U.
Goya, 20, 1º - 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: DELEY
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

El III Fórum Técnico de Tratamiento Térmico "TRATER Day 2017" compartirá los últimos avances asociados a las tecnologías de tratamiento térmico

La 3ª edición del Fórum Técnico de Tratamiento Térmico (TRATER Day), organizada por el Centro de Investigación Metalúrgica IK4-AZTERLAN y por el Instituto de Fundición TABIRA, se celebrará el próximo día 23 de noviembre en Durango, Bizkaia.

El sector de los tratamientos térmicos se enfrenta al principal desafío de proponer soluciones altamente innovadoras, que permitan mejorar las características de los materiales con los que se fabrican componentes para aplicaciones de altísima exigencia como la aeronáutica, la industria naval o el sector de automoción, consiguiendo materiales más duraderos, flexibles y ligeros.

Con el propósito de identificar avances tecnológicos que puedan ayudar a mejorar la posición competitiva de la industria metal-mecánica, el Fórum Técnico de Tratamiento Térmico "TRATER Day 2017" analizará las tendencias y las nuevas propuestas tecnológicas del sector, de la mano de empresas como TALENS SYSTEMS S.L. ETXE-TAR Group, CEIT-IK4, QUINTUS TECHNOLOGIES, A3TS (Assoc. de Traitement Thermique et de Traitement de Surface), OERLIKON BALZERS Spain, GHI Hornos Industriales, ONDARLAN INDUCTOTHERM GROUP IBERIA y TORRAVAL COOLING, S.L., así como del Centro Tecnológico IK4-AZTERLAN.

El Fórum Técnico de Tratamiento Térmico tendrá lugar el 23 de noviembre en las instalaciones de IK4-AZTERLAN en Durango, contando con el apoyo de la revista TRATER Press como media partner.

El programa detallado del evento, junto con toda la información relacionada con la inscripción para asistir al mismo, se encuentra disponible a través de la web www.azterlan.es y en págs. 11 a 15.

Fórum Técnico de Tratamiento Térmico "TRATER Day"

"TRATER Day" es un evento técnico de carácter periódico organizado por el Centro de Investigación Metalúrgica IK4-AZTERLAN y el Instituto de Fundición TABIRA. En su última edición, TRATER Day reunió a cerca de 80 profesionales y 50 empresas del sector.

Esta jornada técnica de trabajo se posiciona como punto de encuentro anual para profesionales, técnicos y equipos de investigación especializados en los últimos avances e innovaciones en los distintos ámbitos de las tecnologías de tratamiento térmico (tecnologías de temple, tratamientos superficiales, caracterización, medición, recubrimientos…).

TRATAMIENTO TÉRMICO DE ALEACIONES DE METALES NOBLES EN ATMÓSFERA CONTROLADA

HEA
SINCE 1945

HORNOS INDUSTRIALES

www.alferieff.com • hea@hornoshea.com

Telféfono: +34 91 639 69 11

Ipsen International GmbH en España y Portugal

La compañía Ipsen nos comunica que desde el 26 de junio de 2017, Proycotecme ha pasado a formar parte del equipo Ipsen como representación comercial. Proycotecme es el responsable de la expansión del negocio y la promoción de la marca Ipsen en España y Portugal.

Con la incorporación de Proycotecme, que es una empresa familiar cualificada, con más de veinte años de experiencia en el sector de los hornos industriales, reforzando así la presencia en el mercado español. Gracias a la larga experiencia, los conocimientos especializados y la buena reputación en el sector de los hornos industriales, están seguros de que la colaboración con Proyctecme procurará un crecimiento sostenible en el mercado español.

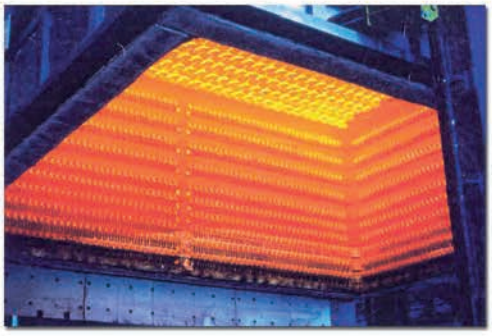
Proycotecme será una ayuda decisiva en todos los proyectos de las áreas de servicio técnico y mantenimiento.

PROYCOTECME
C/ Industria, 113, nave 1-K
Canovelles
08420 Barcelona
España
www.proycotecme.com
Tfno. +34 656 878 067
Fax +34 93 846 79 84
Correo electrónico:
proycotecme@proycotecme.com

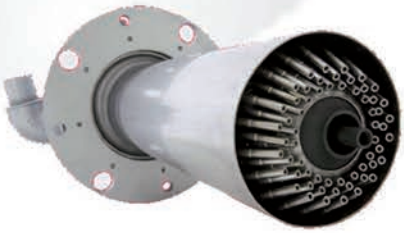
Ipsen

PROYCOTECME
HORNOS INDUSTRIALES

Hornos
Laboratorio e industriales



Quemadores
recuperativos y regenerativos

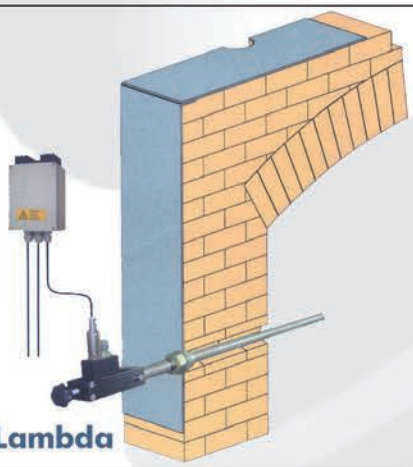


Reguladores de Potencia
a Tyristores:

AEG
Power supply systems

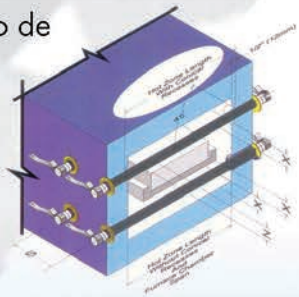
Equipos de control de atmosferas:

mesa electronic



Sonda Lambda

Carburo de Silicio



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

MoSi2 (Hasta 1800°C)

Interbil
Ingeniería Térmica Bilbao s.l.

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

www.interbil.es

SYSTEM CERTIFICATION ISO 9001:2000 SGS ACREDITADO POR ENAC

CETEMET es una de las siete entidades españolas seleccionadas por el CDTI para promocionar actuaciones internacionales durante dos meses en Bruselas

El Centro Tecnológico Metalmecánico y del Transporte, CETEMET, ha sido una de las siete entidades españolas seleccionadas por el CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial), dentro de su programa INNVOLUCRA, para promocionar actuaciones internacionales durante dos meses en Bruselas. Se trata de una iniciativa destinada a la especialización en el ámbito europeo de profesionales y gestores de empresas o instituciones españolas que participan en propuestas del Programa Horizonte 2020 y otras iniciativas similares.

De esta manera, a través de un concurso de méritos, el CDTI ofrece apoyo financiero para una estancia de 8 semanas en su oficina de Bruselas y un completo plan de trabajo que consta de una agenda de ponencias con representantes de la Comisión Europea y de otras organizaciones internacionales, así como con integrantes del CDTI y otros actores del panorama europeo del ámbito de la I+D+i. Asimismo, este proyecto cuenta con una programación exclusiva de acciones que van a permitir a CETEMET intervenir en eventos industriales de carácter europeo y en reuniones y visitas relevantes de trabajo, con el fin de identificar tendencias de futuro y el funcionamiento de las actuaciones europeas.

El principal objetivo de esta estancia es posicionar los intereses europeos de CETEMET y de sus colaboradores más estrechos de cara a la obtención de financiación europea de proyectos de Innovación y Desarrollo Tecnológico. En este sentido, el trato directo con la Comisión Europea y los principales responsables de los programas Factory of the Future, Advanced Manufacturing, Advanced Materials, Robotics o las PPPs, entre otras iniciativas, junto a los máximos responsables del CDTI en Bruselas, situará al Centro Tecnológico en una posición estratégicamente ventajosa para la defensa de sus ideas y proyectos.

Referencia europea en Andalucía

Según Ángel Fraile, director de CETEMET, "nuestro gestor será José Antonio Pérez, director del Departamento Internacional y de Gestión del Conocimiento. Es una gran ocasión para que el Centro sea conocido en la Administración central europea como referencia en Andalucía y, además, para facilitar la interlocución de pequeñas y medianas empresas con Bruselas y los diferentes agentes que componen el entramado europeo".

CETEMET es la única entidad andaluza que conforma el grupo de siete instituciones seleccionadas, compuesto por organizaciones tan destacadas y reconocidas como Schneider Electric, SENER, Instituto Tecnológico de Galicia (ITG), Instituto de Investigación Biomédica de Lérida, Universidad de Santiago de Compostela e Instituto de Investigación Biomédica de Gerona.

HORNOS DE INDUCCIÓN

PARA FORJA INDUCTOFORGE DE INDUCTOTHERM

I-HAZ

MAXIMIZA EL CONTROL DEL PROGRESO

MODO STAND-BY:

MINIMIZA LOS RECHAZOS EN PARADAS Y ARRANCADAS

INDUCTOTHERM GROUP | IBERIA

Alta productividad y alta seguridad para su forja

ONDARLAN, S.L.:
+34 943 635079
o visite: www.ondarlan.com
email: oficina@ondarlan.com
I.P. Videoconferencia: 88.2.227.10

WindEurope invita a sus expositores principales a conocer Bilbao Exhibition Centre

WindEurope, Asociación Europea de Energía Eólica, ha invitado a sus principales clientes, empresas y entidades, a visitar Bilbao Exhibition Centre, para ofrecerles una primera toma de contacto con el recinto que acogerá su evento internacional más importante en 2019, "WindEurope Conference & Exhibition". Así, a lo largo de octubre y de forma escalonada, han viajado hasta Bilbao representantes de firmas líderes como Siemens Gamesa RE, LM Wind Power, Enercon, Ingeteam, DWEA-Asociación Danesa de Exportación de Energía Eólica, MHI Vestas Offshore Wind, Nordex Acciona y MPI Offshore.

En diversas reuniones, directivos de WindEurope y del propio Bilbao Exhibition Centre han proporcionado a todos ellos información pormenorizada del recinto y sus capacidades, un primer plano con distribución de espacios del certamen, así como un recorrido completo por las instalaciones que albergarán la feria-congreso durante tres jornadas, los días 2 al 4 de abril. Visualizar la configuración del espacio es muy importante para los responsables de eventos de las compañías participantes, que trabajarán hasta el mínimo detalle el diseño y construcción de su "arquitectura ferial" para destacar su posicionamiento de marca, con un stand innovador y creativo a medida de su ubicación.

Además, la agenda del viaje ha incluido dos encuentros con responsables de Bilbao Convention Bureau, que han aprovechado la ocasión para trasladar de primera mano a los futuros participantes las características de la ciudad y su entorno, analizando las posibilidades que ofrece desde el punto de vista hotelero, gastronómico y de infraestructuras. Los espacios disponibles para organizar actos sociales y las propuestas turísticas, para completar la estancia de los profesionales que acudirán al certamen han sido, también, aspectos destacados de las entrevistas.

WindEurope atraerá a Bilbao más de 400 empresas expositoras de 50 países y 8.000 visitantes profesionales de todo el mundo. La feria constituye la cita más importante de Europa en su especialidad y es uno de los eventos de referencia de la asociación. En los últimos años, la energía eólica ha experimentado un desarrollo intensivo y es ya la fuente energética con mayores índices de crecimiento, por lo que la feria llega en un momento clave para la apuesta por la innovación, creación de nuevos contactos y conocimiento de tendencias de futuro de un sector en marcada expansión.

III FÓRUM TÉCNICO DE TRATAMIENTO TÉRMICO 2017

TECHNICAL FORUM ON HEAT TREATMENT

23 de Noviembre de 2017

November 23rd 2017

2017ko Azaroaren 23a

IK4-AZTERLAN (Durango)

tabira Instituto de Fundición

WFO

IK4 AZTERLAN Research Alliance

Durangoko Merinaldearen Amankomunazgoa
Mancomunidad de la Merindad de Durango

DEE-AED

TRATER Press

tabira Instituto de Fundición

IK4 AZTERLAN Research Alliance

PRESENTACIÓN

El sector de los tratamientos térmicos se enfrenta al desafío principal de proponer soluciones altamente innovadoras que permitan mejorar las características de los materiales con los que se fabrican piezas para industrias de tan alta exigencia como son la aeronáutica, naval o automoción, consiguiendo materiales más duraderos, flexibles y ligeros.

La propuesta de trabajo planteada por el Centro de Investigación Metalúrgica IK4-AZTERLAN y el I.F. TABIRA, con la colaboración como Media Partner de TRATER PRESS, viene recogida en el programa de trabajo del **III Fórum Técnico de Tratamiento Térmico (TRATER DAY 2017)**, que se celebrará el próximo día **23 de Noviembre en IK4-AZTERLAN** (Durango, Bizkaia).

El principal objetivo de esta propuesta de trabajo es mejorar la posición tecnológica y competitiva de las empresas de la industria metal mecánica, presentando importantes innovaciones tecnológicas provenientes de los últimos desarrollos en el campo de los tratamientos térmicos. Esta jornada técnica de trabajo se posiciona como punto de encuentro para profesionales, técnicos y equipos de investigación especializados en los últimos avances e innovaciones en los distintos ámbitos de la industria del tratamiento térmico (tecnologías de temple, tratamientos superficiales, caracterización, medición, recubrimientos...). Se trata así de convocar tanto a las empresas referentes del sector como a los sectores estratégicos que los aplican (automoción, eólica, ferroviaria, aeronáutica, fundición, entre otras).

PRESENTATION

The Heat Treatment industry faces the main challenge of proposing highly innovative solutions that improve the characteristics of the manufactured components, getting more durable, flexible and lightweight materials.

The working proposal set by the IK4-AZTERLAN Metallurgical Technical Centre and TABIRA F.I., with the cooperation of TRATER PRESS, will take place in **IK4-AZTERLAN on November 23rd 2017**.

The main objective of this proposal is to improve the technological and competitive position of the companies in the metal-mechanical industry, presenting important technological innovations coming from the latest developments in the field of heat treatments. The activity responds to the needs of companies from a practical point of view, introducing advanced experiences at an industrial level. This Technical Forum positions itself as a meeting point for professionals, technicians and research teams specialized in the Heat Treatment industry, calling so reference companies and strategic sectors which apply these treatments (Automotive, Wind Energy, Railway, Aeronautics, Foundry, among others).

AURKEZPENA

Tratamendu termikoen sektoreak soluzio oso berritzaileak eskaintzeko erronka garrantzitsuari egin behar dio aurre, aeronautika, ontzigintza eta autogintza bezalako industrietan egiten diren exijentzia altuko piezak fabrikatzeko erabiltzen diren materialen ezaugarriak hobetzea lortu behar baita.

IK4-AZTERLAN Ikerketa Zentru Metalurgikoak eta TABIRA F.I.-k planteatutako lan proposamena **Tratamendu Termikoen III. Forum Teknikoan** jasotzen da datorren **azaroaren 23an** IK4-AZTERLANen Durangoko egoitzan ospatuko dena. Lan proposamen honen helburu nagusia da industria metal mekanikoan jarduten duten enpresen egoera teknologikoa eta lehiakortasuna hobetzea. Horretarako, tratamendu termikoen esparruan izan diren azken garapenen eta ikerketetatik datozen berrikuntza teknologikoen elementu garrantzitsuak erabiliko dira.

PROGRAMA - PROGRAMME - EGITARAUA

III Fórum Técnico de Tratamiento Térmico

tabira Instituto de Fundición

IK4 AZTERLAN Research Alliance

23 Noviembre 2017

09:15 h **Recepción de asistentes y entrega de documentación** – *Welcome and registration*

09:30 h **Apertura del Fórum Técnico** – *Technical Forum opening*
Sr. José Javier González. Secretario General, INSTITUTO DE FUNDICIÓN TABIRA

Sesión 01 – First working session

09:45 h **Tecnología láser aplicada al tratamiento superficial térmico: aplicaciones avanzadas en Automoción y otros campos** – *Laser technology applied to surface heat treatment: advanced applications in Automotive and other fields*
Sr. Juan Isaza. Business Development Manager, TALENS SYSTEMS S.L. ETXE-TAR Group

10:15 h **Prensado isostático en caliente (HIP) como tratamiento térmico en componentes de Fabricación Aditiva** – *Hot Isostatic Pressing (HIP): Heat treatment in Additive Manufacturing parts*
Sr. Iñigo Iturriza. Head of the Additive Manufacturing and Laser Group, CEIT-IK4

10:45 h **Equipamiento tecnológico avanzado para aplicaciones HIP en tratamiento térmico** *Technical advances in HIP equipment and practical applications in heat treatment*
Mr. Mats Sjöstedt. Area Sales Manager AMD, QUINTUS TECHNOLOGIES

11:15 h **Pausa café** – *Coffee break*

Sesión 02 – Second working session

11:45 h **Modelización de la formación y disolución de fases. Potenciales aplicaciones en tratamiento térmico** – *Modelling of the formation and dissolution of phases. Potential applications in heat treatment*
Sr. Fernando Santos, Sra. Andrea Niklas. Ingeniería, I+D y procesos metalúrgicos, IK4-AZTERLAN

12:15 h **Causas y soluciones en deformaciones producidas por el TT en piezas cementadas** *Causes and improvement solutions for deformations caused by HT in cemented parts*
Mr. André Mulot. Trainer, A3TS Assoc. de traitement thermique et de traitement de surface

12:45 h **Soluciones de superficie avanzadas para utillajes y componentes en la industria de Automoción** – *Advanced surface solutions for tooling and components in Automotive*
Sr. Juan Carlos Cengotitabengoa. Sales Manager, OERLIKON BALZERS Spain

13:15 h **Comida** – *Lunch*

Sesión 03 – Third working session

15:00 h **Herramientas para la correcta definición de atmósferas en hornos de tratamiento térmico** – *Tools for the correct definition of atmospheres in heat treatment furnaces*
Sr. Garikoitz Artola. Ingeniería, I+D y procesos metalúrgicos, IK4-AZTERLAN

15:30 h **Avances tecnológicos en hornos de tratamiento térmico** *Technological advances in heat treatment furnaces*
Sr. Ricardo Herrán. Director Técnico, GHI Hornos Industriales

16:00 h **Eficiencia en tratamiento térmico en un proceso industrial intensivo en consumo energético como la Forja** – *Efficiency in heat treatment in an industrial process intensive in energy consumption like Forging*
Sr. Eugenio Pardo Olea. Responsable del Dpto. de Calentamiento por Inducción y Forja, ONDARLAN INDUCTOTHERM GROUP IBERIA

16:30 h **Factores de impacto de la refrigeración por agua en los tratamientos térmicos** *Impact factors of water cooling in heat treatments*
Sr. Jose María Fernández Cubero. Export Sales Manager, TORRAVAL COOLING, S.L.

17:00 h **Clausura del Fórum Técnico** – *Closing of Technical Forum*

Ponencia en inglés – Lecture in English

FECHA DATE *EGUNA*	**23 Noviembre de 2017** November 23rd, 2017 *2017ko Azaroaren 23a*
LUGAR PLACE *LEKUA*	**IK4-AZTERLAN, Auditorio** Aliendalde Auzunea 6 48200 Durango, BIZKAIA - SPAIN
HORARIO SCHEDULE *ORDUTEGIA*	**De 9:15 a 17:00** From 9:15 to 17:00 *9:15 – 17:00*
IDIOMAS OFICIALES OFFICIAL LANGUAGES *HIZKUNTZA OFIZIALAK*	***Castellano e Inglés*** Spanish and English *Gaztelania eta Ingelesa*

Pulsa en el siguiente enlace para registrarte en el evento / *Click on next link to access online registration web to the technical event*

INSCRIPCIÓN ONLINE / ONLINE REGISTRATION / IZEN EMATEA

http://bit.ly/2yxpBYb

CUOTA DE INSCRIPCIÓN / REGISTRATION FEE / INSKRIPZIO KUOTA

175 € (+21% IVA) **No socios: Incluye la asistencia a las sesiones técnicas, documentación, pausa café y comida.** / *Non members: Includes participation in the technical sessions, documentation, coffee break and lunch.*

Miembros del Instituto de Fundición TABIRA o de la DEE-AED / *Associate Members from TABIRA Foundry Institute or DEE-AED* **100€** (+21% IVA)

Plazas limitadas, siguiendo riguroso orden de inscripción (con prioridad a socios)
— Limited places, assigned by order of application (with priority for members)

FORMA DE PAGO / METHOD OF PAYMENT / ORDAINKETA ERA

Bank transfer to / *Transferencia a* ***IBAN ES90 0049 4912 71 2310994481***
BANCO SANTANDER CENTRAL HISPANO

Con Asunto / *With subject* **FÓRUM TÉCNICO DE TRATAMIENTO**

Remitir por email el justificante de ingreso. Política de cancelaciones en la web de inscripción
— Confirmation of the payment to be sent by email. Cancellation policy detailed on registration web

INFORMACIÓN / INFORMATION / INFORMAZIOA

Persona de contacto / *Contact person:* Olatz Garro

Tel. +34 94 621 54 70 **Fax** +34 94 621 54 71 **E-mail:** ogarro@azterlan.es

ORGANIZACIÓN - ORGANIZATION - ANTOLAKETA

tabira Instituto de Fundición

IK4 AZTERLAN Research Alliance

COLABORACIÓN - COLLABORATION - LANKIDETZA

A3TS

Quintus TECHNOLOGIES

ceit IK4 Research Alliance

oerlikon balzers

GHI HORNOS INDUSTRIALES

INDUCTOTHERM GROUP IBERIA ONDARLAN

TALENS ETXETAR group

ikg

50 YEARS TORRAVAL cooling product, technology & services MITA Group

IK4 Research Alliance

TRATER Press

Durangoko Merinaldearen Amankomunazgoa Mancomunidad de la Merindad de Durango

DEE-AED

El titanio y sus aleaciones (Parte I)

Por Manuel Antonio Martínez Baena. Ingeniero Metalúrgico

8. Introducción

El **titanio** (**Ti**) metal que cuando se descubrió allá por los años 1790, fue considerado durante más de 150 años como mera curiosidad científica. Hubo que esperar hasta mediados del siglo XX, conocidas ya sus propiedades mecánicas y físicas, para que se reconociera entonces su potencial como material que presenta una extraordinaria relación ***resistencia/peso***. Metal que se puede utilizar además a una temperatura relativamente elevada, *–más alta a la que resiste el aluminio–* con una amplia aplicación en la industria aeronáutica.

El titanio es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre [0,8 por 100 en peso] se encuentra en numerosas rocas ígneas, derivados de ellas y también en silicatos. Pero su extracción económicamente viable es a partir del ***rutilo***– *dióxido de titanio* [$\mathbf{TiO_2}$]– y la ***ilmenita*** que es un titanato de hierro [$\mathbf{FeO.TiO_2}$]. Para obtener el titanio puro a partir de los minerales que lo contienen, se utiliza mayormente el llamado "Método de Kroll", que consiste en la reducción del tetracloruro de titanio [$\mathbf{TiCl_4}$] por cloruración a una temperatura de 900 °C, purificación del tetracloruro por la acción del magnesio (**Mg**) o bien del sodio (**Na**) en una atmósfera de argón (**Ar**), que impide su oxidación; **figura 8.1**.

Hoy día, el titanio y sus aleaciones son comunes materiales de ingeniería, aceptablemente disponibles, que compiten directamente con acero inoxidable y aceros especiales, aleaciones de cobre, de aluminio, de níquel, etc. Su utilización se ha generalizado con el desarrollo de la tecnología aeroespacial, donde el titanio es capaz de soportar las condiciones extremas de frío y calor que se dan en el espacio; así como en la industria química por ser resistente al ataque de muchos ácidos. Es asimismo un metal que tiene propiedades biocompatibles, dado que los tejidos de nuestro organismo toleran su presen-

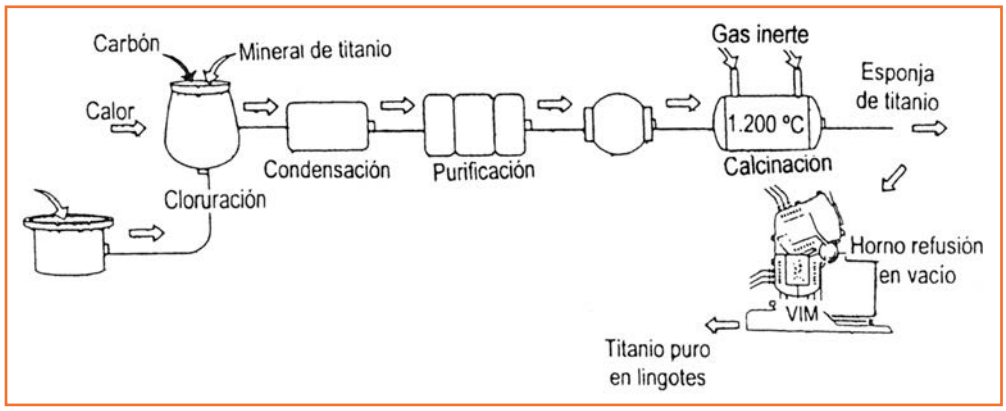


Figura 8.1. Representación esquemática del proceso de obtención del titanio. Método Kroll.

cia, por lo que es factible la fabricación de prótesis e implantes. Aproximadamente el 95% del titanio que se consume lo hace en forma de dióxido de titanio **TiO_2**, debido a las múltiples aplicaciones industriales que tiene. El dióxido de titanio, reiteramos, es la principal fuente comercial del titanio.

El titanio es un metal muy reactivo, ya que forma compuestos rápidamente con los elementos: carbono (**C**), oxígeno (**O**), nitrógeno (**N**) y hidrógeno (**H**). La incorporación de tales elementos en la composición química del titanio endurece el material, como puede apreciarse en las **figuras 8.2**; aunque al mismo tiempo lo fragiliza: reduce su ductilidad. Por todo ello las propiedades mecánicas del titanio dependen de su grado de pureza.

Debido a su alta reactividad dificulta la obtención del metal puro; por lo que al fundir o soldar el titanio es imperativo reducir al máximo el tiempo de exposición del metal ante tales elementos. Circunstancia a tener en cuenta, también, durante los procesos de tratamiento térmico, fusión y soldadura del titanio, ya que se han de llevar a cabo en instalaciones bajo vacío y/o en atmósferas inertes de argón y de otros gases nobles.

Por su resistencia y dureza, así como el resto de características mecánicas y tecnológicas: tenacidad, límite elástico, baja densidad, excelente relación resistencia/peso, resistencia a la corrosión, etc. se utiliza, cada vez más, en la moderna industria aeroespacial, sector aeronáutico y en biomédica: implantes ortopédicos, dentales y otros. Las aleaciones de titanio han desplazado, también,

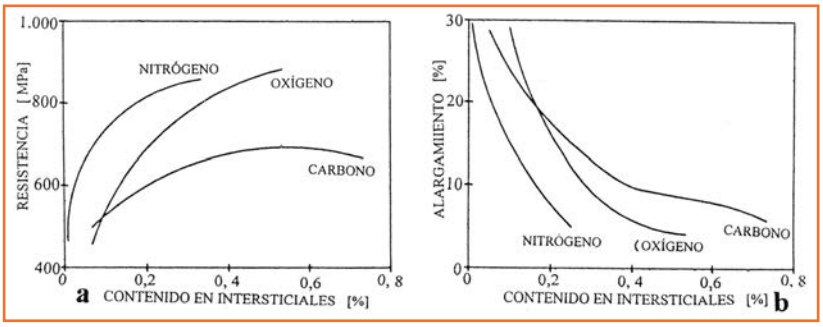


Figura 8.2. Influencia del contenido de elementos intersticiales sobre las características mecánicas del titanio: (**a**) resistencia a la tracción; (**b**) alargamiento.

en algunos importantes sectores industriales, a las aleaciones de aluminio y a los aceros inoxidables.

El titanio es un metal que tiene asimismo una excelente resistencia a la corrosión. En contacto con el ambiente que le rodea se protege de una fina película superficial adherente, transparente, no porosa, de dióxido de titanio (**TiO_2**) con una gran estabilidad química, que se ve favorecida a medida que aumenta el carácter oxidante del ambiente. Película que es resistente, también, al calor: hasta 550 °C de temperatura. Por encima de 550 °C dicha película se rompe, ocasionando que los elementos de pequeño radio atómico [**C**, **O**, **N** y **H**], penetren en el material produciéndole fragilidad.

8.1. Propiedades del Titanio comercialmente puro (Ti cp)

Propiedades físicas

- Es un metal de transición.
- Densidad = 4,6 g/cm^3. Aproximadamente el 60% de la densidad del acero.
- Punto de fusión = 1.668 °C.
- Coeficiente de dilatación térmica a 20 °C = 8,64.10^{-6}/°C.
- Conductividad térmica a 20 °C = 21,9 W/m.K.
- Conductividad eléctrica = 2,38 x 10^{-6} S/m = 3% IACS [Cobre = 100%].
- Calor específico = 523 J/kg. K.
- Módulo de elasticidad = [115 ÷120 GPa].
- Coeficiente de Poisson = [0,330 ÷ 0,361].
- Es de color plateado grisáceo. Se puede anodizar con lo que consigue una atractiva gama de colores.
- Es paramagnético, es decir que presenta ligera susceptibilidad a un campo magnético.
- Forma aleaciones con otros elementos para mejorar las prestaciones mecánicas.
- Es resistente a la corrosión hasta 600 °C de temperatura.
- Es refractario.
- Baja capacidad calorífica y baja conductividad eléctrica: no es buen conductor del calor ni de la electricidad.

Propiedades tecnológicas* y *mecánicas

- Baja maquinabilidad* por arranque de viruta.
- Permite fresado químico.
- Es maleable, permite la producción de láminas muy delgadas.
- Es dúctil, permite la fabricación de alambres hasta diámetros muy reducidos.
- Es duro. Escala de Mohs 6.
- Muy resistente a la tracción.
- Tiene gran tenacidad.
- Permite la fabricación de piezas por moldeo y por forja.
- Material soldable.
- Permite varias clases de tratamientos térmicos y termoquímicos en superficie.

Propiedades químicas

- Presenta dimorfismo.** A temperatura ambiente tiene estructura hexagonal compacta (HC) = fase α, y por encima de 882 °C presenta estructura cúbica centrada en el cuerpo (CC) = fase β.
- Su resistencia a la corrosión es debida al fenómeno de pasivación: formación de una capa superficial muy resistente, bien adherida y altamente impermeable, de óxido protector. A temperatura ambiente resiste muy bien los ácidos sulfúrico [**H_2SO_4**] y clorhídrico [**HCl**] diluido, así como a otros ácidos orgánicos resistentes también a las bases, incluso en caliente. La superficie pasivada baja su resistencia a la corrosión, cuando el ambiente que le rodea no es reductor; esto posibilita la disolución de dicha capa protectora de óxido. A temperaturas elevadas reacciona fácilmente con el nitrógeno, el oxígeno, el hidrógeno, el boro, etc.
- Es biocompatible y no tóxico.
- Muy resistente a la cavitación.***

La elevada reactividad del titanio, anteriormente comentada, dificulta la obtención del metal puro; por lo que en aplicaciones comerciales se trabaja con titanio, denominado comercialmente puro [**Ti cp**], con diferentes niveles de "impurezas" en su composición.

Las normas de American Society for Testing and Mate-

---

* La **maquinabilidad.** Se puede definir como la capacidad de un material a ser trabajado en máquina-herramienta, es decir, la facilidad que tiene de permitir el proceso de hechurado de piezas por arranque de viruta. No es una propiedad intrínseca del material, sino el resultado de la interacción material-pieza-herramienta. La maquinabilidad del titanio y sus aleaciones es baja, siendo francamente dificultosa debido a su reducida conductividad térmica, elevada resistencia mecánica y reactividad con la mayoría de materiales con los que están fabricadas las herramientas con que se mecanizan.

** **Dimorfismo**. Propiedad de un metal de poseer dos sistemas cristalinos.

*** **Cavitación**. Acumulación de defectos en la red cristalina de un metal que da lugar a fisuras y cavidades en el mismo.

rials [**ASTM**], clasifican al titanio comercialmente puro [**Ti cp**] en cuatro calidades fundamentales; **tabla 8.I**.

Grado ASTM	Designación	R (MPa) *[L/T]	LE (MPa) *[L/T]	Alargamiento (%) *[L/T]	
1	CP4	240	170	24	24
2	CP3	345	275	20	20
3	CP2	445	380	18	18
4	CP1	550	480	15	15

* Propiedades con base al esfuerzo, en sentido tanto longitudinal (**L**) como en el transversal (**T**), para espesores menores a 25 cm. El alargamiento en base al esfuerzo para espesores de 0,65 cm a 25 cm. Se ha tomado como base la mínima resistencia alcanzada de recocido

Tabla 8.I. Principales calidades de titanio puro de grado técnico según **ASTM**. Características mecánicas en estado recocido.

El titanio comercialmente puro [**Ti cp**] contiene entre 90 por 100 y 99,5 por 100 en peso de titanio. El titanio comercialmente puro [grados 1 al 4] es blando, de poca resistencia y extremadamente dúctil. Sin embargo, a través de la adecuada adición de otros elementos, puede convertirse en un material de ingeniería con características únicas: alta resistencia y rigidez, ductilidad apropiada, resistencia a la corrosión y menor densidad que la mayoría de los restantes metales estructurales.

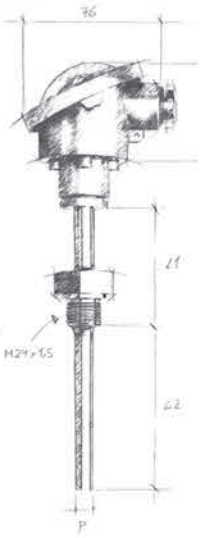
En la **tabla 8.II** se caracterizan los diversos grados del titanio comercialmente puro, –*según* **ASTM**– en función del contenido (%) de cada uno de los elementos intersticiales [**N**, **C**, **O**, **H**, **Fe**, **Ti**] que influyen sobre la resistencia mecánica y la tenacidad del metal. Considerando que el aumento del contenido en hierro [**Fe**] empeora la resistencia del metal a la corrosión.

8.3. Aleaciones de titanio

El titanio es el único metal, de los denominados ligeros,

FABRICACIÓN SENSORES DE TEMPERATURA

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



LABORATORIO CALIBRACIÓN in situ

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

SCI Suministro y Calibracion Industrial s.l.

www.sciempresa.com

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

Grado (ASTM)	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4
N max.	0,.03 %	0,03%	0,05%	0,05%
C max.	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%
H max.	0,0125%	0,0125%	0,0125%	0,0125%
O max.	0,18%	0,25%	0,35%	0,.40%
Fe max.	0,20%	0,30%	0,30%	0,50%
Ti mín.	99,5%	99,2%	99,1%	99,0%
Características mecánicas en estado recocido				
R (MPa)	240	340	440	550
LE $_{0,2}$ (MPa)	170	280	380	480
Estricción %	28	25	20	15

Tabla 8.II. Grados del titanio comercialmente puro forjado; según **ASTM**. Contenido (%) medio de los elementos intersticiales y características de re sistencia, límite elástico y estricción, en estado de recocido.

que presenta dimorfismo; ya que en estado puro presenta una transformación alotrópica a 882 °C de temperatura, cambiando de una estructura cristalina hexagonal compacta [**HC**]: fase α, a una estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo [**CC**]: fase β; **figura 8.3**. Fase (β) que permanece estable hasta la temperatura de fusión.

La mencionada transformación alotrópica [α-Ti → β-Ti], brinda al titanio la posibilidad de formar aleaciones con microestructuras del tipo alfa (α); del tipo beta (β); y del tipo alfa + beta (α + β); dependiendo de la capacidad de los componentes aleantes de estabilizar una u otra fase [α o β]. La combinación del titanio (**Ti**) con otros aleoelementos, permite disponer de una amplia gama de aleaciones; cada una de ellas con características propias y excepcionales, cubriendo así un extenso espectro de posibilidades. Existen, aproximadamente, unos 100 tipos de aleaciones de titanio. Pero esto no implica que para el 90 por 100 [90%] de trabajos en la industria se utilicen, básicamente, sólo dos tipos de titanio: (1) titanio comercialmente puro [**Ti cp]**; y (2) la aleación de titanio **Ti-6Al-V4** [**Ti** = 90 por 100 en peso; **Al** = 6 por 100 en peso; **V** = 4 por 100 en peso].

Se ha de destacar la facilidad que tiene el titanio para disolver, por sustitución o inserción, otros aleoelementos que dependiendo del número de electrones de valencia por átomo del aleante en cuestión, tienden a estabilizar una u otra de sus dos fases [α o β]. La estabilización de las fases implica el aumento o disminución de la temperatura de transición con respecto al titanio comercialmente puro [**Ti cp]**. Este efecto se puede observar, de una forma directa, en los diagramas de fase –**figura 8.4**– que muestran las diferentes variantes de cada uno de ellos, según el tipo de aleoelemento estabilizador dominante en la aleación. Los aleoelementos con menos de cuatro electrones de valencia por átomo estabilizan la fase α. Aleantes que se disuelven preferentemente en dicha fase, ampliando su margen de existencia e incrementando al mismo tiempo la temperatura a la cual la fase α es estable; **figura 8.4 a**. Entre los elementos ***estabilizadores*** α se encuentra el aluminio (**Al**), que es con diferencia su aleante más importante; le sigue el galio (**Ga**) y a continuación los elementos intersticiales: oxígeno (**O**), carbono (**C**) y nitrógeno (**N**).

Los elementos con más de cuatro electrones de valencia por átomo estabilizan la fase β, al mismo tiempo que posibilitan el descenso de la temperatura de transi-

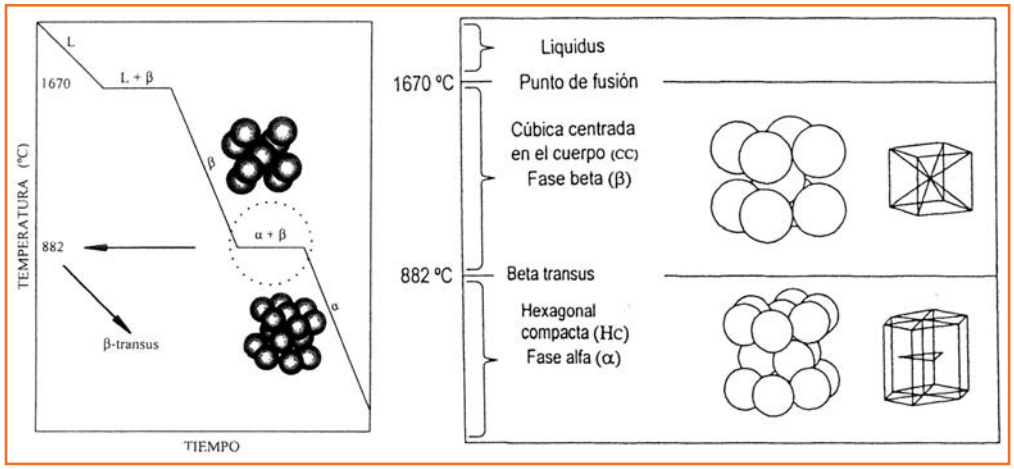


Figura 8.3. Temperatura de transformación alotrópica del titanio y esquema representativo de su estructura cristalina en función de la temperatura.

ción [α-Ti → β-Ti] –*temperatura conocida como* * **β *transus***– permitiendo, cuando su contenido en la aleación (%) es suficientemente elevado, que la fase β sea estable a temperatura ambiente. De este descenso de la temperatura de transición son responsables los elementos ***estabilizadores*** β, que se clasifican a su vez en dos grupos:

- **β *isomorfos***. Tienen una muy limitada solubilidad en la fase α, siendo completamente solubles en la fase β a la que confieren estabilidad. Destacan en este grupo: el vanadio (**V**), el molibdeno (**Mo**) y el tantalio (**Ta**). El diagrama de equilibrio que forma el titanio con dichos aleoelementos se muestra en la **figura 8.4 b**.

- **β *eutectoides***. Tienen limitada solubilidad en β, y forman compuestos intermetálicos por descomposición eutectoide de β. En este grupo destacan el manganeso (**Mn**), cromo (**Cr**),

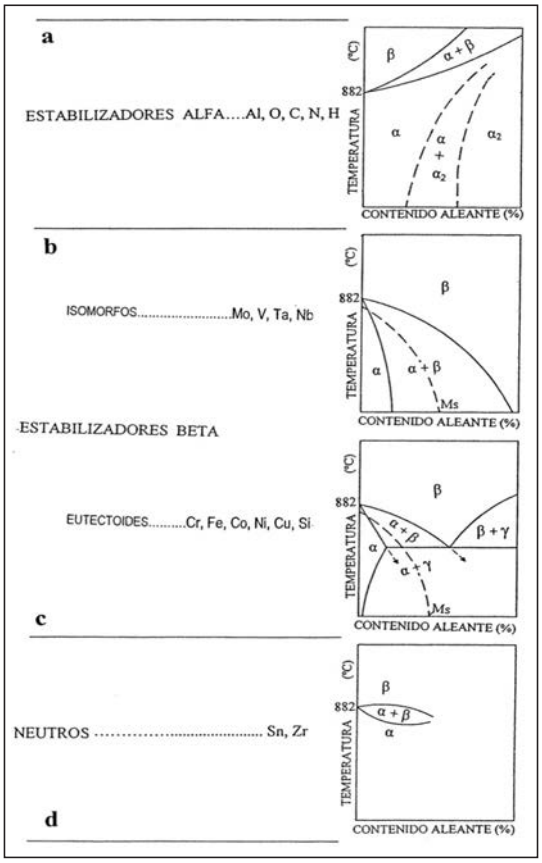


Figura 8.4. Esquema representativo de los distintos diagramas de fase de las aleaciones de titanio en función de sus elementos de aleación.

* **β *transus***. Término con el que se caracteriza a la temperatura de transformación alotrópica del titanio α-Ti → β-Ti. La temperatura **β *transus*** es, a su vez, la temperatura más baja [Tª ~ entre 700 y 1.050 °C según el tipo de aleación] a la cual estructuralmente puede estar presente al 100 por 100 la fase β, con cero presencia de fase α.

cobre (**Cu)**, hierro (**Fe)**, silicio (**Si**), níquel (**Ni**); así como el elemento intersticial hidrógeno (**H**). Componentes todos que favorecen la transformación eutectoide en la región α + β, y forman diagramas de equilibrio como el que se muestra en la **figura 8.4 c**.

ELEMENTOS PRINCIPALES		
Estabilizadores de alfa (α)		Al, Ga, O
Estabilizadores de beta (β)	*Isomorfos*	V, Mo, Nb, Ta
	Eutectoides	Cr, Mn, Ni, F, Si, Pd
Neutros		Zr, Sn

Tabla 8.III. Elementos de aleación estabilizadores de las fases alfa y beta.

Los elementos de aleación β ***isomorfos***, que no forman compuestos intermetálicos, son preferibles frente a los elementos de tipo eutectoide, como adicionales a las aleaciones de titanio del tipo α + β o a las aleaciones tipo β, para mejorar su templabilidad y aumentar su respuesta a los tratamientos térmicos.

Hay que considerar también, otra serie de aleoelementos como el estaño (**Sn**), el circonio (**Zr**) y el silicio (**Si**); que si bien son solubles en la fase α y en la fase β, no ejercen claramente un papel definido en el sentido preferencial de estabilizar una u otra fase, *–no alteran prácticamente la temperatura de transición* [α-Ti → β-Ti]– por lo que se les denominan ***elementos neutros***; **figura 8.4 d**.

Resumiendo: los elementos estabilizadores de α elevan la temperatura de transformación alotrópica de dicha fase. El aluminio (**Al**) es el principal elemento estabilizador de α, que tiene una gran solubilidad con el titanio y provoca el aumento de la resistencia mecánica de la fase α rica en titanio. El resultado que se obtiene es un ligero aumento de la resistencia del material a temperatura ambiente; resistencia que se mantiene, también, a temperaturas elevadas.

Otros elementos estabilizadores de α son: el oxígeno (**O**), el galio (**Ga**) y/o el germanio (**Ge**). El nitrógeno (**N**) y el carbono (**C**) son también estabilizadores de α, pero no suelen añadirse intencionadamente al titanio. El vanadio (**V**), molibdeno (**Mo**), manganeso (**Mn**), cromo (**Cr**), hierro (**Fe**) y/o niobio (**Nb**), etc., son elementos estabilizadores de β, que hacen descender la temperatura de transición β; y, dependiendo de la cantidad de aleoelemento añadida (%), pueden ocasionar la retención a temperatura ambiente, de una pequeña proporción de fase α. El manganeso (**Mn)**, el cromo (**Cr**) y el hierro (**Fe**) forman, asimismo, una estructura bifásica a temperatura ambiente.

El estaño (**Sn**), el circonio (**Zr**) y el silicio (**Si**) se consideran elementes neutros, ya que estabilizando ambas fases [a y b] y disolviéndose indistintamente en ellas no alteran, reiteramos, la temperatura de transición. No obstante el estaño (**Sn**), el circonio (**Zr**) y el silicio (**Si**) se consideran preferentemente elementos estabilizadores de α, sobre todo, con la presencia del aluminio (**Al**) en la aleación.

En la **tabla 8.III** se muestran los principales elementos estabilizadores de las fases alfa (α) y beta (β), divididos tanto en función del efecto estabilizador como de utilización industrial.

8.3.1. *Clasificación de las aleaciones de Titanio*

A partir de los diagramas de equilibrio que presentan las aleaciones de titanio, se puede llegar ocasionalmente a una clasificación en función de los elementos de aleación y asimismo por el tipo de fase presente en la microestructura a temperatura ambiente del material en cuestión. Por lo que es frecuente dividir las aleaciones de titanio, reiteramos, en tres grupos principales que se caracterizan según la capacidad de los aleantes para estabilizar la fase α o bien la fase β:

- Aleaciones α. Con unas aceptables propiedades mecánicas.
- Aleaciones α + β. De alta resistencia mecánica.
- Aleaciones β. De alta resistencia mecánica y de soldabilidad limitada.

En los diagramas anteriormente descritos en la **figura 8.4**, se analiza el efecto de los elementos de aleación en dichos sistemas. Con la adición de aleoelementos al titanio, la transición de α → β se desarrolla en un intervalo de temperaturas en el que α y β coexisten. Por tanto, en una composición particular cualquiera, de una aleación de titanio binaria, existen tres campos de fase en estado sólido: α; α + β; y β.

Las aleaciones comerciales de titanio rara vez son binarias. Son en su mayoría aleaciones de múltiples componentes, clasificándose reiteramos, en: aleaciones α; aleaciones β; y aleaciones α + β, según presenten la fase α (HC), fase β (CC), o bien la bifásica de estructura dúplex (α + β). Las aleaciones α + β se suelen sub-clasificar, a su vez, en aleaciones de titanio ***casi***-α cuando su estructura a temperatura ambiente es principalmente α; y

en aleaciones ***casi***-β cuando la estructura a temperatura ambiente es mayoritariamente β. Tanto las aleaciones de titanio ***casi***-α como las aleaciones de titanio ***casi***-β, su microestructura a temperatura ambiente es esencialmente α o β respectivamente.

En la **tabla 8.IV** se presentan algunas de las principales aleaciones de titanio con base a esa clasificación.

ALEACIÓN Designación simbólica	Composición: aleoelementos principales (%) en peso	Clasificación
Ti-5Al-2,5Sn	5 Al; 2,5Sn	α
Ti-8Al-1Mo-1V	8 Al; 1Mo;1V	casi-α
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	6 Al; 2 Sn; 4 Zr; 2 Mo	
Ti-6Al-4V	6 Al; 4 V	α + β
Ti-6Al-6V-2Sn	6 Al; 6 V; 2Sn	
Ti-3Al-2,5V	3 Al; 2,5 V	
Ti-6Al-2Sn-4Zr-4Mo	6 Al; 2 Sn; 4 Zr; 4Mo	casi-β
Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Cr-4Mo	5 Al; 2 Sn, 2 Zr; 4 Cr; 4 Mo	
Ti-10V-2Fe-3Al	10 V; 2 Fe; 3Al	
Ti-13V-11Cr-3Al	13 V; 11 Cr; 3 Al	β
Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn	15 V; 3 Cr; 3 Al; 3 Sn	
Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr	3 Al; 8 V; 6 Cr; 4 Cr; 4 Mo; Zr 4	
Ti-8Mo-8V-2Fe-3Al	8 Mo; 8 V; 2 Fe; 3 Al	
Ti-11,5Mo-6Zr-4,5Sn	11,5 Mo; 6 Zr; 4,5 Sn	

Tabla 8.IV. Algunas de las principales aleaciones de titanio. Composición y clasificación.

8.3.1.1. *Aleaciones de titanio alfa*

Las aleaciones de titanio alfa, son aquéllas que presentan una estructura alfa (α) a temperatura ambiente; y en las que el efecto fundamental de sus elementos de aleación es producir un aumento de la temperatura β-***transus***.

En este grupo de aleaciones se incluyen, asimismo, los grados de titanio comercialmente puro [**Ti cp**]. Materiales ambos que contienen en su formulación elementos estabilizadores α y algún que otro elemento neutro. Están incluidas también, aquellas otras aleaciones α que contienen una pequeña proporción de elementos estabilizadores β; –*entre* 1 y 2 por 100 *en peso*– son las ya mencionadas aleaciones de titanio **casi**–α, que permiten la aparición en su estructura de unas muy pequeñas cantidades de β delimitando los granos de α. El titanio comercialmente puro [**Ti cp**], insistimos, se incluye normalmente en este grupo de aleaciones a pesar de no ser, como tal, una aleación.

Las aleaciones de titanio α son de microestructura monofásica [*hexagonal compacta* –HC–]; aleaciones más simples y de propiedades menos interesantes que las aleaciones α + β. Están compuestas, insistimos, de elementos estabilizadores α, cuyo elemento principal es el aluminio (**Al**), y de elementos considerados neutros: estaño (**Sn**) y/o circonio (**Zr**). Grupo de aleaciones que se utilizan en aplicaciones tanto a temperaturas elevadas como a temperaturas muy por debajo de cero. Se emplean igualmente en aquellos casos donde se necesita una gran resistencia a la corrosión: intercambiadores de calor, condensadores, plantas desalinizadoras, etc.

Las aleaciones de titanio α, así como los grados de titanio comercialmente puro [**Ti cp**] designados como calidad **ELI**–***Extra Low Intersticial***–que poseen un contenido de intersticiales sumamente restringido, presentan unas excelentes propiedades de ductilidad y tenacidad, incluso a temperatura muy por debajo de cero. Materiales que se suelen utilizar en ambientes criogénicos por presentar una muy baja temperatura de transición dúctil-frágil.

Las aleaciones de titanio α en general, son insensibles a los tratamientos térmicos de temple, pero sí admiten los tratamientos térmicos de recocido. Con un recocido a una temperatura próxima a 620 °C se homogeneíza la estructura del material; y cuando elevamos dicha temperatura a un grado ligeramente superior [Tª ~ 700 °C] se recristaliza el grano deformado y aplastado durante su hechurado y puesta en forma del material en frío. Las piezas o componentes adquieren entonces: una mayor resiliencia, una excelente ductilidad y una muy buena maleabilidad.

Después del titanio comercialmente puro [**Ti cp** = Grado 2], la aleación más representativa del grupo es la aleación **Ti-5Al-2,5Sn** [5% **Al** y 2,5% **Sn**]. Este tipo de aleación –*calidad* ELI– presenta una adecuada resistencia a la corrosión y a la oxidación a temperaturas eleva-

TIPO DE ALEACIÓN	ALEACIÓN	GRADO DE CALIDAD SOLDADURA
Titanio comercialmente puro	Grado 1, 2, 3 y 4	Excelente
Aleaciones α	Ti-0,2Pb	*Excelente*
	Ti-5Al-2,5Sn	Regular
	Ti-5Al-2,5Sn [bajo en elementos intersticiales] calidad ELI	Excelente
Aleaciones casi-α	Ti-8Al-1Mo-1V	Excelente
	Ti-6Al-2Nb-1Ta-0,8Mo	Excelente
	Ti-6Al-4Zr-2Mo-2Sn	Regular
Aleaciones α + β	Ti-6Al-4V	Bueno
	Ti-6Al-4V [bajo en elementos intersticiales] calidad ELI	Excelente
	Ti-7Al-4Mo	Limitado
	Ti-6Al-6V-2Sn	Limitado
	Ti-8Mn	No es recomendable soldar
Aleaciones β	Ti-13V-11Cr-3Al	Regular

Tabla 8.V. Grados de calidad de la soldadura del titanio y de sus distintas aleaciones.

das, –*hasta* 540 °C– e igualmente mantiene unas excelentes características de soldeo; **tabla 8.V**.

Las aleaciones de titanio alfa (α) permiten, también, una moderada alta conformabilidad en frío a pesar de tener una estructura hexagonal compacta (**HC**). Entre las propiedades más importantes de tales aleaciones hay que destacar su resistencia a tracción a temperatura ambiente [**R** = (540 ÷ 930 MPa)], una muy aceptable resistencia mecánica a altas temperaturas junto a un buen comportamiento a la fluencia, excelente estabilidad térmica hasta temperaturas de alrededor de los 550 °C, y buena aptitud a la soldadura. Una de las mayores desventajas es su difícil conformado en caliente, especialmente a temperaturas por debajo a la de β ***transus***.

Las aleaciones de titanio alfa (α) al ser monofásicas, al igual que el titanio comercialmente puro [**Ti cp**]; y, aunque son insensibles al tratamiento térmico de temple, pueden modificar su microestructura, reiteramos, bien por enfriamiento del material desde la temperatura de su puesta en forma –*cuando su hechurado* o *conformado se realiza en caliente*– y/o bien mediante un recocido: calentando el material, trabajado en frío, a una temperatura que puede estar por encima o por debajo de β ***transus***. En cualquiera de ambos procesos, cuando el material se enfría desde una temperatura superior a la de β ***transus***, o un poco por debajo de dicha temperatura, su microestructura viene influenciada por la velocidad de enfriamiento aplicada. Todos estos factores posibilitan la obtención, en las aleaciones de titanio alfa (α) y en el titanio comercialmente puro [**Ti cp**], de tres microestructuras diferentes:

1. *Microestructura de granos equiaxiales*. Se obtiene por trabajo en frío del material y un posterior recocido del mismo; **figura 8.5**. El tratamiento térmico de recocido se realiza a una temperatura de calentamiento inferior a la de β ***transus***, con enfriamiento final en aire. El tamaño de grano obtenido tiende a ser reducido, ya que su crecimiento se ve moderadamente frenado por el efecto de bloqueo de las impurezas presentes en los límites de grano y asimismo por la relativa baja tempera-

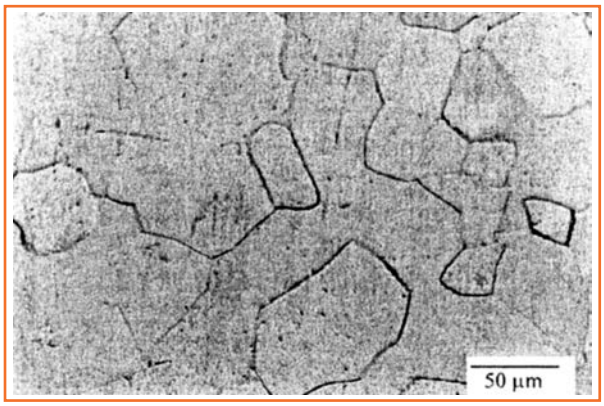


Figura 8.5. Microestructura equiaxial del titanio [**Ti cp**].

tura de recocido. También se pueden presentar maclas por causa del trabajado en frío del material.

2. *Microestructura de martensita* α′. Una microestructura del tipo totalmente martensítico –*martensita* α′– se obtiene a partir de un rápido enfriamiento en agua del material que, previamente, ha sido trabajado en frío y después calentado a una temperatura de recocido superior a la de β ***transus.*** Microestructura en la que los granos originales de la fase β quedan perfectamente delimitados, manteniendo su morfología y el tamaño inicial; **figura 8.6**. La nueva fase formada, es la denominada alfa primera (α′) de estructura hexagonal compacta (**HC**): ***martensita*** α′ ***de titanio*** que, a diferencia de la martensita del acero, el efecto de endurecimiento producido en el titanio [**Ti cp]** es mucho menor; igual que ocurre en todas las aleaciones de titanio α. Esto se debe a un tamaño de grano relativamente grueso y a la existencia de una supersaturación de átomos intersticiales en dichos materiales [aleaciones de titanio α y **Ti cp**].

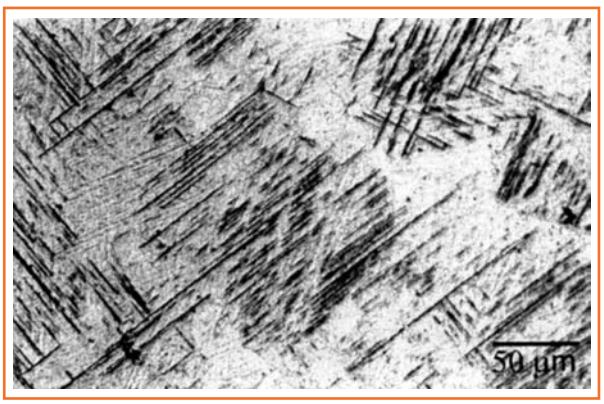


Figura 8.6. Microestructura martensítica del titanio [**Ti cp**].

3. *Microestructura Widmanstätten*. Un enfriamiento lento desde temperaturas superiores a la de β ***transus***, del material previamente calentado, da lugar a un ordenación de la fase α en forma de placas microestructurales del tipo denominado α Widmanstätten; **figura 8.7**. En el titanio de alta pureza, dicha microestructura se conoce como "fase α serrada"; mientas que la presencia de impurezas en los límites de grano, en el titanio, produce placas en forma de "cesta", que se consigue como resultado de un enfriamiento lento del metal desde esas tan altas temperaturas de recocido.

8.3.1.2. *Aleaciones de titanio alfa + beta*

Se denominan aleaciones de titanio alfa + beta (α + β), a aquellas aleaciones que contienen estabilizadores de β y

Figura 8.7. Microestructura tipo -Widmastätten del titanio [**Ti cp**].

estabilizadores de alfa (α) en proporciones adecuadas; con lo que su masa matricial estará formada por una mezcla tanto de fase alfa (α) como de fase (β) respectivamente. Este grupo abarca un gran número de aleaciones, entre las que coexisten ambas fases a temperatura ambiente; ya que presentan una estructura mixta [fase α hexagonal compacta + fase β cúbica centrada en el cuerpo]. Estructura a la que contribuyen también a mantener los elementos estabilizadores de α que coadyugan a la formación de la mencionada estructura mixta (α +

β). La composición química de las aleaciones alfa + beta puede influir sobre la microestructura final del material, en función del contenido de fase beta (β), cuyo porcentaje puede estar entre 10 por 100 y 50 por 100. Aunque es usual, preferentemente, un contenido medio próximo al 20 por 100 de fase beta [fase β ~ 20%].

Las aleaciones de titanio alfa + beta (α + β) presentan una resistencia a la rotura –*a temperatura ambiente*– superior a la alcanzada en las aleaciones de titanio del grupo alfa (α); pero menor de la que se obtiene en la mayoría de aleaciones de titanio del grupo beta (β). No obstante, es preciso señalar que gracias a su buena respuesta a los tratamientos térmicos se puede modificar su microestructura y, en consecuencia, aumentar sustancialmente sus características mecánicas; convirtiendo a este grupo de aleaciones en el de mayor interés industrial.

La temperatura a la que se conforma y/o se le da forma al material, afecta también a tales características. Al coexistir en dichas aleaciones ambas estructuras [α (HC) y β (CC)] su presencia facilita por igual, reiteramos, previo tratamiento térmico, –*solubilización + temple + revenido*– una buena resistencia mecánica del material, excelente tenacidad, así como un muy importante alargamiento superplástico.

La mayoría de las aleaciones de titanio tratables térmicamente son aleaciones alfa + beta (α + β). Durante el tratamiento térmico de solubilización y temple la presencia de fases de no equilibrio, como puede ser la martensita sobresaturada de α o de β metaestables, originan sustanciales aumentos de resistencia mecánica y límite elástico, una vez realizado el posterior tratamiento térmico de revenido*. La **figura 8.8** muestra una idónea solución, a la que se ha de recurrir, para realizar un tratamiento térmico correcto de tales aleaciones, que tiene como base la inestabilidad de la fase beta (β), tanto a alta como a más baja temperatura.

La mejor combinación para obtener las máximas propiedades mecánicas, se consigue con el tratamiento térmico de solubilización a la temperatura próxima a β ***transus*** –*o bien a temperatura un poco inferior*– a la que comienza la transformación alotrópica, seguida de un temple con enfriamiento rápido en agua, y un posterior tratamiento térmico de revenido. La solubilización de las aleaciones de titanio alfa + beta (α + β), por debajo y muy próxima a la temperatura de β ***transus***, permite la existencia, en el material ya solubilizado, de una pequeña cantidad de fase α que evita el posible crecimiento del tamaño de grano.

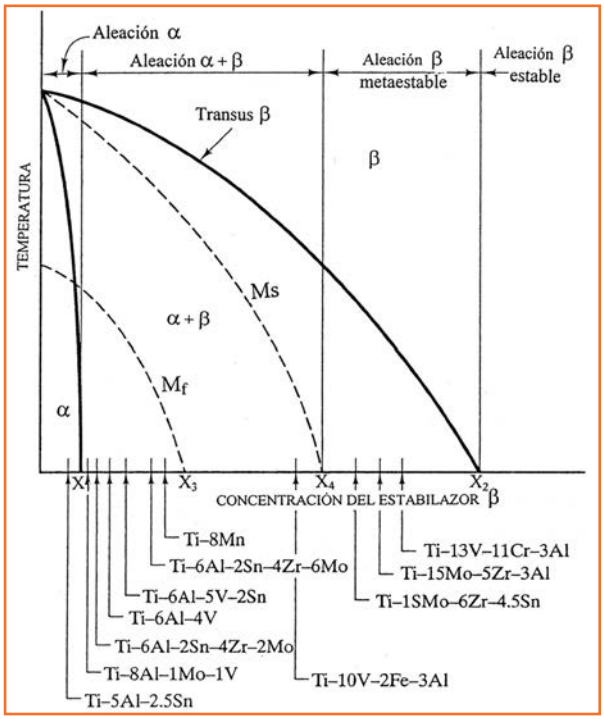


Figura 8.8. Diagrama de equilibrio seudo binario del sistema titanio-estabilizadores de β, en el que están representadas las principales aleaciones de titanio de uso más corriente.

La **soldabilidad** de las aleaciones de titanio beta alfa + beta (α + β) está relacionada con la proporción de fase beta (β) presente en su masa matricial, así como del rango de enfriamiento sufrido por el material que se suelda. Generalmente, la soldabilidad de las aleaciones de titanio alfa + beta (α + β) suele ser aceptablemente satisfactoria, cuando el total del contenido de elementos estabilizadores β es bajo, o bien cuando tales elementos son relativamente débiles. Las aleaciones de titanio en general están desarrolladas para que las uniones soldadas, realizadas en ellas, conserven las mismas características mecánicas de tenacidad y de ductilidad que las del material soldado. El titanio comercialmente puro [**Ti cp**] y la mayoría de las aleaciones de titanio son aceptablemente soldables con los equipos apropiados para la soldadura de los aceros inoxidables y aleaciones base níquel. El grado de calidad de la soldadura del titanio y sus aleaciones se muestra en la ya antes indicada **tabla 8.V**. Se recomienda que para conseguir una adecuada soldadura en la mayoría de las aleaciones de titanio, con limitación en su grado, un recocido previo del material para mejorar su ductilidad.

(Continuará)

* Normalmente se denomina **revenido** cuando dicho tratamiento térmico se realiza a las aleaciones α + β; y **maduración** cuando se realiza a las aleaciones β metaestables.

30 €

206 páginas

40 €

316 páginas

40 €

320 páginas

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

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

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

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

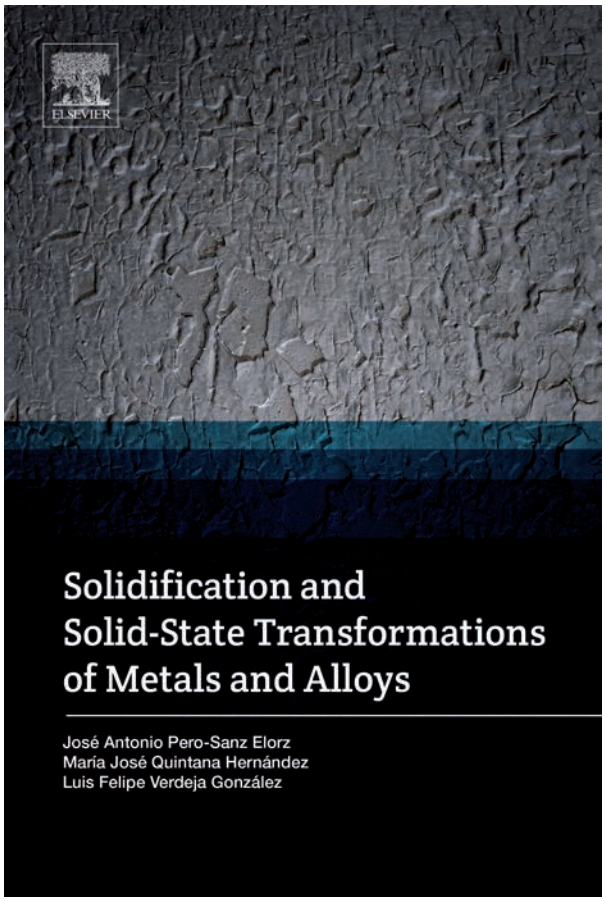
Puede ver el contenido de los libros y el índice en www.pedeca.es o solicite más información:

Teléf.: 917 817 776

E-mail: pedeca@pedeca.es

Nuevo libro

José Antonio Pero-Sanz Elorz, Catedrático de las Escuelas de Minas de Madrid y Oviedo, María José Quintana y Luis Felipe Verdeja son los autores del libro Solidification and Solid-State Transformations of Metals and Alloys, publicado por Elsevier en Marzo de 2017.



Es la versión actualizada del libro Materiales Metálicos. Solidificación, Diagramas, Transformaciones, publicado por el Profesor Pero-Sanz en 1988 (Editorial Dossat S. A., y que se encuentra agotado).

El libro contempla los aspectos básicos de la metalurgia física: estructuras cristalinas, solidificación, diagramas de equilibrio, transformaciones de fase, fundamentos de tratamientos térmicos, diagramas ternarios, que justifican las propiedades más singulares de los materiales metálicos (tenacidad, ductilidad y resistencia mecánica) y los califican frente a sus competidores industriales (cerámicos, polímeros y compuestos).

Se dedica una parte extensa del libro (capítulo VIII) al estudio del diagrama Fe-C metaestable, fundamento de los aceros (material metálico más utilizado en el mundo, y segundo material en aplicación y consumo después del cemento) y fundiciones blancas.

Actualmente se encuentra en proceso de revisión, para su publicación actualizada la monografía: Materiales para la Ingeniería.

Fundiciones Férreas, publicada por el Profesor Pero-Sanz en 1994 (Editorial Dossat S. A., y que también se encuentra agotado), segundo material metálico más empleado en el mundo después del acero y, que sigue la pauta del estudio pormenorizado del diagrama Fe-C estable y su vertiente aplicada.

Desde el metal o aleación líquidos conduce al lector el libro Solidification and Solid-State Transformations of Metals and Alloys hasta el producto industrial metálico,

con una exposición rigurosa, clara, gradual y de implicación creciente en la metalurgia física y estructural.

La génesis oral de las páginas del libro señalada en el prólogo explica su tono, sus referencias incidentales a algunos aspectos de interés para la praxis industrial, e incluso sus fronteras temáticas.

El Profesor Pero-Sanz, con dilatada experiencia docente universitaria (su obra Ciencia e Ingeniería de Materiales, 4ª edición, recibió el premio al mejor libro de texto en la Universidad Politécnica de Madrid, 1997) y en cursos de Postgrado, realiza una notable síntesis que facilitará la compresión de obras específicas dedicadas a aleaciones.

Concebido para cursos institucionales (planes de estudio vigentes) de escuelas de ingeniería o facultades universitarias, trata de prestar servicio a un amplio espectro de lectores: desde estudiantes hasta industriales interesados en los principios y utilización de metales y aleaciones.

El libro se encuentra estructurado en los siguientes capítulos:

1. Solidificación de un metal puro. Consideraciones generales.
2. Cinética de las transformaciones de fase.
3. Aleaciones. Insolubilidad total y solubilidad.
4. Solidificación invariante.
5. Solidificación de no equilibrio. Heterogeneidades químicas.
6. Heterogeneidades físicas en la solidificación.
7. Transformaciones de equilibrio en estado sólido.
8. Transformaciones en estado sólido en el sistema Fe-C.
9. Diagramas ternarios.

El libro, versión inglesa, fue publicado el 24 de marzo de 2017 por la editorial Elsevier.

Autores: José Antonio Pero-Sanz, María José Quintana Hernández y Luis Felipe Verdeja

eBook ISBN: 9780128126080

ISBN edición impresa: 9780128126073

Editorial: Elsevier

Fecha de publicación: 24th March 2017

Número de páginas: 382

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, 1º - 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.

Otras características del acero 17-4-PH

Como vimos en el apartado anterior, la alta resistencia a la corrosión ocupa un lugar destacable y por tanto es decisiva en su elección, pero existen otras características que pueden influir también en su utilización, a saber:

— Elevada resistencia.

— Alta dureza y uniforme.

— Buenas propiedades mecánicas a baja y alta temperatura.

— Alta resistencia a la fatiga.

— Buena maquinabilidad y conformación en frío y en caliente.

— Tratamiento térmico sencillo por su corta duración y baja T.

Elevada resistencia

Su resistencia a la tracción llega alcanzar valores de hasta 200.000 psi (libras por pulgada cuadrada) y un límite elástico de 185.000 psi en la condición H900 (proceso que veremos más adelante). Estos valores son muy superiores a los obtenidos con aceros tipo inoxidables AISI 410 y 416 en estado de temple y revenido.

Elevada dureza y uniforme

Con una dureza de HRC 44, permite a nuestro acero 17-4-PH soportar grandes esfuerzos de desgaste y abrasión, resolviendo así graves problemas de erosión-abrasión.

Buenas propiedades mecánicas a baja y alta temperatura.

Las propiedades mecánicas a temperaturas de hasta 600 ºF (316 ºC) y tan bajas como -320 ºF (-195,5 ºC) amplían enormemente el campo de aplicaciones del 17-4-PH.

Alta resistencia a la fatiga

En casos críticos expuestos a grandes esfuerzos de alta frecuencia y en condiciones favorables a la corrosión, nuestro material puede garantizar un seguro éxito en piezas tales como engranajes, ejes, pernos, etc.

Nota: Seguiremos en el siguiente número de la Revista TRATER Press.

Nueva línea de Tratamiento Térmico SOLO Swiss en China

Recientemente se ha instalado y puesto en marcha una nueva línea automática de tratamiento térmico suizo SOLO Profitherm, con una capacidad de 300 kg en Dongguang Xinfeng.

Esta nueva línea de tratamiento térmico Profitherm 300 está equipada con 2 hornos de carburación y carbonitruración (temperatura máxima 1.050 ° C), 3 tanques de temple (aceite y sales), 2 lavadoras (aceite y sal), 1 sistema de recuperación de sal, 1 robot de carga y descarga completamente automático y 6 mesas de carga / descarga.

Este equipo funciona con el software Axron Swiss Process control.

Dongguang Xinfeng Factory es un fabricante de hardware ubicado en la provincia de Guangdong de China.

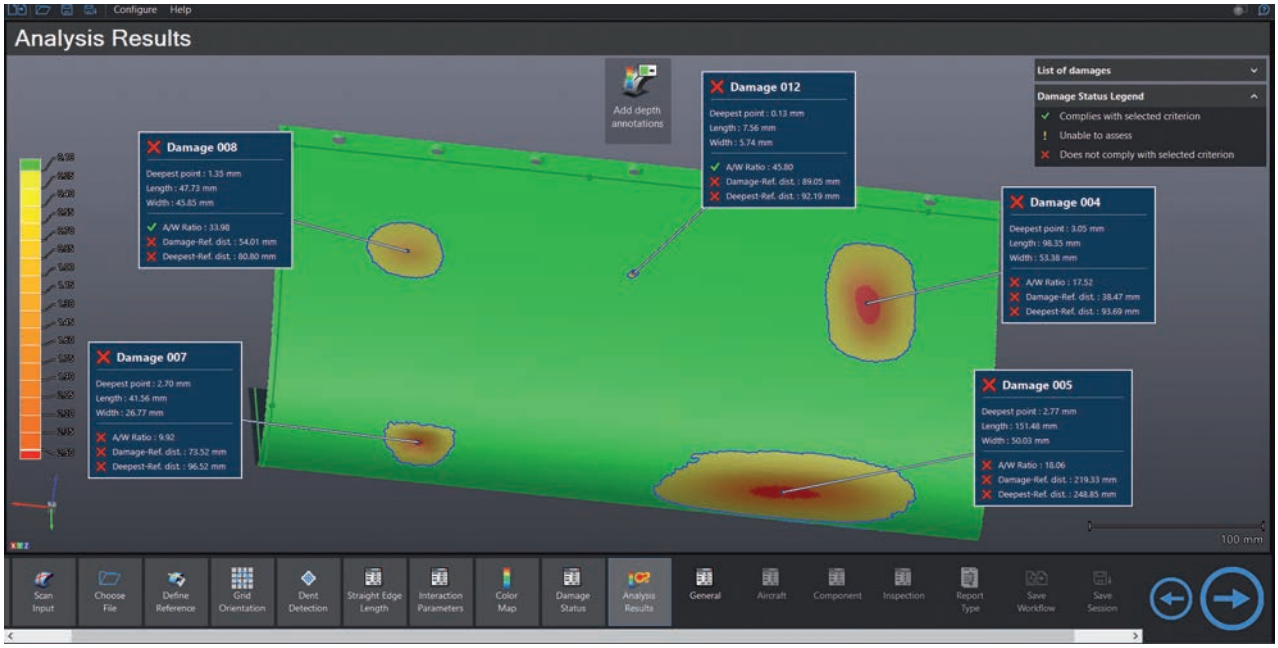
Con más de 70 años de experiencia, SOLO Swiss fabrica hornos de atmósfera para tratamiento térmico de metales desde 1924, vendidos en todo el mundo.

Creaform lanza SmartDENT 3D™, un potente software de análisis de daños

Creaform lanza su software de inspección de superficies para pruebas no destructivas (END), específicamente diseñado para aplicaciones aeroespaciales. En combinación con el escáner HandySCAN 3D, el software de evaluación de daños representa una solución segura, rentable y que ahorra tiempo para aerolíneas y empresas de servicios de mantenimiento, reparación y revisión (MRO, por sus siglas en inglés).

"Seguimos nuestro pensamiento de diseño orientado a la facilidad de uso, y tuvimos muy en cuenta los pedidos de los usuarios, para desarrollar un software que optimiza el procesamiento de datos a partir de un escáner 3D, que permite realizar evaluaciones con facilidad y fiabilidad y caracterizar los defectos en la superficie de las aeronaves", dijo Steeves Roy, gerente de productos de END de Creaform. "A medida que el mantenimiento predictivo se vuelve más importante, los profesionales de mantenimiento de aviación y los proveedores de MRO buscan cada vez más métodos innovadores, que permitan tomar decisiones más seguras y con mayor rapidez sobre los resultados de los defectos de las piezas".

El uso conjunto del escáner de nivel de metrología Handy



SCAN 3D y la solución de inspección de Creaform, ofrece los siguientes beneficios:

— Independencia del usuario: resultados repetitivos independientemente del usuario;
— 80 veces más rápido que la técnica con medidor de picaduras;
— Resultados confiables, repetitivos y precisos;
— Período de aprendizaje corto y software fácil de usar;
— Visualización 3D en tiempo real y generación instantánea de informes en el lugar disponible en diferentes formatos.

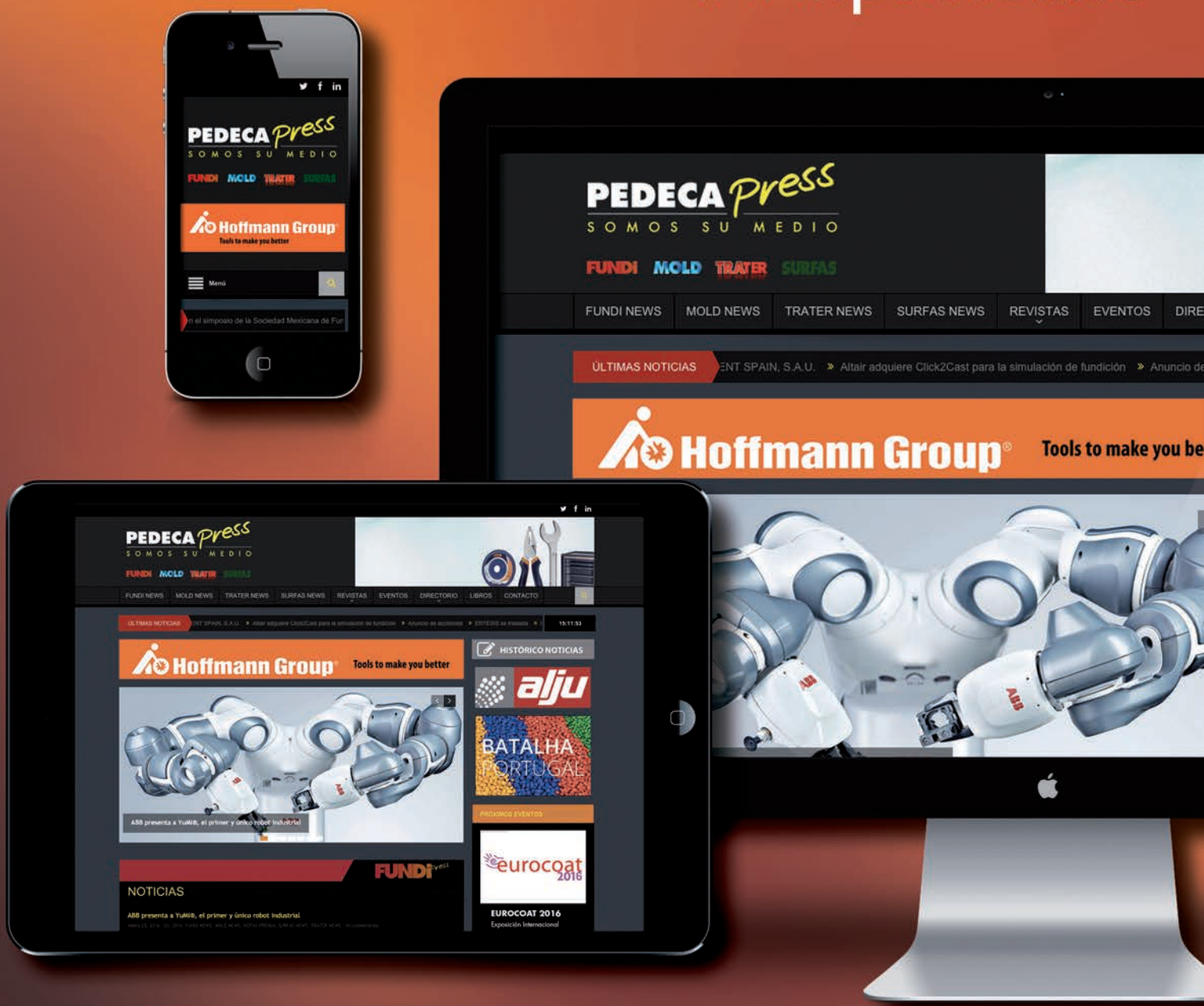
A diferencia de los software genéricos de MRO, SmartDENT 3D proporciona un flujo de trabajo guiado, con una interfaz gráfica intuitiva, para salvar las distancias entre la adquisición de datos y la producción de informes. Está diseñado para simplificar la extracción de mediciones de datos de escaneado 3D, con el fin de obtener exactamente las medidas que se requieren para la evaluación de la aeronave en servicio, y elimina la necesidad de poseer conocimientos avanzados sobre software de metrología o manejo de datos 3D complejos. Los usuarios pueden confiar en los resultados y, a la vez, ahorrar tiempo y dinero sin comprometer la seguridad al poner la aeronave en servicio lo más rápido posible.

SU MEJOR CO

REVISTAS PROFESIONALES

Estrenamos Nueva Web

www.pedeca.es



MUNICACIÓN

DEL SECTOR INDUSTRIAL

- Nuevo diseño y navegación más fácil, rápida e intuitiva
- Nuevos contenidos con los temas que le interesan
- Nueva presentación e información actualizada día a día
- Web responsive para que consulte desde su dispositivo favorito

PREGUNTE POR NUESTROS PACKS DE PUBLICIDAD IMPRESIÓN + DIGITAL

PEDECA Press Publicaciones

SOMOS SU MEDIO

C/ Goya, 20. 1º. • 28001 MADRID
Telf.: 91 781 77 76 • Fax: 91 781 71 26
pedeca@pedeca.es • www.pedeca.es

Las exportaciones aeronáuticas alcanzan la cifra récord de 1.544 millones

Las exportaciones aeronáuticas de Andalucía alcanzan la cifra récord histórica de 1.544 millones en los primeros ocho meses de 2017, al superar el total de las ventas completas del pasado año 2016. Con estos datos Andalucía lidera las exportaciones por encima de Madrid en el ranking nacional, con un crecimiento del 67%.

Asimismo, un total de seis empresas andaluzas del sector de aeronáutico han participado recientemente en la feria Aerospace Meetings Casablanca 2017 (Marruecos), que ha tenido lugar del 17 al 19 de octubre, con el apoyo de la Consejería de Economía y Conocimiento, a través de Extenda-Agencia Andaluza de Promoción Exterior.

Extenda sigue apoyando a este sector estratégico de la economía andaluza con la celebración de nuevas acciones, como la asistencia a este certamen o la organización de la cuarta edición de Aerospace & Defense Meetings-ADM Sevilla 2018, el mayor evento de negocios del sector que se celebra en España, que tendrá lugar entre el 15 y el 18 de mayo. ADM 2018 tienen como objetivo consolidar a Andalucía como capital del negocio aeroespacial en nuestro país y punto de referencia del circuito mundial del sector.

Exportaciones aeronáuticas

Andalucía se alza como primera comunidad exportadora del sector aeronáutico en los primeros ocho meses de 2017, superando las ventas totales del año 2016 (1.367 millones) en este periodo. La comunidad, con más de la mitad de las ventas de España (49%) que suponen 1.544 millones de euros y con un alza del 67% respecto al mismo periodo del año anterior, posee un crecimiento que casi triplica al nacional (23,4%), en concreto se coloca 43 puntos por encima.

Con este récord histórico para el periodo desde que existen las estadísticas de comercio exterior, Andalucía se sitúa por encima de Madrid, que con 1.137 millones registra un descenso de sus ventas del 14,3%, y Baleares, que sólo supone el 6% del total (190 millones). Además, la región andaluza ostenta un saldo positivo en la balanza comercial de 863 millones, con una tasa de cobertura del 227%, lo que significa que las exportaciones triplican a las importaciones en este periodo.

Sevilla-Cádiz eje exportador

En cuanto a las provincias exportadoras, el eje Sevilla-Cádiz concentra casi el 100% de las ventas con Sevilla

como líder, al alcanzar los 1.309 millones (85% del total) y una subida del 97%, casi el doble respecto a los primeros ocho meses 2016; y Cádiz en segundo puesto, con 230 millones (14,9% del total). Les siguen con una menor cantidad en ventas Córdoba (3,4 millones) con un crecimiento del 8%; Málaga (956.000 euros) con una subida del 37%; y Huelva (144.000 euros) con un incremento del 150%, más del doble.

Los principales cuatro productos exportados están liderados por las demás aeronaves (helicópteros, aviones: vehículos espaciales y sus vehículos de lanzamiento, y vehículos suborbitales, etc.) con 1.138 millones (74% del total), que duplica su cifra con un alza del 108% con respecto a los primeros ocho meses de 2016.

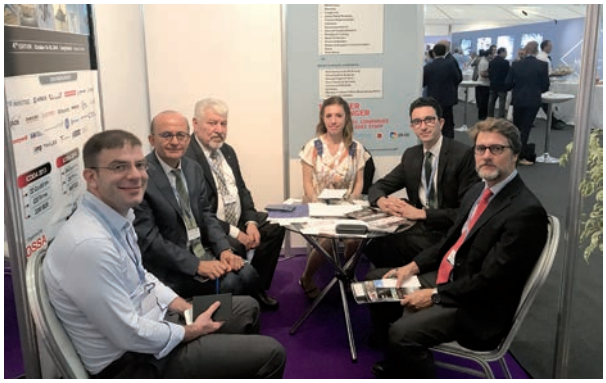
En segundo lugar, se encuentran las partes de los aparatos, con 397 millones (25,7% del total) que crecen un 5,8% con respecto a enero agosto de 2016; seguidos de los aparatos y dispositivos para lanzamiento de aeronaves, aterrizaje en portaaviones y aparatos de entrenamiento de vuelo en tierra (8,4 millones) que multiplican por cuatro su cifra, con una subida del 307%; y los paracaídas (1 millón de euros) que se incrementan en un 61%.

Europa principal destino

En cuanto a los principales mercados de destinos de las ventas aeronáuticas andaluzas, crecen nueve de los diez primeros, cinco de ellos por encima del doble. En concreto Francia se aúpa como primer país en este periodo, con 386 millones (25% del total) y un aumento del 43% respecto a los primeros ocho meses de 2016; seguido muy de cerca por Reino Unido, con 369 millones (23,9% del total) con el mayor alza de este periodo entre los diez primeros destinos, del 11.701%, con lo que multiplica por 119 sus cifras; y en tercer lugar está Alemania, con 286 millones (18,5% del total) que protagoniza la tercera mayor subida al multiplicar por 16 sus ventas (1.525%).

En cuarta posición se sitúa Turquía, primer mercado extracomunitario, con 249 millones (16,1% del total) y el segundo mayor incremento de enero a agosto, con un alza del 6.996%, con lo que multiplica su dato por 71 respecto a las ventas del mismo periodo del año anterior; seguido de Malasia (126 millones) que crece un 3,1%; Tailandia (43 millones) que aumenta sus ventas un 55%; y Estados Unidos (35 millones) que sube un 123%, duplicando sus exportaciones.

En octavo lugar se encuentra Brasil (10,7 millones) seguido de Arabia Saudí (6,8 millones) y un incremento



del 873%, multiplicando por nueve sus datos; y Polonia (4,6 millones) que también crece un 15,8%.

Empresas andaluzas en Aerospace Meetings Casablanca

Las empresas participantes provienen de Sevilla (Aerosertec, Canagrosa, Sofitec, Metal Improvement Company-L.L.C. y Idecam) y Cádiz (SAES). La organización de esta acción por parte de Extenda será cofinanciada con fondos procedentes de la Unión Europea, a través del P.O. FEDER de Andalucía 2014-2020, dotado con una contribución comunitaria del 80%

Bombardier: contratistas en la feria

Según los datos de Extenda, Aerospace Meetings Casablanca ha permitido el desarrollo de relaciones comerciales entre fabricantes aeronáuticos, constructores, fabricantes de equipo y todos los grupos de subcontratación o proveedores de servicios internacionales. En el caso concreto de Andalucía, la delegación empresarial ha tenido la oportunidad de entrevistarse con empresas clave del sector como Boing, Zodiac Aerospace y Bombardier.

Asimismo, la implantación de Bombardier en Casablanca ha acelerado la consolidación del sector aeroespacial en Marruecos, creando interesantes oportunidades para las empresas andaluzas, que componen el polo aeroespacial más cercano. Según la organización ferial el sector aeronáutico en Marruecos muestra una tasa de crecimiento promedio de entre el 15% al 20% por año.

La cuarta edición de esta feria contó con el soporte de grandes clientes como Bombardier, Safran, EADS, Thales, Eaton, Hexcel o Zodiac Aerospace, con lo que reunió a todos los actores del sector, profesionales de la industria y de la MRO Infraestructura aeroportuaria, así como un gran número de contratistas internacionales y fabricantes de equipos.

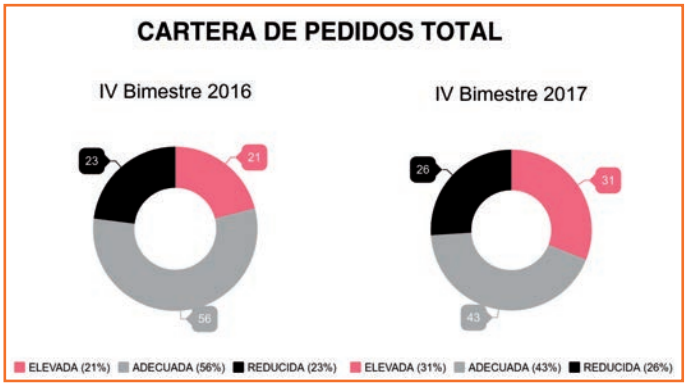
La mejora de la cartera de pedidos de las industrias de Bizkaia augura un buen cierre de año

La industria de Bizkaia está manteniendo una actividad creciente al inicio de la segunda mitad de 2017, con una mejoría de la cartera de pedidos que pronostica un buen comportamiento en la recta final del año.

Un 31% de las empresas califica su cartera de pedidos como elevada (21% en 2016). En concreto, en el mercado exterior muestra una mejor situación (un 39% la considera elevada y un 47% adecuada) que la cartera de pedidos del mercado interior (27% elevada y 39% adecuada). Este hecho asegura un período de trabajo medio de 192 días, 88 más que en 2016.

El ciclo económico de la industria de Bizkaia continúa con datos positivos en 2017 y, aunque el crecimiento es relativamente mínimo con respecto a los años anteriores, las perspectivas son notablemente mejores.

Según expresan las empresas que responden a la Encuesta de Coyuntura Industrial de Cámarabilbao, y a pesar de que las incertidumbres surgidas en determinadas compañías no terminan de despejarse, las expectativas de evolución del resto de variables industriales reflejan un mayor nivel de optimismo que al finalizar el primer semestre de 2017.



Así, un 38% experimentará un aumento de la producción para el tercer trimestre de 2017, el 45% espera mantenerla y solamente el 16% la disminuirá.

El 37% de las industrias pronostica un incremento de su cartera de pedidos, el 47% confía en mantenerla y el 16% señala que se reducirá.

El 42% de las empresas registrará una subida en sus ventas, el 14% prevé una caída y el 44% restante habla de estabilidad.

En cuanto a las exportaciones, un 33% prevé un aumento, pero el 9% de las empresas habla de descenso. Y el 58% cree que sus ventas exteriores seguirán como hasta ahora.

Respecto a la cifra de personas ocupadas, el 67% mantendrá estable su número de trabajadores y trabajadoras, un 14% espera incrementarlo y el 19% tiene previsto reducir la plantilla.

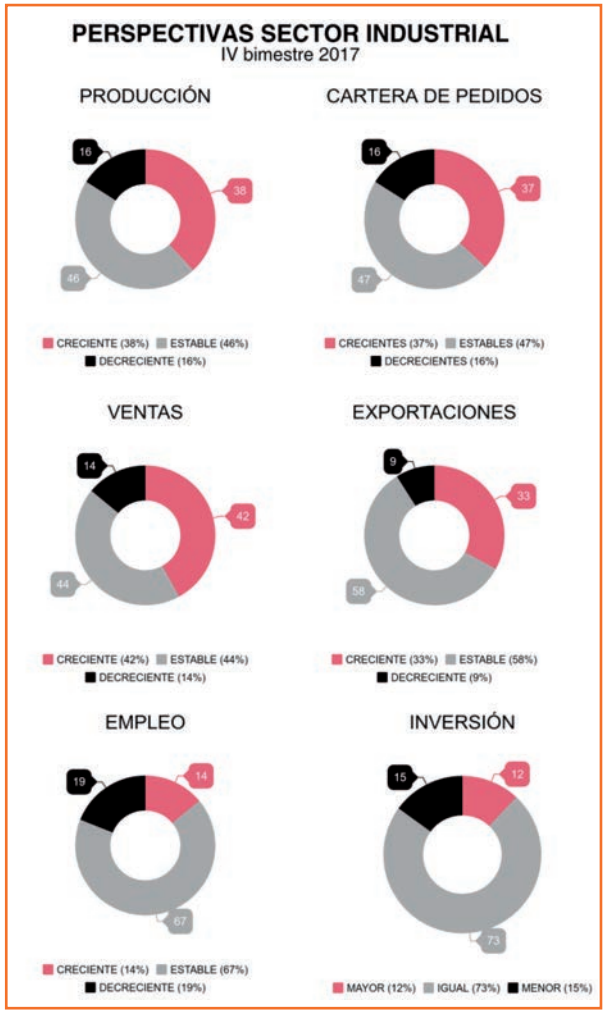
Como una variable más que refuerza el clima de confianza y optimismo que se respira entre las industrias vizcaínas en 2017, un 85% ha incrementado o mantenido su nivel de inversión, porcentaje apreciablemente superior al 76% del mismo período de 2016.

Sectorialmente, las empresas de Bienes de Consumo

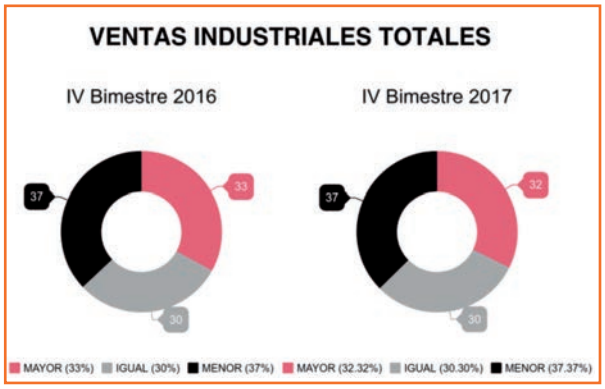
son más optimistas que las de Bienes de Equipo y las de Bienes Intermedios.

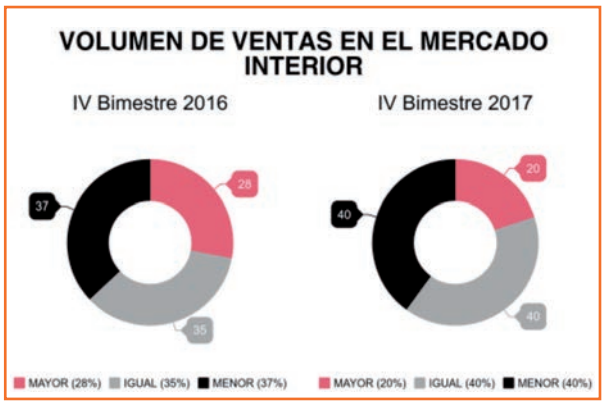
Por lo que se refiere a los resultados de julio-agosto, la Encuesta de Coyuntura Industrial de la Cámara de Bilbao señala que el Índice de Confianza de la Industria se mantiene estable.

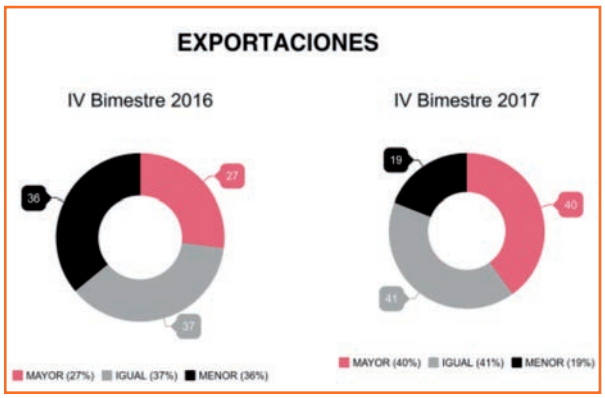
Las ventas industriales expresan un nivel similar al de julio-agosto del año pasado. El porcentaje de empresas que las incrementó en el último bimestre fue del 32% en 2016 frente al 33% en 2017.



Las ventas en el mercado exterior indican un mejor comportamiento este año. El porcentaje de compañías que aumentó sus exportaciones se situó en el 40% (27% en 2016), mientras que las ventas en el mercado interior presentan un comportamiento menos dinámico, con un crecimiento para el 20% frente a un 28% de 2016.







La situación de las ventas totales ha sido más favorable entre los fabricantes de Bienes de Equipo apoyadas en el buen comportamiento de sus exportaciones.

La capacidad productiva utilizada en julio-agosto alcanzó un 87%, superior al 78% del mismo período de 2016, y las previsiones son positivas con una estimación del 90% para la segunda parte de 2017.

La principal causa de la infrautilización es la debilidad de la demanda interna, seguida por factores estacionales consustanciales a los meses centrales del verano.

Revolución –no evolución– necesaria para avanzar en tratamientos térmicos por inducción

Por Gary Doyon*, Valery Rudnev, FASM,* Collin Russell*, and John Maher*
Inductoheat Inc., Madison Heights, Mich

Traducido por Eugenio Pardo Olea - Ondarlan Inductotherm Group Iberia

OBJETIVO

Los equipos modernos, de alta calidad, deben ser lo suficientemente flexibles y de inmediata adaptabilidad, para permitir cambios rápidos de utillaje y de programación cuando se trata de procesar un gran rango de piezas.

Entre los factores que tradicionalmente se utilizan por parte de los tratamentistas a la hora de valorar los equipos de inducción, se incluyen la capacidad, la calidad, el precio, el plazo de entrega y su longevidad. Sin embargo, a la luz de las nuevas tendencias industriales, surge el factor más importante si cabe, de todos ellos: la flexibilidad [1-3]. En el pasado, los fabricantes de piezas disponían a menudo de un contrato de suministro durante muchos años. A día de hoy, los contratos pasan de proveedor a proveedor con mucha mayor frecuencia, por tanto, para conseguir un contrato frente a la competencia es preciso ser un proveedor que pueda disponer de un equipamiento moderno de inducción apto para la tarea en cuestión, comprarlo, ponerlo a punto y completar la homologación de la pieza (production part approval process PPAP) con objeto de producirla industrialmente, todo ello en un corto periodo de tiempo. Se debe disponer con rapidez de equipamiento moderno, de alta calidad y fiable que sea fácilmente reprogramable, con cambio rápido de utillaje, para el tratamiento de diferentes piezas.

Cuando nos referimos al endurecimiento superficial de ejes desde hace una década, no es extraño considerar geometrías similares a la mostrada en la Fig.1. Hoy, sin embargo, las iniciativas para reducir peso son muy comunes en automoción, vehículos pesados y agrícolas, así como en el sector aeroespacial y en otras industrias. Con objeto de minimizar el peso y optimizar otras propiedades industriales, además de la distribución de las tensiones residuales, todo ello en componentes metálicos de morfologías similares a los ejes, los diseñadores deben taladrar agujeros, reducir secciones, utilizar ranuras, rebajes, soportes y utilizar formas adaptadas y aleaciones que permitan alcanzar estos objetivos.

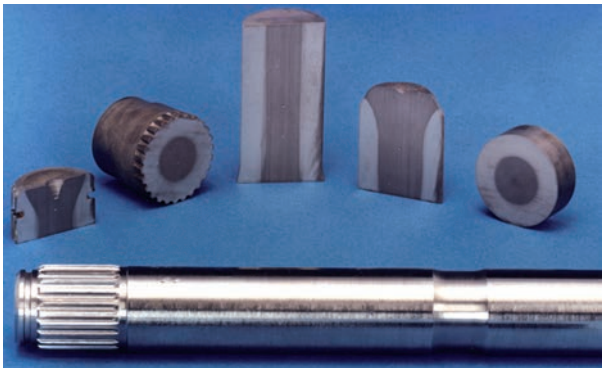


Fig. 1. Piezas representativas tipo eje endurecidas por inducción desde hace una década.

Este artículo constituye un enfoque en la revolución técnica experimentada en el calentamiento por inducción, que por primera vez permite, mediante la preprogramación del equipo, cambiar la frecuencia y la potencia du-

* Miembros de ASM International.

rante el ciclo de calentamiento, de la misma forma que los mecanizadores llevan programando las máquinas CNC durante años. Esto se ilustra mediante el estudio de un caso de endurecimiento por inducción de un componente tipo eje, como el mostrado en la Fig. 1, representativo de un rango amplio de piezas de esta geometría, presentes en las aplicaciones rutinarias de endurecimiento por inducción (Fig. 2)[1].

Fig. 2. Ejemplos de variedad de geometrías en piezas modernas de tipo eje.

CASO DE ENDURECIMIENTO POR BARRIDO (SCANNER)

Muchos ejes de acero se endurecen superficialmente por barrido (scanner). Los sistemas de inducción por barrido se asocian normalmente con costes de inversión menores, en comparación con los sistemas estáticos o de disparo único (single shot), ofreciendo además flexibilidad de proceso con respecto a la longitud de la pieza, y hasta cierto punto, también con respecto a variaciones en el diámetro del eje. En el endurecimiento por barrido, el inductor o la pieza (o ambos) pueden moverse linealmente, el uno respecto del otro, durante el ciclo de endurecimiento. Según sea la orientación del flujo, el sistema se puede fabricar en vertical, horizontal o en ángulo, pese a que el barrido vertical es el diseño más común por varias razones, como por ejemplo el menor espacio de ocupación del equipo.

En el sistema de endurecimiento por barrido, sólo se calienta una pequeña parte de la longitud de la pieza a un mismo tiempo, posibilitándose que piezas largas se endurezcan con potencias relativamente bajas y consecuentemente con fuentes de potencia más baratas. Los sistemas de barrido permiten variar la velocidad de barrido y la potencia durante el proceso, lo que posibilita controlar la cantidad de calor aplicado en las diferentes áreas del eje. Además, los sistemas de barrido incorporan un número de diferentes variables técnicas, que junto con el diseño del inductor y la fuente de potencia, tienen un impacto significativo en los resultados de endurecimiento superficial [2, 3].

PROBLEMAS DE LOS SISTEMAS DE ENDURECIMIENTO POR BARRIDO

Las discontinuidades y las irregularidades geométricas de las piezas pueden distorsionar el campo magnético generado por el inductor, causando potenciales variaciones de temperatura y una excesiva distorsión en la forma. Por ejemplo, los ejes endurecidos mediante barrido con cambios grandes de diámetro, agujeros múltiples y apoyos afilados, pueden producir desviaciones indeseadas en los patrones de endurecimiento, así como estructuras metalúrgicamente indeseables. Además, frecuentemente se especifican espesores de endurecimiento significativamente diferentes a lo largo de la longitud del componente en piezas de geometrías complejas y multifuncionales (por ejemplo, componentes con secciones sólidas y huecas, y espesores de pared variables). Todo ello requiere una variación consecuente de la generación localizada de calor a través de la profundidad durante el barrido. Desgraciadamente, la mayoría de los sistemas disponibles comercialmente para frecuencias medias y altas se diseñan para proporcionar una frecuencia fija, la cual no se puede cambiar ni instantánea ni deliberadamente durante el barrido de endurecimiento.

En muchos casos, la frecuencia disponible se puede considerar mayor o menor que el valor óptimo para una determinada zona del eje. Si es significativamente más alta que la deseable (Fig. 3, centro), produce una penetración menor que la deseable en la generación de calor (penetración de las corrientes), lo cual puede no ser suficiente para una adecuada austenización de la región, en aras de la requerida profundidad del endurecimiento. Por consiguiente, se necesita un tiempo adicional para que la conducción térmica proporcione el flujo de calor, desde la superficie de la pieza hasta la profundidad necesaria. Esto se consigue comúnmente reduciendo la velocidad del barrido y la densidad de potencia (de lo contrario se puede sobrecalentar la superficie). Pero ello implica un incremento del tiempo y puede producir problemas mecánicos y metalúrgicos indeseables, relacionados con picos de temperatura excesivos y distribuciones de tensiones residuales perniciosas.

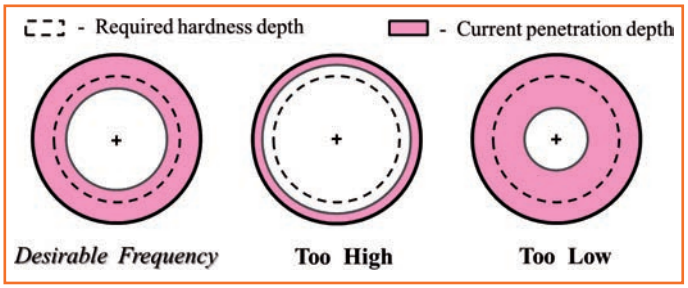


Fig. 3. Efecto de selección no-óptima de frecuencia en penetración de corriente (generación de calor) para endurecimiento superficial por inducción de ejes sólidos; (izda) frecuencia deseada, (centro) frecuencia demasiado alta con generación de calor más superficial, y (dcha) frecuencia excesivamente baja con excesiva penetración de la generación de calor.

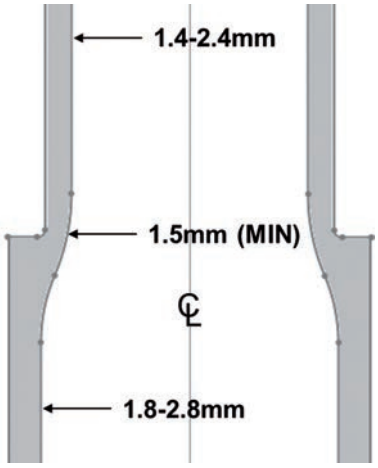


Fig. 4. Ejemplo de especificación de dureza para eje multidiámetro.

Por el contrario, una frecuencia más baja que la óptima I (Fig. 3, derecha) produce una capa austenizada excesivamente profunda, con un consecuente patrón de endurecimiento más penetrante y con distorsión exagerada. Para suprimir la conducción térmica se aumentan la velocidad de barrido y la densidad de potencia, reduciéndose así el impacto negativo de utilizar una frecuencia menor que la deseable.

En escasas ocasiones existe una única frecuencia óptima que se ajuste a una gran variedad de geometrías de piezas, por lo que los sistemas convencionales de endurecimiento por barrido a frecuencia fija, siempre buscan una solución de compromiso entre la calidad metalúrgica deseada, la productividad y la capacidad del proceso. A pesar de que las modificaciones del proceso de cara a suprimir o favorecer la conducción térmica pueden ayudar a reducir el impacto negativo de no utilizar frecuencias óptimas, a menudo no pueden eliminarlo e incluso pueden afectar negativamente a la calidad metalúrgica de los componentes tratados térmicamente, a la distribución de las tensiones transitorias y residuales, y a las características de distorsión [2, 3].

APLICACIÓN: ENDURECIMIENTO POR BARRIDO CONVENCIONAL

La Técnica de barrido en inducción se utiliza a menudo para endurecer componentes que contienen cambios múltiples de diámetro y requerimientos de patrones variables a lo largo de la longitud del eje. Para ilustrarlo, consideremos el endurecimiento por barrido de un eje de 25 mm (una pulgada) de un eje de acero SAE 4140 con variaciones geométricas a lo largo de su longitud, siendo la más significativa una reducción de diámetro de 5 mm (0,2 pulgadas). La figura 4 nos muestra el patrón necesario en la zona de transición de diámetro. Se utiliza un inductor de espira única debido a lo afilada que resulta la especificación del patrón en el extremo del eje.

El endurecimiento cuando se utiliza un Sistema de barrido convencional (frecuencia fija) requiere establecer una frecuencia única para el proceso de endurecimiento completo. Las penetraciones necesarias a lo largo de la longitud del eje en el orden de 2 mm (0,08 pulgadas) comportan el uso de una frecuencia nominal de 30 KHz para alcanzar los resultados de endurecimiento más cercanos al óptimo en las zonas rectas de la pieza. La figura 5 muestra una distribución instantánea de temperatura durante la etapa inicial del barrido para endurecimiento [3].

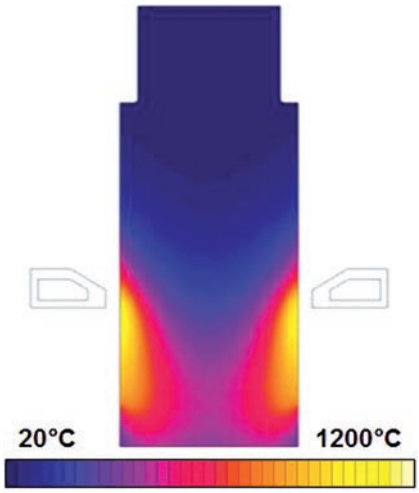


Fig. 5. Patrón de temperatura durante etapa inicial de endurecimiento por barrido de un eje.

En la figura 6 se muestra la receta con la frecuencia fija utilizada en el endurecimiento por barrido de esta porción del eje. A medida que la pieza se traslada hacia abajo y la transición de diámetro se aproxima a la parte alta de la bobina, la velocidad de barrido aumenta para

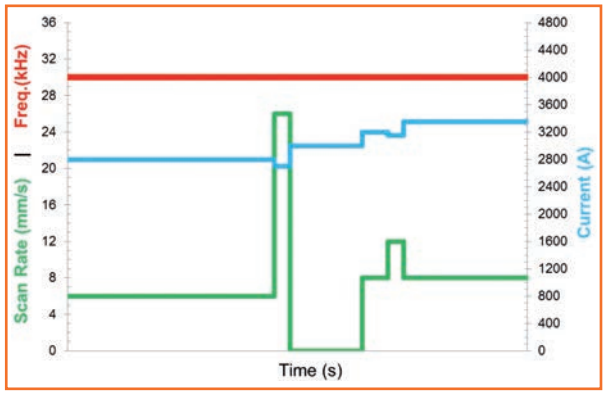


Fig. 6. Receta típica de proceso para endurecimiento por barrido con frecuencia fija.

reconducir la tendencia inherente a sobrecalentar el borde exterior de la transición de diámetro. En ese momento, la velocidad de barrido se reduce a cero durante un pequeño tiempo muerto, con la parte baja de la bobina ubicada justo encima de la transición de diámetro. Todo esto ayuda a mejorar el calentamiento del borde interior de la transición de diámetro y compensa la caída de calor y el desacoplamiento electromagnético experimentado en esta zona. Tras 2 segundos de tiempo muerto, el barrido vuelve a una velocidad estable de 8 mm/s (0.3 pulgadas/s), con la excepción de un breve periodo en el que se usa una velocidad de barrido mayor, con objeto de mitigar el riesgo de sobrecalentamiento en la zona directamente por encima de la transición de diámetro.

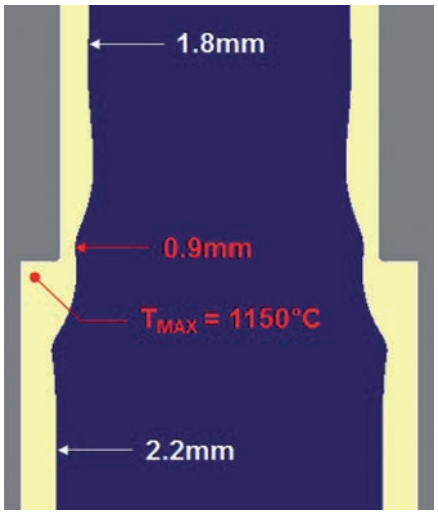


Fig. 7. Patrón de dureza obtenido en eje multi-diámetro obtenido a frecuencia fija.

La figura 7 nos muestra el patrón en esta región del eje. Mientras las penetraciones por encima y por debajo de la transición de diámetro cumplen con las especificaciones del cliente, la penetración en el borde interior de la transición de diámetro es únicamente de 0.9 mm (0.035 pulgadas.), fracasando en alcanzar los requeridos 1.5 mm (0.06 pulgadas.) como mínimo. Por otro lado, se experimenta un gran sobrecalentamiento en las inmediaciones del borde exterior que implica un pico de temperatura de 1.150°C (2.100°F), lo cual es problemático. Este sobrecalentamiento superficial se asocia a un crecimiento de grano que empobrece las propiedades mecánicas. Además, el sobrecalentamiento es una de las causas más comunes de iniciación de grietas y de su propagación, ya que la estructura intergranular se ve debilitada y se incrementan la fragilidad y la propensión a desarrollar agrietamiento intergranular [2]. La licuación en las juntas de grano/fusión incipiente se asocia a la licuación de las fases de baja fusión e impurezas concentradas en los alrededores de los granos, conduciendo a su degradación. En la figura 8 se muestra una red (cadenas) de áreas licuadas en los alrededores de los granos. La licuación en las juntas de grano se ve aumentada por la segregación de Mn, S, Cu y de algunos otros elementos que austenizan los bordes del grano.

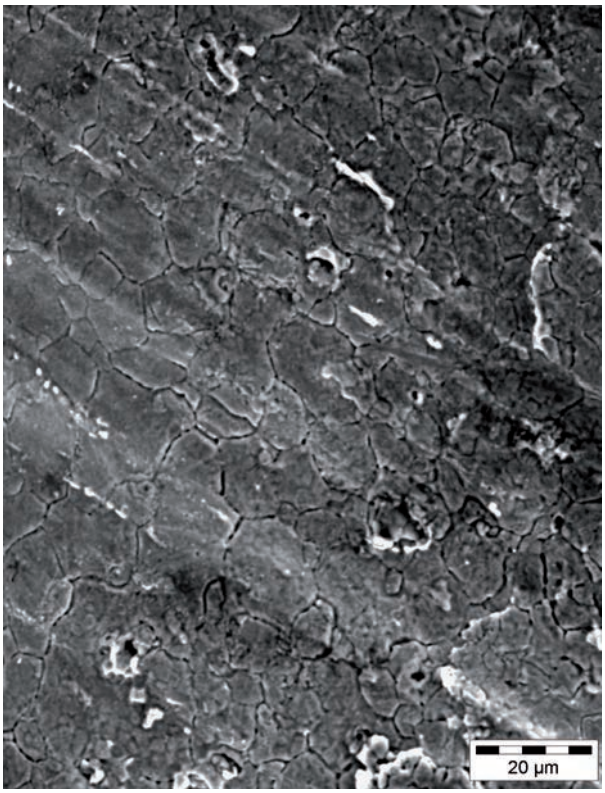


Fig. 8. Licuación en juntas de grano ocasionada por sobrecalentamiento.

Puede ser difícil o incluso imposible solventar la insuficiente penetración en los bordes internos de la transición de diámetro y el excesivo calentamiento en la vecin-

dad de los bordes exteriores, cuando se utilizan sistemas convencionales de endurecimiento a frecuencia fija.

AVANCE EN LOS SISTEMAS DE ENDURECIMIENTO POR BARRIDO

La frecuencia aplicada tiene el mayor efecto sobre la penetración de la generación de calor. Por consiguiente, sería ventajosísimo aplicar varias combinaciones de frecuencia, potencia y velocidad de barrido durante las diferentes etapas del ciclo de barrido, cuando se trata de abordar las peculiaridades geométricas de las piezas endurecidas mediante tratamiento térmico, en aras de maximizar la productividad y mejorar la calidad metalúrgica de los componentes tratados térmicamente. Desgraciadamente, la mayoría de los inversores actuales no disponen de esta característica.

Una nueva generación de inversores basados en componentes IGBT (Statitron-IFP) desarrollados por Inductoheat (Fig.9) elimina esta limitación y simplifica el proceso, consiguiendo el patrón necesario de dureza. Esta tecnología patentada se ha desarrollado específicamente para las necesidades del calentamiento por inducción. Permite un ajuste de frecuencia instantáneo e independiente (de 5 a 60 kHz) o de potencia (hasta 450 kW) de una manera preprogramada (Fig.10) durante el

Fig. 9. Inversor Statitron IFP.

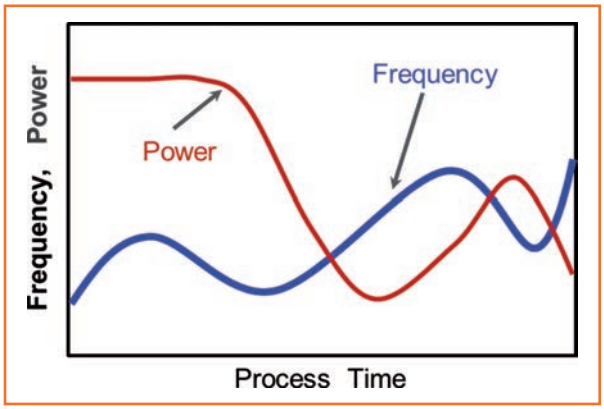


Fig. 10. Simultánea variación de frecuencia y potencia durante un ciclo moderno de barrido por inducción.

ciclo de calentamiento, optimizando las condiciones electromagnéticas, térmicas y metalúrgicas [2-4].

APLICACIÓN: ENDURECIMIENTO POR BARRIDO UTILIZANDO TECNOLOGÍA IFP

Las ventajas de la tecnología IFP en el endurecimiento por barrido se pueden apreciar cuando se aplica esta tecnología al complicado eje discutido previamente. En el área de transición de diámetro, una reducción de la frecuencia comporta una generación de calor más profunda en la zona interior, reduciéndose el riesgo de sobrecalentamiento del borde exterior adyacente. En la figura 11 se aprecia la receta del proceso. Mientras la variación de la velocidad de barrido respecto al tiempo se mantiene invariable si la comparamos con el proceso de frecuencia fija, la frecuencia de salida del inversor se reduce a 12 KHz cuando la bobina se aproxima a la transición de diámetro.

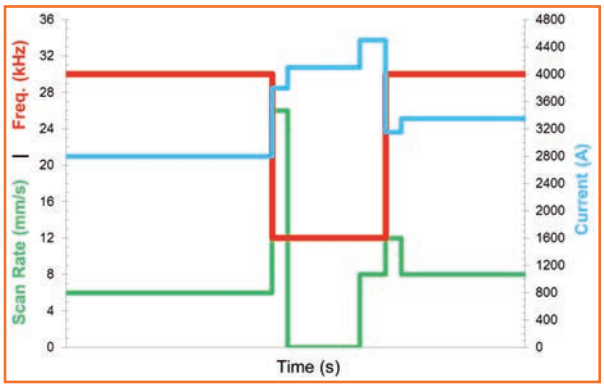


Fig. 11. Receta de proceso con Fuente de potencia IFP.

En la figura 12 se muestra el patrón de durezas resultante en el proceso de frecuencia variable. La profundidad de endurecimiento en el borde interior de la transi-

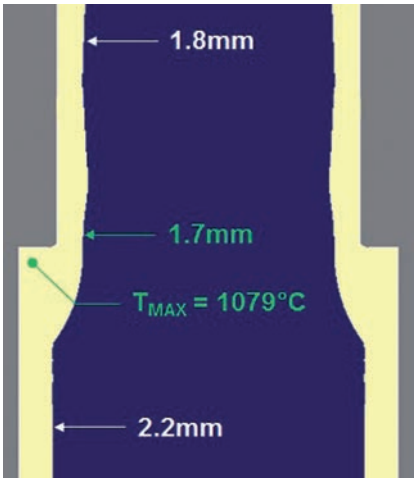


Fig. 12. Patrón de durezas obtenido en eje multi-diámetro, aplicando frecuencia, potencia y velocidad de barrido variables.

ción de diámetro es casi el doble que con el método convencional, incrementándose hasta un valor aceptable de 1.7 mm (0.066 pulgadas). Además, el pico de temperatura en las inmediaciones del borde exterior baja en más de 70°C (125°F), reduciéndose sustancialmente el peligro potencial de crecimiento de grano y la fusión incipiente en el borde exterior.

La reducción del pico de temperatura desde 1.150° a 1.080°C (2.100° a 1.975°F) mediante el cambio de frecuencia de 30 kHz a la combinación 30 kHz/12 kHz es notable. Este pico de temperatura más bajo todavía preocupa a algunos metalúrgicos a los que les gustaría un pico menor. Esto se puede conseguir muy fácilmente usando la combinación de frecuencias 30 kHz/5 kHz, asegurándose una calidad metalúrgica mayor y unas bajas características de distorsión de los productos tratados térmicamente.

AMPLIANDO EL HORIZONTE DE LA TECNOLOGÍA IFP

La tecnología del nuevo inversor reconduce con efectividad las necesidades de eficiencia en costes y aumenta la flexibilidad del proceso, aumentando enormemente las posibilidades de los equipos de inducción y mejorando la calidad metalúrgica de los componentes tratados térmicamente. La posibilidad de esta tecnología de cambiar instantáneamente la frecuencia en más de un orden de magnitud, ofrece considerable ventajas en muchas aplicaciones de inducción, entre las que se encuentran el endurecimiento superficial, temple y revenido, revenido/alivio de tensiones, endurecimiento de componentes de tipo engranaje con inductores circulares, y el endurecimiento diente a diente de grandes engranajes... sólo por mencionar algunos de ellos.

Endurecimiento "a través". Cuando calentamos (para endurecimiento) barras con varios diámetros y piezas de forma cilíndrica con múltiples secciones, debemos tener cuidado en prevenir la cancelación de las corrientes de inducción (Eddy current cancellation), que se experimenta cuando las corrientes de inducción circulan en los lados opuestos de la pieza calentada, ambas orientadas en sentido contrario, pudiéndose anular entre sí y reduciendo drásticamente la eficiencia de calentamiento. Bajo determinadas circunstancias, una pieza puede llegar a ser semitransparente al campo electromagnético, absorbiendo una cantidad de energía despreciable y consiguientemente convirtiendo en imposible el calentamiento, independientemente de la potencia aplicada. La capacidad de los inversores IFP de poder variar la salida de la frecuencia en más de un orden de magnitud, en comparación con las fuentes de potencia convencionales, elimina este problema. Por ejemplo, a temperaturas de austenización, el 86% de la potencia generada se concentra entre 2.3 y 7 mm (0.09 y 2.7 pulgadas) a frecuencias de 60 y 5 kHz, respectivamente. Esto implica que la tecnología IFP maximiza la eficiencia energética cuando calentamos piezas de diámetros entre 8 y 25 mm (0.312 y 1 pulgada) mediante la aplicación de frecuencias de 60 and 5 kHz, respectivamente. La eficiencia energética se ve mejorada significativamente y las condiciones metalúrgicas de las piezas se pueden mejorar enormemente, sólo con reprogramar una receta de proceso.

Endurecimiento superficial. Procesar piezas de diámetro 12 mm (~0.5 pulgadas.) con profundidad de endurecimiento de 1.8 mm (0.07 pulgadas) requiere frecuencias en el rango de 50-60 kHz. Si el producto cambia a diámetro de 30 mm (1.2 pulgadas.) con profundidad de endurecimiento de 5 mm (0.2 pulgadas.) se requiere una frecuencia más baja de 5 a 7 kHz para asegurar una generación de calor más profunda. Esto maximiza la calidad metalúrgica del producto sin comprometer la productividad. La tecnología IFP permite adaptarse a los cambios mencionados, con comodidad.

Endurecimiento y revenido/Alivio de tensiones. Debido a que las temperaturas de revenido están por debajo del punto de Curie, bajo el cual los aceros mantienen sus propiedades magnéticas, el efecto pelicular (skin effect) es siempre muy pronunciado en revenido por inducción. Esto implica una generación de calor más superficial, y potencialmente puede conducir a un efecto superficial de sobre-revenido y de inversión de las beneficiosas tensiones residuales compresivas en la superficie de la pieza, en particular cuando se usan frecuencias similares para endurecer y para revenir. Por consiguiente, es ventajoso que las máquinas de inducción utilicen

frecuencias más altas para el endurecimiento y más bajas para el revenido y alivio de tensiones, requisitos que se alcanzan utilizando la tecnología IFP.

Endurecimiento de componentes de tipo engranaje utilizando inductores circulares. La posibilidad de cambiar instantáneamente la potencia de salida y la frecuencia durante el ciclo de calentamiento, permite a los tratamentistas utilizar frecuencias más bajas para precalentar áreas de raíz, y utilizar frecuencias más altas para asegurar un calentamiento suficiente de los bordes de los dientes y de las puntas cuando se endurecen engranajes de tamaño moderado, piñones y rodillos.

Endurecimiento diente a diente. Se puede aplicar a engranajes y a piñones. El inductor se coloca simétricamente entre los dos costados de dientes adyacentes. Los engranajes endurecidos por inducción pueden ser muy grandes, con diámetros por encima de 3 m (10 pies), y pueden pesar varias toneladas. Un ejemplo son los engranajes utilizados para turbinas eólicas en las que el endurecimiento diente a diente se aplica con efectividad. Sin embargo, esta Técnica presenta el reto de controlar los efectos borde/final con objeto de prevenir el sobrecalentamiento de las esquinas y su agrietamiento. La posibilidad de los inversores IFP de cambiar instantáneamente la potencia y la frecuencia, puede ayudar a conseguir patrones de endurecimiento correctos, particularmente en los extremos.

CONCLUSIÓN

Durante años, el tratamiento térmico por inducción ha utilizado las diferentes ventajas que este proceso proporciona a los fabricantes de piezas metálicas. Sin embargo, en aras de alcanzar la mejor tecnología, flexibilidad y aptitud para conseguir un patrón correcto, las primeras pruebas no fueron las mejores. La tecnología denominada IFP, lo ha transformado todo.

Nota: La marca Statitron está registrada, e IFD es una marca de Inductoheat Inc.

Referencias

1. G. Doyon, Change Creates Change, Adv. Matls. & Proc., Feb/Mar, p 52, 2017.
2. V. Rudnev, D. Loveless, and R.Cook, Handbook of Induction Heating, 2017.
3. C. Russell, V. Rudnev, F. Andrea, and A. Ulferts, Maximizing Quality and Equipment Flexibility in Induction Scan Hardening Applications, Proc. XVIII Intl. UIE-Congr., Electrotechnologies for Materials Processing, Germany, p 379-384, 2017.
4. Statitron IFP - Independent Frequency and Power Output, Inductoheat Brochure, 2016.

(Translated and reprinted with permission of ASM International. HTPro, September 2017, Vol. 5, No. 3, 72-80)

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

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

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

INGENIERÍA DE REFRACTARIOS Y COMBUSTIÓN
Compromiso y fiabilidad
DEGUISA
www.deguisa.com

TECRESA®
TECNICAS DE REFRACTARIOS, S.A.U.
SEDE CENTRAL BILBAO
Creciendo Juntos
www.tecresa.com
Ribera de Zorrozaurre 15 2º-48015 Bilbao Vizcaya
Tel: 902 118 947 - Fax: 944 483 732
tecresa@tecresa.com
MONTAJE, MANTENIMIENTO, SUMINISTRO, INGENIERÍA DE:
Revestimientos Refractarios Industriales
Pavimentos Industriales, Protección de Superficies,
Reparación y Refuerzo Estructural, Protección Pasiva contra Incendios,
Estudios de Eficiencia Energética.
DELEGACIONES
Pol. Logrezana, Nave 5 Tf: 902 118 948 33438 CARREÑO asturias@tecresa.com
Pol. La Paz, Nave 16 Tf: 902 118 949 21007 HUELVA huelva@tecresa.com
Avda.Rubine Nº6 Pta 4 Loc.1 Tf: 902 118 950 15004 LA CORUÑA galicia@tecresa.com
Ctra.Astillero-Somo Km 2.5 Tf: 942 106 919 39792 GAJANO cantabria@tecresa.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
FILINOX, S.A.
C/ Sant Adrià, 76
08030 Barcelona
Tel.: 93 223 26 62
Fax: 93 223 26 67
customer@inoxidables.com

PYRO® CONTROLE
CHAUVIN ARNOUX GROUP
TKK EREMA
TOKAI KONETSU KOGYO CO., LTD.
SSi SUPER SYSTEMS INC.
HITECH INSTRUMENTS LTD
WINNER TECHNOLOGY CO.,LTD.
주식회사 위너테크
ENTESIS technology
- Sondas de oxígeno
- Analizadores de gases
- Pruebas de uniformidad de temp. AMS2750D, E y CQI9 r3
- Sondas de temperatura
- Videoregistradores
- Reguladores de temperatura
- Thyristores
- Resistencias CSi y MoSi2
- Automatización de hornos
Guitard 72 baixos, E-08014 Barcelona
Tel. (+34) 93 410 54 54, Fax (+34) 93 419 97 33
www.entesis.net · e-mail:info@entesis.net

APLITEC
Utillaje tipo mecano, cestas, tubos radiantes
Fundición acero inoxidable refractario
CFC
CODERE SA
Utillaje forming
ECONOX S.A.
RD TECHNOLOGIES
APLICACIONES TERMOTECNICAS, S.L Apdo. 4052 - 48080 BILBAO - ESPANA
Tel: +34. 94.426.25.22 Fax:+34. 94.426.22.62 info@aplitec-tt.com www.aplitec-tt.com

tecno piro®
-temple -soldadura -recocido -sinterizado -revenido
HORNOS DEL VALLES, S.A.
Mancomunitat,3 08290 CERDANYOLA DEL VALLES
(Barcelona) T/ 93 692 66 12 Fax 93 580 08 27
hdv@tecnopiro.com tecnopiro.com

PROYCOTECME
HORNOS INDUSTRIALES
Especialistas en Tratamiento Térmico
Pol. Ind. Can Castell
c/ Industria, 113 - Nave 1-K
08420 Canovelles (Barcelona) Spain
Teléf.: +34 938 467 984
Fax: +34 938 401 492
www.proycotecme.com

Interbil
Ingeniería Térmica Bilbao s.l.

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

Ingeniería y Productos para Hornos y Procesos Térmicos

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

www.interbil.es

ARROLA®
SERVICIO INTEGRAL
PARA INSTALACIONES
DE TRATAMIENTO TERMICO

HORNOS INDUSTRIALES

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

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

S. A. METALOGRAFICA
DESDE 1949
TRATAMIENTOS TÉRMICOS

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

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

ACEMSA
Centro Metalográfico de Materiales

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

Laboratorio de ensayo acreditado por ENAC

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

Safe Cronite
L'esprit industriel

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

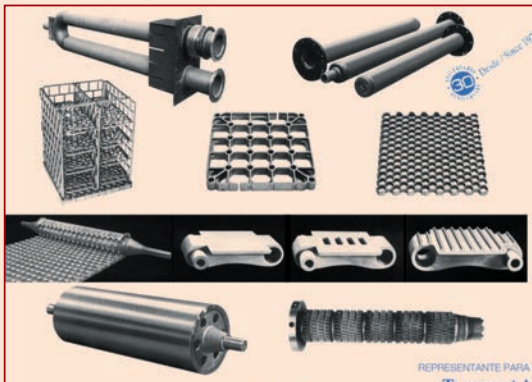
Safe Cronite - Ilárraza, 14 - 01192 ILARRAZA (ALAVA)
Tfno.: 609 419 325 - Fax: +33 243 212 463
E-mail: maricarmen.garcia@safe-cronite.com - www.safe-cronite.com

ERVIN AMASTEEL
El Estándar Mundial de Calidad

- Granalla Redonda y Angular fabricada en el Reino Unido y Alemania cumpliendo las normas internacionales SAE e ISO.
- El mejor servicio técnico y la mejor calidad de producto.
- Crecemos a través de la integridad y la innovación.

Los especialistas en granalla de acero y granalla inoxidable

Tel: +34 628 531 487
mforn@ervinindustries.com **sales@ervinamasteel.eu**



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

SCHMOLZ + BICKENBACH GUSS GmbH & Co. KG

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

SOLO Switzerland
Hornos industriales para el tratamiento térmico
www.soloswiss.es

SOLO Swiss SA
email : mail@solo.swiss - tel. : +34 656 878 067

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

Especialistas en Tecnologías del Vacío
Leybold
Leybold Hispánica, S.A.
C/ Huelva, 7 · E-08940 Cornellá de Llobregat
T +34 93 666 43 11
F +34 93 666 43 70
info.ba@leybold.com
www.leybold.com

Borel Standard Furnaces & Ovens Switzerland
Hornos industriales y estufas
www.borel-hornos.com

Borel Swiss SA
email : mail@borel.swiss - tel. : +34 656 878 067

HOT técnicas en Hornos HOT S.L.
- HORNOS PARA TRATAMIENTO TÉRMICO
- UTILLAJES, PARRILLAS, CESTAS
- PINTURAS PROTECTORAS
- HORNOS DE LABORATORIO
- DISEÑO, CONSTRUCCION Y ASESORAMIENTO
- SERVICIO TÉCNICO, REPUESTOS

AICHELIN Group
Lohmann Qualität in Edelstahl
Stop off paints LUISO®
TECNICAS EN HORNOS HOT S.L.
Polígono Ibaiondo
Pabellón nº 13
20120 Hernani - Spain
e-mail: hot@tecnicashot.com
TF : + 34 943 33 72 33
Fax : + 34 943 33 72 34
Mv. : + 34 609 20 00 90

Termopares especiales
calibraciones ENAC
automatización de procesos
Reguladores
Video-Registradores
pirometro infrarrojo
calibración hornos de vacio
experiencia
desde -200 a 2400ºC
Termopares
SCI Suministro y Calibracion Industrial s.l.
www.sciempresa.com
sondas pt-100
servicio técnico
instrumentación
calibración insitu
calibración TUS
cámara termografica
todo en temperatura
Indicadores
consultoria AMS-2750-D
calibración SAT
expertos en normativa aeronáutica
Ribera de Axpe,11,d2,L203,48950 Erandio tel.944765276 sci@sciempresa.com

insertec
Furnaces & Refractories
Etxerre Kaminoa 21 \
48970 Basauri \
Bizkaia \ Spain
Tel.: +34 - 944 409 420
Fax: +34 - 944 496 624
email: insertec@insertec.biz
www.insertec.biz

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

SPECTRO
Driven to Discover
Espectrómetros para analizar metales
Espectrometría de arco/chispa para analizar la composición química porcentual (%) de materiales metálicos
Tel. 94 471 04 01 – Fax 94 471 17 41 – comercial@spectro.es
SPECTRO Hispania, S.L.
P.A.E. Asuarán, Edificio Enekuri –Nave 9
48950 ERANDIO (Asua) – Vizcaya
www.spectro.com

INDICE de ANUNCIANTES

ACEMSA 48
APLITEC 47
ARROLA . . . . . Contraportada 4
B.M.I. 47
BAUTERMIC 25
BOREL SWISS 49
DEGUISA 47
ENTESIS 47
ERVIN AMASTEEL 48
FLEXINOX 47
HEA 5
HORNOS DEL VALLÉS 47
HOT 29
INSERTEC . . . . . PORTADA
INTERBIL 7
LEYBOLD 49
LIBROS TRATAMIENTOS TÉRMICOS . . 27
METALMADRID . . . . . Contraportada 2
ONDARLAN 9
PROYCOTECME 47
REVISTAS TÉCNICAS . . . . . Contraportada 3
S.A METALOGRÁFICA 48
SAFE 17
SOLO SWISS 49
SPECTRO 49
SUMINISTRO Y CALIBRACIÓN 19
TECNYMAT 21
TECRESA 47
WHEELABRATOR 48

Próximo número

DICIEMBRE

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

SU MEJOR COMUNICACIÓN

REVISTAS PROFESIONALES DEL SECTOR INDUSTRIAL

PEDECA *Press* Publicaciones

SOMOS SU MEDIO

C/ Goya, 20. 1º. • 28001 MADRID • Telf.: 91 781 77 76 • Fax: 91 781 71 26 • pedeca@pedeca.es • www.pedeca.es

PORQUE
LA DIFERENCIA
SE MARCA
DESDE EL PRINCIPIO

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

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

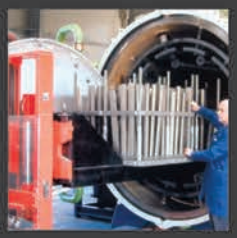
ARROLA®

SERVICIO INTEGRAL
PARA INSTALACIONES
DE TRATAMIENTO TERMICO

SERVICIO INTEGRAL

PARA INSTALACIONES DE TRATAMIENTO TERMICO Y GALVANIZADO EN CALIENTE

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



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

publiadk