



HORNOS DE INDUCCIÓN PARA FORJA INDUCTOFORGE DE INDUCTOTHERM



MODO STAND-BY:

MINIMIZA LOS RECHAZOS
EN PARADAS Y ARRANCADAS

I-HAZ

MAXIMIZA EL CONTROL
DEL PROGRESO



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



SUB CON TRATA CIÓN'17

FERIA INTERNACIONAL
DE PROCESOS
Y EQUIPOS PARA
LA FABRICACIÓN

6/8 DE JUNIO DE 2017



**IN
DUS
TRY**

**SUB
CON
TRATA
CIÓN'17**



maintenance

PUMPS & VALVES



BEC

6-8/6
2017

Tel.: (+34) 94 404 00 78/93
mail: subcontratacion@bec.eu
www.subcontratacionbilbao.com

**B!
E!
C!** BILBAO
EXHIBITION
CENTRE

EXPOSSIBLE!



INDUCTO 4.0

El grupo Inductotherm fabrica hornos de inducción y tratamiento térmico con la filosofía de la Industria 4.0.

- Posibilidad de cambio automático de bobinas.
- Posibilidad de frecuencia dual.
- Automatización de carga y descarga de billets.
- Sistema modular de control individual de potencia por bobina.
- Software I-HAZ 2 de simulación, optimización y reparto de cargas.
- Posibilidad de tratamiento y post-proceso de datos.
- Autodiagnóstico de fallos.

Inductotherm Group Iberia

- Fabricación local.
- Unidades robustas para funcionamiento 24 h.
- Amortización en corto plazo.
- Servicio técnico local.
- Repuestos originales en stock.

Ondarlan S.L.

+34 943 63 50 79
www.ondarlan.com
E-mail: oficina@ondarlan.com
I.P. Videoconferencia: 88.2.227.10

Sumario • ABRIL 2017 - Nº 58

Noticias 4

Honeywell presenta su detector portátil de cuatro gases • Formación de Directiva de Máquinas y Diseño de Seguridad en Granollers • Nueva línea Tratamiento Térmico SOLO Swiss • Nueva línea Seco / Warwick para endurecimiento y carbonitruración • Medidores ambientales portátiles para medir temperaturas.

Información

- Fórum de ARCAS - *Por Juan Martínez Arcas* 8
- Expo F 2017 en Panamá sigue recibiendo expositores 10
- II Jornada Metal Duro-Asammet 12
- Jornada técnica cementación a baja presión o gaseosa 14
- El cobre y sus aleaciones (Parte I) - *Por Manuel Antonio Martínez Baena* 18
- Desarrollo y caracterización de recubrimientos láser MCrAlY para aplicaciones de barrera térmica - *Por J. C. Pereira, J. C. Zambrano, M. J. Tobar, A. J. Yáñez y V. Amigó* 30
- Técnicas de metalografía y optimización de la preparación de muestras - *Por Instituto de Fundición TABIRA* 30

Guía de compras 47

Índice de Anunciantes 50

Síguenos en



Director: Antonio Pérez de Camino
Publicidad: Carolina Abuín
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



Asociación de Amigos de la Metalurgia

Honeywell presenta su detector portátil de cuatro gases

Honeywell presenta el BW Clip4, un nuevo detector portátil de cuatro gases que, una vez encendido, puede funcionar de forma continua durante dos años sin necesidad de cambiar los sensores o las baterías, lo que ayuda a mejorar el cumplimiento de las normativas de seguridad y reducir los costes de mantenimiento.

El detector BW Clip4 es ideal para realizar trabajos en la industria puesto que reduce significativamente los costes de mantenimiento asociados con las flotas de detectores de gas portátiles y elimina el trabajo de reparación y la necesidad de almacenar sensores adicionales y unidades de repuesto. Al estar siempre encendido, el BW Clip4 ayuda a cumplir las normas de seguridad garantizando la protección de aquellos trabajadores que lleven el dispositivo.

"El detector BW Clip4 opera en un ciclo de "montar y olvidar". Sólo hay que encender el detector y sustituirlo dos años después, cuando la unidad así lo indique", afirmó Ken Schmidt, Vicepresidente y Director general de Seguridad industrial de Honeywell. "Ofrece un conjunto de ventajas completamente nuevas en la detección multigás que no habían sido posibles hasta ahora: dos años de funcionamiento continuo sin recargar o cambiar las baterías, tamaño reducido, facilidad de uso, características de un detector multigás y un cumplimiento de las normas de seguridad mejorado."



Gracias a la tecnología de infrarrojos no dispersivos (NDIR), anteriormente sólo disponible en detectores de gas fijos de Honeywell Analytics, el BW Clip4 consume 1.000 veces menos batería que un sensor de perla catalítica (pellistor), la tecnología utilizada con más frecuencia para detectar gases inflamables en un dispositivo portátil. Entre sus características, se incluyen:

- Supervisión simultánea de H2S, CO, O2 y combustibles (LEL);
- Pantalla en tiempo real para lecturas de gas instantáneas incluso en condiciones sin alarma, junto con lecturas del nivel actual de concentración de gases y cambios en las condiciones atmosféricas;
- Simplificación de la gestión de flotas mediante la generación de registros e informes de cumplimiento de forma automática (con el sistema de gestión de instrumentos Honeywell Intellidox); y
- Función de pruebas internas que reduce el tiempo de inactividad a través de la supervisión de la vida útil de la batería y alertas a los usuarios cuando la batería está lista para ser sustituida.

Info 1

Formación de Directiva de Máquinas y Diseño de Seguridad en Granollers

El pasado 9 de Noviembre se impartieron en la central de Granollers de Pilz España y Portugal las formaciones de Directiva de Máquinas 2006/42/CE y Diseño de Seguridad según ISO 13849-1.

Estos cursos están dirigidos a responsables y técnicos responsables de los departamentos de prevención de riesgos laborales, producción, mantenimiento, ingeniería, I+D+i, seguridad, automatización y a todos aquellos que tengan relación con la seguridad en máquinas de la empresa.



Estas formaciones tienen como objetivo dotar a los asistentes de una base sólida de los requisitos de la Directiva de Máquinas 2006/42/C, a tener un mayor conocimiento de los procesos y las normas a seguir y dar a conocer más técnicas para poder aplicar correctamente la norma EN ISO 13849-1.

Info 2



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

Nueva Línea Tratamiento Térmico SOLO Swiss

SOLO Swiss ha recientemente instalado una línea automática de tratamiento térmico con capacidad de 80 Kg en Changhe Aircraft Industries Group, situada en Jiangxi Provincia de China.



Esta nueva línea Profitherm 80, pensada para tratamiento de partes de turbinas de helicópteros permite diferentes procesos. Está equipada con 2 hornos de autenización, 3 horno revenir (alta y baja temperatura), 2 tanque de tempel (agua y aceite), 2 lavadores (aceite), 1 manipulador y 4 mesas de carga descarga.

Este equipo está manejado por el sistema de procesos de control AX-RON Swiss con tecnología SIEMENS.

Con más de 70 años de experiencia, SOLO Swiss fabrica hornos de atmósfera para tratamiento de metal desde 1945, que se han vendido alrededor del mundo.

Info 3

Nueva línea Seco / Warwick para endurecimiento y carbonitruración

SECO / WARWICK suministrará una línea tecnológica de tipo ATE, compuesta por un horno de mufla PTE diseñado principalmente para carbonitruración, lavado y recocido.



Gawel Screw Production Plant (GSPP), es un conocido fabricante de tornillería para tornillos para madera, metal y plástico. Con los años, la compañía ha introducido muchos nuevos productos, convirtiéndose en un líder de la industria. "Desde el principio, la empresa GSPP ha prestado gran atención a la profesionalidad y la producción de productos de alta calidad, y la principal área de competencia de la empresa es la producción tecnológicamente avanzada de sujeciones. Esto es posible gracias a la cooperación con socios sólidos, "Dice Mariusz Skóra, Director del Centro de Investigación y Desarrollo en la Planta de Producción de Tornillos Gawel.

"Las soluciones de tratamiento térmico de nuestro socio nos proporcionan materiales de la más alta calidad, mejoramos constantemente la calidad de nuestros productos, por lo tanto, hemos elegido sistemas SECO / WARWICK de renombre como nuestro proveedor de tecnología", añade Tomasz Gawel, presidente de Gawel Screw Production Plant.

Info 4

Medidores ambientales portátiles para medir temperaturas

Omega presenta los siguientes termómetros:

- a) Termómetro de termopares dual HHC201, con los siguientes:

- Precisión del 0,1%.
- Rápida respuesta de temperatura.
- Muestra el diferencia de T1, T2 o T1-D2.
- Funciones: Retención/mín./máx./máx.-mín./MED./REL.
- Apagado automático (10 minutos).
- Retroiluminación con apagado automático (15 segundos).



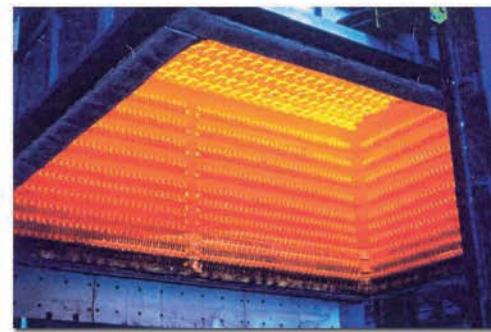
- b) Termómetro de infrarrojos portátil HHC210:

- Visión láser.
- Campo de visión 6:1.
- Emisividad ajustable de 0,1 a 1,00.
- Muestra la temperatura por infrarrojos, la temperatura ambiente y el diferencia temperatura de infrarrojos-temperatura ambiente.
- Funciones: Retención/mín./máx./máx.-mín./MED.
- Apagado automático (10 minutos).
- Retroiluminación con apagado automático (15 segundos).

Info 5

Hornos

Laboratorio e industriales



Quemadores

recuperativos y regenerativos



Reguladores de Potencia a Tiristores:

AEG

Power supply systems



Equipos de control de atmosferas:

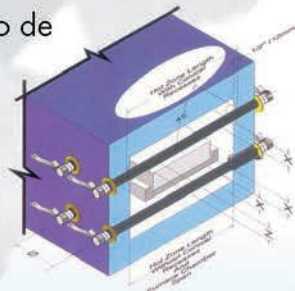


**mesa
electronic**



Sonda Lambda

Carburo de
Silicio



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

MoSi₂ (Hasta 1800°C)



 **interbil**
Ingeniería Térmica Bilbao s.l.

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

www.interbil.es



Fórum de ARCAS

Por Juan Martínez Arcas



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

*Por carta: Goya, 20, 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.

Continuación y ampliación de la pregunta de TRATER Press nº 54 y que hacía referencia al acero especial designado como 17-4PH.

Seguiremos con el orden establecido, tratando en primer lugar con la –Composición y Equivalencias–:

C	Cr	Ni	Cu	Cb-Ta	Mn	P	S	Si
max. 0,07	15,50	3	3	0,15	max. 1,00	max. 0,04	max. 0,03	max. 1,00
	a	a	a	a				
	17,5	5	5	0,45				

TABLA 1. Composición química del acero inoxidable 17-4PH en %.

Equivalencias

Entre otras el acero 17-4PH es equivalente al DIN, W.Nr. 1.4542

“ “ AISI 630
“ “ ASTM, A564 Gr.63
“ “ UNS S17400

Nota: La designación común es la: 17-4PH.

2. Estructura Metalúrgica

El acero 17-4PH como ya se ha indicado, está clasifica-

do como un acero inoxidable martensítico, pero endurecible por precipitación y totalmente diferente al resto de aceros inoxidables.

La solubilización (proceso de austenización) es a 1.037 °C (1.900 °F), la estructura es totalmente austenítica, transformándose en martensítica al enfriarse y alcanzar la temperatura ambiente.

Esta transformación se inicia a los 132 °C, pero no finaliza hasta alcanzar los 32 °C.

Los componentes del endurecimiento por precipitación permanecen en solución mientras se enfría la aleación.

El subsiguiente calentamiento a temperaturas de 482,2 °C a 621,1 °C en un tiempo de 1 a 4 horas, precipitando entonces pequeñas partículas submicroscópicas de compuestos metálicos y que provocan un aumento sustancial de la dureza, sumándose el aumento de la dureza de la transformación martensítica, con notable aumento de la tenacidad.

Nota importante

Seguiremos en el próximo número de TRATER Press este interesante tema y que ha suscitado una gran expectativa.



BILBAO 06>08 JUNIO

FERRO FORMA 2017

**REVOLUTION
TOOLS**

www.ferroforma.eu



**IN
DUS
TRY**



**SUB
CON
TRATA
CIÓN'17**



maintenance

PUMPS & VALVES



BEC

**6-8/6
2017**

e-mail: ferroforma@bec.eu
www.bilbaoexhibitioncentre.com
www.ferroforma.eu

**B!
E!
C!** BILBAO
EXHIBITION
CENTRE

EXPOSSIBLE!

Expo F 2017 en Panamá sigue recibiendo expositores

La 1ª feria internacional de hardware, herramientas, sujeciones y metalistería en América Latina y el Caribe, está siendo recibida con gran entusiasmo en la región. El registro de visitantes aumenta de manera estable y varias empresas internacionales ya han reservado su stand.

Los visitantes registrados hasta el momento, provienen de Chile, Colombia, Ecuador, México, Panamá y Perú, incluyendo importadores, mayoristas, minoristas, distribuidores, usuarios DIY, arquitectos, contratistas, operadores de máquinas y de otros sectores relacionados, ya que ven Expo F como la plataforma ideal para encontrar nuevos proveedores y productos.

De acuerdo con sus comentarios, una gran cantidad de productos que se exhibirán en la feria, desde hardware para herramientas de instalación, reparación, motores y tecnologías de fijación, corresponden a sus necesidades.

La gran aceptación por parte del mercado local prueba



una vez más la alta demanda de hardware y herramientas en la región.

Importantes compañías de China, Francia, Estados Unidos, India, Italia, España y Reino Unido están interesadas en participar en el evento y lo consideran como un medio rentable para aprovechar nuevas oportunidades en éste mercado emergente.

Las ventajas en términos de accesibilidad y comercio transnacional con las que cuenta Panamá, proporcionarán a los expositores la oportunidad de entrar en contacto con un gran número de visitantes de diferentes países latinoamericanos.

Expo F, más allá de ser un espacio de competencia de productos, es un escenario donde todos los expositores, locales o internacionales, podrán participar en eventos simultáneos con valor añadido. A través de ellos, podrán llamar la atención de los visitantes destacando su marca y las características de sus productos. Simultáneamente, podrán establecer redes y nuevas alianzas.

**JORNADA TÉCNICA
DE TRATAMIENTO TÉRMICO
2017**

TECHNICAL SESSION ON HEAT TREATMENT

TRATER
Day

23 de Noviembre 2017
IK4-AZTERLAN (Durango)
Auditorio



MEDIA PARTNER

TRATER*press*

Solicitud de información del evento, mediante email a info@iftabira.org

II Jornada Metal Duro-Asammet

El pasado viernes 31 de marzo se celebró en Logroño, la II Jornada ASAMMET-Metal Duro. En esta ocasión, el evento fue acogido por la ETSII de la Universidad de La Rioja, que cedió sus instalaciones y colaboró muy activamente en la organización.

En esta jornada técnica se dieron cita más de 50 personas, provenientes de un total de 30 empresas y centros tecnológicos, así como miembros de 3 prestigiosas universidades españolas.

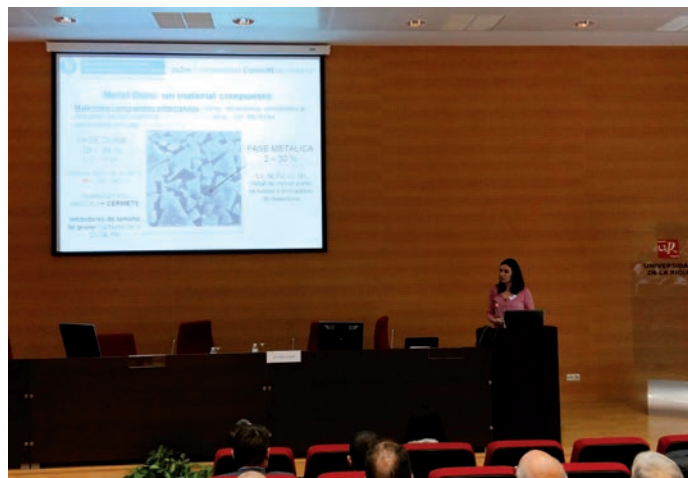
Tras la bienvenida, a cargo del Director de la ETSII, Javier Bretón, y del Presidente de ASAMMET, Francesc Borrego, la Dra. Elena Gordo, de la UC3M (Madrid), ex-

puso una conferencia que fue muy aplaudida y valorada por los asistentes.

En su exposición, recordó la historia del metal duro desde sus orígenes, compartió novedades en las líneas de investigación que actualmente se llevan a cabo tanto en su universidad como en la UPC, de la mano del Dr. Luis Miguel Llanes, y mostró las últimas técnicas de caracterización que actualmente se utilizan en ambas universidades, así como en Centros Tecnológicos.

Una mesa redonda a cuatro manos, entre miembros de tres empresas asociadas a ASAMMET (Metalográfica S.A., Flubetech S.L. y Grupo Amador Varas), moderada





por Iñigo Agote de Tecnalia, generó un debate de gran intensidad en el que participaron numerosos miembros del auditorio.

Los patrocinadores de la Jornada (Ceratizit y Suministros Oja), junto con el grupo EDMANS de la Universidad de la Rioja, compartieron sus realidades y novedades en los flash monográficos con los que se cerró la primera mitad de la actividad.

Ya por la tarde, un total de 6 entidades distribuidas en 2 mesas redondas, compartieron conocimiento e inquietudes con el público asistente, generándose nuevamente un intenso debate, especialmente en la recta final de la jornada, en el que cabe destacar las intervenciones críticas y las interacciones entre miembros del público.

Finalmente, se cerró esta II Jornada de la mano de una representación de la Junta de ASAMMET, que quiso agradecer la colaboración y complicidad de la universidad huésped, así como de los patrocinadores y de las entidades asistentes, indicando que habrá una tercera jornada.



AICHELIN
Group

HORNOS DE TRATAMIENTO – MAQUINAS DE INDUCCION – QUEMADORES



EQUIPOS DE PVD – Y – PACVD



UTILLAJES – PARRILLAS – CESTAS



PINTURAS ANTICEMENTANTES – ANTINITRURANTES



DISEÑO Y CONSTRUCCION



HORNOS DE LABORATORIO E INVESTIGACION



SERVICIO TECNICO

REPUESTOS PARA HORNOS IPSEN

TECNICAS EN HORNOS HOT S.L.

Polígono Ibaiondo
Pabellón nº 13
20120 Hernani - Spain

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

e-mail: hot@tecnicashot.com

Jornada técnica cementación a baja presión o gaseosa

Por André Mulot

Alrededor de 130 fueron los participantes de las empresas más importantes: SIDENOR, SAFE CRO-NITE, SCHNEIDER ELECTRIC, VALEO, AUBERT ET DUVAL, ECM TECHNOLOGIES, MTC, HAUCK, POCLAIN HYDRAULICS, AIRBUS HELICOPTERS, RAMADA ACOS, SAFED, ECAM, ASCO INDUSTRIES, RATIER FIGEAC, BMI, KUHN, BODYCOTE, THERMILYON, ALD, SEW USOCOME, SOLO SWISS, HACER TT, AIRBUS SAFRAN, AIR LIQUIDE, HEESS, CONDAT, IPSEN, PSA, RENAULT, NTN/SNR, CATERPILLAR, CODERE, THERMOCOMPACT, ZF, BMT AEROSPACE, AMIS, FAURECIA, SINTERTECH ...

Para comenzar, el sr. Pascal LEMESLE del nuevo centro técnico IRT M2P presentaba su nuevo centro técnico con

grandes inversiones para el estudio de las cementaciones, las nitruraciones, ... La presentación de los dos principios de carburación mostraba que la cementación a baja presión es muy rápida (con la misma temperatura).

Posteriormente el sr. S.D. CATTEAU de ASCOMETAL, explicaba las adaptaciones que se necesitan realizar sobre los aceros con los ciclos a alta temperatura (hasta 1.050 °C), para mantener el grano fino y la mejor aleación para conseguir las buenas estructuras con el temple a gas, menos rápido que con aceite.

A continuación, el sr. Atman BENBAHMED de AUBERT ET DUVAL presentaba dos categorías de aceros muy a-



La parte derecha del anfiteatro.

leadados, los cuales tienen condiciones de cementación particulares para mantener la resistencia a la corrosión y conseguir una alta dureza.

La empresa ECM por medio del sr. Yves GIRAUD, nos mostraba los últimos desarrollos en hornos de cementación a baja presión con temple en aceite y la posibilidad de tratar pequeñas piezas a granel.

La siguiente presentación del sr. Janusz KOWALEWSKI concernía sobre la tecnología 4.0.

Posteriormente, el sr. Daniel ZIMMERMANN de la empresa AICHELIN presentaba las mejoras en los hornos de cementación gaseosa durante los últimos años y nos mostraba que la cementación gaseosa es la más económica.

El sr. Volker HEUER de ALD presentaba la evolución de la cementación a baja presión y el temple con gas a alta presión. Los hornos son hornos de carga y más recientemente hornos especiales con carburación a alta temperatura, que permiten la integración del tratamiento térmico directamente en la línea de mecanizado.



Durante una pausa café.

A continuación, el sr. Nicolas SALLEZ de la empresa SOLO SWISS nos mostraba que su línea de hornos de cementación gaseosa es muy versátil y ofrecen muchos adelantos como fiabilidad y flexibilidad, particularmente para los ambientes de temple.

Los utillajes de tratamientos térmicos deben adaptarse a los tipos de cementación y el sr. JN AMADASI de Cronite presentó, para la cementación a baja presión, las evoluciones que necesitan el aumento de temperatura



L'esprit industriel

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



Cintas de eslabones



Montajes estándar y personalizados



Platos, Parrillas, Cestas



Montajes hornos de pote



Rodillos



Turbinas, Guías



Grafito, CFC

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



Otra pausa café.

hasta 1.050°C y el uso del acetileno. Se necesita disponer también de un diseño especial para permitir al gas a alta presión, circular por toda la carga.

El sr. A BONNIN de la empresa AIRBUS HELICOPTERS nos explicaba el cambio de proceso: De la cementación gaseosa a la cementación a baja presión con un horno de vacío. La ausencia de oxidación superficial es interesante para las superficies sin rectificación. El cambio de proceso necesitaba muchas pruebas.

Por la empresa SAFRAN HELICOPTER ENGINES, el sr. Cyril VERNAULT nos mostraba que el cambio entre el horno de pote y el horno de vacío, necesitaba varios años de puesta a punto. Este cambio ha afectado a los turbomotores de pequeña y media potencia.

La presentación del sr. Andreas SCHÜLER de la empresa ZF FRIEDRICHSHAFEN nos ilustraba las posibilidades del temple con gas para reducir las deformaciones. Parece posible utilizar una temperatura de cementación hasta 1.050 °C y conseguir las mismas pequeñas deformacio-

nes que con la temperatura de 950 °C. Está claro que el temple con gas reduce las deformaciones en comparación con el aceite. Pero para las deformaciones que tienen por origen las transformaciones anteriores, se necesita un temple con prensa.

La sra. Muriel ROCHETTE de RENAULT, ofrecía la historia de la carbonitruración con temple en aceite (160 °C) y desde el año 2000, la cementación a baja presión con temple con gas seguido de un revenido. Actualmente la cementación gaseosa es la más utilizada. Parece más interesante para desarrollar la cementación a baja presión con la oportunidad que se presenta de una nueva caja de cambios.

Para PSA, el sr. Philippe LAPIERRE mostraba algunos resultados de resistencia mecánica después de una carbonitruración a baja presión con temple a gas. Podría ser interesante, pero ahora ninguna empresa utiliza este tratamiento térmico. PSA utiliza predominantemente la cementación gaseosa.

Para finalizar y al final del segundo día, organizamos una mesa redonda para concluir y lograr conocer el mejor proceso de cementación.

Pero claro, no es posible tomar una decisión completamente, pero lo que sí es seguro es que la cementación a baja presión se desarrolla porque:

- Es posible reducir los ciclos de carburación y de manera muy sensible, con una temperatura muy alta, lo que es fácil en un horno de vacío y con buenas herramientas.
- El ciclo es tan breve que es posible introducir el tratamiento térmico directamente en la línea de mecanizado.
- El temple con gas permite reducir las deformaciones, solamente las que tienen por origen el tratamiento térmico mismo.

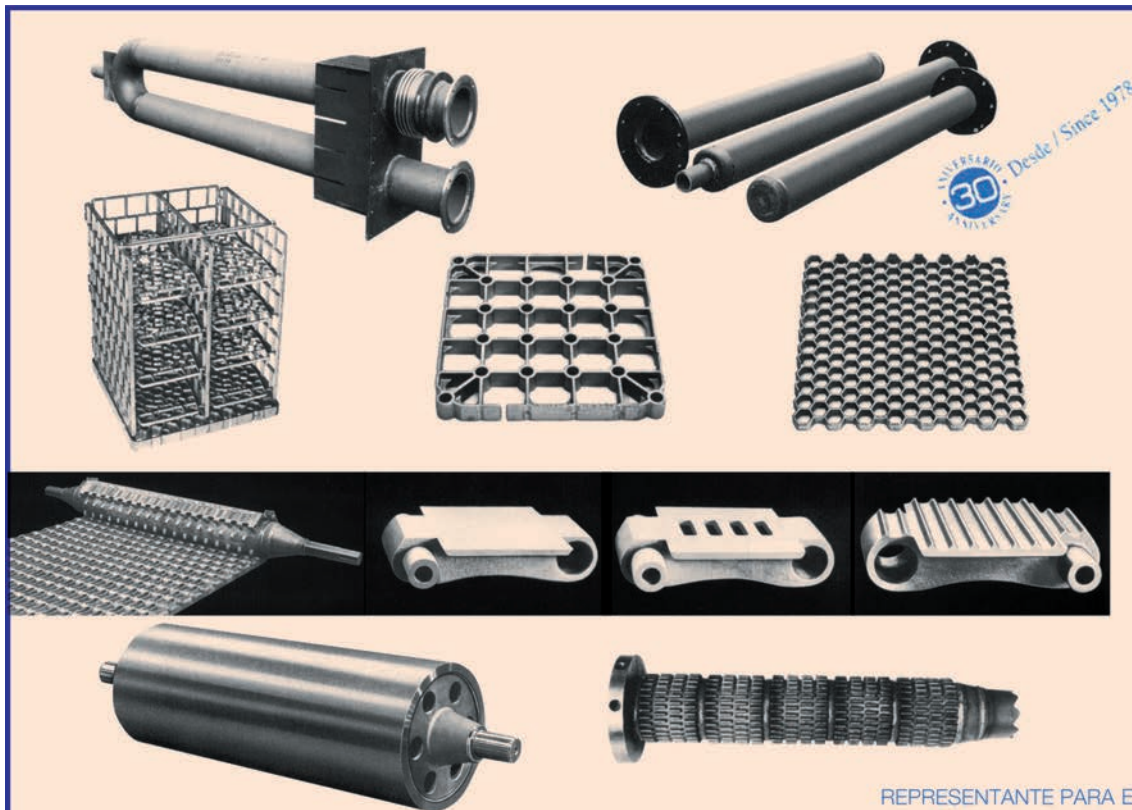
Todavía la cementación gaseosa es utilizada por la mayoría del mercado de la cementación, porque:

- Los gastos son más bajos.
- Los hornos fiables y de buena calidad pueden trabajar y producir buenas piezas durante 40 años o más, ya que el cambio necesitaría mucho tiempo.

Mi propia conclusión es que la cementación a baja presión se está desarrollando y la velocidad de cambio de una a otra, dependerá del diseño de nuevas piezas y/o de nuevas plantas. La cementación a baja presión en contra, ofrece más flexibilidad.



Mesa redonda con los responsables de SOLO, AICHELIN, PSA, ECM, ALD, IPSEN, AIRBUS HELICOPTERS y SAFRAN HELICOPTER ENGINES.



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

REPRESENTANTE PARA ESPAÑA Y PORTUGAL

Tecnymat Aceros, S.L.

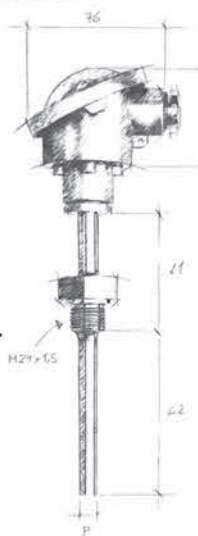
Polígono Industrial Ugaldeguren 3 - Parcela 17-2, Nave 1
48170 Zamudio (Vizcaya)
Teléf.: 944 710 035 - Fax: 944 710 227
tecnymat@tecnymat.com

SCHMOLZ + BICKENBACH GUSS
GmbH & Co. KG



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.



**Suministro y
Calibración
Industrial s.l.**



www.sciempresa.com

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.



El cobre y sus aleaciones (Parte I)

Por Manuel Antonio Martínez Baena. Ingeniero Metalúrgico

1. Introducción

El **cobre (Cu)** fue uno de los primeros metales empleados por el hombre, ya que su presencia en estado nativo se conoce, parece ser, desde los finales del neolítico. Metal poco abundante en la naturaleza; y, a pesar su pequeña proporción en la corteza terrestre [0,01 por 100] si lo comparamos con el aluminio [8 por 100] el más abundante, el cobre no es un metal disperso, sino que se encuentra en los minerales de cobre en una proporción hasta un máximo del 5 por 100.

El cobre existe en estado nativo, todavía hoy, en cantidades muy poco importantes: al sur del Lago Superior, y en Lake Cooper (USA), y en Corocoro (Bolivia).

La casi totalidad de la producción de cobre se obtiene de sus principales minerales: *calcopirita* [sulfuros], *cuprita* [óxidos] y *malaquita* [carbonatos], por procedimientos metalúrgicos de afino y reducción, separándolo del oxígeno (O) y del azufre (S).

La obtención del cobre por vía seca o pirometalúrgica –**figura 1.1**– es relativamente fácil, ya que la energía necesaria para la separación del oxígeno y del azufre del mineral es mínima [$\leq 32\text{Kcal/mol}$], lo que explica su milenaria elaboración debido a la pobreza de ley de metal en sus tres principales minerales.

Se considera explotable un mineral con 0,50% de cobre y es muy rentable a partir del 2,50% de cobre, según observamos en el cuadro siguiente.

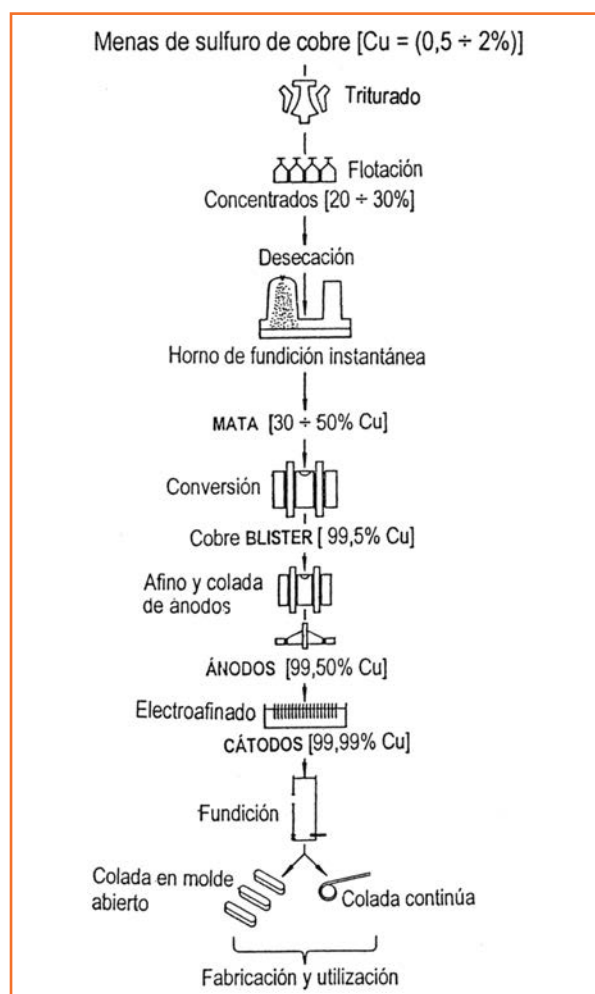


Figura 1.1. Representación esquemática del proceso de obtención del cobre por vía pirometalúrgica a partir de menas sulfurosas.

Esquema extracción del cobre en tanto por 100 (%Cu) [Mineral sulfuroso con > 0,5 % Cu]	
Enriquecimiento [para % Cu > 0,5]	10 + 20% Cu
Tostación [% S > 23] y preparación del mixto ..	15 + 25% Cu
Fusión del mixto = MATA	30 + 80% Cu
Afino en convertidor = BLISTER	85 + 98% Cu
Refino del blister = ÁNODOS	98 + 99% Cu
Electrolisis ánodos ⁽¹⁾ . CÁTODOS	99,98 + 99,99% Cu
⁽¹⁾ [%O ₂ para ánodos = 0,2. Para "Wire bar" o L.A = (0,02 + 0,10% O ₂)]	

Existe, pues, una cierta analogía entre la elaboración del cobre y la del hierro. De la *masa fundida*, que es una aleación de cobre y de azufre, se obtiene el *cobre afinado* exento de azufre. De la misma manera que de la masa de hierro líquido, –masa de hierro con un alto contenido de carbono– se produce el hierro mediante afinado al eliminar el carbono por oxidación.

El cobre es un metal de color rojo, más o menos oscuro, pero siempre de agradable aspecto que lo hace útil para aplicaciones artísticas. Su peso específico es de 8,96 g/cm³ y funde a una temperatura de 1.083 °C. Es después de la plata (**Ag**) el mejor conductor del calor y de la electricidad; por lo que su uso se extiende, preferentemente, a la construcción de aparatos y útiles de intercambio de calor y sobre todo para la construcción de líneas eléctricas.

Metal muy dúctil y maleable en frío, ya que puede llegar a un alargamiento del 50% antes de romperse y adquiriendo una gran acritud cuando se le deforma; circunstancia por lo cual se reduce sustancialmente su alargamiento. El aumento de resistencia, que produce la deformación en frío del cobre, se utiliza para muchas aplicaciones; pero, en cambio, sufre el inconveniente de frecuentes recocidos, cuando se lamina o estira. Otro inconveniente del cobre, aparece en su mecanizado: dificultad de desprendimiento de la viruta que origina el embotamiento de la herramienta en cuestión.

Los agentes atmosféricos al contacto con el cobre forman en su superficie una fina película protectora verde grisácea, resistente a la corrosión, que está compuesta de sulfato de cobre básico. En las regiones marinas la película que aparece es de cloruro de cobre, y en algunas ocasiones es de carbonatos, que reducen el progreso de la oxidación de 0,50 a 1 milésima de milímetro por año.

Para que el cobre sea lo más versátil posible y pueda

ampliar asimismo sus características originales se le "mezcla" o alea con otros metales, formando especialmente dos importantes familias de aleaciones que son fundamentales: (1) los **latones** mezcla de cobre y cinc (**Cu-Zn**); y (2) los **bronces** mezcla de cobre y estaño (**Cu-Sn**). Eso permite potenciar e incrementar sus propiedades mecánicas y tecnológicas: resistencia a la rotura, maquinabilidad, resistencia al desgaste, resistencia a temperaturas elevadas, etc.

La industria del cobre continúa desarrollando aleaciones innovadoras que aprovechan su versatilidad para nuevas aplicaciones. Hoy en día, el cobre se adiciona con una gran variedad de metales, incluidos el aluminio, el níquel, el silicio, el manganeso, berilio, la plata y el telurio. Constantemente se están desarrollando nuevas aleaciones que satisfacen las crecientes necesidades que se dan en el campo de la electrónica, los superconductores, el transporte y la sanidad.

El cobre es un metal de gran relevancia en ingeniería y, también, el segundo en importancia en la historia de la humanidad. Se utiliza ampliamente, tanto en forma elemental como combinado con otros metales formando aleaciones. El cobre tiene una combinación extraordinaria de propiedades para aplicaciones industriales: alta conductividad eléctrica y calorífica, buena resistencia a la corrosión, facilidad de de hechurado, moderada resistencia o carga de rotura, etc.

En la actualidad se fabrican tres tipos fundamentales de cobre:

I. Cobre tenaz [TOUGH-PITCH (T.P.)]

Es aquél que presenta un contenido de oxígeno controlado [O₂ = (0,02 ÷ 0,05%)]. Contenido que le hace no ser adecuado para su empleo en atmósferas reductoras, ya que se puede formar vapor de agua interestructural que fragiliza el material.

Los cobres tenaces más utilizados son:

Cobre- ETP [Electrical Tough Pitch]: ≥ 99,9% (Cu + Ag) + (0,1 ÷ 0,06%) O₂

Cobre- FRTP [Fire Refinig T. P.]: ≥ 99,88% (Cu + Ag) + (0,1 ÷ 0,06%) O₂

Cobre- ATP [Arsenical T. P.]: ≥ 99,40% (Cu + Ag) + (0,15 ÷ 0,50%) As

Cobre- ATP [Silver T. P.]: $\geq 99,40\%$ (Cu + Ag) + $(0,027 \div 0,085\%)$ Ag

El término internacionalizado de **TOUGH-PITCH [T.P.]** –tenaz en castellano– no tiene una definición exacta, habiendo recibido algunas como: (1) el cobre de mayor grado de maleabilidad a cualquier temperatura; (2) el cobre que obtenido por la refusión de cátodos o bien de cobre refinado, contiene una cantidad de oxígeno controlada. Esta segunda es en realidad la definición más utilizada.

Esta calidad de cobre es al mismo tiempo **HC** [High Conductivity], es decir que tiene una conductividad superior a 100 por 100 **IACS*** $> 5,880 \times 10^7$ (S/m)**, por lo que su máxima utilización es en conductores eléctricos, y no en calderería.

Cobre que contiene un contenido residual de desoxidante. Gracias a ello se puede utilizar en cualquier tipo de atmósfera, pero ese residual hace descender su conductividad eléctrica; circunstancia por la que ninguno de tales cobres se puede considerar **HC** [High Conductivity].

II. Cobre desoxidado [D.P.]. Los cobres desoxidados más importantes son:

Cobre- **DHP** [Desoxidized High Phosphor]: $\geq 99,9\%$ (Cu + Ag) + $(0,015 \div 0,04\%)$ P

Cobre- **DLP** [Desoxidized Low Phosphor]: $\geq 99,9\%$ (Cu + Ag) + $(0,004 \div 0,012\%)$ P

Cobre- **DPA [DPH + As]**: $\geq 99,4\%$ (Cu + Ag) + $(0,015 \div 0,04\%)$ P + $(0,15 \div 0,50\%)$ As

* **IACS**. La resistividad eléctrica de los metales comerciales, especialmente el cobre, suele evaluarse con base a una clasificación arbitraria en **IACS** [Acrónimo de "International Annealed Copper Standard"]. Principio que caracteriza la conductividad de cualquier metal, tomando como patrón un hilo de cobre de un metro de longitud, de un gramo de peso y de resistencia 0,15388 ohmios. Superior de 100% **IACS** es la referencia que se toma para el denominado cobre de alta conductibilidad libre de oxígeno **OFHC** [Oxygen-Free High Conductivity]. A temperaturas elevadas la conductividad eléctrica del cobre decrece muy mucho [p.ej: $T^a = 1.000^\circ\text{C} \rightarrow 76\%$ IACS]. Mientras que a temperaturas relativamente bajas la conductividad eléctrica aumenta del mismo modo [p.ej: $T^a = 200^\circ\text{C} \rightarrow 800\%$ IACS].

** Equivalencia **IACS** con las unidades del **S.I.** [Sistema Internacional de Medidas]: $100 \text{ IACS} = 5,880. 10^7$ (S/m).

Estos cobres son utilizados en aquellas aplicaciones en las que no es imprescindible la conductividad eléctrica en grado máximo.

III. Cobre libre de oxígeno [O.F.]

Metal libre de oxígeno y sin trazas de desoxidante es, ciertamente, un cobre **HC** [High Conductivity]. Es decir de elevada conductividad y, asimismo, inmune a la fragilización por el hidrógeno; por lo que su utilización está asegurada para todos los usos. Sin embargo su empleo no es masivo, ya que su elaboración es muy costosa.

Los cobres libres de oxígeno más importantes son:

Cobre-**OF** [Oxygen Free]: $\geq 99,95\%$ (Cu + Ag)

Cobre-**OFS [O.F. Silver]**: $\geq 99,95\%$ (Cu + Ag) + $(0,027 \div 0,085\%)$ Ag

1.1. Propiedades fundamentales del cobre

Las propiedades fundamentales de los cobres comerciales para ingeniería son:

A. Propiedades físicas.

- **Peso específico.** Su peso específico o densidad es $8,96 \text{ g/cm}^3$, por lo que se le puede considerar un metal pesado.
- **Red cristalográfica.** Cúbica de caras centradas (ccc), que le confiere al material una gran capacidad de deformación plástica: tanto en frío como en caliente.
- **Punto de fusión.** Funde a una temperatura de 1.083°C ; aunque, cuando hay oxígeno presente, el cobre adopta la forma de óxido cuproso (**Cu₂O**), constituyendo un eutéctico cuya temperatura de fusión baja a 1.065°C .
- **Conductividad eléctrica.** El cobre es el mejor conductor eléctrico de los materiales comerciales de grado técnico [$58,108 \times 10^6/\text{Sm}$]. Pero hay alguna razón por la que la conductividad eléctrica de tales materiales se valúa con base a la clasificación **IACS**. Se asigna una clasificación arbitraria de 100% **IACS** al cobre recocido, con una resistividad de volumen de $0,017241 \Omega\cdot\text{mm}^2$ por metro a 20°C .

- **Conductividad térmica.** Su conductividad térmica es de 400 W/m.K.
- **Calor específico.** Su calor específico es de 386 J/Kg.K.
- **Color.** El color del cobre es rojo salmón, el cual se oscurece con la exposición prolongada del metal al aire. Toma entonces un color rojo violeta [Cu_2O = óxido cuproso)], para terminar ennegreciéndose [CuO = óxido cúprico].
- **Propiedad magnética.** Es la de un metal diamagnético, –susceptibilidad magnética negativa– propiedad que está influenciada por las impurezas ferromagnéticas.

B. Propiedades químicas.

En las propiedades químicas del cobre hay que destacar:

1. La influencia del oxígeno. El oxígeno se disuelve en el cobre en forma de óxido cuproso (Cu_2O) constituyendo un eutéctico para 0,39 por 100 de oxígeno ($\text{O}_2 = 0,39\%$) que funde a 1.065 °C.

2. La morfología del eutéctico. La morfología de óxido cuproso (Cu_2O) es la de un rosario o playa de gránulos situados en las juntas de grano, que bajo la exposición de una corriente de hidrógeno provoca la aparición de vapor de agua fragilizante. El contenido de oxígeno se estima que debe ser menor de 0,025 por 100 [$\text{O}_2 < 0,025\%$], ya que por debajo de este valor es despreciable su efecto fragilizante; si bien es necesario realizar por precaución ensayos de fragilización.

3. La influencia del hidrógeno. En estado líquido el Cobre (Cu) disuelve gran cantidad de hidrógeno (H_2); – **figura 1.2**– elemento que se debe eliminar durante la solidificación del material, ya que la solubilidad del cobre en estado sólido es mucho menor. El hidrógeno al tratar de escaparse del metal produce una fuerte porosidad en las piezas de colada.

4. La influencia de otros elementos:

- Los **halógenos** atacan fuertemente al cobre en presencia de humedad. El flúor (F) solo le ataca a temperaturas relativamente altas ($T^a \geq 520$ °C).

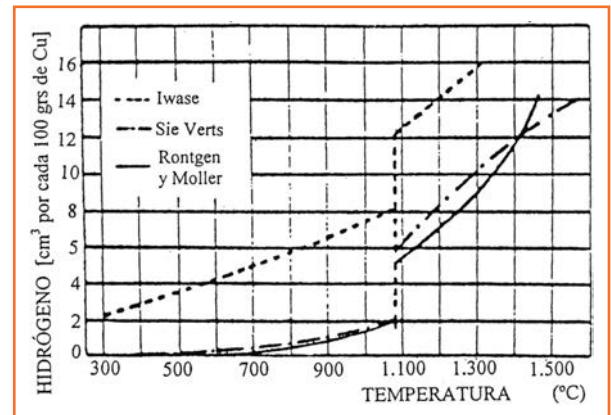


Figura 1.2. Solubilidad del hidrógeno (H_2) en función de la temperatura.

- Los **oxácidos** atacan al cobre y algunos como el sulfúrico (SO_4H_2) que se utilizan como decapantes y otros más energéticos; **p.ej.:** el ácido nítrico (NO_3H), utilizados como abrillantadores.

- Las **bases** no atacan prácticamente al cobre.

C. Propiedades Mecánicas.

- Excelente capacidad de deformación y conformación en frío, que se traduce en un elevado alargamiento previo a la rotura del material es estado de recocido, una acritud, así como un intervalo grande entre los valores de límite elástico y carga de rotura. La gran ductilidad del cobre le permite someterse a grandes deformaciones en frío de todo tipo, sobre todo, a las de embutición. Es un metal difícil de mecanizar, ya que forma virutas largas y muy dúctiles.

- El módulo elástico (**Em**) es muy difícil de determinar en estado de recocido del metal, ya que el valor del límite elástico (**LE**) en ese estado es muy pequeño. En estado de acritud el valor de **Em** es de 126.500 MPa.

- El cobre por encima de los 200 °C de temperatura, si bien conserva su capacidad de deformación plástica, sus características mecánicas disminuyen rápidamente. El metal entonces sufre un aumento del tamaño de grano que es muy perjudicial para su comportamiento mecánico en servicio.

- Comercialmente, los cobres para aplicaciones mecánicas, se presentan en dos formas o estados que modifican sus características mecánicas: (1) estado de re-

cocido [**R** ~ 200 MPa]; y (2) y estirado en frío [**R** ~ 400 MPa].

Las características mecánicas de resistencia mecánica y límite elástico del cobre mejoran con el descenso de la temperatura. Los valores de resistencia a la tracción (**R**) y del límite elástico (**LE**) son más elevados que los que se obtienen a temperatura ambiente. Mientras que los valores de alargamiento (**A**%), en vez de aumentar disminuyen; según se puede apreciar en el cuadro siguiente.

CARACTERÍSTICAS	20 °C	-40 °C	-120 °C	-180 °C
Resistencia (MPa)	220	230	280	400
Alargamiento (%)	48	47	45	40

1.2. Tratamientos térmicos del cobre

El cobre comercial, forjado, laminado, calibrado, y/o trefilado en frío adquiere un alto grado de acritud, que incrementa muy mucho su resistencia mecánica y dureza, disminuyendo, por contra, el alargamiento. Para una misma reducción de sección, el endurecimiento por deformación plástica en frío es mayor en el proceso de trefilado que en el de laminado. Se pueden alcanzar resistencias a la tracción de hasta 600 MPa [**R** ≤ 600 MPa] en hilos de 0,1 mm. de diámetro. Cuando hay que ablandar el cobre que ha sufrido procesos de deformación y transformación en frío: forja, laminación, estirado, o trefilado; se recurre, especialmente, al tratamiento térmico de **recocido**.

1.2.1. Recocido de estabilización o de eliminación de tensiones.

Tiene por objeto, como su nombre indica, eliminar tensiones residuales producidas en piezas conformadas en frío con un reducido grado de acritud, o bien en piezas que han sido moldeadas y de difícil geometría. Recocido que no afecta, prácticamente, las características mecánicas de dichas piezas en origen. El tratamiento térmico se realiza a una temperatura comprendida entre los 150 y 325 °C, con un tiempo aproximado de **2** horas de permanencia a la temperatura de recocido, y un enfriamiento posterior en aire ambiente.

1.2.2. Recocido contra acritud

Tiene por objeto ablandar el metal con alta acritud adquirida por trabajos mecánicos de deformación y con-

formación plástica en frío: forja, estirado, laminado, y/o trefilado. Este recocido se realiza a una temperatura comprendida entre los 400 a 530 °C, *–rango de temperaturas a las que se produce también la recristalización de los granos aplastados durante el trabajo de deformación y conformación en frío. Que la temperatura sea más o menos alta, dependerá del grado de acritud alcanzado en el trabajo de conformación: a menor grado de reducción y acritud mayor temperatura de recocido–* permaneciendo el material a temperatura de recocido unas **2** horas aproximadamente. Se recomienda no rebasar la temperatura de los 550 °C, ya que a partir de esta temperatura aumenta el tamaño de grano. Circunstancia que, si bien no influye en la resistencia mecánica del material, disminuye sustancialmente su ductilidad.

1.2.3. Endurecimiento estructural

Este tratamiento térmico *–normalmente bonificado–* se le practica a la mayoría de **cobres débilmente aleados** con lo que se consigue, en la práctica, multiplicar por 2 a 5 sus características mecánicas; **tabla 1.I**.

El ciclo normal de tratamiento térmico de endurecimiento estructural, **bonificado**, para los cobres enumerados es:

- Solubilización (**T**) a una temperatura comprendida entre 700 a 1.000°C, según composición, durante 30 a 120 minutos.
- Enfriamiento de “temple” en agua a 20 °C.
- Fase de deformación en frío.
- Maduración artificial a una temperatura entre 300 a 500 °C durante 5 a 24 horas.

Es muy importante, con el objeto de evitar o minimizar el efecto de la oxidación, sulfuración, carburación, etc., del cobre y sus aleaciones realizar los tratamientos térmicos del cobre y sus aleaciones, en hornos con atmósfera controlada o bien en hornos de vacío.

1.3. Aplicaciones del cobre.

El cobre comercial de grado técnico tiene una amplia gama de aplicaciones, debido particularmente a una elevada conductividad eléctrica y calorífica, buena resistencia a la corrosión, alta ductilidad y a su agradable color.

- Por su conductividad eléctrica se utiliza, principalmente, para la fabricación de conductores. El consu-

ALEACIÓN Designación EN Simbólica	Composición: contenido (%) de elemento aleado	*BONIFICABLE		Características Mecánicas			% IACS
		Si	No	R MPa	LE MPa	A (%)	
Cu-S	S = (0,20 ÷ 0,50)		H18	350	320	5	93
Cu-Cd	Cd = (0,70 ÷ 1,30) Sn = 0,15		H18	500	450	3	75
Cu-Cd	Cd = (0,50 ÷ 1,00) Sn = (0,20 ÷ 0,60)		H18	550	500	3	60
Cu-Fe	Fe = (2,00 ÷ 2,60)	T8		330	—	30	65
Cu-Cr	Cr = (0,50 ÷ 1,20)	T8		450	320	10	80
Cu-Be	Be = (1,60 ÷ 1,90) [Co + Ni] = (0,20 ÷ 0,60)	T8		1.200	T8	5	30
Cu-Be	Be = (1,80 ÷ 2,10) [Co + Ni] = (0,20 ÷ 0,60)	T8		1.250	—	4	25
Cu-Co-Be	Co = (2,00 ÷ 2,80) Be = (0,40 ÷ 0,70)	T8		1250	—	5	45
Cu-Zr	Zr = (0,10 ÷ 0,15)	T8		450	360	12	82
Cu-Cr-Zr	Cr = (0,50 ÷ 1,00) Zr = (0,10 ÷ 0,15)	T8		—	—	—	—
Cu-Ni-Si	Ni = (1,60 ÷ 2,50) Si = (0,50 ÷ 0,80)	T8		700	50	7	40

*El código de letras y números aplicado al aluminio y sus aleaciones, que constituye la *designación de temple* e indica como se ha de tratar térmicamente el material. Se aplica también, igualmente, al cobre y sus aleaciones: **F** = condición general de fabricado; **O** = recocido; **H** = endurecimiento por deformación plástica en frío; **T** = tratamiento térmico de solubilización

Tabla 1.1. Cobre débilmente aleados [$< 1\%$ de aleación y el resto cobre] en su mayoría tratables térmicamente. Características mecánicas según estado.

mo, en esta aplicación, es más de la mitad de su producción mundial.

- Por su conductividad calorífica se utiliza para la construcción de serpentines de refrigeración, cajas de fuego para locomotoras, intercambiadores de calor y un largo etcétera.
- Por su resistencia a la corrosión se emplean muy ampliamente en la construcción de recipientes y tuberías para la industria química e industria naval.
- Por su ductilidad y su color se emplea para trabajos artísticos. Otra aplicación del cobre es el cobreado electrolítico de numerosos artículos.
- Una parte considerable de la producción de cobre se destina a sus básicas aleaciones: con el **cinc** formando **latones** y con el **estaño** para formar **bronces**.
- Y por último: el cobre se puede alear, como es sabido con otros metales, para formar aleaciones de gran importancia industrial.

II. ALEACIONES DE COBRE. SU CLASIFICACIÓN Y TRATAMIENTO TÉRMICO

2. Introducción

Al cobre (**Cu**) se le adicionan ciertos aleoelementos con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas y tecnoló-

gicas. El cobre se combina, principalmente, con el **cinc** (**Zn**), **estaño** (**Sn**), **aluminio** (**Al**), **níquel** (**Ni**), **berilio** (**Be**), **silicio** (**Si**), **plomo** (**Pb**) etc. Elementos todos que le confieren al material, reiteramos, unas muy aceptables propiedades mecánicas y tecnológicas, así como una excelente resistencia a la corrosión.

Antes de entrar de pleno en estudio de las aleaciones de cobre propiamente dichas, primero hay que volver a citar, por su gran importancia industrial, a los llamados **cobres débilmente aleados**. Cobre con un contenido de aleación inferior al 1×100 [$< 1\%$], –ver **tabla 1.1**– que la mayoría de ellos, normalmente, se utilizan ya bonificados cuando se quiere mejorar e incrementar alguna de las bajas características que presentan los cobres ordinarios: soldabilidad, resistencia al calor, maquinabilidad, resistencia mecánica, etc. Materiales débilmente aleados que la mayoría, insistimos, son tratables térmicamente alcanzando; **p.ej.**: el **Cu-Be** –de mayor aleación [**Be** = (0,25 ÷ 2,40%)] – las características más elevadas, después de un correcto bonificado [solubilización + temple + maduración].

A los **cobres débilmente aleados no bonificables**, que se endurecen por acritud, –deformación y conformación plástica en frío – cuando se les practica el recocido de recristalización, para regenerar y homogeneizar el grano aplastado por deformación y conformación en frío, hay que elevar la temperatura de recocido hasta un máximo de 530 °C.

Las características de cada uno de estos cobres débilmente aleados se enumeran a continuación:

1. Cobre-estaño [Cu-S]. Cobre de baja aleación, cuya característica principal es la de mejorar la maquinabilidad del cobre ordinario. Presentando propiedades similares a las aleaciones cobre-teluro [Cu-Te], pero su transformación es más sencilla. Dichos materiales [Cu-S] no suelen ser bonificables.

2. Cobre-cadmio [Cu-Cd]. Se aprovecha la influencia del cadmio (Cd) como elemento aleado, para mejorar las características mecánicas del material. Cobre de baja aleación que es ampliamente utilizado para la fabricación de conductores con bastante grosor, sometidos a desgaste; **p.ej.:** los troles y tendidos de ferrocarril, tranvías, trolebuses, etc., así como en la producción de electrodos para soldadura. Los cobres de baja aleación **cobre-cadmio** mantienen sus características en servicio hasta los 200 °C de temperatura. Normalmente no se utilizan en estado de bonificado, a pesar de que la mejora de características que se obtiene es muy limitada.

3. Cobre-hierro [Cu-Fe]. Este tipo de cobre de baja aleación alcanza unas características mecánicas superiores a las del cobre comercialmente puro, junto con una muy buena conductividad eléctrica. Se puede utilizar: (1) en cualquier tipo de objetos sustituyendo al cobre y a los latones ordinarios; y (2) en componentes de aparellaje eléctrico, manteniendo su estado de acritud hasta los 200 °C de temperatura. Tienen el inconveniente, no obstante, de que su resistencia a la corrosión es inferior a la del cobre comercial.

4. Cobre-teluro [Cu-Te]. Cobre de baja aleación que presenta una maquinabilidad semejante a la de los latones con plomo [Cu-Pb]. Esto es debido a que el teluro (Te), como le ocurre al plomo, es prácticamente insoluble en el cobre, quedando uniformemente repartido en la masa matricial de cobre. En estado **T8 –endurecimiento por acritud–** se logra que las características mecánicas se mantengan a 350 °C de temperatura, durante un periodo de tiempo de 2 horas como mínimo; mientras que el cobre ordinario recrystalizaría por completo a esa temperatura en sólo 10 minutos. Las aleaciones cobre-teluro [Cu-Te] se suelen fabricar en dos variedades:

- **Tenaz.** Con oxígeno [$O_2 = (0,05 \div 0,03\%)$], con una conductividad de 98% **IACS**.
- **Desoxidado.** Que se puede utilizar en atmósferas reductoras, con una conductividad de 93% **IACS**.

5. Cobre-cromo [Cu-Cr]. Cobre de baja aleación que se utiliza, típicamente, en la fabricación de electrodos para las máquinas de soldadura, tanto en forma de barras para puntos como para roldanas y pinzas, es decir, para órganos de máquinas con alta conductividad y de gran resistencia a esfuerzos en caliente. Su campo de aplicación se amplía, también, hacia dispositivos de frenado de motores térmicos, etc. Es importante destacar que si se calientan este tipo de aleaciones en atmósfera oxidante, sufren una fuerte oxidación subcutánea, por lo que el calentamiento *–por encima de 600 °C de temperatura–* se debe realizar en atmósfera reductora o neutra controlada.

6. Cobre-berilio [Cu-Be]. Cobre de baja aleación, que como más adelante indicamos, se consiguen las características mecánicas más elevadas de todas las aleaciones de cobre, después de ser bonificadas. Sus aplicaciones están condicionadas por sus altas características mecánicas y por su buena conductividad eléctrica: resortes, piezas y componentes de contacto, resistencias al desgaste, etc...; manteniendo intactas dichas propiedades hasta los 350/400 °C de temperatura, con calentamientos discontinuos.

7. Cobre-circonio [Cu-Zr]. Las propiedades fundamentales de este tipo de cobre de baja aleación es la de mantener sus propiedades y características a temperaturas que no son admisibles para el cobre no aleado; **p.ej:** hasta 400 °C. Todavía a 500 °C de temperatura, puede obtenerse, con este tipo de aleaciones unos 230 MPa de resistencia, mientras que con el cobre norma sólo se alcanzarían los 150 MPa.

8. Cobre-cromo-circonio [Cu-Cr-Zr]. Cobre de baja aleación, con el que se busca alcanzar unas características mecánicas y conductividad eléctrica elevada a un coste más económico.

9. Cobre-níquel-silicio [Cu-Ni-Si]. Cobre de baja aleación que añade, a sus ya elevadas características mecánicas y conductividad eléctrica, una excelente resistencia al desgaste.

2.1. Aleaciones de cobre

Las aleaciones de cobre comerciales que, práctica e industrialmente son las más utilizadas, se clasifican según su composición en:

I. Latones. Aleación común de cobre y cinc (Cu-Zn)

que forman la base de la serie completa de latones, cuyo elemento principal de aleación es el cinc (**Z**), que asimismo se divide en:

A. Latones alfa: que contienen hasta un 39 por 100 de cobre.

- Latones amarillos: con un contenido entre 20 por 100 y 36 por 100 de cinc [**Zn** = (20 ÷ 36%)]
- Latones rojos: con un contenido entre 5 por 100 y 20 por 100 de cinc [**Zn** = (5 ÷ 20%)]

B. Latones alfa + beta: con un contenido entre 54 por 100 y 62 por 100 de cobre [**Cu** = (54 ÷ 62%)]

II. Bronces. Aleación común de cobre y estaño (**Cu-Sn**). Su elemento principal de aleación es el estaño (**Sn**): contenido máximo de hasta 12 por 100 (**Sn** ≤ 12%).

- Bronces al estaño (**Cu-Sn**): bronce comunes de composición simple.

III. Bronces especiales. Contienen en composición uno o varios aleoelementos, además del cobre (**Cu**) y del estaño (**Sn**):

- Bronces al silicio (**Cu-Si**): cuprosilicios.
- Bronces al aluminio (**Cu-Al**): cuproaluminios.
- Bronces al berilio (**Cu-Be**): cuproberilios.
- Bronces al níquel (**Cu-Ni**): cuproníqueles.
- Bronces al níquel [**Cu-Ni-Zn**]: alpacas.

Aleaciones **Cu-Si**; aleaciones **Cu-Al**; aleaciones **Cu-Be**; aleaciones **Cu-Ni**, ... etc. que son, reiteramos, un grupo de bronce especiales, significativamente muy importante, que han adquirido entidad propia, como tales aleaciones de cobre. Al igual que ocurre con las aleaciones de aluminio (**Al**), dichas las aleaciones de cobre (**Cu**) son capaces de aumentar su resistencia mecánica. Resistencia que se consigue mediante:

- Solución sólida. Aleaciones **Cu-Ni** [resto **Zn**]; y aleaciones **Cu-Sn** [**Sn** ≤ 8%].
- Por aparición de una segunda fase. Aleaciones **Cu-Zn** [**Zn** = (36 ÷ 40%)] y aleaciones **Cu-Sn** [**Sn** ≤ 8%].
- Por endurecimiento estructural de aquellas aleaciones, que presentando un diagrama con descenso de

solubilidad en estado sólido, admiten la evolución endurecedora del estado metaestable de temple. Como es el caso de la mayoría de los bronce débilmente aleados, ya antes comentados; ver **tabla 1.I**.

La Internacional Standard Organización [**ISO**], clasifica el cobre y sus aleaciones en diez [**10**] grupos principales, que por ser las más significativas indicamos en el siguiente cuadro:

GRUPO	TIPO DE COBRE
A	Cobres
B	Cobres débilmente aleados
C	Aleación de alto contenido en cobre [contienen elementos aleantes: %Be + % Cd + % Cr = 5%]
D	Latones [aleaciones cobre-cinc] contienen hasta 42% de Zn
E	Latones con plomo [aleaciones cobre-cinc-plomo] contienen hasta 3% de Pb
F	Latones especiales [aleaciones cobre-cinc-otros aleoelementos]
G	Bronces [aleaciones cobre-estaño: bronce fosforados] y Bronces complejos [cobre - estaño y algunos otros elementos: Fe, Ni, Si, Mn, Al, Pb]
H	Cuproaluminios [aleaciones cobre-aluminio] contienen hasta un 10% de Al.
K	Cuproníqueles [aleaciones cobre-níquel] contienen hasta un 30% de Ni
L	Alpacas [aleaciones cobre-níquel-cinc] contienen hasta un 27% de Zn y 18% de Ni

2.2.LATONES

Los **latones** son aleaciones de cobre (**Cu**) y de cinc (**Zn**) como elemento principal. Son probablemente las aleaciones de base cobre más utilizadas en el ámbito industrial. Aunque conservan una conductividad respetable se les elige al mismo tiempo porque ofrecen una buena resistencia mecánica, facilidad de conformado y resistencia a la corrosión.

Las propiedades mecánicas y tecnológicas dependen principalmente del contenido de cinc (**Zn**), pero éstas pueden modificarse con la adición de otros aleoelementos como el plomo (**Pb**), estaño (**Sn**), manganeso (**Mn**), aluminio (**Al**), hierro (**Fe**), silicio (**Si**), níquel (**Ni**), etc., con el fin de mejorar ciertas propiedades como es la resistencia a la tracción, la maquinabilidad y/o la resistencia a la tracción.

El endurecimiento de los latones obedece principalmente a la disolución de sólido y al trabajo en frío. La estructura cristalina del cobre (**Cu**), como es sabido, es cúbica de caras centradas (CCC) y la del cinc (**Zn**) es hexagonal

compacta (HC), en consecuencia, la solubilidad del cinc en el cobre no puede ser completa, pero sí se consigue una excelente solubilidad. La solubilidad máxima en estado sólido de cinc (**Zn**) en cobre (**Cu**) está alrededor del 35 por 100 a temperatura ambiente.

Los **latones** son, reiteramos, combinaciones de **cobre-cinc** (**Cu-Zn**), que forman una amplia serie de aleaciones de cobre [**Cu** = (55 ÷ 80%)] con adiciones de cinc entre 5 por 100 y 50 por 100 [**Zn** = (5 ÷ 50 %)]; **tabla 2.1**.

CINC (%)	R MPa	Alargamiento %	Dureza Brinell (HB) 10 mm/500 Kg
0	230	46	38
5	260	49	49
10	295	52	54
15	300	56	58
20	305	59	56
25	320	62	54
30	325	65	55
35	330	60	55
40 (+)	385	45	75

Tabla 2.1. Efecto del **cinc (Zn)** sobre las características mecánicas de los latones.

El cobre (**Cu**) forma soluciones sólidas esencialmente importantes con el cinc (**Zn**), cuando su proporción (%) en la aleación no es superior al 35 por 100 (**Zn** ≤ 35 %) peso. Con esa proporción el cinc (**Zn**) se disuelve en el cobre (**Cu**) formando una solución sólida sustitucional de composición uniforme. Estructura monofásica denominada fase alfa (α), tal como se indica la porción del diagrama de fases del sistema cobre cinc [**Cu-Zn**] de la **figura 2.1**.

En dicha porción del diagrama de fases solamente se reproduce, por su complejidad, la parte que concierne a las aleaciones de importancia industrial [contenido de **Zn** = (30 ÷ 60%)]. En la que se grafía la presencia: (1) de una amplia región totalmente alfa (α), –fase α monofásica– para contenidos de cinc menores de 35 por 100 (**Zn** < 35%); y (2) una región bifásica alfa + beta [α + β], cuando el contenido de cinc se aproxima al 40 por 100 (**Zn** ≈ 40 %).

Con la adición creciente de cinc (**Zn**) las aleaciones se endurecen y su color se vuelve más claro a medio dominio de la fase α . En la fase β , (**Zn** > 45%) el latón adquiere un color rojizo brillante, que puede cambiar de tonalidad –amarillo dorado– cuando el contenido de cobre está por encima de 70 por 100 (**Cu** > 70%). Según el diagrama de fases del sistema cobre-cinc [**Cu-**

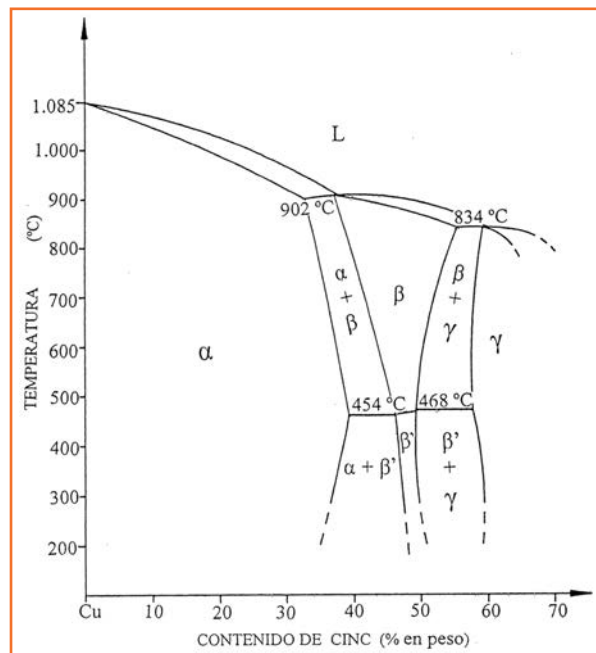


Figura 2.1. Porción del diagrama de fase del sistema cobre-cinc [**Cu-Zn**].

Zn], contenidos superiores a 45 por 100 de cinc (**Zn** > 45%) y temperaturas superiores a 450 °C, forman una nueva fase (β): solución sólida de cinc (**Zn**) en cobre (**Cu**) que su estructura cristaliza en el sistema cúbico centrado en el cuerpo (CC). Por debajo de dicha temperatura la fase beta (β) sufre una transformación, pasando entonces a una solución sólida β' , cuya estructura cristaliza en ese mismo sistema cristalino (CC).

Desde el punto de vista de las propiedades mecánicas la fase β' es más dura y frágil que la fase β y, por tanto, mucho menos deformable que la fase α .

Por último señalar que contenidos elevados de cinc (**Zn**) –alrededor de 60 % y más – promueven la formación de una solución sólida de una muy alta fragilidad: fase gamma (γ). De acuerdo con estas consideraciones, para cada una de las fases referenciadas, es fácil prever las principales cualidades que han de poseer los **latones**, teniendo siempre en cuenta las fases presentes en su masa matricial o estructura.

Las aleaciones específicamente de cobre-cinc [**Cu-Zn**], que forman la base de la serie en cuestión, se suelen clasificar preferentemente en función a las fases que presenten dichos latones a temperatura ambiente:

- **Latones alfa.** Con contenidos de hasta un 39 por 100 de cinc [**Zn** ≤ 39%].

- **Latones alfa + beta.** Con contenidos entre 37,5 por 100 y el 39 por 100 de cinc [$Zn = (37,5 \div 39\%)$].
- **Latones beta***. Con contenidos entre 46 po100 y el 50 por 100 de cinc [$Zn = (46 \div 50\%)$].

De igual forma dentro del grupo de latones **alfa + beta** se puede distinguir el siguiente subgrupo:

- **Latones especiales.** Que contienen en composición uno o varios aleoelementos, además del cobre (Cu) y del cinc (Zn).

El **latón alfa [70 Cu-30 Zn –latón para cartuchería–]**, cuya microestructura está constituida de una solución sólida alfa (α); como se observa en el diagrama de fases del sistema cobre-cinc [Cu-Zn]; **figura 2.2**. Mediante un recocido de solubilización a 750 °C de temperatura, se homogeneiza dicha microestructura, que sufre un ligero aumento del tamaño de grano debido a la alta temperatura de recocido; **figura 2.3**. En este nuevo estado, la ductilidad del material es excelente, dejándose deformar y conformar perfectamente en frío.

La **figura 2.4** muestra el efecto sobre las características mecánicas del mencionado recocido sobre el latón 70

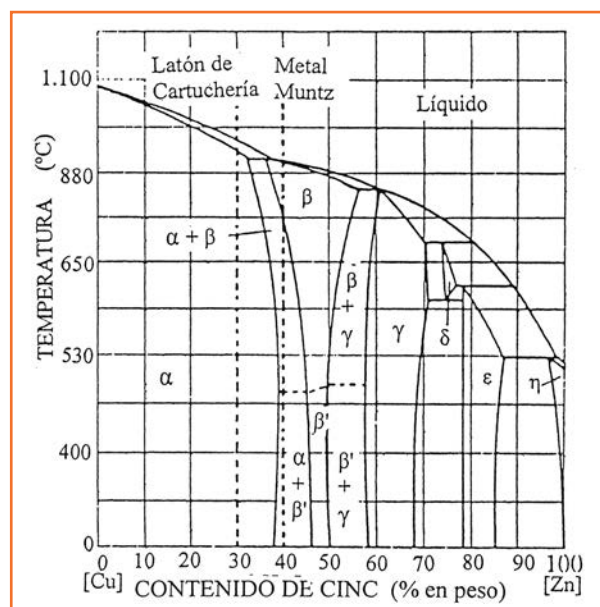


Figura 2.2. Diagramas de fase del sistema cobre-cinc [Cu-Zn] en el que se indican los contenidos máximos (% en peso) del cinc (Zn), del latón de cartuchería y del metal Muntz.

* Los latones beta (β) al no tener una aplicación práctica industrialmente, no los tendremos en consideración.

Cu-30 Zn, que previamente ha sido conformado en frío.

La microestructura de la aleación **60 Cu-40 Zn –Metal Muntz**; ver **figura 2.2**– presenta dos fases: alfa + beta [$\alpha + \beta$]; **figura 2.5**. La solución sólida alfa (α) de cinc en



Figura 2.3. Microestructura de un latón 70 Cu-30Zn, estirado en frío y recocido a una temperatura de 750 °C durante 30 minutos. Se observa un tamaño de grano relativamente grueso, debido a la alta temperatura de recocido, mostrando los nuevos granos un maclado pronunciado.

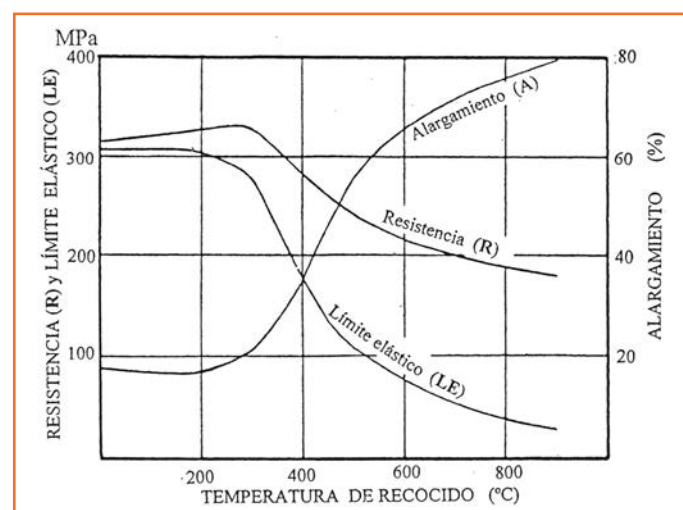
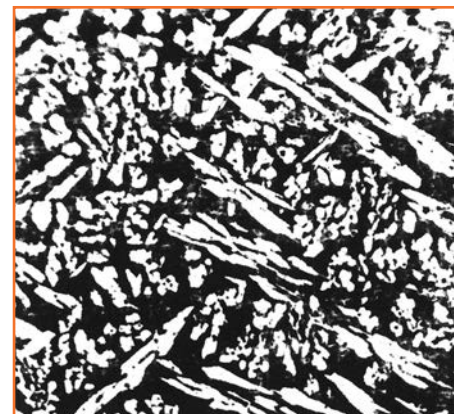


Figura 2.4. Efecto de la temperatura de recocido sobre las propiedades mecánicas del latón alfa 70 Cu-30 Zn laminado en frío.

Figura 2.5. Microestructura de un latón 60Cu-40Zn [metal Muntz]. Presencia de las dos soluciones sólidas: (1) α que cristaliza en el sistema cúbico de caras centradas (CCC) y es maleable. α = componente claro; (2) β que cristaliza en el sistema cúbico centrado en cuerpo (CC) y no es maleable. β = componente oscuro.



el cobre cristaliza en el sistema cúbico de caras centradas (CCC) y es maleable. Mientras que la solución beta (β) cristaliza en el sistema cúbico centrado en cuerpo (CC). A la solución sólida beta (β) se le puede considerar aceptablemente maleable; aun siendo, ciertamente, más dura que la solución sólida alfa (α). En la mayoría de los casos la adición de elementos que formen solución sólida en dichas aleación, tiende a disminuir la ductilidad a medida que aumenta la resistencia mecánica.

Como se muestra en la anterior **tabla 2.I**, una adición más alta de cinc (**Zn**) –hasta cierto contenido de cinc– aumenta la ductilidad y asimismo la resistencia del material. La mejor combinación de resistencia y ductilidad se obtiene en el ya mencionado **latón para cartuche-**

ría [70 Cu-30 Zn]. El gráfico de la **figura 2.4** nos confirma estos resultados.

En la **tabla2.II** vienen reseñadas las principales aleaciones **Cu-Zn**. Latones comerciales de uso industrial: composición químicas y característica mecánicas según su estado.

Resumiendo: los latones comerciales se clasifican en dos grupos fundamentales:

1. **Latones alfa.** Aleaciones con contenidos de cinc hasta el 36 por 100 (**Zn** $\leq$ 36%).
2. **Latones alfa + beta.-** Aleaciones con contenidos de cobre entre el 54 por 100 y el 62 por 100 [**Cu** = (54 $\div$ 62%)].

ALEACIÓN Designación EN Simbólica	Composición (%)	ESTADO O/H	Características Mecánicas		
			R MPa	LE MPa	A (%)
Cu-Zn5	Cu = (94 $\div$ 96) Zn = Resto	O	270	100	45
		H18	430	380	4
Cu-Zn10	Cu = (89 $\div$ 91) Zn = Resto	O	280	100	48
		H18	480	420	5
Cu-Zn15	Cu = (84 $\div$ 86) Zn = Resto	O	310	130	40
		H18	480	420	10
Cu-Zn20	Cu = (78,50 $\div$ 81,50) Zn = Resto	O	330	140	50
		H18	570	480	5
Cu-Zn30	Cu = (68,50 $\div$ 71,50) Zn = Resto	O	370	150	55
		H18	570	540	52
Cu-Zn33	Cu = (65,50 $\div$ 68,50) Zn = Resto	O	380	160	12
		H18	580	550	3
Cu-Zn37	Cu = (62 $\div$ 65,50) Zn = Resto	O	380	160	50
		H18	580	550	—
Cu-Zn40	Cu = (59 $\div$ 62) Zn = Resto	O	380	160	40
		H18	520	450	8
Cu-Zn28Sn1	Cu = (70 $\div$ 73) Sn = (0,90 $\div$ 1,30) As = (0,02 $\div$ 0,06) Zn = Resto	O	360	130	65
		F	360	150	50
Cu-Zn38Sn1	Cu = (70 $\div$ 73) Sn = (0,90 $\div$ 1,30) Zn = Resto	O	390	160	40
		H14	480	320	24
Cu-Zn22Al2	Cu = (76 $\div$ 79) Al = (1,80 $\div$ 2,50) As = (0,02 $\div$ 0,06) Zn = Resto	O	380	140	60
		F	380	160	45
Cu-Zn34Pb1	Cu = (62,50 $\div$ 66,50) Pb = (0,50 $\div$ 1,50) Zn = Resto	O	330	120	45
		H18	520	400	10
Cu-Zn36Pb2	Cu = (61,00 $\div$ 64,00) Pb = (1,00 $\div$ 2,00) Zn = Resto	O	340	150	45
		H18	500	450	10
Cu-Zn39Pb2	Cu = (57,00 $\div$ 60,00) Pb = (1,00 $\div$ 2,50) Zn = Resto	O	—	—	—
		F	420	230	30
Cu-Zn36Pb3	Cu = (60,00 $\div$ 63,00) Pb = (2,50 $\div$ 3,70) Zn = Resto	O	360	150	40
		H18	520	450	12
Cu-Zn40Pb3	Cu = (56,00 $\div$ 59,00) Pb = (2,30 $\div$ 3,50) Zn = Resto	O	420	200	32
		H18	550	500	8

Tabla 2.II. Latones comerciales de uso más frecuente. Composición y características mecánicas según estado.

(Continuará)



Últimos Stand



***NO TE QUEDES SIN
ESPACIO***

15 y 16 de noviembre de 2017 • Pabellones 2 y 4 • Feria de Madrid

Si tu empresa está interesada en exponer en esta edición
escribenos a comercial@metalmadrid.com

llámanos al +34 91 231 70 04

www.metalmadrid.com

www.compositespain.com • www.robomatica.es

Desarrollo y caracterización de recubrimientos láser MCrAlY para aplicaciones de barrera térmica

Por J. C. Pereira * (1,2), J. C. Zambrano (2), M. J. Tobar (3), A. J. Yáñez (3), V. Amigó (1)

Resumen

El proceso de plaqueado láser coaxial es una versátil herramienta para la obtención de recubrimientos de calidad, logrando la completa fusión y deposición de aleaciones con elevado punto de fusión sobre superficies 3D complejas. En este trabajo se han estudiado los parámetros de procesamiento láser coaxial de superaleaciones MCrAlY (donde M = Ni, Co, Fe o combinaciones entre ellos), comúnmente empleadas como recubrimientos de anclaje en sistemas de barrera térmica, entre ellas: Ni-CoCrAlY y CoNiCrAlY; logrando seleccionar una combinación de parámetros que permiten obtener recubrimientos por solape de cordones con adecuada relación de aspecto, mínima dilución, bajo nivel de porosidad y buena unión metalúrgica con el sustrato de acero inoxidable austenítico, utilizando un equipo láser Nd:YAG de 2.2 kW y un cabezal coaxial. Los recubrimientos obtenidos han sido caracterizados microestructuralmente con diversas técnicas, logrando identificar las fases que los constituyen y el tipo de microestructura obtenida con el procesamiento láser coaxial. Se han determinado sus propiedades mecánicas a través de ensayos de microindentación y nanoindentación. Se ha estudiado también el comportamiento de oxidación a alta temperatura de los recubrimientos y del acero inoxidable austenítico

mediante ensayos de oxidación isotérmica a 1.100 °C. Los resultados indican que el plaqueado láser coaxial puede ser una buena alternativa a los procesos de proyección térmica, ya que se mejora la integridad microestructural, se disminuyen los defectos como la porosidad y la falta de unión metalúrgica, mejorando también el comportamiento ante la oxidación y el desgaste a elevadas temperaturas de los recubrimientos de anclaje MCrAlY, que pueden ser utilizados en nuevos sistemas de barrera térmica.

1. Introducción

Los componentes aeronáuticos y en turbinas de generación eléctrica se protegen con capas barrera con aleaciones MCrAlY (donde M=Ni, Co, Fe o combinaciones entre ellas). Las superaleaciones base níquel del tipo Ni-CoCrAlY y las base cobalto del tipo CoNiCrAlY son ampliamente usadas como recubrimiento de piezas y como capa de unión entre sustrato y recubrimientos cerámicos, debido a su buena adherencia, alto módulo de elasticidad y resistencia, y a su buena resistencia a la oxidación a alta temperatura, por ello se usan cada vez más en componentes mecánicos dentro de los modernos motores de turbina de gas [1].

El laser cladding (LC) es una técnica de manufactura flexible que permite depositar cordones y también recubrimientos densos, capa a capa sobre superficies complicadas [2], con la finalidad de realizar reparaciones en componentes de alto coste, así como también incrementar la vida en servicio de componentes sometidos a desgaste o a altas temperaturas. En el proceso de depo-

(1) Instituto de Tecnología de Materiales, Universidad Politécnica de Valencia, España.

(2) Centro de Investigaciones en Mecánica CIMEC, Universidad de Carabobo, Venezuela.

(3) Departamento de Ingeniería Industrial II, Universidade da Coruña, Campus Ferrol, España.

sición por láser, el polvo metálico se inyecta en una piscina de masa fundida producida por un haz láser de alta intensidad. Para lograr un adecuado recubrimiento con ésta técnica se deben controlar diversos parámetros en el proceso, tales como: la potencia del láser, velocidad de avance del cabezal, caudal de polvo aportado y gas de protección. Todas estas variables influyen en la calidad del recubrimiento obtenido, la adherencia con el sustrato y la dilución de los elementos presentes [3]. A altas temperaturas, la mayoría de los metales inevitablemente se oxida con una amplia gama de condiciones, y pueden esperarse diversas interacciones entre los materiales de sustrato y la atmósfera, como la difusión, interdifusión, descomposición, volatilización y el crecimiento térmico de la capa de óxido [4], la capa de óxido generada en algunos casos puede actuar como barrera protegiendo al recubrimiento y sustrato.

La ganancia de peso y el espesor de la capa de óxido superficial son parámetros importantes en el comportamiento de recubrimientos MCrAlY a alta temperatura. La oxidación de los metales también puede influir en el proceso de desgaste y los mecanismos de daño [5]. El comportamiento de oxidación del recubrimiento puede ser altamente influenciado, tanto por las propiedades del recubrimiento tales como la porosidad y por la oxidación y la distribución de los constituyentes MCrAlY durante el proceso de deposición [6]. De hecho, las capas de óxido en aleaciones MCrAlY no son únicamente de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, también puede contener inclusiones de óxido ricos en Y, además de otros óxidos como Cr_2O_3 , NiO , CoO o óxidos espinela del tipo $(\text{Ni},\text{Co})(\text{Cr},\text{Al})_2\text{O}_4$ [7-10]. El objetivo del presente trabajo ha sido desarrollar recubrimientos MCrAlY obtenidos mediante plaquero lá-

ser coaxial sobre un acero inoxidable AISI 304 y evaluar su microestructura, propiedades mecánicas y comportamiento a alta temperatura.

2. Procedimiento Experimental

2.1 Materiales y procesamiento láser coaxial

Se utilizaron polvos MCrAlY prealeados, atomizados por gas y suministrados por Oerlikon Metco (Amdry 365-2 y 995C). La aleación NiCoCrAlY se compone principalmente de Ni con 23% de Co, 17% de Cr, 12% de Al, y 0.42% Y, y un diámetro de tamaño medio de partícula de 55 micras. La aleación CoNiCrAlY se compone de Co con 32% de Ni, 21% Cr, 8% de Al, y 0.45% Y, con tamaños de partícula con diámetro medio de 65 micras. El sustrato es un acero inoxidable laminado en frío AISI 304 de 10 mm de espesor. Recubrimientos extensos ($30 \times 30 \text{ mm}^2$) se obtuvieron usando un láser Nd:YAG de estado sólido (Rofin-Sinar DY 022) en modo continuo, con una potencia máxima de 2.2 kW y una longitud de onda de 1.064 nm.

La potencia (P) utilizada en este estudio ha sido de 2.2 kW. El diámetro del haz (D) focalizado en la lámina es de 4 mm. El movimiento XYZ se consigue mediante un robot con 6 grados de libertad (ABB IRB 2400), la velocidad (V), de 15 mm/s, con una superposición o solape de cordones al 40%. Polvo suministrado por unidad de longitud de 25 mg/mm provisto de una boquilla coaxial anular (Precitec YC50) y un alimentador de polvo Sulzer Metco Twin 10-C. Como gas portador del polvo se ha utilizado Helio (20 L/min) y como gas auxiliar se ha utilizado Argón (15 L/min).

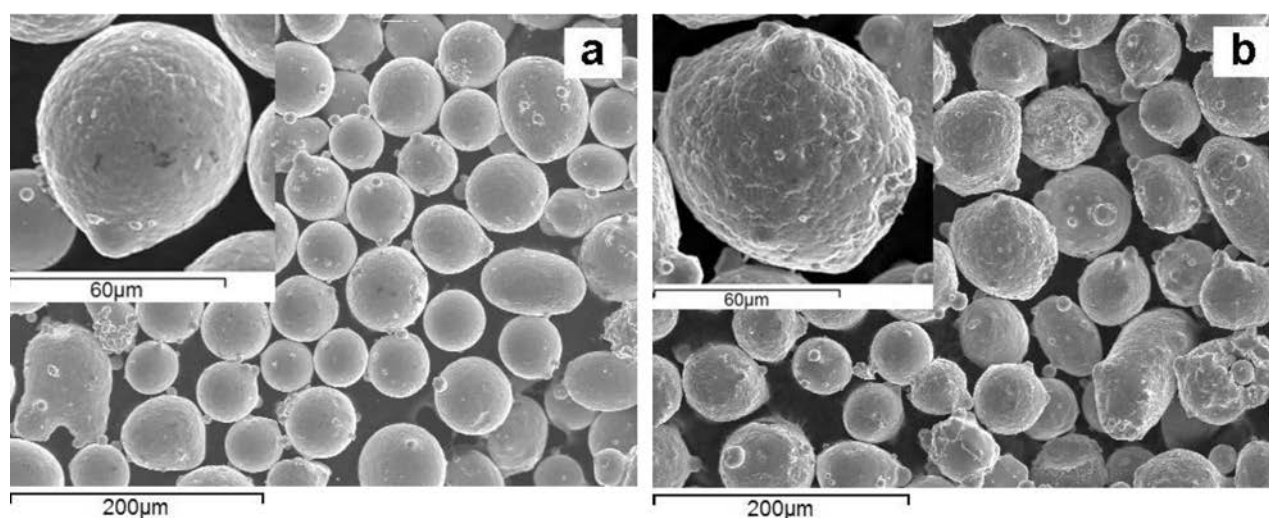


Figura 1. Micrografías SEM (20 kV BSE) de polvos MCrAlY a) morfología del polvo NiCoCrAlY y b) morfología del polvo CoNiCrAlY.

2.2 Ensayos y técnicas de caracterización

Las partículas de polvos prealeados y los recubrimientos han sido analizadas mediante microscopía, empleando un microscopio óptico Nikon LV100 y un microscopio electrónico de barrido con emisión de campo (FESEM) Zeiss ULTRA55. Para la determinación del tamaño de partícula del polvo se ha utilizado un difractómetro láser Malvern Mastersizer 2000, empleando el método de intensidad de luz difractada por las partículas suspendidas en agua destilada. Se ha realizado microanálisis por espectroscopía de energía dispersiva (EDS) para la cuantificación de composición química, utilizando un detector de rayos X Oxford Instruments instalado en el microscopio electrónico. Para la medición de la dureza en el recubrimiento y el sustrato se utilizó un microdurómetro Shimadzu HMV-2 asistido con software de medición automático de la huella. Las mediciones fueron realizadas con una carga de 980.7 mN y un tiempo de aplicación de 10 s (escala HV0.1), la separación entre huellas fue de 100 μm (en las mismas zonas analizadas por EDS) y la primera medición se hizo a 50 μm de la superficie o borde del recubrimiento. Se promediaron los valores obtenidos de tres indentaciones para cada zona. Los ensayos de oxidación isotérmica se realizaron a 1.100 °C hasta 200 h en aire estático en un horno GALLUR MC-1. Diferentes muestras oxidadas se retiraron del horno a intervalos diferentes: 5, 10, 25, 50, 100 y 200 h, y se enfriaron al aire hasta temperatura ambiente. Para el análisis de la morfología de los cristales de óxido en la superficie oxidada se ha utilizado un microscopio de fuerza atómica (AFM) marca Veeco modelo Multimode en modo tapping. También se ha observado la superficie oxidada en el microscopio electrónico

de barrido y se han realizado análisis de composición química con EDS.

3. Resultados y su discusión

Los dos polvos prealeados utilizados tienen una morfología esférica (Fig. 1a y 1b), típica del proceso de atomización con gas. La morfología y el tamaño del polvo son muy importantes para el procesamiento por láser cladding coaxial, debido a que la mayor fluidez del polvo permite un recubrimiento de calidad y homogéneo. En cada uno de los polvos se encuentran dos fases diferentes, de acuerdo con análisis por DRX realizados en muestras de los polvos: γ -Ni(Cr)/Co(Ni,Cr) y β -NiAl/(Co, Ni)Al dependiendo del elemento base de cada aleación.

Muchas variables están involucradas en el proceso de revestimiento por láser coaxial, por lo que se debe estudiar la geometría y la dilución de cordones sencillos antes de obtener recubrimientos extensos por solape de cordones. En trabajos previos [11, 12], se estudiaron los parámetros de revestimiento por láser coaxial en una aleación NiCoCrAlYTa para obtener una adecuada relación de aspecto, baja dilución y una buena unión metalúrgica con el sustrato. En este estudio se ha combinado, para recubrimientos extensos por solape de cordones (al 40%), una alta velocidad, alta tasa de alimentación de polvo y alta potencia láser. La energía láser específica (36.67 J/mm²) de esta combinación de parámetros y un foco del haz láser de 4 mm de diámetro ha permitido obtener recubrimientos adecuados con las aleaciones MCrAlY en una placa de acero inoxidable austenítico AISI 304. Los recubrimientos poseen una baja dilución y porosidad, además de la ausencia de

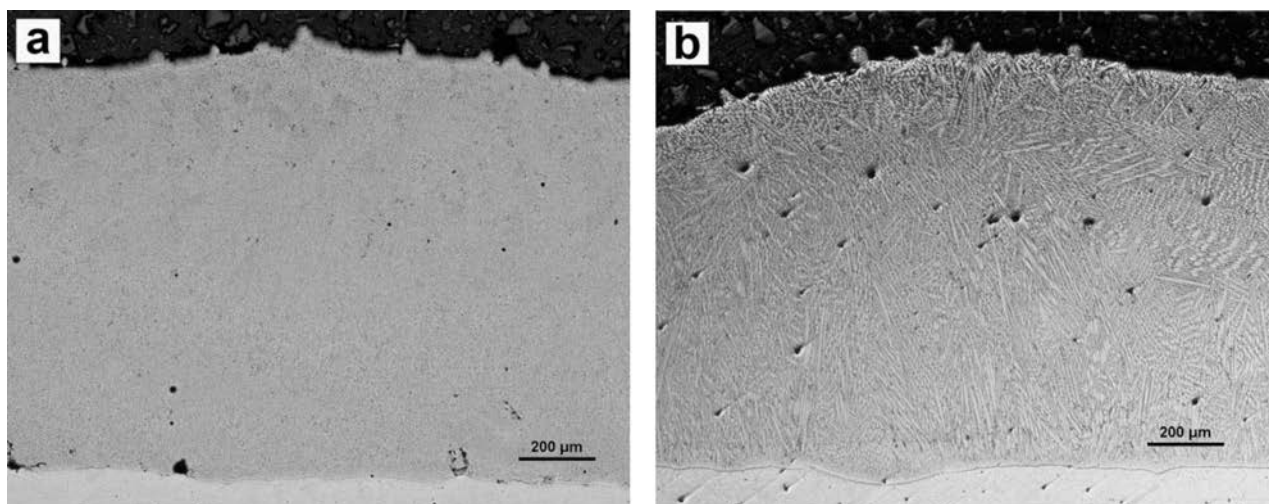


Figura 2. Micrografías ópticas de los recubrimientos láser en estado inicial a) NiCoCrAlY y b) CoNiCrAlY.

SU MEJOR COMUNICACIÓN

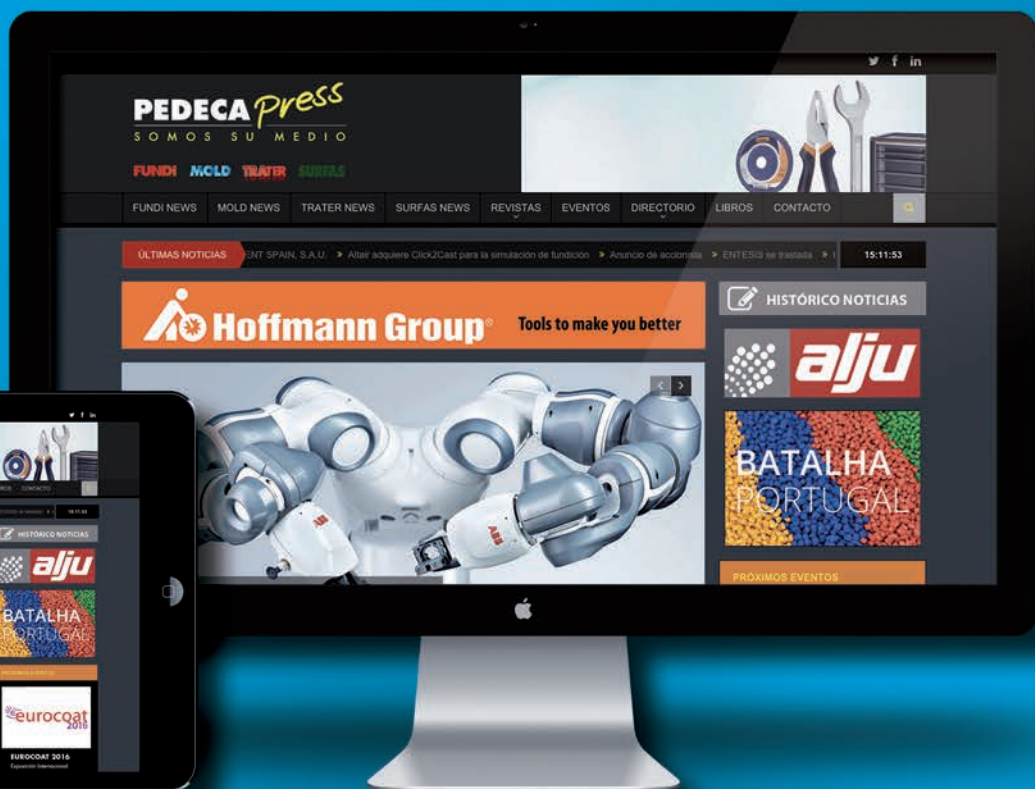
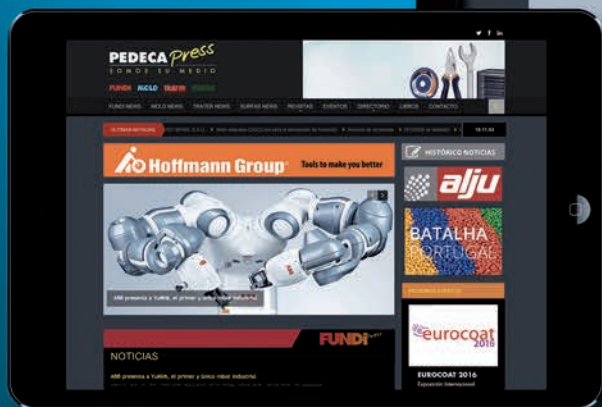
REVISTAS PROFESIONALES DEL SECTOR INDUSTRIAL

*Estrenamos
Nueva Web*

www.pedeca.es

PREGUNTE POR NUESTROS
PACKS DE
PUBLICIDAD
IMPRESIÓN + DIGITAL

- 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



PEDECA *press* Publicaciones
S O M O S S U M E D I O

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

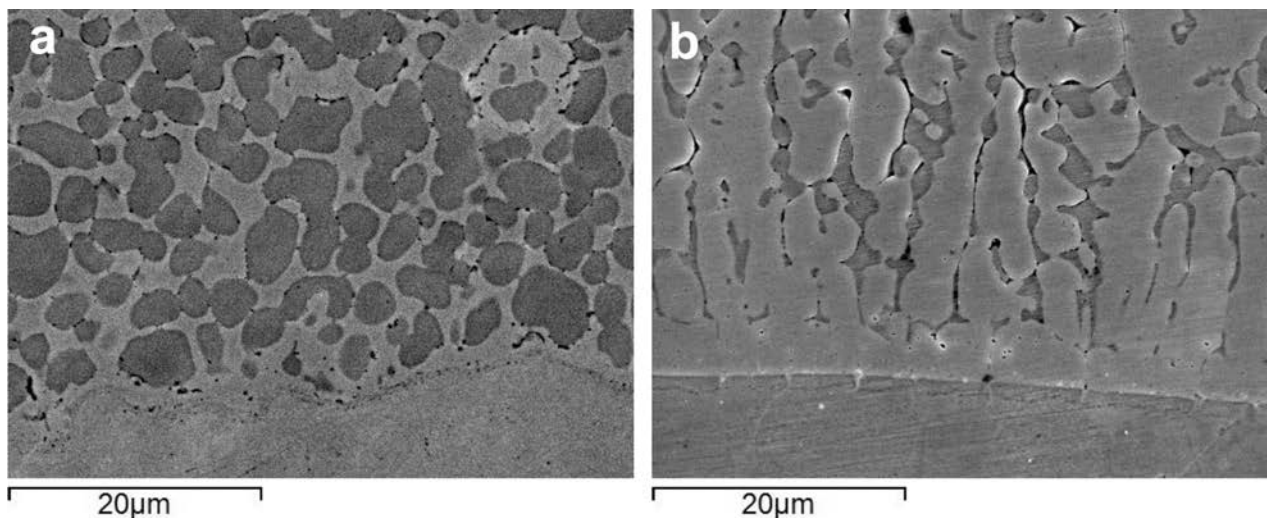


Figura 3. Micrografías SEM de la zona de interfase/recubrimiento (20 kV BSE) a) Recubrimiento láser NiCoCrAlY y b) Recubrimiento láser CoNiCrAlY.

grietas u otros defectos. El espesor del recubrimiento láser CoNiCrAlY es de $715 \pm 32 \mu\text{m}$ (Fig. 2a), mientras que el espesor inicial del recubrimiento láser NiCoCrAlY es de $832 \pm 45 \mu\text{m}$ (Fig. 2b).

La microestructura de los recubrimientos se compone de una fase matriz γ y una segunda fase β . El recubrimiento NiCoCrAlY tiene una estructura dendrítica celular (Fig. 3a), el microanálisis por EDS revela una fase matriz de γ -Ni con Cr y Co en solución sólida y la fase interdendrítica β -NiAl (oscura) rica en Al y Co en solución sólida, junto a zonas ricas en Ni-Y en límites de grano γ/β . En el recubrimiento CoNiCrAlY se observa una estructura dendrítica columnar con frente de solidificación plana (Fig. 3b), en este caso, la fase interdendrítica está en menor cantidad debido al menor contenido de Al en esta aleación. El análisis por EDS también sugiere una solidificación hipoeutéctica con γ -Co(Ni,Cr) y una fase interdendrítica β -(Co,Ni)Al. Análisis de DRX realizados confirman las microestructuras γ/β en ambos recubrimientos.

En orden de dureza, el recubrimiento NiCoCrAlY es el más duro (duplica la dureza del sustrato), seguido por el recubrimiento CoNiCrAlY, y por último el sustrato, tal como se muestra en la gráfica del perfil de microdureza de la figura 4. El comportamiento de la dureza desde la superficie hasta el sustrato es más estable en el recubrimiento NiCoCrAlY, debido a que su microestructura es uniforme, a diferencia del recubrimiento CoNiCrAlY en los cuales hay un incremento del tamaño de las interdendríticas hacia la superficie, incluso con un cambio de dendrita columnar a dendrita celular. No es casualidad

que el contenido de aluminio en cada aleación siga el mismo orden, es decir, la aleación NiCoCrAlY tiene mayor cantidad de aluminio (12.5% en peso) que la aleación CoNiCrAlY (8%), lo cual modifica la microestructura obtenida en el proceso de plaqueado láser utilizado, estabilizando la fase β rica en aluminio, la cual tiene una mayor dureza que la fase γ [13], esto sin considerar la influencia de los otros elementos que conforman la aleación, lo cual influye directamente en esta importante propiedad mecánica.

Si se compara la cantidad de fase β medida en diferentes zonas de los recubrimientos γ/β (NiCoCrAlY y CoNiCrAlY) mediante procesamiento de las imágenes obtenidas con microscopía electrónica de barrido, se ob-

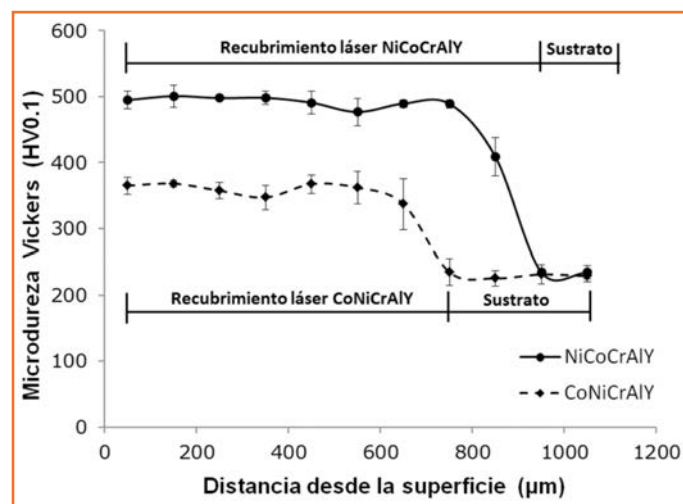


Figura 4. Perfil de microdureza en los recubrimientos y el sustrato.

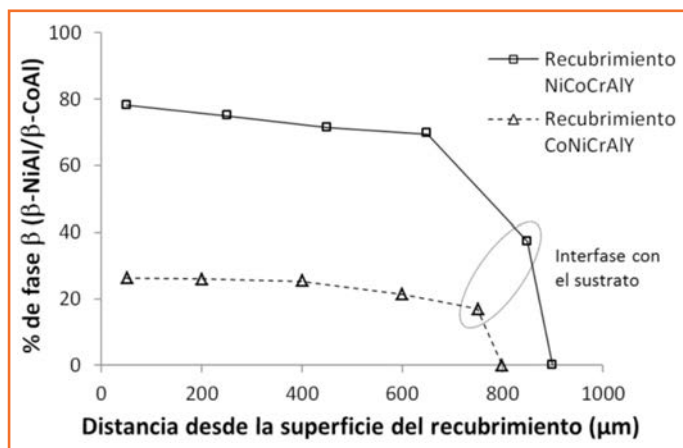


Figura 5. Evolución de la cantidad de fase β en recubrimientos láser MCrAlY con microestructura γ/β .

tiene que la cantidad de fase β en el recubrimiento NiCoCrAlY triplica a la cantidad encontrada en el recubrimiento CoNiCrAlY (Fig. 5), aun cuando el incremento del contenido del aluminio es sólo del 50% en el recubrimiento base níquel, esto ratifica que en el procesado láser coaxial de éstas aleaciones el aluminio estabiliza la fase β en los espacios interdendríticos al final de la solidificación y por lo tanto se incrementa la dureza en el recubrimiento con mayor contenido en aluminio.

No hay grietas o desconchado (espalación) de la superficie oxidada de los recubrimientos después de los ensayos de oxidación isotérmica a 1.100 °C durante 200 horas en aire estático. El aumento de peso de la superficie en función del tiempo en el recubrimiento NiCoCrAlY es mayor que en el recubrimiento CoNiCrAlY, tal como se observa en la figura 6, pero 50 veces menor que la ganancia de peso del sustrato (0.8184 mg/mm² para 200 horas a 1.100 °C en el acero AISI 304). Esto induce a que un mayor espesor de la capa de óxido formada por efecto de la temperatura y atmósfera se ha generado en el recubrimiento NiCoCrAlY, lo cual puede considerarse como bueno, si la capa formada protege adecuadamente al mismo recubrimiento y al sustrato ante condiciones de servicio equivalentes. El aumento de peso puede ser representado como una curva potencial creciente en función del tiempo de oxidación, esto indica que el crecimiento del óxido va acompañado de una disminución de la velocidad de oxidación, típico de un crecimiento de óxidos que está regido por la difusión de iones o elementos a través de la capa inicial formada rápidamente, se puede ver que además de tener una menor ganancia de peso, el recubrimiento CoNiCrAlY tienen un exponente menor en la ecuación de ganancia de peso (Fig. 6), lo que indica un crecimiento más esta-

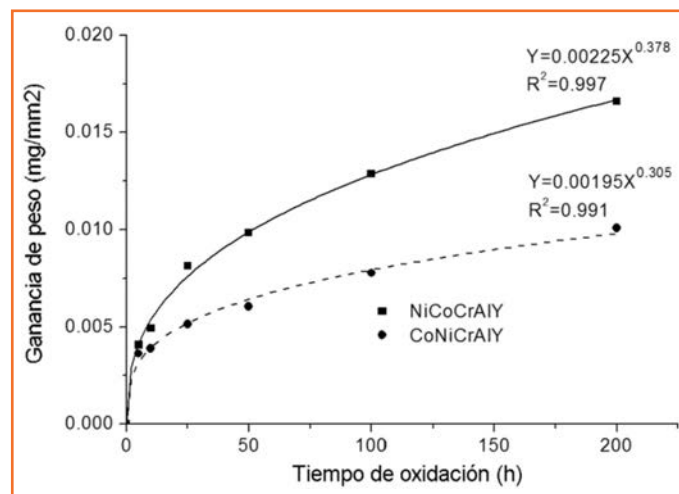


Figura 6. Ganancia de peso superficial en los recubrimientos oxidados.

ble de la capa de óxido en función del tiempo de oxidación.

La morfología de la superficie oxidada es diferente para cada uno de los recubrimientos láser. La capa de óxido formada en el recubrimiento NiCoCrAlY tiene una rugosidad baja y cristales regulares más pequeños (probablemente granos columnares de α -Al₂O₃) de acuerdo a lo observado en las imágenes de microscopía de fuerza atómica (Fig. 7a). Como referencia, las muestras de recubrimiento NiCoCrAlY oxidadas hasta 100 horas tienen una rugosidad superficial (Ra) de 0.29 μ m y una altura máxima en los cristales de óxido superficiales de 2.078 nm, de acuerdo con los resultados obtenidos con AFM en la superficie de la cascarilla. El recubrimiento base Cobalto presenta un comportamiento ante la oxidación diferente, con una superficie irregular con grandes cristales (Fig. 7b), aunque rodeados de una superficie mucho más compacta que la observada en el recubrimiento base níquel oxidado.

La superficie oxidada de la muestra NiCoCrAlY después de 200 horas a 1.100 °C muestra un aspecto bastante densa y homogénea con algunas inclusiones visibles como objetos brillantes (Fig. 8a). Análisis EDS indican una capa de óxido de Al₂O₃ continua con óxidos NiO, CoO, Y₂O₃ y Cr₂O₃ distribuidos al azar sobre la superficie. NiO, CoO y Cr₂O₃ posiblemente se combinan para formar óxidos espinela del tipo (Ni,Co)(Al,Cr)2O₄ [14]. La composición de óxidos (tipos y porcentaje en peso) se dedujo por cálculos estequiométricos normalizadas a partir de las mediciones por EDS en la superficie oxidada. Ello permitió obtener la evolución en el tiempo de los componentes de la capa de óxido, que se muestra a

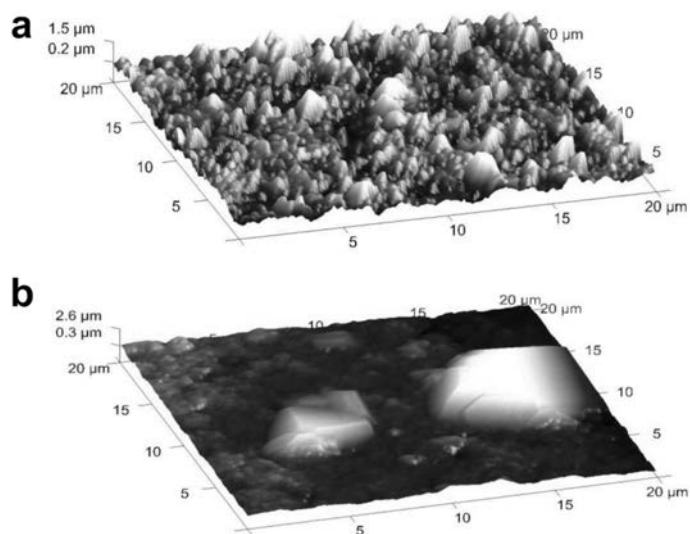


Figura 7. Morfología de la superficie oxidada (100 h a 1.100 °C) obtenida por AFM en a) recubrimiento NiCoCrAlY y b) recubrimiento CoNiCrAlY.

la derecha de la micrografía de la superficie oxidada (Fig. 8b). Se observa un rápido aumento de la relación de Al_2O_3 , presumiblemente debido al gran contenido de Al en la aleación que inhibe el crecimiento de óxidos de Ni, Co y Cr. A 200 h, la Al_2O_3 representa aproximadamente el 95% de la composición de capa de óxido. Óxidos similares fueron encontrados en la superficie del recubrimiento CoNiCrAlY. En este caso, sin embargo, el menor contenido en Al resulta en más óxidos heterogéneos en la superficie (como se muestra en la figura 8c), los cristales de óxido de mayor tamaño en la superficie oxidada corresponden a óxidos (Co,Ni)O, confirmados mediante mediciones y mapas de composición química con EDS. Una mayor cantidad de óxidos de Ni, Cr e Y se obtienen en el recubrimiento láser CoNiCrAlY, alcanzando cerca del 64% de la composición de la capa de óxido sobre la base de cálculo de los óxidos estequiométricos para 200 horas de oxidación a 1.100 °C (Fig. 8d).

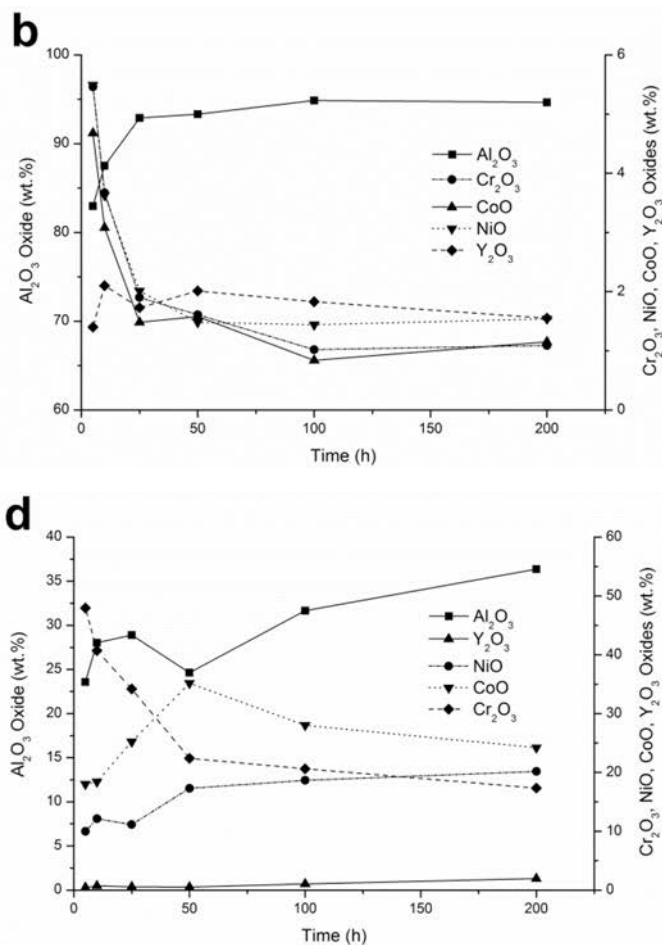
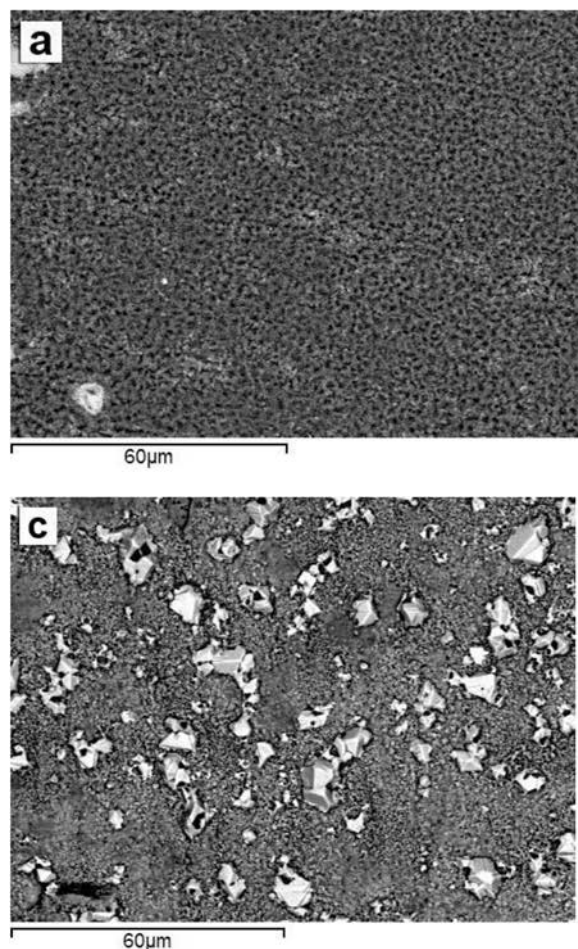


Figura 8. Morfología y posibles óxidos estequiométricos en la superficie de los recubrimientos oxidados a) micrografía (SEM BSE 20 kV) del recubrimiento NiCoCrAlY luego de 200 h a 1.100 °C b) evolución de los óxidos estequiométricos en recubrimiento NiCoCrAlY c) micrografía SEM del recubrimiento CoNiCrAlY luego de 200 h a 1.100 °C d) evolución de los óxidos estequiométricos en recubrimiento CoNiCrAlY [15].

TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS MATERIALES METÁLICOS

ACEROS Y OTRAS ALEACIONES
SUSCEPTIBLES
DE TRATAMIENTO TÉRMICO

VOLUMEN 1

Principios del Tratamiento Térmico
de los Aceros

Por Manuel Antonio Martínez Baena
y José María Palacios Repáraz

30€

206 páginas

TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS MATERIALES METÁLICOS

ACEROS Y OTRAS ALEACIONES
SUSCEPTIBLES
DE TRATAMIENTO TÉRMICO

VOLUMEN 2

Aceros de construcción mecánica
y su tratamiento térmico.
Aceros inoxidables

Por Manuel Antonio Martínez Baena
y José María Palacios Repáraz

40€

316 páginas

TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS MATERIALES METÁLICOS

ACEROS Y OTRAS ALEACIONES
SUSCEPTIBLES
DE TRATAMIENTO TÉRMICO

VOLUMEN 3

Aceros de herramientas para trabajos
en frío y en caliente, su selección
y tratamiento térmico.
Aceros rápidos

Por Manuel Antonio Martínez Baena
y José María Palacios Repáraz

40€

320 páginas

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

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

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

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

Puede ver el contenido
de los libros y el índice en

www.pedeca.es

o solicite más información:

Teléf.: 917 817 776

E-mail: pedeca@pedeca.es

El estudio de la superficie oxidada ha permitido tener una buena aproximación de la cinética de oxidación y la evolución de los posibles óxidos formados en los recubrimientos láser MCrAlY. Sin embargo, se requiere un análisis más riguroso de lo que ocurre a lo interno de la capa de óxido formada térmicamente, por lo que se ha ampliado el estudio de la sección transversal de la cascarilla lo que ha permitido identificar los óxidos presentes, así como las inclusiones presentes en las capas de óxido que han crecido por efecto térmico (TGO). Estos resultados y análisis han sido reportados por los autores [15]. Se ha logrado medir el espesor total de las capas de óxido (Fig. 9). La capa total de cascarilla TGO del recubrimiento láser NiCoCrAlY tiene un espesor ligeramente superior al obtenido en el recubrimiento láser CoNiCrAlY (Fig. 9), además de ser completamente densa y compacta. Por lo tanto, una barrera térmica superior se puede obtener usando este proceso de plaqueado láser coaxial sobre un sustrato de acero inoxidable austenítico. De acuerdo a la relación entre ganancia de peso y espesor total de la cascarilla de óxido puede deducirse que en el recubrimiento La capa de óxido porosa no protectora en la parte superior de la cascarilla TGO en el recubrimiento CoNiCrAlY esta cascarilla tiene poros (no es completamente densa), lo cual puede ser una desventaja para aplicaciones en sistemas de barrera térmica, esto indica también que el contenido de aluminio en la aleación CoNiCrAlY ha influido directamente en el menor espesor de la capa de alúmina formada.

La medida del espesor de la cascarilla de óxido en los recubrimientos láser coaxial obtenidos en este trabajo

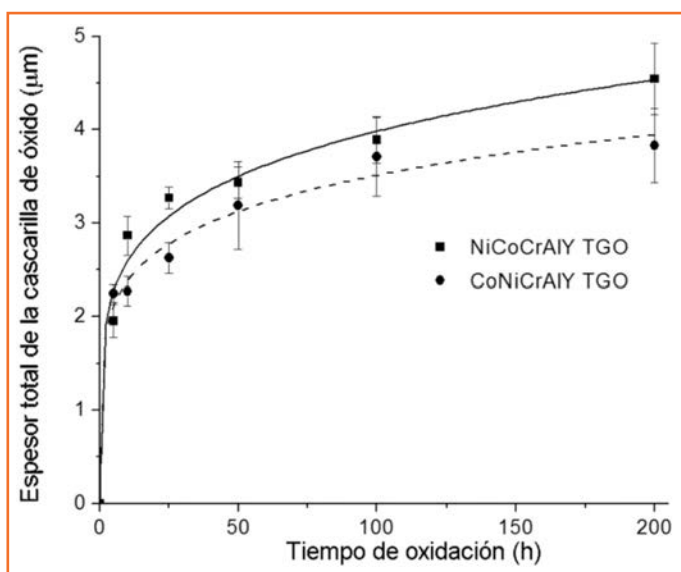


Figura 9. Evolución del espesor total de la cascarilla de óxido (TGO) con el tiempo de oxidación [15].

puede ser similar, o más delgada, que la encontrada en recubrimientos MCrAlY obtenidos por otras técnicas [9,18-20], debido a que en los procesos de proyección térmica de alta velocidad, se obtiene en los límites de grano entre las partículas parcialmente fundidas mayor cantidad de óxido (mayor contenido de oxígeno) que mejoran el crecimiento de la alúmina por la difusión del oxígeno hacia el interior del recubrimiento en la etapa de oxidación [9] y la posible influencia del espesor del recubrimiento o muestra en la prueba de oxidación a alta temperatura [21], aunque esto no se traduce en la mayoría de los casos en una TGO densa, ya que suelen encontrarse poros que pueden comprometer el sistema a alta temperatura.

4. Conclusiones

Se ha seleccionado una combinación de parámetros de procesamiento láser que aportan una energía específica de 36.67 J/mm², con la cual se logra la completa fusión de las superaleaciones MCrAlY sobre láminas de acero inoxidable austenítico AISI 304 con una alta eficiencia, logrando en los recubrimientos obtenidos una adecuada geometría, mínima dilución, bajo nivel de porosidad y buena unión metalúrgica con el sustrato. A medida que disminuye el contenido de Al, Co y Ta y se incrementa el Fe y Mn desde el borde de la intercara del cordón, disminuye la dureza, siendo éste fenómeno asociado a la disminución de la formación de la fase β durante la solidificación. La dureza en la superficie del recubrimiento casi duplica la dureza del sustrato.

Los recubrimientos láser MCrAlY obtenidos presentan una microestructura dendrítica típica de procesos de solidificación rápida. La microestructura es γ/β para los recubrimientos NiCoCrAlY y CoNiCrAlY, confirmada con DRX, con zonas ricas en Itrio encontradas en los límites γ/γ y γ/β , y distribuidas dentro de los recubrimientos. La fase β rica en aluminio es más dura que la fase β , por lo que en recubrimientos MCrAlY con microestructura γ/β se obtiene una mayor dureza con mayor cantidad de fase β estabilizada.

Los recubrimientos láser MCrAlY presentan un excelente comportamiento ante la oxidación a alta temperatura, evaluada a 1.100 °C hasta 200 horas, ya que son capaces de formar una capa estable de alúmina que actúa como barrera, restringiendo la difusión del oxígeno al interior del recubrimiento y hacia el sustrato. El plaqueado láser coaxial es una buena alternativa a los procesos de proyección térmica, ya que genera una distribución uniforme de las partículas o zonas ricas en itrio en

la microestructura que favorecen el crecimiento de una capa estable, adherente, gruesa y compacta de alúmina con el tiempo de oxidación.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España la financiación recibida a través del proyecto de investigación MAT2011-28492-C03. El profesor Juan Carlos Pereira Falcón agradece la beca CD-3997-2011 concedida por la Universidad de Carabobo en Venezuela para realizar sus estudios doctorales. Este trabajo se ha desarrollado de manera conjunta entre el Instituto de Tecnología de Materiales de la Universidad Politécnica de Valencia y el Centro de Investigaciones Tecnológicas de la Universidade da Coruña campus Ferrol en España.

Referencias

- [1] M.J. Pomeroy, Materials and Design 26 (2005) 223-231.
- [2] W.M. Steen, Laser Material Processing (3rd ed.), Springer-Verlag, London-Berlin Heidelberg (2003).
- [3] U. de Oliveira, V. Ocelik, J.Th.M. De Hosson, Surface and Coatings Technology 197 (2005) 127-136.
- [4] G. Marginean, y D. Utu, Applied Surface Science 258 (2012) 8307-8311.
- [5] F. Stott, Tribology International 35 (2002) 489-495.
- [6] P. Wright, A. Evans, Current Opinion in Solid State and Materials Science 4 (1999) 255-265.
- [7] T. Nidjam, C. Kwaernaak, W. Sloof, Metallurgical and Materials Transactions A 37(3) (2006) 683-693.
- [8] T. Nidjam, L. Jeurgens, W. Sloof, Acta Materialia 53 (2005) 1643-1653.
- [9] T. Nijdam, W. Sloof, Oxid Met. 69 (2008) 1-12.
- [10] C. Zhu, A. Javed, P. Li, Y. Liang, P. Xiao, Surf. Interface Anal. 45 (2013) 1680-1689.
- [11] J. Pereira, J. Candel, J. Amado, V. Amigó, Rev. LatinAm. Metal. Mat. 34(2) (2014) 209-217.
- [12] M. Tobar, J. Amado, A. Yáñez, J. Pereira, V. Amigó, Physics Procedia 56 (2014) 276-283.
- [13] J. Pereira, J. Zambrano, C. Afonso, V. Amigó, Materials Characterization 101 (2015) 159-165.
- [14] H. Wang, D. Zuo, J. Yan, M. Huang, X. Li, Oxid Met. 74 (2010) 49-60.
- [15] J. Pereira, J. Zambrano, M. Tobar, A. Yáñez, V. Amigó, Surface & Coatings Tech. 270 (2015) 243-248.
- [16] M. Di Ferdinando, et al. Surface & Coatings Tech. 204 (2010) 2499-2503.
- [17] P. Richer, M. Yandouzi, L. Beauvais, B. Jodoin, Surface & Coatings Tech. 204 (2010) 3962-3974.
- [18] P. Song, et al, Materials and Corrosion 62 (2011) 699-705.
- [19] J. Toscano, et al, Surface & Coatings Tech. 201 (2006) 3906-3910.

Fabricamos:



MAQUINARIA INDUSTRIAL DE LAVADO Y DESENGRASE PARA TODO TIPO DE PIEZAS

ESTUFAS ESTÁTICAS Y CONTINUAS HASTA 600°C PARA CALENTAR Y SECAR

HORNOS INDUSTRIALES HASTA 1300°C

INSTALACIONES PARA EL PINTADO DE PIEZAS DIVERSAS

- MÁQUINAS PARA TRATAR SUPERFICIES: - Lavar, - Desengrasar, - Fosfatar...

- HORNOS Y ESTUFAS PARA: - Templar, - Secar, - Fundir, - Cocinar ...

- INSTALACIONES DE PINTURA: - Lavado, - Fosfatado, - Pintado, - Secado...

Bautermic S.R.L.



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

SU MEJOR COMUNICACIÓN

REVISTAS PROFESIONALES DEL SECTOR INDUSTRIAL

Estrenamos Nueva Web

www.pedeca.es

¡PREGUNTE POR NUESTROS PACKS DE PUBLICIDAD IMPRESIÓN + DIGITAL!

- 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



PEDECA press Publicaciones

SOMOS SU MEDIO

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

Técnicas de metalografía y optimización de la preparación de muestras

Por Instituto de Fundición TABIRA

La preparación de muestras metalográficas para el examen estructural de materiales y aleaciones, requiere de la ejecución de un método sistemático para optimizar sus resultados. Conocida la complejidad que supone este proceso para las empresas, se han planteado durante los días 14 a 17 de febrero unas jornadas teórico-prácticas para profundizar en la preparación de este tipo de muestras, promoviendo mejorar así su conocimiento sobre estas técnicas.

Este Workshop Técnico, organizado por la compañía IZASA SCIENTIFIC, el Instituto de Fundición TABIRA y el Centro de Investigación Metalúrgica IK4-AZTERLAN, permitió celebrar en las instalaciones de este último un seminario práctico, en el que los asistentes pudieron traer sus propias muestras para realizar una optimización de sus procesos actuales, así como profundizar en el desarrollo de nuevos métodos de preparación.

A través de la colaboración de especialistas de las compañías METKON, EMCOTEST y NIKON, además de las anteriormente citadas, se exploraron las técnicas de Metalografía, dedicando especial atención al Corte, Montaje, Esmerilado y Pulido, Microscopía y Dureza.

Además de un importante despliegue de especialistas en todas estas técnicas, se contó con un completo equipamiento para las sesiones prácticas, cubriendo todo el proceso metalográfico: Cortadora, Pulidora y Embutidora, Microdurómetro semi-automático, metalógrafos para optimización de los métodos, Microscopio Nikon con estativo motorizado, Software de análisis de imagen NIS de Nikon, Microscopio electrónico Neoscope



Más de 80 profesionales de cerca de 50 compañías y centros tomaron parte en los dos grupos de trabajo de este Workshop Técnico.

JCM-6000 Plus, así como todos los consumibles necesarios.

Tras la correspondiente bienvenida a los asistentes por parte del Sr. José Javier González, del Instituto de Fundición TABIRA, el Sr. Javier Santamaría, Técnico de IZASA SCIENTIFIC, dio inicio a la primera parte de este encuentro de trabajo, presentando tanto el programa como el equipo de profesionales y equipamiento con que se desarrollaría la actividad.

La jornada teórico-práctica se inició con una Introducción a la metalografía y preparación de muestras, que fue desarrollada tanto en inglés como en castellano por el Sr. Pablo Álvarez, Materialographic Product Manager de IZASA SCIENTIFIC y el Sr. Irfan Karaali, (M.Sc. Metallurgical Engineer) Lab. & Application Manager en METKON INSTRUMENTS INC.



El Sr. Javier Santamaría, de IZASA SCIENTIFIC, introduciendo las claves del programa de trabajo a uno de los grupos asistentes a este Workshop.

Su ponencia conjunta se inició con la descripción básica de la metalografía como el método sistemático que nos permite examinar tanto la microestructura, como la macro estructura de los materiales. El rango de trabajo de la metalografía cubre así desde unidades de micra hasta milímetros.

Se comentaron a continuación los límites de la metalografía, tanto a nivel macro como micro. En el primero, se dieron ejemplos concretos de cómo en algunos casos no es necesaria la preparación de superficies (se pudieron ver ejemplos de análisis de fracturas y de inspección y estudio de soldaduras). A nivel micro, se destacó la importancia que tiene la selección de la muestra, ya que ésta deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Describe adecuadamente la situación real del material, es representativa del material base de estudio.
- Es susceptible de poder cortarse.
- Tiene el menor tamaño posible para ser atacada.

En cuanto a equipamientos y consumibles, el conocimiento de estas técnicas y la experiencia previa resultan clave en las aplicaciones principales de las mismas.

Parte de este conocimiento práctico indica que en la preparación será fundamental no deformar la muestra, ni destruir las evidencias a examinar. No se deben alterar las propiedades intrínsecas del material. Tras el proceso de corte, la muestra se debe poder lijar y pulir para eliminar la deformación generada en el corte.

Las etapas de preparación del material habituales para su posterior inspección y/o estudio serán las siguientes:

1. Operación de corte.
2. Operación de embutición (caliente/frío), en el caso de que fuera necesario.

3. Operación de Lijado y Pulido.
4. Ataque.
5. Análisis de imagen (microscopía óptica y electrónica).
6. Medida de dureza.

Durante el Workshop, se desarrollaron contenidos tanto técnicos como prácticos para todos estos pasos.



Los Sres. Irfaan Kaarali (METKON INSTRUMENTS INC.) y Pablo Álvarez (IZASA SCIENTIFIC), desarrollando una introducción conjunta a las técnicas de metalografía.

Tras la contextualización inicial, se hizo una presentación teórica de cada una de las fases de preparación de muestras. Estas presentaciones se desplegaron a lo largo de las distintas sesiones del Workshop, de forma combinada con las demostraciones prácticas.

La primera de estas exposiciones presentó el Proceso de CORTE. La mayoría de las muestras metalográficas deben ser cortadas para reducir sus dimensiones, obtener el área de interés y para su manipulación. Se requiere un buen corte metalográfico para minimizar el daño en el material, el cual podría afectar a la microestructura y producir una falsa caracterización metalográfica.

Un buen corte metalográfico requiere también una correcta selección del tipo de abrasivo, tipo de ligante y tamaño, así como una adecuada velocidad, fuerza y refrigeración de la muestra. Los parámetros que van a afectar a la calidad del corte son: la velocidad de giro del disco de corte, la fuerza aplicada en el corte y el tipo de disco de corte.

Dependiendo de cada tipo de material, la operación de corte puede ser llevada a cabo mediante discos abrasivos (para metales ferrosos, no ferrosos, composites, etc.) o mediante discos de corte de diamante (para cerámicas, vidrios, componentes electrónicos, biomateriales, minerales). La selección del disco de corte se hará en función de la dureza del material a cortar, por lo que



Sr. Irfan Kaarali (METKON INSTRUMENTS INC.), desarrollando el contenido teórico de uno de los procesos presentados.

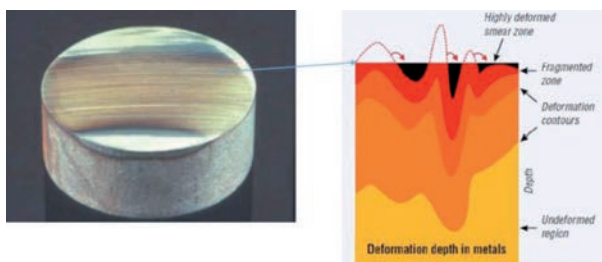
TIPO DE LIGANTE DEL DISCO DE CORTE			
DURO	MEDIO	BLANDO	EXTRA-BLANDO
<23 HRC	23-50 HRC	50-60 HRC	>60 HRC
DUREZA DEL MATERIAL A CORTAR			

para un material blando usaremos un disco duro, y para un material muy duro, un disco muy blando.

Cuando nos referimos a discos de corte abrasivo según su dureza, realmente hacemos referencia a las propiedades del ligante. Los discos duros, retienen los gránulos del abrasivo mejor que los discos blandos, y es por ello que se utilizan para el corte de materiales blandos y dúctiles, en los que no se necesita una renovación continua de las partículas de abrasivo para realizar el corte. En el caso de los discos blandos, el ligante permite la renovación casi constante de las partículas abrasivas, por lo que son estos discos los indicados para el corte de materiales duros y quebradizos.

Se detallaron en este punto los distintos métodos de corte (table feed cutting, chop cutting, diagonal cutting...) y el equipamiento necesario para cada uno de ellos.

Siempre se debe tener en cuenta que una mala elección de los parámetros de corte puede generar deformaciones que aunque parezcan superficiales, no lo son:



Finalmente, la ponencia terminó detallando también las características del corte de precisión, usado fundamentalmente con materiales en los que se requiere una ausencia de deformación: metales, cerámicas, componentes electrónicos, biomateriales, minerales, cristales, etc.

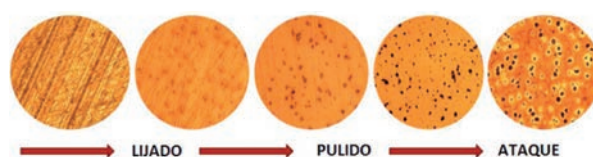
La siguiente presentación permitió conocer en detalle la Operación de EMBUTICIÓN. Este proceso, ya sea en caliente o en frío, ofrece una serie de beneficios en el trabajo de preparación metalográfica:

- La embutición mejora el manejo y la manipulación de las muestras que tengan geometrías irregulares, y sobre todo es necesaria para los procesos automáticos de preparación.
- La embutición asegura una conservación perfecta de los bordes de la muestra.
- La embutición hace que la resina rellene los huecos en materiales porosos.

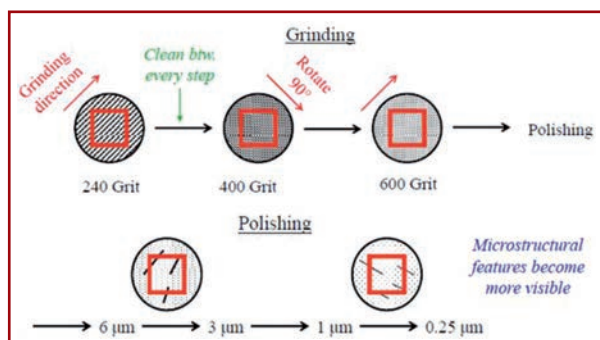
Para metales, el montaje por compresión o en caliente es muy utilizado. Las resinas fenólicas son muy populares debido a su bajo coste. Las resinas epoxy y diaftaláticas son muy populares en las aplicaciones en las que se requiere una buena retención del borde, y la dureza del material lo requiere. Las resinas acrílicas para el montaje en caliente dotan a la muestra de una excelente transparencia, indicadas especialmente para muestras en las que se quiere ver la geometría de la muestra, para el estudio de zonas muy particulares. Destacar que en el proceso de montaje, siempre se debe buscar una resina que tenga unas propiedades (dureza) similares a la de la muestra.

El proceso de montaje o embutición en frío está principalmente indicado para materiales que pueden sufrir alteraciones al ser sometidos a presión y temperatura, como por ejemplo para componentes electrónicos, cerámicas, etc.

La siguiente operación a ser expuesta fue la Técnica de LIJADO Y PULIDO. La finalidad del proceso de lijado y pulido es la de eliminar el daño producido durante la operación de corte, conseguir una superficie totalmente plana de la muestra y eliminar el material cerca de la zona de interés.



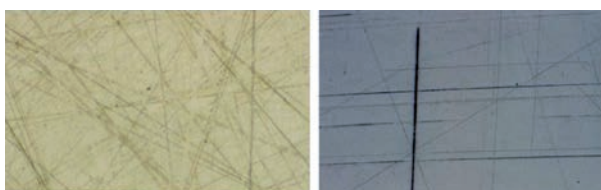
Los parámetros a tener en cuenta en el proceso son la presión de lijado/pulido sobre las muestras, la velocidad relativa del giro de las muestras, y la dirección del lijado/pulido. El mecanismo de este proceso queda recogido en el siguiente gráfico:



Se detallaron las características y aplicaciones de los abrasivos más comunes (carburo de silicio (SiC), alúmina, diamante), así como ejemplos de sistemas y consumibles, mostrando una comparativa entre ellos (ventajas y desventajas).

Se profundizó en los defectos típicos en la preparación y la solución a cada problema, algunos de los cuales detallamos a continuación:

- **RAYAS:** Surcos que aparecen en la superficie de una muestra y son producidas por los bordes de las partículas de abrasivo del lijado. Tras el pulido fino, siguen estando presentes las rayas producidas en los primeros pasos del lijado. Una de las medidas para evitarlo es lavar la muestra tras cada paso, evitando contaminación con abrasivo en pasos posteriores.



- **REBABAS:** las causas son una mala elección del disco de corte, una mala sujeción de la muestra, o una inadecuada velocidad de alimentación de la muestra. Se soluciona seleccionando el disco de corte correcto (disco duro para muestras blandas), anclando bien la muestra y disminuyendo la velocidad al final de la preparación.
- **REDONDEO DE BORDES:** como consecuencia de la utilización de un paño excesivamente elástico, que elimina el material tanto de la superficie de la muestra

como de los bordes. Mala elección de la resina de montaje, que se elimina antes que el material. Habrá que seleccionar la resina adecuada, que ofrezca una buena adherencia entre la muestra y la resina.

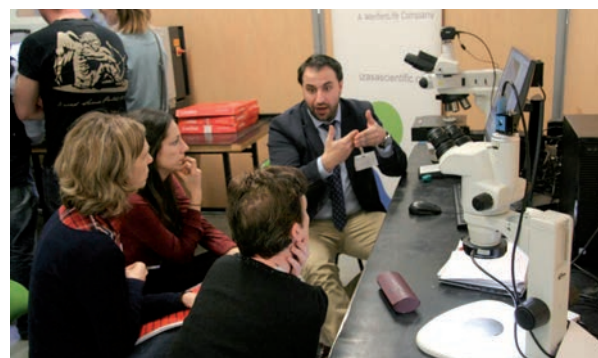
Finalmente, se detallaron los diferentes tipos de inspecciones (aluminio, cobre, acero, bandeado de ferrita-perlita, endurecimiento, nitruración...).

El último de los pasos explicados por los Sres. Pablo Álvarez e Irfan Kaarali, fue la Operación de ATAQUE. Este paso consiste, tal y como detallaron los ponentes, en el uso de químicos para disolver selectivamente la superficie del material y así revelar los detalles de la micro-estructura. El ataque se puede realizar de diferentes formas:

Hay que tener en consideración lo siguiente:



- Los límites de grano son más susceptibles al ataque.
- Se pueden revelar como una línea negra, debido al cambio en la orientación de los cristales de la estructura.



Sr. Pablo Álvarez (IZASA SCIENTIFIC), en un momento de su exposición práctica.

La siguiente presentación teórica fue realizada por la Sra. Lucía Rancel, Key Account Manager and Product Manager of X-Ray and Electron Microscopy Division en IZASA SCIENTIFIC. La ponente realizó una completa exposición sobre la técnica de Microscopía electrónica de barrido.

En el área de la metalografía, el uso del microscopio electrónico de barrido es una técnica que permite el estudio de muestras a mayores aumentos y con mayor profundidad de foco. La microscopía electrónica de barrido consiste en la iluminación de una muestra mediante un haz de electrones, que se conforma mediante lentes magnéticas y que se desplaza sobre la muestra mediante unas bobinas de barrido. En este proceso se generan distintas señales: señal de electrones secundarios, eminentemente topográfica, señal de electrones retrodispersados, de tipo composicional y con influencia del número atómico, y señal de rayos X que permite conocer el espectro y por tanto la composición punto a punto, en el conjunto de la imagen o en forma de mapeado separando los distintos elementos que componen la muestra.

En el análisis metalográfico, esta técnica resulta muy útil para el trabajo a grandes aumentos (a partir de x5.000) y es adecuado para la evaluación de las fracturas, de la estructura de grano de diferentes metales, materiales y revestimientos, microsegregación química, inclusiones, porosidad, formación de carburos en los límites de grano, inclusiones, estudio de secciones transversales para examinar defectos, contaminantes, grietas o para estudiar y determinar las causas de fallo en piezas, siendo el complemento ideal a la microscopía óptica y a las distintas técnicas de caracterización de materiales metálicos.

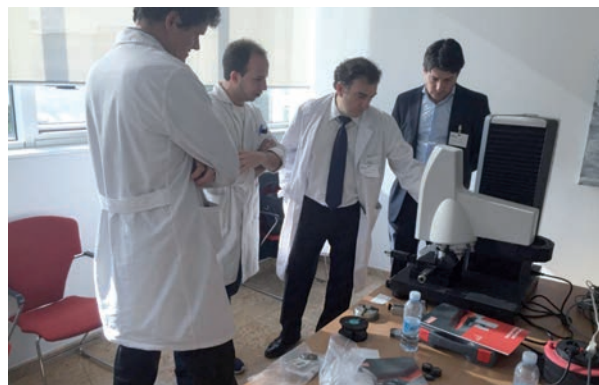
En este marco, se presentó el microscopio electrónico de sobremesa Neoscope JCM-6000Plus de la marca Je-



Sra. Lucía Rancel (IZASA SCIENTIFIC), derecha, junto con especialistas de METKON.

ol, una nueva herramienta de imagen avanzada que se puede emplear para inspección industrial y de investigación. El JCM-6000 proporciona, de forma rápida, imágenes que permiten ir del macro a micro trabajando desde x22 hasta x60.000 aumentos de manera automática, mediante panel táctil realizando las operaciones de forma intuitiva y sencilla, sin necesidad de un usuario avanzado para su manejo.

La jornada continuó con una ponencia del Sr. Julián Serrano, Product Manager Material Testing en IZASA SCIENTIFIC, que versó sobre Microscopía Óptica y sus aplicaciones.



Sr. Julian Serrano (IZASA SCIENTIFIC), centro, manipulando el equipo en una demostración práctica.

Un microscopio óptico es un instrumento diseñado para hacer visibles detalles finos, mediante dos lentes para obtención de imágenes a gran aumento a partir de muestras de muy pequeño tamaño. La primera lente es llamada objetivo y la segunda, lente ocular. Así, produce una imagen aumentada de una muestra, separa detalles en la imagen y hace visibles estos detalles al ojo humano.

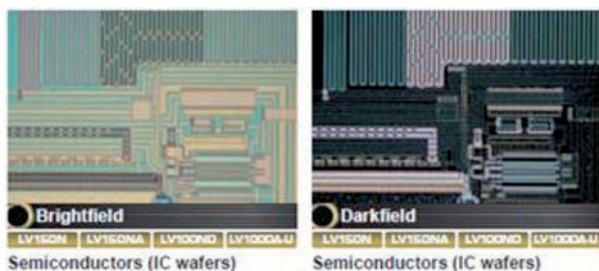
Para la metalografía necesitamos que la iluminación sea episcópica (luz reflejada), ya que las muestras son opacas, y el haz de luz no podrá transmitirse a través de ella. Asumido esto, los microscopios empleados en metalografía pueden ser:

- Directos: En estos microscopios el sistema de iluminación se encuentra por debajo de la muestra, mientras que las lentes de formación de la imagen se encuentran por encima.
- Invertidos: En estos microscopios el sistema de iluminación se encuentra por encima de la muestra, mientras que las lentes de formación de la imagen se encuentran por debajo de la misma.

- **Estereoscópicos:** En estos microscopios cada ocular obtiene su imagen por una vía óptica diferente, lo que permite una visión estereoscópica de las muestras.

Las técnicas más empleadas en la metalografía son el campo claro y el campo oscuro. Campo claro es la técnica más sencilla, en la que se observan las diferencias intensidad y de color de la muestra. Se visualizan muestras que poseen objetos de amplitud con la que se obtienen imágenes de alto contraste que el ojo humano detecta fácilmente.

En la técnica de campo oscuro, la muestra se ilumina del modo más lateral posible de forma que ningún haz de luz directo alcanza el objetivo. Sólo los haces de luz que se difractan al pasar por la muestra entran en el objetivo y por tanto sólo esos rayos son los que forman la imagen de campo oscuro. La imagen en campo oscuro siempre tiene un fondo negro (no entra luz directa del condensador al objetivo), dando la impresión que los objetos de la muestra brillan sobre ese fondo.



La última de las técnicas presentadas a nivel teórico fue la Teoría de ensayos de dureza, realizada por la compañía EMCO-TEST PRÜFMASCHINEN GMBH.

La dureza es la resistencia que ofrece un material a ser rayado por otro, siendo algo que el hombre ha necesitado saber desde tiempos inmemoriales para poder elaborar armas y utensilio de corte. En la actualidad existen cuatro principales métodos de medición de dureza, atendiendo a si la medida se realiza conociendo la profundidad de penetración de la huella (método Rockwell) o conociendo la medida del tamaño de la impresión de la huella del penetrador (métodos Brinell, Vickers, Knoop).

Cada uno de ellos tiene sus ventajas e inconvenientes y debemos elegir uno u otro dependiendo del material, su dureza, tamaño, geometría, número de puntos a ensayar, precisión y mantener siempre unas distancias específicas entre puntos de ensayo.

El método Rockwell es el más rápido de realizar, se necesitan menos de 10 segundos para conocer el valor de dureza, pero necesitamos de amplia variedad de penetradores y cargas dependiendo del material y es menos preciso que los métodos con medición óptica.

Los métodos Brinell, Vickers y Knoop requieren de mayor tiempo de ejecución, en torno a 30s, ya que necesitan de un sistema óptico de medición. El método Brinell se utiliza principalmente en materiales con grandes tamaño de grano, piezas con acabados rugosos que no necesitan una preparación especial, mientras que los métodos Vickers y Knoop se aplican en materiales con buen acabado superficial tras proceso metalográfico. Además, el método Vickers se emplea de forma habitual en la determinación de espesores de capa endurecida tras tratamientos térmicos superficiales, mientras que el Knoop se orienta más en la determinación de durezas de materiales cerámicos y también de poco espesor, donde la dureza pueda verse afectado por el espesor de la misma.

Se revisaron valores típicos de dureza en diferentes materiales, y se compartieron consideraciones de tipo práctico sobre la elección del método de análisis a emplear. También se detallaron diversas normativas europeas vigentes (ISO 2639, DIN 50190-1, ISO 4507, DIN 50190-3) y los requisitos incluidos en las mismas.

El programa del Workshop incluyó cada día una serie de prácticas con todos los equipos disponibles. Estas prácticas permitieron a los asistentes complementar los conocimientos adquiridos en las sesiones teóricas, teniendo a su disposición el ya detallado equipo de expertos, al que se agregaron Javier Santamaría, Javier Mendiá y Sonia Fernández (IZASA SCIENTIFIC), Faruk MUZAFFER (Lab & Application Engineer, METKON) y Deniz Akman (NIKON), recorriendo con ellos todas las fases del proceso metalográfico.

Como conclusión, la celebración de este encuentro de trabajo teórico-práctico ha permitido a las empresas asistentes profundizar en la mejora y optimización de sus procesos actuales, así como el desarrollo de nuevos métodos de preparación de muestras.

El conocimiento técnico y práctico desplegado a lo largo de las distintas sesiones y la posibilidad de realizar prácticas sobre un equipamiento que cubría todo el proceso metalográfico, junto con la destacada y numerosa presencia de distintos especialistas en cada una de las técnicas impartidas, han permitido que el Workshop haya sido de gran interés para los asistentes.



Parte del numeroso equipo de ponentes y facilitadores de este Workshop Técnico.



Desde la organización del acto, agradecer el esfuerzo y la colaboración de los técnicos de las distintas empresas, grupos y centros que han hecho posible la coordinación y materialización de este interesante espacio técnico de trabajo.

Organizadores y entidades/compañías colaboradoras:



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 - ESPAÑA
TEL : 94.426.25.22 FAX: 94.426.22.62
info@aplitec-tt.com ; www.aplitec-tt.com ; www.bmi-fours.com

APLITEC

INGENIERÍA DE REFRACTARIOS Y COMBUSTIÓN

Compromiso y fiabilidad

DEGUISA

www.deguisa.com

TECRESA®
TECNICAS DE REFRACTARIOS, S.A.U.

SEDE CENTRAL BILBAO *Creciendo Juntos* 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. Logreza, 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 REFRACTARIAS)

Representante para España de **AUBE-LINDBERG**

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

tuv CERT
DIN EN ISO 9001:2008

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

PYRO®
CHALVIN ARNOUX GROUP

SSi SUPER SYSTEMS INC.

HITECH INSTRUMENTS LTD

WINNER TECHNOLOGY CO., LTD.
주식회사 위너테크

ENTESIS technology

Gultard 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

- ☐ 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

Utilillaje tipo mecánico, cestas, tubos radiantes
Fundición acero inoxidable refractario

APLITEC

RD
www.rdttechnology.es

CODESA
Fabricante de hornos industriales para el tratamiento térmico

EGONOX
- Sonda de oxígeno
- Regulador de atmósfera
- Supervisión de taller

APLICACIONES TERMOTECNICAS, S.L. Apdo. 4052 - 48080 BILBAO - ESPAÑA
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



Ingeniería Térmica Bilbao s.l.

Ingeniería y Productos para
Hornos y Procesos Térmicos

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

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

www.interbil.es

ARROLA®

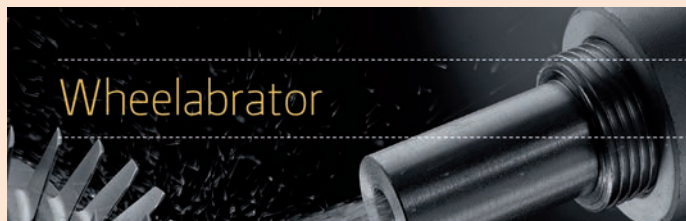
SERVICIO INTEGRAL
PARA INSTALACIONES
DE TRATAMIENTO TÉRMICO

HORNOS INDUSTRIALES

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE INSTALACIONES - ASISTENCIA TÉCNICA
METROLOGÍA Y CALIBRACIÓN - CONTROL DE ATMÓSFERA
SISTEMAS INFORMÁTICOS 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



Su Proveedor de soluciones en Tratamiento de Superficies

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

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

wheelabrator
shaping industry

www.wheelabratorgroup.com • contact@wheelabratorgroup.es

Norican Group es la empresa matriz de DISA y Wheelabrator



S. A. METALOGRAFICA
TRATAMIENTOS TÉRMICOS

NUESTROS SERVICIOS

- 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 ANTIGRIPIANTE
- NOXYT®: PAVONADO DURO
- ANÁLISIS DE MATERIALES
- ASESORAMIENTO METALÚRGICO
- CARBOVAC®: CEMENTACIÓN VACÍO
- IONIT OX®: NITROCARBURACIÓN POR PLASMA

CAPACIDADES MÁXIMAS

• TEMPLE EN VACÍO | e 1500 x 2000 mm
(Moldes hasta 2500 Kg)

• NITRURACIÓN Y
• NITROCARBURACIÓN | e 1000 x 1500 mm

• CEMENTACIÓN
• CARBONITRURACIÓN | 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



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.



**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

Pometon
Líder en fabricación y desarrollo
de granallas y polvos metálicos

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

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

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

SCHMOLZ + BICKENBACH GUSS
GmbH & Co. KG



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

www.borel-hornos.com

Hornos industriales y estufas



Borel Swiss SA

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

HOT

écnicas 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-Registadores

pirometro infrarrojo

calibración hornos de vacío

experiencia

desde -200 a 2400°C

Termopares

servicio técnico



Suministro y
Calibración
Industrial S.L.
www.sciempresa.com

sondas pt-100

instrumentación

calibración insitu

cámara termografica

calibración TUS

todo en temperatura

Indicadores

consultoría 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



Ettxerre Kaminoa 21 \
48970 Basauri \
Bizkaia \ Spain

Tel.: +34 - 944 409 420

Fax: +34 - 944 496 624

email: insertec@insertec.biz

www.insertec.biz



HORNOS INDUSTRIALES

www.alferieff.com • 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	LIBROS TRATAMIENTOS TÉRMICOS ..	37
APLITEC	47	METALMADRID	29
ARROLA	5	ONDARLAN	PORTADA
B.M.I.	47	POMETON	48
BAUTERMIC	39	PROYCOTECME	47
BOREL SWISS	49	REVISTAS TÉCNICAS	Contraportada 3
DEGUISA	47	S.A. METALOGRAFICA	48
ENTESIS	47	SAFE	15
FERROFORMA	9	SOLO SWISS	49
FLEXINOX	47	SPECTRO	49
HEA	Contraportada 4	SUBCONTRATACIÓN	Contraportada 2
HORNOS DEL VALLÉS – TECNOPIRO ..	47	SUMINISTRO Y CALIBRACIÓN	17
HOT	13	TECNYMAT	17
INSERTEC	49	TECRESA	47
INTERBIL	7	TRATER DAY	11
LEYBOLD	49	WHEELABRATOR	48



Maquetación

Tel.: 687 753 364

José González Otero

Tel.: 687 753 364

Diseño Gráfico



DE LEY PUBLICIDAD

CREATIVIDAD & COMUNICACIÓN

Diseño • Packaging • Online • Ferias • Producción Gráfica

Viriato, 2. 2º • 28010 Madrid • 91 447 56 57
deleypublicidad1@gmail.com

Próximo número

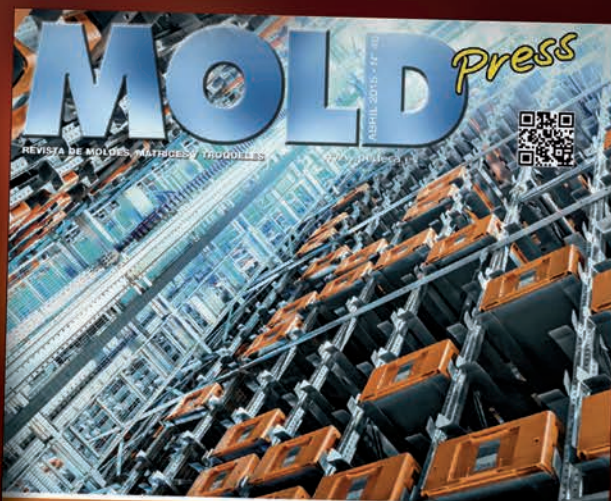
JUNIO

Nº Especial **TRASMET - SUBCONTRATACIÓN** (Bilbao).
FERROFORMA (Bilbao).

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

SU MEJOR COMUNICACIÓN

REVISTAS PROFESIONALES DEL SECTOR INDUSTRIAL



99 % DE CAPACIDAD DE SUMINISTRO.
99,9 % DE PRECISIÓN DE SUMINISTRO.
NADIE ES PERFECTO.

Una capacidad de suministro superior al 99 %, un margen de error de apenas el 0,1 % y para el 95 % de nuestros clientes, somos el proveedor preferido. Esto solo se consigue dando siempre el 100 %.
Y para nuestros clientes lo hacemos siempre.
www.halfin.es-grupos



ADAPTA
POWDER COATINGS

A12



¡Simplemente espectacular!
256 colores nuevos a la vanguardia

UN NUEVO ENFOQUE EN INNOVACIÓN
www.adaptacolor.com



www.inserotec.biz

Ingeniería y Servicios Técnicos, S.A.
Avda. Cervantes, 6 - 48970 BISAURI - Vizcaya, Spain
Tel.: +34 944 409 400 • Fax: +34 944 406 624
e-mail: inserotec@inserotec.biz

PEDECA *press* Publicaciones
S O M O S S U M E D I O

**TRATAMIENTO
TÉRMICO
DE ALEACIONES
DE METALES NOBLES
EN ATMÓSFERA
CONTROLADA**



HORNOS INDUSTRIALES

www.alferieff.com • hea@hornoshea.com

Teléfono: +34 91 639 69 11

