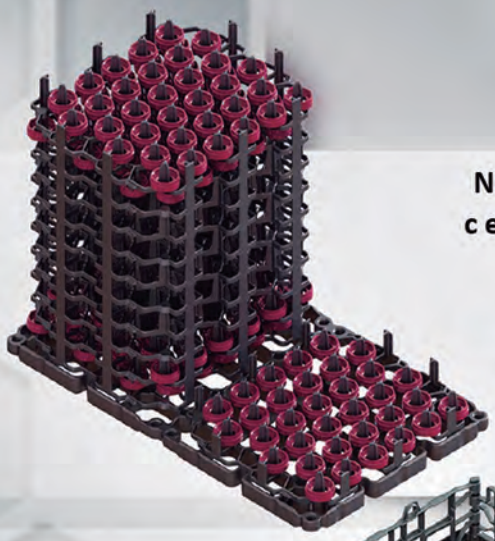
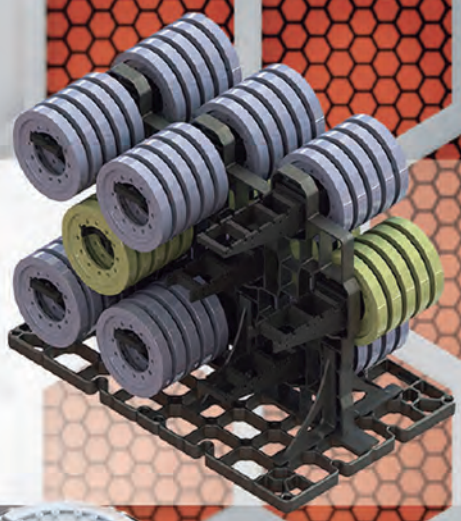
TRATER Press
JUNIO 2020 • Nº 77
REVISTA DEL TRATAMIENTO TÉRMICO
www.pedeca.es

CRONITE
Better by design

Diseño y fabricación de soportes de carga para todo tipo de hornos de Tratamiento Térmico en aceros refractarios, grafito, CFC, o soluciones mixtas





Nuevas aleaciones CR para cementación a baja presión

Nova Loada
Nuevas cestas modulables para hornos batch

Cronistar
Nuevos montajes para hornos de pote

www.cronite-group.com

Cronite Ibérica
Ilárraza, 14 - 01192 ILARRAZA (ALAVA)
Tfno. 609 419 325 - Fax +33 243 212 463
maricarmen.garcia@cronite-group.com

KNOW THE FUTURE

Bilbao-Spain,
23-27 noviembre 2020

LA TECNOLOGÍA QUE CAMBIARÁ EL MUNDO

31 BIEMH
YOU MAKE IT BIG

En paralelo

ADDIT3D
FERIA INTERNACIONAL DE FABRICACIÓN ADITIVA Y 3D

bedigital
TRANSFORMING INDUSTRY

imic
industrial maintenance innovation conference

#BIEMH2020

Colaboran:

Euskadi, bien común
EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO
EKONOMIAREN GARAPEN ETA AZPIEGITURA SAILA
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO ECONÓMICO E INFRAESTRUCTURAS

AiMHE
ASOCIACIÓN DE IMPORTADORES DE MÁQUINA - HERRAMIENTA

Organizan:

AFM Advanced Manufacturing Technologies
www.afm.es

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

Nuestra Portada

CRONITE
Better by design

Diseño y fabricación de soportes de carga para todo tipo de hornos de Tratamiento Térmico en aceros refractarios, grafito, CFC, o soluciones mixtas.

Cronite Ibérica: Ilárraza, 14 - 01192 ILARRAZA (ÁLAVA)
Tfno.: 609 419 325 - Fax: +33 243 212 463
maricarmen.garcia@cronite-group.com

Sumario • Junio 2020 - Nº 77

Información

- Global Industrie en Lyon en 2021 **4**
- Aerospace & Defense Meetings-ADM Sevilla se celebrará en el mes de febrero de 2021 **6**
- Hydro colabora en la limpieza de plásticos de los océanos **10**
- Resolución de problemas y Prevención de Agrietamiento en Temple por Inducción de Aceros: Lecciones aprendidas (y Parte 4) - *Por Gry Doyon, Dr. Valery Rudnev, Randall Minnick y Tim Toussie. Traducido por Eugenio Pardo* **12**
- ABB obtiene un pedido de convertidores, valorado en 2,5 millones de dólares, para la planta de laminación de Kanthal **18**
- Los compresores de ELGI consiguen ahorros energéticos en los procesos de fabricación en la planta de Rubber Resources de Holanda **20**
- Detección de quemaduras de rectificado y grietas mediante corrientes Inducidas en piezas de revolución **22**
- Fórum de ARCAS - *Por Juan Martínez Arcas* **24**
- Ceit presenta las líneas estratégicas en fabricación aditiva y su nueva planta piloto de atomización **26**
- Renovación de trenes de laminación, mejoras en los cilindros de trabajo para velocidades extremas - *Por Sorin Tudor. Colaborador Konnerth Octavian* **28**
- Algunas consideraciones sobre los aceros de construcción mecánica destinados a la industria automovilística. Aceros para la fabricación de rodamientos (Parte X) - *Por Manuel Antonio Martínez Baena* **38**

Guía de compras 47

Índice de Anunciantes 50

Síguenos en

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

PEDECA PRESS PUBLICACIONES
Goya, 20, 1º - 28001 Madrid
Teléfono: 917 817 776
www.pedeca.es • pedeca@pedeca.es

ISSN: 1888-4423 - Depósito legal: M-53065-2007

Diseño y Maquetación: José González Otero
Creatividad: DELEY
Impresión: Villena Artes Gráficas

Redactor honorífico:
José María Palacios

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

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

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

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

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

Asociación colaboradora
ASAMMET Asociación de Amigos de la Metalurgia

Global Industrie en Lyon en 2021

Ante la falta de visibilidad con respecto a la evolución de la situación sanitaria y socioeconómica, y tras las declaraciones del presidente de la República, GL events ha tomado la decisión, con profunda tristeza, pero demostrando un gran sentido de responsabilidad, de no organizar la edición de Global Industrie París en 2020.

Así pues, para que sus expositores y equipos puedan preparar la próxima edición de la feria con mejores perspectivas de éxito, GL events ya anuncia la celebración de Global Industrie Lyon Eurexpo del 16 al 19 de marzo de 2021. Una edición muy ambiciosa tras la que se regresará a París en marzo de 2022, siguiendo su rotación habitual.

Philippe CONTET, Director General de la Fédération des Industries Mécaniques:

"La FIM acoge con satisfacción la decisión de GL events de cancelar la feria Global Industrie de 2020. La situación económica de las empresas hace imposible pensar en participar en una feria comercial con tranquilidad, en un momento en que la principal preocupación de todas las empresas será reanudar su actividad y generar volumen de negocios. Apoyamos la celebración del evento Global Industrie en Lyon en 2021".

Antoine de FLEURIEU, Delegado General de GIMELEC:

"La decisión de GL events es una señal extremadamente clara que, sin duda, reforzará la confianza de los visitantes y expositores, entre los que se encuentran muchos miembros de GIMELEC, en la extraordinaria herramienta en la que rápidamente se ha convertido la feria Global Industrie. GIMELEC y sus miembros ya están enfocados en la edición de 2021 de Global Industrie en Eurexpo Lyon, y nuestro sector ya ha confirmado su deseo de participar en esta próxima edición y convertirla en un éxito. Las tecnologías 4.0 de nuestros socios adquirirán entonces un significado muy especial como reconocimiento a la toma de conciencia, tanto en Francia como en Europa, de la importancia de la soberanía industrial para permitir a un país resistir a una crisis como la del COVID-19".

Olivier DARIO, Delegado General SYMOP:

"Symop apoya totalmente la decisión de GL events. En el contexto de este excepcional cese de actividad que estamos experimentando, es necesario permitir que la industria se reorganice gradualmente. El Symop asistirá a la cita de la Global Industrie de 2021 en Lyon. Ahora más que nunca, nos involucraremos con nuestros socios y asistiremos a los eventos de GL events para hacer de esta edición un momento especialmente fuerte, orientado hacia la recuperación de la actividad y con una visión de apoyo de Francia hacia su industria".

Sébastien Gillet, Director de Global Industrie

"En primer lugar, quisiera agradecer a nuestros clientes y socios institucionales su implicación, lealtad y compromiso con nuestras ferias y, por supuesto, a nuestros proveedores de servicios y equipos, por toda la energía que han desplegado en este contexto excepcionalmente difícil. El período que estamos atravesando implica un complejo, pero necesario, proceso de toma de decisiones. Sin embargo, sigo convencido de que nuestras decisiones son las más apropiadas para cada situación. Ahora más que nunca, nuestros valores, que son los negocios y la convivencia, adoptarán su significado. Me gustaría dar las gracias a las autoridades ministeriales que están a nuestro lado durante este complicado período y que han reafirmado su apoyo a nuestros eventos".

HORNOS A GAS PARA TRATAMIENTO TÉRMICO DE ACEROS

HEA
SINCE 1945

HORNOS INDUSTRIALES

www.alferieff.com • hea@hornoshea.com
Teléfono: +34 91 639 69 11

Aerospace & Defense Meetings-ADM Sevilla se celebrará en el mes de febrero de 2021

La organización de Aerospace and Defense Meetings-ADM Sevilla 2020 ha decidido trasladar su celebración hasta el 3 y 4 de febrero de 2021, manteniendo así el compromiso de celebrar la quinta edición del mayor evento de negocios del sector aeroespacial del sur de Europa, aunque cambiando las fechas inicialmente previstas, del 16 al 18 de junio de 2020, por los efectos en la movilidad que ha causado la expansión del COVID-19.

ADM-Sevilla anuncia nuevas fechas atendiendo a las demandas de sector, para garantizar la máxima afluencia de compradores y agentes internacionales y, con ello las mayores posibilidades de negocio.

El encuentro se celebra desde 2012 con carácter bienal en FIBES Sevilla, organizado por la Consejería de la Presidencia, Administración Pública e Interior, a través de Extenda-Agencia Andaluza de Promoción Exterior, y por la empresa francesa BCI Aerospace, especialista en reuniones internacionales del sector aeronáutico.

ADM Sevilla es el mayor evento del sector aeroespacial de España y del sur de Europa, en el que participa como principal patrocinador Airbus Group. Igualmente, actúan como patrocinadores los tres fabricantes de primer nivel (Tier1) de aeroestructuras de España, Aernnova, Alestis y Aciturri; así como otras importantes empresas del sector: Sofitec, Grupo Sevilla Control, UMI Aero Group y Aerotecnic.

La cita cuenta, además, con el apoyo como colaboradores del resto de la industria aeroespacial española, con Tedae (Asociación Española de Empresas Tecnológicas, de Defensa, Aeronáutica y Espacio), y andaluza, con Andalucía Aerospace (clúster aeroespacial de Andalucía). Igualmente, apoyan el evento como colaboradores la Agencia IDEA, de la Consejería de Economía, Conocimiento, Empresa y Universidad, a través del proyecto común 'Invest in Andalucía'; Aerópolis, Parque Aeroespacial de Andalucía; el Parque Tecnológico TecnoBahía; CATEC-Centro Avanzado de Tecnologías Aeroespaciales; e Invest in Spain, a través de ICEX, del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.

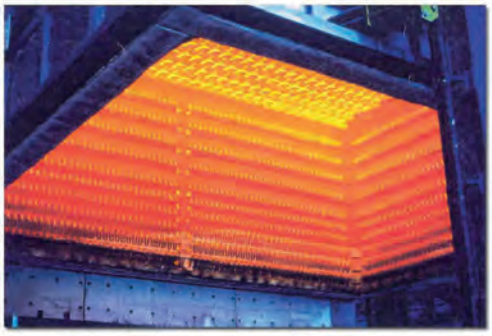
Apuesta por su celebración

El consejero delegado de Extenda, Arturo Bernal, señaló que, con esta decisión del comité organizador, "Extenda en particular y el Gobierno andaluz en su conjunto, atienden las demandas del sector aeronáutico para asegurar la celebración, con todas las garantías, de una cita clave como ADM Sevilla, que requiere de una logística milimétrica, al reunir a empresas y operadores de decenas de países".

En este sentido Bernal destacó que "desde Extenda mantenemos nuestro compromiso y coordinación con el sector, para sacar el máximo rendimiento de este encuentro capital para la internacionalización de una industria estratégica en nuestra región, a través de la cual Andalucía se sitúa en el circuito internacional de los negocios aeronáuticos en el mundo".

"Apostamos, ante todo, con citas como esta, por convertir la internacionalización de nuestras empresas, una vez superemos esta situación sanitaria, en punta de

Hornos
Laboratorio e industriales



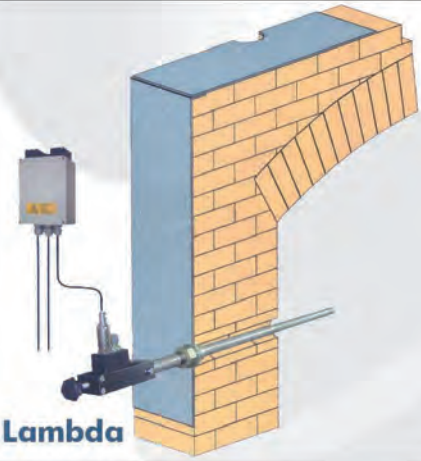
Quemadores
recuperativos y regenerativos

Reguladores de Potencia
a Tyristores:

AEG
Power supply systems

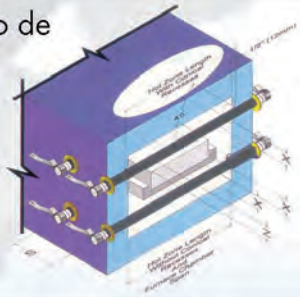
Equipos de control de atmosferas:

mesa
electronic



Sonda Lambda

Carburo de Silicio



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

MoSi2 (Hasta 1800°C)

Interbil
Ingeniería Térmica Bilbao s.l.

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

www.interbil.es

SYSTEM CERTIFICATION ISO 9001:2000 SGS ACREDITADO POR ENAC

lanza para relanzar la economía andaluza tras la crisis del Covid-19", apuntó Bernal. Para ello, avanzó, "el Gobierno andaluz ha aprobado en su última reunión la formulación del 'Plan Activa Internacional', que está diseñado para responder a las necesidades de las empresas en esta coyuntura y en el que el sector aeroespacial es un sector esencial por su afectación en el contexto internacional".

ADM Sevilla, sello de internacionalidad

ADM Sevilla es la única cita de todo el panorama ferial de Andalucía que en 2020 ha alcanzado la catalogación de 'Feria de Internacionalidad Completa' que otorga el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.

Este evento ocupará más de 9.000 metros cuadrados de zona expositiva en el Hall 1 de Fibes. En su anterior edición, la de 2018, participaron un total de 1.221 profesionales de 375 empresas procedentes de 28 países.

Es un 10% más de profesionales y una presencia más cualificada de contratistas internacionales que en la edición previa, hasta el punto de que dos de cada tres de las empresas asistentes en esta categoría eran extranjeras, consolidando así su carácter de feria internacional y la consideración de evento de referencia del sector aeroespacial de España.

Al igual que en las anteriores ediciones, la organización de ADM Sevilla 2020 por parte de Extenda será cofinanciada con fondos procedentes de la Unión Europea a través del P.O. FEDER de Andalucía 2014-2020, dotado con una contribución comunitaria del 80%.

metalmadrid `20

30 SEPT & 1 OCT | FERIA DE MADRID

VIVE EL PODER DE LA TRANSFORMACIÓN INDUSTRIAL

Celebrado con:

ADDITIVE MANUFACTURING

CONNECTED MANUFACTURING

ROBOTIC ENGINEERING

composites spain`20

Gold Sponsors

FUCHS · Hoffmann Group · SCHUNK · TRUMPF

Event Partners

lantek · AEMAC

Regístrate gratis online con el código 11021

en www.metalmadrid.com/entradas

¡Síguenos!

Hydro colabora en la limpieza de plásticos de los océanos

Hydro, compañía referente mundial en el mercado del aluminio, suministra este material para la fabricación del interceptor de segunda generación de The Ocean Cleanup, la primera solución escalable para interceptar eficientemente el plástico en los ríos, antes de que llegue a los océanos. Su solución utiliza aluminio resistente a la corrosión.

"El plástico que invade nuestros océanos es un problema medioambiental de primer orden-señala Ana Vázquez, Vicepresidenta en España de Hydro Extrusion-por ello, con motivo de la celebración del Día Mundial de los Océanos, queremos dar visibilidad y concienciar sobre este tema, así como poner en valor, la aportación que puede hacer un material como el aluminio a las soluciones que se están desarrollando en este ámbito".

Ocean Cleanup necesitaba un elemento estructural ligero y asequible que ofreciera posibilidades de escalabilidad e integración de piezas. El aluminio resultó ser una alternativa viable. El aluminio también fue una elección lógica debido a su resistencia a la corrosión en aguas abiertas.

Ocean Cleanup es una organización sin ánimo de lucro

cuyo objetivo es detener el 80% del plástico que proviene de los ríos hacia los océanos, enfocándose en los 1.000 ríos más contaminantes del mundo, antes de 2025.

El aluminio es uno de los metales medioambientales más limpios y sostenibles del mercado. Sus múltiples cualidades han permitido que sea considerado uno de los metales "del futuro".

Este metal destaca por su ligereza, cuya densidad es 1/3 de la del acero, permite por ejemplo que los vehículos sean más ligeros, lo que se traduce en menor consumo de energía y una reducción en las emisiones de CO_2.

Además es uno de los pocos metales que permite un alto porcentaje de reciclabilidad. Un 75% de todo el aluminio producido sigue en uso y en el proceso de reciclaje se emplea sólo el 5% de la energía necesaria para su producción a partir de la bauxita. En España y Portugal, Hydro cuenta con fundiciones donde produce aluminio reciclado.

Por último, por su alta conductividad, es un superconductor para el calor y la electricidad, siendo apropiado su uso en sistemas de eficiencia energética.

BATALHA / PORTUGAL

3D ADDITIVE EXPO

Feria Internacional de fabricación aditiva y impresión 3D

i4.0expo

Feria de la industria 4.0, automatización y robótica

SUB CONTRA TAÇÃO

Feria de procesos y equipos para la producción

¡El futuro es ahora!

24 a **26** Septiembre **2020**

Esta invitación solo será **válida previa acreditación** a través del link: https://a.beamian.com/#/event/live/3dadditive

PARA MÁS INFORMACIÓN:

rogeriohenriques@exposalao.pt 00 351 914 924 726
carlapereira@exposalao.pt 00 351 244 769 492

organização: EXPOSALÃO

Resolución de problemas y Prevención de Agrietamiento en Temple por Inducción de Aceros: Lecciones aprendidas (y Parte 2.3)

La segunda parte de este artículo dividido en tres, continúa desarrollando el estudio del temple por inducción, proporcionando pautas adicionales para la resolución de problemas y remedios, para minimizar la probabilidad de agrietamiento en la práctica industrial.

Por Gary Doyon, Dr. Valery Rudnev, Randall Minnick y Tim Boussie (Inductoheat Inc., an Inductotherm Group company).
Traducido por Eugenio Pardo (Ondarlan Inductotherm Iberia, an Inductotherm Group company)

Con objeto de minimizar al máximo la probabilidad de agrietamiento, la tecnología SHarP-C™ sin necesidad de rotación es muy efectiva a la hora de templar el contorno de los lóbulos de árboles de levas y cigüeñales. La figura 7, izda, muestra una máquina CamPro® que utiliza la tecnología SHarP-C™; en el centro de la Figura 7 se muestra el diseño de un inductor multi- lóbulo, y en la Figura 7 (derecha) tenemos un patrón de durezas. La experiencia demuestra que una máquina CamPro® no sólo reduce el consume de energía, sino que también produce árboles de levas más rectos. Algunos usuarios de máquinas CamPro® han reportado una distorsión del árbol prácticamente indetectable, una eliminación de la operación de enderezado y una apreciable reducción de chatarra [8].

Remedios comunes para minimizar la probabilidad de agrietamiento

La existencia de una interminable variedad de componentes que se templan habitualmente por inducción, nos ha enseñado a considerar varios remedios que minimizan la probabilidad de agrietamiento. Cuando hay agrietamiento, se debe iniciar una completa investigación que aplique los principios y prácticas generales del análisis de fallos [5], y deben considerarse las sutilezas de cada aplicación particular de temple por inducción. Es importante recordar que un problema de grietas a menudo es específico de cada aplicación. Por tanto, es imperativo disponer de una colección fiable

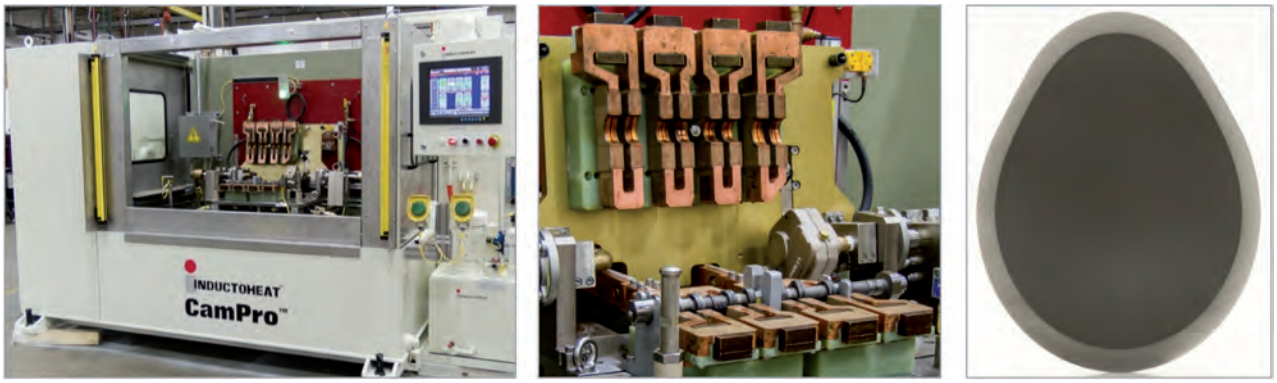


Figura 7: Equipo CamPro® que utiliza tecnología SHarP-C™ (izda.), diseño de inductor multilobular (centro), y patrón de dureza (derecha). (Cortesía de Inductoheat Inc., an Inductotherm Group Company).

de datos del caso y de la historia del tratamiento térmico.

Algunas geometrías de pieza y grados de material pueden ser propensos a determinados modos de fractura. Por ejemplo, la figura 8 muestra una variedad de grietas al tratar térmicamente engranajes y piezas similares. Incluso un rápido vistazo a la figura 8 muestra una complejidad de factores existentes, la naturaleza ambigua en el agrietamiento y en su causa raíz únicamente respecto a piezas de tipo engranaje.

A lo largo de los años, la industria ha desarrollado un número de remedios generales que pueden ayudar a eliminar los problemas de grietas en temple por inducción. A continuación enumeramos algunos de estos remedios (cuando al aplicar los remedios se modifica la receta del proceso, asegurémosnos siempre que los niveles de dureza y los patrones se hallan entre el rango "min-max" y discutamos las acciones con el cliente final):

- Determinar cuándo apareció la grieta (por ejemplo, durante el calentamiento o el enfriamiento, antes o después del revenido o tal vez es una fractura posterior al tratamiento térmico, que ocurrió tras el pulido/enderezado).
- Se debe proceder a un adecuado examen metalográfico [5] que determine la morfología de la grieta, una posible relación con la microestructura, modo de fractura y la causa más probable de la fractura.
- Verifiquemos la microestructura y composición química previas al material inicial. Observemos su limpieza, grado de heterogeneidad/segregación, tamaño de grano, presencia de imperfecciones (ejemplo, juntas, cordones), así como el tipo de inclusiones no metálicas, su composición, forma, tamaño y distribución (ASTM E45 ó ISO 4967). Las inclusiones no metálicas pueden o no pueden afectar al agrietamiento –depende–. Recordemos que la limpieza del acero no sólo afecta a la calidad del producto final (en particular vida en fatiga de componentes de transmisión altamente tensionados) pero puede afectar también a la sensibilidad al agrietamiento [1]. Si la estructura inicial del acero es apreciablemente diferente de la esperada, entonces ese problema debe remitirse al suministrador de acero. Deben tomarse las medidas oportunas, de cara a mejorar la aptitud de la estruc-

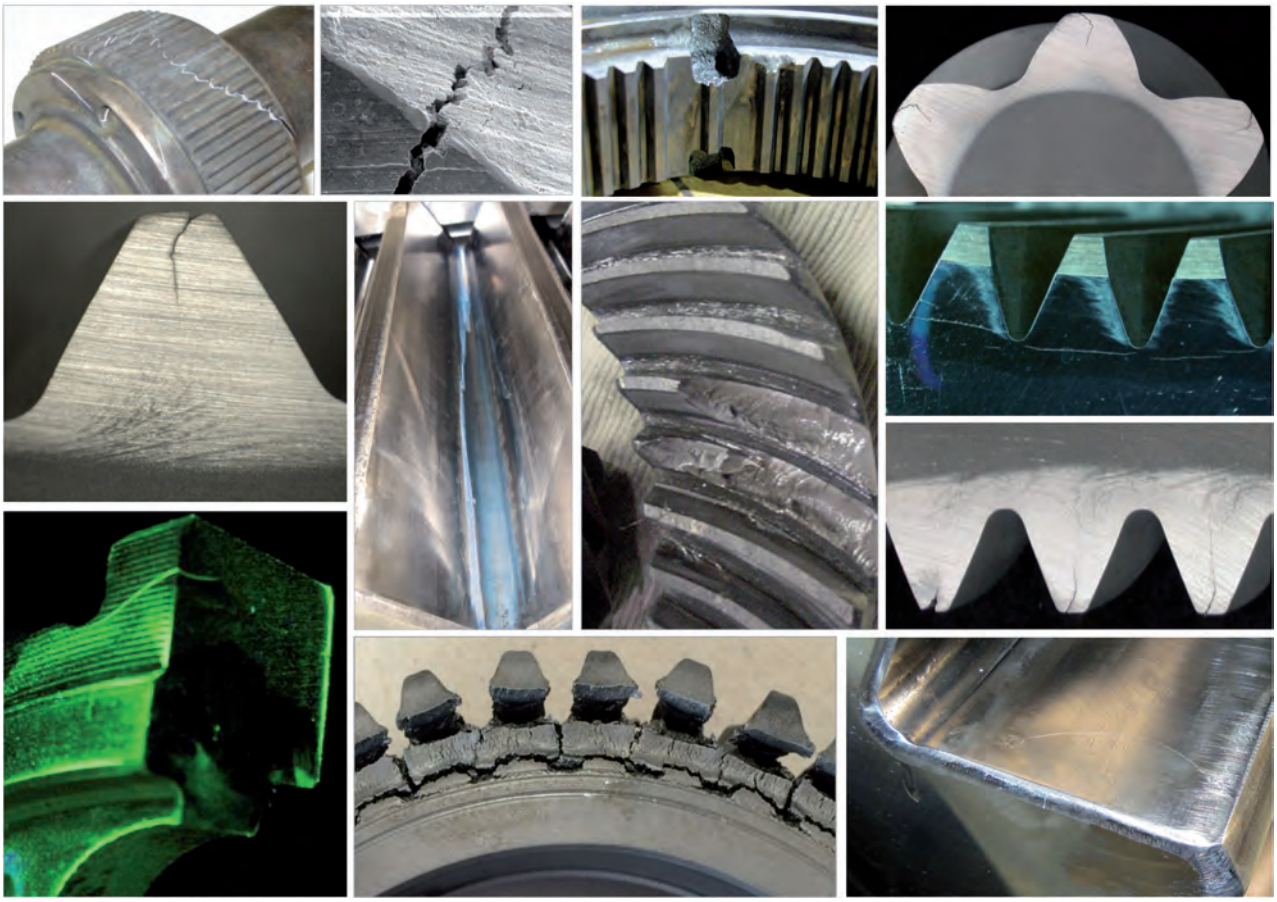


Figura 8: Aparición de grietas en engranajes tratados térmicamente y piezas de este tipo.

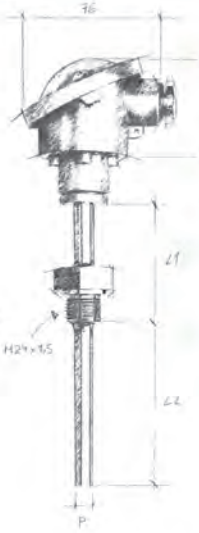
tura inicial del material previa al temple por inducción. Por ejemplo, con objeto de afinar la estructura de las piezas forjadas en caliente (bridas forjadas o chavetas), puede ser beneficioso normalizarlas antes de mecanizar y templar por inducción.

- Comprobar que la microestructura de una pieza "verde" está libre de grietas y microgrietas surgidas con anterioridad al temple por inducción.
- Asegurémonos de que la pieza tiene una correcta geometría y que se posiciona adecuadamente para el calentamiento y el enfriamiento. Deben evitarse malos posicionamientos de pieza, auto-reubicaciones e inclinaciones durante el temple por inducción, así como el deslizamiento y una excesiva inestabilidad durante la rotación. Los componentes delgados y alargados nunca se deben apretar en exceso, de modo que se permita el crecimiento de la pieza durante el tratamiento térmico.
- Comprobar que se han usado el inductor y la receta de proceso adecuados. ¿Se han detectado en los dispositivos de monitorización del proceso, límites eléctricos fuera de lo normal, fugas de tierra, arcos u otros parámetros anormales?
- Aseguremos que los orificios del spray de temple no estén obstruidos, provocando no-uniformidad en el temple. Verifiquemos que el líquido de temple tiene las condiciones requeridas y que no hay obstrucción para que el spray de temple alcance la superficie de la pieza.
- No arriesguemos. En su lugar utilicemos el equipo adecuado de inducción, que nos permita optimizar las recetas de proceso mediante la capacidad, no solo de ajustar la potencia y la velocidad de barrido/tiempo de calentamiento, sino también la frecuencia eléctrica.
- Reduzcamos la temperatura de austenización mediante la aplicación de una potencia un poco menor (< 1-3%).
- Apliquemos un retraso en el enfriamiento (0.25-0.75 sec).
- Aumentemos la temperatura del líquido de temple en aprox. 2-3 °F.

- Aumentemos la concentración del líquido de temple (aprox. 1-3%).
- Si se especifica, debe procederse al revenido (en horno o mediante inducción) lo antes posible. La tardanza entre el temple y el revenido puede ocasionar un agrietamiento retrasado, causado por factores diversos. Es muy beneficioso posicionar la operación de revenido inmediatamente a continuación de la máquina de temple o al menos en la misma nave, cuando tratamos con materiales de baja tenacidad y niveles altos de dureza.
- Acortemos la duración del ciclo de temple y apliquemos un auto-revenido (si se puede). En caso de permitirse, aplíquese una combinación de auto-revenido y revenido multi-pulso por inducción.
- Aumentemos el tiempo de revenido (si se puede) utilizando valores bajos de potencia de revenido y/o de frecuencia, o aplicando tecnología IFP o ciclos múltiples de calentamiento-homogeneización a niveles bajos de potencia y frecuencias reducidas.
- Aumentemos el tiempo previo a la etapa final de enfriamiento (tiempo entre el final del revenido y el principio de un enfriamiento final para la manipulación segura de la pieza).
- Algunas grietas que aparecen en raras ocasiones, se pueden considerar como casos estadísticos. Es más fácil determinar la raíz causante de grietas si se pueden provocar o evitar al modificar los parámetros de proceso.
- Es difícil que exageremos ante el hecho de que si se produce una fractura, es imperativo determinar tras cuál de las etapas del proceso apareció (si tras el calentamiento, enfriamiento, transporte de la pieza al revenido, revenido… operaciones posteriores al revenido como el pulido o la identificación de pieza). El pulido final, el enderezado y la identificación de la pieza pueden tener un impacto apreciable en dos aspectos: en la distribución de tensiones residuales y en el agrietamiento. Se sabe que un pulido abusivo puede ser res-

FABRICACIÓN SENSORES DE TEMPERATURA

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



LABORATORIO CALIBRACIÓN in situ

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

SCI Suministro y Calibracion Industrial s.l.

www.sciempresa.com

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

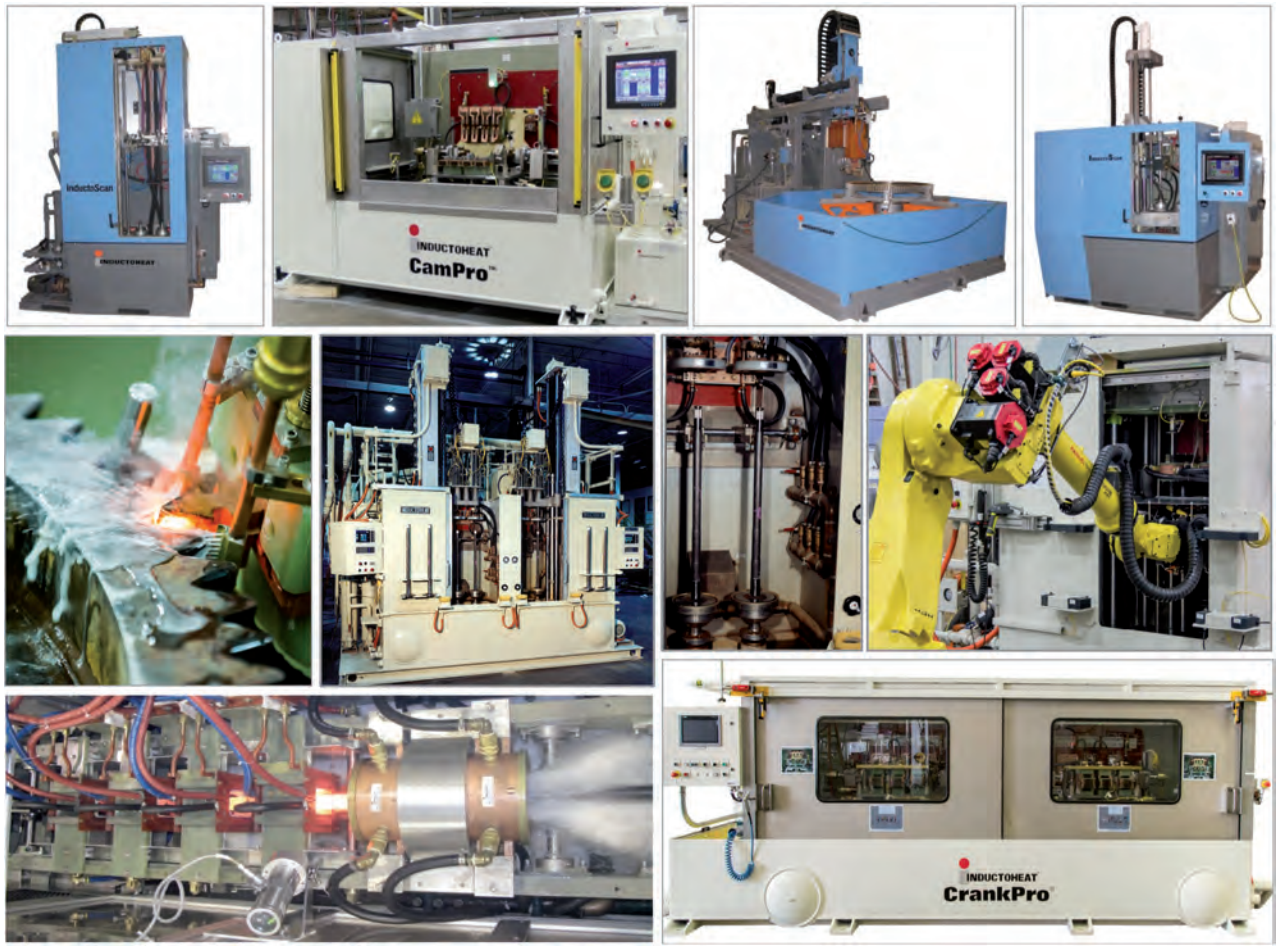


Figura 9: Ejemplos de maquinaria de tratamiento térmico por inducción que constituyen estándares indiscutibles en la industria tratamentista. (Cortesía de Inductoheat Inc., an Inductotherm Group Company).

ponsable de alterar las microestructuras del temple y el estado de las tensiones residuales y podría favorecer la sensibilidad a entalla e incluso fracturas. El grabado del número de identificación en la pieza mediante estampado o láser debería realizarse fuera de las áreas de tratamiento térmico. Debemos atenernos a la misma regla para la electroerosión y para cualquier otra técnica de identificación de piezas.

Merece la pena repetir que, si en el intento de eliminar el agrietamiento mediante cualquiera de las acciones descritas con anterioridad, se modifica cualquier receta del proceso, será necesario asegurarse de que las especificaciones totales del tratamiento térmico del cliente se siguen cumpliendo.

Conclusión

El temple por inducción es una tecnología probada y hay miles de máquinas de inducción en servicio repartidas por todo el mundo. La popularidad de esta tecnología sigue creciendo y regularmente aparecen innovaciones e invenciones nuevas.

Los equipos de inducción son eficientes energéticamente, flexibles, fiables, robustos y respetuosos con el ambiente, produciendo componentes de calidad metalúrgica mejorada.

Como ejemplo, la figura 9 muestra equipos que han alcanzado estándares inmejorables en la industria moderna del tratamiento térmico.

Lamentablemente, como en cualquier otro proceso, los profesionales del tratamiento térmico, a veces pueden encontrarse con problemas de agrietamiento.

Cada pieza tiene su propia "personalidad" que afecta al resultado del tratamiento térmico. Incluso una mirada superficial al diagrama de bloques del agrieta-

miento [2] muestra la complejidad y el reto que supone determinar raíz de la causa y los factores consecuenciales asociados al agrietamiento.

En las necesidades reales, los fabricantes de equipos de inducción para temple deben tener la experiencia y la capacidad de análisis necesarios, para ayudar a los tratamentistas con sus problemas específicos.

Entender el amplio espectro de factores asociados con varias modalidades de fracaso, es un paso importante a la hora de diseñar productos nuevos y procesos libres de desarrollo de grietas. Una mutua cooperación entre los diseñadores y los fabricantes de equipos resulta siempre esencial para el éxito.

Finalmente, nos gustaría terminar compartiendo el siguiente proverbio que se oye entre los profesionales de los tratamientos térmicos: "Al principio había un PRECIO, al final hay un COSTE. La diferencia se llama CALIDAD. Esta calidad asegura que los profesionales del tratamiento térmico eviten sorpresas desagradables usando la experiencia pasada, las competencias en ingeniería, la capacidad de modelización por ordenador y la adopción de los últimos avances en el conocimiento teórico."

"Este artículo apareció originariamente en Octubre 2019 en la Thermal Processing magazine (USA). Publicado con su permiso"

Referencias

1. V.Rudnev, D.Loveless, R.Cook, Handbook of Induction Heating, 2nd edition, CRC Press, 2017.
2. G.Doyon, V.Rudnev, R.Minnick, T.Boussie, Troubleshooting and Prevention of Cracking in Induction Hardening of Steels: Lessons Learned. Part 1, Thermal Processing, September, 2019.
3. Heat Treater's Guide: Practices and Procedures for Irons and Steels, ASM International, 1995.
4. V.Rudnev, Simple Solutions for Typical Induction Heating Challenges, ASM Webinar, January 24, 2019.
5. ASM Handbook Volume 11: Failure Analysis and Prevention, ASM International, 1998.
6. V.Rudnev, Induction Heating: Q&A, Professor Induction series, Heat Treating Progress, August, 2009, p.9-11.
7. V. Rudnev, R. Cook, J. LaMonte, Induction heat treating: Keyways and holes, Metal Heat Treating, March–April 1996, pp. 83–86.
8. G.Doyon, V.Rudnev, J.Maher, R.Minnick, G.Desmier, Elimination of straightening operation in induction hardening of automotive camshafts, Int. J. Microstructure and Materials Properties, Inderscience Ltd., Vol. 11, Nos. 1/2, 2016, p.119-133.

ABB obtiene un pedido de convertidores, valorado en 2,5 millones de dólares, para la planta de laminación de Kanthal

Kanthal, como proveedor de acero dentro del Grupo Kanthal internacional, ha seleccionado a ABB para el suministro e instalación de un nuevo sistema de convertidores, incluyendo motor, convertidor de frecuencia, transformador y controles para el laminador desbastador que la empresa tiene en Hallstahammar, lo que supone un pedido valorado en 2,5 millones de dólares.

El encargo incluye además el montaje de una nueva caja de engranajes de 70 toneladas.

ABB gestionará el proyecto de principio a fin, lo que incluye la retirada de un sistema de motor y convertidor de CC existente, instalado desde los años 50, así como la instalación de un diseño moderno de CA.

Abarca además todas las tareas de montaje eléctrico y mecánico, los trabajos de cimentación, la puesta en marcha y la prueba de los equipos.

El nuevo sistema de convertidores mejorará el rendimiento y la disponibilidad, reduciendo las paradas de actividad imprevistas y brindando acceso a la experiencia de mantenimiento y repuestos de ABB.

«Cualquier interrupción por problemas con el laminador desbastador puede parar en seco toda nuestra producción, por lo que esta importante inversión es crucial para minimizar el riesgo para el negocio en el futuro», afirmó Anders Björkroth, director de proyectos de Kanthal. «Sustituir el motor de CC existente por un modelo actual de CA garantiza una base fiable, eficiente y estable para nuestras operaciones de laminado».

La retirada y sustitución del motor de CC de ABB de 60 toneladas existente se producirá a lo largo de seis semanas.

El nuevo sistema de accionamiento de ABB brindará numerosas ventajas para Kanthal, entre ellas, mayor fiabilidad y rendimiento, regulación integrada de potencia reactiva, inmunidad frente a las averías de la red y eficiencia total mejorada de alrededor del 3,5%.

«La amplia experiencia de campo y soluciones de confianza de ABB son una garantía para el futuro de este laminador», expresó Björn Jonsson, director del Centro de Líneas de Negocio en el norte de Europa para el departamento de Industrias de Procesos de ABB: «El hecho de que ABB ya haya ejecutado previamente compromisos integrales similares en materia de sustituciones de motores pesados en un periodo tan breve de tiempo aporta mayor seguridad al cliente».

Kanthal seleccionó la solución de ABB tras un estudio de viabilidad de tres alternativas.

Con la solución escogida, Kanthal se beneficiará de los contactos existentes con el servicio de mantenimiento y expertos locales de ABB, así como del fácil acceso a los repuestos.

La actualización a la última tecnología de ABB supondrá un importante incentivo para los operarios, que contarán en la cabina con un sistema de información que facilitará el seguimiento y la resolución de problemas en el laminador.

Los compresores de ELGi consiguen ahorros energéticos en los procesos de fabricación en la planta de Rubber Resources de Holanda

ELGi Compressors Europe, filial de ELGi Equipments Limited (uno de los principales fabricantes de compresores a nivel mundial con más de 2 millones de instalaciones realizadas en 120 países), ha mejorado el sistema de producción de aire comprimido de las instalaciones de Rubber Resources BV localizadas en Maastricht, Holanda. Tras la ejecución del proyecto y su puesta en marcha, Rubber Resources, uno de los principales actores en el reciclaje de productos, ha experimentado una mejora en la eficiencia energética de sus procesos, disminuyendo el consumo eléctrico y la huella de carbono.

Gerrit Rehorst, Gerente de Rubber Resources, comentó: "Rubber Resources está especializada en el reciclaje del caucho, principalmente cámaras de butileno y neumáticos de vehículos pesados, con el fin de convertirlo en una solución industrial más sostenible y competitiva.

Nuestra misión es la reutilización sostenible del caucho, por lo que una de nuestras prioridades es hacer que nuestros procesos, especialmente el aire comprimido, sean lo más eficientes posible. Por lo tanto, la decisión de reemplazar nuestro compresor de 180 kW por un compresor de velocidad variable de la serie premium EG 110 kW de ELGi fue sencilla.

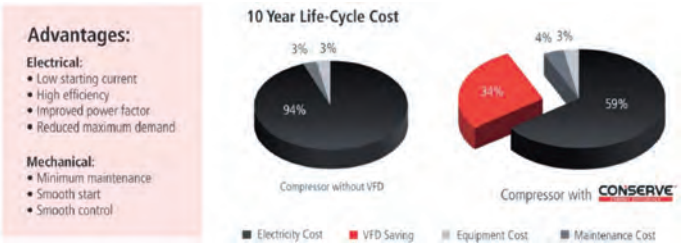
Gracias a esta decisión, conseguimos alcanzar una eficiencia energética de primer nivel, una alta fiabilidad, unos bajos costes de mantenimiento y el acceso a una red de soporte con gran experiencia para asesorarnos. Además de esto, ELGi consiguió instalar y poner en marcha el proyecto en tan sólo 3 semanas tras haber enviado la orden de compra".

Chris Ringlstetter, presidente de ELGi Europe, dijo: "en ELGi somos conscientes de que la eficiencia energética es más que una expresión de moda, se trata de una obligación operacional y socioeconómica que forma parte del mercado y la industria.

El aire comprimido supone aproximadamente el 10% del consumo energético total en Europa. Las normativas de ahorros energéticos para las compañías holandesas son muy restrictivas. La serie EG de ELGi, con su variador de velocidad integrado y el menor consumo energético de su clase, ha demostrado ser fundamental para reducir el consumo eléctrico total de los procesos de fabricación 24/7 de Rubber Resources."

Durante los últimos 60 años, ELGi ha desarrollado productos de primera categoría que tienen los mejores costes totales del ciclo de vida del mercado y un mayor tiempo de uso para el cliente. La serie de compresores lubricados EG de ELGi aporta a sus clientes aire comprimido de alta calidad en las condiciones más extremas, a la vez que asegura el mínimo tiempo de inactividad. Una de las principales características de la serie EG es la incorporación de un módulo de compresión de última tecnología, que proporciona una larga vida útil con unos costes de operación de los más bajos del mercado. La serie completa de compresores de la gama EG viene equipada con los tornillos de compresión con el perfil único -V. Dicho perfil es altamente eficiente y funciona a menor velocidad que la mayoría de los equipos del mercado.

El variador de frecuencia integrado en el equipo, ELGi CONSERVE, consigue igualar la producción de aire comprimido a la demanda variando la velocidad del motor. De esta forma, se disminuye el consumo energético cuando se reduce la demanda de aire comprimido. Un compresor de la serie EG de ELGi puede reducir un 34% los costes energéticos, comparado con un compresor sin variador de velocidad durante un período de 10 años.



Detección de quemaduras de rectificado y grietas mediante corrientes Inducidas en piezas de revolución

¿Qué son las corrientes inducidas?

Las corrientes inducidas es un método de ensayo no destructivo utilizado para detección de defectos superficiales, principalmente para detectar grietas y poros.

Es un método alternativo a los líquidos penetrantes y las partículas magnéticas, dos técnicas difíciles de automatizar que suelen requerir de la decisión humana y, además, precisan de consumibles.

En cambio, las corrientes inducidas, a pesar de tener una inversión inicial más alta, es un método automatizable.

En este tipo de soluciones automáticas no depende de la decisión de un inspector, por lo que se reducen mucho los costes de operación y, sobre todo, evita que la decisión de pieza buena o mala recaiga sobre el operario.

¿Cuál es el método de funcionamiento de las corrientes inducidas?

Sin profundizar mucho en detalles técnicos, las corrientes inducidas utilizan un sensor o sonda, absoluto o diferencial, transmisor-receptor, siendo el transmisor un generador de campo magnético y un receptor de voltaje inducido.

Escaneando la superficie en materiales conductivos con este sensor somos capaces de detectar defectos superficiales como pueden ser grietas o poros, ya que estos al pasar por la zona del sensor, modifican el campo magnético generado modificando a su vez el voltaje inducido.

IBG profundiza en la detección de quemaduras de rectificado en piezas de revolución

Cuando hablamos de detección de quemaduras de rectificado, dos de los métodos más utilizados hasta ahora en la industria han sido ruido de Barkhausen ("Barkhausen noise") y ataque químico (Nital Etch), ambos métodos utilizados sobre todo en laboratorio debido a la dificultad de automatizarlo con velocidades adecuadas para inspección del 100% de la producción.

Durante los últimos años el fabricante IBG ha profundizado en la detección de quemaduras de rectificado en piezas de revolución utilizando corrientes inducidas y en la actualidad ya está suministrado sistemas automáticos capaces de detectar simultáneamente tanto grietas, poros como quemaduras de rectificado con velocidades de inspección adecuados para la industria del automóvil, que permiten la integración de un sistema de calidad del 100% de la producción.

FD NDT, fiel a su concepto de ofrecer soluciones adecuadas a la industria que permitan integrar métodos no destructivos, sin necesidad de disponer de personal ex-

perto en la materia, lleva años suministrando soluciones a medida con tecnología IBG.

Históricamente los equipos de corrientes inducidas han necesitado de conocimientos de corrientes inducidas altos para ser operados de manera fiable y correcta, teniendo que jugar con ángulos de fase, filtros paso de banda o ganancias para ajustarlos y tener un resultado de detección adecuado.

Los equipos de corrientes inducidas de IBG utilizan el sistema PMFT (Preventive Multi Filter Technology), único equipo calibrado solo con piezas buenas.

Este equipo es quien, de manera automática, genera 30 zonas de tolerancia envolventes a 30 filtros paso de banda diferentes.

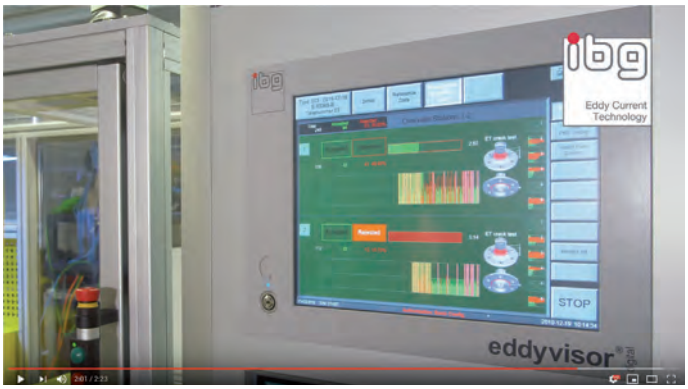
Por ese motivo, son equipos ideales para industria donde no suele haber personal experto en corrientes inducidas, simplificando así el proceso de puesta en marcha y operación.

Conclusiones

Esta familia de equipos de corrientes inducidas permite detectar, además de grietas y poros, también quemaduras de rectificado, cubriendo así casi todo el espectro de defectos superficiales y lo hacemos de manera automática, sin necesidad de operarios tomando decisiones, ni consumibles.

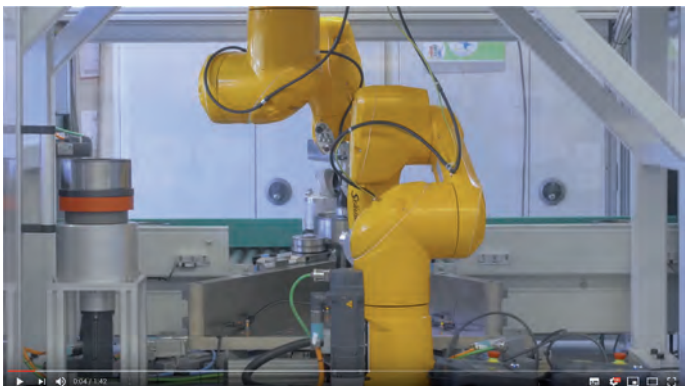
Si bien hasta ahora casi todos los sistemas han sido para control de calidad una vez fabricadas las piezas, IBG junto con algunos de los centros tecnológicos más punteros europeos, está trabajando para poder monitorizar a tiempo real algunos de los procesos productivos para optimizarlos y reducir durante producción la generación de defectos superficiales.

Casos prácticos de aplicaciones de detección automática de grietas, poros y quemaduras de rectificado con equipos de IBG



Inspección de anillos interiores o bujes para detección de quemaduras de rectificado y grietas.

Inspección de anillos (exteriores e interiores) de rodamiento para detección de quemaduras de rectificado y grietas.



Inspección de anillos de rodamiento ferroviarios para detección de quemaduras de rectificado.

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

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.

Seguimos con el interesante tema de las DEFORMACIONES, dado que en el caso de la Matriz de Cuba es un factor importante, además de un deseado alto rendimiento.

En la revista TRATER Press de febrero 2020, nº 75, se presentaba un cuadro esquemático de DEFORMACIÓN, vamos a intentar ampliar el factor "Modificación de Medidas", o mejor dicho, "Modificación de volumen por transformación de estructura". Todo ello lo explicaremos con las diferentes figuras y esquemas que presentamos.

Si las herramientas sufrieran por el temple un aumento de volumen por transformación de estructura, sus medidas deberían experimentar, en concordancia a la penetración de temple, un aumento de medidas proporcional en todas direcciones. Pero en realidad, los cuerpos cilíndricos y prismáticos aumentan por

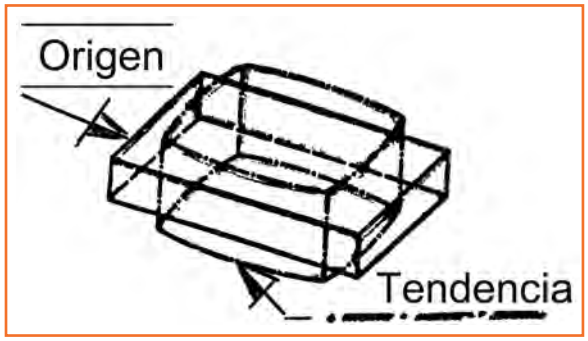


Figura 1.

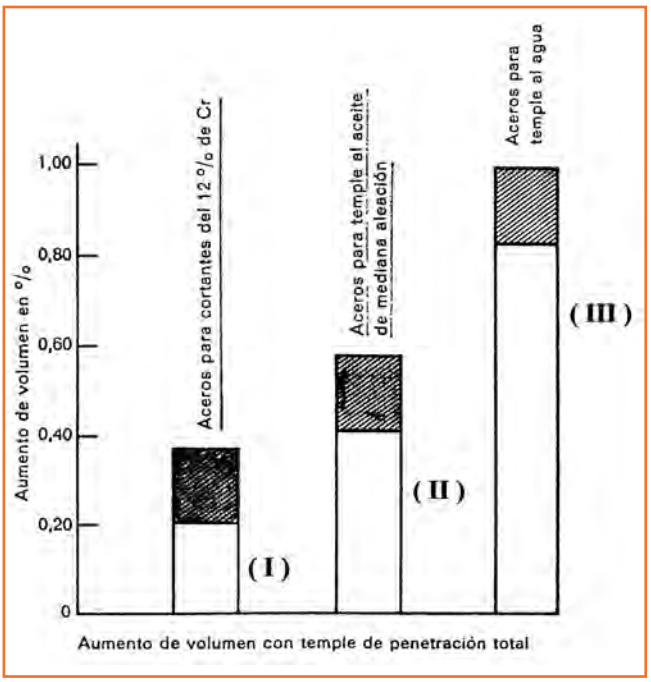


Figura 2.

el temple más en grosor, mientras que cuerpos chatos crecen más en espesor que en extensión. Solamente cuerpos cubiformes demuestran después del temple uniformidad de dilatación.

La causa para lo anterior reside en la deformación del cuerpo, provocado por tensiones térmicas previas al proceso propio del temple, que procuran aproximar el cuerpo a la forma esferoide (ver Fig. 1).

En la fase de formación de la martensita no existe ya la forma original del cuerpo, sino una modificada por tensiones térmicas, que adicionalmente experimenta un aumento de volumen por transformación de estructura. El aumento de volumen se produce proporcionalmente en todas la direcciones.

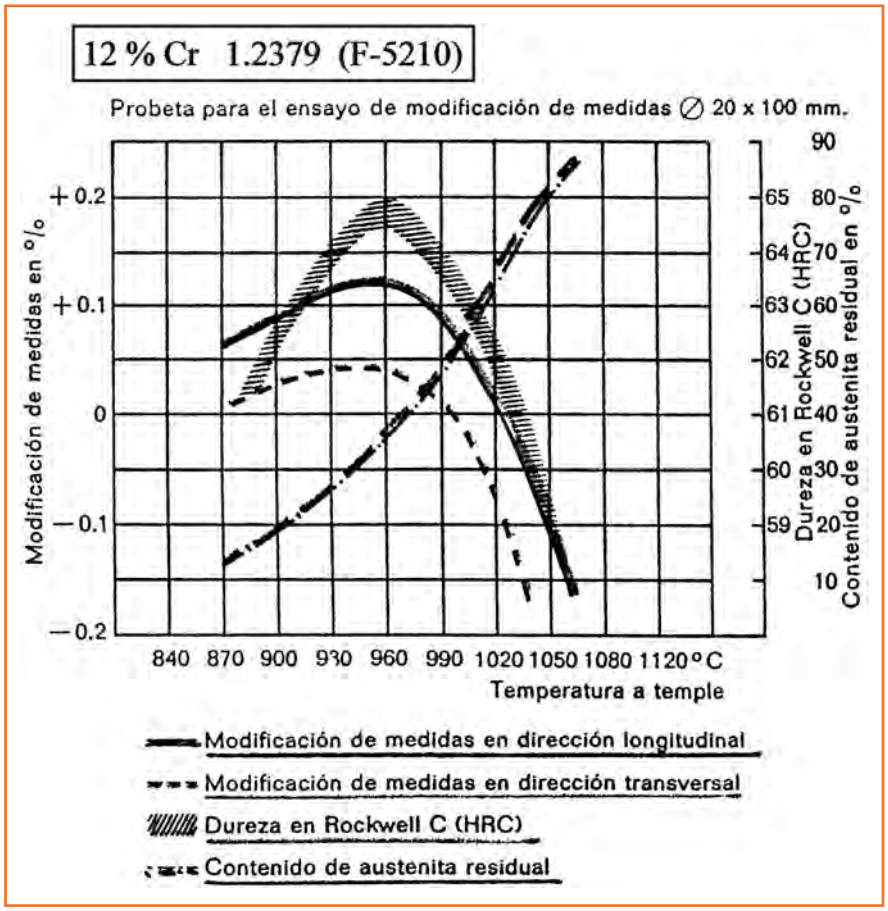


Figura 3.

En la Fig. 2 vemos el aumento de volumen en tres grupos de acero totalmente diferentes, (I) F-5210, (II) F-5220 y (III) Acero alto en Carbono (0,9%C). El grupo (I) tiene un aumento del 0,2 al 0,4%.

El (II) 0,5% y el (III) con el mayor aumento de volumen, como sabemos estos aceros su temple es con enfriamiento al agua.

La Fig. 3 es muy ilustrativa, podemos ver diferentes curvas y compararlas con la temperatura de austenización o temple elegida. Observaremos la correspondiente a la de "Modificación de medidas en dirección longitudinal y transversal, la dureza en HRC, así como el contenido de austenita residual".

Finalmente en la Fig. 4 observaremos qué influencia tiene la temperatura de Revenido sobre la modificación de medidas, en dos aceros muy utilizados para la fabricación de matrices, como son el F-5210 (I) y el F5220 (II).

Es muy importante conocer estas curvas en el momento de elegir el proceso de T.T. que aplicaremos y no tener sorpresas desagradables que podrían incluso inutilizar la matriz o herramienta.

Nota: En el próximo número de la revista daremos respuesta a varias consultas interesantes que nos han planteado.

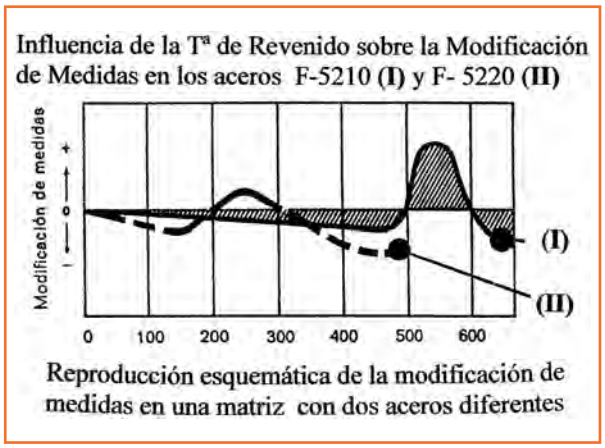


Figura 4.

Ceit presenta las líneas estratégicas en fabricación aditiva y su nueva planta piloto de atomización

Los responsables de Ceit, centro perteneciente a la Alianza BRTA, encabezados por su Presidente Corporativo, José Mª Vázquez Eguskiza, han presentado las líneas estratégicas en pulvimetalurgia y fabricación aditiva, y la nueva Planta Piloto de Atomización ubicada en el Parque Tecnológico de Miramón, a una representación institucional integrada por el Diputado General de Gipuzkoa, Markel Olano, la Consejera de Desarrollo Económico e Infraestructuras del Gobierno Vasco, Arantxa Tapia y el Alcalde de San Sebastián, Eneko Goia.

Las líneas estratégicas se centrarán en el desarrollo de tecnologías de atomización de aleaciones metálicas de alto valor añadido, procesos de fabricación aditiva, así como tecnologías de recuperación de tierras raras y fabricación de imanes permanentes para la movilidad eléctrica.

La nueva planta piloto de atomización permitirá cubrir el gap entre el desarrollo de tecnología en laboratorio y su transferencia a una escala industrial.

Esta Infraestructura Científico Técnica Singular de la Red Vasca de Ciencia, Tecnología e Innovación (RVCTI) contribuirá a posicionar a Ceit, y por extensión, al Basque Research and Technology Alliance (BRTA) como referente a nivel mundial en pulvimetalurgia y fabricación aditiva.

La planta que se ha presentado cuenta con dos atomizadores: el primero capaz de producir en cada proceso hasta 3 kg de polvo metálico y el segundo para atomizaciones de hasta 250 kg.

Esta infraestructura es estratégica para la industria por cuanto permite conseguir "materia prima a medida" para fabricar preseries de piezas en nuevos procesos "near net shape" para sectores tales como la automoción, la aeronáutica, el aeroespacial, la energía, Oil&Gas, la biomedicina o la industria de la ciencia.

Iñigo Iturriza, Director de la División de Materiales y Fabricación de Ceit, ha destacado los 35 años de experiencia innovadora del centro tecnológico en Metalurgia de Polvos, recordando que esta nueva infraestructura contribuirá a la mejora de la competitividad de las empresas vascas, al abrirles la posibilidad de disponer de polvos metálicos experimentales para investigar en nuevos procesos fabricación o en el desarrollo de componentes de prestaciones avanzadas.

Por todo ello, la nueva planta de atomización de Ceit se convierte en una infraestructura única en Europa, al tiempo que el centro tecnológico consolida su posición como referente en Fabricación Avanzada, refrendada recientemente mediante la acreditación como centro de excelencia de la Red Cervera por parte del CDTI.

El alcalde de Donostia, Eneko Goia, ha señalado que la nueva planta de atomización impulsada por el Ceit es "una nueva muestra de la apuesta que nuestra ciudad hace por la investigación y la vanguardia tecnológica como parte esencial de su ADN". Goia ha destacado, asimismo que "se tiende a asociar a Donostia con otros aspectos como la gastronomía o el turismo, pero la investigación aplicada, en estrecha relación y enfocada hacia la industria del territorio, es otro de los puntales en los que se basa la economía de nuestra ciudad. En esa apuesta, la aportación de actores de primer nivel como el Ceit es fundamental".

La consejera de Desarrollo Económico e Infraestructuras del Gobierno Vasco, Arantxa Tapia ha destacado la importancia de contar con una tecnología bien enfocada que nos ayude a hacer frente a los retos de futuro y que esté basada en la excelencia, la especialización y la orientación a mercado.

Tapia ha añadido que la planta piloto de atomización que se ha presentado, contribuye a la estrategia de digitalización del tejido productivo y a la recuperación de residuos que adquieren cada día una importancia creciente.

El Diputado General de Gipuzkoa, Markel Olano, se ha reafirmado en la necesidad de "apoyar decididamente la innovación tecnológica" para hacer frente a "los desafíos sociales y económicos de nuestro tiempo", así como para garantizar el futuro de "una industria competitiva" que permita generar empleo de calidad y bienestar "para todas las personas". En ese sentido, ha destacado la "orientación industrial" de la nueva planta, que dará servicio "a sectores industriales de futuro" claves para el territorio. "La apuesta por la innovación no solo nos permite afrontar con más solidez la crisis actual, sino seguir construyendo una sociedad cohesionada con la mirada puesta en el futuro", ha confirmado Olano.

Renovación de trenes de laminación, mejoras en los cilindros de trabajo para velocidades extremas

Por Sorin Tudor, Principal Application Engineer
Colaborador Konnerth Octavian, Service Manager. Timken Europe Customer Engineering

A. Introducción y visión del mercado

Los propietarios de los trenes de laminación están sometidos a una presión constante, para reducir sus costes de producción en el contexto de un mercado global variable. Aumentar la productividad de la planta es una forma habitual de lograr costes competitivos. Se puede obtener una mayor productividad aumentando la velocidad de la línea de producción, definida como la velocidad de laminación (m/min) de la banda que pasa a través de la caja del laminador cuarto (4-HI) (Figura 1). Sin embargo, los laminadores actuales no pueden aplicar una velocidad de funcionamiento mayor, ya que se corre el riesgo de que se produzca un desgaste rápido del cilindro o daños en los rodamientos. Es posible que aparezcan otras restricciones debido al límite de velocidad de la transmisión (motores, cajas de engranajes y piñones).

La velocidad rotacional de los cilindros de trabajo se calcula en base a la velocidad de la línea de producción y es una función del diámetro del cilindro. A una determinada velocidad de laminación, los cilindros de trabajo presentan una velocidad rotacional mayor que los cilindros de apoyo, debido a que el diámetro del cilindro es menor. Por tanto, esta velocidad rotacional mayor de los cilindros de trabajo se debe evaluar cuidadosamente, tomando como referencia el rendimiento máximo del tren de laminación. Los propietarios de laminadores con frecuencia necesitan ayuda para la "renovación" de los cilindros de trabajo a velocidades de funcionamiento extremas.

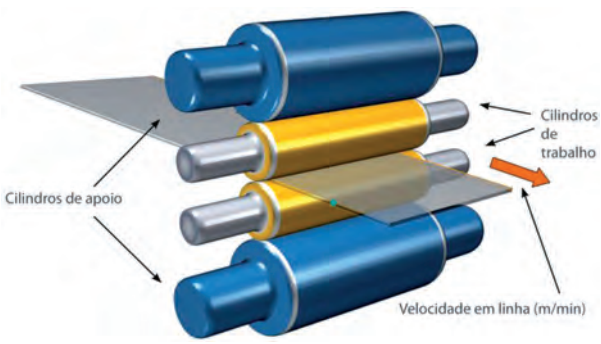


Figura 1: Caja de Laminador cuarto.

B. Consideraciones teóricas

Selección, diseño y aspectos dimensionales relacionados con los rodamientos de cuello de cilindro de trabajo

Inicialmente, los rodamientos de cuello de cilindro de trabajo no se seleccionan por su carga, como sí ocurre con la mayoría de aplicaciones de rodamientos. En su lugar, es el fabricante de los trenes quien impone los principales parámetros de selección (Figura 2) que se tienen en cuenta para los rodamientos:

- Diámetro del cilindro– ØB (nominal y mínimo).
- Diámetro del cuello – ØN.
- Longitud del cilindro – L.
- Distancia entre centros de rodamientos – X.

Estas consideraciones son las que determinan el espacio restante mínimo (envoltura) que debe quedar en los ro-

damientos y las ampuesas. Los ingenieros de aplicaciones para rodamientos empiezan por la búsqueda de rodamientos existentes que cumplan los criterios de geometría. A continuación, de entre los rodamientos que cumplen dichos criterios, el ingeniero selecciona aquéllos que respetan la vida a fatiga del rodamiento L10 que solicita el cliente. Además, la geometría interna del rodamiento se evalúa a partir de la carga máxima de diseño y la velocidad de rotación máxima de los cilindros de trabajo. Se puede actualizar la geometría interna del rodamiento o diseñar un nuevo rodamiento, si no hay ninguno que satisfaga las necesidades del cliente.

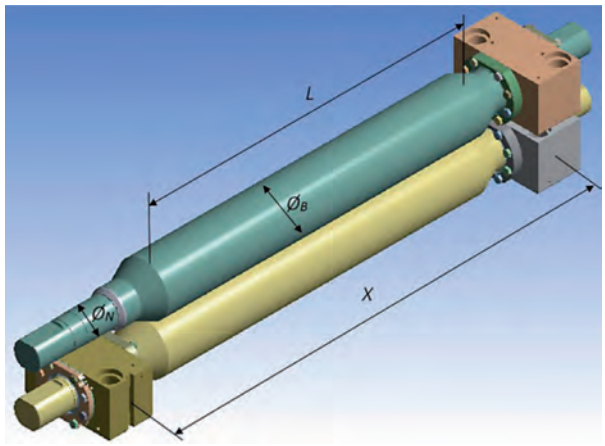


Figura 2: Parámetros de los cilindros de trabajo. (En la parte superior izquierda se ha retirado la ampuesa para poder mostrar el diámetro del cuello de los cilindros de trabajo).

Montaje con holgura

Debido a los frecuentes cambios de los cilindros de trabajo, es necesario poder montar y retirar de forma rápida el sistema de rodamientos y ampuesas. Por esta razón, disponer de holgura entre las cuatro hileras de los rodamientos de rodillos cónicos y el cuello del cilindro, se considera una práctica habitual en las disposiciones de los cilindros de trabajo, con independencia de la velocidad de rodadura. Los anillos exteriores deben estar bloqueados en la ampuesa y las pistas interiores deben montarse con un valor de holgura axial de entre 0,5 y 1 mm con respecto a la cara del anillo de retención (Figura 3).

Dado que el diámetro del cuello del cilindro es más pequeño que el diámetro del anillo interior, los anillos interiores de los rodamientos tenderán naturalmente a moverse en forma orbital con respecto al cuello del cilindro. El cuello del cilindro y el diámetro del anillo interior tendrán básicamente la misma velocidad lineal cuando estén en contacto entre sí. La velocidad de rotación del

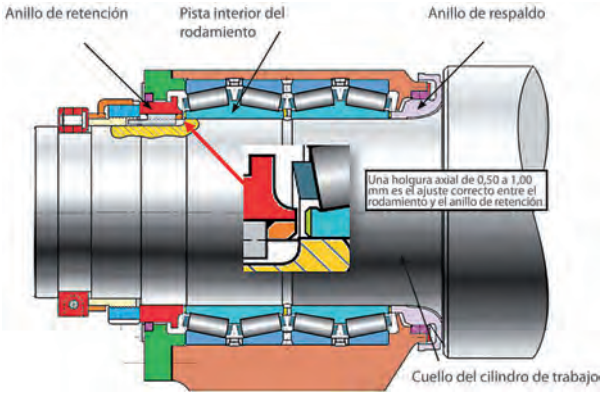


Figura 3: Montaje con holgura.

anillo interior es ligeramente inferior que la velocidad de rotación del cuello del cilindro, tal y como se ilustra en la Figura 4, debido a una pequeña diferencia de diámetro entre el cuello del cilindro y el diámetro del anillo interior. Por tanto, es fundamental que:

- Se sigan las directrices mínimas para el diámetro del cuello del cilindro, con el objetivo de evitar un desgaste excesivo del cuello debido a este movimiento relativo.
- Se ofrece una holgura axial entre los anillos interiores y las caras adyacentes de los anillos de retención y de respaldo de los cilindros de trabajo, para permitir que los dos anillos interiores se muevan sin dificultad y así minimizar el desgaste en servicio.

Disposición en montaje directo

El tipo más común de rodamiento de cuello de cilindro

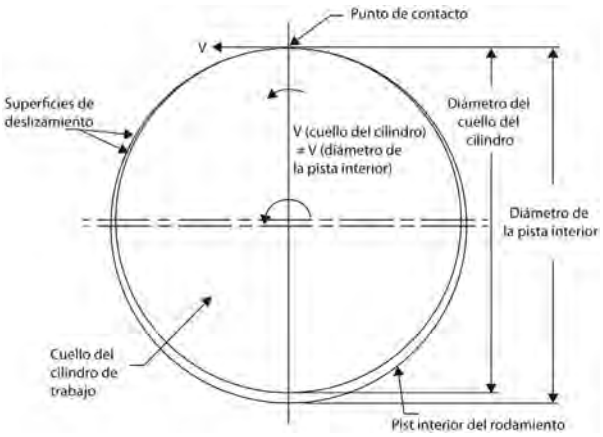


Figura 4: Movimiento relativo del cuello de los cilindros de trabajo y los anillos interiores del rodamiento (la separación entre el cuello del cilindro y el anillo interno del rodamiento es excesiva para la finalidad de este boceto).

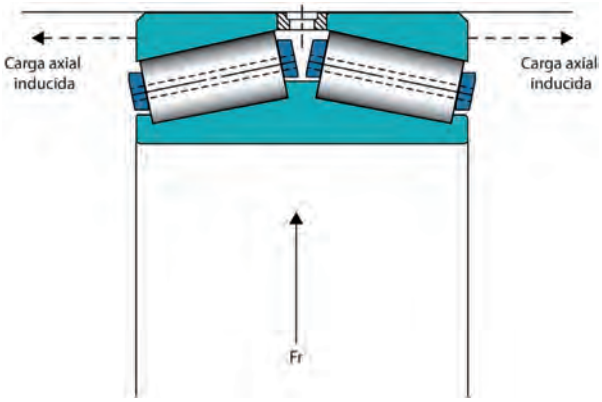


Figura 5: Disposiciones de montaje directo.

está diseñado a partir del concepto de montaje directo (Figura 5).

Los anillos interiores están montados con un ajuste con holgura, que varía desde 0,050 mm como mínimo hasta 0,600 mm como máximo, según el tamaño del diámetro. El diseño del rodamiento de "montaje directo" requiere que los anillos exteriores se bloqueen en su sitio para soportar la carga axial inducida por la carga radial Fr dentro del rodamiento, así como para mantener el juego axial interno proporcionado por el separador de anillos exteriores.

Este diseño de "montaje directo" permite que los anillos interiores permanezcan flotantes, lo que resulta necesario para permitir que los anillos interiores se muevan en forma orbital con respecto al cuello del cilindro.

Límites de velocidad

La limitación de tal disposición es la combinación de la velocidad con la carga de laminación. Durante décadas, se han seleccionado y aplicado conjuntos de tipo TQOW con ajuste holgado (consulte Figura 13 para configuraciones de rodamientos de tipo TQOW) con resultados satisfactorios, en todos los tipos de cuellos de cilindros de laminadores que funcionan a velocidades entre bajas y medias. La mayoría de estos trenes, en función de las cargas aplicadas y sus condiciones ambientales, están operando a velocidades de laminación de hasta 800 m/min. También tenemos experiencia con laminadores que funcionan a velocidades de laminación de hasta 1.000 m/min.

Sin embargo, cuando aumentan las velocidades operativas, la fricción y el desgaste entre los anillos internos de los rodamientos y las caras adyacentes de los anillos de retención y respaldo de los cilindros de trabajo, pueden provocar un desgaste importante en la cara del anillo interior del rodamiento (Figura 6). Aquí aparecen signos de corrosión por picadura profunda. Las grietas por calor comienzan a propagarse desde la cara frontal del anillo interior, a través del diámetro interior, seguidas por la fractura del anillo interior. Si el tren de laminación no se detiene y se sustituye el rodamiento, éste se dañará por completo. El tiempo de mantenimiento y los costes de sustitución de los rodamientos pueden convertirse en parámetros de limitación del rendimiento de los laminadores.

Figura 6: Desgaste en la cara del anillo interior del rodamiento.

Soluciones de Timken para renovar los rodillos de trabajo que funcionan a altas velocidades

Hay varias medidas que sugiere Timken para evitar un desgaste excesivo entre los anillos internos de los rodamientos y las caras adyacentes de los anillos de retención y respaldo de los rodillos de trabajo, que funcionan a altas velocidades.

1. Establezca un espacio axial que va desde 0,5 a 1 mm, en función del tamaño del rodamiento, entre la cara del anillo interior y el conjunto de bloqueo (Figura 3). Esta separación evita el desgaste de las caras adyacentes al deslizarse por el cuello del cilindro.

2. El diámetro de apoyo del anillo interior debe ser lo más amplio posible. El diámetro exterior de los conjuntos de bloqueo (anillos de retención y respaldo) debe situarse en el punto de tangencia del radio de acuerdo del anillo interior.

3. El anillo de retención y respaldo del cuello del cilindro de los laminadores más antiguos suelen incluir ranuras de aceite en las caras. En estos casos, los anillos interiores dobles de los rodamientos no necesitan ranuras de aceite en las caras (Figura 7). El perfil común de las ranuras de aceite detectado en las caras de los respaldos y en los anillos de retención de los laminadores más antiguos, se muestra en la Fi-

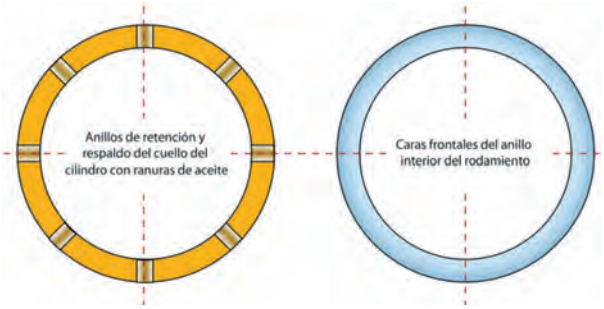


Figura 7: Ranuras de aceite de las caras en los anillos de retención y respaldo del cuello de cilindro.

Figura 8: Perfil común de las ranuras de aceite detectado en las caras de las cintas y en los anillos de retención de los laminadores más antiguas.

gura 6. Timken puede evaluar las ranuras de aceite existentes y ofrecer su número y geometría, cuando los rodillos de trabajo funcionan a altas velocidades.

4. En los nuevos laminadores, el estándar establece que las ranuras de aceite estén situadas en las caras frontales del anillo interior del rodamiento. Esto permite una lubricación de contacto entre el anillo interior y las caras adyacentes (Figura 9).

   Las ranuras de aceite en los rodamientos Timken se encuentran en las caras frontales del anillo interior del rodamiento, como se muestra en la Figura 10. El borde entre la ranura y la cara está bien redondeado con el objetivo de minimizar el desgaste con respecto al conjunto de bloqueo.

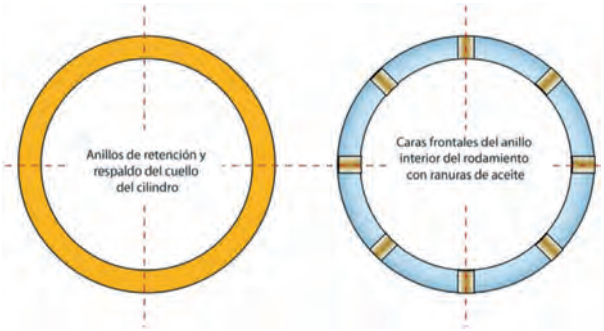


Figura 9: Ranuras de aceite en la cara frontal del anillo interior del rodamiento.

Figura 10: Perfil de las ranuras de aceite proporcionado por Timken en la cara frontal del anillo interior del rodamiento.

5. El anillo de respaldo y el anillo de retención deben tener una dureza mínima de 50 HRC y una dureza recomendada de entre 55 y 58 HRC.

6. Debe lubricarse la superficie de contacto entre la cara frontal del anillo interior del rodamiento y los conjuntos de bloqueo del cuello del cilindro.

C. Supuesto práctico – Descripción del problema y solución existente

Esta aplicación se lleva a cabo en los rodillos de trabajo de los laminadores Cuarto.

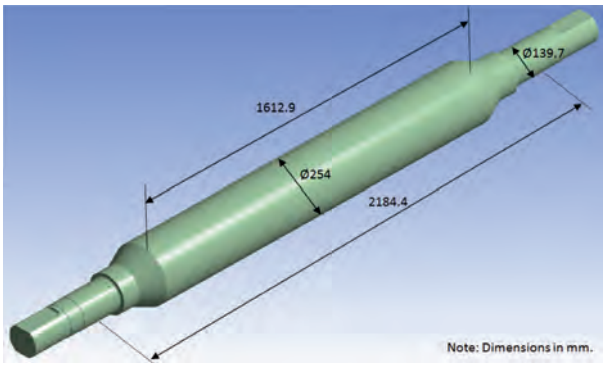


Figura 11: Diseño de rodillo de trabajo– Vista isométrica.

Atributos de diseño del laminador

Tipo de laminador: Laminador Cuarto.

Diámetro nominal del cilindro de trabajo 254 mm.

Diámetro mínimo del cilindro de trabajo 228,6 mm.

Longitud del cilindro: 1.612,9 mm.

Diámetro del cuello del cilindro: 139,7 mm.

Relación cilindro-cuello del cilindro: 55%.

Distancia entre centros: 2.184,4 mm.

La vista isométrica del rodillo de trabajo se muestra en la Figura 11.

Condiciones de funcionamientos del rodillo de trabajo

Carga de flexión máxima: 167,4 kN (por flexión).

Carga axial máxima: 60 kN.

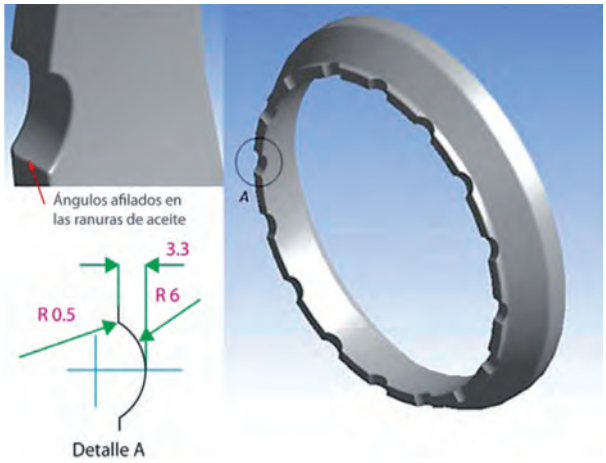


Figura 12: Anillo de respaldo del cuello del cilindro – Vista isométrica.

Velocidad de laminación máxima: 1.036 m/min (= 1.443 rpm velocidad de rodadura con diámetro de cilindro mínimo).

Anillo de respaldo del cuello del cilindro

Material de anillo y el cuello Acero.

Dureza de 58–60 HRC (comparable con la dureza del rodamiento).

Lubricación

Sistema aire-aceite

La vista isométrica del anillo de respaldo del cuello se muestra en la Figura 12. El diseño actual del anillo de respaldo presenta ángulos afilados en las ranuras de aceite (radio de 0,5 mm) – Consulte el Detalle A.

Rodamiento de Timken

La figura 13 muestra la propuesta de diseño del rodamiento de cilindro de trabajo utilizado en la aplicación: TQOGW 48680DGW-902A3 cónico de cuatro filas.

Geometría: 139,700 x 200,025 x 160,340 (DI x DE x ancho en mm).

Capacidad de carga Timken: C90(4) = 240 kN.

Modelo computerizado

La aplicación modelada por ordenador se muestra en la Figura 14.

El modelo computerizado es equivalente a las condiciones límite de los cilindros de trabajo descritas anteriormente. Los cálculos de la vida útil L10 se llevan a cabo para condiciones de funcionamiento del 75% de carga máxima y 75% velocidad máxima:

Carga de bending: 0,75 x 167,4 kN = 125,55 kN.

Carga axial: 0,75 x 60 kN = 45 kN.

Velocidad del cilindro de trabajo: 0,75 x 1.443 rpm = 1.082,3 rpm.

La vida a fatiga ajustada del rodamiento L10a de la hi-

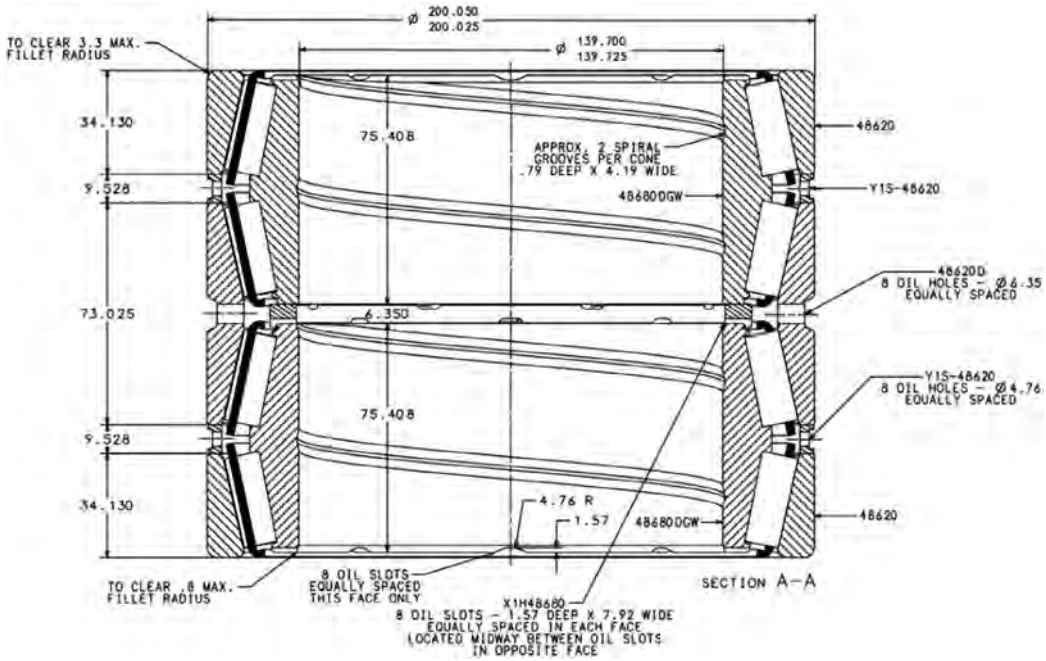


Figura 13: Propuesta de diseño del rodamiento TQOGW 48680DGW-902A3 cónico de cuatro hileras.

Figura 14: Aplicación modelada por ordenador.

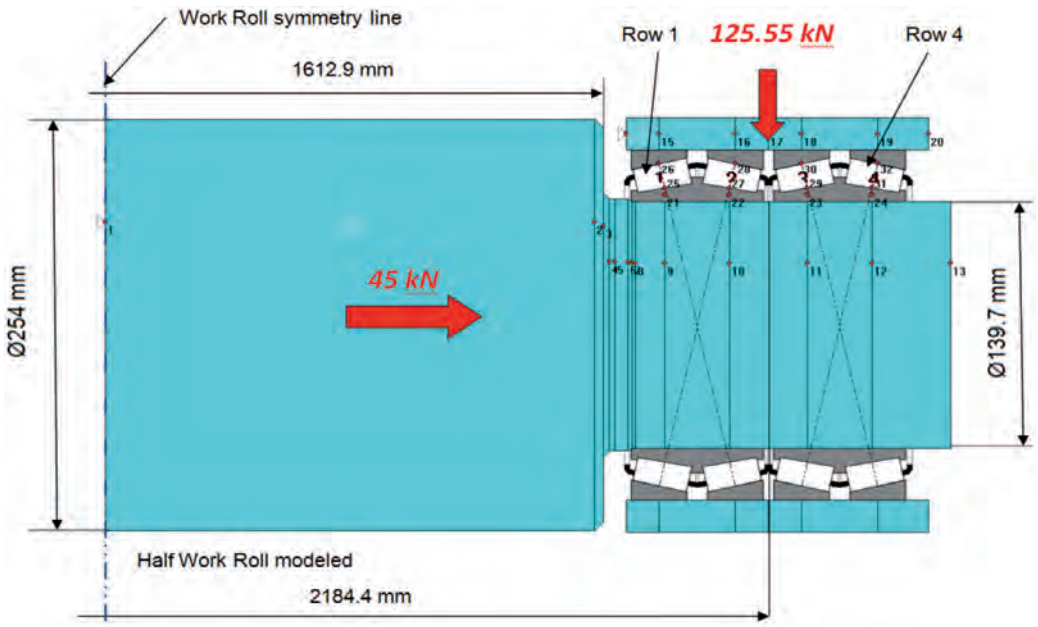


Figura 15: Vista de la vida a fatiga ajustada del rodamiento L10a.

lera 3 (Hilera 3) con carga máxima que aparece en la Figura 15 es de 8.800 horas. Se calcula para condiciones de funcionamiento que tengan el 75% de la carga máxima y utilicen el 75% de la velocidad máxima. Además, se presenta para la carga axial en ambas direcciones. Debido principalmente a la flexión del cuello del cilindro, la carga compartida y, por lo tanto, la vida útil no serán la misma en las cuatro hileras.

Descripción del problema: desgaste acelerado de las caras del anillo interior del rodamiento

Al aumentar la velocidad de laminación un 20% para mejorar la productividad de los laminadores, nuestro cliente aceleró también el problema de los rodamientos. Una velocidad de laminación aumentada como en

Figura 16: Profundo desgaste en el anillo interior del rodamiento. Picaduras profundas, grietas por calor y adhesión pronunciada.

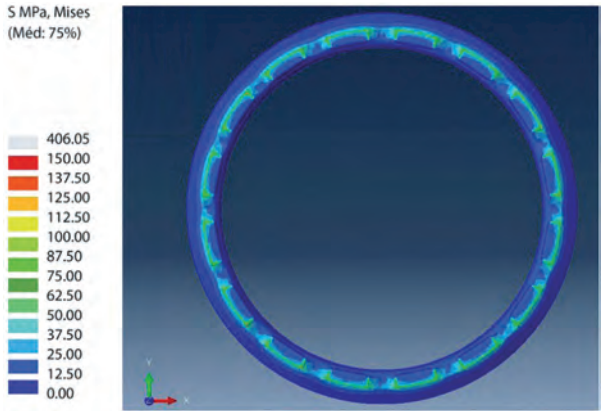


Figura 17: Tensión de von Mises del anillo de la cinta del cuello del cilindro (antes de su renovación).

este ejemplo, sin otros cambios ni mejoras en los laminadores, desgasta las caras del anillo interior, tal y como se muestra en la Figura 16. El cliente pidió ayuda al Ingeniero de Servicio de Timken. No se notificó ningún

otro problema con respecto al rendimiento existente de los rodamientos.

Las áreas de la máxima tensión de von Mises (Figura 17) se indican en la superficie de contacto del anillo de respaldo (valores locales superiores a 150 MPa). Éstas se calculan utilizando las máximas condiciones de funcionamiento (carga de bending máxima de 167,4 kN y carga axial máxima de 60 kN).

D. Estudio de caso: Solución de renovación del rodillo de trabajo de Timken

Se ha realizado una renovación del laminador siguiendo las mejoras técnicas recomendadas por Timken:

1. Diseñe ranuras de aceite en la cara del anillo interior del rodamiento (Figura 18). Use el diseño de Timken de bordes redondeados para las ranuras de aceite de la cara del anillo interior (radio de acuerdo de la cara de 3 mm), para minimizar el desgaste con respecto al conjunto de bloqueo. Reduzca a la mitad el número de ranuras de aceite (8 ranuras en el anillo

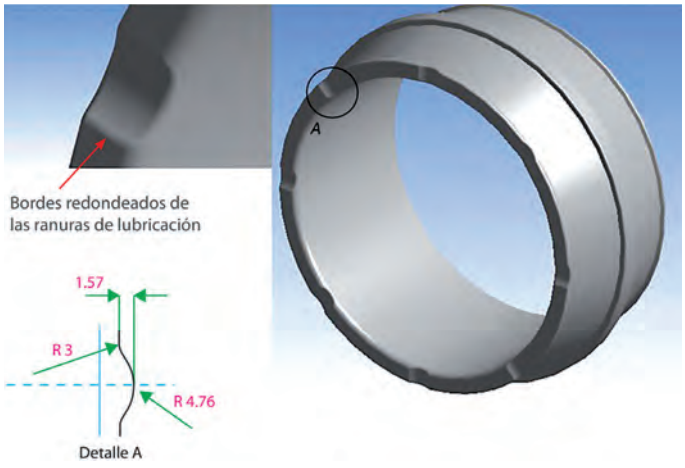


Figura 18: Ranuras de aceite redondeadas en las caras del anillo interior del rodamiento.

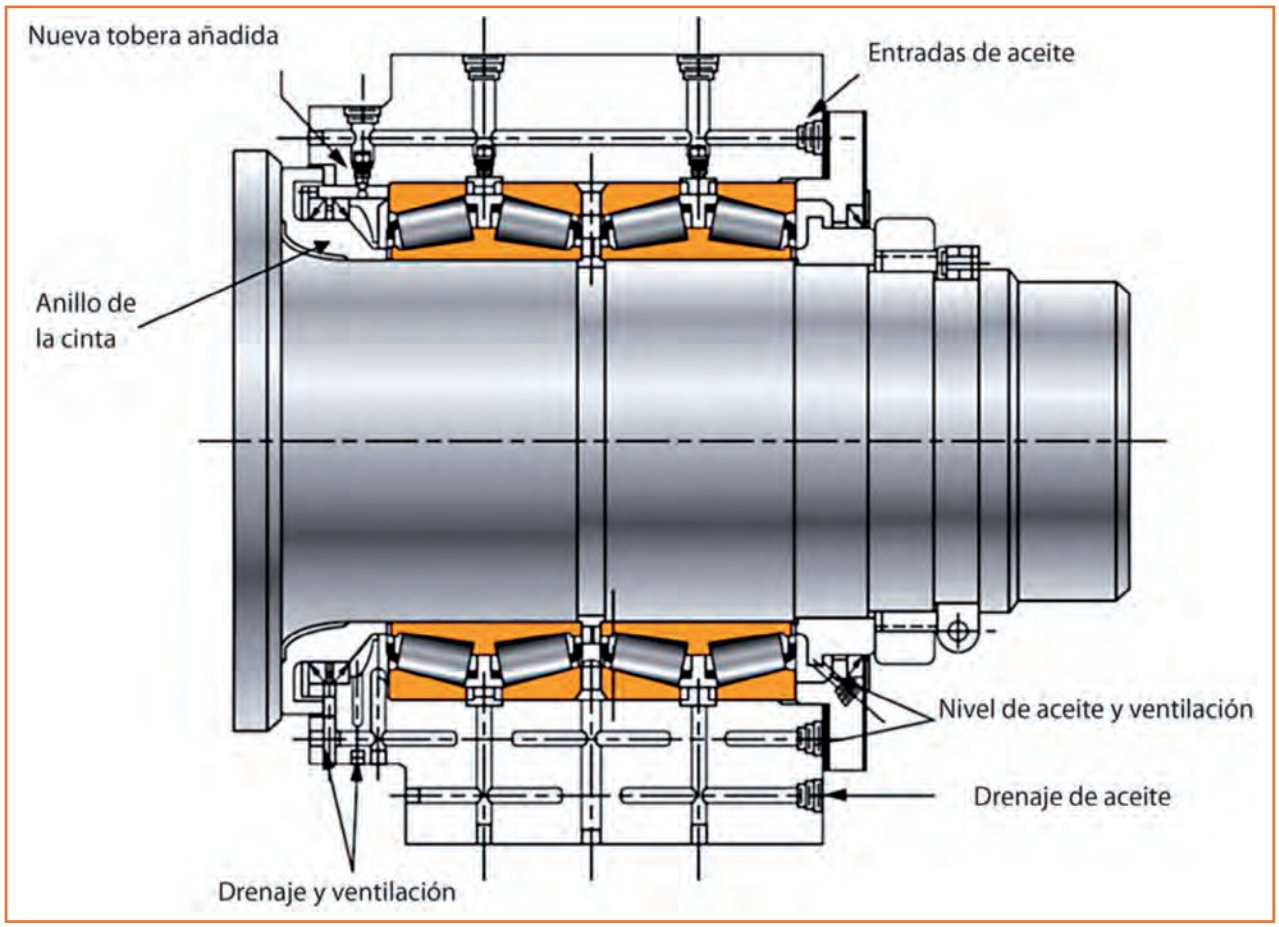


Figura 19: Agregar una nueva boquilla de lubricación.

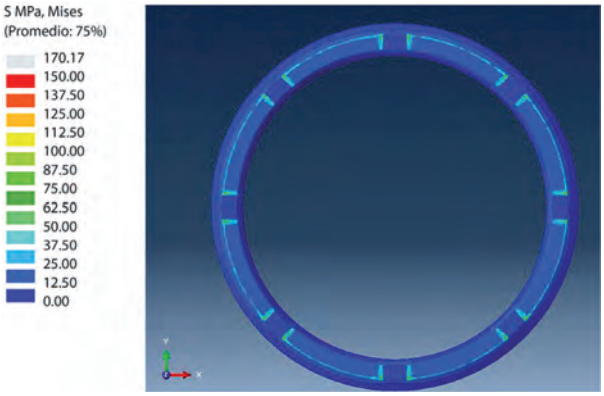


Figura 20: Tensión de von Mises del anillo de la cinta del cuello del cilindro (después de su renovación).

interior del rodamiento en comparación con las 16 del anillo de apoyo del cuello) para disminuir la presión de contacto en las caras adyacentes. La disminución del número de ranuras de aceite se basa en los estándares internos de Timken.

2. Retire las ranuras de aceite de la cara del anillo de respaldo del cuello del cilindro y aumente el diámetro de apoyo, hasta alcanzar la máxima amplitud posible.

3. Reduzca la dureza del anillo de respaldo del cuello del cilindro de 58–60 HRC a 55–58 HRC (por debajo de la dureza del rodamiento).

4. Agregue una nueva boquilla para lubricar el contacto entre la cara del anillo interior y el anillo de respaldo adyacente (Figura 19).

5. Aumente la viscosidad cinemática de ISOVG220 a ISOVG320.

La tensión de von Mises máxima después de esta renovación es de 60 MPa aproximadamente, tanto en el anillo de respaldo del cuello del cilindro (Figura 20) como en el anillo interior del rodamiento. Se ha calculado utilizando las mismas cargas que la Figura 17.

Resultados de la actualización del rodillo de trabajo para altas velocidades:

1. Se ha disminuido la tensión máxima de contacto entre los anillos internos de los rodamientos y las caras adyacentes del anillo de respaldo de 150 MPa a 60 MPa, lo que supone una disminución del 60%.

2. El desgaste de la cara del anillo interior del rodamiento se ha disminuido considerablemente tras seguir las recomendaciones de Timken. El cliente solo tuvo que cambiar seis rodamientos en el año de la renovación, en lugar de los 25 que tuvo que reemplazar el año anterior a este proceso.

3. El laminador ha conseguido aumentar un 20% la productividad de los trenes de laminación, según lo previsto.

E. Resumen y conclusiones

Los propietarios de los laminadores deben ser competitivos en el contexto de un mercado global variable y aumentar la velocidad de las líneas de producción. Este aumento incluye problemas técnicos que se deben resolver. The Timken Company cuenta con una gran experiencia y ofrece, tanto asistencia de ingeniería para la optimización del diseño de los laminadores, como rodamientos con funciones mejoradas para soportar velocidades elevadas. Dichas medidas garantizan el correcto funcionamiento de los laminadores en las condiciones operativas más exigentes.

Comentario

Este material se centra en abordar la cuestión del desgaste que se produce entre el anillo interior del rodamiento y los conjuntos de bloqueo (anillos de respaldo y de retención). Al seleccionar y validar los rodamientos de los cilindros de trabajo, se deben tener en cuenta también otros aspectos, como el desgaste del cuello del cilindro.

Agradecimientos

El autor desea agradecer a The Timken Company el permiso para la publicación de este estudio.

Referencias

1. Harris, T. y Kotzalas, M. (2007), "Rolling Bearing Analysis – Advanced Concepts of Bearing Technology".
2. Association of Iron and Steel Engineers (1985), "The Making, Shaping and Treating of Steel", 10ª edición.
3. The Metals Society (1978), "Flat Rolling: A Comparison of Rolling Mill Types".
4. Zygmunt Wusatowski (1969), "Fundamentals of Rolling".
5. ISO 281 (2007), Rolling Bearings – Dynamic Load Ratings and Rating Life.
6. Timken Engineering Manual – Metals Industry Edition (2013) (manual sobre la industria del metal). The Timken Company / Pedido número 10688.
7. Timken Metals Product Catalog, (2014) (catálogo de productos relacionados con el metal) The Timken Company / Pedido número: 10675.

TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE

VOLÚMEN 1 "PRINCIPIOS DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS ACEROS"

Está ordenado en tres partes. **La primera parte** aborda los conceptos fundamentales que caracterizan las transformaciones que tienen lugar en el acero, tanto en el calentamiento como en el mantenimiento a temperatura de tratamiento, así como en el enfriamiento hasta final de ciclo: diagrama hierro-carbono (Fe-C); diagrama TTT (temperatura-tiempo-trasformación) y diagrama TEC (diagrama de enfriamiento en continuo).

La segunda parte define los tratamientos térmicos másicos: normalizado, recocido, temple revenido, bonificado. Los isotérmicos: austempering, martempering y patentado. Así como los tratamientos subcero y los criogénicos, acentuando los aspectos prácticos de este grupo de tratamientos sin descuidar las bases teóricas de los mismos.

La tercera parte se centra en los tratamientos superficiales: cementación, nitruración, carbonitruración y temples superficiales (temple por inducción, temple a la llama y temple por rayos láser. La importancia creciente y las continuas innovaciones quedan justificadas en los capítulos dedicados a ellos.

VOLÚMEN 2 "ACEROS DE CONSTRUCCIÓN MECÁNICA Y SU TRATAMIENTO TÉRMICO"

Describe de una forma práctica, clara y concisa, todo lo que concierne a los aceros finos de construcción mecánica y también a los aceros inoxidables. El libro está estructurado en dos partes. **La primera parte**, que consta de 9 capítulos, se examinan los aceros al carbono y aleados de temple y revenido, los de cementación y nitruración, los aceros para muelles, los de fácil maquinabilidad y de maquinabilidad mejorada, los aceros microaleados, los aceros para deformación en frío y los aceros para rodamientos. **La segunda parte** está dedicada al estudio de los aceros inoxidables; los dos primeros y extensos capítulos describen los aceros inoxidables y su comportamiento frente a la corrosión. Tras la clasificación de las distintas familias inoxidables, se profundiza en la soldadura de tal grupo de aceros y la relevancia que tiene el tratamiento post soldadura. Con este bagaje, el estudio de los mecanismos de las distintas formas de corrosión es claro y preciso.

El último capítulo está dedicado a los aceros maraging. Se describen los mecanismos del endurecimiento por precipitación de dichas aleaciones, así como los tratamientos más adecuados para alcanzar una extraordinaria y una muy alta tenacidad. Con los tratamientos termoquímicos y térmicos, aplicables a dichas aleaciones, termina el capítulo.

VOLÚMEN 3 "ACEROS DE HERRAMIENTAS PARA TRABAJOS EN FRÍO Y EN CALIENTE, SU SELECCIÓN Y TRATAMIENTO TÉRMICO. ACEROS RÁPIDOS"

Como el volumen 2 está dividido en dos partes, **la primera parte** se inicia haciendo una consideración sobre 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, así como los factores metalúrgicos y tecnológicos que influyen en el comportamiento de las herramientas en servicio. Se discuten algunas consideraciones referentes a la teoría y práctica del tratamiento térmico de los aceros al carbono y de los aceros aleados para herramientas en general

Se profundiza sobre esta gran familia de aceros: aceros al carbono, aceros aleados para trabajos en frío, aceros aleados para trabajos en caliente; particularizándose sobre la extrusión en caliente y la fundición inyectada, así como de los aceros más cualificados para cada uno de sus componentes y herramientas correspondientes. Se analizan, al mismo tiempo, los aceros espaciales para la fabricación de moldes para la industria del plástico.

La segunda parte se destina por entero a una descripción profunda de los aceros rápidos y de su tratamiento térmico; ya que constituyen, por sus características intrínsecas y especiales, una categoría aparte en el contexto de los aceros aleados para herramienta.

VOLÚMEN 4 "FUNDICIONES DE HIERRO Y OTRAS ALEACIONES SUSCEPTIBLES DE TRATAMIENTO TÉRMICO"

La primera parte del libro se refiere a las fundiciones de hierro, pasando revista a las fundiciones grises, a las atruchadas, así como a las blancas; insistiendo en los tratamientos de eliminación de tensiones, de ablandamiento, temple y revenido. Se incluyen también las fundiciones atruchadas y en los distintos tipos de fundiciones maleables; ferríticas, perlíticas, martensíticas o de corazón blanco.

Capítulo aparte merecen las fundiciones especiales: de grafito compacto o esferoidal, así como los tratamientos específicos de estas fundiciones. Igualmente reciben una atención especial las fundiciones ADI en las que se detallan, dada su especificidad, los tratamientos térmicos y un breve comentario sobre calidad ACI y las de calidad AGI.

La segunda parte del libro está dedicada a las aleaciones no férreas, tanto conformadas como fundidas y bonificables o no bonificables.

El **aluminio** y sus aleaciones son tratados con rigor tanto en su composición y propiedades como en los tratamientos térmicos que pueden y, en muchos casos, deben sufrir, ya sean tratamientos de endurecimiento por precipitación, de temple, de solubilización, de maduración o de recocido.

En el **cobre** y sus aleaciones se profundiza en el estudio de sus características principales. Dentro de la variedad de aleaciones de cobre se distinguen tanto los latones como los bronces o los cuproaluminios, cuprosilicios, cuproberilios y cuproníqueles, especificando los distintos recocidos de homogenización o recristalización, eliminación de tensiones, precipitación estructural o temple.

El **titanio** (Ti), metal descubierto en la última década del siglo XVIII. En un principio se tenía como mera curiosidad científica hasta que a mediados del siglo XX, una vez conocida sus excelentes propiedades mecánicas y tecnológicas, se reconoció su potencial como material que presenta, entre otras importantes propiedades, una muy alta relación resistencia/peso. Por su resistencia y relevante dureza, su extraordinario módulo específico, así como su baja densidad [Ti = 4,6 g/cm^3] se utiliza, cada vez más, en la moderna industria aeroespacial, desplazando a las aleaciones de aluminio y a los aceros inoxidables, etc. Su excelente resistencia a la corrosión, muy importante en agua de mar, permite su utilización –bastante generalizada– en la construcción de equipos marinos.

LOS MATERIALES METÁLICOS

Con la aparición del 4º volumen del título general

TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS MATERIALES METÁLICOS

ACEROS Y OTRAS ALEACIONES SUSCEPTIBLES DE TRATAMIENTO TÉRMICO

se cierra el ciclo de esta extensa obra estructurada en 4 volúmenes.

4 VOLÚMENES

VOLÚMEN 4 — 35 €

VOLÚMEN 3 — 40 €

VOLÚMEN 2 — 40 €

VOLÚMEN 1 — 30 €

Puede ver el contenido de los libros y el índice en: www.pedeca.es
o solicite más información en: 91 781 77 76 / pedeca@pedeca.es

Algunas consideraciones sobre los aceros de construcción mecánica destinados a la industria automovilística. Aceros para la fabricación de rodamientos (Parte X)

Por Manuel Antonio Martínez Baena, Ingeniero Metalúrgico

10. Introducción

Tradicionalmente los aceros utilizados en la fabricación de rodamientos constituyen una categoría aparte del conjunto de aceros finos de construcción mecánica. Son aceros muy limpios, de alta pureza y elevada resistencia a la fatiga, que deben responder a una serie de requisitos, entre los cuales destacan por su importancia:

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

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

Rodamientos fabricados con distintos aceros y formatos.

El conjunto de características de este grupo de aceros es muy relevante, dado la considerable e importante repercusión económica que tienen los rodamientos en la industria en general. En efecto, se estima que la producción mundial de rodamientos, de todo tipo y dimensiones, sobrepasa en mucho el millón de toneladas [> 1.500.000 Tm/año]. Esto supone que la producción de acero para rodamientos, sobrepasará en mucho, también, los dos millones de toneladas/año, [> 2.500.000 Tm/año] de los cuales el 80 por 100 (80%) se fabrica, como más adelante veremos, en una sola calidad de acero: el **acero 100Cr6.** A este hecho insólito, se le añade el carácter específico de las exigencias solicitadas a los aceros para rodamientos. Por lo que entendemos que las altas exigencias y normativas del acero derivan, directamente, de las propiedades intrínsecas del propio rodamiento y de su forma de funcionamiento que conducen, asimismo, a unas soluciones metalúrgicas sin parangón en ámbito de los aceros finos de construcción mecánica.

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

10.1. Mecánica de los rodamientos y sus exigencias metalúrgicas

Desde el punto de vista de caracterización del material, el aspecto más importante de la mecánica de los rodamientos es el carácter puntual del contacto entre aro-cuerpo rodante. La teoría de contactos elásticos de **Hertz**, **figura 10.1**, puede resumir el complejo sistema de esfuerzos aplicados en la superficie de rodadura de las piezas en contacto: camino de rodadura-cuerpo rodante.

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

- Tensiones normales de compresión, máximas en superficie que pueden alcanzar valores, normalmente, comprendidos entre 250 y 350 daN/mm² [$\mathbf{C_M}$ = (250 ÷ 350) daN/mm² = (2.500 ÷ 3.500) MPa].

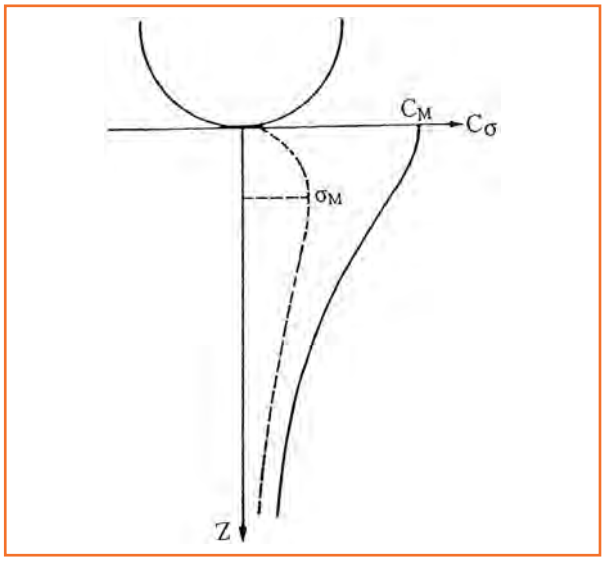


Figura 10.1. Teoría de los contactos elásticos de Hertz. Diagrama de los esfuerzos en el contacto por rodadura.
$\mathbf{C_M}$ = tensión máxima de compresión.
σ_M = tensión máxima de cizallamiento.

- Tensiones de cizallamiento cuya amplitud máxima, conseguida en profundidad, que pueden sobrepasar los 100 daN/mm² [$\sigma_M \geq$ 100 daN/mm² ≥ 1.000 MPa].

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

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

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

Tabla 10.I. Composición química de los principales aceros de baja aleación al cromo (Cr), de temple másico.

10.2. Los diferentes grupos de aceros para rodamientos

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

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

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

La composición química de los aceros de este grupo se deriva de la composición del acero base **100Cr6**; **tabla 10.I**. El acero **100Cr6** es el más representativo de todos los aceros para rodamientos, ya que con él se cubre el 95 por 100 (95%) de las necesidades de los aceros con temple profundo o másico, destinados a la fabricación de rodamientos.

La composición química media característica del acero **100Cr6**, es muy simple: **C = 1,00**%; **Cr = 1,50**%. La existencia del resto de aceros de la **tabla 10.I** está, no obstante, justificada por la templabilidad limitada del acero **100Cr6** para ciertas dimensiones –*sección* y *espesor*–, especialmente, considerables de algunos rodamientos.

En la práctica y analizando las curvas Jominy de este grupo de aceros, **–figura10.2**– nos permite satisfacer casi todas las necesidades de fabricación.

El aumento de templabilidad de los aceros **100CrMn6** y **100CrMo7** se debe a su alto contenido de manganeso

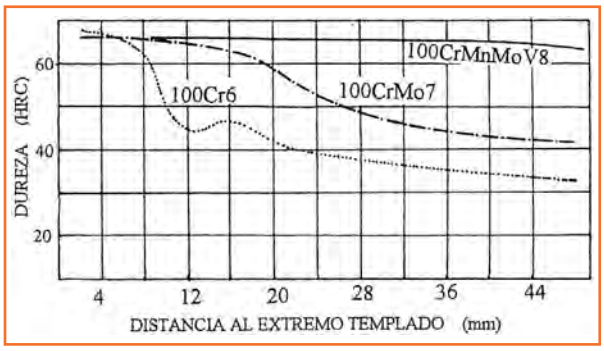


Figura 10.2. Curvas Jominy de los aceros al cromo de temple másico. **Tabla 10.I**.

[**Mn** = (1,00 ÷ 1,20%)] y a su más alto molibdeno [**Mo** = (0,15 ÷ 0,30%)] respectivamente. Templabilidad que, en ambos, se puede considerar como muy próxima entre sí; y, la elección entre una u otra composición química corresponde, básicamente, a las tradiciones propias de cada fabricante de rodamientos.

Señalaremos, no obstante, que la ventaja de utilizar el acero **100CrMn6** es únicamente por su más baja temperatura de austenización, que ocasiona una menor propensión a las deformaciones por temple y revenido; y, al mismo tiempo, tiene una mayor aptitud al temple bainítico y/o bainítico-martensítico; **figura 10.3**. Tratamiento éste que, a igual dureza de un temple + reve-

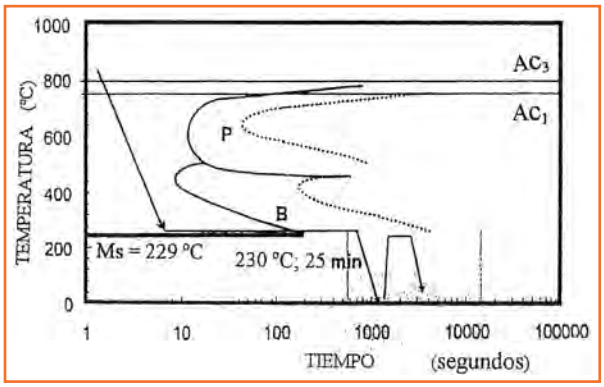


Figura 10.3. Esquema representativo del temple bainítico-martensítico + revenido a 180 ºC. **Acero 100CrMn6**.

Tabla 10.II. Grupo de aceros de cementación de baja aleación.

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

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

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

2.2.2. *Aceros de cementación*

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

En la categoría de aceros de cementación, indicamos cuatro composiciones químicas principales; **tabla 10.II**. El acero más utilizado es el **20NiCrMo2**; ya que su consumo representa, aproximadamente, el 85 por 100 (85%) del total de los aceros de cementación empleados en la fabricación de rodamientos.

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

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

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

En esta categoría de rodamientos sólo nos limitaremos a la utilización de aceros inoxidables martensíticos empleados en la fabricación de rodamientos de utilización en medios corrosivos; **tabla 10.III**.

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

Tabla 10.III. Grupo principal de aceros inoxidables martensíticos de uso en rodamientos.

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

El tratamiento térmico –*temple + revenido*– de los aceros inoxidables, el temple es mucho más complejo, frente al tratamiento térmico de los aceros del primer grupo –*aceros de baja aleación al cromo de temple másico*– e igualmente, ocurre con el grupo de los aceros de cementación. Hay diferencias sustanciales de tratamiento térmico:

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

En todos los casos y en los tres grupos descritos, la elec-

ción de las temperaturas de revenido, después del temple, está igualmente influenciada por la composición química del acero que sufre este tratamiento térmico:

- Aceros indicados en las **tablas 10.I** y**10.II**. Temperaturas de revenido comprendidas entre 160 y 180 °C, para poder conservar la dureza mínima de trabajo en servicio: 60 HRC (HRC ≥ 60).

- Aceros inoxidables; **tabla 10.III.** La resistencia a la corrosión, va unida a una buena estructura martensítica de temple, por lo que la temperatura de revenido ha de ser muy baja, del orden de 160 ± 10 °C. Hay que evitar temperaturas de revenido, relativamente altas, que provocan una menor resistencia a la corrosión.

- Muy importante de los contenidos residuales de oxígeno y, asimismo, mejora general de la pureza en inclusiones tipo óxidos.

10.3. La elaboración de los aceros para rodamientos

En la actualidad, particularmente en el campo de los aceros para rodamientos y otros aceros especiales, se ha pasado de realizar la elaboración del acero, ***fusión*** y ***afino***, en el horno de arco eléctrico, a utilizar solo el horno eléctrico para efectuar la fusión y la defosforación. El **afino** se realiza en una instalación independiente denominada **horno-cuchara**, que se complementa con una **estación de desgasificado al vacío**. El conjunto de instalaciones compone el sistema o proceso de elaboración actual del acero líquido, –*horno-cuchara-vacio* [**HCV**]– denominado **metalurgia secundaria**; **figura 10.4.**

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

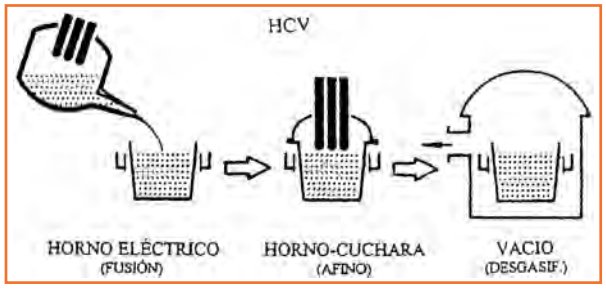


Figura 10.4. Esquema representativo del proceso de fabricación de los aceros para rodamientos y aceros de herramientas en general: Horno-Cuchara-Vacio (**HCV**).

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

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

- Desaparición casi completa de los defectos internos, referente a la presencia del hidrógeno: *copos*.

- Disminución muy importante de los contenidos residuales del oxígeno y, asimismo, mejora general de la ausencia en inclusiones tipo óxidos.

- Aumento de los resultados de temple, preferentemente, de endurecimiento martensítico.

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

10.4. El recocido de los aceros para rodamientos

Los componentes de los rodamientos –*anillos* y *cuerpos rodantes*– se fabrican partiendo de barras, alambres, tubos, piezas forjadas, etc.; materiales todos ellos a los que se les da forma mediante mecanizado con arran-

que de viruta o bien por estampado o forjado en frío y, a veces, en caliente. Para esto es necesario que el acero, tanto para uno u otro sistema de mecanizado, tenga una buena calidad de recocido.

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

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

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

Una estructura natural bruto de laminación o bruto de forja –**figura 10.5–**, volvemos a insistir, es extremadamente difícil de mecanizar por arranque de viruta; e imposible, también, de estampar o conformar en frío debido, fundamentalmente, a su elevada dureza (HB > 300). De hecho la única estructura capaz de dejarse trabajar, tanto por arranque de viruta o bien por forja o estampación en frío –*la práctica así lo demuestra*– es la que denominamos globular, constituida por finos glóbulos de cementita dispersos uniformemente en una masa matricial o matriz ferrítica, blanda y dúctil, –**figura 10.6**– que representa, al mismo tiempo, el ablandamiento máximo (HB ≤ 220).

El ciclo de recocido globular de los aceros al cromo para rodamientos **–figura 10.7**– comporta dos fases fundamentales:

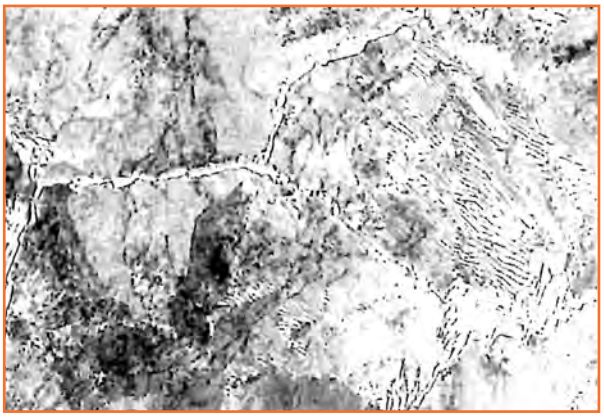


Figura 10.5. Estructura en estado bruto de laminación o de forja (X 1.000). **Acero 100Cr6**.

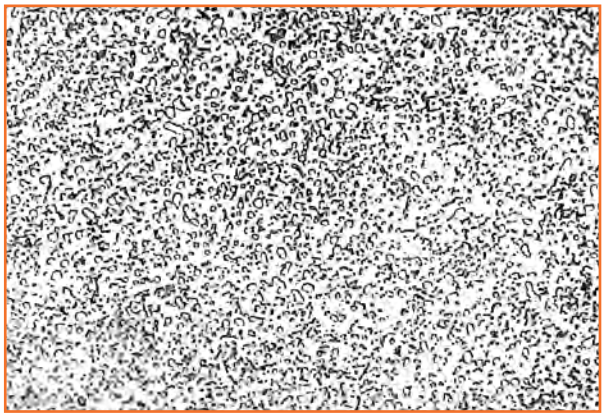


Figura 10.6. Estructura correcta de recocido globular (X 1.000). **Acero 100Cr6**.

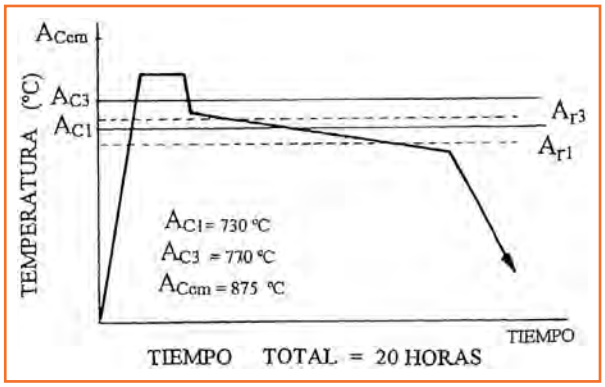


Figura 10.7. Diagrama de secuencia tiempo-temperatura (**TT**) del recocido globular. **Acero 100Cr6**.

- Una puesta en solución de los carburos en la austenita, cuando el acero es calentado a una temperatura por encima de la de los puntos críticos $\mathbf{Ac_1/Ac_3}$, pero claramente por debajo de la temperatura $\mathbf{A_{cm}}$ de disolución completa de los carburos**.** Con ello se trata de obtener la disolución y rotura de las laminillas de cementita proeutectoide; procurando, al mismo tiempo, que permanezca una fina dispersión de carburos en la austenita.
- Un periodo de difusión, caracterizado por un enfriamiento largo, muy lento y controlado del acero en el intervalo o etapa de coalescencia de los carburos, donde el carbono en solución precipita sobre los carburos no disueltos, impidiendo que se formen nuevos gérmenes.

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

A. Un buen control de la temperatura y del tiempo de

recocido –*tiempo de austenización entre* 1 *y* 2 *horas a temperatura comprendida entre* 790 *y* 820 °C–con lo que, normalmente, se consigue una correcta puesta en solución de los carburos. Todo esto asegura una distribución uniforme de los carburos no disueltos en la estructura inicial del material, que servirán después como gérmenes para la globulización correcta de dicha estructura.

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

Por el contrario una disolución en exceso de los carburos, conduce a un número de gérmenes que no es suficiente para impedir que se produzca la precipitación del carbono durante el enfriamiento del material que sigue en el proceso del recocido. Estas circunstancias conducen, por principio, a una estructura globular grosera que provoca, inevitablemente, la formación y la presencia de algunas lagunas o fracciones de perlita en la estructura del material afectado; **figura 10.8.**

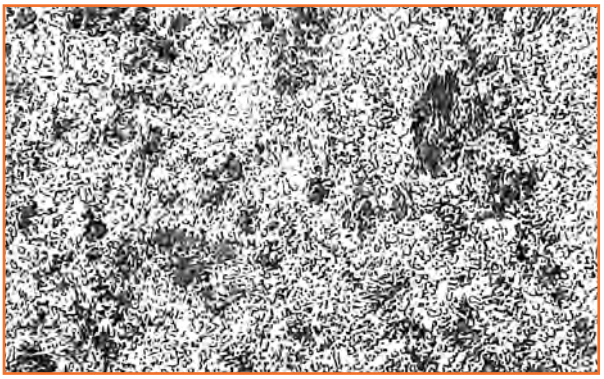


Figura 10.8. Estructura no correcta: coalescencia grosera de cementita parcialmente globulizada y algunas lagunas aparentes de nueva perlita (X1000). Recocido globular realizado a una temperatura demasiado alta. **Acero 100Cr6**.

B. Un control adecuado de la velocidad de enfriamiento en el tratamiento de recocido [(10 ÷ 15) °C/*hora*] permite al carbono sobresaturado difundirse en los gérmenes más próximos. La velocidad de enfriamiento depende, en la práctica, de la puesta en solución de los carburos**.** Con velocidades de enfriamiento demasiado rápidas, permite la precipitación de glóbulos de cementita de tamaño excesivamente pequeño, formándose entonces una estructura globular puntiforme, –*muy fina*– no deseable; y, al mismo tiempo, existe la posibilidad de la formación y presencia de algunas fracciones de perlita.

El tiempo aproximado o duración total del recocido globular es del orden de unas 30 horas. Las acerías utilizan para estos menesteres, casi siempre, hornos continuos que acortan los ciclos de recocido –**figura 10.9–**; hornos dotados, normalmente, de atmósfera protectora para evitar posibles descarburaciones del material que se recuece.

Figura 10.9. Horno de recocido continuo con atmósfera protectora, para barras laminadas y productos forjados.

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

10.4.2. *Recocido de los aceros de cementación*

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

En el caso de los aceros de cementación distinguimos dos formas de recocido fundamentales; **figura 10.10**:

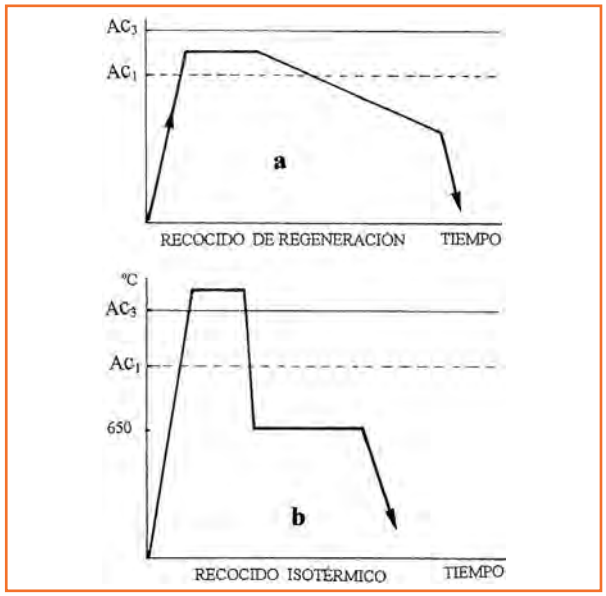


Figura 10.10. Diagramas de secuencia tiempo-temperatura (**TT**). Clásicos recocidos de los aceros de cementación para rodamientos: (**a**) recocido de regeneración; (**b**) recocido isotérmico.

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

En el **recocido total** o de regeneración –*curva de enfriamiento* **A** *del diagrama de la* **figura 10.11**– calentamos, de forma homogénea y regular, el material por encima del punto **Ac_1**; y, después de un tiempo de permanencia a la temperatura de austenización, se enfría lentamente dentro del horno, con el fin de asegurar una transformación completa de la austenita en ferrita-perlita; estructura ésta que en la práctica, es válida para mecanizados poco dificultosos.

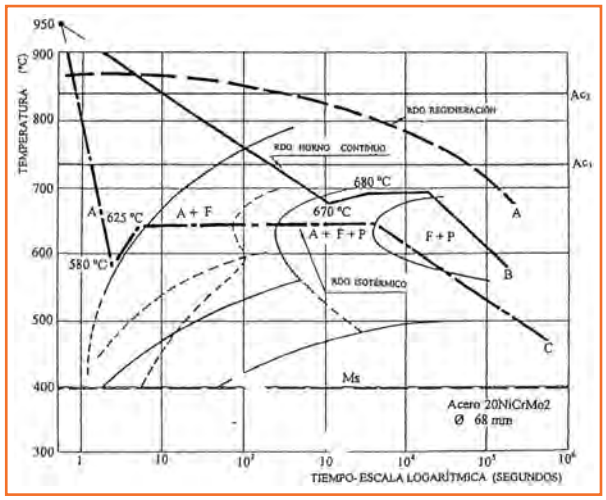


Figura 10.11. Diagramas superpuestos de transformación isotérmica y transformación en continuo. **Acero 20NiCrMo2**. Representación de los diferentes ciclos de recocido y curvas de enfriamiento correspondientes.

Cuando el recocido se realiza con calentamientos y enfriamientos no apropiados, hay entonces una insuficiente regeneración de la estructura laminar, obteniéndose en tal caso, estructuras ferrito-perlíticas en bandas; **figura 10.12**. La estructura en bandas es muy perjudicial para el mecanizado y, también, para el posterior tratamiento final: cementación + temple. El efecto desfavorable de tal estructura –*bandas de ferrita* y *de perlita*– ha estado muy discutido en la literatura especializada; de hecho la experiencia así lo ha demostrado, sobre todo en aquellas operaciones de mecanizado que comportan arranque lento de viruta: taladrado, brochado, etc.

Figura 10.12. Estructura en bandas de ferrita y de perlita (X150). Constituyentes que, habitualmente, aparecen en los recocidos de regeneración de aceros de bajo carbono y de baja aleación. *Curva de enfriamiento* **A**. **Acero 20NiCrMo2**.

Para evitar, en lo posible, la mencionada estructura en bandas conviene calentar el acero por encima de la temperatura del punto crítico **Ac_3**, y después de un tiempo adecuado de austenización enfriarlo, enérgicamente, hasta una temperatura próxima a la de la ¨nariz¨ perlítica de la curva de la ¨**S**¨ del diagrama **TTT** correspondiente –*curva de enfriamiento* **C** *de la* **figura 10.11**– manteniéndolo el tiempo suficiente a esa temperatura, hasta la total descomposición de la austenita en perlita.

Este recocido, denominado **recocido isotérmico**, conduce a una estructura de ferrita-perlita no bandeada, particularmente, denominada estructura ¨blanca y negra¨, **figuras 10.13.**

Una estructura no bandeada es muy difícil de conseguir a nivel de acería, ya que precisa instalaciones de hornos continuos muy especiales. Los hornos utilizados en las

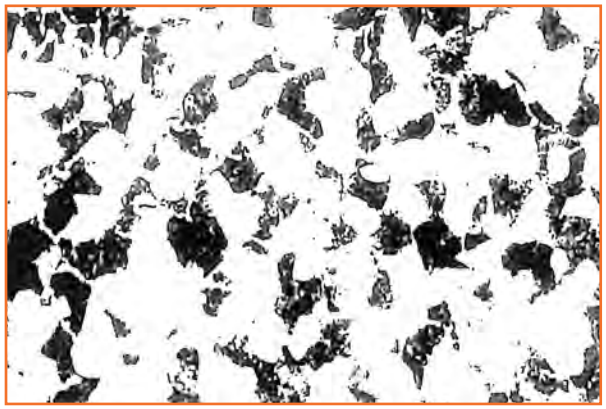


Figura 10.13. Estructura en bloque no bandeada de ferrita + perlita ¨estructura blanca y negra¨ (X150)**.** Recocido isotérmico. *Curva de enfriamiento* **C**. **Acero 20NiCrMo2**.

Figura 10.14. Estructura ligeramente bandeada (X150). Ciclo de recocido seudo isotérmico realizado en horno continuo y en la propia caería. *Curva de enfriamiento* **B**. Acero **20NiCrMo2**.

acerías, aunque tienen una zona intermedia de enfriamiento enérgico del material en proceso –*barras laminadas*, *rollos laminados* y *productos forjados*– hasta los 670ºC, no se logra nunca un perfecto recocido isotérmico (100%); aunque en la mayoría de veces puede ser, en la práctica, suficiente: curva de enfriamiento **B** del diagrama de la **figura 10.11.** La estructura de la **figura 10.14**, corresponde a esta forma de recocido.

HORNOS PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS AL VACÍO
Temple Gas
Temple Aceite
Revenido
Recocido
Soldadura Brazing
Sinterizado
MIM
Nitruración Baja Presión
Nitruración Iónica
Cementación Baja Presión
EL ESPECIALISTA EN HORNOS DE VACÍO DESDE HACE MÁS DE 70 AÑOS
APLICACIONES TERMOTECNICAS, S.L
Polígono Erletxe, Plataforma B, Nave 5 - 48960 GALDACANO - ESPAÑA
Telf. (+34) 944 262 522 - Fax. (+34) 944 262 262
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.
A member of the STEULER Group
EMPRESA LIDER EN MONTAJE, SUMINISTRO, MANTENIMIENTO Y
SUPERVISION DE REVESTIMIENTOS REFRACTARIOS
Revestimientos Refractarios Industriales
Pavimentos Industriales – Protección de Superficies
Reparación y Refuerzo Estructural – Protección Pasiva contra Incendios
Ingeniería de Revestimientos Refractarios - Estudios de Eficiencia Energética
CENTRAL
Ribera de Zorrozaurre 15, 2º
Tf: +34 902 11 89 47 Fax: +34 944 48 37 32
48014 BILBAO
www.tecresa.com - tecresa@tecresa.com
DELEGACIONES
Asturias
Andalucía
Galicia
Cantabria
Madrid

Flexinox
INDUSTRIAL
www.flexinox.com
ESPECIALISTAS EN LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS PARA
TRATAMIENTO TÉRMICO Y RECAMBIOS EN ACEROS REFRACTARIOS
TUBOS RADIANTES
MUFLAS
RETORTAS
UTILLAJES
CESTAS Y CRISOLES
CADENAS
REPARACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE HORNOS
(OBRAS REFRECTARIAS)
Representante para España de AUBE-LINDBERG
FILINOX, S.A.
C/ Sant Adrià, 76
08030 Barcelona
Tel.: 93 223 26 62
Fax: 93 223 26 67
customer@inoxidables.com

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

APLITEC
Utillaje tipo mecano, cestas, tubos radiantes
Fundición acero inoxidable refractario
CFC
CODELE SA
Utillaje forming
ECONOX SR
RD
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

Fabricamos hornos y estufas industriales
Modelos stándars y especiales
tecno piro
www.tecnopiro.com
Hornos del Vallés, S.A
Barcelona (Spain)
T/ 936 926 612 - 606 134 562
hdv@tecnopiro.com

PROYCOTECME
HORNOS INDUSTRIALES
Especialistas en
tratamiento térmico
SOLO
Borel
Special Furnaces
HORNOS VERTICALES,
TRANSFER Y CONTINUOS
HORNOS Y ESTUFAS
PANELES DE GASES
PANELES DE CONTROL Y SUPERVISIÓN
CONSUMIBLES Y CALDERERÍA
CONSUMIBLES FUNDICIÓN
Ipsen
www.proycotecme.com

Interbil

Ingeniería Térmica Bilbao s.l.

Ingeniería y Productos para Hornos y Procesos Térmicos

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

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

www.interbil.es

ARROLA®

SERVICIO INTEGRAL
PARA INSTALACIONES
DE TRATAMIENTO TERMICO

HORNOS INDUSTRIALES

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

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

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

alju

- Granalladoras.
- Instalaciones de chorreado manual y automático.
- Líneas de granallado y pintado.
- Filtros de aspiración.
- Piezas y calderería antidesgaste.
- Esmeriladoras pendulares.

FABRICANTES CON INGENIERÍA PROPIA

Teléf.: +34 944 920 111 • e-mail: alju@alju.es • www.alju.es

ACEMSA

Centro Metalográfico de Materiales

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

Laboratorio de ensayo acreditado por ENAC

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

CRONITE

Better by design

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

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

ERVIN

The World Standard for Quality

FABRICANTE DE GRANALLA DE ACERO Y GRANALLA DE ACERO INOXIDABLE

No sólo ofrecemos la mejor calidad de granalla del mercado, sino también un excelente servicio técnico.

- **Máxima productividad, mínimo coste**
- **Desgaste reducido**
- **Reducción del polvo y de la eliminación de residuos**

ERVIN 100 years

Por favor, póngase en contacto con el Sr. Manuel Forn:
M +34 628 531 487 • mforn@ervin.eu • www.ervin.eu

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

SCHMOLZ + BICKENBACH GUSS GmbH & Co. KG

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

SOLO
Switzerland
Hornos industriales para el tratamiento térmico
www.soloswiss.es
SOLO Swiss SA
email : mail@soloswiss.com - tel. : +41 32 465 96 00

Ipsen
www.Ipsen.de
Your Total Solutions Provider

Borel
Standard Furnaces & Ovens
Switzerland
Hornos industriales y estufas
www.borel-hornos.com
Borel Swiss SA
email : borel@soloswiss.com - tel. : +41 32 465 96 00

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

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

Generación económica para un Vacío óptimo
Busch Ibérica S.A.
+34 (0)93 861 61 60
busch@buschiberica.es
www.buschiberica.es
BUSCH
Bombas y Sistemas de Vacío

AMETEK
MATERIALS ANALYSIS DIVISION
Analizadores Estacionarios de Metales
La solución integral para sus necesidades de análisis de metales
SPECTROLAB
Máximas prestaciones para la siguiente generación de analizadores de metal
SPECTROMAXx
El Analizador de Metales Preferido
SPECTROCHECK
Las máximas prestaciones y fiabilidad al precio más bajo posible
¡Celebramos 40 años!
SPECTRO 40 YEARS
944 710 401 • comercial@spectro.es

INDICE de ANUNCIANTES

3DADDITIVE 11
ACEMSA 48
ALJU 48
APLITEC 47
ARROLA . . . . . CONTRAPORTADA
BAUTERMIC 46
BIEMH . . . . . INT. PORTADA
BMI 47
BOREL SWISS 49
BUSCH 49
CRONITE . . . . . PORTADA
DEGUISA 47
ENTESIS 47
ERVIN 48
FLEXINOX 47
GRUPO PIROVAL 46
HEA 5
HORNOS DEL VALLÉS 17
HOT 19
INSERTEC 49
INTERBIL 7
IPSEN 49
LIBROS TRATAMIENTOS TÉRMICOS . 36 y 37
METALMADRID 9
PROYCOTECME 47
REVISTAS TÉCNICAS . . . . . INT. CONTRAPORTADA
SOLO SWISS 49
SPECTRO 49
SUMINISTRO Y CALIBRACIÓN 15
TECNYMAT 13
TECRESA 47
WHEELABRATOR 48

Próximo número

SEPTIEMBRE

Nº Especial **METALMADRID** (Madrid).
Nº Especial PROVEEDORES. Hornos industriales.
Espectrómetros. Equipos de control. Quemadores.

SU MEJOR COMUNICACIÓN

REVISTAS PROFESIONALES DEL SECTOR INDUSTRIAL

PUEDE DESCARGAR TODOS LOS NÚMEROS GRATUITAMENTE EN:

WWW.PEDECA.ES

Si nos envía un email a pedeca@pedeca.es le añadimos en el correo de distribución cada vez que se edite un nuevo número

PEDECA *Press* Publicaciones

SOMOS SU MEDIO

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

PORQUE
LA DIFERENCIA
SE MARCA
DESDE EL PRINCIPIO

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

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

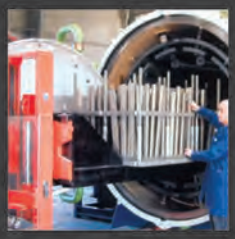
ARROLA®

SERVICIO INTEGRAL
PARA INSTALACIONES
DE TRATAMIENTO TERMICO

SERVICIO INTEGRAL

PARA INSTALACIONES DE TRATAMIENTO TERMICO Y GALVANIZADO EN CALIENTE

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



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

publiadk