TRATER Press

SEPTIEMBRE2018 • Nº 66

REVISTA DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

www.pedeca.es

HORNO ELÉCTRICO PARA CALENTAMIENTO DE MOLDES DE ALUMINIO

HEA SINCE 1945

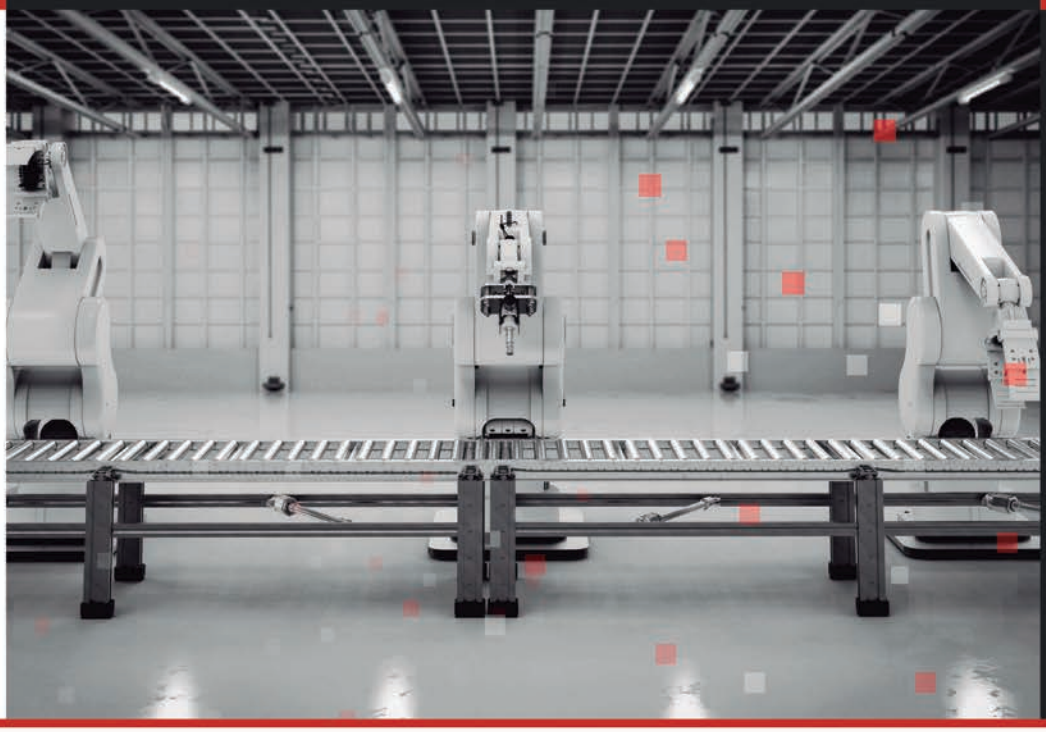
HORNOS INDUSTRIALES

www.alferieff.com • hea@hornoshea.com

Telféfono: +34 91 639 69 11

metalmadrid `18

www.metalmadrid.com



26 - 27
SEPTIEMBRE

IFEMA

LA FERIA DE LA INNOVACIÓN INDUSTRIAL

+500 EXPOSITORES

INNOVATION AREA

ACREDITACIÓN DIGITAL

REGÍSTRATE ONLINE

CÓDIGO DE REGISTRO: 231

**Entrada gratuita sólo con registro online. Taquilla: 15€*

CONGRESO: **Descubre las transformación de los sectores tradicionales de la mano de 8 bloques sectoriales y numerosos casos de éxito en industria 4.0**

CONNECTED MANUFACTURING | COMPOSITES ENGINEERING | AERO ENGINEERING | AUTOMOTIVE ENGINEERING | ENERGY ENGINEERING | AGRIFOOD ENGINEERING | ROBOTIC ENGINEERING | ADDITIVE MANUFACTURING

Encuentra todo lo que necesitas en una única visita

Máquina-Herramienta | Automatización | Robótica | Industria 4.0 | Composites | Soldadura | Subcontratación | Tratamiento de superficies | Medida, inspección, calidad y testing | Componentes para maquinaria | Equipos de protección individual | Fabricación aditiva

Celebrado junto con: ROBOMATICA | COMPOSITE SPAIN

Patrocinadores oficiales del evento:

Hoffmann Group · 30 1988 2018 EN ESPAÑA · TRUMPF · LUBRICANTS. TECHNOLOGY. PEOPLE. FUCHS · SCHUNK

Colaboran:

Comunidad de Madrid · MADRID · Gestamp · Talgo

+34 91 541 24 88 · *metalmadrid@easyfairs.com*

by EASYFAIRS

Nuestra Portada

HEA
Hornos Industriales
www.alferieff.com
hea@hornoshea.com
Tel.: 916 396 911
MADRID

Sumario • Septiembre 2018 - Nº 66

Información

- GHI pone en marcha una línea continua para tratamiento de piezas, en una planta de automoción en Madrid **4**
- Carta abierta al Ministerio de Industria - *Por Confemetal* **6**
- Estudio del laminado de una colada del tipo 9%Cr modificada - *Por M. Carsí y F. Peñalba* **10**
- Coyuntura del metal - *Por Confemetal* **17**
- Algunas consideraciones sobre los aceros de construcción mecánica destinados a la industria automovilística (Parte II) - *Por Manuel Antonio Martínez Baena* **20**
- IK4-Tekniker obtiene la Certificación de Gestión de I+D+I **26**
- Nueva cámara termográfica de calidad industrial **28**
- GHI Smart Furnaces presenta una tecnología innovadora para estampación en caliente **30**
- UNESID celebra su 50 Junta General **32**
- Visión general sobre máquinas lavadoras industriales para tratamientos y acabados superficiales, su clasificación y principales características - *Por Bautermic S.A.* **34**
- Endurecimiento Superficial por Inducción (Hardening) en Fundiciones - *Por Dr. Valery Rudnev. Traducción: Eugenio Pardo* **34**

Guía de compras **46**

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

GHI pone en marcha una línea continua para tratamiento de piezas, en una planta de automoción en Madrid

Ya está a pleno rendimiento y con los óptimos resultados esperados, la nueva línea de GHI para temple y revenido de tornillería, en las instalaciones de Lisi Automotive en Fuenlabrada.

"En GHI estamos innovando y retándonos continuamente. Esta nueva línea es el resultado de años de experiencia e investigación. Para GHI, es un gran incentivo que Lisi confíe nuevamente en nosotros, nos anima a seguir por este camino" afirmó José Berasategui, Director General de GHI.

Lisi Automotive, empresa líder internacional en el diseño y fabricación de piezas de alto valor añadido para automoción, es cliente de GHI desde hace más de 20 años. Ésta es la segunda línea completa que instalamos en dicha fábrica, que cuenta además, con otros hornos de GHI.

El suministro entregado se compone de un horno de alta, un horno de baja, un tanque de temple y los equipos auxiliares, tales como el sistema de carga y los elementos de regulación y control, todos ellos diseñados y fabricados por GHI.

La creciente exigencia y los rigurosos controles de calidad en la industria automotriz, obligan a que las piezas reúnan características como ausencia de melladuras y defectos físicos, uniformidad de propiedades mecánicas en lotes, homogeneidad de estructura en piezas, pulcritud en el acabado superficial, etc.

Gracias a sus 80 años de experiencia y su capacidad de innovación técnica, GHI cumple con creces en esta línea, los requisitos preestablecidos por el cliente.

Línea continua para carbonitruración y temple.

HORNOS DE INDUCCIÓN

PARA FORJA INDUCTOFORGE DE INDUCTOTHERM

I-HAZ

MAXIMIZA EL CONTROL DEL PROGRESO

MODO STAND-BY:

MINIMIZA LOS RECHAZOS EN PARADAS Y ARRANCADAS

INDUCTOTHERM GROUP | IBERIA

Alta productividad y alta seguridad para su forja

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

Carta abierta al Ministerio de Industria

Por Confemetal

La Industria es el embrión a partir del cual se desarrolló la actual potencia económica europea y su estado del bienestar, Sin la industria no pueden entenderse la historia, la cultura y la economía del continente, y en España, a escala de su desarrollo y su particular proceso de industrialización, ocurre lo mismo.

La actividad industrial es la que repercute más positivamente en el resto de la economía y mejora en mayor medida la productividad global, es fundamental para la innovación, las exportaciones y la creación de puestos de trabajo de calidad en el conjunto del sistema.

Ningún sector económico es capaz de aportar más que la Industria a la consecución de objetivos sociales y políticos como la eficiencia energética, el uso sostenible de los recursos, el desarrollo de nuevos materiales que respondan a las necesidades actuales de una vida más saludable, de mayor seguridad y movilidad, y a las de información y comunicación.

Que la Industria mantenga y refuerce su posición de motor del conjunto de la economía no depende sólo de la propia Industria ni del crecimiento del conjunto de la economía, sino también de la atención que se preste a políticas claves para el correcto desenvolvimiento de su actividad.

Recuperada una estructura política y administrativa del máximo nivel capaz de contemplar y atender a la industria desde el punto de vista multidisciplinar en el que se desarrolla su actividad, es el momento de definir una política industrial realista y eficaz.

La Política Industrial, con mayúsculas, tiene que ser un instrumento decisivo para apoyar la innovación y el conocimiento, impulsar la inversión en infraestructuras y asegurar un desarrollo medioambientalmente sostenible y un suministro de energía fiable y a precios competitivos.

De ello depende, en gran medida, nuestra competitividad como país y las posibilidades de generar riqueza y bienestar. Pero también políticas "horizontales" como la laboral, la educativa, la fiscal, o la de competencia, entre otras, habrán de considerar de manera especial las necesidades de la Industria, si se quieren conseguir esos objetivos de país.

La Industria no necesita listas de buenas intenciones y propuestas irrealizables, tradicionalmente empaquetadas en forma de decálogos o libros blancos, lo exigible es que legisladores y gobernantes, lejos de remedios milagrosos, planteen medidas que sean aplicables, eficaces y útiles.

Y, sobre todo, que se fijen como objetivo que la Industria siga siendo atractiva para trabajar e invertir, porque sólo una base industrial fuerte permite a una sociedad ofrecer mejores condiciones de vida y un nivel de bienestar más alto a un mayor número de ciudadanos.

La Industria necesita innovación, y para ello han de acercarse la investigación y el mercado. Se debe hacer más por aprovechar los resultados de la investigación y por facilitar su incorporación en las Pymes, y hay que mejorar las fórmulas para su financiación.

VI FÓRUM TÉCNICO INTERNACIONAL DE ESTAMPACIÓN EN CALIENTE 2018

18 de octubre

Automotive Intelligence Center (AIC), Bizkaia

tabira Instituto de Fundición

WFO

IK4 AZTERLAN Research Alliance

Solicitud de información del evento, mediante email a info@iftabira.org
o a través de la web http://bit.ly/2FboaAJ

MEDIA PARTNER MOLD Press TRATER Press

Un "banco para la innovación", financiación a más largo plazo bajo condiciones comerciales, y un "fondo para la innovación" que asistiese en las diferentes fases de los proyectos, desde la investigación y los ensayos, a la implantación y la producción comercial, serían buenas soluciones.

La Industria necesita un marco regulador resuelto y eficaz. La normativa europea es compleja y cambiante, y la española y las autonómicas, cuando no las normativas municipales, le añaden complicaciones y trabas.

Quizá sea el momento de darse un respiro normativo y revisar el acervo legislativo comunitario que afecta a las empresas industriales y cómo se ha transpuesto a la legislación nacional, muchas veces contra la propia Industria, cuando debería ser uno de los "bienes protegibles" por esa legislación.

En este marco sobrerregulado, es clave la legislación medioambiental europea que, lejos de estimular la armonización, sólo establece niveles mínimos y permite a los gobiernos nacionales, regionales o locales añadir nuevos requisitos, distintos cuando no contradictorios, pero siempre perjudiciales para el mantenimiento de un mercado único.

Si hemos de procurar un desarrollo sostenible, se debe garantizar que la legislación medioambiental respete y se integre en el marco del mercado interior, o las empresas se resistirán a adaptarse a normas que considerarán más una amenaza que la oportunidad que los legisladores pretenden que sean.

La Industria, el sector más alejado de la especulación, sólo se desarrolla con un buen clima inversor y la política industrial debería favorecerlo, más que con ayudas y subvenciones, con una fiscalidad adecuada que interese a los inversores en la actividad industrial.

Elevar los impuestos, obviamente, no es el mejor camino para conseguirlo. España sufre algunos de los mayores tipos impositivos de la Unión Europea que funcionan de hecho como un obstáculo a la inversión, el crecimiento y la creación de empleo.

Además, el sistema fiscal debe tener en cuenta que la industria es cíclica. La posibilidad de contabilizar pérdidas de ejercicios anteriores sin límite de tiempo permitiría a las empresas reducir distorsiones, y la compensación sería de gran ayuda a empresas de nueva creación, microempresas y actividades innovadoras de alto riesgo.

También se ha de armonizar la base del impuesto de sociedades en el conjunto de la Unión Europea, eliminando diferencias en la regulación de la depreciación, el tratamiento de los dividendos, las deducciones aplicables, etcétera.

Los costes asociados a tratar con sistemas fiscales múltiples y complejos que son especialmente elevados para las Pymes, obstaculizan la internacionalización y desincentivan la inversión en otros estados miembros.

La Industria se enfrenta también a la escasez de mano de obra cualificada, incompatible con conceptos como competitividad, desarrollo tecnológico y potencial innovador.

Una fuerza laboral cualificada, comprometida y flexible es esencial para mejorar la productividad y garantizar la sostenibilidad de nuestro modelo social.

Competir con las economías emergentes en términos salariales no es posible ni deseable y hay que hacerlo, pues, con una formación universitaria, profesional, dual, ocupacional y continua eficaces, y con condiciones laborales flexibles que permitan la movilidad que las empresas necesitan para responder a la presión de la competencia global.

Por último, en la seguridad y el precio del suministro energético se juega parte del futuro de la Industria. La Industria necesita un suministro energético eficiente y favorecedor, tanto de la sostenibilidad como de la actividad económica.

Ello implica que cualquier regulación del sector energético no se diseñe a costa del desarrollo industrial y se haga evaluando el impacto de cada nueva iniciativa y de su efecto acumulado sobre el de las disposiciones en vigor.

El precio final de la energía que debería ser una de las bases principales de la competitividad de nuestra Industria, es hoy una desventaja competitiva por los costes de redes de transporte y distribución, los impuestos y las cargas incorporadas a las tarifas eléctricas finales.

La Industria va a seguir siendo la clave del crecimiento sostenible de la economía y del bienestar de la sociedad, y que cumpla con esa labor va a depender de las medidas efectivas que se tomen y de los esfuerzos que se hagan para mejorar su competitividad, desde el ámbito de la política industrial.

30€

40€

40€

35€

¡Ya a la venta el Volumen 4!

Con la aparición del 4º volumen "Fundiciones de hierro y otras aleaciones no férreas susceptibles de tratamiento térmico" del título general de la obra "Tratamientos Térmicos de los Materiales Metálicos, Aceros y otras Aleaciones susceptibles de Tratamiento Térmico" de D. Manuel Antonio Martínez Baena cierra el ciclo de una obra estructurada en 4 libros,

La primera parte del volumen 4, se refiere a las fundiciones de hierro, pasando revista a las fundiciones grises, a las fundiciones atruchadas y fundiciones blancas.

Se incluyen también los 2 tipos de fundiciones maleables: la de corazón negro y la de corazón blanco, así como los procesos térmicos de recocido para su obtención a partir de la fundición blanca. Capítulo aparte merecen las fundiciones especiales: las de grafito compacto y las de grafito esferoidal. Igualmente reciben una cuidadosa atención las fundiciones calidad ADI, en las que se detalla en profundidad, dada su especificidad, el tratamiento térmico. Al mismo tiempo que se hace un breve comentario sobre las fundiciones ACI y las AGI.

La segunda parte del libro está dedicada a las aleaciones no férreas, tanto para forja, como para moldeo: bonificables o no bonificables. En las aleaciones de cobre se analizan tanto los latones, como los bronces ordinarios, así como las calidades de mayor aleación: cuproaluminio, cuprosiliceos, cuproberilios y cuproníqueles.

Finalmente se dedica un capítulo a las aleaciones de titanio y su tratamiento térmico. Tras la clasificación de las distintas familias, son adecuadamente descritas las aleaciones alfa α, las beta β, así como las Alfa α + beta β.

Puede ver el contenido de los libros y el índice en www.pedeca.es o solicite más información:
Teléf.: 917 817 776
E-mail: pedeca@pedeca.es

Estudio del laminado de una colada del tipo 9%Cr modificada

Por M. Carsí (CENIM-CSIC) y F. Peñalba

En el presente trabajo las ecuaciones constitutivas que reflejan el comportamiento a temperaturas homologas elevadas de aleaciones metálicas, se han calculado mediante el uso de paquetes comerciales, en este caso aplicándolas a una aleación tipo P91 dopada con B y W. Se ha calculado la ecuación de Garofalo correspondiente, así como la ecuación de Lyapunov, lo que permite prever el conformado óptimo del material.

La templabilidad se determinó por medio de diagramas de enfriamiento continuo asociados con las mediciones de dureza y tamaño de grano austenítico. Finalmente, se llevaron a cabo pruebas de torsión en caliente a diversas temperaturas y velocidades de deformación, y se determinaron las tensiones generalizadas y las deformaciones a rotura para cada prueba.

Introducción

Durante los últimos años, el sector de la energía ha experimentado cambios importantes para cumplir con la demanda propuesta de generación de energía, para mejorar la eficiencia mediante la quema de una menor cantidad de combustible fósil, principalmente carbón. Tal mejora se puede lograr elevando las condiciones de vapor a temperaturas y presiones más altas. Esto no sólo reduce la emisión de CO2 a la atmósfera [1]. Dentro de las tecnologías avanzadas para generar energía, están las supercríticas y las plantas de energía ultra supercríticas (USC), que tienen que cumplir con requisitos más severos que aquéllos exigidos a las plantas convencionales [2].

La necesidad de conseguir aumentar la vida útil de las instalaciones y su rendimiento energético, exige el desarrollo de aleaciones que puedan operar a mayores temperaturas, manteniendo altas características mecánicas, buena resistencia a la fluencia en caliente y alta resistencia a la corrosión.

Desde hace años se están investigando aceros, ferríticos con contenidos de cromo del orden del 9% [3,4] y a los que se comenzaron a adicionar otros aleantes para mejorar su resistencia a la fluencia en caliente [5,6], conseguir buena ductilidad en frío, buena soldabilidad [7], alta conductibilidad térmica, bajos coeficientes de dilatación y obtener mejores propiedades mecánicas. El estudio de los fenómenos que tienen lugar a elevada temperatura y su efecto sobre la vida útil del producto obtenido es objeto de numerosas publicaciones. El empleo de aleantes como el W y el Cu [8,9] supuso un nuevo paso en el desarrollo de nuevos materiales con mejores propiedades a temperatura elevada.

Sin embargo estos aceros son muy sensibles a las condiciones de conformado, debido a una ductilidad relativamente baja y a la existencia de una zona, entre 800 ºC y 900 ºC en la que tenemos los componentes $\alpha+\gamma+M_{23}C_6$. La ferrita origina no pocos problemas en los pasos finales de laminado. Dado que la temperatura a la que se realiza la última pasada de laminado es difícil de incrementar sin elevar sustancialmente el coste del producto y que, por otra parte, corremos el riesgo de quemar el acero, resulta muy útil conocer los parámetros que determinan la respuesta del material a las solicitaciones a alta temperatura así como las zonas optimas, zonas de-

Tabla I. Composición de las coladas, comercial y experimental.

COLADA (%)	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	W	Nb	N_2	Al	B
P91	0.096	0.39	0.43	8.41	0.12	0.93	0.20	0.00	0,65	0.060	0.026	0.000
529	0.13	0.42	0.44	8.73	0.20	0.36	0.11	1.46	0.043	0.0381	0.030	0.0022

finidas por la temperatura y la velocidad generalizada de deformación, de conformado. Es por ello que la concreción de los parámetros de laminado es especialmente útil en esta tipo de aceros y permiten minimizar los riesgos de aparición de grietas

Materiales y procedimiento experimental

Para el presente estudio se fabricó una colada de acero (denominada 529) cuya composición así como la de un P91 tipo se muestran en la tabla I.

La composición química obtenida estaba fuera de la actual composición ASTM actualmente normalizada (A335/A335M-00), y en el límite del W. Se trató de estar en todas las coladas en el límite inferior del Cr y Mo para conseguir coladas más económicas.

Este material fue fabricado en un horno de fusión en vacío VCM-030, que permite obtener coladas experimentales en condiciones muy exactas y controlar parámetros que de otra manera (en una instalación industrial) sería inviable controlar: ajuste preciso de la composición (incluso en elementos residuales), gran homogeneización del baño y de la temperatura, tiempo de fabricación corto, posibilidad de manipulación de cantidades pequeñas de materiales, etc. Los lingotes obtenidos de 40 kg. (sección media 115 x 115 mm) se laminaron posteriormente en una instalación industrial, soldados a palanquilla de acero al carbono de 115 x 115 mm de sección inicial, para obtener un producto final en forma de palanquillas de 60 x 60 mm. A partir de éstas, se extrajeron las probetas que han sido utilizadas en los sucesivos ensayos realizados.

En el estudio de los aceros, la dilatometría toma un papel fundamental y es un método preciso que permite

conocer el comportamiento de los aceros frente a los tratamientos térmicos o isotérmicos a distintas velocidades de enfriamiento. En nuestro caso, al tratarse de un acero cuyos diagramas de enfriamiento continuo no se conocían y ser un dato fundamental a la hora de conocer los componentes finales correspondientes a procesos de enfriamiento como los que se sufren en un laminado, consideramos importante definir los diagramas correspondientes de forma que pudiéramos prever tanto estructuras metalográficas como durezas y tamaño de grano producido en los enfriamientos derivados de un proceso d conformado industrial. Mediante un dilatómetro de alta velocidad se trazaron los diagramas de enfriamiento continuo de los aceros estudiados. Las probetas que se prepararon para estos ensayos son probetas cilíndricas de diámetro 2 mm. y longitud 12 mm. Todas las probetas se austenizaron 20 min. a 1.050 °C. Se realizaron ensayos enfriando las probetas a distintas velocidades que variaron entre los 10 °C/s y los 50 °C/h.

Para determinar las condiciones de laminado en caliente se realizaron los ensayos de torsión en caliente. Para lo cual se prepararon probetas de torsión de 6 mm de diámetro y 17 mm de longitud útil, a partir de las palanquillas laminadas de 60 x 60 mm del acero de ref. 529. Los ensayos de torsión se realizaron a velocidades comprendidas entre 2 y 26 s^{-1} a temperaturas de 750 °C-1.225 °C; todas las probetas se austenizaron previamente 30 minutos a 1.225 °C para homogeneizar la estructura. El ensayo proporciona directamente el par de torsión frente a nº de vueltas. Transformados mediante las ecuaciones de conversión, se obtienen la tensión eficaz y la deformación generalizada [10]. Mediante un algoritmo desarrollado al efecto, se obtuvieron los parámetros de la ecuación de Garofalo aunque se puede calcular con EXCEL o MATLAB [11]. Con estos parámetros se calcularon las zonas óptimas de estabilidad del conformado[11].

Resultados y discusión

Las curvas de dilatometría proporcionan los puntos de comienzo y fin de transformación del acero en las distintas estructuras cuando es sometido a distintos ciclos térmicos. Situando estos puntos sobre las curvas de enfriamiento (a velocidad constante) representadas en escala logarítmica en el diagrama de enfriamiento continuo, se trazan los dominios de las distintas estructuras en las que se puede transformar la aleación. El diagrama del acero estudiado, es característico de aceros de alta templabilidad, con los dominios de ferrita-perlita muy desplazados hacia la derecha del diagrama. En este sentido son muy parecidos a los diagramas de los aceros P91 pero con algunas características que lo hacen diferente. Se ha observado que el acero 529 de mayor templabilidad (Fig. 1). La razón de esa ligera mayor templabilidad está en su mayor contenido de Cr y relativamente de C y W. La influencia del contenido, de B a partir de 0,0022% no parece que ejerce mas influencia que los elementos antes comentados [13,14].

Lo mismo sucede con el tamaño de grano; como es bien conocido las mejores características de tenacidad corresponden a tamaños de grano fino. Como se desprende de la figura 1 las durezas obtenidas en el acero 529 a la velocidad 0.1 °C/s todavía proporcionan una estructura totalmente martensitica con una dureza de 448 Hv.

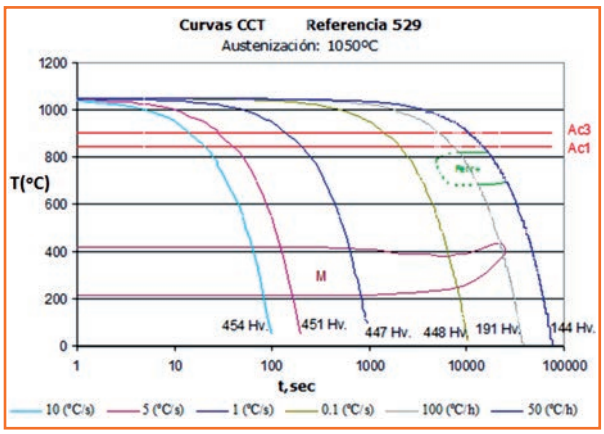


Fig. 1. Diagrama de enfriamiento continuo del acero 529. (Continuous cooling transformation diagram 529 steel).

Uno de los aspectos fundamentales que se deben estudiar con vistas a optimizar el conformado es la ductilidad en un amplio rango de temperaturas y velocidades de deformación. Para conocer el comportamiento de estos aceros se realizaron ensayos de torsión hasta la rotura de las probetas.

A partir de los resultados que proporcionan los ensayos de torsión en caliente se obtienen directamente las gráficas de ductilidad, figura 2. Se aprecia una ductilidad relativamente baja, aunque superior a la de los aceros inoxidables tradicionales [12], a una velocidad de deformación de 25.6 s^{-1} el acero rompe a 1440 K y 15 vueltas, que equivalen a una deformación generalizada $\varepsilon = 9$.

Esta ductilidad es superior a la de los aceros P91 aunque sigue siendo relativamente baja, lo que indica la dificultad de realizar el conformado en este tipo de aceros. También se aprecia, de forma sistemática, la brusca disminución de la ductilidad por encima de 1.200 °C

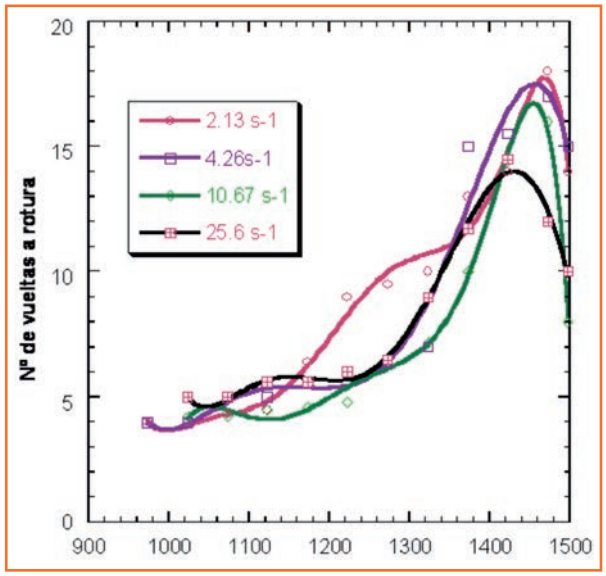


Figura 2 Número de vueltas a rotura en función de la temperatura (K).

debido probablemente a quemado intergranular. La razón de esta mejor ductilidad se debe al menor tamaño de grano de este acero, en el intervalo de temperaturas de conformado (90 µm frente a 120 µm del P91), como se muestra en la Figura 3, y la escasa influencia en la disminución de la ductilidad en caliente que tienen contenidos de B de 0.0022%, por debajo del límite consi-

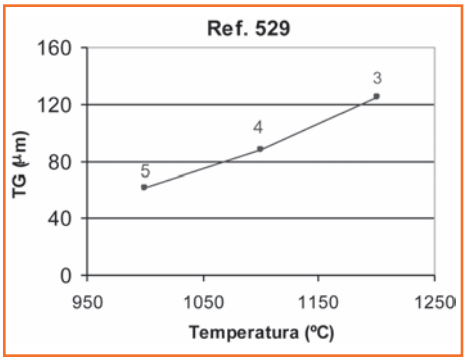


Figura 3. Evolución del tamaño de grano.

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

derado óptimo del B (0.0050%) en el que el B mejora la fluencia sin deteriorar la forjabilidad [13,14].

De acuerdo con los resultados que proporciona el ensayo de torsión obtenemos los parámetros de la ecuación de Garofalo, bien por un algoritmo iterativo o, en este caso mediante el MATLAB, ecuación (1).

La ecuación obtenida de acuerdo con los resultados de los ensayos de torsión es

$$\varepsilon \exp(398000/8.314*T) = 4´73014E14[\mathrm{Senh}(0.0098\sigma)]^{4.92} \qquad (1)$$

El siguiente dato que se busca es el del comportamiento del material frente a solicitaciones externas, laminado especialmente, a diferentes temperaturas y velocidades de deformación. Para ello utilizaremos las segunda ley de Lyapunov(2) [15] sustituyendo los valores de la tensión, por los que proporciona la ecuación de Garofalo(1)[16].

Los valores de la energía de activación son coherentes con el tipo de aceros y el exponente indica un mecanismo de trepado de dislocaciones para toda la gama de ensayos. El paso siguiente es calcular las condiciones óptimas de conformado, para ello utilizamos la segunda ley de Liapunov, L_2 que determina la estabilidad entrópica del sistema (11,15).

$$L_2 = \left(\frac{\delta S}{\delta \ln \dot{\varepsilon}}\right)_{\Gamma,\sigma} < 0 \qquad (2)$$

Siendo S una función de ε,T y su derivada parcial respecto a lnε.

T,K°\ v.s^{1}	100	30	10	3	1	0.3	0.1
1173	-0.200781027	-0.2347	-0.27135	**-0.31777**	**-0.36455**	-0.41651	-0.45743
1183	-0.207813004	-0.2432	-0.28122	-0.32887	-0.37597	-0.42643	-0.46322
1193	-0.215032587	-0.25187	-0.2912	-0.33988	-0.38692	-0.43515	-0.46701
1203	-0.222431834	-0.2607	-0.30125	-0.35071	**-0.39725**	-0.44252	-0.46867
1213	-0.230000555	-0.26967	-0.31132	-0.36126	-0.40681	-0.44835	-0.46808
1223	-0.237726083	-0.27873	-0.32134	-0.37142	-0.41546	-0.4525	-0.46521
1233	-0.24559306	-0.28787	-0.33125	-0.3811	-0.42305	-0.45485	-0.46006
1243	-0.253583221	-0.29703	-0.34098	-0.39016	-0.42945	-0.45529	-0.45268
1253	-0.261675194	-0.30617	-0.35045	-0.3985	-0.43451	-0.45378	-0.44318
1263	-0.269844321	-0.31525	-0.35959	-0.40599	-0.43813	-0.45028	-0.43174
1273	-0.278062515	-0.3242	-0.36829	-0.41252	-0.44022	-0.44483	-0.41854
1283	-0.286298147	-0.33297	-0.37648	-0.41799	-0.44068	-0.43749	-0.40382
1293	-0.29451599	-0.3415	-0.38406	-0.42228	-0.43949	-0.42836	-0.38784
1303	-0.302677221	-0.34972	-0.39093	-0.42531	-0.43662	-0.41758	-0.37087
1313	-0.310739501	-0.35755	-0.397	-0.427	-0.43209	-0.40533	-0.35317
1323	-0.318657128	-0.36493	-0.4022	-0.42731	-0.42595	-0.3918	-0.33501
1333	-0.326381292	-0.37177	-0.40643	-0.4262	-0.41826	-0.3772	-0.31663
1343	-0.333860431	-0.37802	-0.40963	-0.42365	-0.40913	-0.36174	-0.29826
1353	-0.341040684	-0.38359	-0.41173	-0.41968	-0.3987	-0.34564	-0.28009
1363	-0.347866473	-0.38841	-0.41268	-0.41432	-0.38709	-0.32913	**-0.2623**
1373	-0.354281174	-0.39243	-0.41246	-0.40764	-0.37449	-0.31238	-0.24501
1383	-0.360227908	-0.39558	-0.41103	-0.39971	-0.36104	-0.29561	-0.22835
1393	-0.365650417	-0.39782	-0.40841	-0.39062	-0.34694	-0.27895	-0.2124
1403	-0.370494018	-0.39909	-0.40461	-0.3805	-0.33234	-0.26257	-0.19722
1413	-0.374706617	-0.39938	-0.39965	-0.36946	-0.31741	-0.24658	-0.18285
1423	-0.378239743	-0.39865	-0.39359	-0.35763	-0.30231	-0.23109	-0.1693
1433	-0.38104959	-0.39691	-0.38648	-0.34517	-0.28719	-0.21616	-0.15659
1443	-0.383098014	-0.39416	-0.37841	-0.3322	-0.27217	-0.20187	-0.1447
1453	-0.384353459	-0.39042	-0.36947	-0.31885	-0.25736	-0.18825	-0.13362
1463	-0.384791779	-0.38571	-0.35974	-0.30527	-0.24288	-0.17532	-0.12331
1473	-0.384396908	-0.38008	-0.34934	-0.29157	-0.22879	-0.16311	-0.11375
1483	-0.383161363	-0.37358	-0.33836	-0.27786	-0.21516	-0.15162	-0.10491

Tabla II. Valores óptimos de L2 en función de la velocidad y la temperatura.

$$\frac{\partial s}{\partial Ln(\dot{\varepsilon})} = \left(\frac{1}{n^2}\right)\cdot\left(\frac{Q}{R.T}\right)\cdot\left[\frac{\theta^{\frac{1}{n}}\cdot arcsenh(\theta^{\frac{1}{n}}) - \theta^{\frac{2}{n}}\cdot\sqrt{1+\theta^{\frac{2}{n}}}}{(1+\theta^{\frac{2}{n}})^{\frac{3}{2}}\cdot\left[arcsenh(\theta^{\frac{1}{n}})\right]^2}\right] \quad (3)$$

donde

$$\theta(\dot{\varepsilon},T) = \frac{\dot{\varepsilon}\cdot e^{\frac{Q}{R.T}}}{A} \quad (4)$$

El óptimo, zona más estable de conformado, de la segunda función de Liapunov es aquél que toma el máximo valor negativo. Para realizar el cálculo se puede utilizar cualquier método. En este trabajo se ha utilizado el programa Excel que proporciona los siguientes resultados.

Introduciendo los valores de (1) en las ecuaciones (2, 3 y 4) de Liapunov[15], se obtienen los valores óptimos para la estabilidad que se muestran en la tabla II y figuras 4 y 5... Para los valores estimados de la velocidad de deformación, lnv = 3.4 vemos que se debe laminar por encima de 1.140 ºC (1.413 K) para obtener el menor riesgo de agrietamiento. También se puede observar que a

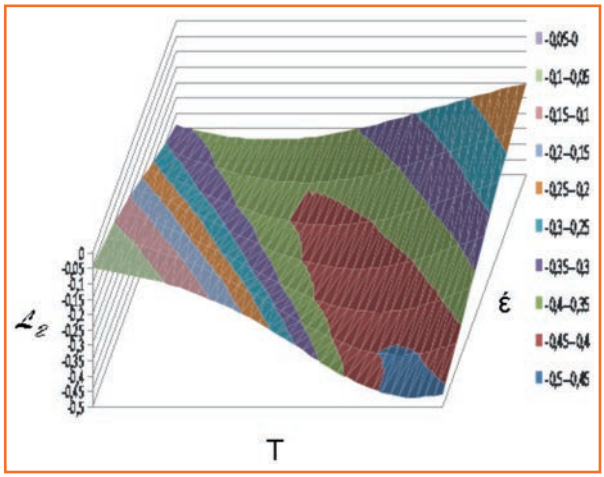


Figura 4. Superficie correspondiente a la segunda ley de Lyapunov.

temperaturas de trabajo de la fase de laminado-estirado, 920 ºC (1.193 K) el nivel de riesgo se eleva de -0.4 a -0.25, lo que significa incrementar el riesgo de agrietamientos un 62%, por lo que a esas temperaturas debe programarse el laminado con reducciones menores a medida que la temperatura desciende y en la propor-

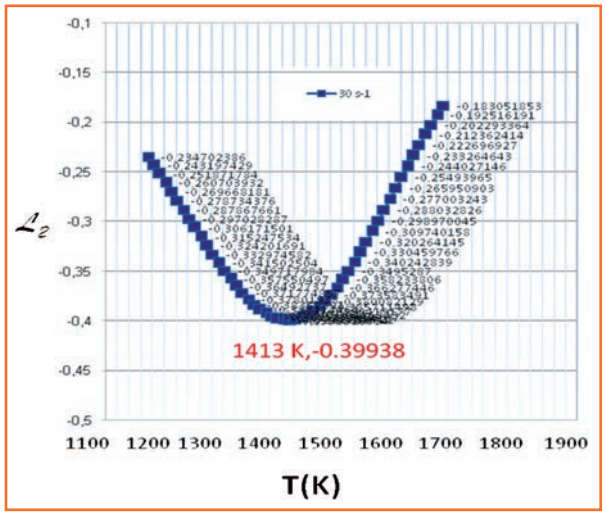


Figura 5. Valores de la segunda ley de Lyapunov para ε = 30 seg-1.

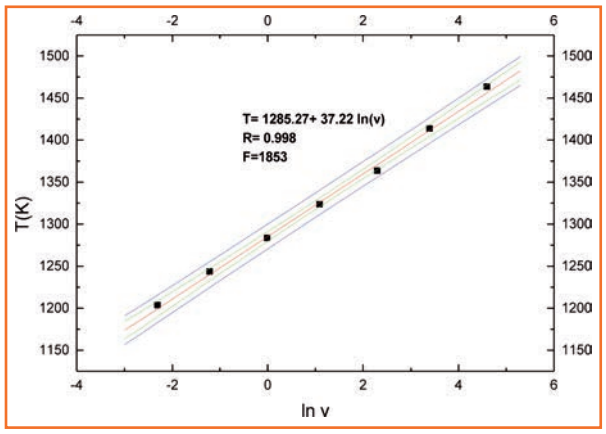


Figura 6 Temperaturas de laminado en función del logaritmo neperiano de la velocidad.

ción señalada por los diagramas de estabilidad. y mejor a medida que aumenta la velocidad de deformación.

Teniendo en cuenta la ductilidad y la caída tan brusca de la misma a valores de temperatura de 1.200 °C, será conveniente limitar la banda de temperaturas de trabajo y no sobrepasar los 1.200 °C. Podemos representar los valores óptimos de laminado en función de la temperatura y la velocidad de laminado (Figura 6). Se puede apreciar que la relación lineal tiene una correlación y F de Snedecor muy elevadas lo que implica su precisión.

Conclusiones

Se ha fabricado una colada de acero tipo P91 dopada. Su composición es más económica que la comercial. Las características mecánicas no son inferiores a la comercial. Se ha calculado la ecuación fenomenológica que rige su comportamiento en caliente. Se ha calculado la temperatura óptima de laminado en función de la temperatura y velocidad de laminado. Se debe laminar en torno a 1.164 °C y no superar los 1.200 °C. Este acero se puede usar con ventaja en lugar del acero comercial.

Bibliografía

[1] R. Viswanathan, R. Purgert, S. Goodstine, J. Tanzosh, G. Stanko, J. P. Shingledecker and B. Vitalis, in: Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants, edited by R. Viswanathan, D. Gandy, K. Coleman, ASM Int., Materials Park, OH, p. 1 (2008).

[2] R. Viswanathan, A. F. Armor and G. Booras: Power Magazine, April (2004), p. 42.

3) F. Arav, H. J. M. Lentferink, C. F. Etienne and J. C. van Wortel. "Effect of fabrication processes on the creep behavior of 9-12% chromium steels". Proccedings of the International Conference on Creep of Materials, Lake Buena Vista, Florida USA, 18-21 May 1992, 117-125.

4) F. Arav and J. C. van Wortel "Properties and aplication of the modified 9Cr Steel T91/P91". Stainl. Steel Europ. April 1995, 26-30.

5) K. Kimura, H. Kushima, F. Abe and K. Yagi. "Inherent creep strength and long term creep strength of ferritic steels". Mater. Sci. Eng. A 234 1997, 1079-1082.

6) E. V. Knopleva, M. Sauerborn, H. J. MacQueen, N. D. Ryan and R. G. Zaripova. "Hot working and microstructure in 409 ferritic steels". Mater. Sci. Eng. A234-236, 1997, 826-829.

7) R. Blume, K.E. Leich, H. Heuser and F. W. Meyer. "Welding of modified 9%Cr steel". Stainless Steel Europe April 1995, 49-53.

8) F. Abe, S. Nakazawa, H. Araki and T. Noda. "The role oof microstructural instability on creep behavior of martensitic 9Cr-2W steel". Metall. Trans. 23 A, Feb. 1992, 469-477.

9) F. Abe, H. Araki and T. Noda. "The effect of tungsten on dislocation recovery and precipitation behavior of low -activation martensitic 9Cr steels". Metall. Trans. 22A, Oct. 1991, 2.225-2.235.

10) D. S. Fields and W. A. Backofen: Am. Soco Test. Mater. Proc., 57 (1957), 1.259.

11) M. Carsi, F. Carreño and O. A. Ruano. Hot forming optimization of ZK30 Magnesium alloys. THERMEC'2018, Proceedings, Invited presentation.

12) J. A.Jiménez, O. A. Ruano, R. Allende y M. Carsí. "Effect of the composition on the mechanical properties of two duplex stainless steels" Proc. Of 6th World Duplex Conference, Venecia (2000), 773-777.

13) K. Hayashi, T. Kojima, Y. Minami. Development of 12% heat resistant steel plate(Tempaloy F-12M)for USC boiler. Advanced Heat resistant Steels for power Generation. San Sebastián, Abril 1998. IOM Communications.

14) F. Abe, M. Igarashi, N. Fujitsuna, K. Kimura , S. Muneki. Alloy design of advanced ferritic steels for 6500 C USC boilers. Advanced Heat resistant Steels for power Generation. San Sebastián, Abril 1998. IOM Communications.

15) Rieiro, I. "Estudio y resolución de la ecuación fenomenológica de Garofalo para la fluencia plástica en estado estacionario de materiales metálicos policristalinos. Determinación de su capacidad de aplicación y base Física". Tesis Doctoral. Universidad Complutense, Junio, 1997.

16) M. Carsí, F. Peñalba, I. Rieiro, F. Zapirain y O. A. Ruano"Hot forging of aCu-Al-Ni-Fe-Mn alloy and its simulation by torsion testing", Z. Metalkd. 91(2000) 1.057-1.062.

Coyuntura del metal

Por Confemetal

Actividad Productiva

La producción industrial de Metal, medida con el Índice de Producción del Metal (IPIMET) corregido de efecto calendario, anota en el mes de mayo un crecimiento del 4,4% respecto al mismo mes del año anterior, tras el 5,5% registrado en el mes de abril; en la serie original aumentó un 4,4% en mayo, tras el 16,1% registrado en abril. En lo que va de año, se anota un aumento del 4% en la serie corregida de calendario (2,4% en 2017), y un 4,2% en la serie original (2,4% en 2017). Por ramas de actividad en el mes de mayo, cabe destacar en la serie corregida de efecto calendario el tono positivo en todas las ramas de actividad, destacando la fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos, y la fabricación de otro material de transporte.

El Índice de Cifra de Negocios de la Industria del Metal (ICNMET) corregido de efecto calendario, que mide la evolución de la demanda actual y la facturación, aumentó en mayo un 5% (provisional), tras el 5,7% de abril. En el acumulado del año, se anota una tasa de variación posi-

INDICADORES DE ACTIVIDAD DE LA INDUSTRIA DEL METAL

Códigos CNAE 2009. Base 2010=100

% sobre mismo período del año anterior	% variación - Índices de Producción			% variación - Índices de Cifra de Negocios			% variación - Índices de Entrada de Pedidos		
	may-18	abr-18	ENE-MAY 18	may-18	abr-18	ENE-MAY 18	may-18	abr-18	ENE-MAY 18
24. Metalurgia, fab. productos acero, acero y ferroaleaciones	3,7	3,2	2,9	11,2	7,6	12,1	6,0	5,8	11,7
25. Fab. prod.metálicos exepto maquinaria y equipo	3,4	3,4	2,7	3,6	2,3	5,4	4,7	8,2	6,5
26. Fab. prod. informáticos, electrónicos y ópticos	16,4	10,6	7,3	6,7	7,7	2,4	17,2	11,0	7,8
27. Fabricación de material y equipo eléctrico	9,2	8,8	4,9	12,8	11,8	9,5	9,0	21,0	8,5
28. Fab. de maquinaria y equipo n.c.o.p. (*)	4,1	-3,4	6,5	6,3	3,2	6,8	8,0	-8,2	0,5
29. Fab. vehículos de motor, remolques y semirremolques	0,8	12,9	2,2	1,5	10,4	4,8	-1,2	8,0	3,2
30. Fabricación de otro material de transporte	10,0	10,1	4,9	4,1	1,0	-0,8	115,0	-30,4	29,5
33. Reparación e instalación de maquinaria y equipo	6,2	0,3	7,3	2,7	0,7	1,4	5,8	15,4	-2,2
Industria del Metal	**4,4**	**5,5**	**4,0**	**5,0**	**5,7**	**5,5**	**12,8**	**3,8**	**6,4**

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

tiva del 5,5% (6,5% en 2017). La evolución de la cifra de negocios, según las ramas de actividad del Metal en el mes de mayo, ha sido positiva en todas las ramas de producción destacando la fabricación de material y equipo eléctrico, y la metalurgia y fabricación de productos de hierro, acero y ferroaleaciones.

El Índice de Entrada de Pedidos de la Industria del Metal (IEPMET) corregido de efecto calendario, que mide la evolución de la demanda futura, experimentó un aumento en mayo del 12,8% (provisional), después de un incremento de 3,8% registrado en abril, acumulando así en lo que va de año, un incremento del 6,4% (5,5% en 2017). Según las ramas de actividad, la evolución de la entrada de pedidos en el mes de mayo ha sido positiva en todas las ramas de actividad, a excepción de la fabricación de vehículos a motor, remolques y semirremolques.

Comercio Exterior

Las exportaciones del Sector del Metal en abril aumentaron un 10,9% en comparación al mismo mes del año anterior, después de la caída de marzo, del -0,5%. En lo que va de año, las exportaciones sube la tasa del año hasta el 4,1%, en comparación al mismo periodo del año anterior. Por su parte, las importaciones del Metal aumentaron en abril un 18%, después de caer en un 3,7% en marzo. En lo que va de año, las importaciones registran una tasa de 4,3%, en comparación al mismo periodo del año anterior. El saldo comercial en abril fue negativo (-1.184 millones de euros), aumentado el saldo negativo, a pesar de buen dato del mes de marzo (100 millones de euros). En el cuarto mes del año se acumula un déficit de -2.599 millones.

Por tipos de bienes y para el mes de abril, las exportaciones de metales comunes y sus manufacturas suben un 12,5%, las de maquinaria, aparatos y material eléctrico suben 12,4%, las de material de transporte suben un 10,2% y las de instrumentos mecánicos de precisión caen un 3,8%. Asimismo, las importaciones de metales comunes y sus manufacturas suben un 18,1%, las de maquinaria, aparatos y material eléctrico suben un 14,2%, las de material de transporte aumentan un 23,3%, y las de instrumentos mecánicos de precisión igualmente suben un 14,6%.

Mercado Laboral

El número de afiliados a la Seguridad Social en la Industria del Metal alcanzó en el mes de junio de 2018 la cifra de 774.503 personas, lo que supone 5.509 personas más con respecto al mes anterior y 29.932 más que en el mismo mes del año anterior. En términos relativos, se anota un incremento del 4,0% interanual, igual que el registrado en mayo. Se alcanza así un promedio en lo

EVOLUCIÓN DE LOS PRECIOS MEDIOS (1) - PRODUCTOS SIDERÚRGICOS
(Índice Base Octubre 2003 = 100)

AÑO 2016-2017	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
- Perfiles estructurales (HEB)	153	156	N/D	156	152	151
- Perfiles comerciales (angulares)	158	158	162	161	158	158
- Corrugado	151	160	168	163	159	157
- Chapa laminado frío	156	158	162	164	164	164
- Chapa laminado caliente	162	168	178	181	181	181
- Chapa galvanizada	155	159	160	164	164	164
- Tubos decapados	157	161	168	170	173	147
- Tubos decapados	97	98	103	110	115	115

(1) Estos datos deben tomarse como un índice de tendencia, en ningún caso como referencia firme de precios. Fuente: UAHE

ÍNDICE DEL PRECIO PARA EL ACERO CORRUGADO

Índice Base enero 2014 = 100	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
INDICE	110,6	111,04	110,05	109,09	106,25	105,11
% var. con respecto al mes anterior	5,82	0,40	-0,89	-0,87	-2,60	-1,07
% variación con respecto al mismo mes del año anterior	13,18%	18,59%	16,91%	17,19%	17,99%	19,89%

Fuente: Cámara de Comercio de España

que va de año de 765.783 afiliados, un 4,5% superior al crecimiento registrado en el mismo periodo del año anterior.

Según la EPA, el número de ocupados en la Industria del Metal (divisiones CNAE 2009 del 24 al 30 y el 33) alcanzó la cifra de 992.300 en el primer trimestre de 2018, lo que supone un aumento del 2,7% respecto al mismo trimestre del año anterior y 26.000 empleos más que un año antes, aunque respecto al trimestre anterior, se han registrado 16.100 empleos menos.

El número de parados EPA en la Industria del Metal en el primer trimestre de 2018 alcanzó la cifra de 56.000 personas, lo que supone un aumento del 17,2% en comparación al mismo trimestre del año anterior, alcanzándose en la media de año 2018 un total de 56.600 personas desempleadas de media en toda la Industria del Metal, lo que supone un aumento del 17,2% con respecto al año anterior. La población activa se mantiene por encima del millón de personas (1.048.300), un 3,4% más que en el mismo trimestre del año anterior. La tasa de paro sube hasta el 5,3% de la población activa, desde el 4,6% del trimestre anterior.

Evolución del Mercado de Productos de Acero

Productos Siderúrgicos Largos

La información facilitada por la Unión de Almacenistas de Hierros de España (UAHE) se refiere a la evolución de los precios medios de diversos productos siderúrgicos, referidos a un índice base=100. Este índice se calcula en base a los datos obtenidos en los diez primeros días de cada mes. El índice toma como referencia el precio del producto en el mes de octubre de 2003 al que se le da valor 100.

Precios de Acero Corrugado

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

El Índice Cámaras del Precio para el Acero Corrugado de junio de 2018 fue 105,11 puntos, lo que supone una variación del -1,07% respecto al dato de mayo (105,11). Con respecto al mismo mes del año anterior, el Índice de Precios ha aumentado un 19,89%.

Algunas consideraciones sobre los aceros de construcción mecánica destinados a la industria automovilística (Parte II)

Por Manuel Antonio Martínez Baena, Ingeniero Metalúrgico

4.2. Aceros de maquinabilidad mejorada

Los **aceros de maquinabilidad mejorada** están enmarcados dentro de un grupo de aceros finos de construcción mecánica, aleados y al carbono, que además de presentar una composición adecuada, para obtener las características mecánicas y/o físicas más convenientes, que con el fin de aumentar la maquinabilidad y de acuerdo con unas características determinadas de uso y empleo, se les añade a su composición uno o varios elementos: azufre (**S**), plomo (**Pb**), selenio (**Se**), teluro (**Te**), bismuto (**Bi**), calcio (**Ca**), etc.

La maquinabilidad de los aceros, insistimos, puede ser mejorada controlando su composición al mismo tiempo que la morfología y naturaleza de las inclusiones. La composición está, particularmente, caracterizada por los elementos apropiadamente añadidos: azufre (**S**), plomo (**Pb**), bismuto (**Bi**), selenio (**Se**), teluro (**Te**), ... etc. Tales elementos forman inclusiones, más o menos complejas, que ocasionan una mejora espectacular del índice de maquinabilidad en aquellos trabajos de mecanizado, donde preferentemente, se utilizan velocidades de corte bajas y medias: **Vc** = [(75 ÷ 125) m/min].

El diseño y desarrollo de los **aceros de maquinabilidad mejorada**, está basado en la necesidad de presentar en el mercado un conjunto de aceros que garanticen ciertas características mecánicas y tecnológicas, junto a una mejora de su maquinabilidad. El grupo de aceros de maquinabilidad mejorada ha sido, recientemente, elevado al nivel de normas **UNE-EN**. Pertenecen a este grupo: (1) aceros de construcción al carbono; (2) aceros aleados construcción bonificables; (3) aceros de cementación; y (4) aceros inoxidables; **tabla 6.II**.

ACEROS DE MAQUINABILIDAD MEJORADA
ACEROS CON ADICIÓN DE PLOMO (*)
1. Composición base + (0,10 ÷ 0,30%)Pb.
2. Composición base + (0,04 ÷ 0,09%)Pb.
ACEROS CON ADICIÓN DE AZUFRE + TELURO O SELENIO (*)
1. Composición base + (0,02 ÷ 0,04%)S + Te (Se). (**)
2. Composición base + (0,04 ÷ 0,07%)S + Te (Se). (**)
3. Composición base + (0,08 ÷ 0,13%)S + Te (Se). (**)
ACEROS CON ADICIÓN DE CALCIO (*)
1. Composición base + Ca
2. Composición base + (0,04 ÷ 0,07%)S + Ca.
3. Composición base + (0,04 ÷0,09%)Pb (Bi) + Ca (***)
4. Composición base + (0,10 ÷ 0,30%)Pb (Bi) + (0,04 ÷ 0,07%)S + Ca (***)
(*) Composición base = [aceros al carbono, aceros aleados y aceros inoxidables].
(**) El teluro (Te) se puede sustituir por el selenio (Se) en la misma proporción.
(***) El plomo (Pb) se puede sustituir por el bismuto (Bi) en la misma proporción.

Tabla 6.II. Principales composiciones químicas de aceros de maquinabilidad mejorada.

Los aceros se suministran, de una forma regular, en piezas forjadas por estampa, en barras con superficie de calibrado por estirado; barras que eventualmente pueden sufrir, además, un tratamiento térmico –*bonificado, normalizado,* etc.– y posteriormente, mecanizarse en forma de piezas; que, en la mayoría de los casos, pueden acabarse a cotas y/o a geometrías finales para su montaje y uso directo en el mecanismo correspondiente; **figura 11**.

El efecto beneficioso del **azufre** (**S**) sobre la maquina-

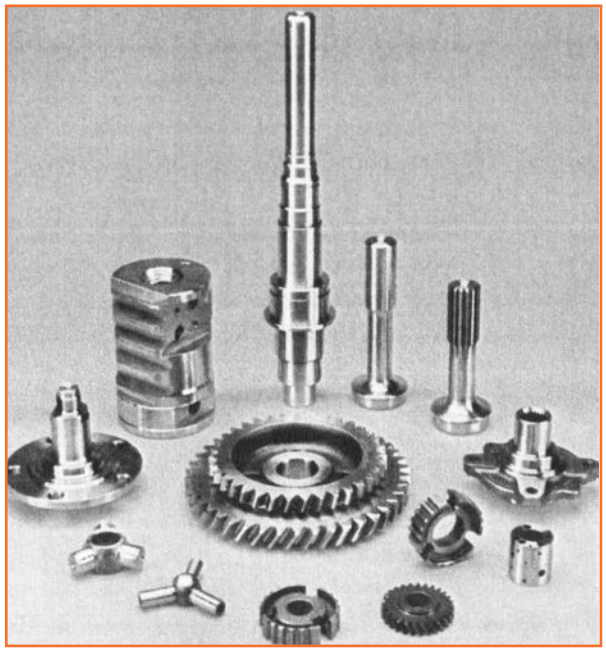


Figura 11. Piezas obtenidas por mecanizado de distintos aceros de maquinabilidad mejorada.

bilidad, reiteradamente indicado en los aceros de fácil maquinabilidad: rendimiento que se empieza a demostrar con pequeñas cantidades añadidas a los aceros de maquinabilidad mejorada. Por esto el sector del automóvil comenzó a solicitar en los aceros de construcción clásicos, porcentajes de azufre reducidos [S = (0,025 ÷ 0,035%)], con la pretensión de mejorar dicha maquinabilidad. Circunstancia que ha llevado a un mayor empleo de aceros de maquinabilidad mejorada con contenidos de azufres bajos, de 0,07% y hasta 0,10% máximo [**S** = (0,07 ÷ 0,10%)]. La presencia de inclusiones y de sulfuros globulares en su estructura, permite mantener las características mecánicas típicas de los aceros base, al mismo tiempo que experimentan sustanciales mejoras de maquinabilidad, hasta un 30 por 100 (30%) mayores.

Ensayos de fatiga efectuados sobre piezas del automóvil, tales como manguetas y ejes de transmisión, fabricados de aceros aleados de construcción con bajo azufre [**S** = (0,067 ÷ 0,10%)], han confirmado unos resultados que están dentro de los parámetros normales del uso y empleo de los aceros base sin azufre. Todo ello gracias al mayor conocimiento adquirido sobre el papel del tamaño y morfología de los sulfuros y demás inclusiones.

El **plomo** (**Pb**) es otro de los elementos utilizados para mejorar la maquinabilidad de los aceros de construcción convencionales. Su contenido, cuando está presente en tales aceros, es aproximadamente de 0,20 por 100 [**Pb** = (0,15 ÷ 0,35%)]. Realmente los aceros al plomo (**Pb**) de maquinabilidad mejorada, tienen una superior tenacidad y una ductilidad comparable con los aceros al azufre (**S**), pero su resistencia a la fatiga por rodadura bajo altas presiones superficiales es muy baja; motivo éste por el cual haya una circunstancial limitación en la industria del automóvil.

Debido a esa baja fatiga y, asimismo, a los conocidos problemas de contaminación que ocasiona el plomo, se está condicionando la fabricación de tales aceros. No obstante, se fabrican en la actualidad aceros con un reducido contenido de plomo [**Pb** = (0,04 ÷ 0,08%)], que mejoran la resistencia a la fatiga por rodadura bajo presión, sin sacrificio aparente de la maquinabilidad.

Los aceros de maquinabilidad mejorada al **bismuto** (**Bi**) ha sido la última tecnología incorporada a la de fabricación de este grupo de aceros, que satisface las necesidades actuales de los mecanizadores y del sector de la industria del automóvil. La técnica de elaboración de tales aceros, se basa en la utilización de elementos de aleación de bajo punto de fusión: el bismuto (**Bi**). Elemento éste muy similar química y físicamente al elemento plomo (**Pb**), pero con la ventaja de su completa no toxicidad y de un superior efecto beneficioso sobre la aptitud al corte por arranque de viruta –**figura 12**–, al mismo tiempo que se mantienen constantes las potenciales características mecánicas del acero base.

La acción del bismuto (**Bi**) sobre las operaciones de mecanizado tiende a reducir los efectos de adhesión o agarre entre el material a mecanizar y la herramienta de corte. El bismuto se encuentra en la masa matricial del acero formando pequeñas inclusiones metálicas aisla-

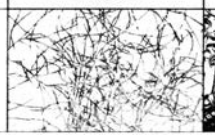
INDICE MAQUINABILIDAD (acero rápido)	ACERO 20NiCrMo2	E	Pb	Bi
	Velocidad corte	100	110	115
	Duración de herramienta	100	135	200
	Tipo de viruta			

Figura 12. Índice de maquinabilidad y viruta de mecanizado característica del acero **20NiCrMo2**: (**E**)= acero de composición estándar; (**Pb**) = acero de maquinabilidad mejorada al plomo; (**Bi**) = acero de maquinabilidad mejorada al bismuto.

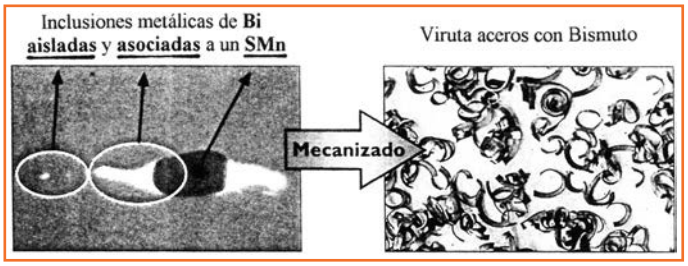


Figura 13. Imagen **SEM:** (1) inclusión aislada de bismuto (**Bi**); (2) inclusión asociada al sulfuro de manganeso (**SMn**). Viruta característica de mecanizado de los aceros al bismuto.

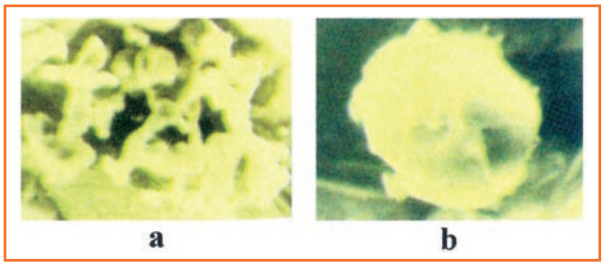


Figura 14. Imagen **SEM**: (**a**) alúmina *–óxido de aluminio–* de un acero ordinario; (**b**) alúmina ya modificada: globulización mediante tratamiento con calcio (**Ca**).

das, o asociadas a los sulfuros de manganeso (**MnS**); **figura 13**.

En virtud de la temperatura que genera el mecanizado, en la intercara herramienta-material a mecanizar, las pequeñas partículas de bismuto se funden, formando un líquido viscoso fragilizante que ayuda a romper y a desprender la viruta. Este efecto es, prácticamente, similar al llevado a cabo por plomo o por el azufre a través de los sulfuros de manganeso (**MnS**), pero más intenso y efectivo en aquellas operaciones de mecanizado donde se utilizan bajas y medias velocidades de corte.

La utilización de los aceros tratados con **calcio** (**Ca**) permite aumentar la productividad de mecanizado, al mismo tiempo que asegura una mayor calidad del producto mecanizado: mejor acabado superficial, tolerancia de acabado más estrecha, mayor control del proceso y fiabilidad de resultados. En operaciones de alta velocidad de corte, *–cilindrado* y/o *refrentado–* con herramientas de metal duro, el incremento de la maquinabilidad puede alcanzar el 60 por 100 (**60**%); al mismo tiempo que se puede multiplicar por ocho la duración o vida útil de la herramienta.

Estudios más recientes realizados sobre los aceros de grano fino, calmados con aluminio (**Al**) o con silicio (**Si**) y tratados con calcio (**Ca**), han confirmado que ciertos tipos de óxidos *–alúminas* y *silicatos–*, por el efecto del calor generado, mediante la fricción intercara herramienta-material, son capaces de fundirse, formando entonces, depósitos protectores sobre la superficie de ataque de la herramienta. Esto hace que disminuya muy mucho la acción abrasiva en todas las operaciones de mecanizado, incluso con velocidades de corte elevadas.

La acción del calcio (**Ca**) reduce el número de inclusiones de silicatos y forma al mismo tiempo, inclusiones de óxidos más pequeñas y redondeadas, al envolverse estas últimas de una viscosa película de sulfuros mixtos asociados; **figura 14**. Así pues el calcio (**Ca**), añadido en cantidades apropiadas, provoca una modificación de las inclusiones más abrasivas *–alúminas* y *silicatos–* convirtiéndolas en compuestos más blandos, es decir, menos agresivos y, también, menos perjudiciales para las herramientas de corte. Estas calidades de acero se caracterizan por su proceso de elaboración que prevé el tratamiento con calcio (**Ca**) del metal en estado líquido.

Resumiendo: el calcio (**Ca**) añadido en cantidades apropiadas tiende a formar compuestos del tipo adecuado; a nivel de aluminatos de calcio, cuando se desoxida con aluminio (**Al**); o bien silicoaluminatos de calcio, cuando la desoxidación es con silicio (**Si**); **figura 15**. En consecuencia, el tratamiento con calcio del acero líquido produce los efectos que se enumeran a continuación:

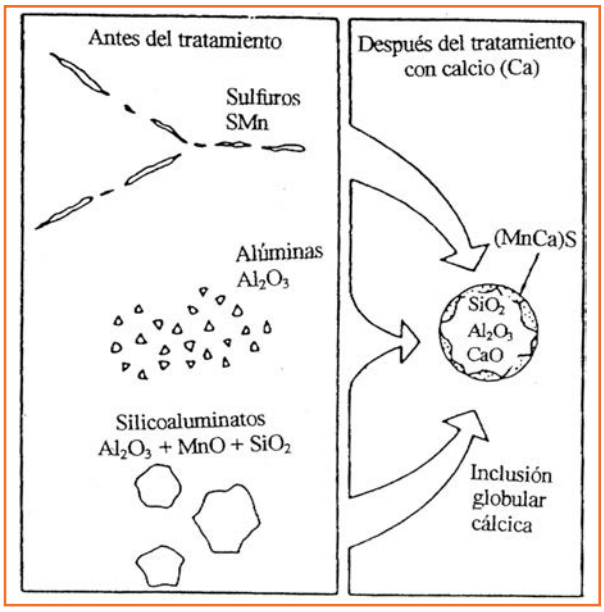


Figura 15. Representación esquemática del efecto del calcio sobre las inclusiones de óxidos duros. Alúminas modificadas en sulfuros de manganeso y aluminatos de calcio.

- Desaparición de las cadenas o rosarios de alúminas con alta abrasividad.
- Reducción de los silicatos, para formar óxidos globulares pequeños y más blandos.
- Formación de una capa protectora de sulfuros [(**S** (**Mn**/**Ca**)] alrededor de las inclusiones duras de óxido [**Al_2O_3**; **MnO**; **SiO_2**].

Al rodearse las inclusiones de la antes mencionada película viscosa de sulfuros mixtos, disminuye su acción abrasiva; circunstancia particularmente beneficiosa para las herramientas de mecanizado, ya que se logra un aumento significativo de las velocidades de corte [**Vc** = (250 ÷ 300 m/min)].

Sobre todo, en aquellas operaciones de mecanizado en las que la abrasión tenga un carácter predominante y, asimismo, en aquellas otras operaciones que la velocidad de corte no sea relativamente muy alta.

4.3. Conceptos actuales de maquinabilidad mejorada

Las mejoras habidas en el mecanizado de los aceros de maquinabilidad mejorada, como tantas veces ya hemos indicado, están basadas en el control de las inclusiones. Se considera, positivamente, que la acción del contenido de azufre [**S** = (0,070 ÷ 0,080%)] no supone ningún detrimento en las características mecánicas de empleo de las piezas correspondientes; siempre y cuando las inclusiones producidas estén debidamente controladas, mediante el efecto ejercido por aquellos elementos [**Se**, **Te**, **Bi**, etc], que influyen muy mucho en el control y en la forma de tales inclusiones; **figura 16**. Los aceros de este grupo están diseñados de tal modo que su composición química ofrezca los mejores resultados en el mecanizado y, para ello, hay que intentar conseguir los siguientes objetivos:

Figura 16. La globulización de los sulfuros de manganeso (**SMn**) mejora la maquinabilidad a bajas y medias velocidades de corte, sin merma de las características mecánicas del material.

- Disminuir el efecto de corte por la optimización de la dureza del material.
- Incrementar la fragilidad de la viruta, aumentando para ello el número de inclusiones de sulfuro de manganeso (**MnS**).
- Aumentar la lubricación de la herramienta de corte con la presencia en el acero de partículas de bajo punto de fusión, como son las que se forman mediante la adición de plomo (**Pb**) y/o de bismuto (**Bi**).
- Reducir abrasividad mediante la disminución –*por la acción del* **Ca**– de partículas duras en el acero, tales como las inclusiones de óxidos: alúminas y/o silicatos.

Para el alcance de todos estos objetivos es necesario la presencia en la composición química del acero de los elementos: azufre (**S**), plomo (**Pb**), selenio (**Se**), teluro (**Te**), bismuto (**Bi**). La acción de dichos elementos sobre la maquinabilidad, como ya antes se ha indicado, es de carácter aditivo, por lo que el efecto de cualquiera de ellos se suma a los efectos de los demás.

Por otro lado la influencia de pequeñas adiciones de calcio (**Ca**) al acero líquido, permite la transformación de las inclusiones duras de aluminio y de silicio (**Al**; **Si**) en compuestos más blandos y globulares, menos abrasivos y en consecuencia menos perjudiciales para la maquinabilidad del acero cuando se mecaniza, sobre todo, a altas velocidades y con herramientas de metal duro; **figura 17**.

Es práctica habitual, entre los principales fabricantes de este grupo de aceros especiales, combinar ambas técnicas en una misma calidad de acero, con lo que se consigue mantener controladas las inclusiones de sulfuros (**MnS**) y las alúminas (**Al_2O_3**); de tal forma que produzcan los mejores resultados en mecanizados de alta y baja velocidad, sin detrimento de las características mecánicas de uso y empleo de las piezas correspondientes; **figura 18**.

Aunque no se ha hecho mención hasta ahora de los aceros inoxidables, conviene destacar que los dos tipos más representativos de aceros inoxidables austeníticos [**AISI 304** (**X5CrNi18 10**) y **AISI 316** (**X5CrNiMo17 12 2**)] presentan variantes en las que se ha mejorado su maquinabilidad mediante tratamientos con calcio (**Ca**), manteniendo un contenido de azufre controlado [**S** = (0,020 ÷ 0,030%)]; a diferencia de los clásicos aceros i-

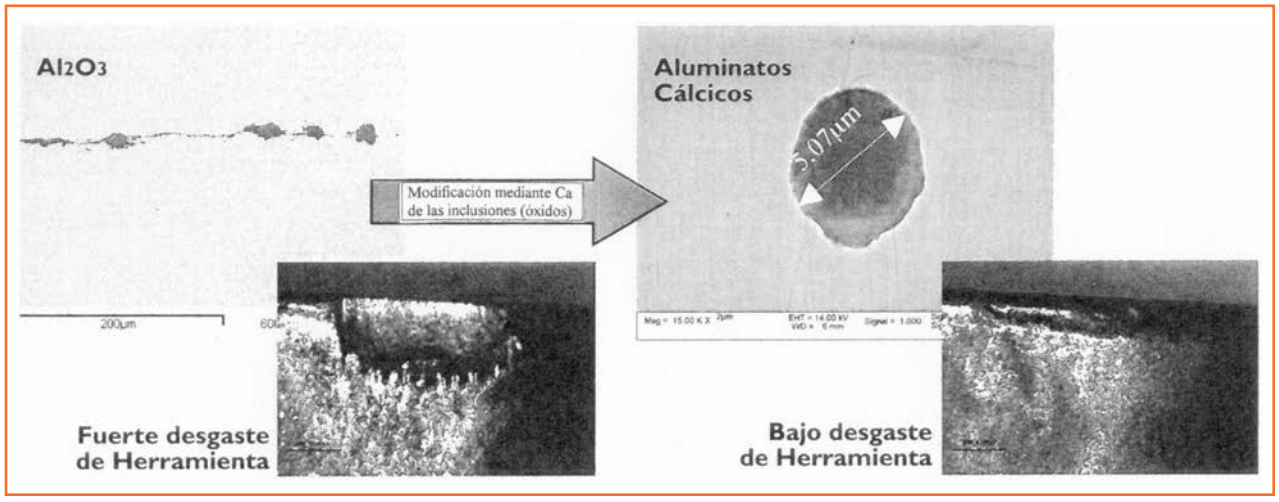


Figura 17. Modificación de la composición y estructura de las inclusiones de óxidos duros (**Al_2O_3**) mediante el tratamiento con calcio (**Ca**). Se ablandan las inclusiones duras y se reduce la abrasión sobre las herramientas de corte, mejorando la aptitud de corte a altas velocidades.

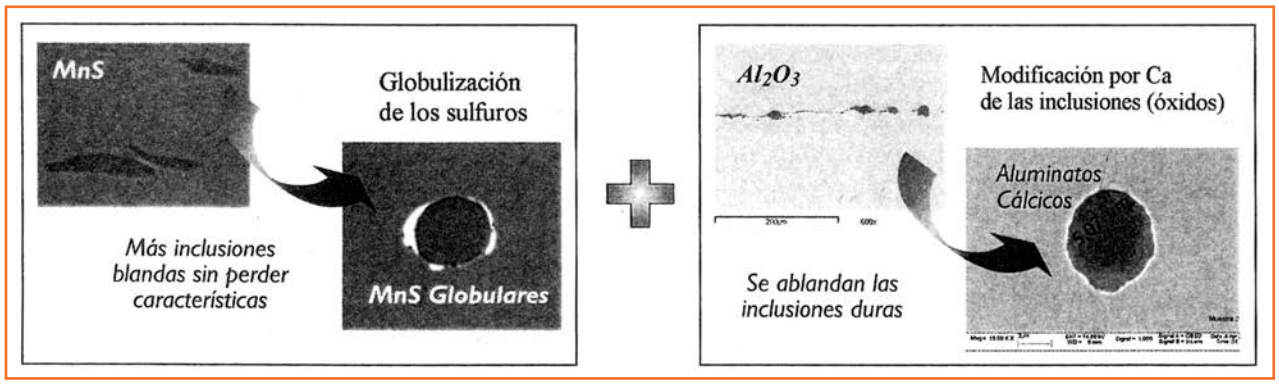


Figura 18. La combinación: sulfuros de manganeso globulares + modificación de las inclusiones duras (**óxidos**) mediante **Ca**, optimiza los procesos de mecanizado a cualquier velocidad de corte, particularmente, sobre barras ya bonificadas.

noxidables de maquinabilidad mejorada con alto azufre; **p.ej**: **AISI 303** [**X6CrNiS18 9**]:

El tratamiento del baño líquido con calcio (**Ca**) de los aceros inoxidables tiene efectos análogos a los ya comentados para el resto de los clásicos aceros de construcción mecánica: es decir, provoca una fuerte disminución del contenido de inclusiones duras, –*silico-aluminatos*–, convirtiéndolas en fases complejas de óxidos globulares de menor dureza y menor punto de fusión: **aluminatos de calcio**; **figura 19**.

En la **figura 20** se muestra el desgaste producido en herramientas de metal duro (**P15**) durante una operación de cilindrado a velocidad constante [Vc = 150m/min.]. Se puede observar que el acero con adición y tratamiento de calcio (**Ca**) ofrece resultados similares al acero **AISI 303** [**X5CrNiS18 9**], clásico acero inoxidable de maquinabilidad mejorada con alto azufre [**S** = (0,25 ÷ 0,35%)].

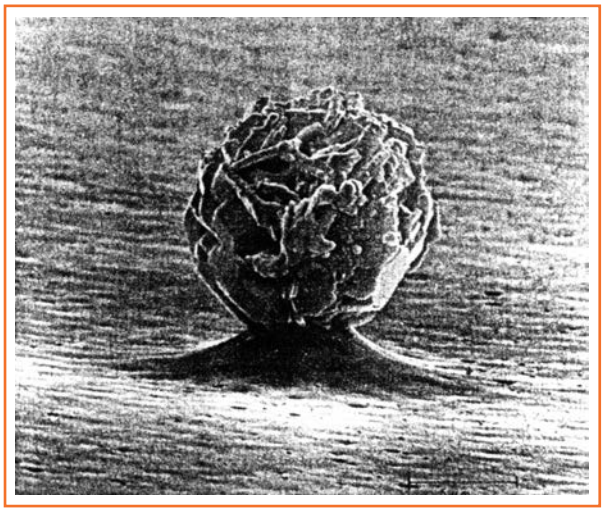


Figura 19. Imágenes **SEM** de una inclusión modificada mediante el tratamiento al calcio: inclusión de **aluminato cálcico** de tipo globular que mejora muy mucho el mecanizado. Acero inoxidable **AISI 304**.

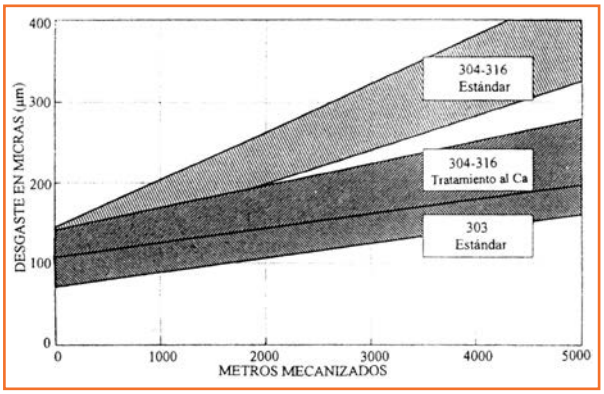


Figura 20. Desgaste sufrido por herramientas de metal duro (**P 15**) mecanizando el clásico acero inoxidable austenítico al azufre, **AISI 303**, frente al desgaste sufrido en los aceros inoxidables austeníticos **AISI 304** y **AISI 316** tratados con calcio.

4.4. Las inclusiones y la maquinabilidad. Aspectos generales

El gran avance alcanzado en el campo de la mecanización de los aceros, mediante el arranque por viruta, está basado en el mejor conocimiento que se tiene de los mecanismos que rigen el desgaste de las herramientas de corte, junto con el mayor dominio de la **metalurgia en cuchara**, *–metalurgia secundaria* (**HCV**)– que ha permitido una mejora en el control de la forma y composición de las inclusiones en los aceros finos de construcción en general.

Este conjunto de factores ha permitido:

- Mejora de la maquinabilidad y reducción del consumo de herramientas en el mecanizado de aceros con el tratamiento térmico correspondiente.
- Facilitar el mecanizado de barras bonificadas con resultados muy similares a los obtenidos con los mismos aceros en estado de recocido.
- Mejora en el conformado, por deformación plástica en frío, de aceros resulfurados destinados a piezas y que han de ser, posteriormente, acabadas mediante un mecanizado por arranque de viruta.

IK4-Tekniker obtiene la Certificación de Gestión de I+D+I

El centro tecnológico ha superado los requisitos de la certificación que verifica la excelencia de su sistema de gestión de investigación y transferencia.

La apuesta por la innovación es clave para el aumento de la competitividad empresarial. Además, el desarrollo de soluciones tecnológicamente avanzadas y su conversión en productos y servicios aptos para la industria y el mercado exige la incorporación de procesos de gestión de excelencia.

En este contexto, el centro tecnológico IK4-TEKNIKER ha recibido el certificado que acredita la adecuación del sistema de gestión de I+D+i de la entidad a los requisitos de la norma UNE 166002:2014. En la preparación previa del sistema, IK4-TEKNIKER ha contado con la colaboración de Juan Carlos Morla de la empresa Sonder Consulting y con SGS como entidad externa acreditada para el proceso de certificación.

El certificado ha sido entregado por la empresa de inspección, verificación, ensayos y certificación SGS al director general de IK4-TEKNIKER, Alex Bengoa, en un acto celebrado en las instalaciones del centro tecnológico, en el municipio guipuzcoano de Eibar.

El acto ha contado con la presencia del director de Tecnología y Estrategia del Gobierno Vasco, Iosu Madariaga, y del director de Certificación de I+D+i de SGS, Óscar Nevot.

También han acudido al evento el delegado de la Zona Norte SGS, Enrique Zoppetti, el director de Operaciones de SGS, Jon Ander Madariaga, la directora de Marketing y Digital Business de IK4-TEKNIKER, Itziar Cenoz, y la directora de Personas y Organización de IK4-TEKNIKER, Mercedes Aja.

La obtención de esta certificación ha permitido acreditar que IK4-TEKNIKER asume los requisitos del referencial UNE 166002 y que dispone de un sistema de gestión de I+D+i orientado a la excelencia.

"Nuestra actividad en I+D+i, avalada por una trayectoria de más de 35 años, nos ha permitido construir un robusto sistema de gestión que hace posible el desarrollo eficaz y eficiente de proyectos de investigación y transferencia. Esto articula también las prácticas de gestión en todos y cada uno de los procesos, tanto de la cadena de valor, como de los procesos de soporte a és-

ta, y que en un centro tecnológico juegan un papel fundamental", asegura Bengoa.

"La certificación no es un proceso que concluye, sino un hito más en el camino que seguimos recorriendo en aras del mantenimiento y mejora de nuestras prácticas de gestión, para ofrecer la mejor respuesta al tejido empresarial y a la sociedad en general", añade Bengoa.

Un proceso exhaustivo

Para lograr la certificación, IK4-TEKNIKER se sometió a dos fases de auditoría, llevadas a cabo en marzo y mayo de este año por un equipo de SGS, encabezado por Óscar Nevot.

Durante el proceso, el equipo auditor pudo verificar la conformidad del sistema de gestión de I+D+i de IK4-TEKNIKER con los requisitos establecidos en el referencial UNE 166002.

Esto supone la implantación de un sistema de gestión integrado, capaz de materializar la política y cumplir los objetivos de la organización establecidos con relación a todas las partes interesadas. Asimismo, el centro tecnológico revalidó el certificado de calidad con la versión 2015 de la norma ISO 9001. Ambas certificaciones contribuyen a velar por una gestión excelente y profesional.

Nueva cámara termográfica de calidad industrial

Fluke Process Instruments presenta una nueva gama de cámaras termográficas con cámara de luz visible integrada. Las cámaras de instalación fija permiten el seguimiento continuo de la temperatura en un rango de -10 ºC a +1.200 ºC.

Estas cámaras están diseñadas para cumplir los requisitos exigentes de la automatización industrial de hoy en día y soportan la transmisión GigE de imágenes, alarmas automáticas, análisis y registro. Se pueden combinar imágenes de múltiples dispositivos para su presentación y análisis. Están disponibles diferentes opciones de lentes intercambiables in situ incluidas las lentes de gran angular. Las cámaras se pueden utilizar para seguir aplicaciones como, por ejemplo, el conformado en caliente, la prueba de frenos, el casco de horno de cal, la conformación de metal por rotación, los incineradores de residuos y las calderas.

Capturan imágenes a 9 ó 60 fotogramas por segundo. En la actualidad esta serie dispone de dos modelos con una resolución de 320 x 240 ó 640 x 480 píxeles a los que se añadirán más modelos próximamente.

Las cámaras se pueden configurar y controlar a través de Internet y ofrecen un enfoque motorizado remoto

Las imágenes térmicas y de luz visible se pueden superponer para facilitar la alineación de la cámara. Los usuarios pueden establecer valores independientes de emisividad y condiciones de alarma para diferentes campos de interés. Las cámaras termográficas TV40 estándar tienen una lente integrada y no poseen ninguna pieza externa móvil.

Están alojadas en una carcasa de aluminio con clasificación IP67 y soportan temperaturas ambiente hasta +50 ºC, sin necesidad de un encapsulado adicional de refrigeración y hasta +200 ºC con él.

La cámara termográfica y de luz visible permite el seguimiento continuo con alarmas automáticas, en caso de sobrecalentamiento o irregularidades definidas.

SU MEJOR COMUNICACIÓN

REVISTAS PROFESIONALES DEL SECTOR INDUSTRIAL

Estrenamos Nueva Web

www.pedeca.es

PREGUNTE POR NUESTROS PACKS DE PUBLICIDAD IMPRESIÓN + DIGITAL

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

PEDECA Press Publicaciones

SOMOS SU MEDIO

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

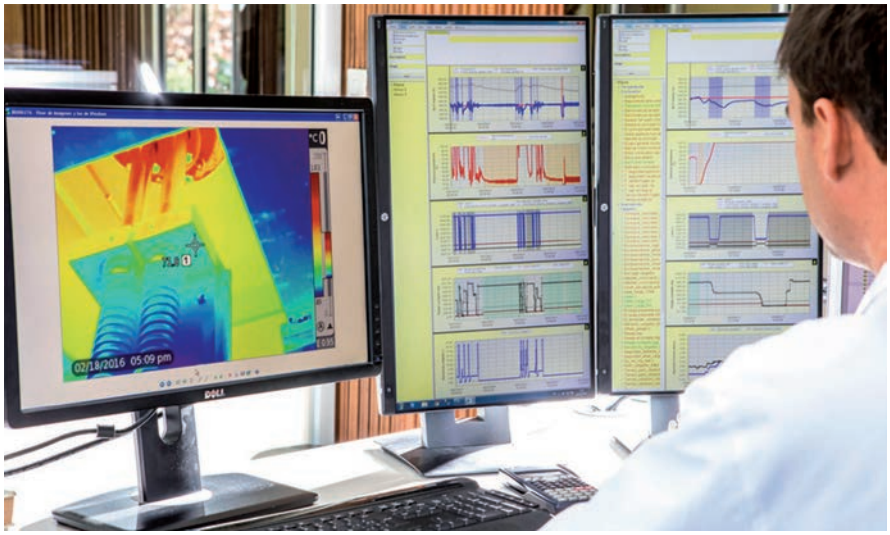
GHI Smart Furnaces presenta una tecnología innovadora para estampación en caliente

Mayor disponibilidad con mínimos costes de mantenimiento

Construido sobre un equipo de ingeniería con amplia experiencia en productos y procesos, GHI Smart Furnaces ofrece un nuevo concepto de horno inteligente que combina las más altas especificaciones de productividad con un mínimo coste de mantenimiento. El nuevo horno de calentamiento desarrollado por GHI, "OnStamp by GHI" presenta una tecnología innovadora, en proceso de patente, que elimina las limitaciones que generalmente se encuentran con los equipos tradicionales de estampación en caliente, como la baja disponibilidad y los altos costes de mantenimiento. El proceso de estampación en caliente es un proceso cada vez más utilizado en la industria de automoción, ya que permite la producción de piezas estructurales de acero endurecido de ultra alta resistencia. Esto da como resultado vehículos más ligeros y un consumo más eficiente de combustible; también aumenta la resistencia contra choques y por lo tanto da como resultado estándares de seguridad más altos.

El horno recientemente desarrollado para estampación en caliente utiliza un sistema original que comprende un mecanismo doble para movimiento de avance y elevación.

Tecnología original que ayudará a aumentar el OEE



Los equipos de GHI se diseñan desde el primer momento para estar integrados a la Industria 4.0.

GHI ha desarrollado su propia tecnología innovadora "OnStamp by GHI" para mover blanks a través del horno. Esta tecnología se basa en un sistema original que comprende un mecanismo doble para el movimiento de avance y elevación. La tecnología ha sido probada, utilizada y validada en varias plantas por uno de los principales proveedores mundiales de piezas estampadas en caliente para el sector de la automoción. El profundo conocimiento de GHI sobre el producto y el proceso, junto con un gran esfuerzo en el desarrollo de la tecnología, ha permitido el desarrollo de equipos robustos y de alta calidad.

OnStamp by GHI ofrece ventajas significativas sobre otros equipos tradicionales en el mercado. Proporciona alta precisión y repetibilidad en la salida de piezas, evitando la ubicación incorrecta de piezas y evitando movimientos innecesarios.

Esto ha permitido a GHI simplificar la mesa de centrado y hacerla más segura. Además, se elimina la necesidad de reemplazar y mantener los rodillos, lo que reduce enormemente el coste de operación del horno. Todo esto da como resultado, altas tasas de disponibilidad debido a un menor número de interrupciones de línea, lo que permite a los clientes de GHI aumentar su OEE.

El nuevo horno está disponible en diferentes configuraciones. GHI tiene una gama de tamaños de horno que, a través del diseño modular, cubren diferentes escalas de producción y pueden alcanzar una tasa máxima de 7.400 kg/h, con la capacidad de procesar lotes de hasta 8 blanks. Además, para la misma tasa de producción, el horno ocupa aproximadamente el 30% de la superficie, ya que la distancia entre los lotes de piezas es menor y es posible el diseño en línea.

SMART FURNACES FOR A SMART WORLD

Desde el inicio, Onstamp by GHI fue diseñado para integrarse en la Industria 4.0, lo que garantiza sus características durante toda su vida útil y asegura el cumplimiento de los requerimientos del sector de la automoción y los estándares de estampación en caliente. Onstamp by GHI está equipado con la tecnología más avanzada, capaz de transmitir más de 1.000 valores por segundo para ser analizados por los sistemas de Big Data e ingenieros especializados en GHI.

El lanzamiento global de la solución SmartFurnace ofrece a los clientes de GHI sugerencias para mejoras, mantenimiento predictivo inteligente y asistencia para usar la instalación. Esto se traduce en trabajar en los más altos niveles de eficiencia en cualquier parte del mundo, a través de su servicio SAT 4.0.

Sobre la empresa

GHI es una empresa de ingeniería industrial con más de 80 años de experiencia diseñando y fabricando plantas llave en mano y hornos industriales para fundición, tratamiento térmico y calentamiento de cualquier tipo de metal. GHI ha equipado a cientos de empresas de diferentes sectores como el de automoción, aeronáutico, ferroviario, siderúrgico, energías renovables, entre otros, que suman más de 8.000 referencias en todo el mundo.

Los equipos de GHI utilizan tecnología de vanguardia, que permite la identificación de anomalías, brinda soporte para la mejora en uso y planifica actividades de mantenimiento predictivo. El objetivo es minimizar el tiempo de inactividad inesperado y maximizar el potencial de las instalaciones de GHI.

UNESID celebra su 50 Junta General

UNESID celebrósu Junta Anual 2018, la número 50 desde su fundación. La Junta, además de analizar los resultados del ejercicio 2017 y las tendencias de 2018, estudió las oportunidades y retos que se presentan en el corto y medio plazo para la industria siderúrgica española.

En su discurso, el Presidente de UNESID, Bernardo Velázquez, consideró que España "necesita una política industrial que facilite a las empresas ser competitivas en el exigente entorno al que se enfrenta la economía mundial". UNESID, junto al resto de asociaciones de la Alianza Industrial, impulsó la elaboración de un Pacto de Estado por la Industria que debería ser suscrito por organizaciones empresariales, sindicales, sociales y partidos políticos, de forma que sirva de guía al desarrollo de las políticas industriales en los próximos años. UNESID confía que el actual Gobierno lidere el trabajo para la firma de ese Pacto de Estado por la Industria.

La política industrial debe ser horizontal y relacionarse con los retos ambientales y energéticos a los que se enfrenta actualmente nuestra sociedad. Los objetivos más ambiciosos de energías renovables deben alcanzarse sin poner en riesgo la competitividad de la economía española. La industria siderúrgica, que es el principal consumidor de energía eléctrica, necesita disponer de un suministro eléctrico a un precio estable y predecible, tan competitivo como el de los países de su entorno. Durante 2017, el mercado mayorista de electricidad alemán fue de media 13,8 €/MWh más barato que el español. UNESID considera que es posible y necesario adoptar medidas destinadas a evitar esta diferencia.

El sector siderúrgico español es un actor relevante en la lucha contra el cambio climático. UNESID como asociación, e individualmente todos sus asociados, firmaron en 2017 el Pacto por una Economía Circular. El acero es un material que puede reciclarse permanentemente sin que pierda calidad o propiedades físicas. En España se reciclaron 11 millones de toneladas en 2017, un 6% más que en el año anterior. En los primeros cuatro meses de 2018 la cifra de chatarra de acero reciclada supera ya los 3,7 millones de toneladas.

Además, UNESID considera que deben agilizarse las modificaciones administrativas pendientes que faciliten la promoción del uso de la escoria, principal subproducto de la fusión del acero, ampliamente utilizado en otros países como árido para la construcción y claro ejemplo de economía circular. Las ventajas ambientales de la utilización de las escorias como áridos siderúrgicos, adiciones al cemento y fertilizantes, reducirían la necesidad de extracción de recursos naturales.

UNESID continuó en 2017 favoreciendo la innovación y la industria 4.0 a través de PLATEA (Plataforma Tecnológica Española del Acero). Los Miembros de PLATEA, que incluye empresas, universidades y centros tecnológicos, continuaron su trabajo en los casi 100 proyectos desarrollados.

En el nuevo reto de la digitalización, la Industria 4.0 y la "Inteligencia Industrial", la industria siderúrgica se encuentra en muy buena posición respecto a otros sectores. La siderurgia es pionera en monitorización y automatización como única forma de procesar millones de tonela-

das, de miles de calidades diferentes, en centenas de formatos con tolerancias dimensionales muy estrictas.

2017: un año mejor de lo esperado

En su discurso, el Presidente de UNESID, Bernardo Velázquez, repasó las principales cifras del sector afirmando que 2017 "resultó mejor de lo esperado para el sector siderúrgico", que por una parte se apoyó en el crecimiento de la economía española – 3,1 interanual, con tres años por encima del 3% - y, por otra, en el entorno internacional, lo que sirvió para tener mejores condiciones de mercado y para facilitar las exportaciones de algunos de los sectores consumidores de acero.

En consecuencia, el consumo de acero en España creció un 8% en 2017 y se situó en 13,6 millones de toneladas con una evolución parecida en los productos planos, con 9,1 millones de toneladas, y en los largos, con 4,5 millones. El volumen de importaciones también subió -aunque menos que el consumo-, con 9,9 millones de toneladas, un 5% más que en el año anterior. A pesar de ello, el valor monetario del saldo comercial sigue siendo positivo en 187 millones de euros, resultado de 7.379 millones de euros de exportaciones y 7.191 millones de euros de importaciones.

El avance del consumo ha permitido que las entregas del sector en España crecieran un 7,4% hasta 6,9 millones de toneladas. Dado que las exportaciones bajaron, las entregas totales crecieron solo un 1,6%, llegando a 14,1 millones de toneladas.

La producción, que alcanzó los 14,4 millones de toneladas, fue un 5,7% más que la del ejercicio anterior. De esta cifra, 12,8 millones corresponden a los aceros no aleados, mientras que se produjeron 1 millón de toneladas de acero inoxidable y 0,7 millones de otros aceros aleados.

Tendencia positiva del sector en los primeros meses de 2018

En los cinco primeros meses de 2018, la producción ha subido un 1,5% y las entregas han empezado con más fuerza, creciendo un 9%. El tono del mercado sigue siendo positivo y el consumo ha crecido un 4,1% en el periodo de enero a abril.

Las toneladas exportadas de productos siderúrgicos y de primera transformación han cambiado su signo a positivo y han subido un 4,7% interanual entre enero y abril. La subida se debe, de momento, al destino europeo que ha mejorado un 7,3%, mientras el resto se mantiene estable. Sin embargo las exportaciones a Estados Unidos han empezado a caer en febrero, con lo que se acumula un descenso del 20,5% en los cuatro primeros meses del año incluso antes de haberse comenzado a aplicar los nuevos aranceles.

Las toneladas importadas han crecido un 1,5% y su evolución próxima dependerá del impacto que tenga en los mercados mundiales la nueva situación creada por la administración norteamericana. UNESID ha solicitado a la Comisión Europea medidas de salvaguarda que impidan que se produzca una avalancha indiscriminada de importaciones procedentes de países y empresas que hayan visto cerrado su acceso al mercado norteamericano.

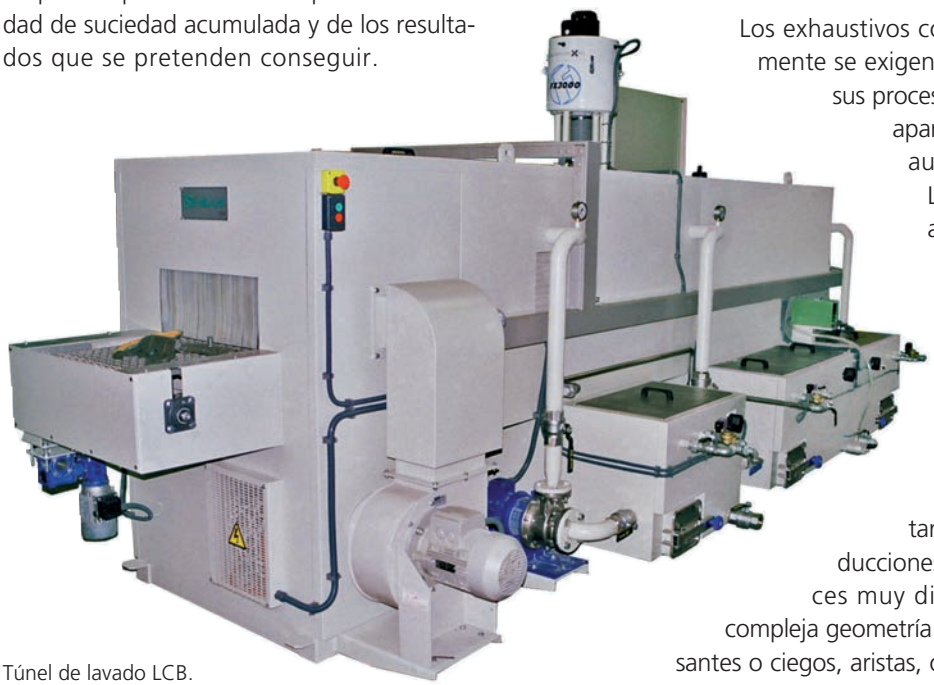
Evolución Sectorial	Mayo			Mayo (mm12m)			Enero-Mayo		
	2018	2017	Variación	2018	2017	Variación	2018	2017	Variación
PRODUCCIONES (kt)									
Producción de acero total	1.366	1.249	9,3%	1.211	1.146	5,7%	6.226	6.133	1,5%
Aceros no Aleados	1.211	1.098	10,3%	1.074	1.006	6,8%	5.498	5.375	2,3%
Aceros Inoxidables	96	88	9,7%	85	88	-3,1%	464	449	3,3%
Otros Aceros Aleados	58	63	-8,1%	52	53	-1,4%	264	308	-14,4%
Producción Laminados en Caliente	1.222	1.207	1,2%	1.143	1.108	3,2%	5.945	5.815	2,2%
Productos Largos	807	782	3,2%	735	725	1,4%	3.855	3.823	0,8%
Productos Planos	415	425	-2,4%	408	383	6,6%	2.090	1.991	4,9%
ENTREGAS (kt)									
Entregas totales	1.338	1.321	1,2%	1.217	1.130	7,7%	6.350	5.828	9,0%
Distribución Geográfica de las Entregas									
Mercado Nacional	726	672	8,1%	606	542	11,8%	3.238	2.907	11,4%
Mercado Exterior	612	650	-5,9%	610	587	3,9%	3.112	2.921	6,5%
Mercado Exterior del cual a la U	429	382	12,3%	377	332	13,6%	2.056	1.779	15,6%
Productos Largos	782	809	-3,4%	728	695	4,8%	3.751	3.537	6,1%
Productos Planos	524	473	10,9%	448	403	11,1%	2.411	2.106	14,5%
	Abril			Abril (mm12m)			Enero-Abril		
	2018	2017	Variación	2018	2017	Variación	2018	2017	Variación
COMERCIO EXTERIOR (total productos siderúrgicos y primera transformación)									
Importaciones (kt)									
Totales	966	831	16,3%	829	831	-0,3%	3.606	3.552	1,5%
UE 28	590	543	8,8%	567	550	3,2%	2.379	2.301	3,4%
Países Terceros	376	288	30,5%	262	282	-7,0%	1.226	1.252	-2,0%
Importaciones (M €)									
Totales	728	601	21,2%	614	533	15,1%	2.645	2.471	7,1%
UE 28	468	414	13,0%	437	379	15,1%	1.826	1.704	7,2%
Países Terceros	260	187	39,2%	177	154	15,1%	819	767	6,9%
Exportaciones (kt)									
Totales	761	642	18,6%	741	741	0,0%	2.945	2.814	4,7%
UE 28	466	378	23,3%	439	427	2,8%	1.867	1.740	7,3%
Países Terceros	295	264	11,9%	303	314	-3,8%	1.078	1.074	0,4%
Exportaciones (M €)									
Totales	712	558	27,7%	643	575	11,8%	2.757	2.421	13,9%
UE 28	446	356	25,2%	402	358	12,3%	1.805	1.566	15,3%
Países Terceros	266	201	32,1%	241	217	11,0%	952	855	11,3%
	Abril			Abril (mm12m)			Enero-Abril		
	2018	2017	Variación	2018	2017	Variación	2018	2017	Variación
CONSUMO APARENTE DE ACERO									
ktpm	1.247	1.086	14,8%	1.149	1.083	6,0%	1.218	1.171	4,1%
Productos Largos (ktpm)	402	354	13,5%	400	336	19,0%	434	359	21,0%
Productos Planos (ktpm)	867	748	15,9%	753	719	4,8%	790	799	-1,2%
CA de acero al carbono (ktpm)	1.055	930	13,5%	984	923	6,7%	1.035	995	4,0%
CA de aceros especiales (ktpm)	192	156	22,7%	165	160	2,5%	183	175	4,3%

Visión general sobre máquinas lavadoras industriales para tratamientos y acabados superficiales, su clasificación y principales características

Por Bautermic S.A.

Se trata de máquinas diseñadas para la limpieza, desengrase y eliminación de los diferentes tipos de residuos que se pueden acumular en la fabricación de cualquier tipo de pieza, durante los procesos de su mecanización, transformación o manipulación (aceites, taladrinas, polvo, grasa, óxidos, pastas de pulir, pegamentos, ceras, resinas, virutas…) para que las piezas, una vez tratadas, queden totalmente limpias para su posterior expedición o montaje.

Este tipo de lavadoras se construyen en función del tipo de piezas que se han de limpiar de la cantidad de suciedad acumulada y de los resultados que se pretenden conseguir.



Túnel de lavado LCB.

Pueden ser máquinas o instalaciones estáticas, continuas o bien automáticas con una o varias etapas: Prelavado-lavado/desengrase, enjuague, soplado, secado, a las que se le pueden incorporar otras etapas adicionales, según puedan ser necesarios otros tratamientos superficiales como pueden ser: Decapados, fosfatados, pasivados, aceitados…

Actualmente este tipo de máquinas desempeñan un papel muy importante y son indispensables en todo tipo de industrias a nivel mundial.

Los exhaustivos controles de calidad que actualmente se exigen a todas las industrias en todos sus procesos de trabajo, han provocado la aparición de máquinas cada vez más automatizadas y perfeccionadas. Los fabricantes han tenido que ir actualizándose en todos los campos de la ingeniería, robótica, electrónica, mecánica, química e incluso informática. Con la combinación de todos estos parámetros se consigue la fabricación de máquinas muy versátiles, que permiten tratar desde pequeñas a grandes producciones de piezas muy diversas y a veces muy difíciles de limpiar, debido a la compleja geometría de sus formas, con agujeros pasantes o ciegos, aristas, oquedades y recovecos que pro-

Cabina aspersión LIH.

ducen sombra o zonas de muy difícil acceso… para conseguir unos acabados de las piezas tratadas que sean homogéneos, repetitivos y con la máxima calidad de limpieza.

QUÉ SIGNIFICA EL CONCEPTO DE DESENGRASE Y LIMPIEZA

Cada tipo de pieza en función de su proceso de fabricación, ya sea intermedio o final, requiere de un grado de limpieza diferente. Los primeros pueden ser menos exigentes que los finales (cuando una pieza está lista para su expedición o montaje), ya que en algunos casos se requiere una limpieza absoluta.

Este grado de limpieza en la práctica es difícil de lograr y sólo se consigue mediante el empleo de máquinas y ciclos de lavado y desengrase, bastante complejos.

Por consiguiente, lo primero que se debe determinar, cuando se tenga que limpiar una pieza, es el grado de suciedad inicial a eliminar y el grado de limpieza requerido en su fase intermedia o de pieza terminada. Con dichos datos y conociendo el tipo de suciedad a eliminar, se podrán estudiar los tipos de desengrasantes a utilizar, el número de ciclos o fases a realizar, la forma de aplicación más conveniente y el tipo de máquina que hay que emplear.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ELECCIÓN DE UN SISTEMA DE LIMPIEZA

1º Grado de limpieza deseado.

2º Naturaleza y cantidad de los contaminantes y residuos a eliminar.

3º Composición del metal base (Fe, Al., vidrio…, etc.)

4º Características de las piezas (forma, peso, agujeros pasantes o ciegos, …, etc.)

5º Producción Nº de piezas/hora.

6º Elección de los productos desengrasantes y limpiadores.

1) Grado de limpieza deseado: Este factor depende del destino o tratamiento posterior que deban tener las piezas, por ello es necesario que antes de escoger el proceso a realizar, se determine con exactitud este factor.

2) Naturaleza y cantidad de los contaminantes: Normalmente la suciedad sobre las piezas puede ser:

1. En forma líquida: Compuesta por aceites ve-

Cuba inmersión LIC.

getales, minerales, orgánicos, taladrinas emulsionadas, etc.

2. En forma semisólida: Tales como ceras, fangos, grasas, jabones, resinas, pinturas, alquitrantes, etc.
3. En forma sólida: En este grupo se encuadran productos sólidos o parcialmente endurecidos, tales como pastas de pulir, fundentes de soldadura, pegamentos, arenas de fundición, virutas de mecanizado, aceites y grasas carbonizados, sales de tratamientos térmicos, fibras, etc.

3) Composición del metal base: Ciertos materiales Fe., Al., Plásticos, Pegamentos, Vulcanizados, etc. Pueden reaccionar con las soluciones limpiadoras o desengrasantes que son químicamente activas, por lo que es preciso conocer su composición para no dañar o inutilizar las piezas.

4) Características de las piezas:

a) Forma: Esta determinará la manera en que tienen que realizarse los tratamientos, por inmersión, por proyección, por agitación, volteo, con adición de ultrasonidos, etc.

b) Tamaño y peso: Si son grandes o pequeñas nos ayudan a elegir si se pueden tratar en masa (a granel o en cestas) o si se limpian colocándolas en posiciones calibradas, con utillajes especiales, etc.

c) Manejabilidad y fragilidad: Cuando se trata de piezas delicadas, éstas no pueden ser tratadas en masa y si son frágiles o tienen que tener un acabado de alta precisión, requieren de posicionamientos tipo cuna especiales.

Tambor LIT.

Rotativa LCR.

5) Producción: Este factor influye principalmente sobre el tipo de máquina a elegir: estática, continua, de tambor, rotativa, etc., y sobre el coste de la misma.

6) Elección de los productos de limpieza y desengrase: Éstos pueden ser mediante disolventes, Orgánicos, Minerales clorados o Alcoholes modificados, Detergentes alcalinos, Detergentes emulsionados, con Sistemas Acuosos más ultrasonidos (limpieza por cavitación).

DIFERENTES TIPOS DE LAVADORAS INDUSTRIALES Y SU FUNCIÓN

TIPO TÚNEL: Para lavar y desengrasar en continuo. Son idóneas para tratar medianas y grandes producciones, pueden ser de cinta continua, tambor rotativo o transportador aéreo.

TIPO ROTATIVA: Su mayor ventaja es que ocupan muy poco espacio. Son máquinas idóneas para puestos de trabajo en célula, puesto que la carga-descarga de las piezas se efectúa desde un mismo punto sobre una plataforma giratoria que atraviesa distintas etapas en ciclo continuo.

TIPO CABINA: Se trata de máquinas de ciclo discontinuo con la carga-descarga de las piezas por su parte frontal, dentro de unas cestas o sobre un carro de carga que puede automatizarse, junto con las duchas de aspersión y la incorporación de más de un ciclo de trabajo.

TIPO TAMBOR: Especialmente diseñadas para el tratamiento de todo tipo de piezas a granel y en continuo, mediante inmersión, aspersión y secado dentro de un tambor tornillo sin fin en rotación.

TIPO UNIVERSAL ESTÁNDAR: Máquinas en forma de depósitos o cubas estáticas que pueden unirse unas con otras para formar líneas de trabajo y automatizarse con ascensores, agitadores, volteadores y la incorporación de ultrasonidos para acelerar los procesos de limpieza.

LAVADORAS ESPECIALES: También se fabrican máquinas especiales en función de la complejidad de las piezas a limpiar. Cuando los modelos estándar no se adaptan o hay que integrarlas en procesos de producción automatizados que así lo requieren.

Todos estos tipos de máquinas pueden ser alimentadas con calefacción a vapor, gas, gasoil o electricidad. Algunas de ellas pueden ser parcial o totalmente automáticas, para trabajar en continuo y no tener que emplear apenas mano de obra, incluidos robots para la carga y la descarga.

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS ESENCIALES

Todos los tipos de máquinas enumerados, según sea su función y envergadura, precisan disponer para su correcto funcionamiento de unos mínimos indispensables como pueden ser:

— Cajones filtrantes de fácil limpieza.
— Detectores de nivel y electroválvulas para mantener y reponer el nivel de agua en las cubas.
— Bombas de trasiego con filtro para la recirculación y proyección del agua.
— Aspiradores condensadores de vahos para eliminar los vapores que producen las máquinas.
— Un correcto aislamiento térmico y acústico.
— Varios: Dependiendo de cada tipo de máquina: Grupo motor-reductor para el movimiento de la cinta transportadora, de la plataforma, volteadores…etc. Puertas de inspección y acceso al interior de las cabinas.
Resistencias de calefacción o intercambiadores, válvulas, manómetros, cuadro de maniobra general con todos los automatismos, paros de emergencia, controles digitales de temperatura….

Lavadoras especiales.

Dependiendo de cada tipo de máquina y su proceso de trabajo pueden ser necesarios Complementos Opcionales tales como: Decantadores y separadores de aceites, sistemas de filtraje adicionales, dosificadores proporcionales de detergente, programadores de horarios para la puesta en marcha de la calefacción, depósitos de trasiego y vaciado para tareas de mantenimiento, autómatas programables con pantalla táctil, con sistema manual de pruebas y modo de funcionamiento manual-automático; y cualquier otro tipo de complemento adicional que los clientes puedan precisar.

Otros factores a tener en cuenta al elegir un sistema de limpieza son: el espacio disponible, sistema de calefacción previsto (electricidad, vapor, gas, etc.), operaciones anteriores o posteriores a la limpieza (galvanizado, cincado, pasivado, pintado, etc.) y forma de realizarlas (automática, robotizada o manual), carga/descarga y transporte de las piezas, necesidad de que las piezas salgan bien secas o aceitadas, fosfatadas, etc., costes operativos y precio de la instalación.

De acuerdo con lo expuesto, para elegir el mejor sistema de lavado o desengrase, adaptado a las necesidades de cada cliente, se tiene que hacer un buen estudio con todos los factores enumerados y en base al mismo proceder a la adquisición del tipo de máquina más adecuado para el trabajo a realizar.

Endurecimiento Superficial por Inducción (Hardening) en Fundiciones

Por Dr. Valery Rudnev, FASM, IFHTSE Fellow. Director of Science & Technology en Inductoheat Inc., an Inductotherm Group company

Traducción: Eugenio Pardo. Responsable de forja y calentamiento en Ondarlan S.L. an Inductotherm Group company

Introducción

Son las piezas de acero, principalmente, las que representan la mayoría de los productos tratados térmicamente, cuya fuente de generación de calor es la inducción electromagnética. Al mismo tiempo, la inducción electromagnética también se ha aplicado con éxito a una gran variedad de fundiciones de hierro ofreciendo numerosas y atractivas propiedades, microestructuras interesantes y ventajas de coste de cara a diferentes aplicaciones prácticas (Figura 1). Todo ello incluye el endurecimiento superficial de cigüeñales, piñones, ruedas de grúa, cajas de rodamientos, guías cilíndricas, rodillos, volantes de inercia, bielas y muchas piezas más.

Figura 1. El Calentamiento por Inducción se aplica con éxito al tratamiento térmico de multitud de Fundiciones, ofreciendo numerosas propiedades atractivas, y ventajas de costes para diferentes aplicaciones prácticas (Cortesía de Inductoheat Inc., an Inductotherm Group company).

El endurecimiento superficial (Induction Hardening-IH) de las fundiciones tiene muchas similitudes con el de los aceros; al mismo tiempo, existen características especiales que deberían ser tenidas en cuenta [1] En este artículo se revisan algunas de ellas.

La Familia de las Fundiciones de Hierro

El término fundición de hierro no se corresponde con ningún material en particular, sino con una amplia familia de aleaciones metálicas correspondiente a la región de alto contenido en carbono en el diagrama de fases (2% o más). En general, la familia de las fundiciones de hierro se puede clasificar en seis grupos: Fundición blanca, gris, maleable, dúctil (también denominada nodular, esferoidal o SG), de grafito compactado (CGI), y fundiciones de hierro especiales de alta aleación [2-5].

Durante el proceso de solidificación de las fundiciones se forman partículas de grafito de diferentes morfologías (en la mayoría de las fundiciones comerciales) o bien cementita Fe3C (por ejemplo en la fundición blanca).

Además de carbono, las fundiciones comerciales de hierro contienen desde un 0.6% a un 4% de silicio (Si)

(siendo lo más normal entre un 2% y un 3.5% de Si), por lo que el silicio y el carbono son los dos elementos de aleación principales. El Silicio fomenta la formación de grafito. Por consiguiente, merced a su considerable porcentaje, es más adecuado considerar las fundiciones de hierro no como aleaciones binarias, sino al menos como terciarias Fe–C–Si. En contraste con el diagrama Fe–C, las reacciones eutécticas en el diagrama Fe–C–Si se producen a temperaturas más altas, en un rango de temperaturas que van aumentando conforme el incremento del contenido de ambos elementos aumenta: carbono y silicio.

Con objeto de proporcionar determinadas propiedades para cada particular tipo de fundición, se pueden añadir también otros elementos de aleación (Mn, P, Ni, Mg, Ce, etc.) [2-5]. Frente a los aceros, los diferentes tipos de fundiciones pueden tener composiciones químicas similares, pero respuestas muy diferentes al endurecimiento superficial por Inducción (IH).

Cabe señalar que las partículas de grafito aparecen en las fundiciones bajo diferentes formas, desde escamas hasta esferoides. Los cuatro grupos, dentro de las fundiciones, que más frecuentemente se tratan térmicamente con inducción para su endurecimiento superficial son: la fundición gris, la dúctil (nodular), y en menor medida la maleable y la de grafito compactado.

La fundición gris, es muy atractiva para gran variedad de aplicaciones, al ser relativamente barata, con buenas aptitudes al colado y a la mecanización, con excelente resistencia a la abrasión, al rozamiento y al desconchamiento (las partículas de grafito actúan como lubricantes).

Es muy sencillo distinguir la fundición gris de la fundición dúctil. La fundición dúctil tiene el grafito en forma de esferoides o nódulos (Figura 2, derecha). Por el contrario, las partículas de grafito de la fundición gris aparecen en forma de escamas, como se ve bajo inspección metalográfica 2-D (Figura 2, izquierda).

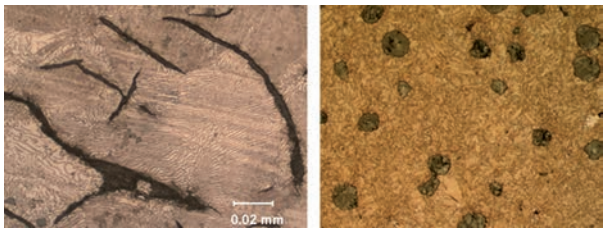


Figura 2. (Derecha) la Fundición Dúctil contiene grafito en forma de esferoides o nódulos. (Izquierda) partículas de grafito en forma de escamas en Fundición Gris según metalografía 2-D [1].

Endurecimiento superficial por inducción (IH) de Fundición Gris

Las propiedades de la Fundición Gris y su aptitud para el endurecimiento superficial por Inducción, dependen de su tipo de estructura (ferrítica, ferrítica-perlítica, o perlítica). Las fundiciones de matriz ferrítica, o predominantemente ferrítica no son comúnmente aptas para un rápido IH debido a su incapacidad para obtener los niveles de dureza típicamente necesarios. Las Fundiciones Grises totalmente perlíticas o predominantemente perlíticas (por ejemplo una fundición que contenga un 90% de perlita y un 10% de ferrita) responden mejor al IH en comparación con una matriz de mayor contenido de ferrita.

Son preferibles de cara al IH las partículas de grafito finas distribuidas uniformemente y orientadas al azar (tipo "A") [1]. Como fuente de tensiones, las partículas de grafito pueden funcionar a la manera de puntos de iniciación de grietas, sufriendo alguna fragilidad y añadiendo otras dificultades, debido a la tendencia al agrietamiento asociada al calentamiento rápido, así como a un intenso temple, en particular para casos de geometrías complejas. Para reducir las tensiones térmicas se puede recurrir a un precalentamiento y al uso de agentes de temple de intensidad moderada.

Al mismo tiempo, hay casos en los que las Fundiciones Grises se han endurecido superficialmente con éxito, utilizando tiempos cortos de calentamiento (menores de 3 s) y temples con agua rociada. Como ejemplo, la figura 3 muestra una máquina para IH de guías cilíndricas en motores para vehículos comerciales. Así se unifican dos estaciones independientes de calentamiento para temple y revenido. Las recetas optimizadas del proceso, así como los motores rastreadores servo controlados de alta velocidad, permiten tiempos muy cortos de calentamiento y productividades tan altas como son 50 piezas a la hora. La profundidad del endurecimiento es de I 0.75 mm (0.03 in.). Se endurece superficialmente la totalidad del interior de las guías, excepto una banda

Figura 3. Máquina de IH para guías cilíndricas de Fundición Gris en motores de vehículos comerciales. (Cortesía de Inductoheat Inc., an Inductotherm Group company).

de 6-mm (1/4-in.) a cada extremo, todo ello bajo mínimas distorsiones.

Endurecimiento Superficial por Inducción (IH) de Fundiciones Dúctiles (o Nodulares)

Contrariamente a la Fundición Gris, la Fundición Dúctil tiene partículas de grafito en forma de nódulos aislados (Figura 2, derecha). Los nódulos de grafito actúan como "descargadores de grietas", proporcionando a las Fundiciones Nodulares ventajas importantes con respecto al resto de las Fundiciones, incluyendo la ductilidad pero no limitándose a ella, como son unas resistencias a la rotura por tracción y doblado relativamente altas, elongaciones moderadas y mejores tenacidades con mecanizabilidades comparables. Pese a que existe una combinación óptima entre el tamaño, número y distribución de los nódulos en cada aplicación, se prefieren normalmente los nódulos de grafito de tamaño más pequeño y uniformemente distribuidos en la matriz.

Las Fundiciones Nodulares representan un grupo de materiales que ofrece propiedades versátiles. El grupo se puede subdividir en cinco subgrupos basados en la estructura de la matriz: ferrítica, perlítica-ferrítica, perlítica, martensítica y Fundiciones Nodulares austemperizadas. Al igual que en la Fundición Gris, la estructura de las Fundiciones Nodulares se controla también mediante la intensidad de enfriamiento durante la colada, así como permitiendo a ciertos elementos (por ejemplo, los Ce, Mg, etc.) alearse y ser tratados térmica y superficialmente.

La tecnología IH se aplica normalmente a las Fundiciones Nodulares de matriz martensítica, y perlítica (o predominantemente perlítica), y a menor escala se aplica a Fundiciones Nodulares de matriz perlítica-ferrítica con una considerable cantidad de ferrita. Las Fundiciones Nodulares consistentes en una matriz ferrítica, a menudo se consideran no templables por Inducción, debido a la imposibilidad de obtener los niveles de dureza típicamente necesarios para la gran mayoría de las aplicaciones.

Sin embargo, como ocurre en esta vida, siempre hay algunas excepciones. Se ha observado [6] que tras un calentamiento rápido, una corta austenización y un temple intenso, se ha mejorado significativamente la resistencia a la fatiga de Fundiciones Nodulares ferríticas con respecto a las Fundiciones no tratadas. Se sugieren varios factores para explicar las mejoras encontradas. Uno de ellos es la formación de la martensita denominada anular, formada alrededor de los nódulos de grafito, merced a la corta distancia de la difusión del carbono desde los propios nódulos de grafito. La presencia de martensita anular provoca un incremento de la dureza localizada y se asocia ésta con el aumento de la resistencia. Otro posible factor puede estar asociado con una favorable distribución y magnitud de las tensiones residuales compresivas. Como resultado de los ensayos de fatiga al doblado de una muestra no tratada, se constató que la iniciación de grietas tuvo lugar alrededor de las esferas de grafito y se propagó a través de la matriz ferrítica y de los nódulos de grafito [6]. En el caso de la muestra tratada térmicamente mediante Inducción el área de grafito era más pequeña y la grieta se inició en la fase de ferritea para propagarse posteriormente, evitando los nódulos de grafito rodeados por un halo de martensita anular.

Sin embargo, el Endurecimiento Superficial por Inducción (IH) de Fundición Nodular utilizado en este caso, es más la excepción que la regla. Para la mayoría de aplicaciones de IH, no es de ningún modo deseable una matriz ferrítica o predominantemente ferrítica, por la incapacidad de alcanzar los niveles de dureza y consistencia necesarios para la industria.

Al ser inherentemente resistentes, las Fundiciones Nodulares pueden soportar tensiones mayores que las de la Fundición Gris. A pesar de que los nódulos de grafito se comportan como "descargadores de grietas", su existencia no garantiza que las Fundiciones Nodulares no se agrieten durante un calentamiento rápido o un temple severo. Se deben elegir los parámetros de proceso con precaución cuando se trata de endurecer superficialmente las Fundiciones en geometrías complejas.

Propiedades termo-eléctricas de la Fundición

Frente a otros procesos alternativos, las prestaciones de los sistemas de Inducción se ven afectadas por las propiedades electromagnéticas de los materiales susceptibles de calentamiento, incluyendo la resistividad eléctrica ρ y la permeabilidad magnética relativa μ_r.

La composición química y la fracción volumétrica del grafito, su morfología, y la estructura de la matriz de la Fundición no sólo afectan a las propiedades mecánicas, sino también a las propiedades electromagnéticas y térmicas. Por ejemplo, las Fundiciones Grises con escamas de grafito grandes experimentan una conductividad

térmica k más alta y una menor resistividad eléctrica ρ. La Fundición Nodular con matriz ferrítica tiene una más alta conductividad k en comparación con la perlítica o con la Fundición templada y revenida.

La conductividad térmica de la Fundición disminuye con el incremento en el contenido de Mn y P. Se ha observado [2] que si el contenido en Cu es menor que el 2%, se reduce k. Para adiciones de Cu mayores de un 2% no se aprecian efectos en k. Un incremento en Si reduce k. Para un determinado tipo de Fundiciones, k generalmente decrece con la temperatura.

La ref. [2] nos proporciona datos comprensibles respecto a las propiedades electromagnéticas de las fundiciones y se pueden resumir utilizando los puntos elegidos a continuación:

- ρ aumenta gradualmente con el incremento de temperatura y se comporta de una manera compleja, siendo función de la composición química, morfología del grafito y microestructura de la matriz.
- Las fundiciones con grafito nodular o cuasi-nodular (por ejemplo: Fundiciones Dúctiles o maleables) experimentan valores de ρ más bajos, en comparación con la Fundición Gris.
- La fundición gris con escamas grandes de grafito experimentan valores más altos de ρ, respecto a las de un grafito más pequeño.
- La Figura 4 izquierda muestra el efecto del silicio en ρ para Fundición Dúctil perlítica y ferrítica a temperatura ambiente. La Figura 4 derecha muestra la influencia del Al, Mn, y Ni en ρ para Fundición Gris a temperatura ambiente [2,7].
- Una matriz perlítica implica una mayor ρ cuando la comparamos con Fundición Gris de matriz ferrítica. La Fundición gris perlítica con pequeños espacios interlaminares, tiene mayor ρ que las Fundiciones perlíticas con láminas más gruesas. La Fundición Dúctil de matriz ferrítica tiene el valor más bajo de ρ.

La Fundición de matriz ferrítica tiene valores más altos en sus propiedades magnéticas respecto a la perlítica. Las Fundiciones Dúctil y Maleable tienen mayores valores de Inducción magnética B y μ_r con respecto a la Fundición Gris. Las Fundiciones experimentan valores significativamente más bajos de magnetismo que en el caso de los aceros.

Buenas prácticas en Endurecimiento Superficial por Inducción en Fundiciones

Características particulares del proceso

Entre otros factores, la aptitud de la Fundición para alcanzar dureza y resistencia como consecuencia del temple, depende del contenido en carbono de la austenita, lo cual se ve afectado sobremanera por la matriz. Los parámetros apropiados para el endurecimiento incluyen, aunque no se limitan sólo a ellos, una adecuada temperatura y tiempo en la fase austenítica, los cuales entre otros factores, son funciones del tipo de Fundición, su matriz, la intensidad de calor y las características específicas del temple.

En los aceros, el contenido en carbono viene fijado por la composición química y, durante la austenización, no

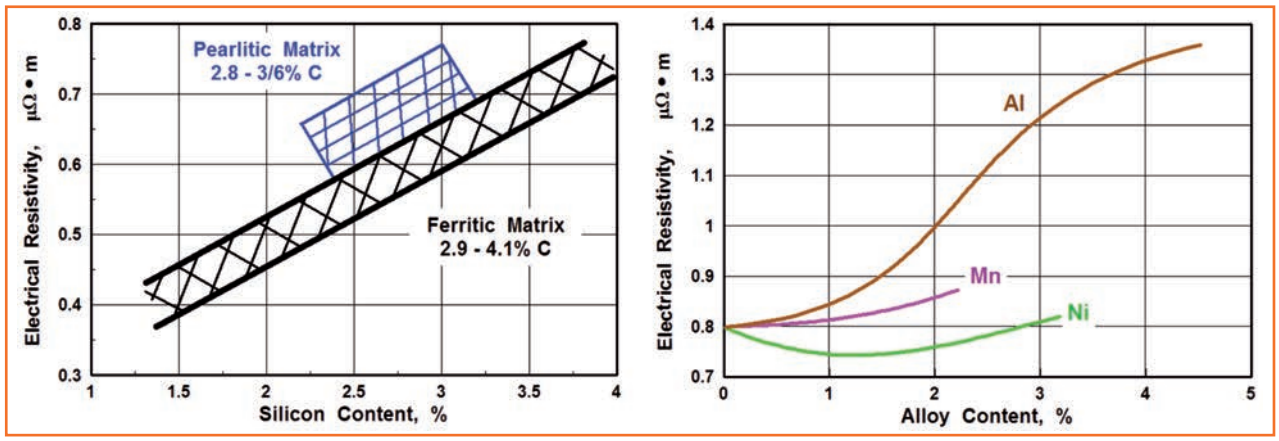


Figura 4. (Izquierda) efecto del Si sobre ρ en Fundiciones Dúctiles perlíticas y ferríticas a temperatura ambiente. (Basado en www.ductile.org.). (Derecha) la influencia de Al, Mn, y Ni sobre ρ en Fundición Gris a temperatura ambiente (De C. Walton, T. Opar, Iron Castings Handbook, Iron Castings Society, Inc., 1981; I. Iitaka, K. Sekiguchi, Influence of added elements and condition of graphite upon ρ of cast iron, Reports of the Casting Research Laboratory, No. 3, Waseda University, Tokyo, Japan, 1952, pp. 23–25.).

puede exceder este valor fijo (se excluyen de esta consideración casos de utilización de entornos enriquecidos de carbono). Sin embargo, en fundición, hay una "reserva" de carbono en las partículas primarias de grafito (eutéctico). La presencia de estas partículas de grafito y la aptitud del carbono para su difusión en la matriz a las temperaturas de la fase austenítica, puede comportar potencialmente una variabilidad del proceso, porque podría producir una desviación/aumento en la cantidad del carbono disuelto en la matriz austenítica, afectando respectivamente a la dureza obtenida y a su uniformidad después del temple [1].

Temperaturas superiores en la fase austenítica y tiempos más prolongados a las mencionadas temperaturas, se asocian a una mayor cantidad de carbono disuelto en la matriz. Dado que parte del grafito puede disolverse en la proximidad de los nódulos o de las escamas, se puede incrementar localmente el nivel de carbono en la austenita, desplazando las curvas CCT, afectando a la formación de martensita y las temperaturas de M_s, así como a la cantidad de la austenita retenida (RA). Esta tendencia es un factor metalúrgico importante que representa una de las mayores diferencias entre fundiciones y aceros, y produciendo potencialmente un contenido variable del carbono en la estructura templada. Ésta es una de las razones por la que los requisitos de control y monitorización del proceso en el Endurecimiento Superficial de Fundiciones, son normalmente más exigentes que en los aceros.

Un intento de compensar la falta en el contenido de carbono en una matriz ferrítica se produce mediante difusión deliberada de carbono en la austenita, aplicando temperaturas excesivamente altas para disolver las partículas de grafito primarias, pero no se puede considerar como una buena práctica universal. Esto es así porque se requiere la necesidad de alcanzar temperaturas de austenización excesivamente altas, así como de mantenerlas durante un período largo. Esto perjudica una de las ventajas principales de la Inducción, el corto tiempo de ciclo y comporta además el crecimiento de los granos, una cantidad excesiva de austenita, patrones irregulares de dureza y predisposición al agrietamiento.

Por otro lado, una insuficiente austenización produce estructuras heterogéneas, formándose una mezcla de productos martensíticos y no martensíticos (productos "fantasma") y de propiedades no deseadas por los ingenieros. La Industria ha acumulado multitud de recomendaciones a la hora de estimar las temperaturas para el endurecimiento. Como estimación aproximada de la temperatura mínima de austenizacion de una Fundición no aleada calentada a intensidad moderada, se aplican las expresiones siguientes:

$$\text{Temperatura de austenización, °C} = 800 + 28(\%Si) - 25(\%Mn)$$

$$\text{Temperatura de austenización, °F} = 1472 + 50(\%Si) - 45(\%Mn).$$

Además de la temperatura austenítica mínima, hay un máximo de temperatura recomendada que no se debería exceder en ningún caso. El rango de temperaturas desde 860 °C (1.580 °F) hasta 930 °C (1.706 °F) es el típico para el IH en Fundiciones Grises y Dúctiles. Como ejemplo, la Figura 5 muestra la influencia de la temperatura de austenización en la dureza de una Fundición Dúctil templada al agua [8].

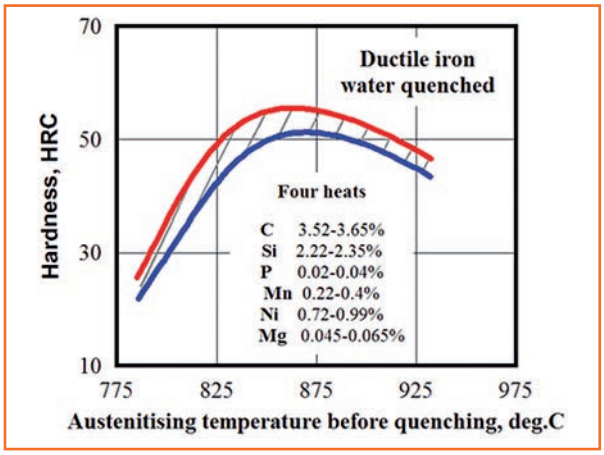


Figura 5. Influencia de la temperatura de austenización en la dureza de la Fundición Dúctil. Las probetas se calentaron lentamente, mantenidas al aire 1 hora, y templadas al agua. (De ASM Handbook, Vol. 4, Heat Treating, ASM Int'l, 1991.)

Como resultado de la naturaleza de no-equilibrio en el calentamiento rápido por Inducción, todas las temperaturas críticas se desplazan hacia temperaturas más altas. La Fundición funde a temperaturas aproximadamente de 150 a 250 °C más bajas que la mayoría de los Aceros al Carbono. Por ejemplo, en el caso de intensidad moderada de calor, una Fundición eutéctica no aleada funde a temperaturas de alrededor de 1.130 °C (2.066 °F). Por tanto, si algo va mal, hay posibilidad de sobrecalentamiento a las temperaturas relativamente bajas de sólido y líquido de las Fundiciones. Esta situación deviene más complicada, con ciertos elementos de aleación (tales como el cobre o el estaño que se suelen añadir a las Fundiciones), los cuales tienen temperaturas de fusión más bajas.

Frente a los Aceros, hay información muy limitada en la literatura respecto a los Diagramas de Transformación de Calentamiento Continuo (CCT) disponibles para el IH de Fundiciones, obligando a los tratamentistas a confiar en experimentos singulares y en desarrollos de laboratorio, a la hora de determinar las temperaturas adecuadas para el IH rápido.

Cuando se calientan Fundiciones susceptibles de agrietamiento, a veces es útil precalentar los productos, permitiéndose así la reducción del impacto térmico o con objeto de aplicar una pequeña cantidad de calor, particularmente durante la etapa inicial (desde temperatura ambiente hasta aproximadamente 550 °C/1.000 °F).

Se pueden utilizar aceites de temple a elevadas temperaturas y soluciones poliméricas acuosas para el Endurecimiento Superficial de las Fundiciones Grises, posibilitando minimizar la probabilidad de agrietamiento y distorsión excesiva. Por el contrario, para tratar Aceros, el "temple masivo" no se suele aplicar incluso en casos de penetraciones poco profundas. Sin embargo regularmente se aplica un retraso en el temple de (0.5 to 1.5 s).

Puesto que las temperaturas Mf de las fundiciones están siempre por debajo de la temperatura ambiente, habrá siempre una cantidad de austenita retenida en las estructuras templadas. La magnitud depende de la composición química, especificaciones del tratamiento y de la receta del proceso. Como cabe esperar, una mayor cantidad de austenita retenida afecta directamente a la dureza obtenida y a la magnitud de las tensiones superficiales residuales compresivas. Esto podría alterar propiedades mecánicas críticas, incluyendo la resistencia a la abrasión y a la fatiga. Además de ello, las tensiones de carga que aparecen durante la operación del componente pueden transformar la austenita retenida en martensita no revenida, provocando fragilidad y potencialmente inestabilidad dimensional. Hay procedimientos que especifican los niveles máximos de austenita retenida, tolerables para aplicaciones particulares de Fundición; algunos especifican niveles máximos de entre 8%–12% de austenita retenida).

Es bueno revenir las Fundiciones templadas lo antes posible para aliviar las tensiones residuales excesivas y para formar una estructura martensítica revenida, mejorando la tenacidad y evitando agrietamientos posteriores.

Microestructuras previas favorables/no favorables. El objetivo de tener éxito en IH para fundiciones se simplifica cuando se tienen microestructuras previas favorables al calentamiento rápido. Como se ha señalado anteriormente, las fundiciones ferríticas.o que tienen una importante cantidad de ferrita en su matriz, no se adaptan al endurecimiento rápido por culpa de la baja solubilidad del carbono en la ferrita.

Unas pequeñas cantidades de ferrita adyacentes a los nódulos de grafito ("dianas") no afectan normalmente a las durezas alcanzables, porque el carbono puede difundirse con la rapidez suficiente en las regiones delgadas de los nódulos de carburo, enriqueciéndolos con la adecuada cantidad de carbono (asumiendo adecuados el tiempo y la temperatura de austenización).

Las estructuras consistentes en acumulaciones de grafito (Figura 6) no se consideran favorables. Las escamas de grafito grandes o las acumulaciones con orientación preferente según la profundidad de penetración actúan como generadores fuertes de tensiones. En este caso, la sensibilidad de la Fundición Gris respecto a la iniciación de grietas durante el calentamiento rápido, aumenta y puede haber redistribución del flujo de las corrientes de Inducción (particularmente para frecuencias de 50 kHz o mayores). De este modo, pueden aparecer puntos blandos en la estructura templada en áreas de acumulación.

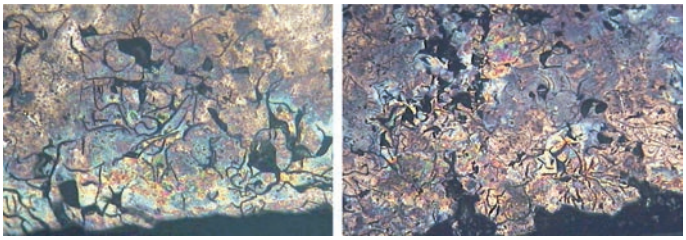


Figura 6. Escamas grandes de grafito o agrupaciones con orientación preferente de las escamas cerca de la superficie, que actúan como generadoras de tensiones y deberían considerarse como microestructuras no deseadas [1].

Una estructura favorable de la matriz de las Fundiciones (ejemplo: perlita) permite transformaciones rápidas a temperaturas mínimas del proceso de endurecimiento, siendo esto imperativo en aras de minimizar la distorsión.

Apropiada composición química. Si, por alguna razón, una Fundición no responde al IH de la manera esperada, uno de los pasos primeros para determinar la raíz de tan inesperado problema consiste en asegurar que tanto la composición química como la matriz sean las adecuadas. Hay casos, en los que si los materiales provienen de dos proveedores diferentes, puede haber variaciones a-

preciables en la composición, en la matriz y en las propiedades.

Se debe controlar el silicio con precisión, debido a su poderoso impacto en la formación de ferrita y de grafito, en la reacción eutéctica y en la solubilidad del carbono en la austenita. No se desean valores extremos de Si; Un contenido de Si muy bajo ayuda a la formación de carburos, mientras que niveles excesivos de Si favorecen la formación de más ferrita en la matriz. [9].

Pese a que el carbono y el silicio son los dos principales elementos de aleación en Fundiciones Grises, Maleables y Dúctiles, con influencia significativa en las microestructuras de temple, el examen no debería limitarse únicamente a una evaluación exclusiva de estos dos elementos. Las Fundiciones comerciales pueden tener una considerable cantidad de otros elementos de aleación y sus niveles inapropiados pueden modificar los resultados del IH. Por ejemplo, las concentraciones de fósforo deberían estar siempre por debajo del nivel máximo del nivel prescrito. Se ha descubierto que un valor excesivo de P (la cantidad normalmente especificada para fundición es ≤0.05%, mientras que en fundición gris es de ≤0.2%) puede formar un punto de fusión menor, con mayor fragilidad y reducción de la resistencia al impacto, empeorando con temperaturas crecientes de tratamiento y con la concentración creciente de fósforo.

Unas cantidades excesivas de P conllevan también mayor riesgo de fusión en un eutéctico del fósforo. Por tanto, debería considerarse que los niveles de fósforo pueden ser elevados cuando surgen problemas. Al mismo tiempo, no se debería asumir que los niveles elevados de P producen problemas de agrietamiento automáticamente. En ocasiones, las investigaciones demuestran que también hay Fundiciones que contienen elevadas cantidades de fósforo (0.39%–0.57% P) que se han tratado por inducción sin agrietamiento [9].

Todas las Fundiciones, hasta cierto punto, contienen trazas de impurezas residuales como resultado de las materias primas y del proceso de obtención del hierro. Estos residuos y los elementos de aleación, bajo ciertas condiciones, pueden interactuar mutuamente y afectar a los resultados del tratamiento por Inducción. Incluso mínimas cantidades de tales elementos como el Bi, Pb, Ti, Ni pueden tener un marcado efecto en los resultados del Endurecimiento Superficial.

Es imperativo recordar que algunos elementos tienen un efecto combinado (por ejemplo el carbono y el silicio, el azufre y el manganeso); por tanto, es importante controlar sus efectos combinados. Un aumento en el Mn implica una tendencia a aumentar la austenita retenida, produciendo una segregación del Mn y la reducción de las lecturas de dureza [10]. Por otra parte, es necesario contar con una cantidad suficiente de Mn para neutralizar el S. Algunos investigadores sugieren la correlación siguiente entre Mn–S para la cantidad mínima recomendada de Mn en Fundición Gris [9]:

$$Mn(\%) = 1.7 \cdot S(\%) + 0.3\%$$

Factores de diseño y calidad de colada. Las coladas de mala calidad y los defectos de colada pueden causar problemas por sí mismos. Por ejemplo, la presencia de defectos como la porosidad, inclusiones anormales, arena y defectos de gases, burbujas, agujeros y excesiva segregación pueden ser causa de desviaciones en las corrientes de Inducción, sobrecalentamientos localizados, concentración de tensiones, agrietamientos, dispersión en durezas, etc...

Las piezas de fundición con formas complejas, que experimentan discontinuidades geométricas e irregularidades, o las zonas con masas sustancialmente diferentes tienden a calentarse y enfriarse diferentemente. Esto produce la aparición de gradientes térmicos y tensiones no deseadas, que podrían crear las condiciones para una distorsión excesiva y agrietamientos.

Conclusión

Entre otros factores, el éxito en el Endurecimiento Superficial por Inducción de las Fundiciones y la repetitividad en los resultados obtenidos, están enormemente condicionados por la potencial variación del contenido de carbono en la matriz. Esto obliga a un control más estricto de las recetas/protocolo del proceso. Un paso sería seleccionar una receta de proceso que permita evi-

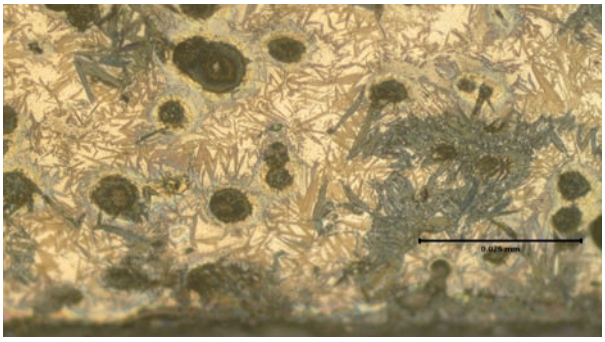


Figura 7. Debería evitarse la formación de mezclas indeseadas de martensita y productos superiores de transformación en microestructuras templadas [1].

tar la formación de productos de la transformación no deseados en la microestructura resultante del temple. La Figura 7 muestra un ejemplo de las mencionadas estructuras no deseadas.

Las microestructuras previas "favorables" junto con una avanzada tecnología producen transformaciones rápidas de fase a las temperaturas mínimas de tratamiento con una distorsión minimizada [1,11,12]. Por ejemplo, el caso estudiado en [11] muestra la obtención de cigüeñales tratados, con distorsión prácticamente indetectable de aproximadamente 3–5 micras (basado en motores diésel o de gasolina de 1.5- y 2.0-L) mediante la tecnología no rotativa de Inductoheat (SHarP-C). En muchos casos, esta tecnología elimina la operación de enderezado siguiente. La Figura 8 muestra en primer plano el diseño único del inductor SHarP-C (izquierda) y la microestructura tratada (derecha) que consta de una estructura de dos fases (grano fino de martensita y grafito nodular) con una cantidad insignificante de austenita retenida.

Figura 8. Primer plano (a) del inductor de Inductoheat SHarP-C y de la micoestructura endurecida (b) que revela las dos fases (martensita de grano fino y grafito nodular) con una insignificante cantidad de austenita revenida. (Cortesía de Inductoheat Inc., an Inductotherm Group company.).

Nuevos Recursos Técnicos para Profesionales del Calentamiento por Inducción

No disponemos de espacio suficiente para discutir toda la complejidad del Calentamiento por Inducción para el Tratamiento Térmico de Fundiciones. Se puede encontrar más informción en el libro "2nd Edition of the Handbook of Induction Heating" (Figura 9), el cual aborda el paso siguiente que consiste en diseñar procesos de Inducción eficientes económica y energéticamente.

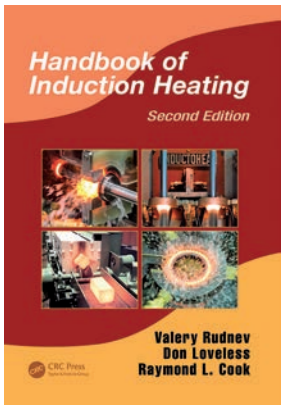


Figura 9. Más información respecto al Calentamiento por Inducción y al Tratamiento Térmico, en la segunda edición de Handbook of Induction Heating, aquí mostrado (CRC Press, 2017). El material contenido en este artículo se ha publicado con los permisos correspondientes.

El libro está destinado a técnicos de inducción, ingenieros, metalúrgicos, tratamentistas, directores, estudiantes y científicos.

Sobre el autor

El Dr. Valery Rudnev, FASM, IFHTSE Fellow es director científico y tecnológico en Inductoheat, Inc., una compañía del Grupo Inductotherm.

Parte de la información presentada fue publicada por primera vez en "Handbook of Induction Heating", Second Edition, by V. Rudnev, D. Loveless and R. Cook, CRC Press, 2017.

Referencias

1. V.Rudnev, D.Loveless, R.Cook, Handbook of Induction Heating, 2nd Edition, 2017.
2. C.Walton, T.Opar, Iron Castings Handbook, Iron Castings Society, Inc., 1981.
3. Heat Treater's Guide: Practices and Procedures for Nonferrous Alloys, ASM Int'l, 1996.
4. J.Davis, ASM Specialty Handbook: Cast Irons, ASM Int'l, 1996.
5. ASM Handbook, Volume 4D: Heat Treating of Irons and Steels, J.L.Dossett and G.E.Totten (editors), ASM Int'l, 2014.
6. Y.Misaka, K.Kawasaki, J.Komotori, M.Shimizu, Fatigue strength of ferritic ductile cast iron hardened by super rapid induction heating and quenching, Mater. Trans., 45(9): 2930–2935, 2004.
7. I.Iitaka, K.Sekiguchi, Influence of added elements and condition of graphite upon electrical resistance of cast iron, Reports of the Casting Research Laboratory, No.3, Waseda University, Tokyo, Japan, 1952, p.23–25.
8. ASM Handbook, Vol. 4: Heat Treating, ASM Int'l, 1991.
9. M.J.Fallon, The surface hardening of cast iron, British Cast Iron Research Association (BCIRA), 1988.
10. A.P.Druschitz, S.Thelen, Induction hardened ductile iron camshafts, SAE Report: 2002-01-0918, 2002, p.161–166.
11. G.Doyon, V.Rudnev, J.Maher, Low-distortion, high-quality induction hardening of crankshafts and camshafts, Heat Treating Progress, September, 2013, p.59–61.
12. V.Rudnev, Induction hardening cast irons, Heat Treating Progress, ASM Int'l, March, 2003, p.27–32

"Este artículo fue publicado originalmente en el ejemplar de Julio/Agosto 2018 de Thermal Processing magazine (USA). Utilizado con su permiso".

FABRICAMOS:

MÁQUINAS PARA EL DESENGRASE, LAVADO Y LIMPIEZA TÉCNICA DE TODO TIPO DE PIEZAS INDUSTRIALES

Lavar, Desengrasar, Fosfatar, Secar... Todo tipo de piezas eliminando: Óxidos, fangos, pastas de pulir, pegamentos, virutas, ferrichas, aceites, grasas, polvo...
En máquinas de tipo: TÚNEL, ROTATIVAS, CUBAS, CABINAS, TAMBORES.

***Disponemos de laboratorio propio para el control de calidad de la limpieza.**

Bautermic S.A.

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

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

GRUPO PIROVAL

Hornos, secaderos e incineradores industriales
Diseñados a medida

WWW.GRUPOPIROVAL.COM

COMBUSTION - AISLAMIENTO - INGENIERIA

TELF: 961 66 88 36 grupopiroval@grupopiroval.com

DIRECCIÓN:
Pol. Ind. El Oliveral III
C/I, nave 1 CP:46394
Ribarroja (Valencia)

tenova B.M.I.
El especialista en hornos para tratamientos térmicos al vacío
Temple gas y aceite
Revenido y recocido
Nitruración baja presión
Nitruración iónica
Cementación baja presión
Soldadura brazing
Sinterizado
MIM
APLICACIONES TERMOTECNICAS, S.L - Apdo. 4052 - 48080 BILBAO – ESPAÑA
TEL : 94.426.25.22 FAX: 94.426.22.62
info@aplitec-tt.com ; www.aplitec-tt.com ; www.bmi-fours.com

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

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

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

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

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

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

Interbil
Ingeniería Térmica Bilbao s.l.

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

Ingeniería y Productos para Hornos y Procesos Térmicos

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

www.interbil.es

ARROLA®
SERVICIO INTEGRAL
PARA INSTALACIONES
DE TRATAMIENTO TERMICO

HORNOS INDUSTRIALES

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

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

S. A. METALOGRAFICA
DESDE 1949
TRATAMIENTOS TÉRMICOS

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

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

ACEMSA
Centro Metalográfico de Materiales

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

Laboratorio de ensayo acreditado por ENAC

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

Safe Cronite
L'esprit industriel

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

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

ERVIN AMASTEEL
El Estándar Mundial de Calidad

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

LOS ESPECIALISTAS EN GRANALLA DE ACERO Y GRANALLA INOXIDABLE

Tel.: +34 628 531 487
www.ervinamasteel.eu **mforn@ervin.eu**

SOLO Switzerland
Hornos industriales para el tratamiento térmico
www.soloswiss.es
SOLO Swiss SA
email : mail@solo.swiss - tel. : +34 656 878 067

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

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

Borel Standard Furnaces & Ovens Switzerland
Hornos industriales y estufas
www.borel-hornos.com
Borel Swiss SA
email : mail@borel.swiss - tel. : +34 656 878 067

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

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

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

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

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

SPECTRO 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
SPECTRO Hispania SL • PAE Asuardo – Edificio Enekuri, nave 9 • 48950 Erandio, Vizcaya • Tel.: +34.94.471.0401 • Fax: +34.94.471.1741 • Email:comercial@spectro.es • www.spectro.com

INDICE de ANUNCIANTES

ACEMSA 48
ALJU 46
APLITEC 47
ARROLA . . . . . CONTRAPORTADA 4
BAUTERMIC 46
BMI 47
BOREL SWISS 49
DEGUISA 47
ENTESIS 47
ERVIN AMASTEEL 48
FLEXINOX INDUSTRIAL 47
FÓRUM ESTAMPACIÓN 7
GRUPO PIROVAL 46
HEA . . . . . PORTADA
HORNOS DEL VALLÉS 47
HOT 19
INSERTEC 25
INTERBIL 48
LEYBOLD 49
LIBROS TRATAMIENTOS TÉRMICOS . . 9
METALMADRID . . . . . Interior PORTADA
ONDARLAN 5
PROYCOTECME 47
REVISTAS TÉCNICAS . . . . . Int. CONTRAPORTADA
S.A METALOGRÁFICA 48
SAFE 15
SAFE CRONITE 48
SOLO SWISS 49
SPECTRO 49
SUMINISTRO Y CALIBRACIÓN 13
TECNYMAT 11
TECRESA 47
WHEELABRATOR 48

Próximo número

NOVIEMBRE

Nº Especial **TRATER DAY** (Bilbao).

Hornos de inducción. Quemadores. Estufas. Secaderos. Hornos para tratamiento térmico del aluminio y aleaciones ligeras. Aceros para herramientas, fundiciones y moldes. Construcción de herramientas. Medidas. Control no destructivo, temperatura, dureza.

SU MEJOR COMUNICACIÓN

REVISTAS PROFESIONALES DEL SECTOR INDUSTRIAL

PEDECA *Press* Publicaciones

SOMOS SU MEDIO

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

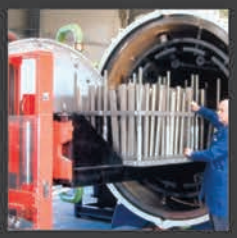
ARROLA®

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