

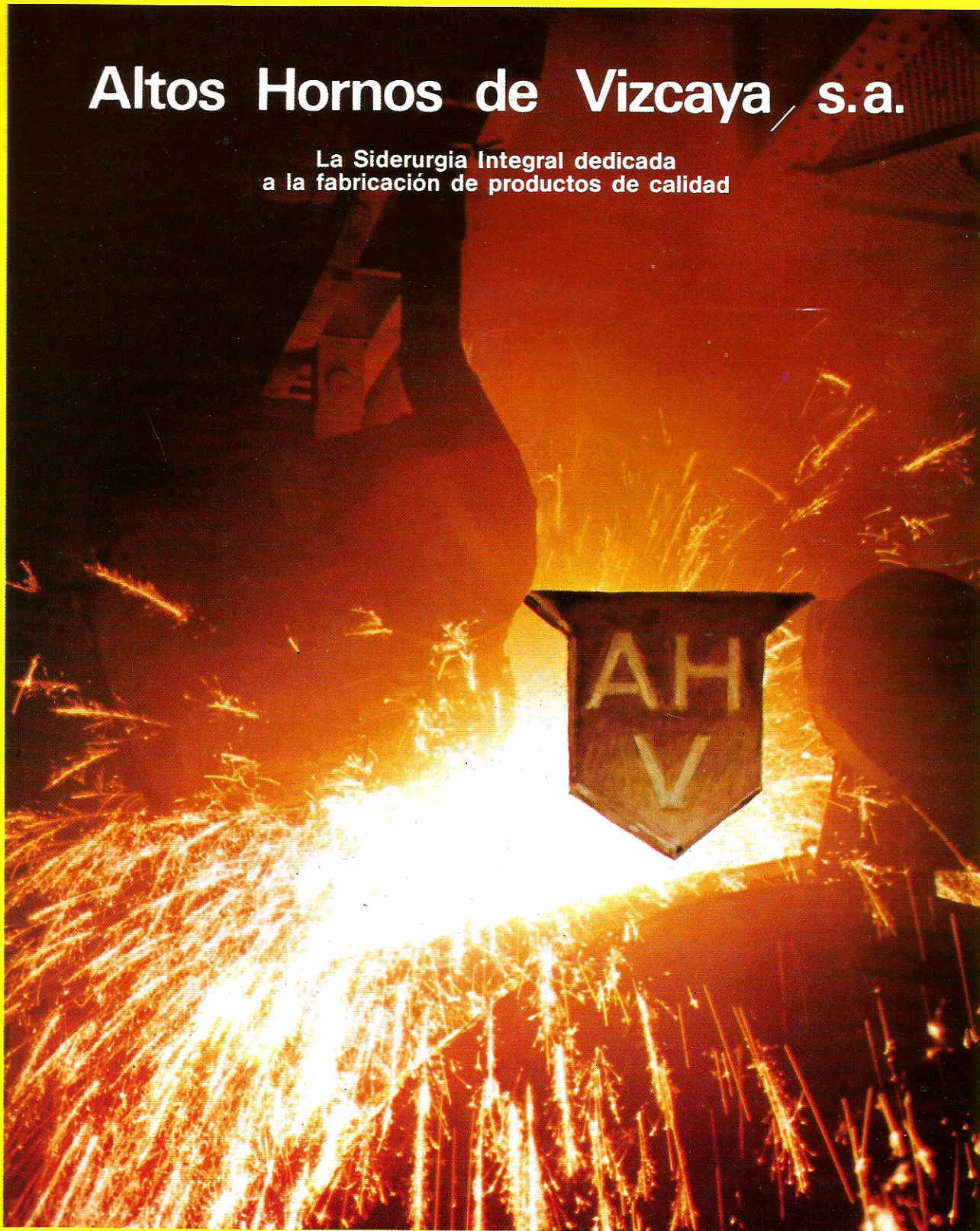
DYNA



ORGANO OFICIAL DE LA
FEDERACION DE ASOCIACIONES
DE INGENIEROS
INDUSTRIALES
DE ESPAÑA
Y MIEMBRO DEL
INSTITUTO DE LA INGENIERIA

Altos Hornos de Vizcaya, s.a.

La Siderurgia Integral dedicada
a la fabricación de productos de calidad



LA CALIDAD ASEGURA EL FUTURO

OCTUBRE 1983 - AÑO LVIII - 10

APLICACION DE LA TECNICA DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS MEDIANTE CORRIENTES INDUCIDAS, AL ESTUDIO DE LA SOLDADURA EN TUBERIA

C. D. 621.791:620.179.1

Ignacio Ibarrondo, Dr. I.I.

1.-INTRODUCCION

Los procedimientos para la verificación de materiales en forma no destructiva, ocupan actualmente un lugar de suma importancia en el control de calidad de los productos siderúrgicos.

Los ensayos no destructivos de materiales tienen como misiones primordiales: el comprobar la homogeneidad de las características metalúrgicas y la detección de posibles defectos que pudieran existir en las piezas sometidas a ensayo, bien debido al propio proceso de fabricación, o inherentes a la materia prima de partida.

El enorme desarrollo alcanzado por las técnicas de ensayos no destructivos, se debe fundamentalmente a dos razones:

a) Una mayor exigencia tecnológica en la calidad de los productos acabados, simultánea a la aparición de diversas especificaciones técnicas en este campo, como pueden ser las del American Petroleum Institute, DIN, ASTM, referentes a la tubería de conducción.

b) La necesidad de controlar la totalidad de la producción.

En la actualidad, existen trenes de laminación de chapa, que producen y comprueban la totalidad de su producción, mediante equipos ultrasónicos completamente automatizados. En el área de la tubería de conducción, sector del que nos ocuparemos en el presente trabajo, se comprueban anualmente por estos procedimientos once millones de toneladas de productos siderúrgicos. Se comprende inmediatamente la importancia de estos procedimientos.

En el presente trabajo, se realiza una nueva aplicación del ensayo no destructivo por corrientes inducidas, al estudio de la soldabilidad de chapa de acero, empleada en la fabricación de tubería de conducción para gas y petróleo, siendo dicha soldabilidad función del estado de la materia prima, singularmente en lo que se refiere a la presencia de segregaciones.

2.-DESCRIPCION DEL PROCESO DE FABRICACION. SOLDADURA DEL MATERIAL

Haremos referencia al proceso de fabricación de tubería de conducción soldada longitudinalmente, obtenida mediante conformación en frío de bobina laminada en caliente (E.R.W.).

En la fig. 1, puede verse un esquema general del proceso de

fabricación, así como los controles y verificaciones que tienen lugar en el mismo.

Haciendo referencia a la parte de dicho proceso que estudiaremos, cual es la soldadura longitudinal de ambos bordes, ésta se realiza mediante corrientes inducidas de alta frecuencia, en un sistema en el cual el tubo a soldar constituye el secundario de un transformador, estando formado el primario por un anillo de inducción que abraza el tubo. Este fenómeno de inducción hace que los bordes de la banda a soldar y que han sido preparados previamente en etapas de conformación anteriores en la misma máquina, alcancen una temperatura superior a 1.650 °C, a la cual tiene lugar la soldadura, mediante un procedimiento de forjado, realizado por dos parejas de rodillos horizontales y ver-



Fotografía n.º 1. Soldadura de tubería de conducción por inducción de alta frecuencia.

tales, completándose así el proceso de conformación y cerrado de la tubería.

En la fotografía 1, puede verse el punto de soldadura por inducción de alta frecuencia.

En este proceso, en el cual influyen parámetros tales como: velocidad de producción de la línea, diámetro y espesor de la tubería a conformar, composición química del acero y presión de los rodillos forjadores, se produce un flujo de material, metal y escorias hacia las partes superior e inferior de la soldadura.

En este proceso de flujo se superponen dos fenómenos:

a) Fluencia del material, debida a la presión de los rodillos.

b) Difusión de elementos, fundamentalmente carbono, debido a la elevación de la temperatura.

Ambos fenómenos hacen que el material, más rico en carbono que el correspondiente a su composición media, fluya hacia las partes superior e inferior oxidándose al mismo tiempo y constituyendo las escorias, que serán eliminadas mediante un proceso de rebabado.

En la fig. 2 se puede apreciar la geometría de una unión soldada de este tipo, denominada reloj de arena (*hour glass*), de la cual se han eliminado las escorias mediante un proceso de rababado. En dicha figura se muestra la geometría, pudiendo diferenciarse, previa preparación macroscópica, las siguientes zonas y parámetros.

— Línea de fusión: es el eje de simetría vertical.

— Zonas de fluencia: situadas en la parte superior e inferior, a ambos lados de la zona ferrítica, en las cuales se produce el fenómeno de fluencia del material, juntamente con la difusión del carbono en el acero.

En cuanto a los parámetros indicativos de la idoneidad de la unión soldada y de gran interés en el estudio que nos ocupa, señalaremos:

— Angulos de recalcado A, B, C, D; que señalan la orientación de las fibras producidas por el flujo del material al forjarse la soldadura, indicando la diferencia entre los ángulos superior e inferior un defecto de presentación de las caras laterales en el momento de la soldadura.

PROCESO Y CONTROL

• DIAGRAMA DE PROCESO Y CONTROL DE TUBO DE CONDUCCIÓN •

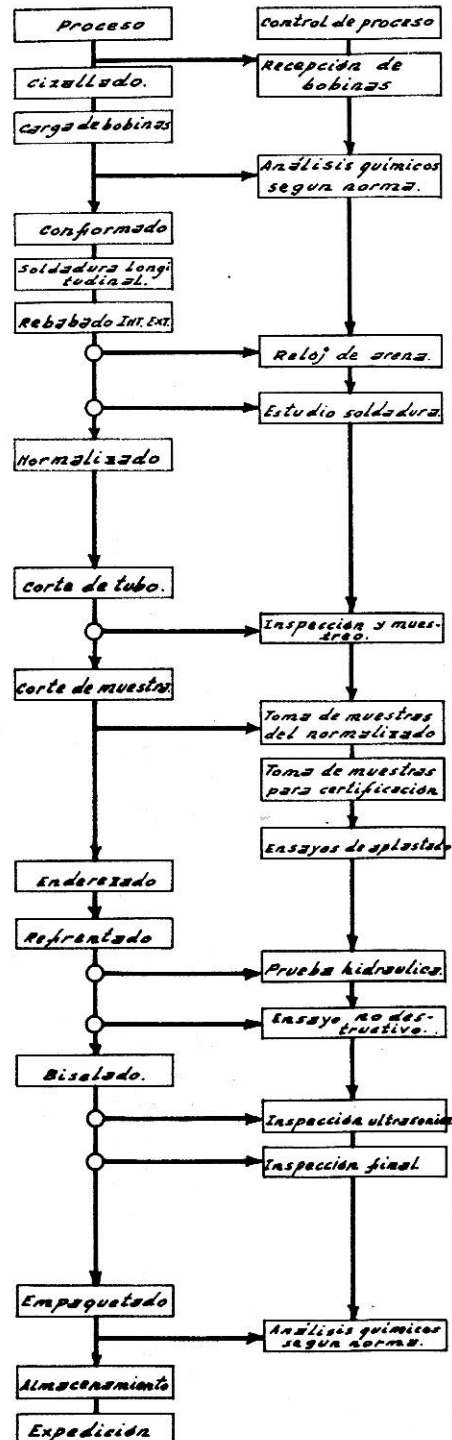


Fig. n° 1

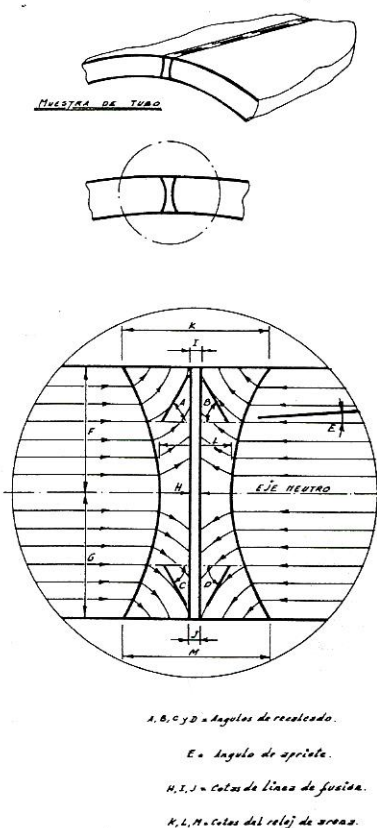


Fig. n.º 2. Geometría de la soldadura.

— Eje neutro: línea correspondiente al eje de simetría horizontal, su posición es función de variables que resultan fundamentales en el proceso de soldadura, a saber:

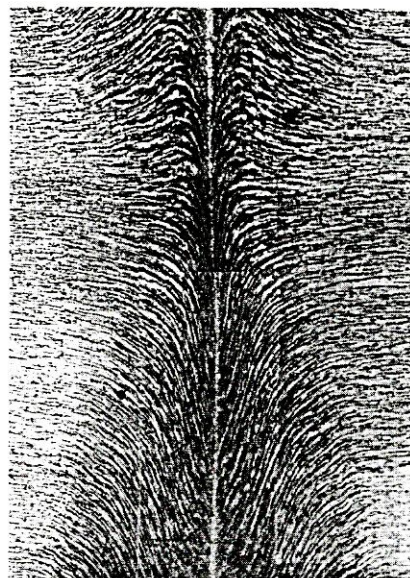
- Geometría del apriete.
- Reparto de calor en bordes de la banda.
- Ángulo de cierre o apriete: ángulo formado por las fibras de fluencia y el eje neutro, definiéndonos la ovalidad del tubo en el momento de la soldadura.

En la fotografía 2 se muestra una composición microfotográfica, donde se pueden observar las líneas de flujo, así como el gradiente diferencial de carbono en la zona de la unión soldada.

3.-APLICACION DE LOS ENSAYOS DE CORRIENTES INDUCIDAS

3.1. Fundamentos teóricos

El fundamento del control me-



Fotografía n.º 2. Reloj de arena: líneas de flujo y gradiente de C.

dante corrientes inducidas, se basa en la dispersión del flujo magnético inducido en un material ferromagnético, producido por un defecto interno o externo en el material o soldadura.

Para ello, se dispone de un cabezal rotativo, provisto de dos bobinas inductoras separadas 180º que crean el campo y de una pareja de sondas defasadas 90º con respecto a los cabezales, para evitar los fenómenos de turbulencia magnética. Estas sondas

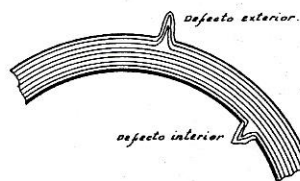
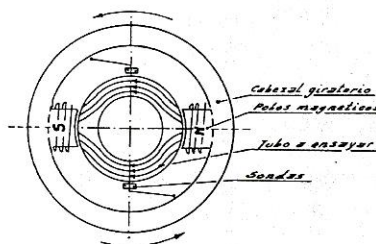


Fig. n.º 3. Equipo de ensayo no destructivo mediante corrientes inducidas.

están constituidas por ocho pequeñas bobinas capaces de captar el flujo magnético de dispersión, pudiendo hacerlo a lo largo de toda la unión soldada, gracias al barrido helicoidal, resultante de la combinación del movimiento de traslación del tubo y del de rotación del cabezal y sondas.

En la fig. 3 puede verse una representación esquemática de esta dispersión de flujos, así como el dispositivo más adecuado, de conformidad a la geometría de los tubos, para captar las dispersiones.

El equipo electrónico evalúa las señales recibidas por las sondas, comparándolas con las de calibración, es decir, con la dispersión de flujo producida por una entalla patrón, según especificaciones concretas para cada tipo de tubería dependientes de norma y aplicaciones.

3.2.-Aplicación al estudio de la soldabilidad del material en función de la materia prima.

Los ensayos se realizan con el equipo Rotomat del Instituto Dr. Förster, sobre tubería de conducción fabricada según la especificación A.P.I. 5 Lx grado x -42, en diámetros de 114,3 mm., 168,3 mm, 219,1 mm, y en diversos espesores, estando siempre ajustada su composición química a la dada en la Tabla N.º1, de conformidad a la mencionada especificación.

TABLA 1				
Composición química (análisis de colada) según especificación A.P.I. 5 Lx Grado x -42.				
(Valores máximos %).				
Grado	C	Mn	P	S
x-42	0,28	1,25	0,04	0,05

Cuando el equipo señalaba un defecto semejante y periódico en la zona de la soldadura, se procedía a realizar un examen macrográfico ajustando las variables operacionales de la máquina, en orden a obtener los valores deseados en los parámetros del reloj de arena de la soldadura, eliminando de esta forma los posibles defectos en soldadura, debidos a un fallo en el proceso productivo.

Una vez seleccionados aquellos tubos en los que el aparato detectaba una dispersión de flujo, dando una señal, que presumiblemente no podía ser debida a un desajuste de la máquina, se procedía a un examen más detenido de dichos tubos en el laboratorio.

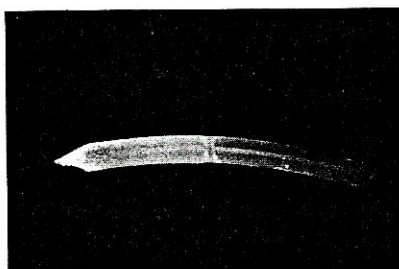
4.-ANÁLISIS DE ESTRUCTURA Y DEFECTOS ENCONTRADOS

De las observaciones macro y micrográficas realizadas, mediante sucesivos cortes transversales de la tubería, en las zonas donde las sondas habían detectado una dispersión de flujo superior a la admitida, así como en las áreas adyacentes a las mismas, se ha observado:

— Una estructura segregada, situada en el centro de la banda y con concentraciones de carbono superiores al resto de la misma, lo cual trae consigo, dado el proceso de cizallado que sufre la banda, la aparición de dicha zona segregada a uno o ambos lados del reloj de arena, tal como se muestra en la fotografía n.º 3.

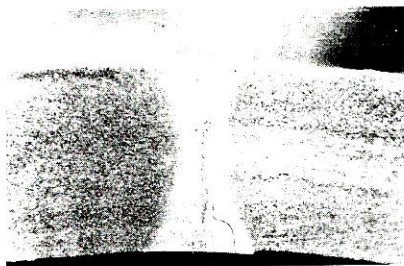
— Este tipo de estructura tiene una importancia transcendental en el proceso de conformación de la unión soldada, ya que:

a) De conformidad al modelo geométrico de fluencia expuesto para la conformación del reloj de arena y debido a la fluencia de esta



Fotografía n.º 3. Bandas de segregación a ambos lados del reloj de arena.

zona, una pequeña banda segregada se transforma en una ancha banda de contacto en la unión soldada, dando lugar a un borde o labio como el representado en la fotografía n.º 4, que se presenta a soldadura con un contenido de carbono superior al resto de la banda.



Fotografía n.º 4. Proceso de fluencia de la banda segregada en la unión soldada.

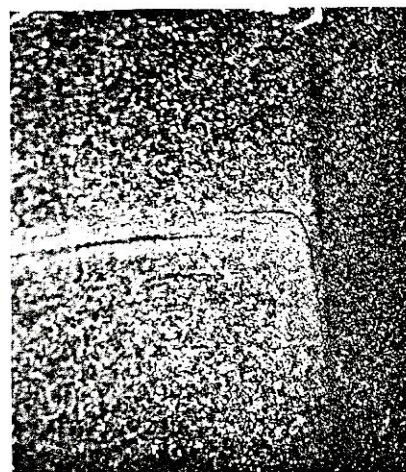
b) Por lo que respecta al proceso de difusión mencionado anteriormente, en la Tabla n.º 2 se muestran los valores para los coeficientes de difusión a 900º y 1.000 ºC del C y Mn en Fe puro¹. Estos coeficientes no vienen afectados de forma notable por los contenidos en C y Mn propios de este tipo de aceros, siendo los coeficientes de difusión del C a 900º y 1.000 ºC, en aleaciones con contenidos de 0,4 % de C y 1 % de Mn, de $10,35 \cdot 10^{-8}$ y $3 \cdot 10^{-7}$ cm²/s. respectivamente².

TABLA 2		
Coeficientes de difusión del carbono y manganeso a 900 ºC y 1.000 ºC (cm ² /s.).		
Temperatura	900 ºC	1.000 ºC
C	$9,17 \cdot 10^{-8}$	$2,73 \cdot 10^{-7}$
Mn	$3,61 \cdot 10^{-13}$	$2,97 \cdot 10^{-12}$

Sin embargo, si bien cabe esperar en teoría, unas relaciones C/Mn en la zona del reloj de arena, muy diferentes y superiores al resto de la banda, dada la diferencia relativa entre los coeficientes de difusión del carbono y manganeso en temperaturas próximas a la de soldadura, en la práctica, este fenómeno de difusiones diferenciales se ve aminorado, dados los valores absolutos de dichos coeficientes y la velocidad a la cual se produce el calentamiento soldadura y enfriamiento del tubo, no pasando de los tres minutos en ningún caso.

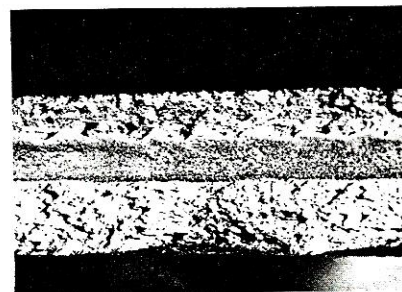
Tenemos, por lo tanto, debido a ambos fenómenos y como consecuencia de la presencia de la banda segregada, una concentración de carbono anormal en una amplia área de la zona de contacto de la soldadura, lo cual nos

lleva a relaciones de C/Mn demasiado elevadas, por lo que la soldabilidad no es buena.



Fotografía n.º 5. Fisuras en la unión soldada, consecuencia de la segregación y detectadas por el equipo de corrientes inducidas. Ataque Nital x 25.

Esto ha sido corroborado posteriormente, mediante exámenes micrográficos, fotografía n.º 5, en la cual se pueden apreciar unas pequeñas fisuras en forma de gancho, correspondientes a las zonas, en las cuales el equipo ROTOMAT había detectado dispersiones de flujo magnético superiores a las toleradas según especificaciones.



Fotografía n.º 6. Banda de fractura frágil consecuencia de la segregación en la unión soldada.

Asimismo se realizaron sobre estas muestras, ensayos de fragilidad al choque en las uniones soldadas, pudiendo observarse en la Fotografía n.º 6, la zona en la

cual no había tenido lugar una correcta soldadura, caracterizándose dicha zona por no poseer la estructura de fibra rugosa propia de una buena unión soldada.

5.-CONCLUSIONES

La aplicación del ensayo de corrientes inducidas, ha hecho posible la detección de pequeñas fisuras, en la unión soldada de tubería de conducción fabricada según el procedimiento E.R.W. Estas fisuras son debidas a la mala soldabilidad del material, producida por la combinación de los fenómenos de fluencia de la banda segregada en la zona de soldadura y difusión diferencial del carbono y manganeso en la unión soldada, no siendo posible cuantificar la influencia relativa de ambos fenómenos se demuestra sin embargo, que aun siendo correctos los parámetros operacionales del proceso de conformación y soldadura del tubo de conducción, la presencia de segregaciones en la banda, defecto producido en la fabricación del acero, genera este tipo de defectos, los cuales son motivo de rechazo del tubo, de conformidad a la especificación técnica conforme a la cual se ha producido la tubería de conducción.

6.-REFERENCIAS

1.-Metals Reference Book (5 th. Edition). Tabla n.º 2, pp.874.

C. J. Smithells, Butterworths London.

2.-Referencia n.º 1. Tabla n.º 4, pp. 908.

— Especificación A.P.I. para Tubería de Conducción de Alta Resistencia sometida a ensayos rigurosos norma A.P.I. - 5 Lx. American Petroleum Institute. Bequinox (2.ª Edición, Agosto 1974). Ferraz- 44, - Madrid.

— W. Stumm. Zerstörungsfrei Werkstoffprüfung mit den Magnetischen Streufluvverfahren. Información suministrada por el Instituto Dr. Förster, Kautkramer - Förster Española.

— H. Luz, Oberflächen - Ribprüfung dem Hoch - Energie -, Wechselfeld - Streufluv - Verfahren. Información suministrada por el Instituto Dr. Förster. Kautkramer - Förster Española.

— W. Stumm, Werbestimmung der Fehlererkennbarkeit und Benennung mit Hilfe der Mustererkennung bei Elektromagnetischen Prüfverfahren. Información suministrada por el Instituto Dr. Förster. Kautkramer - Förster Española.

— W. Stumm, Prüfung von Geschweißten Rohren Produktionsprozess mit einem Magnetischen Streufluv - Verfahren. Información suministrada por el Instituto Dr. Förster. Kautkramer - Förster Española.

— D. Seferian, Metallurgie de la Soudure. Ed. Dunod Paris.

— Antonio Villanueva, Soldadura Eléctrica del Acero. Ed. Dossat, S. A. - Madrid.

EL AUTOR



IGNACIO IBARRONDO MARTINEZ-ITURRALDE

Cursó sus estudios de Ingeniero Industrial, en la E.T.S.I.I. de San Sebastián, doctorándose en la de Bilbao.

En 1974 ingresó en Laminaciones de Lesaca (Grupo A.H.V.), donde ocupó la Jefatura de Estudios Metalúrgicos, dirigiendo el montaje y puesta a punto de diversos laboratorios, siendo de mencionar el destinado al análisis y control de calidad de tubería para la conducción de gas y petróleo.

Es profesor de Física Teórica en la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de San Sebastián.

R.F.A. EL PLOMO EN LA GASOLINA

Un diputado demócrata europeo ha pedido una reducción a nivel europeo de los niveles de plomo en la gasolina, pasando de 0,4 gr. a 0,15 gr., así como una investigación sobre la posibilidad de gasolina carente de plomo.

El Sr. Peter Beazley ha declarado que el nivel de 0,15 gr./l ya existente en la R.F.A. y Dinamarca debiera aplicarse generalmente dentro de cinco años.

El Reino Unido, los Países Bajos y Grecia ya han anunciado planes para reducir el nivel de plomo en su gasolina. Pero Francia, Italia, Luxemburgo e Irlanda todavía no están convencidos de que un nivel de 0,4 gr./l constituya un riesgo para la salud.

Según el Sr. Beazley, sin embargo, también se debiera estudiar el coste y la factibilidad de introducir gasolina carente de plomo, en caso de que las futuras investigaciones prueben que incluso el nivel de 0,15 gr./l es peligroso a largo plazo.

FRANCIA

COMPONENTES ELECTRONICOS EN PARIS

El Salón Internacional de los COMPONENTES ELECTRONICOS de PARIS se celebrará en el nuevo Parque de Exposiciones de París-Nord del 14 al 18 de noviembre.

El Salón se compondrá, de ahora en adelante de dos grandes secciones:

— Componentes electrónicos y sub-conjuntos: pasivos, semiconductores, tubos electrónicos.

— Medida eléctrica y electrónica: analizadores, grabadores, test, captadores, etc...

Los equipos y productos para la electrónica dispondrán a partir de ahora de un nuevo Salón especializado independiente "PRONIC 84", que se celebrará en París del 20 al 23 de noviembre de 1984.

Para más información pueden dirigirse a:

Promosalons - Avda. General Perón, 26-Telfs. 445 96 31 - 74 - Madrid-20.