

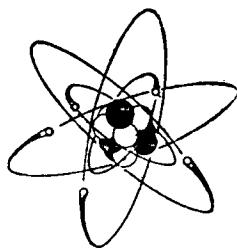
RG
064.3:620.170.1
C76
101
1.2

01.82.42

C. I. E. C. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1982

NT - 4/82
PMTM - C - 1

00001



II COREND

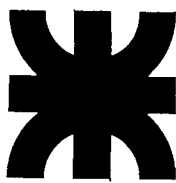


SEGUNDA CONFERENCIA REGIONAL SOBRE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

SAN MIGUEL DE TUCUMAN

(República Argentina)

12 al 16 de Octubre de 1981



TOMO II

II C.O.R.E.N.D.

SEGUNDA CONFERENCIA REGIONAL SOBRE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

ORGANIZADA POR:
Comisión Nacional de Energía Atómica
Superior Gobierno de la Provincia de Tucumán
Universidad Tecnológica Nacional

SAN MIGUEL DE TUCUMAN (Tucumán - R. Argentina)
12 AL 16 DE OCTUBRE DE 1981

"MOTTILING" EN PLACAS RADIOGRAFICAS DE PIEZAS FUNDIDAS DE ALUMINIO Y USO DE PANTALLAS.

Roberto PEDREIRA

INEND - C.N.E.A.

INTRODUCCION

El moteado o "mottling" es un fenómeno que suele presentarse en las placas radiográficas de fundiciones y soldaduras dando un aspecto difuso a la imagen de la pieza ensayada.

Esto resulta nocivo para el ensayo radiográfico puesto que puede ser confundido con las indicaciones producidas por la microporosidad. Además resta definición a la radiografía pudiendo impedir la observación de un defecto.

Ha motivado este trabajo, la necesidad de obtener un mayor conocimiento respecto a la fenomenología del mottling y el deseo de conseguir placas radiográficas sin la aparición del fenómeno y al mismo tiempo con una buena sensibilidad.

En el caso del aluminio esto resulta muy crítico ya que como se verá, el moteado se hace mas intenso conforme se reduce el valor de la tensión de aceleración y los valores de ésta resultan normalmente muy bajos para este material debido a su bajo coeficiente de absorción lineal.

MATERIALES EN LOS QUE SE PRESENTA EL MOTEADO

El moteado aparece principalmente en aquellos materiales que retienen la estructura de solidificación, es decir allí donde no se produzcan transformaciones de fase en estado sólido. De este modo los materiales conservan la textura de solidificación. Esta resulta del hecho de que el crecimiento de grano en la solidificación no se produce sobre cualquier dirección cristalina, sino que hay direcciones preferenciales.

Así los planos más compactos son los de menor velocidad de crecimiento, mientras que las direcciones preferenciales de crecimiento dendrítico coinciden con los ejes de las pirámides cuyas caras son los planos más compactos de la estructura cristalográfica.

Resultan entonces las direcciones $\langle 100 \rangle$ para las estructuras de caras o cuerpo centrado, $\langle 1010 \rangle$ para la estructura exagonal compacta y $\langle 110 \rangle$ para la tetragonal de cuerpo centrado.

Al mismo tiempo el crecimiento se produce sobre la dirección del gradiente térmico de manera que habrá granos que

crecerán con mayor facilidad que otros según sea el ángulo formado por la dirección del gradiente y su dirección de crecimiento.

Estas son las condiciones que determinan la estructura resultante, que para los casos considerados será de grano grueso y fuertemente texturada.

Se sabe que el moteado es producido por la difracción de los Rayos X. El hecho de que los cristales tengan una dirección igualmente orientada limita las orientaciones posibles para los planos y el hecho de que la radiación incidente sea un continuo de longitudes de onda permite que para un cristal se cumpla con facilidad la condición de BRAGG:

$$2 d_{hkl} \sin \theta = \lambda$$

El tamaño de los granos determina que se magnifique el fenómeno obteniéndose como resultado la formación de manchas de diferentes tonalidades que corresponden al patrón de interferencia del haz difractado.

Para un material de grano fino y no texturado, los granos seguirán presentando orientaciones favorables para el cumplimiento de la condición de BRAGG. Pero el hecho de que las orientaciones sean al azar hará que haya difracción en cualquier dirección y el hecho de que la estructura sea fina determinará que el número de direcciones sea tan grande como el número de granos y además que la intensidad difractada por un solo grano sea insignificante y en consecuencia no se producirá moteado.

Se tienen referencias de trabajos experimentales realizados con probetas en cuyas placas se producía moteado que fueron deformadas en frío y sometidas a recocidos verificándose la extinción del fenómeno conforme recrystalizaba la estructura.

RELACION ENTRE LAS MORFOLOGIAS DEL MOTEADO Y DE LA ESTRUCTURA DEL MATERIAL.

Hay una estrecha relación entre la morfología y tamaño de los granos del material y las correspondientes propiedades de las manchas del moteado. Así se observa que las manchas serán alargadas para el caso de granos columnares y equiaxiales si la estructura es tal.

Esta característica ofrece cierta información sobre la estructura permitiendo distinguir inclusive dentro de una pieza, zonas con macroestructuras diferentes: por ejemplo, equiaxial y columnar dentro de un lingote.

Para el caso de soldaduras el moteado se presenta en forma de líneas que se extienden entre el material base y el centro de la costura siguiendo las direcciones de los granos columnares.

Algunos autores asignan un rol fundamental a los bordes de grano dentro del mecanismo de producción del fenómeno

RELACION ENTRE LA MORFOLOGIA DEL MOTEADO Y EL ESPESOR

Se realizaron ensayos para estudiar esta relación utilizando un lingote de aluminio de estructura columnar que fue cortado por su parte media en sentido longitudinal, extrayéndose a continuación de la zona media de una de las partes resultantes del corte anterior, una rodaja transversal.

De esta manera se aseguró una homogeneidad estructural en la muestra.

Se partió de un espesor de 20 mm. que luego fue reducido hasta un valor de 5 mm mediante un maquinado por etapas. Luego de cada una de estas etapas, la muestra era sometida a un pulido con papeles esmeriles hasta llegar al papel 600 obteniéndose luego una placa radiográfica.

Este acabado superficial se efectuó sobre dos caras paralelas entre si y normales al eje del lingote a los efectos de eliminar toda indicación que pudiera ser causada por la superficie y permitir así una buena observación del moteado.

Se utilizó una tensión de aceleración de 50 KeV.

Comprobóse que el moteado se hacía mas fino conforme se reducía el espesor de la pieza.

EFFECTO DE LA DISTANCIA OBJETO-FILM SOBRE EL MOTEADO

Se efectuaron ensayos utilizando una muestra de iguales características que las antes indicadas y que fue extraída del mismo lingote resultando de un espesor de 8 mm.

Sobre la muestra se fijó un pequeño marco de plomo que limitaba el haz y se realizaron tomas para valores de distancia pieza-film de 0,5,10,25,50 y 100 mm.

Dicho de otra manera, lo que se hizo fue permitir la incidencia de radiación unicamente a traves de un orificio de area inferior a la de la pieza. De este modo se formaba la imagen de la porción de la muestra ubicada en la abertura pero además se observó en su entorno la formación de manchas de moteado aumentando su cantidad y distancia a la imagen de la pieza conforme se incrementaba la distancia pieza-film.

De manera que se separó así parte del moteado de la imagen de la pieza poniéndose en evidencia el hecho de que este es originado por difracción.

EFFECTO DEL ANGULO DE INCIDENCIA.

Se verificó aprovechando la probeta anterior y empleando el mismo kilovoltaje. El ensayo se realizó en dos etapas. En la primera de las cuales el ángulo de incidencia se varió sobre un plano normal a la muestra tomando valores comprendidos entre $\pm 34^\circ$ respecto a la dirección normal.

La segunda etapa se llevó a cabo de igual forma que la primera variándose el ángulo de incidencia sobre un plano normal a la pieza y al anterior.

Como resultado se obtuvo que el moteado estuvo siempre presente observándose tan solo algunas variaciones en el contraste y en la morfología.

EFFECTO DE LA TENSION DE ACELERACION

Para estudiar este efecto, se utilizó la misma probeta que ya fuera usada para el ensayo anterior. Se utilizaron tensiones de aceleración comprendidas entre los 40 y los 140 KeV.

En todos los casos, se obtuvo moteado si bien el efecto resultaba fuertemente marcado para los 40 KeV y se reducía al aumentar la tensión siendo casi imperceptible a 140KeV.

Se observaron también variaciones morfológicas en correspondencia con el cambio de tensión.

En conclusión, el moteado tiene gran contraste para bajas tensiones afinándose las líneas del moteado y disminuyendo su contraste conforme se eleva el kilovoltaje.

Constituye un gran inconveniente el hecho de que se acentúe conforme se reduce la tensión de aceleración ya que como es sabido una disminución del kilovoltaje implica una mayor sensibilidad, lo cual no es satisfecho en estas condiciones.

Para comprender mejor la fenomenología del proceso vinculado a la variación de la tensión de aceleración debe considerarse el hecho de que el espectro emitido es polienergético y aproximadamente continuo (Ver Fig. 1), de manera que cuando se selecciona una tensión de aceleración se está seleccionando la mínima longitud de onda. Pero se tiene un continuo para las longitudes de onda mayores.

Por otra parte, debemos recurrir a la teoría de la difracción de rayos X la cual nos dice que el factor atómico de difusión viene dado por la expresión:

$$f(s) = \int_0^\infty \rho(r) \frac{\sin 2\pi rs}{2\pi rs} 4\pi r^2 dr$$

$$S \pm \frac{2 \sin \theta}{\lambda} \quad \text{es el vector recíproco.}$$

Esto nos dice que a medida que disminuye la longitud de onda los fenómenos de difracción se reducen a ángulos mas pequeños.

Esto explica porque casi no se observa moteado cuando se usan mayores tensiones así como también las modificaciones morfológicas observadas.

ENERGIAS RESPONSABLES DEL MOTEADO

En el punto anterior se ha dicho que el moteado se acentúa conforme la tensión de aceleración se reduce. También se ha dicho que se trabaja normalmente con un espectro continuo. La pregunta que surge entonces en forma natural sin que pudiera ser eludida es: ¿cuales son las energías responsables del moteado?

Se ha invertido la casi totalidad del tiempo dedicado a este trabajo buscando respuestas a esta pregunta, si bien por cierto la búsqueda no estuvo dirigida hacia un conocimiento riguroso, sino a fijar cotas y en base a este conocimiento atacar los problemas prácticos.

Se utilizó para esto, la técnica del filtrado, ubicando filtros metálicos tanto entre la pieza y el film como sobre la boca de la fuente.

Los materiales que se utilizaron para el filtrado fueron Al, Fe y Pb.

En todos los ensayos se utilizó la probeta columnar de 8 mm que se mencionó anteriormente. La razón es que ésta representaba el caso mas desfavorable ya que producía el moteado más intenso. Se trabajó para cada filtro o combinación de filtros a diferentes tensiones y a densidad constante.

Inicialmente se utilizaron espesores finos esperando se erróneamente valores de energía muy bajos para los haces responsables del moteado. A la fecha se han realizado experiencias para espesores de hasta 1 mm de Pb, 2 mm de hierro, y en aluminio una amplia gama de espesores comprendidos entre 1 y 20 mm.-

Así se han realizado también algunas combinaciones entre estos materiales. Aún así no se han completado todos los ensayos previstos

Ensayos realizados filtrando la radiación primaria con 1mm de plomo usando tensiones de aceleración comprendidas entre 80 KeV y 140 KeV permitieron observar una extinción total del moteado si bien para 80 KeV se observaron leves indicaciones causadas por moteado.

Un ensayo realizado con una filtración de 10 mm de Al y una tensión de 50 KeV insumió un tiempo de 60 minutos con una corriente de 5 mA. El resultado fue una placa radiográfica con un moteado altamente contrastado. Esta ha sido una muestra elocuente de que para esta tensión la totalidad del espectro emitido es un fuerte productor de moteado.

Los últimos ensayos realizados hicieron uso de una filtración con un espesor de Al de 20 mm para radiografiar una probeta de 8 mm.

Se utilizaron las tensiones de 70, 80 y 90 KeV. El resultado ha sido una importante pérdida de contraste por moteado.

EMPLEO DEL FILTRADO EN LA LUCHA CONTRA EL MOTEADO

Normalmente se utiliza el filtrado en radiografía con el objeto de mejorar el contraste eliminando la radiación secundaria que produce un ennegrecimiento uniforme.

En las consideraciones conducentes al uso en estos casos se centra la cuestión en la relación entre la pérdida de contraste originada por la radiación dispersa, esta última directamente ligada a la relación entre radiación primaria y secundaria. Todos los autores coinciden en la conveniencia del uso de filtros para espesores superiores a los 40 mm en acero y normalmente no se utilizan en Al puesto que para este material normalmente las radiaciones utilizadas son de baja energía y además tiene un bajo valor su factor de "scattering".

Se ha discutido anteriormente los trabajos experimentales realizados con filtración de la radiación para eliminar las componentes del espectro que producen moteado. Ahora bien, ¿por qué razón interesa tanto esto, si el moteado puede eliminarse aumentando la tensión?. La respuesta es muy sencilla y es que el objeto del ensayo radiográfico no es eliminar el moteado sino detectar defectos con la máxima sensibilidad posible y con costos razonables.

La idea central ha sido inspirada en el hecho de que en el espectro de energías para un valor dado de la tensión de aceleración habrá una parte útil que corresponderá a las energías máximas y una parte nociva correspondiente a las energías más bajas.

El coeficiente de absorción de los materiales decrece al aumentar la energía de la radiación y consecuentemente el efecto de filtrado será mayor para las bajas energías. Dicho de otra manera lo que se desea es recortar el espectro lo cual es mas interesante que elevar la tensión de trabajo ya que esto significa la introducción de radiaciones mas duras disminuyendo la sensibilidad.

Ensayos realizados utilizando una filtración de 20 mm de aluminio y una tensión de 80 KeV, permitieron comprobar

en las imagenes de distintas porciones de diferentes lingotes cortados en forma longitudinal y con un espesor máximo de 30 mm, la casi extinción del fenómeno. Asimismo fue mejorada la indicación del penetrametro DIN que resultó ser la imagen del hilo 12 para la radiación filtrada mientras que no pudo verse mas que el hilo 11 para las placas obtenidas sin filtración.

Conforme a lo expuesto el filtrado de la radiación podría dar solución no solo a los problemas de radiación secundaria cuando se usan altas energías, sino también a los creados por la difracción de las componentes de bajas energías.

Tanto en el efecto COMPTON como en la difracción las radiaciones difundidas son de bajas energías. No obstante para el moteado la situación es mucho más delicada por cuanto:

a) Se presenta para una radiación primaria de baja energía, es decir próxima a la de los haces difractados. b) El hecho de que sea producido por las energías bajas del haz primario determina que el problema sea comparable al que se tiene cuando es muy alta la relación I_{sec}/I_{prim} . c) El hecho de que la difusión de la radiación en el moteado sea ordenada y no al azar como en el efecto COMPTON determina la concentración de intensidad exigiendo un filtrado más enérgico.

Todo esto nos muestra que si bien puede llegar a mejorarse la inspección radiográfica de tales estructuras nunca es de prever un poder de detección comparable al obtenible en un material recristalizado.

CONSIDERACIONES ADICIONALES

Prestando atención al hecho de que el ensayo radiográfico no es perfectamente reproducible especialmente cuando se trata de bajos espesores y de materiales livianos, ya sea por el tipo de rectificación, el espectro de energías, la filtración propia, etc., es que se debe advertir sobre los valores obtenidos en el uso de un equipo lo cual puede diferir de los obtenidos con otro aunque no en gran medida.

Para este trabajo se utilizó un equipo de rectificación de onda completa por cuanto en éstos el potencial es constante y permiten un mejor estudio en relación con las energías de la radiación al mismo tiempo que una mayor velocidad de trabajo. Se aclara además que el equipo utilizado posee asimismo un foco de 1,5 mm de diámetro.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- WATANABE - The mottling appearing on Radiographs of Stainless steel weldments and castings. B.J.N.D.T. Nov. 1979 (299)

BALZARETTI, D, BILONI. H. Estructuras de piezas fundidas y lingotes PMM/A-191 1976m-

BONFIGLIOLI, A, ACUÑA, R. IPOHORSKI, Mm- Elementos de difracción de rayos X. PMM/A-246 (1977)

SCHNITGERAND, D. MUNDRY, E. Improvement of contrast of X-ray images by the use of filters between the specimen and film. B.J.N.D.T. Nov. 1976 (162)

VON HEINRICH, H, WEISE, H.P. " Dierk schnitger bestimmung von gerateigenschaften technischer Roentgenanlagen als beitrag zur objetivierung der durchstrahlungsprufund." Materialprufung 22 (1980) Mai. (211)

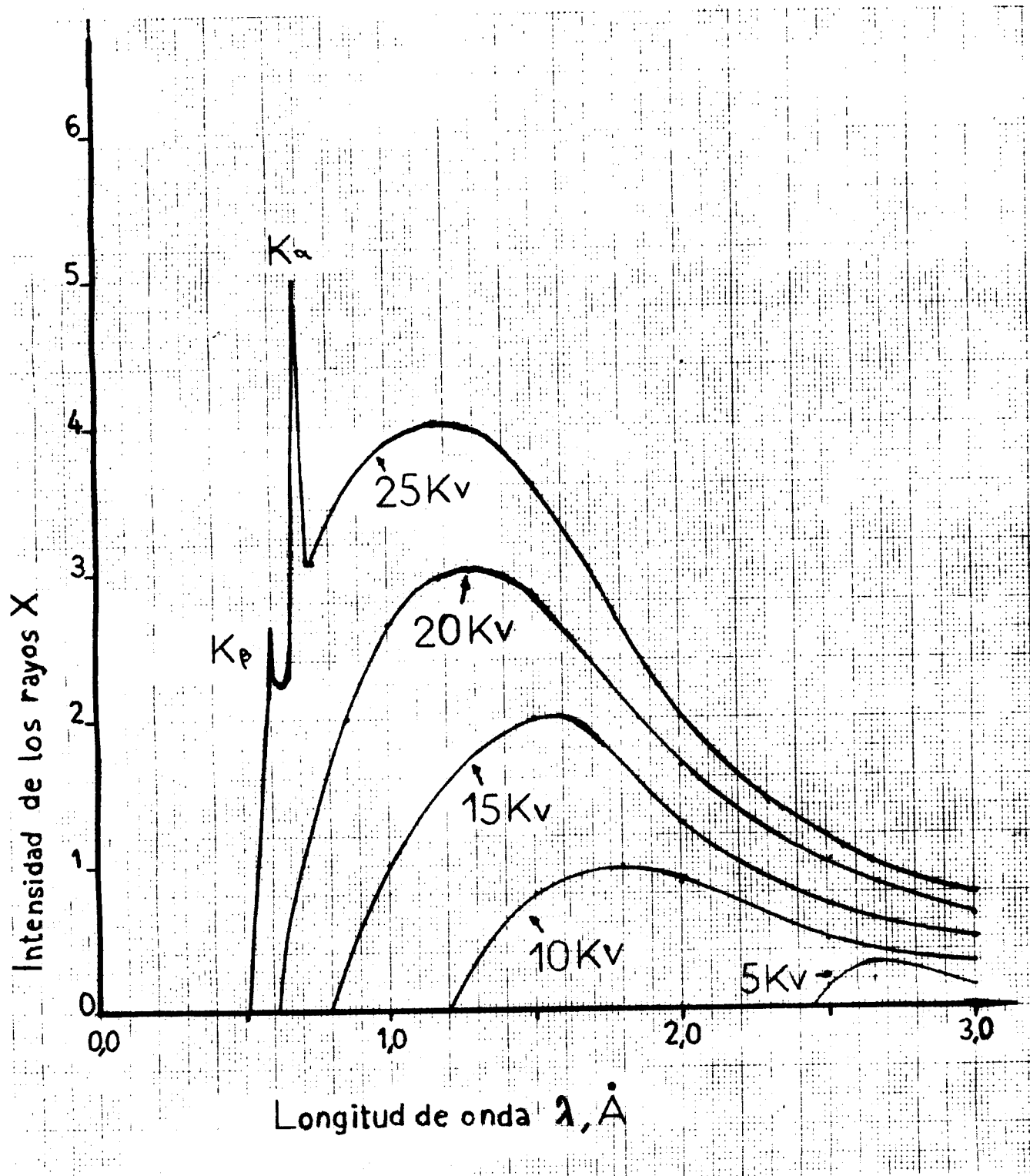


FIG. 1 - ESPECTRO DE RAYOS "X".-