

Nuevos conceptos en el ensayo Varestraint

Carl D. Lundin*, Víctor M. Osorio**

RESUMEN: En este trabajo se describen las modificaciones que se han hecho al ensayo Varestraint para obtener el máximo de información de una probeta.

Se ensayaron aceros inoxidable del tipo 347 estándar y modificado, encontrando que la técnica usada puede detectar diferencias en la tendencia al agrietamiento de la zona fundida, zona afectada térmicamente del metal previamente fundido y del metal base.

ABSTRACT. This work describes modifications of the Varestraint hot cracking test method to extend its utility and obtain the maximum information from a Varestraint test sample. The test method was modified to obtain information simultaneously regarding the hot cracking propensity of the fusion zone, weld metal HAZ and the base metal HAZ.

The results of the test on standard and modified 347 stainless steels indicate that the modified technique can detect discrete differences in the cracking susceptibility of the three zone in a single test sample.

INTRODUCCIÓN

El método Varestraint es utilizado para detectar la susceptibilidad al agrietamiento en caliente y se ha popularizado entre los investigadores porque puede simular las condiciones necesarias para el agrietamiento en caliente en una estructura soldada en probetas de laboratorio. El ensayo emplea un cordón que reproduce condiciones térmicas que son idénticas a las que se producen en soldaduras reales.

El efecto mecánico de esfuerzos es simulado por una deformación aplicada en forma externa. Este ensayo es bastante flexible, puesto que los factores metalúrgicos y mecánicos se pueden variar en forma independiente.

Después del desarrollo inicial de este ensayo hecho por Lundin y Savage (1), muchas modificaciones se han realizado al diseño del equipo. Se hace una revisión de estas modificaciones en el "Welding Research Council Bulletin 280" (2). Inicialmente estas modificaciones consistieron en las dimensiones y diseño de la probeta, del proceso de soldadura y de cómo deformar la probeta. Las medidas originales de la probeta usada eran 12" x 2" x 1/4"-1/2" la tendencia posterior fue hacer probetas más pequeñas. Este ensayo también se ha realizado en atmósfera inerte para obtener grietas cuyas superficies están libres de oxidación para observar la relación que existe entre las grietas y la microestructura.

El primer cambio sustancial lo realiza McKeow (4) que desarrolla este ensayo en su forma transversal. En esta forma de ensayar las probetas la deformación es aplicada en forma perpendicular al cordón de soldadura. En este caso se necesita agregar a la probeta trozos del metal para iniciar y terminar el arco de tal manera de evitar la concentración de

calor en los extremos. Los investigadores japoneses (5) han desarrollado el ensayo en su forma transversal usando probetas de 150 mm x 350 mm x 6-9 mm de espesor. La probeta se monta como una viga en voladizo para doblarse posteriormente sobre una matriz en el momento en que se realiza el cordón en el sentido del ancho de ésta. La forma transversal del ensayo se ha determinado que es la más adecuada para la evaluación de la susceptibilidad al agrietamiento en caliente de la zona fundida. El ensayo en su forma transversal aparece como un complemento al ensayo Varestraint original en aplicación y utilización.

El interés del ensayo en su forma transversal es evaluar varilla de aporte en la zona fundida para cuyo efecto se prepara una probeta con un bisel, donde se deposita el metal de aporte que se va a ensayar, para luego preparar la superficie a las condiciones que el ensayo requiere.

La segunda generación de este ensayo surgió con el llamado ensayo Varestraint de punto conocido coloquialmente como TIGAMA JIC. Éste consiste en hacer en forma autógena con el proceso TIG una pileta líquida de penetración incompleta en el medio de una probeta de 6 pulgadas de longitud, 1" de ancho y 1/4" de espesor, sujeta en sus dos extremos. Después de algunos segundos que se mantiene el arco, la probeta es deformada tomando la forma del contorno de la matriz que está montada en una base móvil. Normalmente la cara de la poza líquida es doblada en tensión, mientras ésta se encuentra todavía fundida; la zona afectada térmicamente alrededor de la poza es examinada en busca de grietas. Se puede tomar como una variable el tiempo de deformación. Esta modificación trata de resolver la imposibilidad del ensayo original para acomodar sus dimensiones a una escala pequeña.

Conceptualmente la mayor diferencia entre el ensayo Varestraint de punto y el Varestraint móvil, está en la historia térmica de la región soldada. En el test convencional el aumento de deformación es aplicado como en un cordón de soldadura depositado en forma real.

* Metallurgical Engineering. The University of Tennessee.

**Departamento de Metalurgia. Universidad de Santiago de Chile.

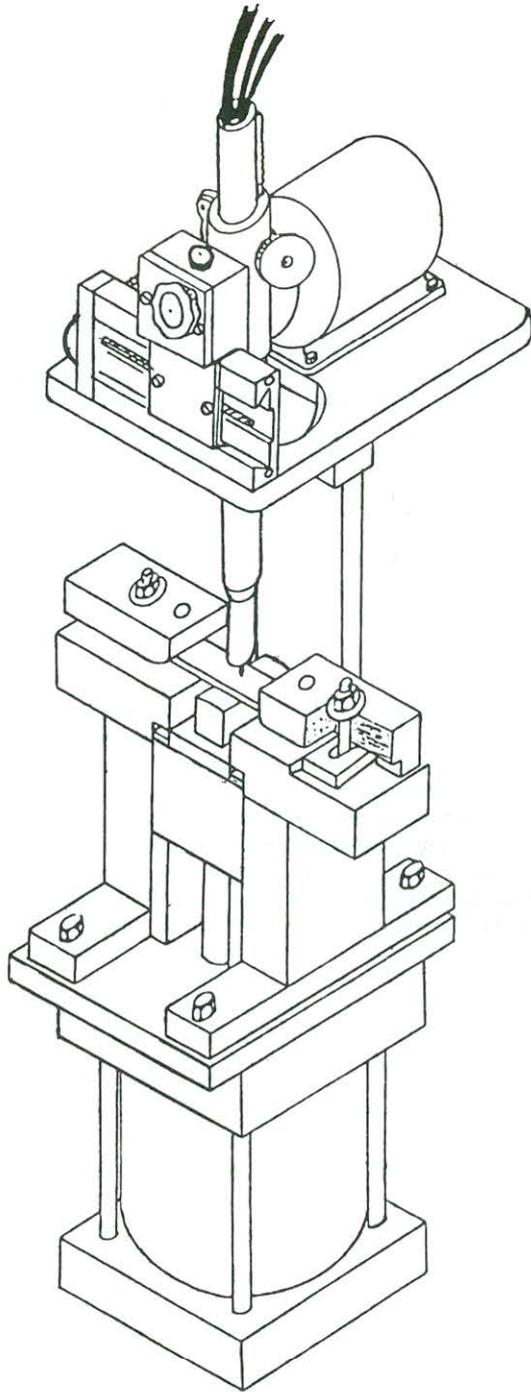


Figura 1. Representación esquemática del equipo de ensayo Vareststraint modificado.

En el test Vareststraint de punto la deformación es aplicada a una región alrededor de una pileta líquida estacionaria.

El ensayo TIGAMAJIC ha sido utilizado en forma exitosa para comparar los resultados de varios materiales en base a la susceptibilidad al agrietamiento en caliente en la zona fundida y en la zona afectada térmicamente. Sin

embargo, el hecho que el arco sea en un punto estacionario produce una distribución de temperatura alrededor de la zona fundida que difiere marcadamente de la distribución de temperatura encontrada en la soldadura de producción para un material de espesor dado. Esta deficiencia fue considerada crítica y a pesar de lo exitoso de la comparación realizada de los materiales, el cordón de soldadura producido por la torcha móvil es considerado lejos más real. La versión con torcha móvil fue desarrollado y usado originalmente en Oak Ridge National Laboratories (6,7). La modificación de torcha móvil fue simple y ha sido utilizada por muchos investigadores desde que se introdujo en 1970 (2). Algunas modificaciones fueron hechas por Turner (8) y luego el equipo TIGAMAJIC permanece inalterable hasta las modificaciones que se describen más adelante.

Se incorporaron modificaciones al diseño del equipo y al concepto del ensayo. La modificación del diseño permite ensayar las probetas en forma longitudinal o transversal con una simple rotación del cabezal. El cambio conceptual involucra la evaluación de la susceptibilidad al agrietamiento en caliente de la zona fundida, ZAT del metal base y ZAT de un material previamente fundido. Esta nueva metodología no solamente es más económica, sino que además permite la evaluación para todo tipo de grietas en sólo una probeta, aumentando la información disponible de cada probeta. En la Figura 1 se muestra el dibujo esquemático del equipo empleado.

En la Figura 2 se muestra el cabezal montado para ensayar una probeta en forma longitudinal (a) y en forma transversal (b).

La incorporación del ensayo en forma transversal nos lleva a preparar una probeta en forma distinta; los dos tipos de probeta son maquinadas a partir del material hasta un espesor de 0.125" con un ancho de 1" y un largo de 5"; además en estas probetas se reemplaza el orificio de los extremos por un vaciado en forma de U con un extremo radial que permiten al alineamiento de la probeta.

Estos vaciados han sido usados por muchos investigadores en vez de los orificios que se usaron en los primeros ensayos, esto permite que la probeta se deslice libremente en forma longitudinal y no agregarle los esfuerzos de tracción, de tal manera que la probeta queda sometida sólo a doblado. El pasador que se fija en el vaciado es ajustable al espesor de la probeta.

Las probetas para el ensayo en su forma longitudinal y transversal se muestran en la Figura 3 y 4 respectivamente. La terminación de 32 rms es recomendable pero se puede utilizar otra dependiendo de la zona que se desea evaluar.

Los trozos de material que se agregan en los bordes para el ensayo transversal se sueldan en su parte inferior y sólo en el centro.

Para la evaluación de aceros inoxidables austeníticos (1/8" de espesor) se ha encontrado apropiado el proceso TIG utilizando como condiciones de operación 100 Amp, 12 volt, 10 pulg/min y como gas protector el argón. Para otros espesores o distinto material base, los parámetros de soldadura a usar son diferentes.

La evaluación del agrietamiento en caliente se realiza usando un aumento de deformación (usualmente 0-4%) y la detección de las grietas y medidas se realizan en la superficie soldada con 70 x.

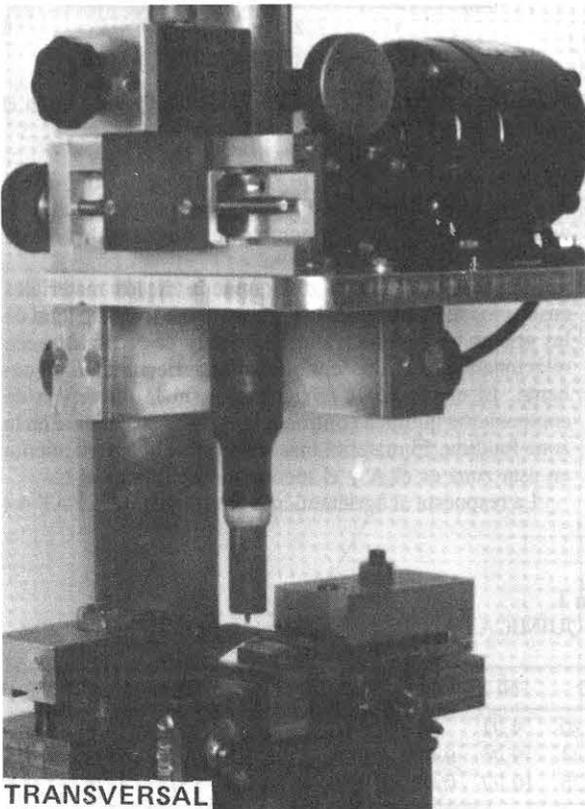
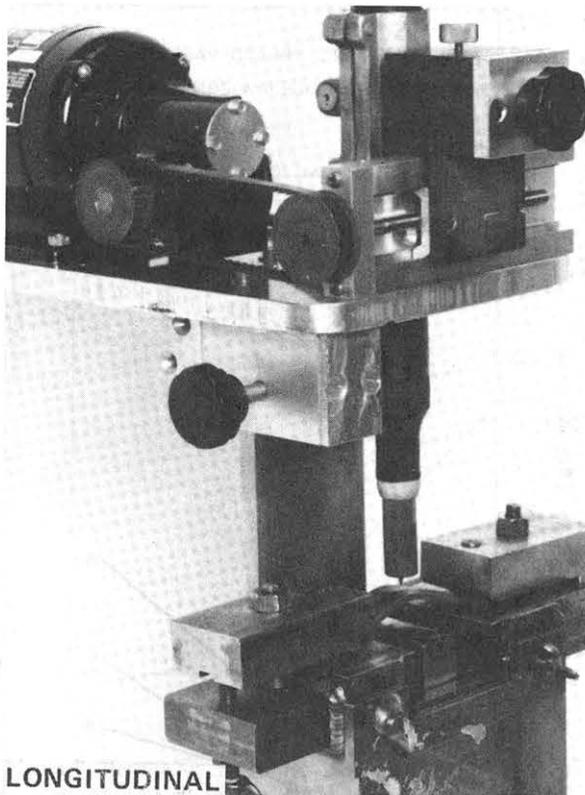


Figura 2. Equipo de ensayo Varestraint en su forma longitudinal (a) y transversal (b).

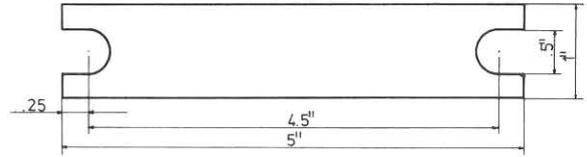


Figura 3. Probeta para el ensayo Varestraint en su forma longitudinal.

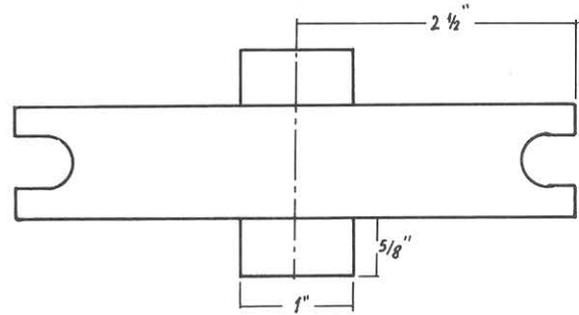


Figura 4. Probeta para el ensayo Varestraint en su forma transversal.

Los datos de las grietas se tabulan normalmente como número de grietas, longitud máxima, largo total de las grietas e inicio de las grietas.

El cambio más importante en el concepto del ensayo se refiere a la técnica de multipasada que nos permite evaluar una zona fundida, ZAT del metal base y ZAT del metal previamente fundido, usando una sola probeta.

El ensayo de multipasada para la evaluación de estas tres zonas es llevado a cabo como sigue (Figura 5): Después de posicionar la probeta en el equipo, se realizan dos pases paralelos a una separación predeterminada dependiendo de la entrada de energía, espesor y composición química de los materiales a ensayar. El tercer pase es posicionado de tal manera de producir una zona afectada térmicamente en el metal base que se superpone con la ZAT del metal base generado por el segundo pase y simultáneamente produce una ZAT en el metal previamente fundido por el primer pase.

Para hacer más atractivos los resultados del agrietamiento en caliente de las ZAT, un cuarto y quinto pase son superpuestos sobre el tercer pase. El número de pases fue restringido a cinco en el acero inoxidable austeníticos para evitar la excesiva distorsión de la probeta. La deformación es aplicada en el último pase apenas la torcha pasa el centro de la probeta, de manera que la deformación es aplicada a una interfase solidificada en el centro de la probeta directamente en el punto más elevado de la matriz. De esta manera se superponen cuatro ZAT del metal base y se superponen tres ZAT del metal previamente fundido que son deformados junto con la zona fundida del quinto pase. Este concepto efectivamente duplica las condiciones de microestructuras que se obtienen en la soldadura de multipasada en las tres regiones descritas y permite la evaluación independiente de cada región. Utilizando esta técnica, varias formas de grietas en caliente son analizados para hacer una

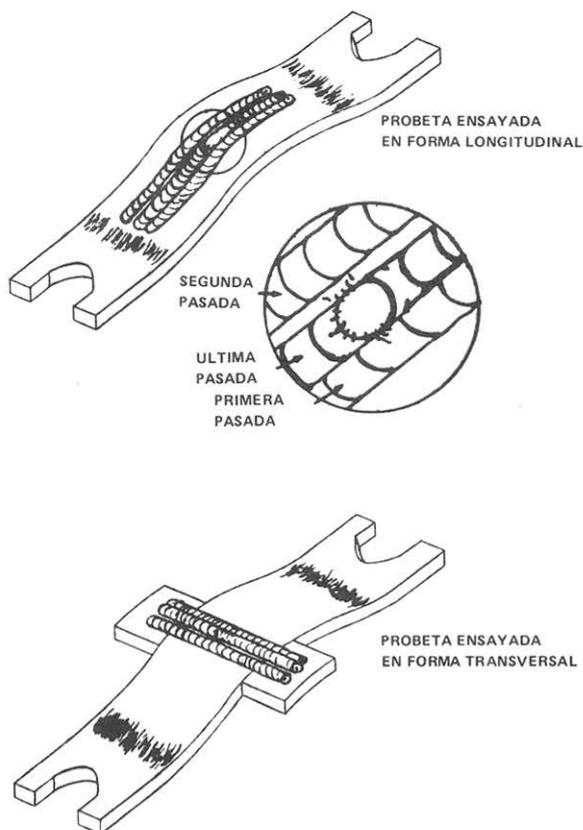


Figura 5. Representación esquemática de una probeta ensayada en forma longitudinal y en forma transversal, utilizando la técnica de multipasada, mostrando una ampliación de la zona de interés para la evaluación.

caracterización completa del material en relación a su susceptibilidad al agrietamiento en caliente. Para ilustrar el método se comparan tres aceros inoxidable austeníticos, cuya composición química, tamaño de grano y su potencial para formar ferrita se entregan en la Tabla I.

Estos materiales fueron ensayados en forma longitudinal usando la técnica de multipasada. Además en forma transversal se ensayó el material C. Los resultados encontrados en el ensayo en forma transversal fueron indicativos sólo en la zona fundida, no se obtuvo respuesta en la ZAT del metal base ni en la ZAT del metal previamente fundido. La presencia de grietas en la zona fundida fue muy superior

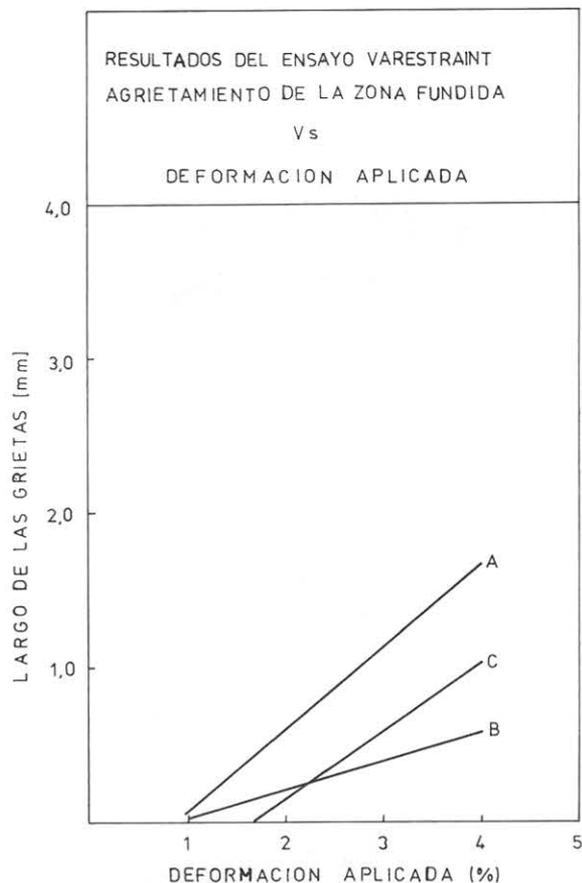


Figura 6. Resultados del ensayo Varestraint comparando el agrietamiento en la zona fundida.

en el ensayo realizado en forma transversal lo cual proporciona una diferencia muy notable de comparación en este ensayo.

Los resultados de la zona fundida de los materiales ensayados se muestran en la Figura 6 como longitud total de las grietas vs. deformación. El número de ferrita aparece relacionado con la susceptibilidad al agrietamiento en caliente. El efecto de la ferrita junto con la diferencia de composición química controlan las grietas en caliente en la zona fundida. El material más susceptible al agrietamiento en esta zona es el A y el menos susceptible es el C.

La respuesta al agrietamiento en caliente de la ZAT del

Tabla I
COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)

Material	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	N	Nb	Co	GS	Nb/C	NF
A	0,045	1,60	0,032	0,007	0,054	17,80	9,71	—	0,67	—	9,0	14,8	3,0
B	0,014	1,64	0,120	0,005	0,030	18,44	9,25	0,062	0,26	0,06	8,0	18,5	5,4
C	0,025	1,74	0,033	0,006	0,340	18,25	10,77	0,022	0,37	—	5,0	14,8	4,0

NF: Contenido de ferrita medido con un magna gage en el metal fundido de una soldadura autógena.

GS: Tamaño de grano ASTM.

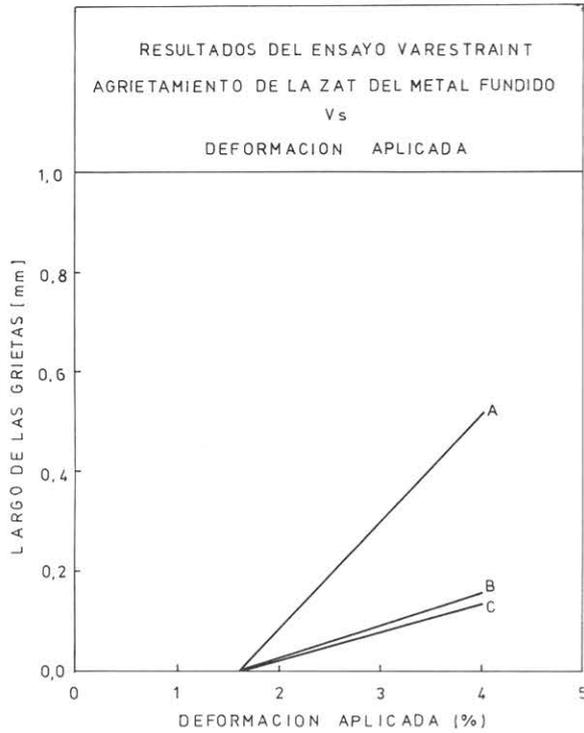


Figura 7. Resultados del ensayo Varestraint comparando el agrietamiento en la zona afectada térmicamente del metal previamente fundido.

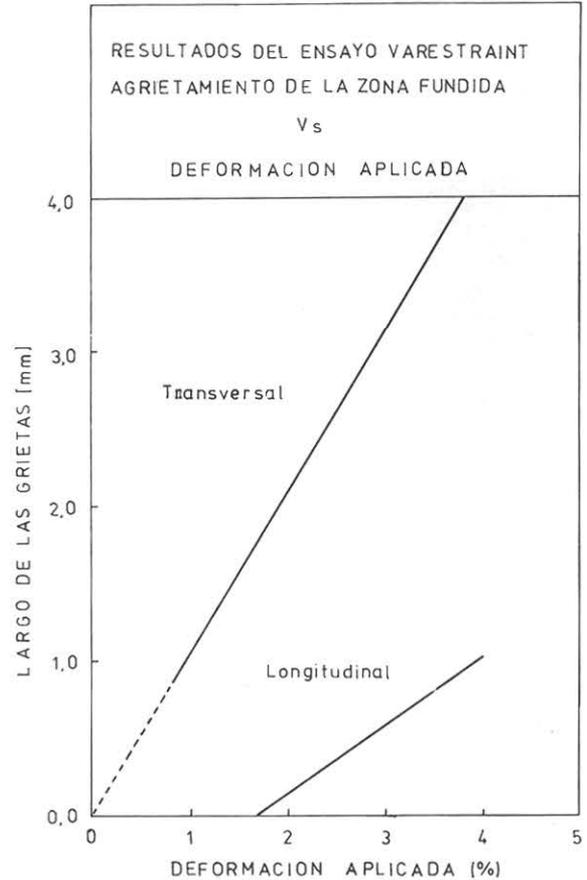


Figura 9. Resultados del ensayo Varestraint comparando el agrietamiento en la zona fundida aplicando el ensayo en su forma longitudinal y transversal.

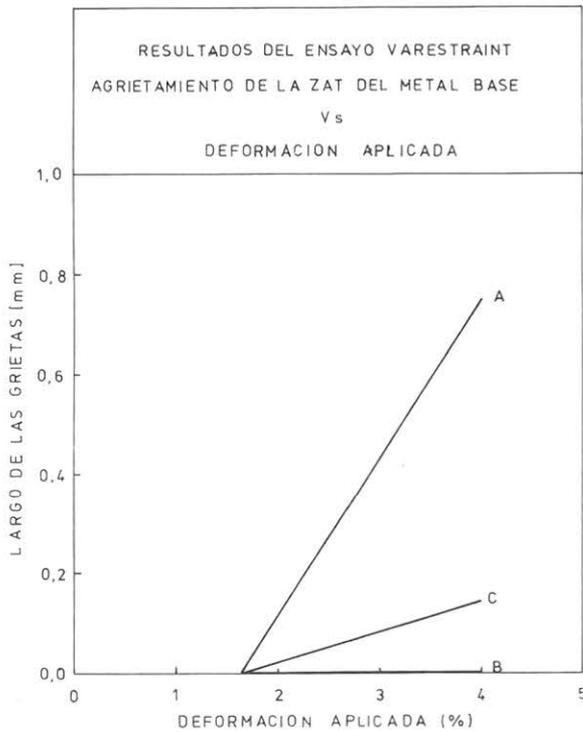


Figura 8. Resultados del ensayo Varestraint comparando el agrietamiento en la zona afectada térmicamente del metal base.

metal previamente fundido se muestra en la Figura 7 como longitud total de las grietas vs. deformación, en este caso el material más susceptible es el A y el menos susceptible es el C.

La respuesta al agrietamiento en caliente de la ZAT del metal base se muestra en la Figura 8. La respuesta es similar a la obtenida en la ZAT del metal previamente fundido. El material más susceptible en este caso es el A.

La Figura 9 muestra los resultados para el material C, empleando el ensayo en su forma longitudinal y transversal con la técnica de multipasada. La extensión de las grietas en la zona fundida es mucho mayor en el ensayo realizado en forma transversal, en esta modalidad no se encontró grietas en la ZAT del metal previamente fundido ni en la ZAT del metal base. La distribución de esfuerzo en la forma transversal es efectivo para generar grietas en la zona fundida solamente.

De esta manera el ensayo Varestraint en su forma transversal se muestra más representativo cuando hay que evaluar la zona fundida o cuando se necesita una mayor sensibilidad del ensayo para revelar diferencias a la susceptibilidad al agrietamiento en caliente entre distintos materiales.

La Figura 10 muestra la ubicación típica de las grietas en

caliente en la zona fundida, ZAT del metal previamente fundido y ZAT del metal base en el ensayo realizado en forma longitudinal. Grietas en caliente típicas de la zona fundida se muestra en las Figuras 11. La Figura 12 y 13 muestran grietas típicas de la ZAT del metal previamente fundido y ZAT del metal base respectivamente.

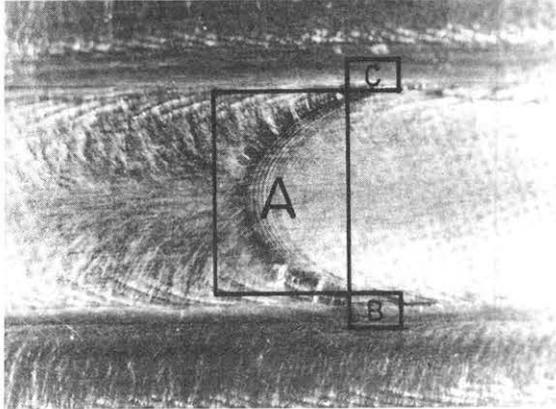


Figura 10. Superficie típica para ser evaluada en una probeta Varestraint mostrando la ubicación de las grietas en la zona fundida (A), ZAT del metal previamente fundido (B) y ZAT del metal base (C).



Figura 11. Grietas típicas de la zona fundida en aceros inoxidables 347, 4% deformación aplicada 100X, M.O.

CONCLUSIONES

1. La utilización del ensayo Varestraint se ha mejorado notablemente con la introducción de la técnica de multipasada que permite evaluar la zona fundida, la ZAT del metal base y la ZAT del metal previamente fundido.
2. La técnica de multipasada permite además, evaluar el efecto de varios ciclos térmicos.
3. Un simple cambio en el diseño nos permite utilizar el ensayo en forma longitudinal o transversal.
4. El ensayo en su forma transversal sirve para casos críticos de evaluación a la susceptibilidad al agrietamiento en caliente de la zona fundida.
5. Se ha hecho más económico el ensayo puesto que de una probeta se obtiene mayor información.

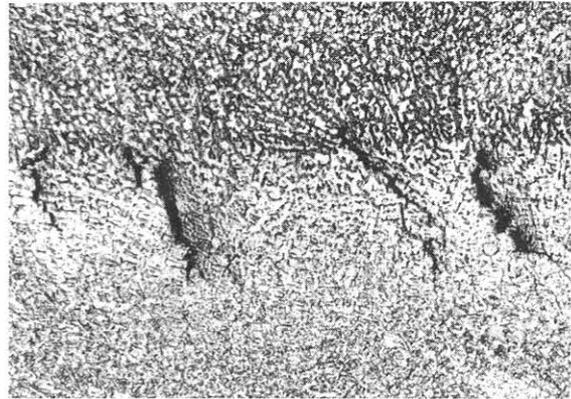


Figura 12. Grietas típicas de la ZAT del metal previamente fundido, 4% de deformación aplicada. 150X, M.O.

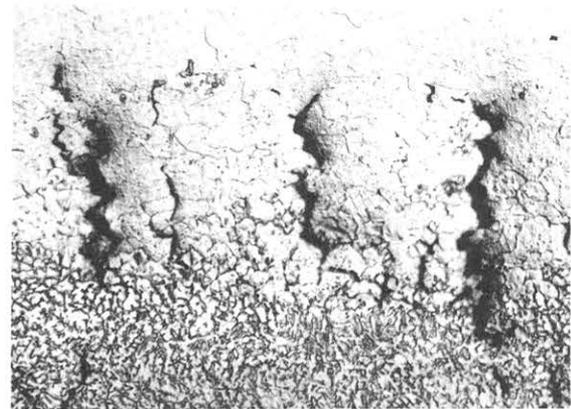


Figura 13. Grietas típicas de la ZAT del metal base, 4% de deformación aplicada, 200X, M.O.

REFERENCIAS

1. SAVAGE, W. and LUNDIN, C., *The Varestraint Test*. Welding Journal 433s-442s, 1965.
2. *The Varestraint Test*, Welding Research Council Bulletin 280 August 1982.
3. LESSMAN, G. and GOLD, R., *The Varestraint Test for Refractory Metals*, Welding Journal, 50 (1), 1s, 8s, 1971.
4. McKEOWN, D., *Versatile weld Metal Cracking Test*. Metal Construction and British Welding Journal, (8) 351-352, 1970.
5. SENDA, T., MATSUDA, F., TAKANO, G., WATANAKE, K., KOBUYOSILI, T., and NATSUZAKA, T., *Fundamental Investigation on Solidification Crack Susceptibility for weld Metals with Transvarestraint Test*, Transaction of the Japan Welding Society, 2 (9) 1-22, 1971.
6. SAVAGE, W. and LUNDIN, C., *Evaluation of the Weldability of Missile case Materials*, Technical Report AFML-TR-65-277, July 1965.
7. LUNDIN, C. and CANONICO, D. *Private Communication*. Oak Ridge National Laboratories, 1970.
8. TURNER, P. and LUNDIN, C. *Effect of Iron on the hot cracking of Uranium weld Metal-Part 1*, Welding Journal, 23-29, 1970.