

PRECIPITACIÓN MARTENSÍTICA EN ACEROS INOXIDABLES AISI 304 - CORROSIÓN BAJO TENSIÓN

Ing. Eusebio Nelson Dionicio Padilla*, Ing. Samuel Rosario Francia*, Ing. Víctor A. Vega Guillen*
Ing. Oswaldo Gonzales Reynoso*, Ing. Edgardo Tabuchi Matsumoto*

RESUMEN

El proyecto de investigación: Precipitación Martensítica en aceros inoxidable AISI 304-corrosión bajo tensión ha determinado que el material ensayado bajo diferentes cargas de compresión, la fase austenita se deforma produciendo fase martensita, lo cual es magnético.

La prueba acelerada de corrosión del material deformado que presenta martensita en una solución de cloruro de magnesio al 42% en ebullición produce un tipo de corrosión transgranular.

Palabras claves: Martensita, corrosión transgranular, embutido profundo, deformación de grano.

ABSTRACT

Present contribution constitutes the research of the specimen stainless steels AISI 304, testing at different load compression.

The material testing presented magnetic properties when de load compression was 99 KNI.

The micrograph shows the transformation the phase austenitic to martensitic.

The stress corrosion cracking susceptibility of the steel in 42% (boiling) $MgCl_2$ solution was investigated.

Key words: Martensitic, transgranular corrosion, transformation.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES Y NATURALEZA DE LA CORROSIÓN BAJO TENSIÓN

En los últimos años han sido numerosos los trabajos específicos y obras generales publicados sobre este tema, ello se debe, sin duda, a la importancia práctica que presenta este tipo de corrosión que da lugar a la fisuración y rotura del material y que viene provocada por la acción combinada de esfuerzos mecánicos estáticos y de un agente químico corrosivo.

Los esfuerzos pueden ser internos o superficiales o de ambos tipos conjuntamente, se ha comprobado que, para que se produzca este tipo de corrosión es preciso que el acero o material soporte esfuerzos de tracción, pues los de compresión no sólo no provocan el fenómeno, sino que, en ocasiones, puede ejercer una acción protectora.

Las tensiones causantes de la corrosión pueden ser de origen externo, es decir, aplicadas al material por cualquier medio, o bien inherentes al mismo, por ejemplo: residuales de operaciones de trabaja-

* Docentes EAP Ingeniería Metalúrgica. UNMSM

do en frío o de tratamientos térmicos u operaciones de soldadura e incluso originadas en proceso de precipitación o de transformación estructural.

La corrosión bajo tensión puede darse tanto en materiales metálicos como no metálicos, es decir, que puede considerarse como una propiedad asociada al estado sólido.

Con respecto a los aceros inoxidable, se puede afirmar que de modo general, en presencia de determinados agentes corrosivos resultan susceptibles a la rotura de carácter intergranular, cualquiera que sea su estructura: austenítica, ferrítica o martensítica. Las roturas de este tipo están relacionadas con los procesos, que convierten a los aceros en susceptibles a la corrosión intergranular. En cambio, las roturas de carácter transgranular se observa solamente en los aceros inoxidable con estructura austenítica

1.2 Aceros al cromo - níquel inoxidable

La introducción de una cantidad suficiente de níquel en el acero al 18% de cromo lo hace austenítico, lo que asegura mejores propiedades mecánicas, menor tendencia al crecimiento del grano y lo hace más resistente a la corrosión y no frágil en frío.

Los aceros inoxidable con 18% de Cr y 10% de Ni son los que más se emplean en la construcción de maquinaria, en artículos de amplio consumo, en la arquitectura, etc. Clasificado como acero inoxidable Aisi 304, ver apéndice.

La figura N.º 7 representa el corte horizontal a 650 °C del sistema Fe-Cr -Ni (líneas continuas). Las regiones de una sola fase γ y α están separadas por la de dos fases $\gamma + \alpha$. Cuando el contenido de Cromo sobrepasa el 20% aparece la fase σ (compuesto químico FeCr). La posición de la región de dos fases $\gamma + \alpha$ depende de la temperatura. Cuando la temperatura desciende por debajo de los 650 °C, la región $\gamma + \alpha$ se desplaza hacia la derecha y su posición extrema, a 20 °C, se indica por medio de las líneas punteadas que terminan en los puntos χ y γ ; y cuando la temperatura se eleva, esta región se desplaza hacia la izquierda y su posición extrema, a 1100 °C se indica por medio de las líneas punteadas que terminan en los puntos a, d.

De aquí se deduce que las aleaciones que se encuentran por debajo de la línea abc tienen recristalización: $\gamma \leftrightarrow \alpha$ completa con la estructura de ferrita a la temperatura ambiente. Entre las lí-

neas abc y defg están comprendidas las aleaciones semiferríticas (o semiausteníticas) con transformación: $\gamma \leftrightarrow \alpha$ parcial.

Las aleaciones que se hallan a la izquierda de la línea be son ferríticas, y las que están a la derecha de fg son las austeníticas.

La aleación 18-9 está representada en este sistema por un punto. No es difícil ver que para obtener, con un 18% de Cr, la estructura austenítica, deberá haber necesariamente un 9% de Ni; si disminuye el contenido de níquel, la aleación será de dos fases en todo el intervalo de temperaturas, incluida la temperatura ambiente. El aumento del cromo (por encima del 18%, siendo del 9% el contenido de Ni) conduce a los mismos resultados. Cuando el contenido de cromo es menor que el 14-15%, en la estructura aparece fase α ; a temperaturas inferiores a 650 °C, la formación α transcurre según el mecanismo martensítico. Mientras que a altas temperaturas la formación de fase α sigue la vía de difusión ordinaria.

El estado estructural de las aleaciones con el 18% de Cr y el 8-15% de Ni puede ser estable o inestable en dependencia de las oscilaciones de composición. La austenita del acero con el 18% de Cr y el 8-10% de Ni es inestable; su enfriamiento en la región de temperaturas negativas o la deformación plástica a la temperatura ambiente hacen que se forme martensita.

En la aleación con el 18% de Cr y el 10-12% de Ni, la formación de martensita sólo puede ser provocada por deformación a temperaturas inferiores a 0 °C, en cambio, en las aleaciones con el 18% de Cr y más de 14% de Ni la austenita es estable; ni el enfriamiento ni la deformación a bajas temperaturas hacen que se forme fase α .

La figura N.º 4 representa la estructura típica del acero inoxidable (austenita)

Los aceros al cromo-níquel industriales, como es natural no son aleaciones Fe-Cr-Ni puras, sino que contienen impurezas. Estas impurezas, disolviéndose en las fases principales ($\gamma + \alpha$), influyen en las condiciones de equilibrio y en la cinética de la transformación $\gamma \leftrightarrow \alpha$ pero si las impurezas forman nuevas fases por ejemplo, carburos, nitruros, intermetales u otras, pueden cambiar considerablemente las propiedades del acero, aunque su influencia sobre la transformación $\gamma \leftrightarrow \alpha$ sea en este caso menos importante.

Los elementos disueltos en las fases γ y α pueden dividirse en dos categorías: La de los que facilitan la transformación $\gamma \rightarrow \alpha$ (formadores de ferrita) y la de los que dificultan esta transformación (formadores de austenita).

1.3 Teorías sobre la Corrosión Bajo Tensión

En el caso de los aceros inoxidable austeníticos 18-8, se ha supuesto que en aquellos en que la austenita es poco estable, las zonas de martensita, formada por deformación local, pueden intervenir como fase anódica. Esto nos lleva a considerar un camino preferente para la corrosión, análogo a la zona descromizada gracias a la cual se explica la corrosión intercrystalina. En el caso de la corrosión bajo tensión que provoca grietas transgranulares en los aceros inoxidable austeníticos es preciso imaginar que estos caminos preferentes pasan a través de los granos, lo cual obliga a considerar las causas químicas como poco probable y a imaginar teorías físicas para explicarlo (Edeleanu). La presencia de martensita podría ser una de las razones y, efectivamente, se ha demostrado que el cloruro de magnesio ataca las zonas martensíticas. En la figura N.º 5 se aprecia la relativa corrosión por esfuerzo en el agrietamiento de los aceros inoxidable comerciales en solución de Cloruro de Magnesio al 42% en ebullición.

En muchas aleaciones se ha presentado el agrietamiento transgranular en que no había transformación martensítica o que no pertenecen al sistema cúbico centrado en las caras y principalmente en los aceros austeníticos en los cuales grandes deformaciones en frío no provocan la aparición de martensita deben, pues, encontrarse otras razones para confirmar la teoría de Edeleanu. La deshomogenización de las soluciones podría ser una de estas razones.

Ciertas teorías se apoyan, sin embargo, sobre la acción de fenómenos puramente mecánicos, posiblemente porque la absorción de sustancias químicas en el fondo de las grietas vuelve el metal frágil; es decir que los productos de corrosión depositados en el fondo de las grietas, cuyo volumen es mayor que el del metal del cual provienen ejerzan una fuerza considerable y actúen como cuñas en el interior de las grietas. Ciertos exámenes efectuados al microscopio electrónico apoyarían esta última teoría.

II. JUSTIFICACIÓN

La elaboración de productos usando acero inoxidable AISI 304 por embutido profundo genera un

alto porcentaje de rechazo en la industria, motivo por el cual debe estudiarse qué es lo que está ocurriendo con la estructura del material y su posterior agrietamiento por corrosión.

III. OBJETIVOS

El proyecto de investigación debe determinar las estructuras que se forman debido al esfuerzo del material de acero inoxidable AISI 304 al que es sometido, se efectuarán ensayos a diferentes esfuerzos y estudiar las microestructuras que se generan.

En una segunda etapa las probetas sometidas a esfuerzo serán ensayadas a corrosión aceleradas mediante solución de cloruro de magnesio al 42% en ebullición para determinar el tipo de falla en el material.

IV. MATERIAL, EQUIPOS Y MÉTODOS

Para el presente estudio de investigación ha sido necesario disponer de lo siguiente:

Material: Plancha de acero inoxidable AISI 304 de 4 mm de espesor para la confección de probetas de 10 x 10 x 4 mm.

Equipos: Para la prueba de embutido se ha empleado la máquina de ensayos universales de 50KNI, marca Shimatzu.

Para el pulido de las probetas se ha utilizado la máquina de pulido que utiliza lijas como medio abrasivo y para el ataque electrolítico se ha utilizado el equipo de electrólisis. Para el ensayo de corrosión acelerada se ha utilizado:

Plancha eléctrica, vaso pirex, termómetro.

Métodos: Para la prueba de embutido se ha utilizado pastillas del material (4 probetas con una altura aproximada de 16 mm), para luego ser comprimido a 2 mm, 4 mm, y 6 mm respectivamente, mediante carga registrada por la máquina de ensayos universales.

Para ver la estructura del material de los 3 ensayos de compresión ha sido necesario preparar las probetas con resina poliéster, posteriormente ser pulido y atacado electrolíticamente. La solución de ataque ha sido 10% de ácido oxálico, y la toma de microfotografía se ha efectuado a 250 aumentos.

V. RESULTADOS

a) Ensayo de Compresión:

El ensayo de compresión efectuado a las pastillas de 4 probetas dio los siguientes resultados:

N° de Ensayo	Carga (KNI)	Velocidad mm/min	Compresión mm	Observación
01	55,8	1	2	No Presenta Magnetismo
02	99	1	4	Presenta Magnetismo
03	157,1	1	6	Presenta Magnetismo

Nota: Los ensayos fueron efectuados con carga que permaneció durante 1 minuto.

El ensayo se puede observar en el Test Mode V1 (Ver figura N.º 1).

b) Microestructura

Las microestructuras de las probetas aparecen en las microfotografías figuras: 2, 3, 4 y 5; observándose lo siguiente:

N.º Microestructuras	Material	Observación al Microscopio
0	Sin compresión	La microestructura es típicamente austenítica propia de los aceros AISI 304
1	Con compresión (2mm)	Se observa deformación de los granos
2	Con compresión (4mm)	Se observa la aparición de puntos claros de martensita
3	Con compresión (6mm)	Se observa mayores puntos claros de martensita

c) Corrosión Acelerada

La probeta 3 fue sometida al ensayo de corrosión acelerada durante 12 horas en una solución en ebullición al 42% de Cl_2Mg , observándose microfisuras en el material ensayado, ver figura N.º 6.

VI. DISCUSIÓN

Los ensayos efectuados al material AISI 304 ha demostrado que mediante la compresión se consi-

gue deformar los granos de la austenita produciendo la aparición de microestructuras de martensita.

Este tipo de ensayo de compresión relaciona, como en un embutido profundo al que es sometido el material de acero inoxidable austenítico, para ob-

tener productos finales se afecta la microestructura, comprometiendo así a un posterior ataque en medios químicos, fragilizando el material.

VII. CONCLUSIONES

Se ha demostrado que el material AISI 304 al ser sometido a cargas de compresión para disminuir el espesor del material afecta la estructura de los granos de austenita, apareciendo deformaciones de grano martensita.

Con un 10% de disminución del espesor del material sólo se observa deformación de los granos sin que presenten magnetismo.

Con porcentajes mayores al 10% de disminución del espesor, se observa deformación del grano y la presencia de martensita, lo cual explica el magnetismo del material.

La formación de microfisuras en el material ensayado explica que los materiales embutidos que son sometidos a cargas extremas (mayores al 10%) están propensos a fallas en su funcionamiento.

ANEXOS

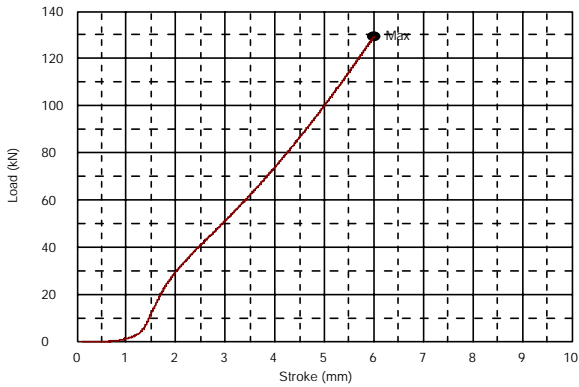


Figura N.º 1. Deformación de las probetas por cargas aplicadas.

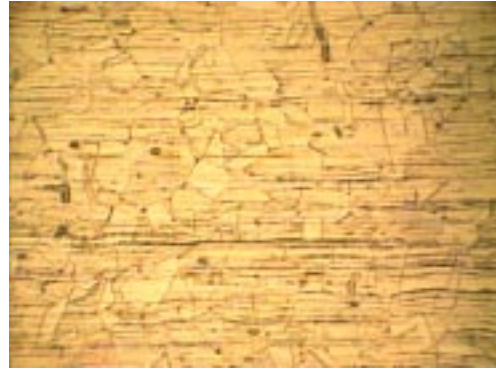


Figura N.º 2. Acero Inoxidable. AISI 304. Microestructura: Austenítica
Ataque: Electrolytic, 10% de solución de ácido oxálico, 250X.

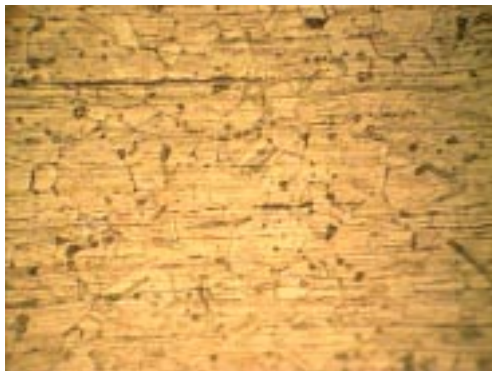


Figura N.º 3. Se observa deformación de granos
Ataque: Electrolytic, 10% de solución de ácido oxálico, 250X.



Figura N.º 4. Se observa puntos claros de martensita.
Ataque: Electrolytic, 10% de solución de ácido oxálico, 250X.

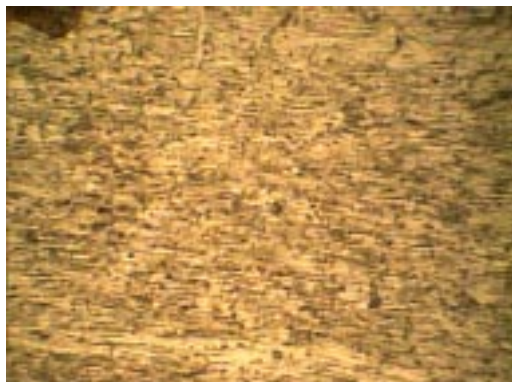


Figura N.º 5. Se observa puntos claros de martensita, y mayor deformación de los granos. Ataque: Electrolytic, 10% de solución de ácido oxálico, 250X.



Figura N.º 6. Corrosión por esfuerzo. Transcristalino: AISI 304. Ensayo: 42% MgCl₂ en ebullición. Ataque: Electrolytic, 10% de solución de ácido oxálico, X 100.

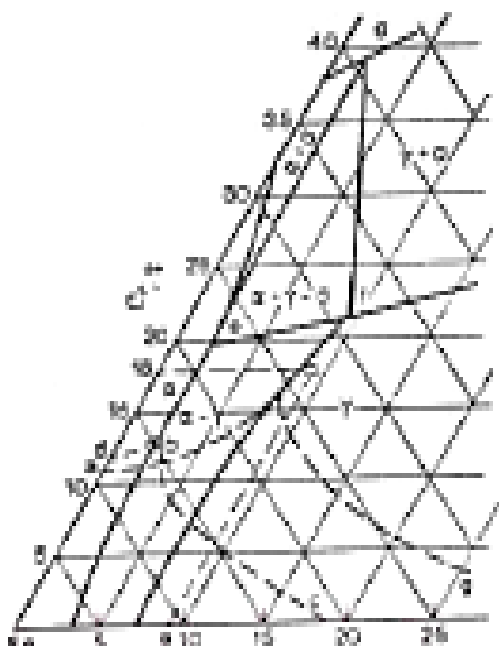


Figura N.º 7. Ángulo correspondiente al hierro del sistema Fe-Cr-Ni. La línea de trazo continuo representa el corte isotérmico a 650° C.

Acero Inoxidable AISI 304

Composición Química (AISI)

%C	%Mn	%Si	%P
0.08max	¹	2.00max	1.00max
%S	%Cr	18.0/20.0	
.040max	.030max		
%Ni	%Mo	%Se	%Zr
8.00/11.00	—	—	—
%Ti	%Cb	%Al	
—	—	—	

¹ 304 L, .03% máx.

Características

Material popular de bajo carbono 18:8, soldable y puede ser trabajado en frío y en caliente.

Propiedades tecnológicas:

Temperatura de forjamiento	2300 - 1700 °F
Temperatura de recocido	1850 - 2050F, enfriar rápidamente
Temperatura de endurecimiento	Dureza por trabajo en frío
Temperatura de fusión	Sólido 2600 °F ó 1425 °C Líquido 2750 °F ó 1508 °C
Maquinabilidad	Pobre
Soldabilidad	Buena
Temperatura de formación cascarilla	1600 °F continua 1450 °F intermitente
Estiramiento	Muy bueno
Alivio de tensión	400 - 750 °F

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. A.P GULIAR *Metalografía*, Tomo 1 y 2, 1978, Editorial MIR MOSCÚ
2. ASM HANDBOOK COMMITTEE *Metallography, structures and phase diagrams*, American Society for Metals, 1973, USA
3. MARS G. FONTANA/NORBERT D. GREENE *Corrosion Engineering*. McGraw-Hill Book Company, 1978
4. NATIONAL ASSOCIATION CORROSION ENGINEERS. *Nace Basic Corrosion Course*. Houston, Texas, 1974
5. J. HOCHMANN. *Aceros inoxidables / Aceros refractarios*. Ediciones URMO, España, 1968
6. G. CONDE Y SANTIAGO. *Aceros inoxidables, refractarios y criogénicos*. Editorial Blume, España, 1971
7. ASM. *Advanced Materials and proceses*. Vol. 153 / N° 2, February, 1998
8. NACE – INTERNATIONAL / THE CORROSION SOCIETY. *The Journal of Science and Engineering Corrosion*. Vol. 56 N° 6, June, 2000