

FALLAS POR CORROSIÓN DETECTADAS TARDÍAMENTE

Miguel Ángel Zago

Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional de Avellaneda

*San Vicente 206 esq. Av. Ramón Franco. (1870) Villa Dominico. e-mail:
mecanica@fra.utn.edu.ar zagomiguel@yahoo.com.ar*

RESUMEN

Durante las tareas de mantenimiento preventivo suelen pasar desapercibidos algunos avances importantes de procesos de falla que favorecen la degradación de los materiales, de los componentes estructurales y de los elementos de máquinas. Los dos trabajos presentados surgen del estudio de fallas por corrosión observados en forma tardía luego de que los mismos ocasionaran importantes daños en su entorno. El primer caso afectó a un conjunto de tubos de acero inoxidable austenítico utilizados como soportes y guías para el teñido de telas en una tintorería industrial. El segundo se refiere a un pistón de acero revestido con cromo duro de una bomba para inyección de agua en pozos petroleros. Para la evaluación de las fallas se utilizaron técnicas de observación metalográficas. En cada caso se contó con análisis químicos y composiciones nominales de los fluidos líquidos que ocasionaron los procesos corrosivos. En los tubos de acero inoxidable se detectaron varios procesos corrosivos concomitantes detectándose que uno de ellos, el de corrosión bajo tensión, fue el de mayor trascendencia. El pistón de la bomba fue afectado por un proceso de corrosión que se inició como picado (pitting) y luego avanzó en forma cavernosa, amparado bajo un típico esquema de corrosión galvánica. Por último, y con el objeto de erradicar estas causas de fallas, se brindaron recomendaciones constructivas y de selección de materiales.

Palabras Claves: corrosión bajo tensión, austenítico, cromo duro, picado, corrosión cavernosa.

1. INTRODUCCIÓN

Las dos fallas del presente trabajo tienen en común el deterioro por corrosión al que se predisponen aleaciones y procesos de fabricación inadecuados. El objetivo del análisis de falla fue la selección de aleaciones y procesos con la finalidad de erradicar ó mitigar el deterioro dentro de una vida útil adecuada para los componentes. Asimismo se buscó que la selección no disminuyera los periodos de mantenimiento preventivo del equipamiento involucrado.

Los fluidos involucrados son los habituales para las aplicaciones de los componentes fallados y no se observaron desvíos destacados en cuanto a su concentración, temperatura y agresividad.

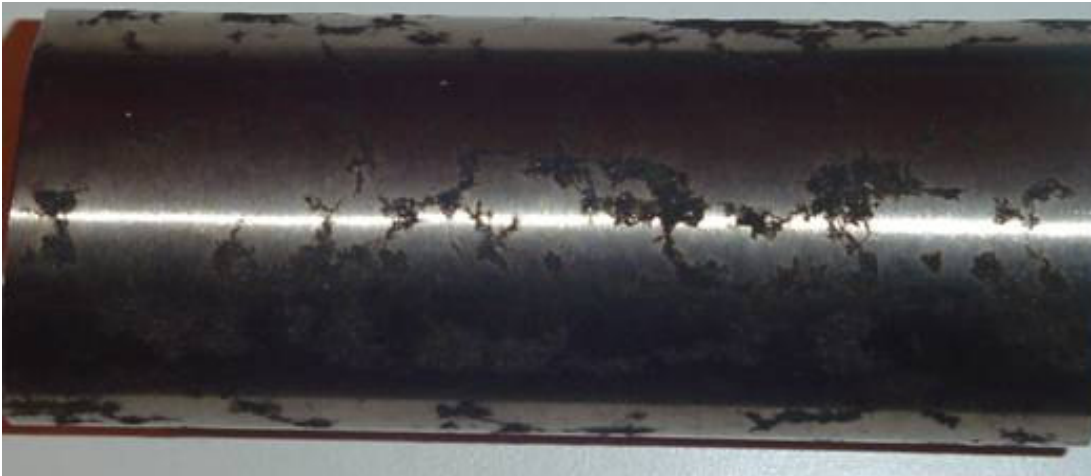
En ambos casos la metodología de evaluación utilizada fue: técnica de metalografía óptica con lupa estereoscópica y microscopio a campo claro, análisis químico y ensayos físicos de dureza y aplastamiento. Los procedimientos de ensayo se ajustaron a las normas IRAM – IAS que se mencionan en particular.

2. TUBOS DE ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO

La muestra analizada está formada por tres tubos con costura longitudinal de acero inoxidable de diámetro exterior = 50,80 mm y espesor = 1,15 mm. Dos de ellos pertenecen a una instalación para teñido de telas y presentan síntomas diversos de corrosión [1]. El tubo restante es de reposición y sin uso. La detección de la falla se produjo durante el control de calidad de las telas al observarse sobre ellas manchas rojizas y pardas. Las manchas provenían de los óxidos ferrosos formados sobre los tubos deteriorados. Químicamente las muestras responden al acero inoxidable austenítico IRAM 30304 [2]. El medio en que se desempeñaron los tubos fallados es el usado para el teñido industrial y está formado, entre otros, por los siguientes productos: colorantes básicos, colorantes madres, ligantes, espesantes, antiespumantes, fijadores, ácido tartárico, dietilenglicol, permanganato de potasio, urea técnica.

2.1. Análisis macroscópico

Los tubos corroídos presentan gran cantidad de óxido ferroso – férrico en la superficie externa y menor cantidad en su interior [3]. Debajo de los óxidos se observan grietas de diversas direcciones y muchas de ellas atraviesan el espesor de los tubos. En algunas zonas, debajo de esas formaciones de óxido, se observan cráteres de corrosión por picado. Los óxidos se agrupan con una orientación particular, en la dirección de las generatrices de los tubos [4-6]. La Fotografía N° 1 muestra un trozo de uno de los tubos en la forma en que se recibieron para analizar.

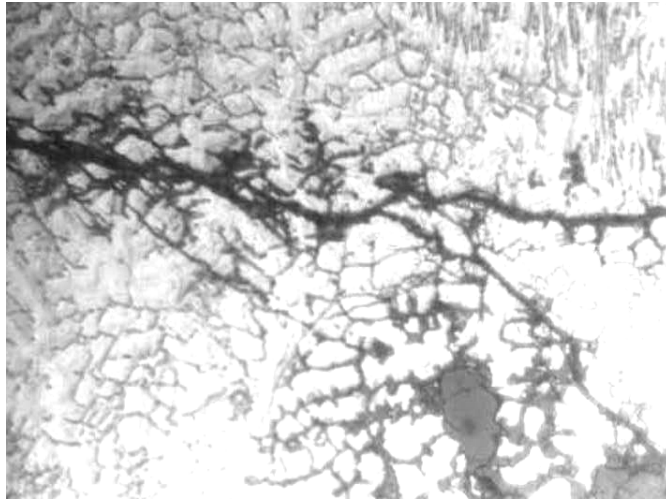


Fotografía N° 1

2.2. Análisis microscópico

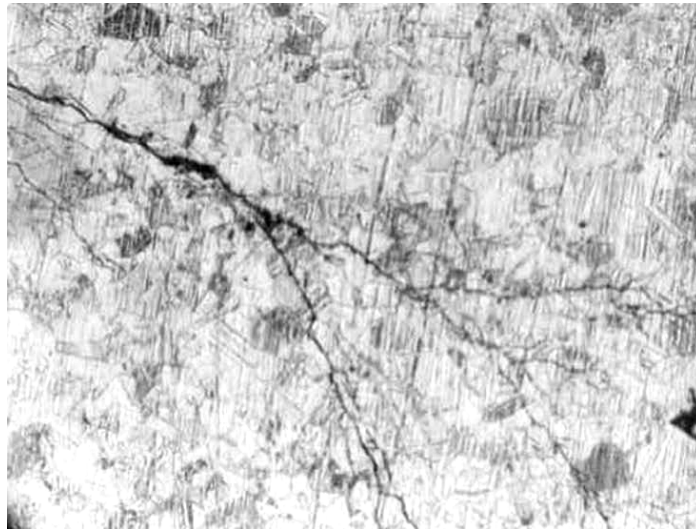
Se extrajeron trozos de los tubos para prepararlos metalográficamente. Luego del pulido especular se observaron al microscopio detectándose muy baja cantidad de inclusiones no metálicas de sulfuro de manganeso y de óxidos globulares. Las inclusiones fueron clasificadas según la norma IRAM – IAS – U500 – 126 [7] y responden a la serie fina y densidad menor que el campo 1 de dicha norma.

Luego, las probetas se atacaron con agua regia acética revelándose una estructura austenítica recristalizada de granos equiaxiales poligonales con presencia de maclas y marcas del proceso de conformación plástica en frío (laminado en frío) [8]. El tamaño de grano es N° 7 según la clasificación de la norma IRAM – IAS – U500 – 122 [9]. El interior y los bordes de los granos alojan una pequeña cantidad de carburos. El cordón de soldadura presenta 4% de ferrita delta en los bordes de los granos dendríticos de austenítica [3,10]. En los tubos corroídos estos bordes están deteriorados por corrosión selectiva de la ferrita delta [4,11,12]. La Fotomicrografía N° 2 (400X) muestra estos detalles.



Fotomicrografía N° 2 (400X)

Las grietas descritas en el análisis macroscópico se presentan microscópicamente con trayectoria preponderantemente transgranular y fueron provocadas por un proceso de corrosión bajo tensión [3, 4, 13-16]. En la Fotomicrografía N° 3 (100X) se observan las grietas con forma de raíces vegetales.



Fotomicrografía N° 3 (100X)

2.3. Ensayos físicos

Se determinaron los valores de dureza sobre las muestras mediante el método Rockwell, escala 45T, arrojando el siguiente valor:

$$HR_{45T} = 65.$$

Se extrajeron muestras de los tubos corroídos y del tubo sin uso para evaluar su comportamiento frente al aplastamiento. Las probetas se sometieron a cargas estáticas. La respuesta dúctil del tubo sin uso permitió lograr un aplastamiento del 100% de su diámetro sin

producir fisuras mientras que los tubos corroídos propagaron las grietas existentes a partir de una deformación del 6% del diámetro [17].

2.4. Conclusiones

La falla de los tubos se produjo por un proceso de corrosión bajo tensión. El fenómeno fue generado por la acción combinada de los agentes corrosivos y la presencia de tensiones externas que actuaron sobre los tubos durante el trabajo. También las tensiones residuales detectadas microscópicamente bajo la presencia de bandas de deslizamiento colaboran en esa forma de falla.

Los aceros inoxidable austeníticos IRAM 30304 e IRAM 30316 son particularmente susceptibles a esa forma de corrosión. Aun las versiones de estos aceros con los sufijos “L” (bajo tenor de carbono), “XL” (extra bajo contenido de carbono) y “MO” (con agregado extra de molibdeno) también son atacados por corrosión bajo tensión.

Adicionalmente se detectaron otros procesos corrosivos: corrosión intergranular por formación de carburos probablemente del tipo $Cr_{23}C_6$, corrosión selectiva de la ferrita delta en el cordón de soldadura y picado [18].

El tamaño de grano número 7 detectado en los aceros analizados es relativamente grande y colabora en el proceso de deterioro por corrosión bajo tensión al disminuir la superficie de borde de grano. Se recomendó un tamaño de grano número 9 ó menor.

Finalmente se sugirieron aceros inoxidable austeno – ferríticos ó dúplex en reemplazo de los austeníticos para soportar los procesos corrosivos principales y secundarios que se detectaron. Estos aceros poseen una expectativa de vida útil estimada en más de 5 veces la de los analizados [15]. En la Tabla 1 se describen los aceros sugeridos.

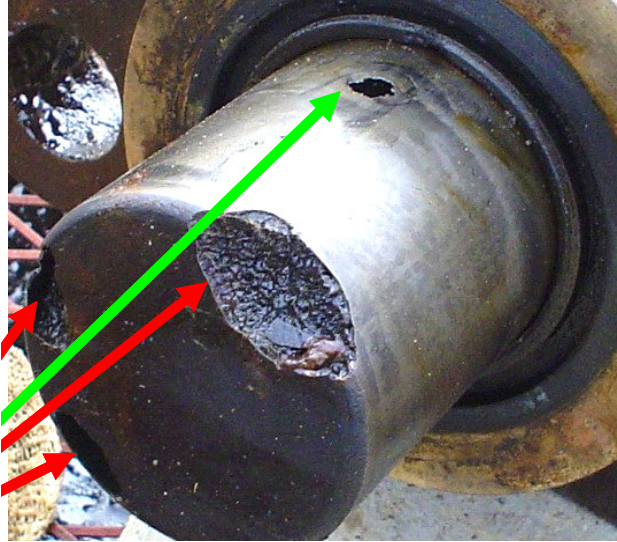
Tabla 1: aceros inoxidable austeno – ferríticos sugeridos.

Euronorm (EN)	UNS Number
1.4410 X2 Cr Ni Mo N 25-7-4	S32750
1.4507 X2 Cr Ni Mo Cu N 25-6-3	S32520
1.4501 X2 Cr Ni Mo Cu W N 25-7-4	S32760

3. PISTÓN DE ACERO REVESTIDO

Se analizó un émbolo perteneciente a una bomba alternativa para inyección de agua en pozos petroleros. El pistón posee una longitud de 390 mm, un diámetro en la parte activa de 70 mm y presenta importantes faltas de masa removidas por corrosión. La Fotografía N° 4 muestra las cuatro áreas más dañadas: tres de ellas en la cabeza del pistón (flechas rojas) y una cavernosa [3,5] ubicada a 60 mm de dicha cabeza (flecha verde). La falla se detectó por los ruidos anormales provocados por el pistón dañado al rozar contra las paredes del cilindro. El agua bombeada es salobre y responde a la usada habitualmente en el yacimiento. Sus

características principales son: pH = 8,2; iones Cl^- = 6600 ppm; iones Na^{++} = 4800 ppm. La presión de succión de la bomba es de 2,50 bar y la de descarga de 90 bar.



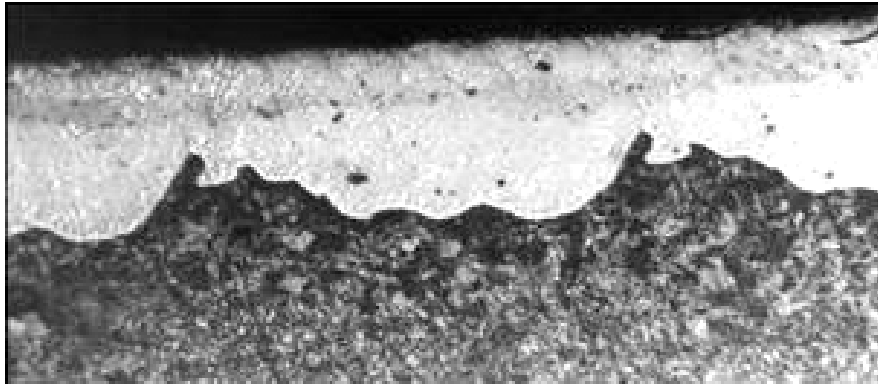
Fotografía N°4

3.1. Análisis macroscópico

El émbolo está construido con una aleación ferrosa y posee un recubrimiento metálico que se desprende con facilidad de las adyacencias de las zonas corroídas. Alrededor de la zona de corrosión cavernosa se observa un halo catódico producido por el ataque galvánico [3].

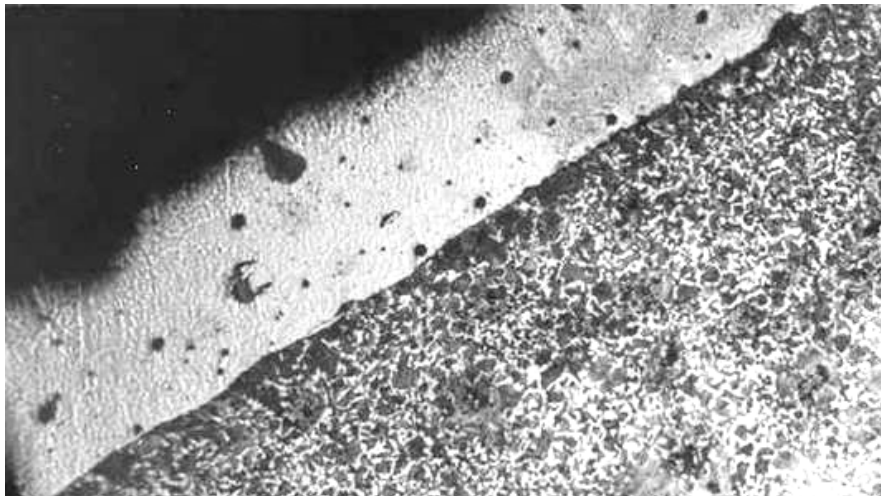
3.2. Análisis microscópico

Mediante cortes longitudinales se obtuvieron probetas que contienen sectores corroídos y otros menos afectados. Observada al microscopio, la superficie del pistón posee un recubrimiento metálico que por sus respuestas a los reactivos se trata de un depósito de cromo [19]. Su estructura es la típica de la deposición galvánica y su espesor promedio es de $420\ \mu\text{m}$, variable entre $380\ \mu\text{m}$ y $460\ \mu\text{m}$ [20]. La superficie del metal base posee un mecanizado en diente de sierra. Debido a esta geometría se produce la amplia variación de espesores del citado depósito. En la Fotomicrografía N° 5 (100X) se aprecia esa forma de mecanizado presente en la zona cilíndrica del émbolo.



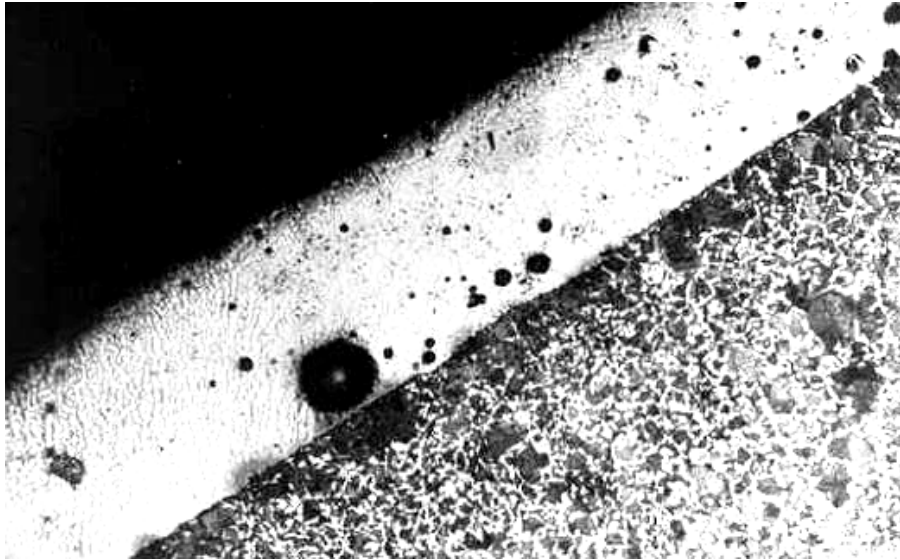
Fotomicrografía N° 5 (100X)

La cabeza del pistón no posee ese mecanizado (Fotomicrografía N° 6; 100X).



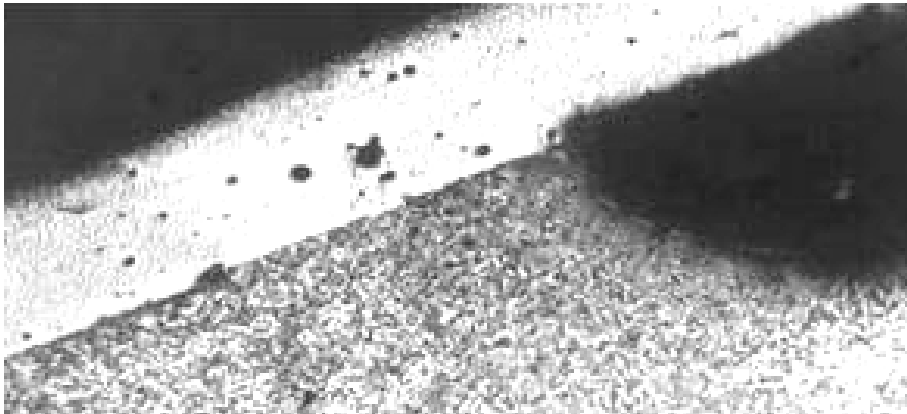
Fotomicrografía N° 6 (100X)

El recubrimiento contiene gran cantidad de macro poros distribuidos al azar en todo el espesor, muchos de ellos afloran a la superficie y otros se comunican por micro grietas. Las zonas del recubrimiento con mayor cantidad y tamaño de poros son las que más sufrieron el proceso corrosivo (Fotomicrografía N° 7; 100X de la cabeza del émbolo) mientras que aquellas con menor cantidad y tamaño de poros soportaron mejor dicho proceso.



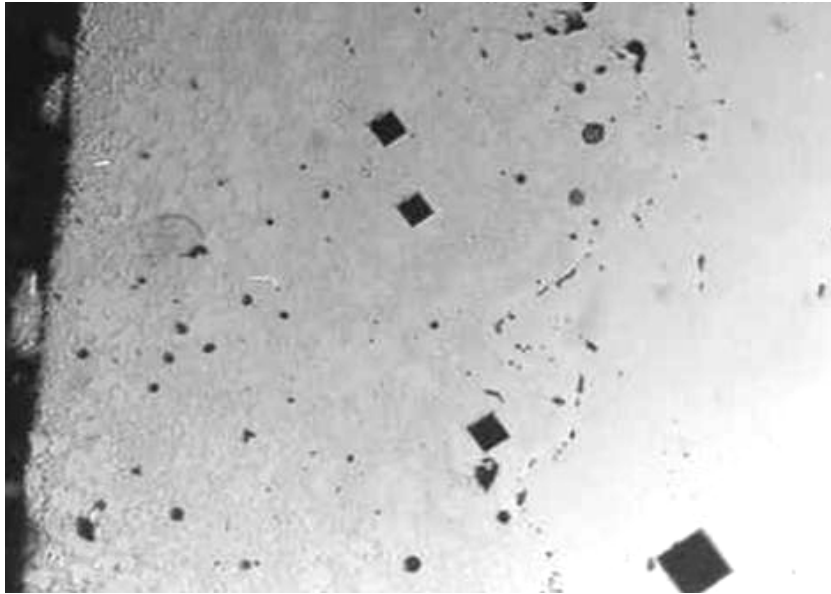
Fotomicrografía N° 7 (100X)

La Fotomicrografía N° 8 (100X) muestra la penetración cavernosa de la corrosión por debajo del recubrimiento.



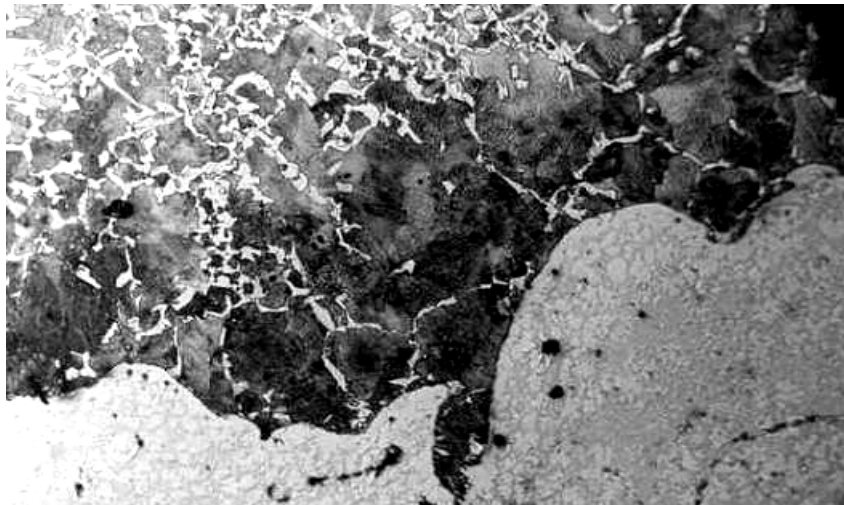
Fotomicrografía N° 8 (100X)

La interfase entre el recubrimiento y el metal base presenta poros más pequeños y discontinuidades por falta de adherencia en todas las áreas observadas (Fotomicrografía N° 9; 200X sin atacar donde, además, se observan las improntas Vickers de microdureza).



Fotomicrografía N° 9 (200X)

El ataque de las probetas con Nital 5 revela una estructura granular recristalizada del metal base del tipo perlítico – ferrítico correspondiente a un acero hipoeutectoide con medio porcentaje de carbono [8,21]. En algunas zonas de la superficie cilíndrica del metal base, inmediatamente debajo de la cubierta dura, se observa un incremento del porcentaje de carbono del acero con mayor presencia perlítica y un notable aumento del tamaño de grano; este efecto es consecuencia de un proceso difusivo de incorporación de carbono en forma superficial mediante algún tratamiento termoquímico (Fotomicrografía N° 10; 200X). Esta estructura desfavorece la adherencia del recubrimiento y pudo surgir de un tratamiento termoquímico aplicado previamente sobre el pistón y luego eliminado de manera parcial.



Fotomicrografía N° 10 (200X)

3.3. Ensayos físicos

Se determinó la dureza del recubrimiento duro por el método de microdureza Vickers con una carga de 300 g, arrojando el siguiente resultado:

$$\text{MHV} = 725$$

3.4. Conclusiones

La falla sobrevino por la gran cantidad de poros que posee el recubrimiento superficial que expuso el sustrato ferroso al contacto con el agua salada. Si bien el cromo activo es levemente más anódico que el acero, la pasivación que el recubrimiento recibe lo hace catódico respecto a las áreas del acero en contacto con el agua salada (electrolito) [19]. Entre el recubrimiento y las zonas expuestas del acero al electrolito a través de los poros, se desarrolla una diferencia de potencial que hace anódico y corrosible al metal base. El alo catódico observado es heredado de esta situación [3]. La corrosión avanza rápidamente por la sinergia del “efecto de área” anódica reducida que aumenta notablemente la densidad de corriente galvánica en esos lugares. El proceso cavernoso de corrosión es típico de estas situaciones. El avance de la corrosión cavernosa produce la destrucción del metal base; luego, el recubrimiento de características frágiles se fractura por carecer del sustrato que lo soporta y se desprende durante el movimiento del émbolo.

El análisis químico del agua bombeada y su pH básico son generalmente bien tolerados por estos recubrimientos.

El espesor del recubrimiento duro es muy elevado en comparación con los usos más frecuentes.

Por último se sugirieron los siguientes paliativos para evitar la recurrencia de la falla:

3.4.1 Tratamiento térmico

Realizar un tratamiento térmico de temple y revenido sobre el acero base para que el carácter frágil del recubrimiento duro transmita las sollicitaciones que recibe a un sustrato más duro y resistente. De esta forma se evita el agrietamiento y posterior fractura de la cubierta dura.

3.4.2 Niebla salina

Realizar un ensayo de niebla salina luego del cromado duro del émbolo para observar su respuesta y resistencia a la corrosión.

4. REFERENCIAS

- [1] E. P. Polushkin, *Defectos y Fallos de los Metales*, Paraninfo, Madrid, 1960.
- [2] Norma IRAM – IAS – U500 – 690, *Aceros Inoxidables*, 2003.
- [3] G. Di Caprio, *Gli Acciai Inossidabili*, Hoepli, Milán, 1979.
- [4] ASM Metals Handbook, *Corrosion*, Vol. 13, ASM Publications, Ohio, 2002.
- [5] P. R. Roberge, *Handbook of Corrosion Engineering*, Mc Graw-Hill, New York, 1999.

- [6] D. Talbot y J. Talbot, *Corrosion Science and Technology*, CRC Press, Florida, 1998.
- [7] Norma IRAM – IAS – U500 – 126, *Inclusiones No Metálicas*, 2003.
- [8] J. Apraiz Barreiro, *Aceros Especiales*, Dossat, Madrid, 1975.
- [9] Norma IRAM – IAS – U500 – 122, *Tamaño de grano*, 2003.
- [10] D. Sférian, *Metalurgia de la Soldadura*, Tecnos, Madrid, 1962.
- [11] Chawla y Gupta, *Materials Selection for Corrosion Control*, ASM International, Ohio, 1993.
- [12] Sandvik Argentina, *Simposio Técnico sobre la Industria del Papel y la Celulosa*, Sandvik, Buenos Aires, 1982.
- [13] M. Solari, C. Llorente, P. Bilmes y otros, *Programa de Tecnología de los Aceros Inoxidables*, Lemit-Cic, volumen 2, La Plata, 1996.
- [14] W. F. Smith, *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*, Mc Graw-Hill, Madrid, 1996.
- [15] Creusot-Loire Industrie Fafer Usinor Group, *Duplex Stainless Steel*, presentación de productos, Buenos Aires, 1998.
- [16] D. R. Askeland, *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Thomson, México, 1998.
- [17] R. W. Hertzberg, *Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials*, John Wiley and Sons, Massachusetts, 1996.
- [18] J. R. Galvele, G. S Duffó, *Degradación de Materiales I – Corrosión*, J. Baudino Ediciones, Buenos Aires, 2006.
- [19] V. Massuet Grau, *Cromado Duro*, J. Montesó, Barcelona, 1957.
- [20] C. Ferrer Jiménez y V. Amigó Borrás, *Tecnología de Materiales*, Alfaomega, México, 2005.
- [21] R. Reed-Hill, *Principios de Metalurgia Física*, CECSA, México, 1979.

Agradecimientos

El autor de este trabajo desea agradecer a las siguientes personas e instituciones por el apoyo brindado: MDP; autoridades de Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda y a los integrantes del Laboratorio de Metalografía y Tratamientos Térmicos de esta última Facultad.