

DETECCIÓN METALOGRÁFICA Y FRACTOGRÁFICA DE FALLAS ORIGINADAS POR CORROSIÓN EN VARILLAS DE BOMBEO

Mauricio E. Garay, M. Del Pópolo y Ana María Furlani
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

Resumen

El principal mecanismo de falla en varillas de bombeo que trabajan en presencia del efecto combinado de tensiones cíclicas en un ambiente corrosivo, corresponde a fatiga por corrosión. Los pits producidos por el medio corrosivo actúan como concentradores de tensión que promueven la fisuración del material en presencia de tensiones fluctuantes. Para su identificación, se analiza la topografía de fractura y se realizan estudios metalográficos, aplicando técnicas de observación macro y microscópicas y análisis fractográfico. Esta metodología, se puede extender además a la detección de otros tipos de falla, que podrían presentar las herramientas en servicio de la industria del petróleo.

Introducción

El presente trabajo consiste en el análisis de varillas de bombeo de uso corriente en la industria petrolera, con el objeto de estudiar el motivo de falla de las mismas en condiciones de servicio.

Para ello se realizan una serie de determinaciones que se detallan a continuación: examen visual, ensayos de tracción, determinaciones de dureza, análisis químico, estudios metalográficos y fractográficos. Remarcando la importancia de estos dos últimos, para la identificación del mecanismo de falla actuante.

Metodología Experimental

Se efectúan los ensayos, anteriormente mencionados sobre dos muestras extraídas de las varillas de bombeo. Las mismas, pertenecen a sarts de pozos diferentes, pero al mismo yacimiento. Una de ellas habría fallado durante el servicio, ocasionando problemas de pesca y su correspondiente reemplazo. Por lo tanto, se analizarán las posibles causas de su falla en servicio.

En ambas barras, se prepararon cortes transversales de las varillas para su observación metalográfica. Además, se practicó un corte longitudinal en una sección de la varilla de bombeo fallada, cerca a la cara de fractura, para realizar el correspondiente análisis de falla.

Se identificaron las probetas como n° 1 y n° 2, siendo esta última la fallada.

Resultados de experimentales

1. Examen visual:

La muestra de la varilla de bombeo fracturada se puede observar en fig. 1. En ella, se puede observar en forma macroscópica la morfología de una de las caras de fractura. Cabe destacar, también, que no se observaron marcas de herramientas en la superficie de la varilla.

2. Ensayo de tracción:

Se mecanizaron dos probetas una de cada barra y se ensayaron a la tracción según Norma ASTM A-370. Los resultados están expuestos en tablas n° 1 y n° 2.

3. Ensayo de Dureza

Se determinó dureza Rockwell C sobre la superficie transversal de las dos barras realizando mediciones en forma diametral. Los resultados se pueden observar en tabla n°3.

4. Análisis químico

La composición química responde a la de un acero AISI 1524 Mod. o SAE 1524. Los resultados se detallan en tabla n° 4.

5. Estudios metalográficos

Sobre las muestras pulidas metalográficamente, se observaron inclusiones globulares tipo óxido, fig. n° 2.

En las muestras con corte transversal, el ataque con nital de las secciones previamente pulidas metalográficamente, revela una estructura martensítica característica de un templado y revenido uniforme. Dicha estructura puede observarse en fig. nº 3.

6. Análisis Fractográfico

Se observó la cara fracturada después de una limpieza química, en el SEM (Microscopía Electrónica de Barrido), con el objeto de comprobar lo analizado por microscopía óptica.

Análisis de los Resultados

1. Examen Visual

La muestra recibida, correspondía a una de las dos mitades, en las que se había fracturado la varilla de bombeo. Por lo tanto sólo se contaba con una superficie de fractura. Basándose en un examen visual de la superficie de fractura, se concluyó que no había evidencia significativa de deformación plástica. Esta falta de estricción de la sección transversal es una característica típica de la fractura frágil. La fractura se produjo, principalmente, en un plano transversal al eje de la varilla; excepto en aquellas regiones en las que la fractura se produjo en forma oblicua.

La textura de la superficie de fractura, en la región de fractura plana es característica, excepto por un aumento en la rugosidad a medida que nos acercamos a la zona de la fractura inclinada (ver fig. nº1). Esta última zona, es típica en los materiales dúctiles que fallan a la tracción.

Una comparación visual de la sección transversal entre el área de fractura dúctil y el área de fractura frágil indicó que el factor de seguridad de diseño de la varilla de bombeo, era el correcto. Por lo tanto, el examen de la varilla de bombeo recibida no reveló ningún cambio dimensional que hubiera podido provocar la fractura.

2. Ensayo de tracción

Responde a los valores especificados por la norma con la cual se llevó a cabo su control de calidad en el momento de su fabricación.

3. Ensayo de dureza

Responde a los valores especificados por la norma con la cual se llevó a cabo su control de calidad en el momento de su fabricación.

4. Análisis químico

Responde a los valores especificados por la norma con la cual se llevó a cabo su control de calidad en el momento de su fabricación.

5. Ensayos Metalográficos

Según la estructura observada, el material fue sometido a un tratamiento de temple y revenido. Esto último se determinó, observando la presencia de un carburo fino coalescido en una matriz ferrítica.

6. Análisis de Falla

Analizando un corte longitudinal del perfil de fractura de la varilla de bombeo nº 2 (fallada), se pueden observar las características más importantes de la misma, fig. nº 4. La cual, revela una fractura frágil dada por una superficie de fractura plana. El área de separación, que se indica en la figura como fractura inclinada, es característica de un material dúctil sometido a tracción.

Sobre el mismo corte, en el área de iniciación de fractura, se señalan las fisuras que se inician a lo largo de la pared exterior de la varilla y en los pits de corrosión, fig. nº 5.

Ampliando una de las fisuras señalizadas, se pueden observar las características típicas de fisuración debida al mecanismo de fatiga por corrosión, fig. nº 6. En ella, se pueden observar fracturas transgranulares. Éstas últimas, son muy comunes en herramientas que han fallado debido a un mecanismo de fatiga. Como se puede advertir, las fisuras penetran hacia el interior de la varilla pero con un comportamiento distinto al inicial. La fisura inicialmente transgranular, se propaga en forma en intergranular con pequeñas ramificaciones. Éste comportamiento, es muy común en las fracturas producidas por esfuerzos en medios ricos en sulfuros; aunque no se descarta la posibilidad de que otro mecanismo de corrosión haya actuado. Por lo tanto, se concluye que las fisuras han sido originadas debido a la severidad del medio en que la varilla estaba trabajando.

Sobre la superficie de fractura, se observa también la presencia de fisuras que se inician en la parte inferior de los pits de corrosión, fig. nº 7. Esto último se confirma según el examen visual realizado.

Por Microscopía Electrónica se observa también en la cara plana de fractura la presencia de corrosión intergranular ver fig. 8, 9 y 10. En la cara inclinada, se puede observar la presencia de dimples característicos de una sobrecarga dúctil, ver fig. 11.

Conclusión

El examen de la varilla de bombeo fallada, reveló que la falla se originó debido a un medio corrosivo. La National Association of Corrosion Engineers (NACE), define como una fractura originada por un medio corrosivo como: “una fractura frágil de un material normalmente dúctil, en el cual el efecto corrosivo del medio es el causante de la mencionada anomalía”. La falla se originó por un comportamiento específico conocido como fatiga por corrosión. El resultado final de dicho mecanismo es la rotura de la herramienta, debido a la combinación de una carga fluctuante y de un medio corrosivo.

La contribución de la corrosión a la fracturación resultó ser evidente por la presencia de pitting, producidos por sulfuros, en el área de iniciación de fractura. La fisuración debida a un ambiente corrosivo se pudo verificar por la presencia de fisuras intergranulares en el análisis fractográfico. La fatiga se evidenció, en los ensayos metalográficos, por la presencia de múltiples fisuras que se iniciaron a lo largo de la superficie de la varilla. La propagación incipiente de las fisuras en forma transgranular indicó también que el material falló debido a esfuerzos cíclicos. Las fisuras iniciadas en el fondo de los pits de corrosión, actuaron como concentradores de tensiones, como así también brindaron un medio corrosivo localizado, en el cual se promovió la fractura en presencia de esfuerzos fluctuantes.

Bibliografía

1. Metals Handbook - Eight Edition - Volume 10 - "Failure Analysis and Prevention"

2. Metals Handbook - Ninth Edition - Volume 12 - Fractography - 1987.
3. M. Ipohorskiy R. J. Acuña - Fractografía: Aplicaciones al Análisis de Fallas - CNEA 490 - 1988.
4. Metals Handbook - Volume 1 - 10 Edition - "Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys", 1990.
5. Donald R. Askeland - "La Ciencia e Ingeniería de los Materiales", Grupo Editorial Iberoamericana, 1987.

PROBETA N° 1	
Diámetro inicial	12,8 mm
Longitud inicial	50,7 mm
Sección inicial	128,68 mm ²
Carga máxima	14600 kg
Resistencia estática a la tracción	113,6 kg/mm ²

Tabla N° 1

PROBETA N° 2	
Diámetro inicial	12,7 mm
Longitud inicial	50,7 mm
Sección inicial	126,68 mm ²
Carga máxima	14900 kg
Resistencia estática a la tracción	117,6 kg/mm ²

Tabla N° 2

PROBETA	DUREZAS HRC							PROMEDIO
N° 1	30	38	36	37	36	39	28	35 ± 2
N° 2	31	40	38	37	36	39	33	36 ± 1

Tabla N° 3

ANÁLISIS QUÍMICO		
Elemento %	Varilla n° 1	Varilla n° 2
Carbono	0,24	0,24
Silicio	0,21	0,25
Manganeso	1,52	1,58
Cromo	0,56	0,57
Níquel	0,04	0,05
Molibdeno	0,29	0,29
Vanadio	0,07	0,08
Fósforo	0,01	0,02

Tabla N° 4

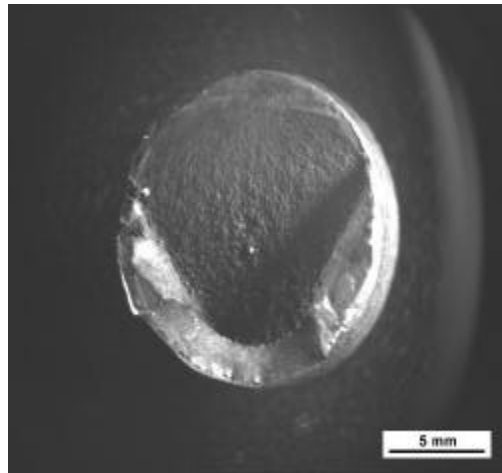
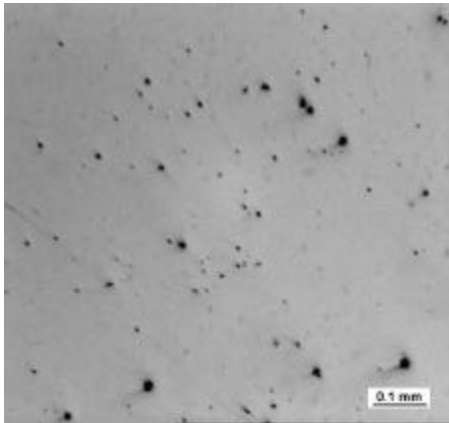


Figura nº 1

Barra Nº1



Barra Nº2

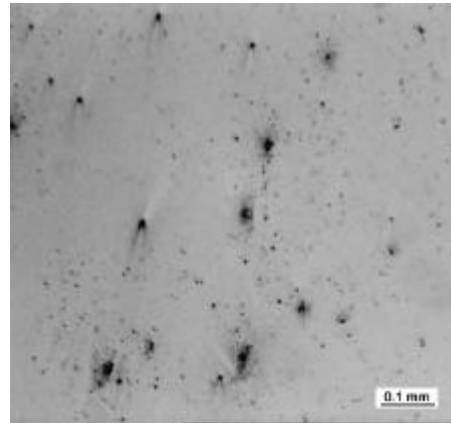
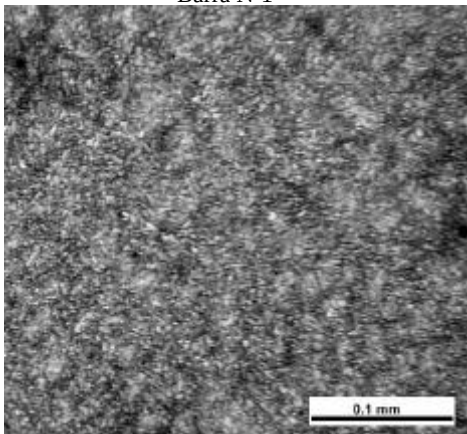


Figura nº 2

Barra Nº1



Barra Nº2

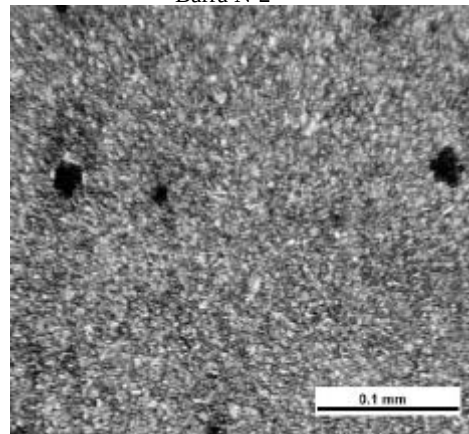


Figura nº 3

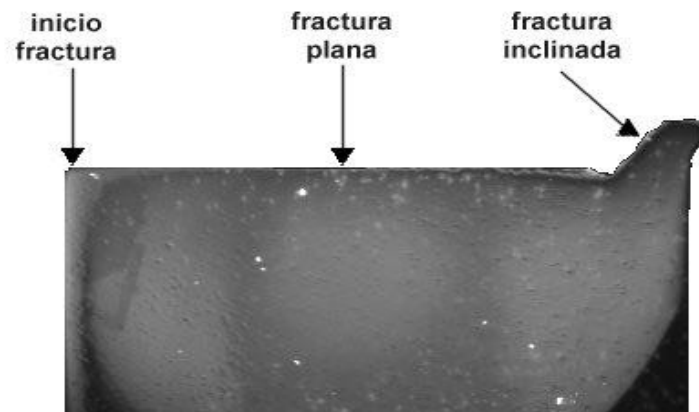


Figura n° 4

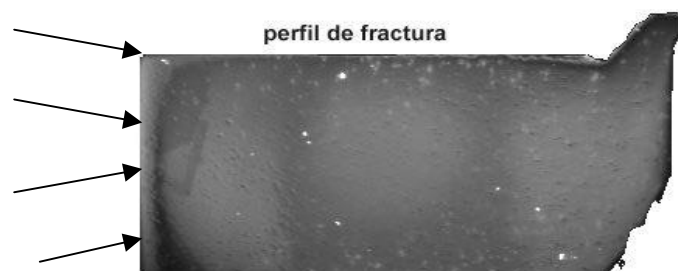


Figura n° 5

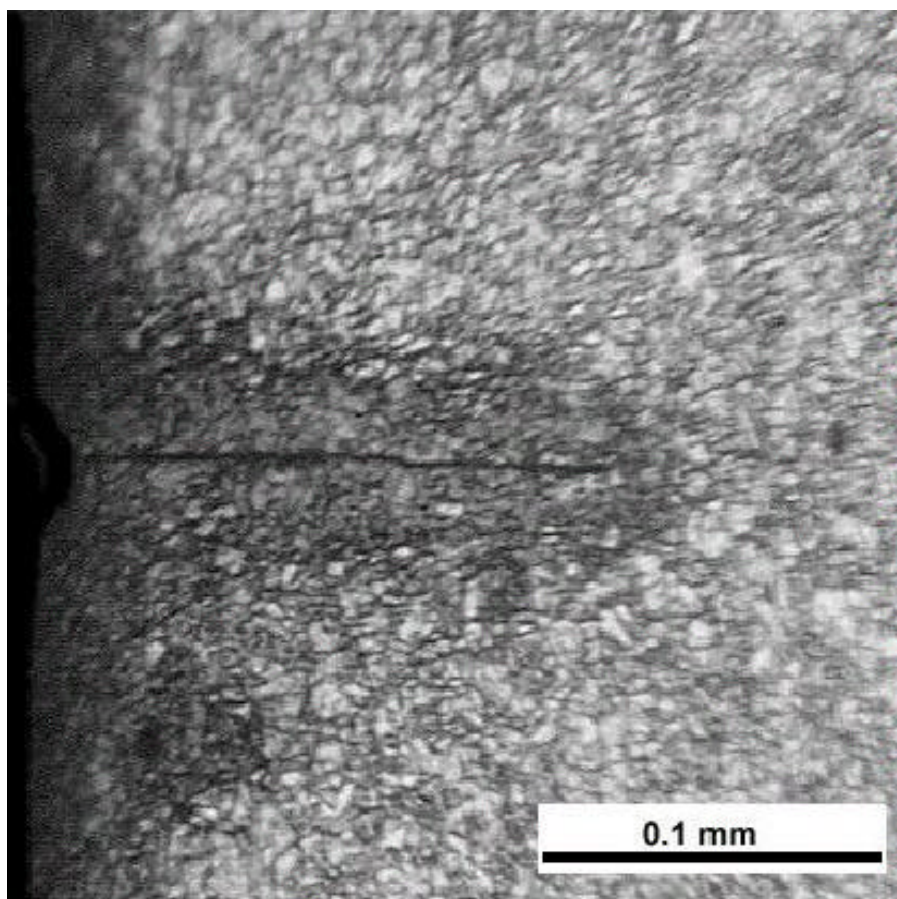


Figura nº 6

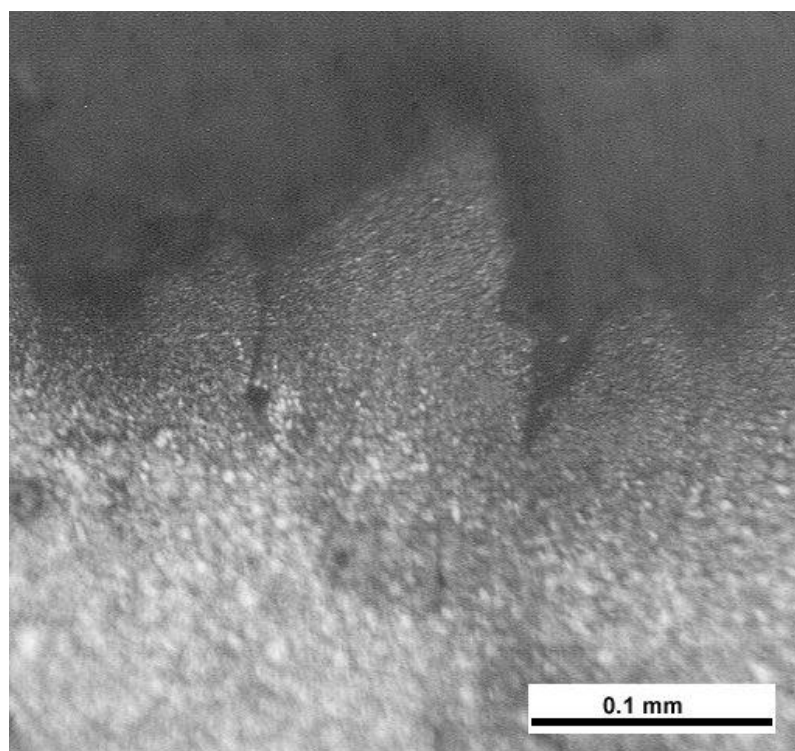


Figura nº 7



Figura nº 8



Figura nº 9

Figura nº 10

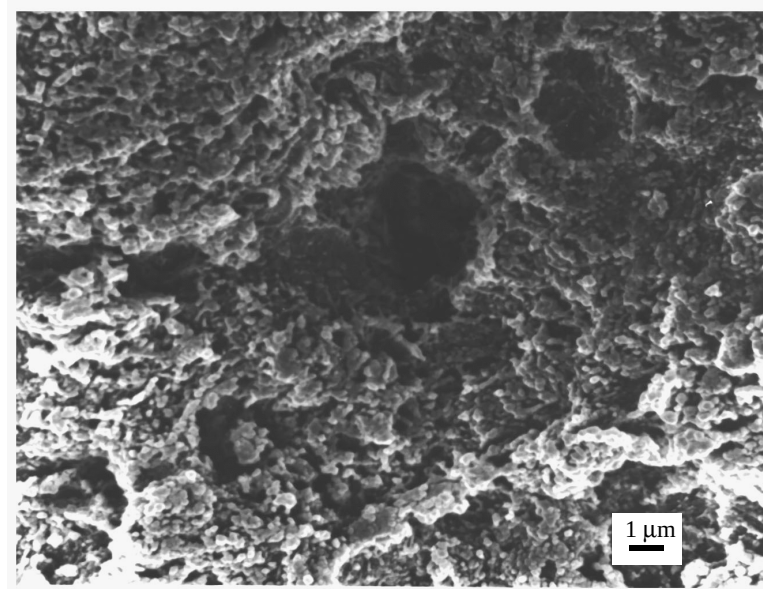
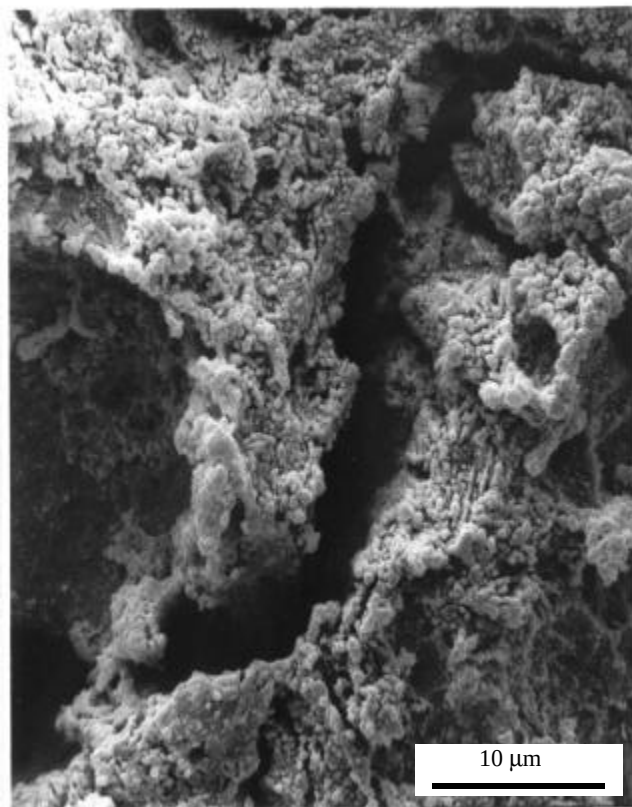


Figura nº 11