

Protección de la tubería principal contra la corrosión en áreas complejas

Protection of the main pipeline against corrosion on complex plots

Alexander Cueli-Corugedo^{I,*}, Oleg Renatovich-Latypov^{II}, Dina Rinatovna-Latypova^{II},
Yosmari Adames-Montero^I

I. Centro de Investigación del Petróleo. La Habana. Cuba

II. Universidad Técnica Estatal del Petróleo de UFA. UFA, Rusia

*Autor de correspondencia: acueli1981@gmail.com

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 20 de febrero de 2019

Aceptado: 2 de abril de 2019

Resumen

Los daños por corrosión en tuberías principales soterradas se presentaron en las áreas de transición suelo-aire causando problemas grave durante su explotación. El objetivo del artículo consistió en determinar el efecto de los recubrimientos heterogéneos sobre la velocidad de corrosión en las partes de las transiciones suelo-aire en una tubería principal. Se emplearon los métodos estándar para medir los valores electroquímicos: pH del medio y diferencia de potencial de electrodo en diferentes áreas de la superficie metálica. Las muestras de tubos empleados en los ensayos se prepararon con distintos recubrimientos anticorrosivos.

Con los resultados de la investigación se demostró cómo la aplicación del aislamiento con materiales heterogéneos condujo a una alta velocidad de corrosión del metal de la tubería en la zona de la transición. El empleo de un recubrimiento uniforme fue una propuesta de solución para reducir la pérdida de metal en un 20% debido a una disminución en la profundidad de las úlceras.

Palabras claves: tubería principal, corrosión, aireación diferencial, recubrimiento protector.

Abstract

Corrosion damage in buried underground pipelines often occurs in the ground-to-air transition areas causing serious problems during operation. The objective of this paper is to determine the effect of heterogeneous coatings on the corrosion rate in the parts of the soil-air transitions in the main pipelines. Standard methods were used to measure the electrochemical values: pH of the medium and difference of electrode potential in different areas of the metal surface. The tube samples used in the tests were prepared with different

anticorrosive coatings. In this work it is demonstrated how the application of the insulation with heterogeneous materials leads to a high speed of the corrosion of the metal of the pipe in the transition zone, however, the use of a uniform coating can reduce the loss of metal by 20 % due to a decrease in the depth of the ulcers.

Key words: main pipeline, corrosion, differential aeration, protective coating.

Cómo citar este artículo:

Cueli Corugedo A, Renatovich Latypov O, Rinatovna Latypova D, et al. Protección de la tubería principal contra la corrosión en áreas complejas. Ingeniería Mecánica. 2019;22(2):74-78. ISSN 1815-5944.

Introducción

Las tuberías principales se extienden ampliamente en la industria del petróleo y el gas, ya que son una forma relativamente barata y ambientalmente segura de transportar hidrocarburos. La parte principal de las tuberías se encuentra bajo tierra y se somete a la corrosión subterránea. Para proteger las tuberías contra la corrosión subterránea, se utilizan principalmente revestimientos aislantes y protección electroquímica [1, 2]. Sin embargo, según el reglamento tecnológico, las tuberías tienen áreas terrestres (compensadores, acoplamientos a las comunicaciones de ingeniería, etc.), en las cuales el principal método de protección contra la corrosión es el revestimiento resistente a la intemperie. Al salir del suelo la tubería principal en su superficie aparecen las zonas de transición suelo - aire. Los estudios demuestran que en estas áreas se observa una alta tasa de corrosión en los tubos.

Según [3], las zonas que se encuentran en la intersección de la línea de separación de los medios de suelo - aire, así como las áreas de la tubería situada en el suelo, se haya en su mayor parte expuestas a la destrucción. Las partes de las transiciones del suelo al aire se someten a la corrosión ulcerosa y filiforme. Hasta la actualidad, el problema de la protección de estas zonas de tuberías contra la corrosión aún no se ha resuelto. Por lo tanto, la eliminación de las zonas de rotura reforzada de la tubería principal en las áreas suelo-aire debido a la corrosión reducirá significativamente el número de accidentes y aumentará la vida útil de las instalaciones.

Un análisis de los datos que se reportan por [4, 5], mostró que las áreas de transición suelo – aire constituyen las más propensas a la corrosión ulcerosa. La corrosión ulcerosa es típica de las construcciones subterráneas, hechas de acero al carbono y de baja aleación, que trabajan en medios que contienen cloruro acuoso.

La corrosión ulcerosa se produce en varias etapas sucesivas:

- 1) etapa de nacimiento;
- 2) etapa de funcionamiento estable del centro de la corrosión;
- 3) etapa final.

Según [5], el mecanismo de este proceso, ocurre como resultado de la falta de oxígeno que produce la disolución acelerada del metal, y a medida que se profundiza el daño, la cantidad de oxígeno disminuye, respectivamente y la velocidad de la corrosión aumenta aún más. Además, como resultado de la difusión a la parte anódica del metal de iones cloruro (Cl^-), el medio corrosivo en el lugar de disolución se vuelve más ácido, lo que hace que la tasa de rotura del metal crezca de forma considerable. Bajo el recubrimiento aislante se encuentran soluciones de sales agresivas, que causan la corrosión ulcerosa. El acceso de oxígeno al metal revestido se dificulta, por lo que las condiciones de aireación diferencial se vuelven más drásticas. La humedad que se origina bajo el revestimiento causa desprendimiento de este último debido a la poca adhesión, se acumula, y contribuye al desarrollo de la corrosión por el mecanismo electroquímico. El revestimiento deja de ser impermeable a la humedad por diversas razones: el aislamiento de baja calidad, el daño de la capa aislante después del impacto mecánico, en caso de contacto con la tubería protegida del medio, a que el revestimiento es inestable, etc.

La corrosión filiforme debajo del recubrimiento aislante aparece como una red de filamentos, mientras que en el recubrimiento de pintura aparece como pequeñas inflamaciones. Este tipo de destrucción de metal es muy difícil de detectar visualmente, ya que los productos de corrosión no fluyen a la superficie. Si se toma en cuenta la alta tasa de destrucción, este tipo de corrosión es extremadamente peligroso, ya que puede conducir rápidamente a lesiones muy profundas a través de la tubería principal [6]. La corrosión bajo capa surge como resultado de la entrada de humedad debajo del recubrimiento, o si una parte del recubrimiento es mucho más delgada que la otra (el punto más delgado será el centro de la corrosión parecida a una rosca). Para tener una comprensión más completa de este proceso de corrosión se considera la aparición de corrosión filiforme y las características de su distribución. Los filamentos en sí son Fe_2O_3 . Al mismo tiempo, los iones Fe^{2+} están presentes en sus partes principales. Cada filamento crece en una dirección arbitraria y no se intersectan entre sí. Al acercarse a una de las hebras, cambia de dirección o deja de crecer. De manera similar en, [7] se ha demostrado experimentalmente que la corrosión filiforme no depende de las características metalúrgicas del acero, de la iluminación o de la presencia de bacterias pero se asocia a la formación de elementos de aireación diferencial. Este tipo de corrosión puede ocurrir bajo películas transparentes y no transparentes. En el aire con alta humedad relativa, la corrosión filiforme también se observa en la superficie del acero sin recubrimiento.

Por su parte, en [8] el análisis de los filamentos mostró una solución concentrada de sales ferrosas. En esta sección del hilo, el agua se absorbe de la atmósfera (o pasa a través de un revestimiento dañado o de mala calidad). El oxígeno también se difunde a través de la película, alcanzando altas concentraciones en la interfaz entre la parte principal del filamento y alrededor del perímetro. En el centro la concentración de oxígeno por debajo. Existe un fenómeno de aireación diferencial, en el que los cátodos son: el extremo de la parte delantera engrosada de la rosca (cabeza), así como todas las áreas de contacto de la película con el metal. En el centro y el frente de la cabeza, los sitios anódicos se concentran, en los cuales se forman iones Fe^{2+} . Se cree que los iones OH^- son partículas y metales que se dividen, ya que la capacidad de los álcalis para destruir la unión entre la pintura y el metal es bien conocida [9,10].

Por la importancia económica que representa para el país el transporte de los hidrocarburos desde los yacimientos hacia las estaciones de tratamiento, se trabaja en el efecto de los recubrimientos anticorrosivos sobre la velocidad de corrosión en las partes de las transiciones suelo-aire de las tuberías troncales.

El objetivo consistió en determinar el efecto de los recubrimientos heterogéneos sobre la velocidad de corrosión en las partes de las transiciones suelo-aire en una tubería principal. Con el empleo de los métodos estándar para medir los valores electroquímicos: pH del medio y diferencia de potencial de electrodo en diferentes áreas de la superficie metálica

Métodos y Materiales

La investigación consistió en determinar el efecto anticorrosivo de los recubrimientos heterogéneos sobre la superficie exterior de la tubería en las partes de las transiciones suelo-aire.

Material de la tubería

Para la realización del trabajo fue utilizada una tubería de acero 09G2S de 305 mm de diámetro. En la tabla 1 se puede apreciar la composición química del acero utilizado, obtenidas por la norma GOST 19281 -89 de la Federación Rusa.

Tabla 1. Composición del acero 09G2S utilizado

| C % | Si% | Mn% | S% | P% | Ni% | Cu% | Cr % |
|------|-----------|-----------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 0,12 | 0,17-0,37 | 1,40-1,80 | ≤0,040 | 0,035 | ≤0,30 | ≤0,30 | ≤0,30 |

Herramientas utilizadas

La herramienta utilizada para determinar la profundidad de la corrosión sobre la superficie de la tubería fue un medidor de soldador universal, con código USHS-3, diseñado para controlar los elementos de corte de una soldadura. Es una plantilla que posee un rango de medición de 0-5 mm, con una precisión de 1mm[11, 12].

Las mediciones de potencial fueron realizadas con un voltímetro digital, con código AM-1083 que posee un rango de medición de voltaje de 200mV-1000 mV con una precisión de $\pm 0,7 \%$ [13].

Realización de los ensayos

Para el desarrollo de la investigación se trabajó en condiciones de ensayos de campo donde se colocaron las muestras en suelos que se humedecieron periódicamente por una solución acuosa de sales. Las muestras se prepararon a partir de tuberías de acero 09G2S con varios tipos de recubrimientos polímero-betún anticorrosivos. A la superficie de algunas muestras se les aplicó un recubrimiento resistente a la intemperie y una asilla bituminosa, mientras que en la superficie de las otras se utilizó completamente masilla bituminosa. Teniendo en cuenta la posibilidad de un revestimiento de mala calidad, a una distancia de 150 mm del final de las muestras, se simuló una ruptura de aislamiento de 40 mm de largo. Las muestras con un recubrimiento uniforme (muestra №. 1) y las muestras con un recubrimiento de materiales diferentes (muestra №.2).El tiempo de exposición para ambas muestras fue de 3 meses a una profundidad de 200 mm desde el generador inferior de las muestras. Durante este tiempo se realizaron mediciones de potenciales con un voltímetro AM-1083 y un electrodo de referencia de cobre/ sulfato de cobre. La medición de profundidad de las úlceras se llevó a cabo mediante un patrón de soldador universal.

Resultados y Discusión

Las mediciones de potencial suelo- muestra se presentan en la tabla 2. Se observa una diferencia de potencial de 100 mVen las partes superior e inferior de las muestras en el suelo negro seco y suelo arenoso y 200 mV de diferencia en suelo negro húmedo. La diferencia de potencial en la superficie de la muestra indica la ocurrencia de corrosión por un mecanismo electroquímico[14].

Tabla 2. Valores promedios de potencial suelo-muestra

| Nº Muestra | Suelo negro húmedo | | | Suelo negro seco | | | Suelo arenoso | | |
|------------|--------------------|-------------------------|----------------|------------------|-------------------------|----------------|----------------|-------------------------|----------------|
| | Parte superior | Parte sin recubrimiento | Parte inferior | Parte superior | Parte sin recubrimiento | Parte inferior | Parte superior | Parte sin recubrimiento | Parte inferior |
| 1 | 0,48 | 0,48 | 0,46 | 0,39 | 0,39 | 0,38 | 0,51 | 0,51 | 0,50 |
| 2 | 0,56 | 0,55 | 0,54 | 0,42 | 0,42 | 0,41 | 0,59 | 0,58 | 0,57 |

Posteriormente, se retiraron las muestras del suelo, se procedió al retiro del aislamiento y se estudió de forma profunda la superficie metálica.

La parte de la muestra No. 1 que se encontraba sobre el suelo no experimentó daños por corrosión filiforme, figura 1; el recubrimiento protegió esta área de las muestras contra la corrosión exterior. Las partes de las muestras en las que se simuló la rotura del aislamiento mostraron una corrosión generalizada no uniforme con una profundidad que no excedió los 0,1 mm en las mediciones.

**Fig. 1.** Parte sobre tierra de la muestras No. 1

La parte inferior aislada de la muestra No. 1 mostró daño por corrosión debajo del aislamiento, encontrándose una corrosión localizada en forma de úlcera sobre la superficie de la tubería, figura 2, con una profundidad de aproximadamente 0,8 mm. Este tipo de corrosión resultó ser más peligrosa que el daño por corrosión filamentososa. En total, alrededor del 5% de la superficie de la muestra experimentó corrosión.



Fig .2. Parte subterránea de la muestra No. 1

La parte de la muestra No. 2 que se encontraba sobre el suelo manifestó una corrosión leve, figura 3, las lesiones corrosivas se resaltan en rojo). En total, aproximadamente el 1,5% de la parte superior de la muestras se destruyó por corrosión.



Fig .3. Parte sobre tierra de la muestra No. 2

La profundidad de corrosión no superó los 0,1 mm. Las superficies de las muestras No. 2, en las que se imitó la ruptura del aislamiento, se sometieron a una corrosión general no uniforme, la profundidad del daño resultó ser pequeña y, por medidas, no excedió de 0,1 mm.

En la parte subterránea de las muestras No. 2 se observó corrosión filiforme, y las lesiones por corrosión filamentososa resultaron ser más profundas que las lesiones por úlceras, figura 4. En total, alrededor del 50% de la superficie de las muestras evidenció el fenómeno de corrosión.



Fig. .4. Parte subterránea de la muestra No. 2

Se demostró que el uso de aislamiento anticorrosivo a partir de materiales diferentes puede contribuir a la rápida destrucción del metal de la tubería en la zona de transición.

El empleo de un recubrimiento uniforme puede reducir la tasa de corrosión cuando se presentan daños en el de aislamiento, lo que reduce la pérdida de metal en un 20% debido a una disminución en la profundidad de las úlceras.

Se evidenció que debajo del recubrimiento anticorrosivo de la superficie del metal de la tubería, en el campo de las transiciones suelo-aire, surgió una diferencia de potenciales de electrodo entre las partes superior e inferior de las muestras de prueba que originó el desarrollo de la corrosión electroquímica.

El presente trabajo tiene como principales limitaciones el periodo de pruebas de cada uno de los ensayos dado que las condiciones del terreno seleccionada son reales y corresponden a una región de los Urales del Sur de Rusia, se tomaron los meses donde el clima favorecen las mediciones en el campo es por esto que el número de muestras tomadas para la investigación fueron solo dos.

Conclusiones

Se demostró que el uso de aislamiento anticorrosión de materiales diferentes puede contribuir a la rápida destrucción del metal de la tubería en la zona de transición. El uso de un recubrimiento uniforme puede reducir la tasa de corrosión cuando el recubrimiento de aislamiento está dañado, lo que reduce la pérdida de metal en un 20% debido a una disminución en la profundidad de las úlceras y en un 45% del área de la lesión.

Referencias

1. Schweitzer Philip A. Fundamentals of Corrosion. Mecanism, causes, and preventative methods. USA: Taylor and Francis Group; 2010.
2. Latypov Oleg, BD. Method of Controlling Electrochemical Parameters of Oil Industry Processing Liquids. Journal of Chemical and Petroleum Engineering. 2015;51(3-4):283-85.
3. Vázquez, M. La corrosión: el peor de los villanos cuando dominan los metales. Mar del Plata, Argentina: EUDEM. 2018.
4. Adames Montero Y, Colt Vela G, Cueli Corugedo, A, et al. Caracterización de productos de corrosión del acero de construcción de oleoductos mediante el empleo de diferentes técnicas analíticas. Revista GENIC. Ciencias Químicas. 2017;48(1):1-9.
5. Marrero Águila R, Zelaya Reina A. Evaluación de problemas de corrosión en tuberías de una central hidroeléctrica. Revista Tecnología Química. 2014;34(1):11-8.
6. Roberge PR. Handbook of Corrosion Engineering. USA. McGraw_Hill Handbooks; 2012.
7. Domínguez Domínguez JA, Sosa Izquierdo D, Abeledo Rodríguez R. Deterioro experimentado por un oleoducto magistral. Revista Cubana de Ingeniería. 2014;5(3):55-63.
8. Martínez Martin E, Piedra Díaz M, Olmo Velázquez, A. Empleo de emulsiones con soluciones de tensoactivo para el transporte de sustancias de elevada viscosidad. Revista Cubana de Ingeniería. 2015;6(1):51-6.
9. Moran A, Scott Lillard, R. AC Corrosion Evaluation of Cathodically Protected Pipeline Steel. The journal of Science & Engineering. 2019;75(2):144-46.
10. Nieves C, Remolina NE, Hernández AC, et al. Síntesis, caracterización y evaluación de la resistencia a la corrosión de recubrimientos híbridos Sol-Gel base TEOS/MPS sobre la aleación AA2050-T8. Revista de Metalurgia. 2017;53(4):1-12
11. Hongxing L, Jing L, Schaller F, et al. A New Corrosion Mechanism for X100 Pipeline Steel Under Oil-Covered Chloride Droplets. The journal of Science & Engineering. 2018;74(9):947-57.
12. Azoor RM, Deo RN, Birbilis N, et al. Coupled Electro-Chemical-Soil Model to Evaluate the Influence of Soil Aeration on Underground Metal Pipe Corrosion. The journal of Science & Engineering. 2018;74(11):1177-91.
13. Bo Hu, Hang N. Experimental study on the corrosion testing of a buried metal pipeline by transient electromagnetic method. Journal of anti-corrosion methods and materials. 2016;63(4): 262-8.
14. Yang Z, Cui G. Study on the interference between parallel pipelines and optimized operation for the cathodic protection systems. Journal of anti-corrosion methods and materials. 2019;66(2): 195-202.