

6° Encuentro de Jóvenes Investigadores en Ciencia y Tecnología de Materiales - JIM 2017
San Martín, Provincia de Buenos Aires, 17 y 18 de agosto 2017

EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE EN PISTONES DE FRACTURA HIDRÁULICA RECUBIERTOS CON PVD

V. Ronconi¹; T. Lonardi¹; M. Uccellini¹; S.P. Brühl¹

¹Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Concepción del Uruguay, Concepción del Uruguay, Argentina. valentinronconi@gmail.com

Tópico: T01. Materiales Metálicos. **Categoría:** C1. Estudiante de Grado

Resumen

En la industria petrolera, las bombas de fractura hidráulica tienen la tarea de bombear cíclicamente el fluido de fractura, el cual debe llegar a la formación rocosa con un gran caudal y a alta presión. Este fluido presenta en su composición agentes abrasivos tales como arena o cerámico. La compresión del fluido es realizada por los pistones de dichas bombas mediante el movimiento alternativo de los mismos, en el cual produce el ingreso de finos de arena a la superficie intermedia al pistón y sellos, provocando el desgaste localizado de éste.

La tecnología tradicional con que se fabrican los pistones consiste en un recubrimiento de Thermal Spray sobre un sustrato de Acero SAE 1020. La nueva tecnología, desarrollada por Y-TEC y IONAR S.A, consiste en aplicar un recubrimiento dúplex a un acero de Nitruración DIN 34CrAlNi7. Este recubrimiento dúplex consta de un primer proceso de nitruración por plasma, y se complementa con un segundo tratamiento basado en la tecnología PVD, que consiste en la deposición de una monocapa de Al-Cr-N.

El objetivo del presente trabajo consiste en evaluar el desempeño de esta nueva tecnología respecto a la actual. Se evaluó la adhesión del recubrimiento a través de Scratch Test con diferentes cargas y su resistencia a la abrasión mediante desgaste abrasivo, según norma ASTM G-65.

Los resultados arrojaron que en el ensayo de abrasión, la muestra tratada con dúplex perdió el 2% de la masa perdida por la tratada con Thermal Spray. Para el ensayo de Scratch Test se identificó la carga crítica en 130N, respecto a los 85N soportados por la técnica reemplazada, es decir, una mejora del 50%.

Palabras clave: desgaste localizado, acero, thermal spray, nitruración, PVD

Keywords: localized wear, steel, thermal spray, nitriding, PVD

1. Introducción

En la industria del petróleo, el método de extracción de hidrocarburos mediante la técnica de fractura hidráulica o fracking consiste en la inyección a presión de un fluido con el objetivo de estimular la formación rocosa donde se encuentra el mismo, superando su resistencia y provocando una fractura controlada. El fluido utilizado, llamado fluido de fractura posee en su composición agentes abrasivos, denominados de sostén, cuyo objetivo es evitar el cierre de la misma [1]. La alta presión, del orden de los 10.000 psi, se encuentra dada por las bombas de fractura hidráulica. Particularmente, son los pistones de las mismas los que elevan la presión del fluido, mediante su movimiento alternativo de succión y compresión. Durante este ciclo se produce el ingreso de partículas del agente de sostén a la superficie intermedia al pistón y sellos, siendo la principal causa del desgaste del conjunto, que trae como consecuencia filtraciones del fluido de fractura y pérdidas de presión.

En la actualidad, los pistones se encuentran fabricados en acero AISI 1020. Estos aceros poseen gran difusión, debido a que combinan versatilidad, bajo costo y gran disponibilidad en el mercado. Para mejorar sus propiedades, se les aplican diferentes procesos. Para la fabricación de los pistones de las bombas de fractura hidráulica se aplica un recubrimiento a través de la técnica de Spray Térmico, que consiste en la proyección de splats hacia el sustrato mediante una antorcha de gas, resultando en una adhesión puramente por anclaje mecánico. Este recubrimiento

responde bien ante desgaste y corrosión, sin embargo, posee fallas propias de la técnica: heterogeneidad química y micro estructural, porosidad y una frágil adherencia entre metal base y recubrimiento [2-3].

Debido a que el interés práctico radica en aumentar el número de ciclos de fractura soportados por el conjunto de pistones, las empresas Y-TEC y IONAR S.A realizaron una nueva propuesta, basada en la utilización de un acero de nitruración Böhler V820 como material base. A este acero se le aplica un recubrimiento dúplex. Primeramente sometido a nitruración iónica, tratamiento realizado por la empresa IONAR S.A, con el objetivo de obtener una alta dureza y ajustándose los parámetros evitando la formación de una capa de compuestos que perjudique la adhesión del PVD [4]. Se complementa mediante un recubrimiento de CrAlN que resulta extremadamente duro y resistente a la abrasión, depositado a través de la técnica PVD (Physical Vapor Deposition), proceso realizado por la empresa Oerlikon Balzers.

En el presente trabajo se desarrollan metodología y resultados de laboratorio realizados en el Grupo de Ingeniería en Superficies, UTN - Facultad Regional Concepción del Uruguay, comparándose la resistencia al desgaste y la adhesión de ambos recubrimientos. También se muestran los resultados de pruebas de campo en probetas testigos realizadas en pilotos tecnológicos, por Y-TEC, verificándose estos resultados.

2. Metodología

Se recibieron 5 diferentes grupos de probetas como se puede ver en la Tabla 1.

Se denominaron ST a la tratada con Thermal Spray y N a las muestras basadas en la nueva tecnología. El número que precede a la letra N responde a diferentes variantes que se consideraron dentro de la nueva propuesta.

Con respecto a la geometría, las mismas fueron cortadas de diferentes pistones testigo, por lo que presentaban una superficie curva.

Los ensayos realizados fueron Scratch Test, evaluándose la adhesión entre el recubrimiento y el sustrato, y Desgaste Abrasivo, verificando la resistencia al desgaste.

El ensayo de Scratch Test se realizó con diferentes cargas, constantes, 5mm de longitud de carrera y un indentador Rockwell C, según norma ASTM C1624.

Los perfiles de las huellas fueron tomados mediante perfilómetro mecánico marca Mitutoyo.

El ensayo de Desgaste Abrasivo se realizó siguiendo la norma ASTM G65 "DSRW" para materiales duros, con carga de 130N y durante 25 minutos. Se utilizó arena AFS 35/50.

La pérdida de masa fue medida mediante balanza electrónica marca Scientech, con una precisión de 0,1 mg.

Las probetas fueron observadas con Microscopios Óptico y Electrónico.

Tabla 1. Probetas con las que se trabajó

N1	N2	N3	N4	ST
V820	V820 + Nitruado	Nitruado + PVD (Dúplex)	Dúplex + Rectificado	1020 + Thermal Spray

3. Resultados y Discusión

3.1 Desgaste Abrasivo

En un principio se ensayaron las muestras con carga de 56 N y 5 minutos, resultando en pérdidas de masa indetectables o dentro del error del instrumento, a excepción de las probetas N1 y ST. Fue por esto que se eligió un procedimiento más severo de la norma ASTM G65, de 25 minutos con carga de 130 N.

La pérdida de masa promedio de los grupos se muestra en la Tabla 2.

Considerando la resistencia al desgaste abrasivo como la inversa de la pérdida de masa, se observa que el dúplex + rectificado (N4) es aproximadamente 30 veces más resistente que el tratamiento actual (ST). Cabe destacar que para el caso de la dúplex, en una de las muestras el recubrimiento rompió, sin embargo, la pérdida de masa no fue alta, por lo que se supone que el fallo se dio hacia el final del ensayo. En la figura 1 se muestra el mencionado fallo, en la probeta N4.

La mejora no resultó tan buena para el caso de la muestra dúplex sin rectificar (N3). Esto se justifica debido a que el ensayo provocó la rotura de las crestas del material base. La probeta fue observada en microscopio óptico (SEM), donde se comprobó que el material base había sido descubierto, por lo que el recubrimiento se dañó.

Tabla 2. Pérdidas de masa promedio

	N1	N2	N3	N4	ST
[mg]	390 ± 1	184 ± .5	3.9 ± .5	1.4 ± .5	48 ± 1

Para el caso de las muestras de material base (N1) y únicamente nitrurada (N2) la pérdida de masa fue alta comparada con la probeta de la tecnología actual (ST), por lo que la tecnología no sería aplicable sin el recubrimiento por PVD.

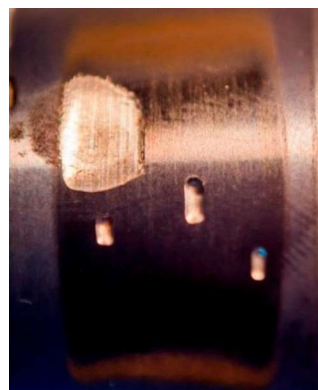


Figura 1. Fallo en probeta N4.

Para el caso de la tratada con Termal Spray (ST) el recubrimiento es muy blando por lo que absorbe energía en procesos erosión y abrasión. Sin embargo, su porosidad y cohesión lo hacen susceptible a los fallos.

3.2 Scratch - Test

En el ensayo de Scratch - Test se emplearon cargas constantes de 30N, 35N, 45N y 50N.

A las probetas tratadas con Dúplex y Thermal Spray se le realizó Scratch - Test con alta carga, 60N, 75N y 85N.

A fin de identificar la carga crítica de las probetas dúplex, se las ensayó a 110N, 130N y 150N.

En los ensayos hasta 50N, las probetas dúplex respondieron perfectamente, sin presentar fallas. La huella en la probeta de V820 superó los 7 µm y los 1.5 µm para el caso de la V820 nitrurada. En la probeta con Thermal Spray, la huella no superó los 3 µm por lo que estuvo lejos del sustrato, sin embargo se observó cierto grado de deformación plástica

En los ensayos de alta carga, realizado para las probetas dúplex y thermal spray, las probetas N3 y N4 mostraron pequeñas fallas y profundidades de huellas del orden de 2-2,5 µm, por lo que se estima que no atravesó el recubrimiento, de espesor aproximado 4,5 µm.

En la probeta ST, la huella alcanzó valores próximos a 5 µm, aún muy lejos del sustrato ya que el espesor aproximado del recubrimiento es de 0.8mm. Sin embargo, se observa un alto grado de deformación plástica.

A continuación, los perfiles obtenidos de las probetas N3, N4 y ST para el ensayo de 85 N. Fig 2, 3 y 4.

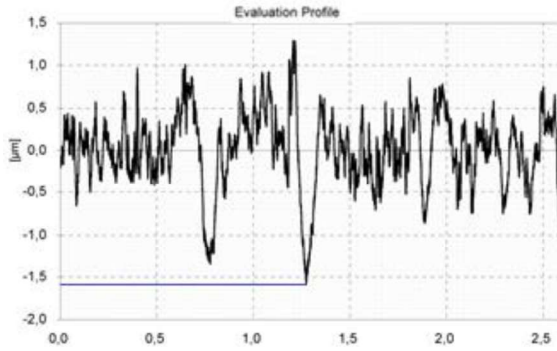


Figura 2. N3. Perfil de Scratch-Test.

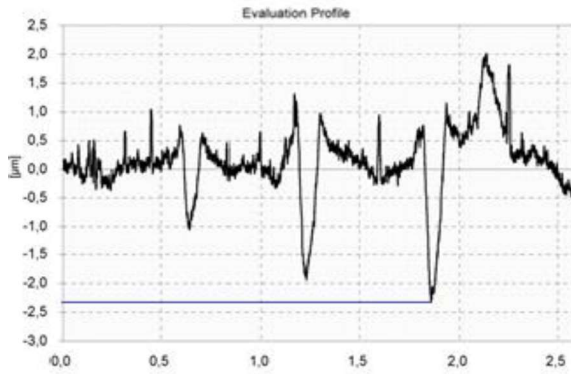


Figura 3. N4. Perfil de Scratch-Test.

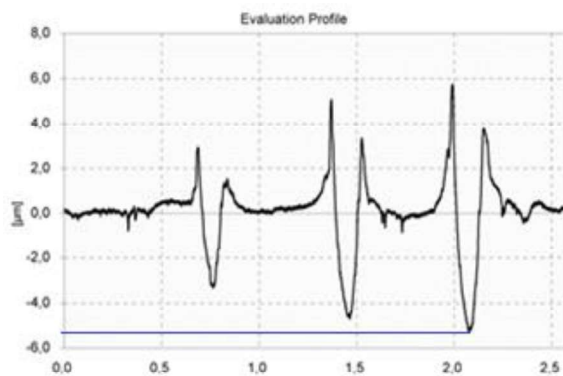


Figura 4. ST. Perfil de Scratch-Test.

También se muestran las imágenes obtenidas con SEM para los ensayos de 85N en las probetas Dúplex y Thermal Spray. Fig. 5, 6 y 7.

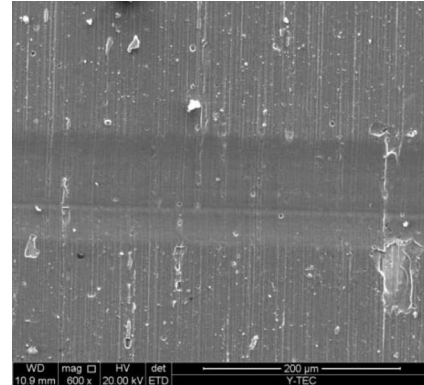


Figura 5. N3. Scratch-Test 85N.

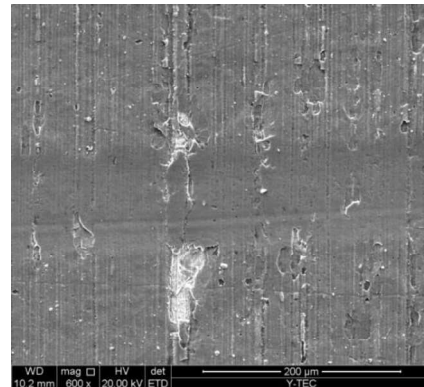


Figura 6. N4. Scratch-Test 85N.

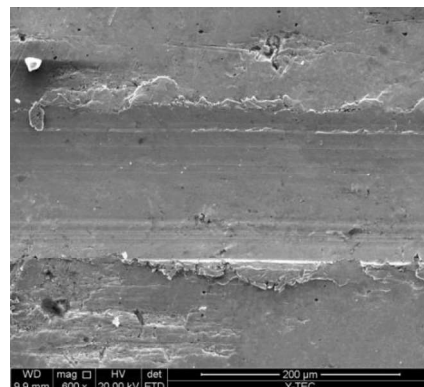


Figura 7. ST. Scratch-Test 85N.

Los ensayos de 110N no presentaron gran variación respecto a los perfiles de 85N, los recubrimientos no rompieron. En los ensayos de 130N se observaron pequeñas roturas en los bordes. Con la carga de 150N, la rotura se hizo notoria, por lo que se calificó la carga crítica en 130N. A continuación, fotos con microscopio óptico para el caso Dúplex + Rectificado y cargas de 130 y 150N. Fig. 8 y 9.

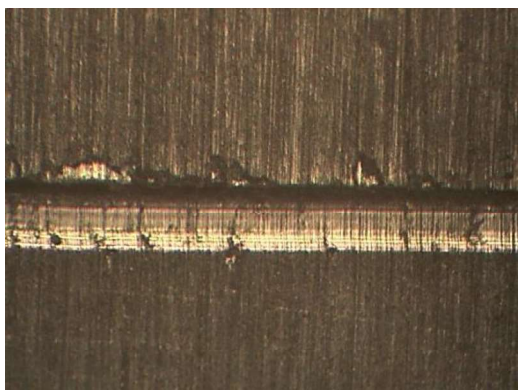


Figura 8. N4. Scratch-Test 130N. 200x.

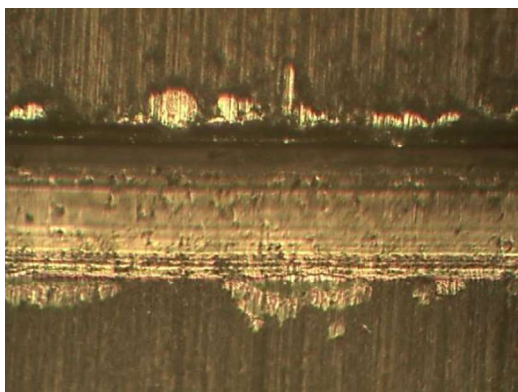


Figura 9. N4. Scratch-Test 130N. 400x.

3.1 Ensayos en Pilotos Tecnológicos de Campo

Y-Tec, en conjunto con las empresas Schlumberger y Calfrac, responsables de la operación de fractura, llevaron a cabo pruebas de pistones Y-TEC – IONAR en un piloto tecnológico de campo (PTC), montado en el Yacimiento de Loma Campana, de YPF. El objeto de la prueba fue comparar el desempeño de 3 de los nuevos pistones respecto a 2 pistones

Standard. Se utilizó un arreglo quintuplex para la bomba, con presiones de fractura medias del orden de los 10.000 psi.

Al cabo de cinco etapas de fractura, los pistones Standard ya mostraban un apreciable desgaste localizado. En tanto, los pistones Y-TEC – IONAR, no presentaban desgaste. En la figura 10 se muestran los resultados finales obtenidos, para las condiciones de fractura del Yacimiento de Loma Campana y para el arreglo quintuplex, en términos de durabilidad de los pistones en función de etapas de fractura soportadas, demostrándose un rendimiento de aproximadamente un 200% mayor de los nuevos pistones respecto de los pistones originales.

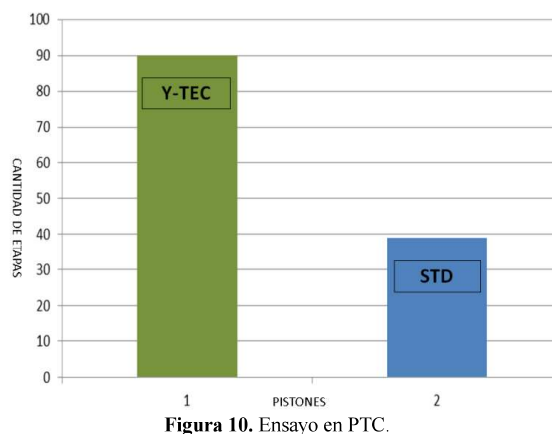


Figura 10. Ensayo en PTC.

4. Conclusiones

Mediante los ensayos realizados se ha verificado que la tecnología nitruración + PVD, propuesta por Y-TEC – IONAR, aplicada a pistones de bombas de fractura hidráulica, representa una alternativa con mayor rendimiento a la tecnología de endurecimiento superficial por Thermal Spray.

Se observó que las muestras Y-TEC – IONAR, con previo rectificado, tuvieron un destacado desempeño al desgaste abrasivo según ASTM G65.

Además, se comprobó que la adhesión entre el recubrimiento y el sustrato es superior en la nueva propuesta, medida por Scratch Test y según norma ASTM C1624.

La comparativa de campo arrojó un aumento del 236 % más de vida útil para los pistones fabricados con la nueva tecnología, repercutiendo en una reducción del tiempo de mantenimiento inter-etapas y una disminución de la cantidad de fugas de fluido de fractura y lubricantes, agilizando la operación de fractura y reduciéndose costos.

Finalmente, el producto puede ser producido en el país, por lo que se simplifican los problemas de stock.

Agradecimientos

A las empresas Y-TEC y IONAR S.A, por poner a disposición toda información necesaria y permitirnos utilizarla en el trabajo.

A la Dra. Eugenia Dalibón, por su colaboración durante la realización del trabajo.

A los becarios del grupo de Ingeniería en Superficies, por la realización de los ensayos.

Referencias

- [1] M. McElroy, X. Lu. Fracking's Future. Harvard Magazine (2013).
- [2] J.R. Davis (ed.), en Handbook of thermal spray technology. ASM International, (2004), 105-107.
- [3] L. Pawlowski, The science and engineering of thermal spray coatings. John Wiley & Sons (ed.), (2008).
- [4] A. Celik, S. Karadeniz. Investigation of compound layer formed during ion nitriding of AISI 4140 steel. Surface and Coatings Technology, (1996), 283-286.