

RESISTENCIA AL DESGASTE DEL ACERO AISI 316 L RECUBIERTO POR ROCIADO TÉRMICO Y UTILIZADO EN IMPULSORES DE BOMBAS WEMCO

*J. P. Granobles^{1,6}, M. Patiño², W. Aperador³, A. F. Torres^{4,6}, J. Caicedo⁵,
F. Correa^{5,6}, N. A. de Sánchez^{5,6,7*}*

1 Estudiante Ingeniería Mecánica, Universidad Autónoma de Occidente. Cali, Colombia

2 Ingeniero, Empresa Sager S.A.

3 Docente, Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia

4 Ingeniero Mecánico, Joven Investigador, Universidad Autónoma de Occidente.
Cali, Colombia.

5 Docente Ingeniería Mecánica, Universidad Autónoma de Occidente. Cali, Colombia

6 Grupo Ciencia e Ingeniería de Materiales, Universidad Autónoma de Occidente.
Cali, Colombia

7 Centro de Excelencia en Nuevos Materiales, Universidad Autónoma de Occidente.
Cali, Colombia

*Contacto: nalba@uao.edu.co

RESUMEN

En este artículo se presentan los resultados de la evaluación mecánica, desgaste por fricción y corrosión- erosión del acero AISI 316 utilizado para fabricar los impulsores de las bombas Wemco, recubierto con carburos de tungsteno mediante la técnica Eutalloy. El análisis de microdureza se realizó sobre la superficie del recubrimiento y sobre la sección transversal del mismo para determinar cambios de esta propiedad a medida que se acerca a la interfase, seguido de un análisis metalográfico en niveles macro y micro. Se realizaron ensayos de corrosión-erosión y corrosión dinámica a ángulos de impacto de 30°, 45° y 90° para evaluar su estabilidad; se encontró que el acero sin recubrimiento debido a los impactos recibidos presentó alta deformación plástica por lo tanto presentó menor pérdida de masa lo que implica una mayor resistencia al desgaste corrosión- erosión, mientras que las probetas con recubrimiento presentaron mayor pérdida de masa en la primera hora de la prueba después de una hora de ensayo a 45° de impacto, presentaron un comportamiento similar al del acero sin recubrimiento.

Palabras Clave: *Eutalloy, Acero AISI 316, Desgaste por fricción, Corrosión-erosión, Pin on disc*

ABSTRACT

Results of the mechanical evaluation, frictional, and corrosion-erosion wear of AISI 316 steel used to make Wemco pump impellers coated with tungsten carbides by Eutalloy technique, are presented in this article. Initially, in order to quantify the effect that the carbide coating has on the properties of AISI 316 steel without coating, a characterization was made. The microhardness analysis was performed on the coating surface and on the cross section as well in order to determine changes in this property as it approaches the interface, and it was followed by a metallographic analysis at micro and macro levels. Finally, erosion-corrosion and corrosion impact tests at angles of 30°, 45° and 90° were carried out. In order to assess their stability, an acid solution of ½ M H₂SO₄ + 3.5% NaCl + 30 % weight in silica was used. It was found that the

uncoated steel showed high plastic deformation due to impacts received, so it showed less loss of mass which means a higher resistance to erosive-corrosive wear, while the coated samples had higher mass loss in the first hour of the test after one hour test at 45° of impact; it showed a similar behavior to that of uncoated steel.

Keywords: *Eutalloy, AISI 316 steel, Friction waste, Corrosion-erosion, Pin on disc*

1 INTRODUCCIÓN

El desgaste por erosión de los materiales ha sido un inconveniente para la industria, este proceso actúa en forma de partículas duras que chocan contra una superficie generando reducción de la vida útil de los elementos mecánicos, los recubrimientos se han perfilado como una solución a estos problemas. En los años 80' y 90' se presentó su mayor desarrollo; gracias a la evolución del rociado térmico como un proceso para aplicar recubrimientos, sus primeras aplicaciones se realizaron para incrementar la resistencia a la corrosión por aplicación de Zinc, [1]. El rociado térmico (THSP) es una técnica mediante la cual partículas finamente divididas de materiales metálicos o no metálicos de revestimiento son depositadas en estado fundido o semi-fundido sobre un sustrato para formar un recubrimiento. El material caliente es proyectado hacia el sustrato por una corriente de gases. La mayoría de los metales, cerámicos, cerments y materiales compuestos pueden ser termorociados [2]. En la presente investigación se estudió el comportamiento frente al desgaste erosivo-corrosivo del acero inoxidable AISI 316, recubierto mediante la técnica de rociado térmico para mejorar su vida útil y aplicarlo a los impulsores de una bomba Wemco.

2 DESARROLLO EXPERIMENTAL

El material de sustrato fue acero inoxidable AISI 316, utilizado para la fabricación de los impulsores de las bombas Wemco. Se fabricaron probetas de diámetro 15.87 mm, y espesor de 4 mm. Para la aplicación del rociado térmico se utilizó carburo de tungsteno en polvo y se proyectó sobre las probetas con una pistola modelo Jet eutalloy 83, los parámetros utilizados para la deposición se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros del proceso de rociado térmico

Parámetros	Valores
Temperatura de la llama (°C)	1100
Tasa de depósito (kg/h)	2 a 6
Caudal de oxígeno (L/h)	1000
Caudal de acetileno (L/h)	950

Se realizó análisis microestructural de la sección transversal de las muestras para obtener una vista del sustrato y el recubrimiento en un mismo plano con una cortadora de disco abrasivo, la cual no induce deformaciones y asegura un corte limpio. Se realizó análisis de microscopía electrónica de barrido, SEM para determinar la topografía del recubrimiento y mediante EDS la composición química. Para evaluar la resistencia a la corrosión erosión se utilizó un equipo de incidencia de

chorro de partícula, como se muestra en la figura 1. Este consiste en un flujo acuoso que se mantiene en movimiento constante por un sistema de recirculación conformado por mangueras, acoples y una bomba de conducción magnética la cual controla la velocidad del flujo, la temperatura del fluido es regulada por medio de una resistencia térmica. La cámara de acrílico permite tener las condiciones adecuadas para realización de los ensayos por ataque directo o por inmersión, y el ángulo de incidencia o ángulo de impacto es seleccionado mediante la posición del porta probeta. El equipo permite controlar tres variables independientes, que son la temperatura del fluido, velocidad del flujo y el ángulo de impacto. Los ensayos se realizaron con un ángulo de impacto de 30°, 45° y 90°. La velocidad de impacto genera una velocidad lineal promedio de la partícula de 18,5 m s⁻¹. El equipo tiene adaptado el electrodo de referencia - ER (Ag/AgCl), el contraelectrodo -EA (platino) y el portamuestras -ET con una área de exposición de la muestra de 1 cm².

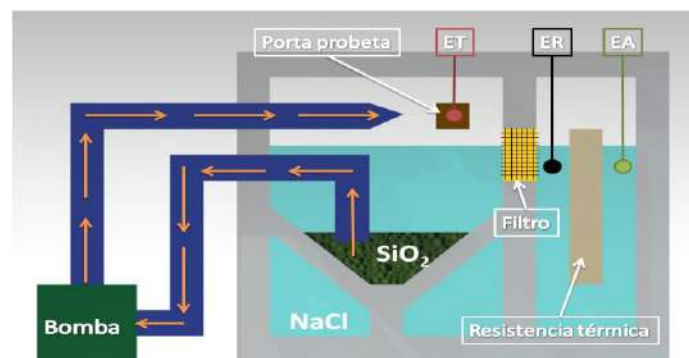


Figura 1. Esquema de dispositivo empleado en las pruebas de desgaste por corrosión-erosión, EA: Electrodo auxiliar, ET: Electrodo de trabajo, ER: Electrodo de referencia

Para evaluar la resistencia a la corrosión dinámica y corrosión-erosión se utilizó un potenciostato – galvanostato Gamry modelo PCI-4 empleando la técnica de curvas de polarización. Se ubicaron las probetas bajo inmersión en una solución de NaCl 0,5 M preparada con agua destilada y partículas de sílice (SiO₂) con tamaño de partícula entre 210 μm y 300 μm bajo una proporción del 20% wt con respecto al medio. La celda compuesta por un contraelectrodo de platino, un electrodo de referencia de Ag/AgCl y como electrodo de trabajo se utilizó el acero 316 con y sin recubrimiento, se trabajó bajo la norma ASTM G3. Adicionalmente las muestras fueron sometidas a desgaste por erosión durante un tiempo total de exposición de 1440 minutos a temperatura de 25°C en una solución de NaCl 0,5 M con partículas de sílice (SiO₂). Durante la prueba de inmersión en una solución de NaCl 0,5 M con la presencia de partículas de sílice (SiO₂). Para determinar la pérdida de peso debido a la erosión, las muestras se retiraron de la solución a intervalos de 15 minutos. La evaluación del fenómeno erosivo se realizó utilizando protección catódica de 1V con respecto al potencial de circuito abierto del acero y el recubrimiento respectivamente de acuerdo con la norma ASTM G 119-93, esta protección catódica mostró daño superficial sólo por efecto de las partículas erosivas.

3 RESULTADOS

En la figura 2 se presenta micrografías del acero inoxidable AISI 316 con recubrimiento de carburos de tungsteno donde se evidencia la interfase entre el sustrato y el recubrimiento, se

aprecia que, por proceso de difusión, material del recubrimiento penetró hacia el sustrato lo cual provocó incremento de la dureza en la zona térmicamente afectada e inicios de grietas intergranulares. Se observa en la zona cercana a la interface que el grano es mayor debido al calentamiento durante el proceso. Así mismo se observa una gota de material semihundido, que posiblemente no logró la coalescencia total con el resto del recubrimiento, por lo tanto quedó atrapada en el interior, un fenómeno normal en este tipo de recubrimientos, posiblemente el material fundido en el recorrido hacia el sustrato se solidifica antes de impactar la superficie. Los resultados de microdureza de los recubrimientos y del acero, son el resultado del promedio de 8 indentaciones realizadas sobre el área del recubrimiento, distanciadas entre sí 100 μm . Los carburos de tungsteno presentaron dureza promedio de 1134 HV, la matriz de níquel 930 HV en promedio y el sustrato de acero inoxidable AISI 316 presentó dureza de 22 HRc.

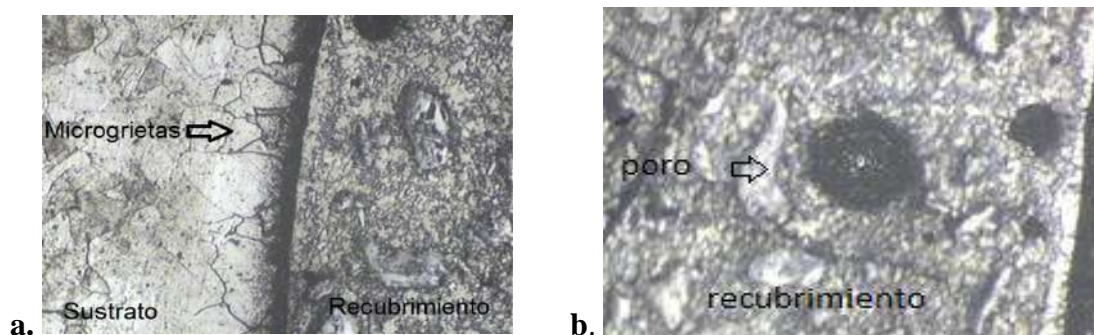


Figura 2. Micrografías del recubrimiento sobre acero AISI 316 a 10 X

Se realizó la prueba de erosión-corrosión a los recubrimientos, se utilizó una solución acida de $1/2\text{M H}_2\text{SO}_4 + 3.5\%\text{NaCl} + 30\%$ de peso en sílice, el tiempo de exposición fue de 3 horas y se varió el ángulo de impacto entre 90° , 30° y 45° . En la tabla 2, se presentan los resultados del porcentaje de pérdida de masa de las probetas con recubrimiento y sin recubrimiento. Cuando se analizan los resultados del impacto de partículas con ángulos de incidencia menores o iguales a 45° ocurre el desgaste por corte o arado y deformación plástica para materiales dúctiles. Se puede deducir que en materiales frágiles se presenta mayor tasa de desgaste cuando las partículas inciden a 90° ; para ángulos de incidencia iguales o menores a 45° la tasa de desgaste se redujeron.

Tabla 2. Pérdida de masa a 3 horas de ensayo con ángulo de impacto de 90°

Material	Pérdida de masa (mg)			Ángulo de Impacto
	1 h	2 h	3 h	
Recubrimiento	1.8 +/- 0.4	0.6 +/- 0.4	0.117 +/- 0.3	90°
Acero	1.2 +/- 0.5	0.4 +/- 0.4	0.106 +/- 0.4	

El impacto normal de las partículas, modifica las constantes elásto-plásticas en la superficie del material lo cual genera transformación de un material dúctil a frágil por endurecimiento producido por impacto. La tasa de desgaste en materiales dúctiles es mínima, es el caso del acero

inoxidable, cuando la partículas lo impactaban repetidas veces con ángulo de 90° , se presentó deformación plástica y la pérdida de material fue insignificante, mientras que en materiales frágiles como el recubrimiento al impactarlo con ángulo de 90° presenta mayor desgaste del material debido a que el impacto genera desprendimiento laminar sobre la superficie del recubrimiento, la pérdida de material se produce principalmente al iniciar el asentamiento y generalmente ocurre en la primera hora del ensayo, este comportamiento para los recubrimientos se aprecia mejor con las curvas de polarización de la figura 3, donde las densidades de corriente de corrosión son tan altas como las que presenta el acero con recubrimiento permite decir que es el que sufre más desgaste. Esto se puede atribuir a que además de los mecanismos de corrosión se puede sumar otro tipo de ataque, de las partículas erosivas que aumentaron el desgaste. Aquí, se puede corroborar la eficiencia del acero inoxidable para resistir al ataque corrosivo, en la gráfica también se observa la resistencia de los materiales expuestos a la corrosión y al efecto sinérgico [3].

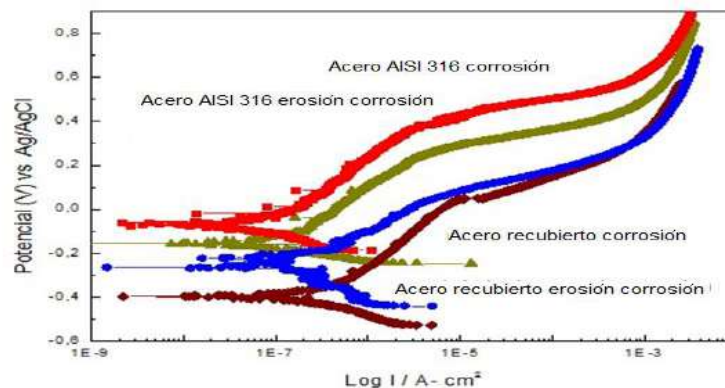


Figura 3. Curvas de polarización dinámicas del ensayo de corrosión y corrosión-erosión con ángulo de impacto de 90°

Se conoce del excelente comportamiento que exhiben los aceros inoxidables frente a la corrosión y las capas cerámicas que contienen elementos como níquel o cromo debido a la capa de óxido protectora que pueden formar sobre su superficie en presencia de medios corrosivos. Sin embargo, cuando la sustancia agresiva contiene partículas erosivas, estas capas de óxidos son seriamente dañadas debido a la gran cantidad de choques sobre su superficie, hecho que implica una nueva formación de la capa de óxido, a su vez un mayor consumo del metal y una gran degradación mecánica que provee sitios de preferencia al medio corrosivo para actuar de manera localizada [4]. Es por este motivo que la acción sinérgica que presenta el medio corrosivo con las partículas erosivas, da mayor resistencia al desgaste en el acero inoxidable (Patrón de comparación) y en la capa del recubrimiento de carburos de tungsteno, lo que conlleva a una mayor pérdida de material pero presenta un buen comportamiento frente al desgaste erosivo-corrosivo.

4 CONCLUSIONES

El estudio del comportamiento al desgaste erosivo-corrosivo del acero inoxidable 316, recubierto con el material por rociado térmico, mostró que es favorable para aplicar en los impulsores de las bombas Wemco porque permitirá conservar por más el tiempo la geometría de diseño del álabe y a su vez aumentar su vida útil. Se observó que los mecanismos de desgaste debido a la sinergia

erosión-corrosión, que se presentaron en el recubrimiento y en el acero fueron diferentes. Mientras que en el acero se presentó el mecanismo de deformación plástica y micro-corte, típico de materiales dúctiles que se podría explicar por el aumento de la dureza y la rugosidad, y en el recubrimiento la remoción de material se debió a la formación de cráteres y grietas, ocasionado por su alta dureza y fragilidad.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sager S.A. “Memorias de Termorociado”, documento editado por la empresa. 2004
2. Galarraga, G; González M; Fernando. F, “Evaluación de la Resistencia al Desgaste abrasivo y erosivo de Recubrimientos tipo Cermet Depositados por HVOF ”. Venezuela, 2006.
3. Aperado,W; “ Mejoramiento de la resistencia a la corrosión del acero AISI 4140 utilizando multicapas de titanio/nitruro de titanio” Revista de Ingeniería Universidad de Antioquia, 120-3-623, 2008.
3. Mesa, G. Dairo Hernán, “Desgaste de materiales”, Documento en línea. Disponible en: [www.utp.edu.co/~dhmesa/pdfs/desgaste.pdf], Universidad Tecnológica de Pereira. Junio 2012.