

Corrosión a alta temperatura de los recubrimientos metálicos NiCr y NiCrBSiFe depositados mediante proyección térmica

High temperature corrosion of coatings NiCr and NiCrBSiFe deposited by Thermal Spray

José L. Tristancho R¹, María P. Holguín P.², Luis C. Ramírez L³.

¹ Doctor en Ciencias de los Materiales, Grupo de Investigación en Materiales Avanzados GIMAV – UTP, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.

^{2,3} Ingeniero Mecánico, Grupo de Investigación en Materiales Avanzados GIMAV – UTP, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. Email: josetris@utp.edu.co

Recibido 15/12/14, Aceptado 15/01/2015

Cite this article as: J. Tristancho, M. Holguin, L. Ramirez, "High temperature corrosion of coatings NiCr and NiCrBSiFe deposited by Thermal Spray", Prospect, Vol 13, N° 1, 32-38, 2015

RESUMEN

Se evaluó el comportamiento de la velocidad de corrosión de los recubrimientos NiCr y NiCrBSiFe depositados mediante proyección térmica sobre láminas de acero hot rolled, sometidos a temperaturas de 400, 450, 500 y 550°C, durante 12, 24, 32 y 48 horas, la evaluación fue realizada a partir de la técnica de pérdida de peso. Se evidenció que los dos recubrimientos proyectados térmicamente forman una capa que protege el material del ambiente corrosivo que se obtiene al calentar el aire a altas temperaturas, aunque las dos aleaciones presenten dicha propiedad anticorrosiva se determinó que el comportamiento de la velocidad de corrosión de las probetas recubiertas con NiCrBSiFe fue mejor que el recubrimiento NiCr, pues el boro y silicio que contiene la aleación actúan como inhibidores de la corrosión.

Palabras clave: Corrosión, alta temperatura, rociado térmico, óxidos, recubrimientos.

ABSTRACT

We assessed the behavior of coatings corrosion rate NiCr and NiCrBSiFe deposited by thermal spraying on hot rolled steel sheets, this coatings has been tested at 400, 450, 500 and 550 Celsius, during 12, 24, 32 and 48 hours, the test was conducted by weight loss technique. We showed that coating produces a oxide layer and protects the substrate from high temperatures, although the two alloys have this anticorrosive property, the behavior corrosion rate of specimens coated with NiCrBSiFe is better than NiCr, because the boron and silicon act as corrosion inhibitors.

Key words: Corrosion, high temperature, thermal spraying, oxides, coatings.

1. INTRODUCCIÓN

La corrosión siempre ha tenido connotaciones negativas, usualmente es asociado al rápido deterioro de un metal pero el conocimiento de su naturaleza nos permite sacar ventaja de este fenómeno, permitiéndonos prolongar la vida útil de nuestro material ferroso en los ambientes más agresivos; la naturaleza de este fenómeno y el manejo de sus características permiten el uso de metales en ambien-

tes agresivos con una excelente durabilidad a bajos costos con notoria reducción de actividades de mantenimiento y control [1].

La iniciación del proceso corrosivo se da en el momento en que el acero queda desprotegido, y la velocidad de propagación depende del medio en el cual este sometido; aire, humedad, agua salada, atmósfera urbana, industrial y rural, vapor de agua, amoníaco, dióxido de sulfuro, va-

pores de combustibles, solventes productos alimenticios, petróleo y sus derivados; la concentración de estos factores es de vital importancia, ambientes con elevadas presiones y temperaturas pueden llegar a ser muy corrosivos, estos ambientes son fácilmente encontrados en la industria química y de alimentos, incluso a la hora de seleccionar un método de protección debe tenerse en cuenta los cambios ambientales o de proceso a los que puede llegar a estar sometido el acero.

La transformación de energía térmica en mecánica o en cualquier otra forma de energía, hace que la eficiencia aumente cuanta más alta sea la temperatura a la que se lleva a cabo la transformación. Esta es la causa de que se pretenda trabajar en condiciones extremas con el fin de ahorrar combustible. Esta tendencia se ve limitada por la respuesta de los materiales bajo estas condiciones a altas temperaturas.

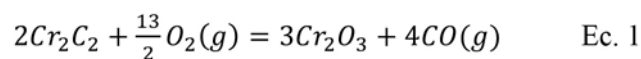
Los ambientes corrosivos pueden provocar la falla de los materiales de los componentes de máquinas y por consiguiente la salida de servicio de las mismas, esto causa altos costos de mantenimiento debido a las paradas no programadas además de la disminución de su productividad. Por lo tanto el estudio de recubrimientos que soporten condiciones corrosivas es muy importante, dado que de acuerdo con los requerimientos de altas temperaturas a las que puedan ser sometidos podrán ser seleccionados. Es por eso que los estudios acerca de la protección del acero, arrojan una amplia gama de posibilidades permitiendo prolongar la vida de piezas o estructuras en funcionamiento tales como; puentes, tanques, estructuras metálicas, vehículos, barcos, aviones, entre otras creaciones ingenieriles.

La selección de los recubrimientos es tan importante como el proceso por el cual se realiza la aplicación de estos, en este caso el estudio se basa en la aplicación de recubrimientos metálicos depositados por proyección térmica. Los procesos de rociado térmico por su aplicabilidad han tenido un notable desarrollo desde 1910. En 1912, el Dr M.U. Schoop en Suiza, produjo el primer aparato para la aspersión de metal sólido en forma de alambre, el aparato fundía un alambre metálico con llama acetilénica y con un chorro de aire comprimido era dirigido al lugar de fusión del material metálico, atomizado el metal fundido y proyectándolo sobre la superficie previamente preparada para recibir el revestimiento [2].

Este proceso presenta gran versatilidad en la deposición de recubrimientos, siendo los mismos usados para protección de componentes contra desgaste abrasivo, adhesivo, erosivo, fatiga superficial y corrosión, además de funcionar como barrera térmica [3]. El rociado térmico es un nombre dado a un grupo de procesos usados para la

deposición de revestimientos metálicos o no metálicos en varios tipos de sustratos que incluyen desde aceros hasta plásticos. El material de revestimiento puede estar en forma de polvo, barra, cordón o alambre [4].

El mecanismo de oxidación de los recubrimientos, base NiCr, juega un papel de suma importancia en el comportamiento general de estos, mientras que este mecanismo de oxidación está bien definido [5,6], el mecanismo de oxidación, en particular, del compuesto combinado Cr_3C_2 ha recibido atención [7]. La oxidación del Cr_3C_2 puede ser descrita como la reacción directa con el oxígeno para formar Cr_2O_3 [8,9]



2. MARCO TEÓRICO

2.1 Corrosión

La corrosión es el ataque destructivo de un metal por reacción química o electroquímica con su medio ambiente, es un proceso natural, en el cual se produce una transformación del elemento metálico a un compuesto más estable, que es un óxido. Nótese que hay otras clases de daños, como los causados por medios físicos; Ellos no son considerados plenamente corrosión, sino erosión o desgaste, existen además, algunos casos en los que el ataque químico va acompañado de daños físicos y entonces se presenta una corrosión-erosiva, desgaste corrosivo o corrosión por fricción.

Nótese que la definición indicada no incluye a los materiales no-metálicos como el plástico y la madera los cuales no sufren corrosión, estos pueden agrietarse, degradarse, romperse, pero no corroerse [10].

- **Corrosión seca:** a temperatura ambiente, la mayoría de los metales tienen una capa muy fina de óxido como resultado de la reacción del metal con el oxígeno de la atmósfera. Este tipo de corrosión es la que se produce en calderas, calentadores y reactores, en la parte donde se hace contacto con los productos de la combustión.

En primera instancia, la capa externa del material se recubre del producto de oxidación, este proceso tiene lugar por difusión, haciéndolo difícil y lento. Los óxidos formados son de carácter iónico (cationes metálicos y aniones de óxido regularmente distribuidos) [11].

La corrosión seca puede parecer improbable, sin embargo, merece la pena recordar que incluso en condiciones totalmente secas tiene lugar algo de corrosión. Esta ha de eliminarse antes de aplicar cualquier forma de revestimiento de protección [12].

- **Oxidación a altas temperaturas:** es la consecuencia de la interacción de un metal y el oxígeno presente en el ambiente. A altas temperaturas los metales reaccionan directamente con la atmosfera gaseosa. Las propiedades de las capas protectoras formadas por las altas temperaturas en los metales, como la estabilidad termodinámica, estructura de defecto iónico y morfología detallada, juegan un papel importante para determinar la resistencia a la oxidación de un metal o aleación.

Para un material dado, la temperatura de operación asume un papel crítico en la determinación de la tasa de oxidación. Cuando la temperatura se incrementa, la tasa de oxidación también aumenta. Los ciclos térmicos causan grietas y asombrosos daños en las escalas de óxido protector, dando como resultado temperaturas de operación permitidas más bajas. Algunos comportamientos de aleaciones (aceros inoxidables austeníticos) actualmente se comportan de la forma opuesta. El incremento del contenido en cromo es la forma más común de mejorar la resistencia a la corrosión. Además del cromo, las adiciones de aleaciones usadas para incrementar la resistencia a la oxidación incluyen aluminio, silicio y níquel [13].

2.2 Rociado térmico

El proceso del rociado térmico es un tratamiento superficial en el que se aplica un material (metal, cerámico o mezcla de ellos) sobre la superficie de un metal base sin afectarlo y con el fin de mejorar sus propiedades superficiales [14].

La apropiada selección del proceso de rociado térmico se determina por: el material deseado en el recubrimiento, los requerimientos de desempeño del recubrimiento, tamaño de la pieza a recubrir y factores de índole económicos.

En todo proceso de proyección térmica se requiere la presencia de dos tipos de energía; térmica y cinética, la primera se hace indispensable para fundir el material a proyectar y la segunda para impartir altas velocidades a las partículas que forman el recubrimiento, todo esto influye en las características (adhesión, cohesión, propiedades mecánicas, etc.) del recubrimiento [15].

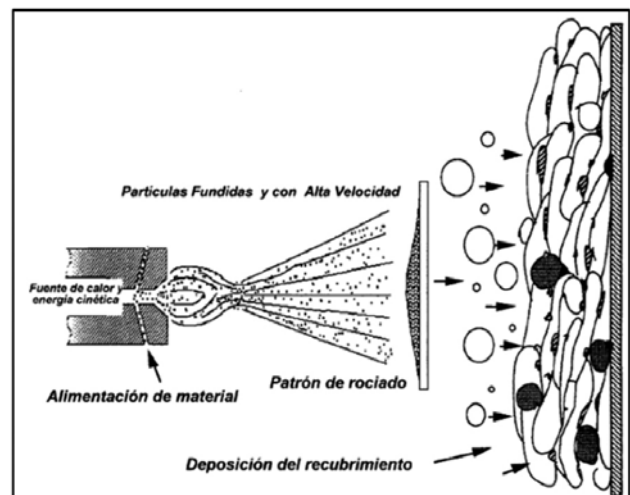
En la tabla 1, se muestra las variaciones de la temperatura de acuerdo a la fuente de calor.

Tabla 1. Fuentes de calor y temperaturas.
Table 1. Heat sources and temperature.

FUENTE	TEMPERATURA °C
Propano – Oxígeno.	2526 – 2640
Gas Natural – Oxígeno	2538 – 2735
Hidrógeno – Oxígeno	2660 – 2690
Propileno – Oxígeno	2843
Acetileno – Oxígeno	3000 – 3100
Arco	4500 – 5500
Plasma	10000 – 28000

Los aspectos fundamentales del proceso de proyección térmica se ilustran en la figura 1, la cual muestra partículas impactándose sobre una superficie previamente preparada para formar una estructura laminar característica de los procesos de proyección térmica.

Figura 1. Deposición del recubrimiento [16].
Figure 1. Coating deposition [16].

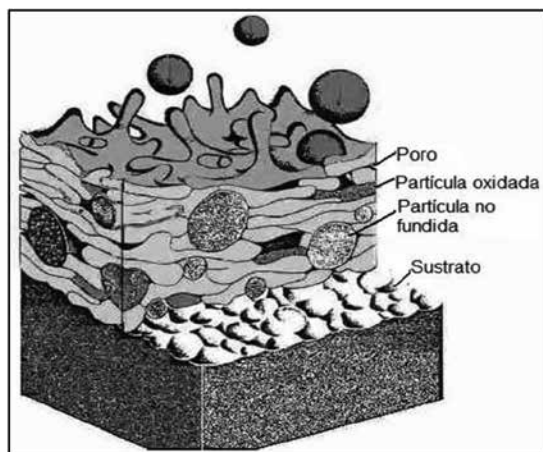


2.3 Estructura de los recubrimientos por proyección térmica

Los rasgos más importantes de un Recubrimientos por Proyección Térmica (RPT), cuya combinación determina las propiedades de dicho recubrimiento, incluyen la estructura laminar o resolidificadas, los poros, las inclusiones de óxidos, los granos, las fases presentes, las grietas y las intercaras de la adhesión. La figura 2 ilustra esquemáticamente las características típicas de un RPT y hace una representación de la microestructura de éste.

Figura 2. Estructura del recubrimiento por proyección térmica [17].

Figure 2. Thermal spray coating structure [17].



2.4 Propiedades de los recubrimientos por proyección térmica

Las propiedades de los recubrimientos por proyección térmica se expresan usualmente en términos de:

- Adherencia con el sustrato.
- Dureza.
- Resistencia a la corrosión-oxidación.
- Propiedades térmicas.
- Propiedades eléctricas, tales como la conductividad, resistividad y resistencia dieléctrica.
- Propiedades magneto-ópticas, como la absorbencia y la reflectividad.
- Maquinabilidad.

La importancia relativa de estas propiedades se basa en la función para la que el recubrimiento ha sido diseñado. Las características del recubrimiento tales como la porosidad, la cohesión de los splats y el contenido de óxido, tienen un peso importante en las propiedades descritas.

3. METODOLOGÍA

Probetas de acero laminado en frío (cold Rolled) con dimensiones de 4x4x1.7 cm fueron sometidas a granallado con balines de acero de 0.05cm de diámetro a fin de obtener sobre ellas una superficie adecuada para la aplicación de cada uno de los recubrimientos (NiCr y NiCrBSiFe), antes de depositar los recubrimientos los especímenes fueron sometidos a chorro de aire caliente para eliminar cualquier tipo de impureza que evitara la buena adherencia de los mismos. La tabla 2 muestra la composición del acero utilizado como sustrato.

Tabla 2. Composición química del acero Cold Rolled.
Table 2. Chemical composition of Cold Rolled steel.

Carbono	Manganeso	Fosforo	Azufre
0.08%Max	0,25% - 0,40%	0,04%Max	0,05%Max

Se utilizaron revestimientos metálicos pulverizados de la siguiente denominación Eutalloy 29021 compuesto por NiCr y Eutalloy 10112 compuesto por NiCrBSiFe, el equipo utilizado para recubrir las láminas fue la antorcha EUTALLOY junto a un equipo de soldadura oxiacetilénica para su funcionamiento. Las tablas 3 y 4 muestran los datos técnicos de cada recubrimiento.

Tabla 3. Datos técnicos del recubrimiento Eutalloy 29021 [12].

Table 3. Technical data Eutalloy 29021[12].

Tamaño de grano	32 micropulgadas
Temperatura de servicio (máx.)	~ 539 °C
Dureza (matriz)	~ 32 - 35 HRC
Dureza (micropartículas)	~ 1350 HV

Tabla 4. Datos técnicos del recubrimiento Eutalloy 10112 [12].

Table 4. Technical data Eutalloy 10112[12].

Tamaño de grano	20 a 125 micrones
Temperatura de servicio (máx.)	~ 550 °C
Dureza (matriz)	~ 64 HRC
Dureza (micropartículas)	~ 1900 HV

La aplicación de los recubrimientos se realizó bajo los siguientes parámetros: presión de oxígeno 25psi, presión de acetileno 11psi, distancia de aplicación 150mm, ángulo de deposición o incidencia del chorro de partículas fue cercano a los 90°, pues este ángulo debe estar entre 45° y los 90° pues a medida que se acerca al valor superior decrece la porosidad [18]. Inicialmente se precalentó el sustrato con una llama neutra para luego aplicar el revestimiento, se hicieron pruebas de doblez hasta verificar que el proceso había sido puesto a punto y garantizar la adherencia del material. Cada probeta fue rociada térmicamente y se hicieron dos recorridos rociando el polvo por toda la superficie y así asegurar una capa del grosor necesario para proteger el acero.

Una vez listas las probetas se tomó una muestra para medir características de los recubrimientos. La rugosidad fue

obtenida con rugosímetro SJ-201, los espesores con un equipo PosiTector 6000 y la adherencia del recubrimiento con un medidor de adhesión para prueba pull off.

Para evaluar el comportamiento de los recubrimientos se realizaron pruebas de oxidación a alta temperatura en horno con atmósfera controlada. Las temperaturas de ensayo fueron: 400, 450, 500 y 550°C, durante tiempos de exposición de 12, 24, 36 y 48 horas. La limpieza de los productos de corrosión se realizó con un cepillo de cerdas suaves para no retirar material del recubrimiento. Las probetas fueron pesadas antes y después de ser sometida a ensayo de oxidación a alta temperatura.

4. RESULTADOS

De acuerdo con la medición de las características de los recubrimientos se obtuvo que para el recubrimiento NiCr se presentan espesores entre 113,33-219,33µm y rugosidades entre 15,04-22,37µm, mientras para el NiCrBSiFe espesores entre 66,20-127,80µm y rugosidades entre 7,04-13,16µm. Con el primer recubrimiento mencionado se obtienen mayores espesores y rugosidades que con el segundo, debido a su morfología y sus agentes aleantes al interactuar con las altas temperaturas que involucra el proceso de dispersión térmica. En la tabla 5 se muestran los resultados de la prueba de Pull-Off.

Tabla 5. Resultados prueba de Pull-Off
Table 5. Test Pull-Off Results.

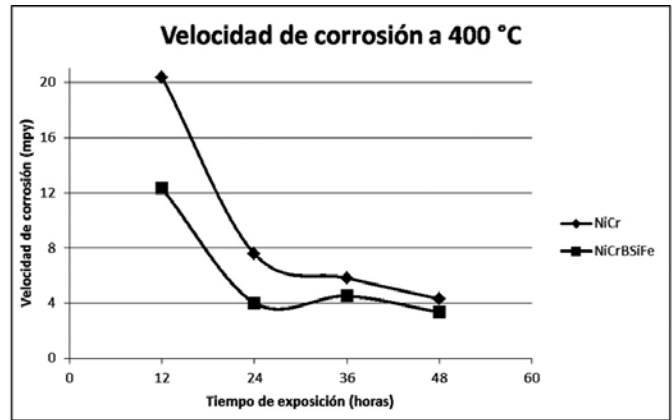
Adherencia Pull-Off			
Recubrimiento NiCr		Recubrimiento NiCrBSiFe	
Probeta	Psi	Probeta	Psi
1	49	1	91
2	86	2	114
3	55	3	199
4	53	4	71

Como se observa en la tabla 5 se presenta mayor adherencia en el recubrimiento NiCrBSiFe esto es debido a que este presenta un tamaño de partícula menor a el recubrimiento NiCr generando mayor calentamiento en el primer recubrimiento llevándolo a su estado plástico más fácilmente logrado que más cantidad de recubrimiento se deposite sobre la superficie metálica bajos las mismas condiciones de ensayo.

Los resultados de las pruebas de oxidación a alta temperatura y el comportamiento de la velocidad de corrosión se muestran en las figuras 3, 4, 5 y 6.

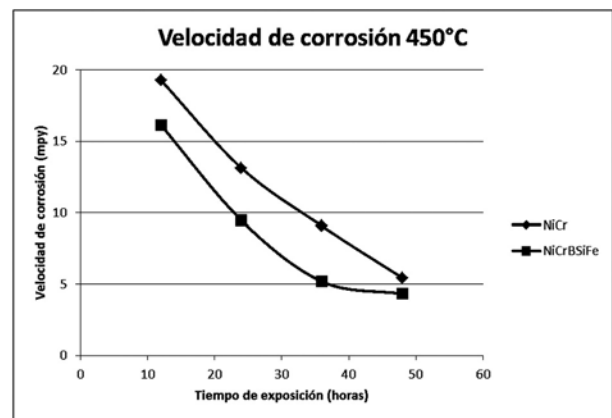
En la figura 3 se observa que las velocidades de corrosión de los dos recubrimientos tienen un comportamiento similar, pero las del NiCrBSiFe son menores. Se observa también que aunque el recubrimiento NiCr tiene mayores velocidades de corrosión tiende a converger en algún punto con las velocidades de corrosión del otro recubrimiento estudiado, pues las gráficas se acercan la una a la otra en función del tiempo.

Figura 3. Velocidad de corrosión a 400°C.
Figure 3. Corrosion rate to 400°C.



Para las pruebas realizadas a 400°C a diferentes periodos de tiempo no se observa que el comportamiento de los recubrimientos mencionados sea suave dado que se nota la presencia de cierta oscilación, lo que puede significar que hubo un rompimiento de la capa de óxido protector que se forma por la interacción del recubrimiento y la atmósfera que lo circunda.

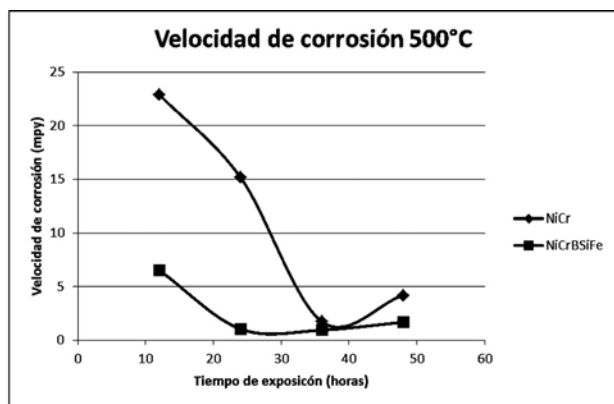
Figura 4. Velocidad de corrosión a 450°C.
Figure 4. Corrosion rate to 450°C.



De acuerdo con la figura 4. El comportamiento de los recubrimientos es más suave en el intervalo de tiempo que se realizó la prueba, las dos gráficas disminuyen con el tiempo, pero se puede ver que la velocidad de corrosión

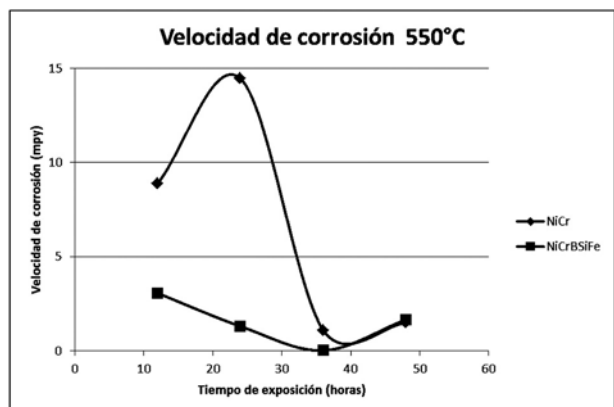
del NiCr tiende a decrecer linealmente, mientras la del NiCrBSiFe se estabiliza logarítmicamente en un valor cercano a 4 mpy.

Figura 5. Velocidad de corrosión a 500°C.
Figure 5. Corrosion rate to 500°C.



En la figura 5 se puede ver que el comportamiento de los recubrimientos cuando fueron sometidos a la temperatura de 500°C cambio drásticamente, pues el NiCr en las primeras 24 horas de la prueba muestra velocidades de corrosión mayores a las de las pruebas realizadas a 400°C y 450°C, pero esta velocidad cae súbitamente en las 36 horas y comienza a crecer a partir de este intervalo de tiempo. Mientras en el NiCrBSiFe presentó velocidades de corrosión menores a las obtenidas a 400 y 450°C durante toda la prueba, la gráfica muestra que la velocidad de corrosión cae en los de las 12 a las 36 horas y crece levemente de las 36 a las 48 horas, el crecimiento es tan leve que se puede pensar en que la velocidad se estabiliza a partir de las 24 horas, sin embargo solo es una hipótesis pues para poder asegurar lo anteriormente dicho se debe aumentar el tiempo de exposición de las probetas a altas temperaturas.

Figura 6. Velocidad de corrosión a 550°C.
Figure 6. Corrosion rate to 550°C.



Al comparar la figura 6 con las figuras correspondientes a las pruebas realizadas a las temperaturas de 400, 450 y 500°C se puede ver que la velocidad de corrosión del NiCr a 550°C comienza a crecer luego disminuye y por último vuelve a crecer, estas fluctuaciones pueden indicar el rompimiento de la capa protectora, igual sucede con el recubrimiento NiCrBSiFe. De acuerdo con lo anteriormente dicho y con base en las gráficas mostradas se puede decir que la temperatura óptima de trabajo NiCr está por debajo de los 450°C y para el NiCrBSiFe está por debajo de los 500°C para evitar que las capas de los óxidos de los aleantes formados se rompan y como consecuencia continúe la oxidación del material que se desea proteger.

El comportamiento de los recubrimientos analizados a distintas temperaturas muestra que el NiCrBSiFe presenta menor velocidad de corrosión que el NiCr, dado que al adicionar otros elementos al NiCr se puede reducir la velocidad de corrosión, porque el SiO₂ se forma con preferencia al Cr₂O₃, pues el silicio tiene energía de oxidación más negativa que el cromo, cuando el silicio reacciona con el aire da lugar a oxidación y este forma una capa protegiendo al material de un ataque posterior, dicha capa se repara así misma al dañarse por algún motivo [19].

Además del silicio es otro compuesto de aleación que al reaccionar con el oxígeno forma una capa protectora de B₂O₃ la cual puede pasivar la superficie del recubrimiento y así evitar que la oxidación continúe hacia el recubrimiento y el sustrato. El carácter inhibitorio del boro es debido a su estructura tridimensional la cual permite que haya múltiples enlaces entre el boro y el oxígeno [20].

5. CONCLUSIONES

- La realización de pruebas de oxidación a alta temperatura permitió determinar el mejor comportamiento de las superficies recubiertas con los recubrimientos metálicos NiCr y NiCrBSiFe en comparación con las superficies descubiertas.
- Aunque las aleaciones inoxidables se basan en cromo y aluminio es necesario utilizar otros elementos que presenten mejores características que no poseen los compuestos anteriormente nombrados como: difusividad y solubilidad con el oxígeno, además que la capa protectora que se forme sobre la superficie del recubrimiento tenga la capacidad de repararse, para garantizar una mejor respuesta frente a ambientes corrosivos.
- Evaluar el comportamiento de los recubrimientos por método gravimétrico exige que las pruebas se realicen en periodos de tiempo más largos.

- Los recubrimientos depositados mediante proyección térmica hacen que recubrir y proteger una pieza que se desea someter a altas temperaturas sea más fácil y rápido, debido a las ventajas del proceso.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su más sincero agradecimiento a COLCIENCIAS y a la VICERECTORÍA DE INVESTIGACIONES DE LA UTP por su apoyo por medio del programa de jóvenes investigadores mediante el cual se pudo financiar la presente investigación.

7. REFERENCIAS

- [1] J. Maryulanda, A. Zapata, E. Izasa, "Protección contra la corrosión por medio del rociado térmico", *Scientia et Technica*, 34, 237 – 242, 2007.
- [2] B. Posada, D. Gamboa, (2007) "Protección Contra la Corrosión en Sales Fundidas de un Acero por Rociado Térmico con una Aleación Níquel Cromo en el Rango de Temperatura de 500 c a 650". *Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira*.
- [3] E. Lugscheider, H. Eschnauer, U. Muller, T. Weber, "Thermal spray technology", *Powder Metallurgy International*; 23, 33-39, 1991.
- [4] H. Ni, X. Liu, X. Chang, W. Hou, W. Liu, J. Wang, "High performance amorphous steel coating prepared by HVOF thermo spraying", *Journal of Alloys and compounds*. 467. 163 – 167. 2009.
- [5] S. Matthews, B. James, M. Hyland, "High temperature erosion – oxidation of Cr₃C₂ – NiCr thermal spray coatings under simulated turbines conditions". *Corrosion Science*. 70, 203 -211. 2013.
- [6] N. Birks. Introduction to high temperature oxidation of metals, U.K, *Edward Arnold Eds*. 1983.
- [7] S. Matthews, B. James, M. Hyland. "The role of microstructure in high temperature oxidation mechanism of Cr₃C₂ . Ni-Cr composite coatings", *Corrosion Science*, 51, 1172-1180, 2009.
- [8] P. Berthod. "Influence of chromium carbides on the high temperature oxidation behaviour and on chromium diffusion in nickel – base alloys", *Oxidation of Metals*, 69, 77 – 96, 2007.
- [9] P. Berrhod, P. Lemoine, L. Aranda, "Study of the behaviour in oxidation of high temperature of Ni-Cr and Fe base alloys containing very high fractions of carbides", *Materials Science*, 595, 871 – 880, 2008.
- [10] F. Gómez, D. Alcaraz, D, Manual básico de corrosión para ingenieros, España, *Editorial Universidad de Murcia*, 2004, pp. p 25-28.
- [11] J. Tristancho, F. Almeraya, J. CHACÓN, "Estudio de la corrosión por sales fundidas en el recubrimiento NiCr-FeNbMoTiAl depositado por plasma spray", *Scientia et Technica*; 44, 379 – 383, 2010.
- [12] S. Matthews, B. James, M. Hyland, M. "The role of microstructure of high velocity erosion of Cr₃C₂ – NiCr thermal spray coatings: Part 1 – As-spray coatings". *Surface & Coatings Technology*. 203. 1086 – 1093. 2009.
- [13] J. Tristancho, J.Chacón., D. Peña, C. Gaona. J. Gonzalez, A. Martinez, F. Almeraya. "Hot corrosion behavior of NiCrFeNbMoTiAl coating in molten salts at 700°C by electrochemical techniques", *International Journal of Electrochemical Science*; 16, 432 – 441, 2011.
- [14] G-.Beason, T. Mckenchnie, F. Zimmerman, (1995). Advances in Thermal Spray Science and Technology. Proc. En 8th National Thermal Spray Conference. *ASM International Materials Park*. Ohio, USA.
- [15] J. Tristancho, (2011), "caracterización por sales fundidas de los recubrimientos metálicos NiCrFeNbMoTiAl, NiCrAlY, mediante técnicas electroquímicas", *Tesis Doctoral Centro de Investigación en Materiales Avanzados CIMAV S.C*.
- [16] J.R Davis. Handbook of thermal spray technology, *ASM International*, 2004, pp 43.
- [17] <http://www.castolin.com/product>
- [18] J.R Davis. Handbook of thermal spray technology, *ASM International*, 2004, pp 50.
- [19] F. Michael J. Ashby. R. David, H. JONES. H. Materiales para Ingeniería I: Introducción a las propiedades, las aplicaciones y al diseño, España, *Editorial Reverté*, 2008.
- [20] R. Tosta, E. Inzunza K. Bautista, "Boro Como Inhibidor Dela Oxidación Por Aire de Ánodos de Carbón En Celdas De Reducción Electrolíticas". Disponible en: internet:< http://www.lacpei.org/LACCEI2007-Mexico/Papers%20PDF/EM039_Tosta.pdf>. [Fecha de consulta: Junio del 2014].