

**PROYECTO EN CURSO O TERMINADO.**

<b>Universidad</b>	Universidad Tecnológica de Pereira
<b>Programa Académico</b>	Ingeniería Mecánica
<b>Nombre del Semillero</b>	Semillero de Investigación en Materiales Avanzados SIMAV
<b>Nombre del Grupo de Investigación (si aplica)</b>	Grupo de Investigación en Materiales Avanzados GIMAV
<b>Línea de Investigación (si aplica)</b>	Corrosión, Recubrimientos protectores, Soldadura, Caracterización de Materiales
<b>Nombre del Tutor del Semillero</b>	José Luddey Marulanda Arévalo
<b>Email Tutor</b>	jlmarulanda@utp.edu.co
<b>Título del Proyecto</b>	Estudio de la corrosión sufrida a altas temperaturas por sales fundidas en aceros para caldera tipo ASTM A193 y ASTM A53 recubiertos con aluminio por rociado térmico
<b>Autores del Proyecto</b>	Adriana Castrillón – Diego Mauricio Osorio – José Luddey Marulanda Arévalo – Diego Pérez Muñoz
<b>Ponente (1)</b>	Diego Mauricio Osorio
<b>Documento de Identidad</b>	1 109 296 245
<b>Email</b>	diemauosorio@utp.edu.co
<b>Ponente (2)</b>	Adriana Castrillón
<b>Documento de Identidad</b>	1 088 328 510
<b>Email</b>	adri.castrillon95@gmail.com
<b>Teléfonos de Contacto</b>	3102626100 - 3137905871
<b>Nivel de formación de los estudiantes ponentes (Semestre)</b>	10° y 6° semestre, respectivamente
<b>MODALIDAD (seleccionar una- Marque con una x)</b>	<b>PONENCIA</b>
<b>Área de la investigación (seleccionar una- Marque con una x)</b>	• Investigación en Curso x
	• Investigación Terminada
	• Ciencias Naturales
	• Ingenierías y Tecnologías x
	• Ciencias Médicas y de la Salud.
	• Ciencias Agrícolas
	• Ciencias Sociales
• Humanidades	
	• Artes, arquitectura y diseño

# **Estudio de la corrosión sufrida a altas temperaturas por sales fundidas en aceros para caldera tipo ASTM A193 y ASTM A53 recubiertos con aluminio por rociado térmico.**

Adriana Castrillón

Diego Mauricio Osorio Alzate

## **Resumen**

La corrosión es la degradación de los materiales presentada por el ambiente al que se encuentran expuestos, pudiendo darse a distintas temperaturas. La velocidad de corrosión depende de las propiedades fisicoquímicas del material, la atmósfera corrosiva a la que se encuentran expuestos y los productos de corrosión. En muchos sistemas de ingeniería donde se trabaja a altas temperaturas se presenta el contacto entre un material y una película de sal fundida, generando un aumento considerable en la velocidad de la corrosión sobre los materiales, provocando su deterioro. Los problemas causados tanto por la corrosión por sales fundidas, así como por la termofluencia en los tubos de los sobrecalentadores y recalentadores de una planta de potencia que usa combustibles fósiles, reducen su vida prevista de diseño. La aceleración de la corrosión por sales fundidas es causada por la presencia de cenizas, principalmente conteniendo vanadio, sodio y azufre en la forma de  $Na_2SO_4$  (sulfato de sodio) y  $V_2O_5$  (pentóxido de vanadio), los cuales forman mezclas con eutécticos de bajo punto de fusión. Adicionalmente, los tubos están expuestos a la acción de altos esfuerzos y altas temperaturas, lo cual propicia la termofluencia del material [1,2]

Los recubrimientos rociados térmicamente pueden ser el medio más rentable para proteger la superficie del sustrato contra el desgaste y la corrosión. Esta técnica de deposición utiliza un arco voltaico para el calentamiento y la fusión de dos electrodos consumibles de alambre, cargados eléctricamente con cargas opuestas (un alambre es positivo “ánodo”, el otro negativo “cátodo”), donde una diferencia de potencial entre 18 y 40 voltios, es aplicada a través de los alambres en forma de polvo, hasta obtener una forma fundida o semi-fundida, la cual se transporta mediante una corriente de gas o de aire comprimido para su depósito, creando una estructura en la superficie en un determinado sustrato [5]

## **Palabras claves:**

Corrosión, rociado térmico, Temperatura, acero, caldera

## **Introducción**

Esta investigación está encaminada en la obtención de recubrimientos de aluminio por rociado térmico por arco, que permitan la protección frente a la corrosión por sales fundidas de aceros al carbono como lo es el acero ASTM A53 grado B, ya que estos materiales son usados en componentes que operan en condiciones de temperatura y presión y frecuentemente presentan problemas de corrosión por sales fundidas. Los aceros al carbono no son buenos frente a la corrosión por sales fundidas, ya que estos aceros forman capas de óxidos porosas que se desprenden y permite que se acelera el proceso corrosivo, por esta razón es muy importante recubrirlos para incrementar la resistencia a la corrosión en bajo estas condiciones y aumentar la vida útil de estos materiales, además la capa de óxido del acero que se forma, disminuye la transferencia de calor, lo que disminuye la eficiencia térmica de estos equipos. La utilización de estos aceros con recubrimientos protectores permitirá trabajar a temperaturas de 400 y 650 °C en las plantas térmicas, por lo tanto, la eficiencia térmica del proceso de generación de

energía se verá incrementada y se disminuiría la contaminación ambiental por gases contaminantes como el CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, y el NO<sub>x</sub>, ya que bajaría el consumo de combustibles fósiles [1-8].

El rociado térmico por arco es un proceso metalúrgico para añadir a un metal capas del mismo material o de otros. La combinación resultante puede tener mejores propiedades físicas, mecánicas, químicas o costos más económicos que el material uniforme. Los progresos del rociado térmico han avanzado mediante el desarrollo de nuevas aleaciones y procesos; además tienen una gran aceptación en la industria, tanto en la fabricación de piezas como en el mantenimiento, aumentando su campo de aplicación. En este trabajo se seleccionó el Aluminio (Al) para obtener los recubrimientos, ya que el Al permite la formación de una capa de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que se caracteriza por adherirse muy bien al sustrato y tener un excelente comportamiento frente a la corrosión. Los aceros al carbono de baja aleación tienen bajos contenidos de cromo y otros elementos de aleación que mejoren su desempeño a alta temperatura, por tal razón necesitan un recubrimiento en la superficie, para mejorar su calidad, para que pueda operar sin mayores dificultades. Después de obtener los recubrimientos por rociado térmico por arco, se determinará la composición, micro estructura y los compuestos que se formaron en los recubrimientos de aluminio, mediante la caracterización por SEM/EDS y DRX. Luego se procede a los ensayos de corrosión en sales fundidas para determinar la composición, micro estructura y los compuestos que se formaron en los recubrimientos y los sustratos, después de ser oxidados a 400 – 650 °C. Con los datos obtenidos se determinará que variables e interacciones son significativas en el proceso de deposición de los recubrimientos y en el proceso de corrosión por sales fundidas, para cuantificar el grado de protección que ofrece este recubrimiento de aluminio a la corrosión por sales fundidas [1], [6-8].

### **Planteamiento del problema**

Cuando los aceros al carbono están expuestos a temperaturas cercanas a los 600 °C, presentan una fuerte aceleración del proceso de oxidación y/o corrosión. Por esta razón, en los últimos años se han realizado multitud de estudios con el propósito de desarrollar recubrimientos que permitan reducir los problemas ocasionados por la oxidación y/o corrosión, para poder aumentar la eficiencia térmica de las centrales térmicas, sin que los materiales pierdan tanto su integridad estructural como sus propiedades mecánicas. El Aluminio es un elemento que tienen una gran afinidad por el oxígeno y permiten la formación de capas de óxido protectoras a elevadas temperaturas (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). El Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que se caracteriza por tener un excelente comportamiento frente a la corrosión, además tiene una alta adherencia al sustrato y actúa como barrera de difusión, mejorando sustancialmente su resistencia a la corrosión por sales fundidas. Por tal motivo, en el estudio de recubrimientos de aluminio por rociado térmico por arco, puede contribuir en la protección contra la corrosión en sales fundidas del acero ASTM A36 Grado B; permitiendo que este tipo de material con recubrimiento sea probado en componentes que operan en condiciones críticas de temperatura y presión. Muchas industrias utilizan los recubrimientos para prolongar la vida de sus productos, aumentar su eficiencia y reducir costos de producción y de mantenimiento. Los recubrimientos pueden ser el medio más rentable para proteger la superficie del sustrato contra el desgaste y la corrosión. La ingeniería de superficies se está desarrollando mundialmente, como soluciones a los problemas superficiales que implican desgaste, corrosión a alta temperatura, regulación térmica entre otras. La confiabilidad y la eficiencia de las capas hace necesario que estos recubrimiento estén bien seleccionados y aplicados correctamente, para un funcionamiento

exitoso y aumentar la vida útil de componentes de máquinas e instalaciones, lo que ahorraría gran parte del consumo mundial de materiales.

## **Justificación**

El consumo de energía eléctrica en el mundo se ha incrementado notablemente en las últimas décadas y su tendencia en el futuro es seguir aumentando, lo que implica un mayor consumo de combustible y un mejor aprovechamiento de los mismos, lo cual requiere de un mejor rendimiento de los procesos de generación de energía eléctrica. En el desarrollo de nuevas plantas de generación de energía, se tiene como objetivo fundamental, aumentar la eficiencia térmica de los procesos de conversión. Esto puede traer tanto beneficios económicos como sociales, debido a que al aumentar la eficiencia se reduce el consumo de combustible y se bajan las emisiones de gases contaminantes tales como el CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, y el NO<sub>x</sub>. Los principales factores que afectan la eficiencia térmica en las centrales de generación de energía son la temperatura y en un menor grado la presión de vapor en la entrada de la turbina. Para aumentar las temperaturas de operación y la presión, se requiere que los materiales tengan una buena resistencia a la fluencia en caliente y a la oxidación a temperaturas cercanas a los 650 °C. Además, debe presentar una buena soldabilidad y facilidad de procesamiento. La mejora en estos parámetros permitirá incrementar la eficiencia térmica de las plantas de generación de energía y de esta forma, reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> entre 15 - 20 % [9-14].

Se evaluará la corrosión por sales fundidas mediante técnicas gravimétricas y electroquímicas en un acero al carbono rociado térmicamente con aluminio. Se establecerán las resistencias a la corrosión en sales que contienen una mezcla de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, además se cuantificará la protección que ofrece este recubrimiento con relación al mismo acero sin protección. Con los datos obtenidos se hará un estudio estadístico para determinar cuáles variables y que interacciones son significantes en el proceso corrosivo. Con lo anterior se contribuirá a los programas y líneas estratégicas de la agenda de ciencia y tecnología de Risaralda en el programa de metalmecánica y en sus líneas de nuevos materiales aplicados a los procesos productivos y en la automatización de la industria, debido a que un mejor conocimiento de las técnicas de rociado térmico conllevará al desarrollo de la industria metal mecánica de la región y del país. Lo anterior, permitirá dar aportes en el desarrollar recubrimientos que permitan reducir los problemas ocasionados por la oxidación y/o corrosión en el ámbito internacional.

## **Objetivo general**

Evaluar la resistencia a la corrosión por sales fundidas a alta temperatura con una composición de sulfato de sodio y pentóxido de vanadio, mediante la técnica gravimétrica, en un acero rociado térmicamente con una aleación de aluminio en el rango de temperaturas de 650°C y 700°C durante tiempos de 1 a 100 horas.

## Objetivos específicos

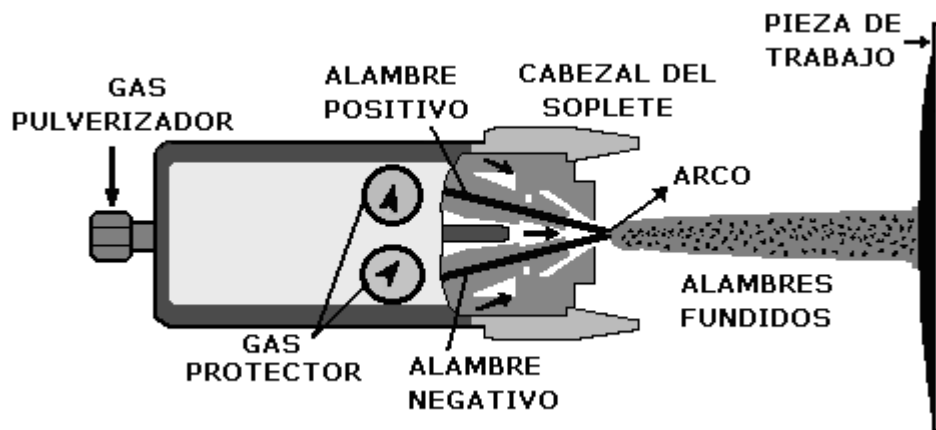
- Depositar un recubrimiento protector por medio de rociado térmico por arco eléctrico con una aleación de aluminio
- Evaluar la influencia de la temperatura y el tiempo de exposición en la velocidad de corrosión
- Cuantificar el grado de protección que ofrece el recubrimiento aplicado con rociado térmico, con relación al mismo acero sin protección.
- Presentar resultados sobre lo trabajado durante el proceso de investigación

## Referente teórico

Las propiedades mecánicas de una pieza de acero están en función de la composición química, del tamaño de grano, del tratamiento térmico y de su sección. Por lo cual, es difícil conseguir que un material combine todas las propiedades necesarias para obtener una pieza que soporte los diferentes tipos de ataque (a altas temperaturas) o desgastes (ya sea por causas mecánicas o causas químicas como son la oxidación y la corrosión por sales fundidas), que se presentan en todos los equipos y herramientas en el ámbito industrial. La resistencia a la corrosión en caliente debido a las sales fundidas puede ser determinada usando técnicas gravimétricas o electroquímicas, con lo que se puede estudiar el fenómeno corrosivo, permitiendo la posibilidad de optimizar la selección de materiales y recubrimientos a utilizar en la industria Colombiana, ya que una de las formas de disminuir la corrosión es la utilización de recubrimientos por rociado térmico, los cuales permiten prolongar la vida útil de las piezas vitales de máquinas y equipos.

La tecnología de las capas rociadas térmicamente está recibiendo una creciente atención como soluciones a los problemas superficiales de la ingeniería que implican desgaste, corrosión a alta temperatura y acuosa, regulación térmica y degradación. La ingeniería actual está en una situación de constante desafío. La diversidad de opciones con relación al empleo de materiales y la competitividad industrial conllevan a una compleja situación, donde se debe unir características de desempeño a factores de costo y proceso, en la elección de los materiales más adecuados en una aplicación específica. Los materiales tradicionales, están sufriendo alteraciones, mientras los nuevos materiales, como los polímeros y compuestos, se están adecuando al uso, compitiendo con los demás.

Este proceso de rociado térmico por arco es un “proceso frío” (concerniente al material del substrato que se está revistiendo). Como la temperatura del substrato es baja, se evita que durante el proceso haya daños por cambios metalúrgicos y distorsión del material del substrato. Para aplicaciones especiales, se puede usar nitrógeno o argón como gas pulverizador, para evitar en gran parte la oxidación del revestimiento. La energía eléctrica aplicada en este proceso está entre 5 y 25 KW y los diámetros de alambre aplicados están entre 1,2 y 5 mm. Este proceso es utilizado para recubrir grandes superficies y para la protección contra la corrosión, entre otros usos. La porosidad es el mayor inconveniente para el uso del rociado térmico por arco, ya que los revestimientos tienen una porosidad moderada o alta, que está entre el 0.2 y 15 %. Estos poros, aunque no son grandes, tienen una naturaleza de interconexión, por lo cual puede acelerar la falla por corrosión del revestimiento debido al mecanismo de superficie, ya que tiene un área de contacto más grande. Un esquema del proceso por arco eléctrico es presentado en la figura 1 [1], [14-18].



**Figura 1.** Esquema del proceso por arco eléctrico [1]

La tecnología de las capas rociadas térmicamente está recibiendo una creciente atención como “soluciones” a los problemas superficiales de la ingeniería que implican desgaste, oxidación a alta temperatura, corrosión acuosa y regulación térmica. El rociado térmico también se está utilizando cada vez más para fabricar sensores avanzados y materiales para los sectores biomédicos, de energía y ambiental. Estos, y un arsenal extenso de usos que emergen, se están aprovechando de las ventajas, capacidades y rentabilidad de la tecnología del rociado térmico para la reparación de piezas, deterioradas por diferentes procesos en la industria. La confiabilidad y la eficiencia de las capas hace necesario que estas capas de recubrimiento estén bien seleccionadas y aplicadas correctamente, para un funcionamiento exitoso.

En las últimas décadas el proceso del rociado térmico ha tenido un amplio desarrollo y reconocimiento a nivel industrial en países desarrollados, debido a los grandes avances de los nuevos materiales para la elaboración de nuevos revestimientos y nuevas aplicaciones. Para obtener los resultados esperados del revestimiento por rociado térmico, se requiere conocer muy bien el proceso, en especial las variables que afectan las propiedades finales del recubrimiento y por consiguiente, su desempeño en una aplicación específica. Esta tecnología es ampliamente usada en la industria militar, electrónica, aeroespacial, aviación, petroquímica, turbinas a gas y en la bioingeniería, entre otras. Las aplicaciones típicas incluyen fabricación de componentes, preparación y protección de superficies, recuperación de piezas desgastadas en servicio, etc.; además el rociado térmico está ganando espacio en la ingeniería de producción por sus grandes ventajas y cada vez se desarrollan nuevos revestimientos para aplicaciones de alta tecnología, ya que reduce los costos del uso de los materiales avanzados y aumenta el ciclo de vida de los sistemas de alto desempeño, lo que produce un aumento de la productividad de las industrias [1] y [14-20].

## Metodología

Este trabajo de investigación está encaminado en la obtención de recubrimientos de aluminio por rociado térmico por arco sobre acero al carbono, para evaluar la protección que ofrecen estos recubrimientos contra corrosión por sales fundidas entre 650°C-700°C; estos resultados servirán para mejorar o complementar el conocimiento de la corrosión en caliente de estos materiales. Las actividades que se desarrollaron en este trabajo experimental para conseguir los objetivos planteados se describen a continuación:

- Revisión bibliográfica: Se realizará una revisión bibliográfica en libros, artículos, patentes entre otros, para obtener información que facilitara la fabricación de las probetas de ensayo, aplicación de los recubrimientos y los procedimientos a seguir para evaluar las probetas mediante las pruebas de corrosión. Adquiriendo un buen marco teórico y un conocimiento adecuado del problema.
- Adquisición del material de trabajo: Se laborará en la adquisición del acero para fabricar las probetas de trabajo; la aleación de aluminio, crisoles y en el préstamo de equipos como hornos, balanza analítica, equipo para rociado térmico, entre otros.
- Fabricación de las probetas de trabajo: Con los aceros mencionados, se elaborarán las probetas teniendo en cuenta que el área específica de la probeta no debe variar mucho de una probeta a otra, para este trabajo será de 20 mm de largo por 6 mm de ancho por 2 mm de espesor (20 mm X 6 mm X 2 mm), después de maquinadas las probetas se lijaron hasta papel esmeril N°600.
- Adquisición de equipos: Se trabajará en la compra de equipos y materiales para la construcción del sistema de corrosión por sales fundidas, y para la puesta a punto del equipo de rociado térmico por arco.
- Calibración de los equipos: Se calibraran y/o ajustaran los equipos a las condiciones requeridas, en esta etapa se ajustara los equipos como hornos, equipo de rociado térmico por arco, balanza analítica entre otros.
- Recubrimiento superficial de aluminio: Las probetas de acero al carbono se recubrirán con aluminio, por medio de rociado térmico por arco. Determinadas las condiciones de deposición de los recubrimientos de aluminio, se buscara mejorar las condiciones de deposición.
- Caracterización de los recubrimientos: Después de obtener los recubrimientos, se determinará la adherencia del recubrimiento por medio de ensayos de Pull Off y la composición, micro estructura y los compuestos que se formaron en los recubrimientos se harán por SEM/EDS y DRX. Además se les hará un tratamiento térmico para mejorar las propiedades mecánicas de los recubrimientos y aumentar su resistencia a la oxidación.
- Preparación del agente corrosivo: Con sulfato de sodio  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y con el pentóxido de vanadio  $\text{V}_2\text{O}_5$  se preparan mezclas altamente corrosivas como 80%  $\text{V}_2\text{O}_5$  -20%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , 50%  $\text{V}_2\text{O}_5$  -50%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y 20%  $\text{V}_2\text{O}_5$ -80%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (porcentaje en peso), la relación de estas mezclas son precursoras de la formación de vanadatos complejos del tipo  $\text{Na}_2\text{OV}_2\text{O}_4$  y  $5\text{Na}_2\text{OV}_2\text{O}_4 \cdot 11\text{V}_2\text{O}_5$  que tienen puntos de fusión bajos entre 533 °C a 625 °C.
- Diseño experimental estadístico: para evaluar la influencia de las variables como composición del agente corrosivo, temperaturas entre 400°C –850 °C con el tipo de acero, además de su respectiva interacción en el proceso se hará el diseño experimental estadístico ( $2^n$ ), donde con un número mínimo de pruebas se obtendrá la máxima información de este proceso.
- Caracterización de los recubrimientos oxidados por SEM/EDS y DRX: Se determinará la composición, micro estructura y los compuestos que se formaron en los recubrimientos y los substratos, después de ser oxidados en sales fundidas desde 400 °C. hasta 650 °C.

- Pruebas experimentales: teniendo establecidas las variables independientes y las dependientes del proceso se procederá con las pruebas de corrosión en caliente para la toma de los datos a las condiciones ya establecidas, siguiendo los parámetros de las normas ASTM G 01, ASTM G 102 entre otras.
- Análisis de resultados: Con los datos obtenidos y con otros ensayos que se necesitan se hará un estudio estadístico para determinar cuáles variables y que interacciones son significantes en el proceso de deposición de los recubrimientos y en el proceso de corrosión por sales fundidas.
- Conclusiones y recomendaciones: Después del análisis de los resultados se harán las conclusiones y recomendaciones para estudios posteriores.

### **Resultados esperados**

- Muestras recubiertas de aluminio depositadas por medio de rociado térmico por arco eléctrico.
- Caracterizar las muestras de estudio morfológica, mecánica y químicamente.
- Conocer, medir y analizar los efectos producidos por la corrosión a altas temperaturas en aceros de caldera recubiertos con aluminio
- Cuantificar el nivel de protección proporcionado por recubrimientos de aluminio depositados por rociado térmico.

### **Resultados obtenidos**

- Recolección bibliográfica del estado del arte de la técnica del tema de estudio
- Recubrimientos de aluminio depositados sobre los aceros de estudio.
- Caracterización visual por medio de microscopía óptica.
- Caracterización mecánica por medio de micro-durezas Vickers.
- Horno de convección para la realización de los ensayos.
- Adquisición de sales reactivas (Persulfato de Sodio y Pentóxido de Vanadio)

### **Conclusiones**

- Se espera que el ataque corrosivo por sales fundidas se incremente con la temperatura y disminuya con el tiempo de exposición, es decir, que la velocidad de corrosión sea directamente proporcional a la temperatura e inversamente proporcional al tiempo de exposición, ya que es común comportamiento reportado en la literatura.
- Según estudios previos [10], [12] y [13] los recubrimientos metálicos proporcionan una capa protectora que reduce la velocidad de corrosión sobre el metal recubierto, esta, no deja de ser inmune al ataque corrosivo sobre todo a altas temperaturas, donde los compuestos sulfato de sodio y pentóxido de vanadio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y  $\text{V}_2\text{O}_5$ ) alcanzan su temperatura de fusión, formando una capa estable de electrolito sobre la superficie del metal, la cual continúa el ataque de forma constante.
- Los costos debido a la corrosión y el desgaste son muy altos en el ámbito mundial, por lo que se necesitan alternativas para mitigar este problema y el proceso de rociado térmico ha demostrado ser muy útil para la protección contra la corrosión y el desgaste



- El rociado térmico es una técnica que ha mostrado buenos resultados en la recuperación de piezas, con lo cual se puede mejorar la forma de proteger las estructuras y de reducir costos de mantenimiento, aumentando la productividad de los equipos.

## Impactos

Los recubrimientos por rociado térmico están ayudando a controlar y disminuir los problemas superficiales que implican desgaste y corrosión. Los recubrimientos por rociado térmico sirven para mejorar características mecánicas, físicas y químicas, dando calidades superiores de funcionamiento a la superficie. La variedad de productos y capas que se pueden obtener por rociado térmicos, son virtualmente ilimitadas. Las técnicas de rociado térmico son sistemas de combustión por llama, oxi-combustible de alta velocidad, detonación; sistemas de arco eléctrico, plasma con arco transferido y no transferido. Estos procesos son usados con éxito en el mundo desarrollado y vienen incrementando las inversiones industriales en este campo, y también es usado por instituciones de investigación para el desarrollo de nuevas aplicaciones y la evaluación de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de estas capas protectoras. La protección y modificación de la superficie y sus propiedades, son una herramienta potente en la ingeniería moderna, en donde las nuevas aplicaciones de la tecnología de rociado térmico son una alternativa técnica, económica y competitiva para la industria. También, permite mejorar la productividad de los procesos, contribuyendo a aumentar la funcionalidad de partes que trabajan bajo condiciones severas de desgaste.

## Bibliografía

- [1] J. Marulanda, J. Tristacho y H. González. (2015). Rociado Térmico. Universidad Tecnológica de Pereira.
- [2] N. Cinca, C. Camello, J. Guilemany. (2013). An overview of intermetallics research and application: Status of thermal spray coatings. *Journal of Materials Research and Technology* 2: Issue 1: 75-86.
- [3] R. Trevisan, C. Lima. (2002). *Aspersao Termica Fundamentos E Aplicacoes*. Editorial Artliber. Sao Paulo – Brasil.
- [4] K. Schaefer, A. Miszczyk. Improvement of electrochemical action of zinc-rich paints by addition of nanoparticulate zinc. *Corrosion Science* 66 (2013) 380–391.
- [5] Pombo, R., Paredes, R, Schereinier, H, Calixto, A. Comparison of aluminum coatings deposited by flame spray and by electric arc spray. *Surface & Coatings Technology*, 2011, Vol. 202, pp. 172–179.
- [6] J. Marulanda, J. Tristacho y H. González. (2014). La tecnología de recuperación y protección contra el desgaste está en el rociado térmico. Revista: *Prospectiva*. Vol. 12, No. 1, págs. 70-78. Enero - junio.
- [7] Han-Seung Lee, Jitendra Kumar Singh, Jang Hyun Park. (2016). Pore blocking characteristics of corrosion products formed on Aluminum coating produced by arc thermal metal spray process in 3.5 wt.% NaCl solution. *Construction and Building Materials* 113 905–916.

- [8] Li, H.Y, Duan, J.Y, Wei, D.D. Comparison on corrosion behaviour of arc sprayed and zinc-rich coatings. *Surfaces & Coatings Technology*. 2013. Vol. 235. pp. 259-266.
- [9] Muhamad Hafiz Abd Malek, Nor Hayati Saad, Sunhaji Kiyai Abas, N.R. Nik Roselin and Noriyati Mohd Shah. (2013). Performance and Microstructure Analysis of 99.5% Aluminium Coating by Thermal Arc Spray Technique. *Procedia Engineering* 68, pp 558 – 565.
- [10] Ran Li, Zheng Zhou, Dingyong He, Lidong Zhao, Xiaoyan Song. (2014). Microstructure and high-temperature oxidation behavior of wire-arc sprayed Fe-based coatings. *Surface & Coatings Technology* 251, pp.186–190.
- [11] M. Hafiz, N. Saad, S. Abas, N. Shah. (2013). Thermal Arc Spray Overview. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 46.
- [12] Venkateswararao Mannava, A. Sambasiva Rao, Neeta Paulose, M. Kamaraj, Ravi Sankar Kottada. (2016). Hot corrosion studies on Ni-base superalloy at 650 °C under marine-like environment conditions using three salt mixture ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{NaCl} + \text{NaVO}_3$ ). *Corrosion Science* 105 pp.109–119.
- [13] J. Marulanda, B. Posada, D. Gamboa. (2007). Protección contra la corrosión por sales fundidas de un acero al carbono por rociado térmico. *Scientia et Technica*. N° 36, Septiembre. Universidad Tecnológica de Pereira.
- [14] L. Baiamonte, F. Marra, S. Gazzola, P. Giovanetto, C. Bartuli, T. Valente, G. Pulci. (2016). Thermal sprayed coatings for hot corrosion protection of exhaust valves in naval diesel engines. *Surface & Coatings Technology* 295 pp.78–87.
- [15] G.A. El-Awadi, S. Abdel-Samad, Ezzat S. Elshazly. (2016). Hot corrosion behavior of Ni based Inconel 617 and Inconel 738 superalloys. *Applied Surface Science* 378 pp.224–230.
- [16] B. Salehnasab, E. Poursaeidi, S.A. Mortazavi, G.H. Farokhian. (2016). Hot corrosion failure in the first stage nozzle of a gas turbine engine. *Engineering Failure Analysis* 60 pp.316–325.
- [17] Haiyan He, Zongjie Liu, Wan Wang, Chungen Zhou. (2015). Microstructure and hot corrosion behavior of Co–Si modified aluminide coating on nickel based superalloys. *Corrosion Science* 100 pp. 466–473.
- [18] Thomas Gheno, Maryam Zahiri Azar, Arthur H. Heuer, Brian Gleeson. (2015). Reaction morphologies developed by nickel aluminides in type II hot corrosion conditions: The effect of chromium. *Corrosion Science* 101 pp.32–46.
- [19] Zhenhua Xu, Jianwei Dai, Jing Niu, Limin He, Rende Mu, Zhankao Wang. (2015). Isothermal oxidation and hot corrosion behaviors of diffusion aluminide coatings deposited by chemical vapor deposition. *Journal of Alloys and Compounds* 637 pp.343–349.
- [20] Pongpat Lortrakul, Rodney W. Trice, Kevin P. Trumble, Mysore A. Dayananda. (2014). Investigation of the mechanisms of Type-II hot corrosion of superalloy CMSX-4. *Corrosion Science* 80 pp. 408–415.