

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA		
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA		
FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO		
Nº DE RADICACIÓN: _____		
INFORMACIÓN EJECUTORES		
Ejecutor 1		
Nombre (s):	Manuel Ricardo	
Apellido (s):	Romero Vega	
Código:	20101275036	
E-mail:	manuelvega808@misena.edu.co	
Teléfono fijo:	2091597	
Celular:	3176369841	
INFORMACIÓN DEL PROYECTO		
Título del Proyecto:	Caracterización de un acero estructural A-36 con recubrimiento en aluminio para protección contra la corrosión en ambientes marinos, por proceso de aspersión térmica Arc Spray.	
Duración (estimada):	4 meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	X
	Prestación y Servicios Tecnológicos	X
	Otro	
Modalidad del Trabajo de Grado:	Proyecto científico y comunitarios	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Optimización de procesos	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Materiales y procesos	
Grupo de Investigación:	Ninguno	
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Física, química, corrosión, materiales, soldadura.	
INFORMACIÓN PASANTÍA		
Nombre de la empresa:		
Dirección:		
Teléfonos:		
Correo electrónico:		
Página Web:		
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA		
Director: (Vo. Bo.)		
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)		
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)		

TABLA DE CONTENIDO

0. INTRODUCCION	5
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1 ESTADO DEL ARTE	8
1.2 JUSTIFICACIÓN	10
2. OBJETIVOS	11
2.1 GENERALES	11
2.2 ESPECIFICOS	11
3. MARCO TEORICO	11
3.1 LA CORROSION	11
3.2 TERMOROCIADO	12
4. METODOLOGIA	18
5. CRONOGRAMA	20
6. PRESUPUESTO	20
6.1 EQUIPOS Y PERSONAL NECESARIO	21
7. BIBLIOGRAFIA	22

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. SUSTRATO Y POSIBLES DEFECTOS	13
FIGURA 2. DIAGRAMA DE PROCESO DE TERMOROCIADO	15
FIGURA 3. DIAGRAMA DEL PROCESO ARC SPRAY	16
FIGURA 4. PISTOLA PARA PROCESO ARC SPRAY	17
FIGURA 5. EQUIPO DE PROYECCIÓN TERMICA ARC SPRAY	18

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. PRINCIPALES CAUSAS DE LA FALLA DE EQUIPOS	7
TABLA 2. COSTOS DE LA CORROSION ESTIMADO PARA LATINOAMERICA EN EL AÑO DE 2001	8

RESUMEN

Esta propuesta presenta la problemática de la corrosión en los aceros estructurales en ambientes marinos y plantea una solución para esta problemática distinta a las convencionales (pintura y galvanizado), con un proceso de aspersion térmica con aluminio (TSA), donde se quiere demostrar las ventajas de este proceso frente a los métodos convencionales para la protección contra la corrosión.

0. INTRODUCCIÓN

En la industria, particularmente en aquellas que se encuentran sometidas a trabajar ambientes marinos uno de los mayores problemas que se presentan en las estructuras metálicas y componentes mecánicos, es el ocasionado por el proceso corrosión.

La tecnología de termorociado está recibiendo una creciente atención como solución a los problemas de corrosión en diferentes ambientes agresivos. La utilización de revestimiento sobre componentes o productos metálicos, llamado ingeniería de superficie, viene creciendo drásticamente debido, principalmente, a los altos costos de los materiales avanzados y a los requerimientos de ciclo de vida de los sistemas de alto desempeño.

Teniendo en cuenta la variedad de recubrimientos por pinturas y galvanizados, se busca estudiar la viabilidad del uso del recubrimiento con aluminio sobre estructural A-36 siendo este el más usado en la industria Colombiana para la fabricación de estructuras metálicas como puentes y edificaciones. También se busca demostrar que a pesar del alto costo de aplicación de aluminio en aceros estructurales es una solución económica al no necesita un mantenimiento tan periódico como los revestimientos por pinturas y galvanizados.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia el impacto de la corrosión de las estructuras metálicas que se encuentran expuestas a atmosferas marinas constituye sin duda alguna un gran problema industrial. En efecto, los pilotes de muelles, estructuras portuarias, edificios en cercanías al mar, puentes peatonales, etc, requieren un constante mantenimiento para conservarles en buen estado. A diferencia de los mecanismos de corrosión en agua dulce, desde un enfoque electrolítico se debe considerar la incidencia de las sales disueltas en el agua de mar y ambientes marinos, donde encontramos predominantemente en el agua de mar cloruros de sodio y de magnesio.

El cloruro de sodio se encuentra en agua de mar en una solución de 35.000mg/lit que lo sitúa en un máximo nivel corrosivo, puesto que mejora las propiedades conductoras del electrolito posibilitando una reacción electrolítica más intensa. También se debe considerar el efecto de la contaminación del agua de mar donde encontramos elementos oxidantes y orgánicos, producto de desechos industriales vertidos directamente en el mar o que llegan a él a través de la desembocadura de los ríos.

Las estructuras metálicas expuestas al rocío marino sufren efectos corrosivos de la solución de cloruros, los cuales son arrastrados por el viento y se depositan en el acero formando en las estructuras ciclos de humedad que facilitan la formación de celdas galvánicas.

En la actualidad en Colombia el método de prevención para evitar la corrosión en estructuras metálicas en ambientes marinos principalmente son los recubrimientos de barrera por pinturas epoxicas ricas en zinc, aluminio y galvanizados en caliente. Estos recubrimientos son usados en Colombia por su bajo costo pero tienen la desventaja de necesitar mantenimiento periódico aproximadamente cada 2 años, por esta razón se elevan los costos de mantenimiento de estructuras metálicas en ambientes costeros. El problema se incrementa si a las estructuras metálicas no se les inspecciona periódicamente los recubrimientos y no se lleva un cronograma de mantenimiento para evitar la corrosión.

Los costos de la corrosión en países desarrollados está en el orden del 2.5 al 5.0% del producto interno bruto (PIB). Los Estados Unidos en el año 2002 tuvo costos por daños causados por la corrosión de US\$276.000.000 que equivalían al 3.1% del PIB. En Colombia en el año 1994 tuvo costos por daños causados por la corrosión del 1.3% del PIB.

Los costos de la corrosión los podemos clasificar en:

Costos personales:

- USA-1966 costos de reposición de tubos de escape

- Casas
- Prótesis y ortesis

Costos empresariales:

- Equipos (en Estados Unidos aproximadamente US\$10M/año)
- Instalaciones (empresas Colombianas aproximadamente US \$200.000/año)

Costos sociales:

- Acueductos (en Colombia fugas por corrosión aproximadamente del 25% al 45%)
- Infraestructura (en Estados Unidos restauración y protección de puentes US\$ 2600M)
- Mobiliario urbano
- Monumentos (restauración de Estatua de la libertad por daños producidos por la corrosión US\$66.3M)
- Esculturas

Tabla1.principales causas de la falla de equipos

J.E. Lancaster- U.S.A. -1974 (685 encuestas)			
Principales causas de falla de equipos			
<i>Daños por corros.</i>	<i>Fcia.</i>	<i>Daños mec.</i>	<i>Fcia</i>
Corrosión	0,3	Desgaste	5,4
Corrosión-Fatiga	1,5	Rotura frágil	1,2
Corrosión- traccion	13,1	Fatiga	14,8
Corrosión- erosion	3,8	Sobrecarga	5,4
Corrosión a alta T.	1,3	Defectos de solda.	7,5
Corrosión uniforme	15,2	Defectos de fabric.	10,5
Corrosión intergranular	5,6		
Picado	7,9		
Sensibilización	2,5		
Frágil. por hidrog.	0,8		
Otras	3,2		
	55,2		44,8

Fuente: "Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States", Report by CC Technologies Laboratories, Inc. to Federal Highway Administration (FHWA), Office of Infrastructure Research and Development, Report FHWA-RD-01-156, September 2001.

Tabla 2. Costos de la corrosión estimados para latino América en el año 2001

País	PIB (U\$ Millones)	3%
Brasil	\$ 1.340.000,00	\$ 40.200,00
México	\$ 920.000,00	\$ 27.600,00
España	\$ 828.000,00	\$ 24.840,00
Argentina	\$ 391.000,00	\$ 11.730,00
Colombia	\$ 255.000,00	\$ 7.650,00
Chile	\$ 153.000,00	\$ 4.590,00
Venezuela	\$ 146.200,00	\$ 4.386,00
Perú	\$ 132.000,00	\$ 3.960,00
R. Dominicana	\$ 50.000,00	\$ 1.500,00
Guatemala	\$ 48.300,00	\$ 1.449,00
Ecuador	\$ 39.600,00	\$ 1.188,00
Costa Rica	\$ 31.900,00	\$ 957,00
Uruguay	\$ 31.000,00	\$ 930,00
El Salvador	\$ 28.400,00	\$ 852,00
Paraguay	\$ 26.200,00	\$ 786,00
Cuba	\$ 25.900,00	\$ 777,00
Bolivia	\$ 21.400,00	\$ 642,00
Panamá	\$ 21.000,00	\$ 630,00
Honduras	\$ 17.000,00	\$ 510,00
Nicaragua	\$ 12.500,00	\$ 375,00
Total	\$ 4.700.400,00	\$141.012,00

Fuente: "Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States", Report by CC Technologies Laboratories, Inc. to Federal Highway Administration (FHWA), Office of Infrastructure Research and Development, Report FHWA-RD-01-156, September 2001.

1.1 Estado del arte

En el departamento de ingeniería metalúrgica de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) con sede en Tunja, ofrece una maestría en corrosión y prestan servicios tecnológicos en sus laboratorios de corrosión a la industria petrolera para el control de la corrosión en oleoductos, poliductos y gasoductos.

En el SENA regional distrito capital, actualmente se adelanta un proyecto de formación en inspección de recubrimientos poliméricos, control de la corrosión y preparación de superficies.

En la revisión del estado del arte a nivel académico se encontró una publicación de la Universidad Tecnológica de Pereira realizada por los ingenieros Jose Luddey Marulanda, Alberto Zapata Meneses y Enrique Isaza

Velásquez. Esta publicación se titula Protección contra la Corrosión por medio del rociado térmico. En esta publicación ellos exponen las ventajas del rociado térmico para protección contra la corrosión en estructuras metálicas y citan un estudio realizado por la American Welding Society durante 19 años donde se estudia el comportamiento de recubrimientos de aluminio y zinc aplicados por técnica de aspersión térmica por flama en ambientes marinos.¹

En la Universidad de Antioquia se encontró un estudio realizado por los ingenieros Sergio Echeverri, Juliana Bedoya y Fabio Vargas donde se evalúa la resistencia al desgaste de recubrimientos WC y Ni – W- Co aplicados sobre acero al carbono, aplicados por la técnica de proyección térmica sobre sustratos de acero al carbono. Este estudio caracteriza el recubrimiento analizando sus propiedades mecánicas para la resistencia al desgaste por abrasión en estos recubrimientos.²

A nivel industrial se encuentran empresas que hace más de 20 años ofrecen el servicio de aspersión térmica con técnica de aplicación Arc Spray o aspersión por arco eléctrico, HVOF y plasma. A continuación se citan las empresas más sobresalientes del sector:

La empresa METICSA LTDA, está ubicada en la ciudad de Bogotá cuenta con equipos de termorociado por flama, HVOF, Arc Spray y plasma. Su mayor campo de acción está en la recuperación de elementos mecánicos sometidos a desgaste por abrasión.

La empresa COTECMAR está ubicada en la ciudad de Cartagena cuenta con equipos de termorociado por flama y Arc Spray. Se dedica al diseño y construcción de todo tipo de embarcaciones de navegación fluvial, costeras y oceánicas. Utiliza los procesos de termorociado para reconstruir elementos mecánicos de embarcaciones.

(1) Jose Luddey Marulanda, Alberto Zapata Meneses, Enrique Isaza Velásquez. SCIENTIA ET TECHNICA. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN (Versión Impresa : 0122-1701 Colombia).

(2) S. Echeverri, J. Bedoya, F. Vargas. Universidad de Antioquia. Estudio e la resistencia al desgaste de recubrimientos depositados mediante proyección térmica sobre acero al carbono

En el SENA Regional Distrito capital en el Centro de Materiales y Ensayos se adelanta un programa formación de especialización técnica en soldaduras de mantenimiento donde se imparte una competencia laboral de termorociado con técnicas de flama en frio, flama en caliente y Arc Spray.

En la literatura especializada el mayor estudio sobre la protección de aceros de bajo carbono en ambientes marinos con aluminio y zinc, fue realizado por la American Welding Society realizado en el año 1974 con una duración de 19 años. En este estudio se someten probetas de acero bajo carbono con revestimientos de zinc y aluminio a condiciones severas de atmosferas marinas durante 19 años donde se demostraron las ventajas de estos recubrimientos para la protección de la corrosión en ambientes marinos y la larga duración de los mismos.³

1.2 JUSTIFICACIÓN

Aunque la técnica de aplicación de recubrimientos por aspersion térmica se ha utilizado en Colombia por más de 20 años, su uso no es tan conocido como en otros paises, debido al desconocimiento de la técnica, costos del proceso por equipos y consumibles y capacitación de personal en la aplicación de estos recubrimientos.

Aplicando esta técnica en estructuras metálicas expuestas a ambientes marinos se disminuirían los costos de mantenimiento generados por la protección contra la corrosión.

Aunque en algunas Universidades del país como la Universidad Nacional, Universidad de Antioquia y Universidad Tecnológica de Pereira, se han adelantado investigaciones sobre el tema, existe poca bibliografía a nivel local donde se evidencien desarrollos prácticos.

Generar desarrollos tecnológicos a nivel industrial en el campo de recubrimientos metálicos por aspersion térmica busca contribuir al cuidado de la infraestructura del país y al desarrollo de la ingeniería de superficies.

(3) AMERICAN WELDING SOCIETY. Thermal spraying – Practice, Theory and Applications, Miami, Fl. USA.1985.

2. OBJETIVOS

2.1 General

Generar y caracterizar recubrimientos de aluminio sobre acero estructural A-36 mediante técnica de proyección térmica por arco eléctrico.

2.2 Específicos

- Describir el proceso para generar un recubrimiento según el estándar NACE No. 12/AWS C2.23M/SSPC-CS 23.00
- Producir recubrimientos de aluminio sobre acero estructural A-36 usando las recomendaciones técnicas del fabricante del recubrimiento para proyección térmica por arco.
- Evaluar la resistencia a la corrosión por cámara salina, resistencia a la tracción del recubrimiento y resistencia al dobléz.
- Comparar el comportamiento del recubrimiento frente a los recubrimientos más usados (pintura y galvanizado).

3. MARCO TEORICO

3.1 LA CORROSIÓN

Se entiende por corrosión la interacción de un metal con el medio que lo rodea, produciendo el consiguiente deterioro en sus propiedades tanto físicas como químicas. La característica fundamental de este fenómeno, es que sólo ocurre en presencia de un electrolito, ocasionando regiones plenamente identificadas, llamadas anódicas y catódicas: una reacción de oxidación es una reacción anódica, en la cual los electrones son liberados dirigiéndose a otras regiones catódicas. En la región anódica se producirá la disolución del metal (corrosión) y, consecuentemente en la región catódica la inmunidad del metal.

Los enlaces metálicos tienden a convertirse en enlaces iónicos, los favorece que el metal puede en cierto momento transferir y recibir electrones, creando zonas catódicas y zonas anódicas en su estructura. La velocidad a que un material se corroe es lenta y continua todo dependiendo del ambiente donde se encuentre, a medida que pasa el tiempo se va creando una capa fina de

material en la superficie, que van formándose inicialmente como manchas hasta que llegan a aparecer imperfecciones en la superficie del metal.

Se suele limitar el concepto "corrosión" a la destrucción química o electroquímica de los metales.

Se incluyen a continuación algunas de estas definiciones:

"La corrosión puede ser definida como la reacción de un material con su entorno".

"La corrosión consiste en una oxidación del metal y, si el óxido no es adherente y es poroso, puede dar lugar a la destrucción de todo el metal"

"Corrosión: ataque de un material por el medio que le rodea con la consiguiente pérdida de masa y deterioro de sus propiedades"

"Corrosión es la destrucción de un cuerpo sólido causada por un ataque no provocado, de naturaleza química o electroquímica que se inicia en la superficie"

En cualquier caso, la corrosión es un proceso destructivo en lo que a ingeniería se refiere, y representa una enorme pérdida económica.

La corrosión de los metales también puede ser considerada como el proceso inverso de la metalurgia extractiva. Muchos metales existen en la naturaleza en estado combinado, por ejemplo, como óxidos, sulfatos, carbonatos o silicatos. En estos estados, las energías de los metales son más bajas. En el estado metálico las energías de los metales son más altas, y por eso, hay una tendencia espontánea de los metales a reaccionar químicamente para formar compuestos.⁴

3.2 Termorociado

Historia

El termorociado nació a principios del siglo 20, sus primeras aplicaciones fueron para proteger contra la corrosión por aplicación de Zinc, sin embargo pese a existir desde aquel entonces solo después de los 60 comenzó un fuerte desarrollo que cambió la naturaleza eminentemente de reparación que tenía

(4) Docklands Light. Corus Construction & Industrial. Corrosion protection of steel bridges. Página 3.

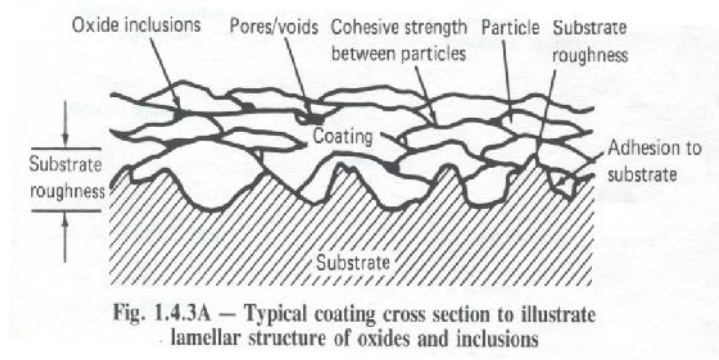
proceso y lo desarrollo para lograr integrarlo al proceso productivo especialmente en partes de avión y en industria textilera, con la consiguiente expansión en equipos procesos y productos para realizarlo.

Definición

El termorociado (THSP) es un grupo de procesos mediante los cuales 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 deposito termorociado. El material de revestimiento puede estar en forma de polvo, alambre, cord o varilla. El material a termo rociar es calentado y llevado a fusión o a estado plástico mediante una fuente tal como combustión de gases, arco eléctrico, arco plasma o por la detonación de una mezcla explosiva. El material caliente es proyectado hacia el sustrato por una corriente de gases. La mayoría de los metales, cerámicas, cerments y compuestos duros pueden ser termo rociados por alguna de las variaciones del proceso. El sustrato es generalmente preparado por medio de granallado con oxido de aluminio o hierro blanco angular para aumentar la rugosidad de la superficie.

Cuando las partículas fundidas impactan la superficie, se aplastan formando pequeñas lentejas que se entran con las irregularidades de la superficie y entre sí. Estas lentejas se enfrían rápidamente y solidifican formando una estructura de capas que van creciendo hasta lograr la medida final deseada.

Figura1. Sustrato y posibles defectos.



La liga entre el sustrato y el material de revestimiento puede ser mecánica, metalúrgica, química o una combinación de estas. En ocasiones un tratamiento térmico posterior del revestimiento aumenta la resistencia de la unión con el sustrato por difusión o reacción química con el sustrato.

La densidad del depósito depende de factores como el tipo de material, el proceso, etc. esta es generalmente superior al 90% de la densidad del material de aporte.

Usos y Ventajas

El termorociado se usa extensivamente en manufactura, como es el caso de la industria Aeronáutica, la cual ha desarrollado cientos de aplicaciones en las que el termorociado confiere a las superficies resistencias al desgaste y características especiales difícilmente logrables en otra forma, de otra parte la industria en general ahorra miles de dólares anualmente gracias a la reconstrucción y adecuación de partes de equipo por medio del termorociado. Hoy por hoy se sabe que la mejor protección que se puede lograr contra la corrosión ambiental es mediante termorociado de Zinc o Aluminio acompañado de sellantes que obturan las porosidades del depósito, estos sellantes también se usan en aplicaciones en que se soporta presión como es el caso de los hidráulicos de equipo pesado.⁵

Limitaciones

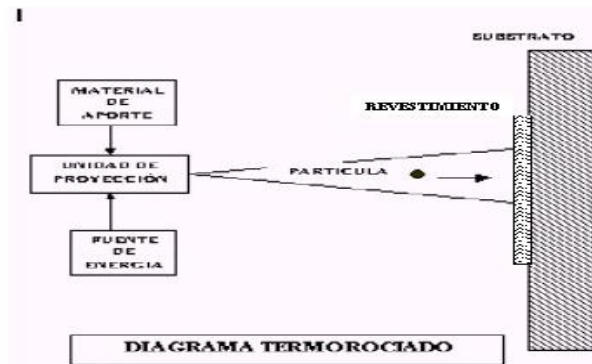
Debido a su naturaleza laminar y a las características de la liga con el sustrato, los revestimientos de termorociado tienen una serie de limitaciones desde el punto de vista de capacidad de soportar carga puntual, impacto o comportarse como barrera protectora contra la corrosión. El ingeniero de diseño debe tener en cuenta estas limitaciones y las diferencias inherentes con procesos como la soldadura de arco eléctrico ya que los revestimientos termorociados no recuperan la capacidad de transportar carga mecánica, son revestimientos que recuperan y adecuan las superficies.

(5) ASM Metals Handbook Volume 6. Welding, Brazing and Soldering. Special Welding and Joining Topics. Thermal Spray Coatings. 1994. Página 4.

Naturaleza de los Revestimientos Termorociados

El éxito en el uso de los revestimientos termorociados, es dependiente de la estricta adherencia a los procedimientos específicos del proceso, cualquier desviación de estos procedimientos o la desatención al ejecutarlos puede significar el fracaso del procedimiento. Hay muchas variables que se unen e interactúan para producir el resultado final, estas son en términos generales : el material de aporte, la fuente de energía, la unidad de proyección, la velocidad de la partícula, las condiciones del sustrato, etc.

Figura2. Diagrama del proceso de termorociado.



Simplificando al máximo podríamos decir que un sistema de termorociado corresponde al diagrama adjunto, donde un material de aporte es alimentado a una unidad de proyección la cual, mediante una fuente de energía térmica, lleva el material a una temperatura de fusión o de plastificación, dependiendo de las características del material aportado, esta misma unidad de proyección produce las partículas pequeñas y las acelera proyectándolas sobre el sustrato con una energía térmica y cinética determinadas, dicho sustrato a su vez debe tener unas características de limpieza, rugosidad y temperatura preestablecidas para lograr el adecuado entramamiento de las partículas a la superficie.

Eléctrica

Los procesos que usan la energía eléctrica como fuente de energía se pueden clasificar como:

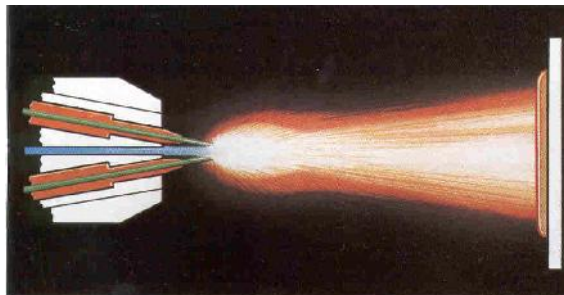
Arco

En el proceso de “Arc Spray” se usan metales y aleaciones en forma de alambre para producir un arco eléctrico continuo entre dos de ellos, que al fundirlos permite proyectar mediante un chorro gaseoso, generalmente de aire, las partículas del material de aporte sobre el sustrato.

Equipos de termorociado por arco eléctrico (Arc Spray)

Los equipos de termorociado al arco, consisten básicamente en una fuente de soldadura, generalmente de voltaje constante y alto ciclo de trabajo, un sistema de alimentación con motor o eléctrico o neumático, casi siempre adosado a la antorcha propiamente dicha, en la cual son alimentados dos alambres que pueden ser sólidos o tubulares, los cuales al encontrarse forman un arco eléctrico que funde sus puntas, las cuales son atomizadas por medio de un chorro de gas, casi siempre aire, a presión.

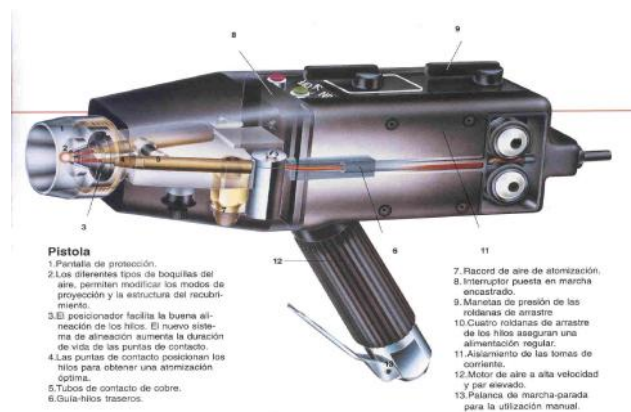
Figura 3. Diagrama del proceso Arc Spray



Las temperaturas del arco exceden el punto de fusión del material de aporte, durante el proceso de fusión el metal es sobrecalentado al punto que alguna volatilización puede ocurrir, esto es especialmente cierto con aleaciones de Aluminio y Zinc. La alta temperatura de las partículas produce zonas de interacción metalúrgica o de difusión, o ambas, después de su impacto con el sustrato. Estas reacciones localizadas producen micro soldaduras con buena cohesión y adhesión, generando revestimientos con excelente unión.⁶

(6) ASM Metals Handbook Volume 6. Welding, Brazing and Soldering. Special Welding and Joining Topics. Thermal Spray Coatings. 1994. Página 60.

Figura 4. Pistola para proceso Arc Spray



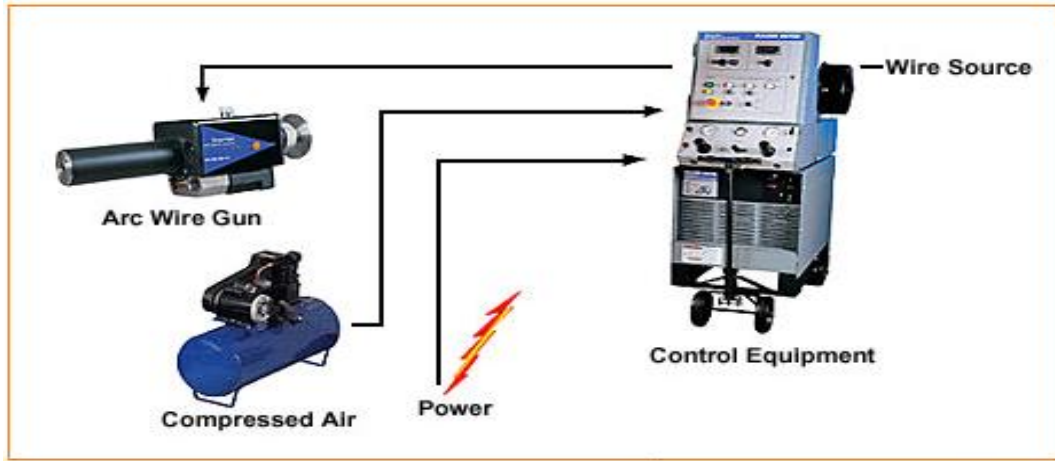
Las tasa de depósito logrables por termorociado al arco, son apreciablemente superiores a las obtenibles con termorociado a gas y sus adhesiones son bastante superiores, siendo solo superadas por los sistemas de alta velocidad como el HVOF. Las variables del proceso son el amperaje, la velocidad de alimentación y la presión y flujo del gas atomizador.

Como ya se menciona se utilizan fuentes de soldadura de corriente directa, voltaje constante, las cuales energizan uno de los alambres como positivo (ánodo) y el otro como negativo (cátodo). La punta del cátodo se calienta más que la del ánodo, y por lo tanto funde más rápidamente, por lo tanto las partículas desprendidas del cátodo son más finas que las desprendidas del ánodo si los dos alambres son del mismo diámetro.

Una fuente de soldadura con rango de 18 a 40 Voltios, permite operar casi todo el universo de aleaciones de Arc Spray. La apertura del arco aumenta al aumentar el voltaje con un aumento consiguiente del tamaño de la partícula, por esto se busca mantener el voltaje al mínimo posible que garantice una operación estable del equipo. La excepción es el llamado pase de base o de liga, en el cual a propósito se aumenta el voltaje y se disminuye el flujo de gas atomizante para lograr partículas más grandes que al ser aplicadas a distancias de antorcha menores generan una mejor adhesión, después de aplicada esta capa base se restituyen los parámetros de operación normal.

La operación de estos equipos es muy económica, y tienen una buena versatilidad, aun cuando tanto la inversión de capital inicial es más alta que la de los equipos de combustión, y su versatilidad tanto operacional como de rango de aleaciones también es menor, sus bajos costos de material de aporte y de operación han hecho que día a día este proceso gane más adeptos.

Figura 5. Equipo de proyección térmica Arc Spray



4. Metodología

Etapa 1

Revisión bibliográfica.

Etapa 2

Identificación del sustrato y recubrimiento.

Etapa 3

Elaborar e implementar un diseño de experimentos para la producción del recubrimiento.

Etapa 4

Determinar las variables y condiciones de proceso requeridas para la producción del recubrimiento, tales como, velocidades, temperatura, distancias de proyección y potencia aplicada.

Etapa 5

Preparación de superficies.

Etapa 6

Producción del revestimiento sobre el sustrato seleccionado.

Etapa 7

Caracterización de la resistencia a la corrosión utilizando cámara salina.

Etapa 8

Caracterización de la resistencia a la tracción del revestimiento.

Etapa 9

Caracterización de la resistencia al doblado del recubrimiento.

Etapa 10

Análisis de los resultados.

Etapa 11

Comparación de resultados del recubrimiento frente a recubrimientos de pintura y galvanizado.

5. CRONOGRAMA

ETAPA	MESES															
	JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE			
	SEMANAS															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1. Revisión bibliográfica	X	X	X	X												
2. Identificación del sustrato y recubrimiento		X														
3. Elaborar implementar un diseño de			X	X												
4. Determinar variables.				X												
5. Preparación de superficies.					X	X										
6. Producción						X	X									
7. Caracterizar Resistencia a la corrosión.								X	X							
8. Caracterizar resistencia a la tracción.										X						
9. Caracterizar resistencia al dobléz											X	X				
10. Análisis de resultados.													X	X	X	
11. Comparación resultados.																X

6. PRESUPUESTO

PRESUPUESTO			
CONCEPTO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Normas	4	120.000	480.000
Lamina acero A-36	1	105.000	105.000
Rollo de aluminio METCO ALUMINUM WIRE	2	1.300.000	2.600.000
Servicio de granallado	1	200.000	200.000
Proponente	200 Horas	35.000	7.000.000
Total			10.385.000

6.1 EQUIPO Y PERSONAL NECESARIO

Recurso humano

- Director de proyecto.
- Cuerpo docente de la carrera de ingeniería mecánica.
- Proponente.

Recursos físicos

- Laboratorio de corrosión (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia).
- Equipo de termorociado por arco (SENA Centro de Materiales y Ensayos).
- Laboratorio de ensayos mecánicos (SENA Centro de Materiales y Ensayos).

7. BIBLIOGRAFIA

- **AMERICAN WELDING SOCIETY.** Thermal Spraying – Practice, Theory and Applications. Miami,FL, USA.1985.
- **ASM. INTERNATIONAL.** Introduction to thermal spray processing. http://www.asminternational.org/images2/tss_overview.pdf
- **SCIENTIA ET TECHNICA.** Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN (Versión Impresa: 0122-1701 Colombia.
- **Universidad de Antioquia.** Estudio e la resistencia al desgaste de recubrimientos depositados mediante proyección térmica sobre acero al carbono.
- **ASM Metals Handbook Volume 6.** Welding, Brazing and Soldering. Special Welding and Joining Topics. Thermal Spray Coatings. 1994.
- **Docklands Light.** Corus Construction & Industrial. Corrosion protection of steel bridges.