



II CAIM 2010
Segundo Congreso Argentino
de Ingeniería Mecánica
San Juan - Noviembre 2010

Efecto de la preparación previa de la superficie en el sistema de metalizado por arco eléctrico (Arc-Spray)

Belloni J. L., Sanchez C., Varela P. G.

**Laboratorio de Ensayos de Materiales - Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Río Cuarto
Ruta Nac. 36 km. 601 - Río Cuarto (Cba.) – Argentina
Tel/Fax: +54-3584676106 - E-mail: pvarela@ing.unrc.edu.ar**

RESUMEN

El recubrimiento por metalizado es una técnica aplicada principalmente a piezas sometidas a la abrasión para aumentar la resistencia al desgaste en elementos tales como: roscas transportadoras, baldes cargadores, paletas mezcladoras, herramientas de agricultura, etc.

La técnica se denomina "Arc-Spray". Básicamente consta de un par de alambres metálicos que se funden por medio de un arco eléctrico. Seguidamente, este material fundido es atomizado por un chorro de aire comprimido e impulsado contra la superficie a ser recubierta. Al alcanzar la superficie de la pieza, el material solidifica generando una capa metálica que, dependiendo del tipo de material aplicado, puede servir como protección contra la corrosión, conductibilidad térmica o eléctrica, resistencia al desgaste, o a la abrasión.

Para efectuar adecuadamente el procedimiento de metalizado, se requiere de una adecuada preparación de la superficie a recubrir, empleándose habitualmente un chorreado abrasivo (granallado). El chorreado abrasivo, consiste en la proyección de granalla, a alta velocidad y con una elevada energía cinética contra las superficies de acero a limpiar. El impacto de la granalla abrasiva provoca no solo el desprendimiento de los contaminantes del acero, sino que también modifica su superficie dejando una cierta rugosidad, la cual favorece un perfecto anclaje de las capas de recubrimiento sobre la superficie.

El presente trabajo estudia la calidad de las capas obtenidas con diversos estados de terminación de la superficie a recubrir, lo cual fue evaluado mediante ensayos de rugosidad superficial previo a la deposición; y mediante ensayos de flexión y microscopía del recubrimiento, a los efectos de determinar el nivel de adherencia de la misma. Además se estudiaron las diferencias con distinto número de recubrimiento metálico. Se concluye en la optimización del procedimiento, tendiente a obtener una capa de buena calidad, con un menor consumo de material de aporte y menores costos generales del proceso.

Palabras Claves: Recubrimiento por metalizado, Arc-Spray, Resistencia al desgaste.

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de metalizado por arco eléctrico, o Arc-Spray se realiza habitualmente a piezas componentes de máquinas agrícolas, y otros equipos industriales. Dicho proceso se utiliza para la aplicación de capas metálicas sobre los más diversos materiales, con la finalidad de mejorar propiedades superficiales. Es una tecnología tradicional que aplica capas relativamente finas en el rango de 100 a 1500 μm [1,2].

En el mencionado proceso de metalizado, un par de alambres metálicos se funden por medio de un arco eléctrico. El material fundido es atomizado por un chorro de aire comprimido e impulsado contra la superficie a ser recubierta. Al alcanzar la superficie de la pieza, el material solidifica generando una capa metálica densa que, dependiendo del tipo de material aplicado, puede servir como protección contra la corrosión, o para mejorar propiedades tales como: resistencia al desgaste, abrasión, conductividad térmica o conductividad eléctrica [3, 4, 5].

La Figura 1 muestra un esquema del proceso de Arc-Spray.

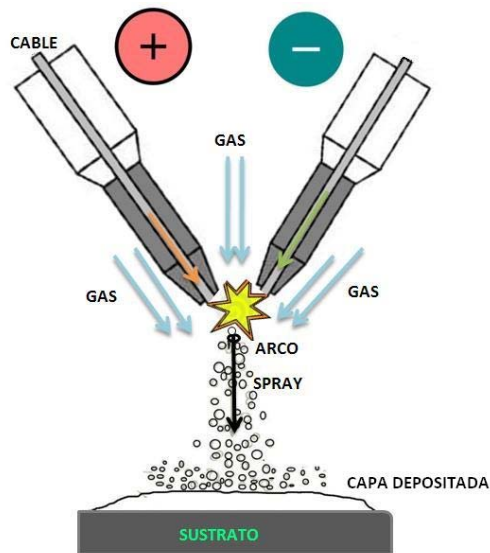


Figura 1. Esquema del proceso de Arc-Spray

A los efectos de lograr recubrimientos adecuados y optimizar las prestaciones del equipo, se debe prestar especial atención al análisis y selección del material de aporte más adecuado, teniendo en cuenta la relación costo-beneficio.

Wang y Seitz [6] realizaron un trabajo de comparación en el comportamiento frente a situaciones de erosión, con recubrimientos sobre aleaciones ferrosas, por tres diferentes procedimientos de Arc-Spray; y Fang et al [7], estudiaron la influencia de la temperatura de precalentamiento del sustrato, y la presión de atomización. Por otra parte, es de vital importancia realizar una correcta preparación previa de la superficie a trabajar, antes de efectuar el proceso de metalizado a los diversos componentes. Dicha preparación se realiza mediante un bombardeo con partículas metálicas, que se denomina granallado.

Para obtener un buen anclaje entre la capa de metal y el sustrato es necesario eliminar todo contaminante de la superficie. El mejor sistema para la limpieza del acero es sin duda alguna, el chorreado abrasivo (granallado). El chorreado abrasivo, consiste en la proyección de granalla, a alta velocidad (65-110 m/seg.) y con una elevada energía cinética contra las superficies de acero a limpiar. El impacto de la granalla abrasiva

provoca no solo el desprendimiento de los contaminantes del acero, sino que también modifica su superficie dejando una cierta rugosidad. Esta rugosidad favorece un perfecto anclaje de las capas de recubrimiento sobre la superficie.

En el presente trabajo se realiza un estudio a los efectos de determinar de manera teórica qué material de aporte es la mejor opción a emplear para el rociado térmico, teniendo en cuenta los resultados alcanzados en relación al costo del consumible. Adicionalmente se evaluará la influencia de la rugosidad de la superficie a metalizar, es decir la influencia de la operación de granallado, mediante la realización de ensayos mecánicos de flexión.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1. Preparación Superficial.

El tipo de material, el tamaño y forma de las partes y la condición de la superficie a limpiar, más la especificación que define la terminación superficial, tienen influencia directa sobre la selección del sistema de granallado, del abrasivo, y la definición del procedimiento.

En el presente estudio se ha utilizado el grado de preparación y proyección por abrasivos SA 2 ½, según norma europea SIS 05 5900, que corresponde a un arenado-granallado muy minucioso. En cuanto al tipo de granalla, se ha utilizado acero fundido de forma angular. La selección de la granalla angular es debido a que la superficie requerida para un buen anclaje, entre el sustrato y el recubrimiento anti desgaste, debe poseer una determinada rugosidad. La rugosidad recomendada por American Welding Society es de 2,5 a 13 μm .

De acuerdo a las recomendaciones aportadas por el fabricante de la máquina de rociado térmico, se ha utilizado granalla angular de granulometría G40 de dureza cercana a los 60 HRc. La presión será de 6 bar y se empleará una boquilla de diámetro 5mm con lo cual se obtendrá una rugosidad alrededor de $Ra=15\mu\text{m}$.

Identificación del material: Granalla HCS G-40 (A-40-A); análisis químico (S/norma SAE J 827): C:0,80-1,20%; Si: 0,40% min.; Mn:0,60-1,20%; P: 0,050% máx.; S: 0,050% máx.

La cabina de granallado será el recinto donde se llevará a cabo el proceso de limpieza y obtención de la rugosidad para el correcto anclaje del aporte al sustrato. La finalidad de la misma será la de contener las granallas, luego de que éstas impacten contra la superficie del sustrato, y conducir las a un depósito de recuperación para su posterior limpieza.

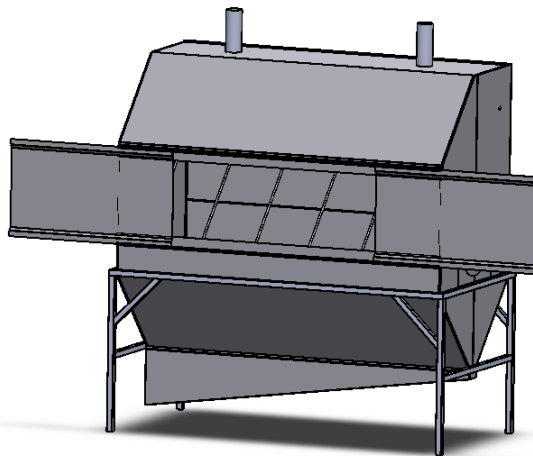


Figura 2. Esquema de la cabina de granallado utilizada.

Para la realización del presente trabajo se procedió al diseño y construcción de la cabina de granallado, para lo cual se tuvo en cuenta la posición que deben adoptar las partes a ser granalladas a los fines de que el chorro impacte en un ángulo cercano a los 90° con la superficie. Además, tener la posibilidad de introducir elementos esbeltos que atraviesen la misma, como en el caso de los sinfines. En la figura 2 se puede apreciar un esquema de la cabina de granallado.

2.2. Materiales de aporte y ensayos.

2.2.1. Materiales de aporte

Alambres para abrasión e impacto:

- Postalloy 2820-SPL
- Postalloy 2898-FCO
- Postalloy 2832-SPL

Estas aleaciones son diseñadas para resistir la abrasión por rozamiento e impacto. Las aleaciones de menor dureza resisten elevada compresión tal como la encontrada en todas las aplicaciones de molienda. Las aleaciones de mayor dureza resisten a la abrasión. Cuando es necesario una reconstrucción (build-up) previa para recuperar las dimensiones, se debe utilizar aleaciones al manganeso que se endurecen con el uso.

Alambres para elevada abrasión:

- Postalloy 299

El carburo de tungsteno es el material ideal para aplicaciones en piezas sometidas a la abrasión severa. Es un alambre tubular, con aleaciones en base hierro y elevado porcentaje de partículas de carburo de tungsteno.

En el presente trabajo se ha utilizado la maquina Arc-Spray 300, con dos rollos de alambres tubulares, uno Postalloy 2832 y el otro Postalloy 299 que se describen a continuación.

2.2.1.1. Alambre Postalloy® 2832-SPL:

Especial aleación de carburos de cromo con gran cantidad de carburos dispersos en una matriz de elevada dureza. Para aplicaciones que signifiquen gran abrasión con poco o moderado impacto. Los depósitos se pulen en servicio y son resistentes a la temperatura hasta: 1000°F (531°C). Utilizable en aceros al carbono, aceros de baja aleación y aceros al manganeso.

Propiedades del metal aportado:

- Dureza: 58 - 62 HRc
- Espesor aporte: 1 a 2 pasadas
- El depósito no puede ser cortado con soplete.
- El material aportado producirá fisuras para aliviar tensiones.

2.2.1.2. Alambre Postalloy® 299-SPL:

Es un alambre tubular autoprotectido que utiliza una formula especial de carburos de tungsteno para producir una micro estructura que es inusualmente dura y más resistente a la abrasión que los alambres tubulares con carburos de tungsteno estándar. Se aplica a menores amperajes para minimizar la dilución lo que ayuda a desarrollar su elevada dureza y especial micro estructura en la primera pasada. Especifico para extrema resistencia a la abrasión con poco o nulo impacto.

Propiedades del metal aportado:

- Dureza: Carburos de tungsteno: 2300 HV
- Aleación matriz: 60-65 HRc
- Espesor aporte: 2 pasadas máximo
- El depósito se fisura rápidamente para aliviar las tensiones.

2.2.1. Método de aplicación:

El proceso de metalizado por arco eléctrico se realiza en dos etapas.

Para la primer combinación de Postalloy 2832 y 199, se efectúa una base de 1 a 2 pasadas con Postalloy 2832, luego se finaliza con 2 pasadas, como máximo con el alambre tubular Postalloy 199 de mayor dureza. Los parámetros de soldadura serán 25 V - 200 A.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Ensayos

Los ensayos que fueron realizados son de rugosidad y de flexión en tres puntos.

3.1.1. Ensayos de rugosidad

El ensayo de rugosidad juega un papel importante al momento de tomar decisiones sobre qué método de preparación de la superficie utilizaremos, en nuestro caso, enarenado o granallado.

Para tal ensayo se confeccionaron dos probetas de chapa. Una con la superficie enarenada y la otra con la superficie granallada.

- Probeta RC1010E: Chapa de acero 1010 N°16 laminada en caliente y enarenada con arena gruesa con una presión de 6 bar. Dimensiones 70 mm x 170 mm.
- Probeta RC1010G: Chapa de acero 1010 N°16 laminada en caliente y granallada con granalla angular de acero fundido tamaño G-40 con una presión de 6 bar. Dimensiones 70 mm x 170 mm.

Para determinar la rugosidad se empleo un rugosímetro modelo TIME TR100, que se puede apreciar en la figura 3.



Figura 3. Rugosímetro empleado

Primeramente se comprobó que el rugosímetro estuviera calibrado correctamente y luego se fijaron los parámetros a medir (Ra), siendo Ra la desviación media aritmética del perfil y se estableció una longitud de evaluación (λ) en 2,5 mm.

Las mediciones fueron tomadas en cinco puntos distintos en la superficie de las probetas y posteriormente se calcularon promedios.

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 1. Rugosidades obtenidas

	PROBETA <u>RC1010E</u> Ra (μm)	PROBETA <u>RC1010G</u> Ra (μm)
Lectura 1	2,46	11,32
Lectura 2	2,58	8,63
Lectura 3	3,16	10,42
Lectura 4	2,59	11,52
Lectura 5	4,25	11,04
Promedio	3,00	10,58

De las lecturas anteriores se desprende que según los requerimientos de rugosidad, recomendada por American Welding Society para el metalizado, de 2,5 a 13 μm , el proceso de enarenado es un tanto riesgoso para asegurar una buena adherencia debido que la rugosidad alcanzada está muy cercana al límite inferior establecido por la norma. Lo contrario ocurre para la superficie preparada por granallado brindando una rugosidad más acentuada logrando por consiguiente un mejor anclaje del material aportado al sustrato.

En definitiva, es recomendable preparar el material a metalizar con el proceso de granallado en lugar de enarenar la superficie. Una aclaración importante, cuando la rugosidad es muy elevada, ésta favorece el anclaje de la capa antidesgaste al material base logrando una "mejor adherencia", pero a contrapartida será necesario cubrir la superficie con más pasadas, con la finalidad de obtener una película uniforme, resultando en un mayor consumo de material de aporte y encareciendo el producto final.

3.1.2. Ensayos de flexión

La adherencia de la capa dura se intentó verificar mediante un ensayo de flexión en tres puntos en la máquina universal de ensayos servohidráulica AMSLER 6PZD 1406, observando los resultados de fuerza, deformación y tiempo al momento de la fisura.

Para tal ensayo se confeccionaron seis probetas de planchuelas, tres metalizadas con Postalloy 2832-Postalloy 199 en 2, 4 y 6 pasadas respectivamente, previamente enarenada y la tres restantes metalizadas de la misma manera pero previamente granallada con granalla angular de acero G-40.

- Probeta AC1010E2: Planchuela de acero 1010, 1" x 1/8", laminada en caliente, enarenada con arena gruesa a 6 bar y metalizada con Postalloy 2832-Postalloy 199 en 2 pasadas. Dimensiones 25,4 mm x 3,2 mm x 170 mm.
 - Probeta AC1010E4: Planchuela de acero 1010, 1" x 1/8", laminada en caliente, enarenada con arena gruesa a 6 bar y metalizada con Postalloy 2832-Postalloy 199 en 4 pasadas. Dimensiones 25,4 mm x 3,2 mm x 170 mm.
 - Probeta AC1010E6: Planchuela de acero 1010, 1" x 1/8", laminada en caliente, enarenada con arena gruesa a 6 bar y metalizada con Postalloy 2832-Postalloy 199 en 6 pasadas. Dimensiones 25,4 mm x 3,2 mm x 170 mm.
- Belloni J. L. et al. / Efecto de la preparación previa de la superficie en el sistema de metalizado por arco eléctrico (Arc-Spray)

nes 25,4 mm x 3,2 mm x 170 mm.

- Probeta AC1010G2: Planchuela de acero 1010, 1" x 1/8", laminada en caliente, granallada con granalla angular de acero fundido tamaño G-40 a 6 bar y metalizada con Postalloy 2832-Postalloy 199 en 2 pasadas. Dimensiones 25,4 mm x 3,2 mm x 170 mm.
- Probeta AC1010G4: Planchuela de acero 1010, 1" x 1/8", laminada en caliente, granallada con granalla angular de acero fundido tamaño G-40 a 6 bar y metalizada con Postalloy 2832-Postalloy 199 en 4 pasadas. Dimensiones 25,4 mm x 3,2 mm x 170 mm.
- Probeta AC1010G6: Planchuela de acero 1010, 1" x 1/8", laminada en caliente, granallada con granalla angular de acero fundido tamaño G-40 a 6 bar y metalizada con Postalloy 2832-Postalloy 199 en 6 pasadas. Dimensiones 25,4 mm x 3,2 mm x 170 mm.

En la figura 4 se muestra una probeta durante el ensayo de flexión.

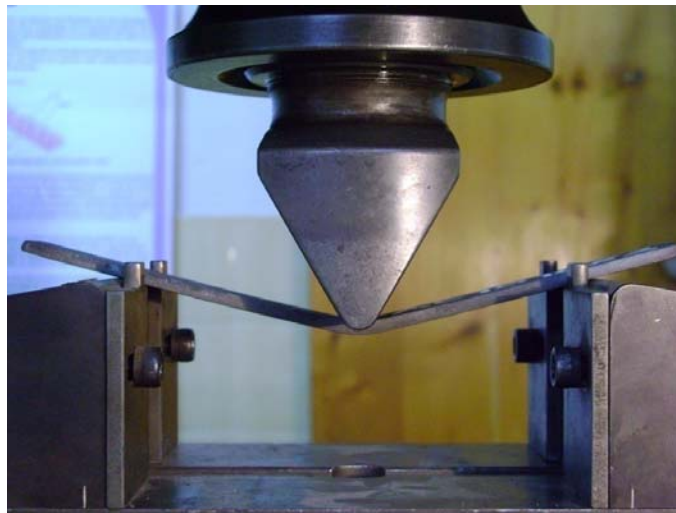


Figura 4. Ensayo de flexión de una probeta

Se colocaron las probetas con el recubrimiento hacia abajo y se observó en el lugar de mayor momento flector para determinar el instante en que apareciera la fisura.

Al mismo tiempo se registraron las deformaciones, esfuerzos y tiempo en una PC vinculada a la máquina.

Si bien no es un ensayo normalizado, sirvieron para determinar la variación de la resistencia a flexión con el espesor, y sacar conclusiones sobre la adherencia.

Los resultados que se obtuvieron de los ensayos a las probetas AC1010E2, AC1010E4 y AC1010E6 fueron los siguientes:

3.1.2.1. Ensayo de flexión sobre probeta AC1010E2

En este material se registró la falla para los siguientes valores:

- Deformación (flecha): 7,7 mm
- Fuerza: 0,85 KN

En la imagen capturada por el microscopio óptico, en la zona de falla, si bien existe la fisura, ésta no se puede observar debido a la recuperación elástica de la probeta.

En la figura 5 se pueden apreciar la curva fuerza / deformación (flecha), y la imagen microscópica de la zona fracturada.

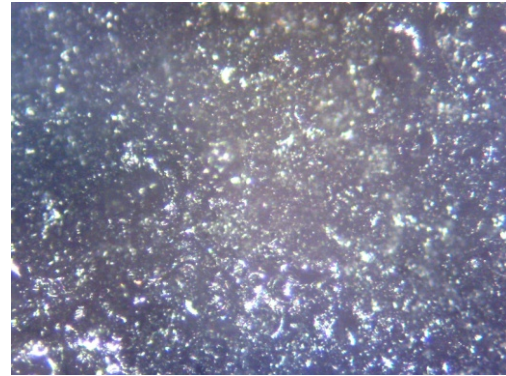
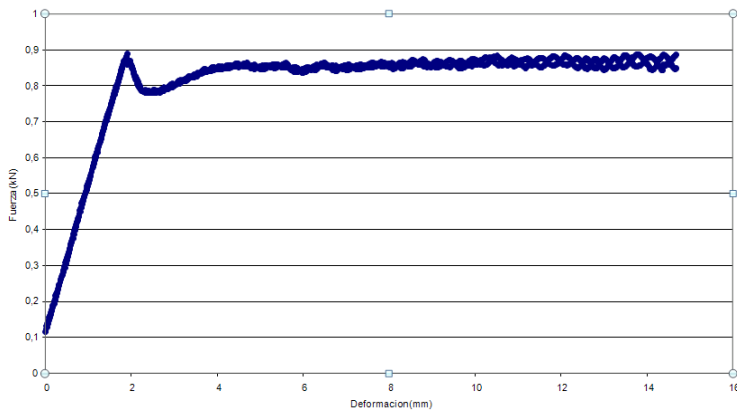


Figura 5. Gráfico fuerza / flecha e imagen microscópica de la probeta AC1010E2

3.1.2.2. Ensayo de flexión sobre probeta AC1010E4

En este material se registró la falla para los siguientes valores:

- Deformación (flecha): 5,8 mm
- Fuerza: 0,85 KN

En la imagen capturada por el microscopio óptico, en la zona de falla, se puede observar la grieta de rotura del recubrimiento.

En la figura 6 se pueden apreciar la curva fuerza / deformación (flecha), y la imagen microscópica de la zona fracturada.

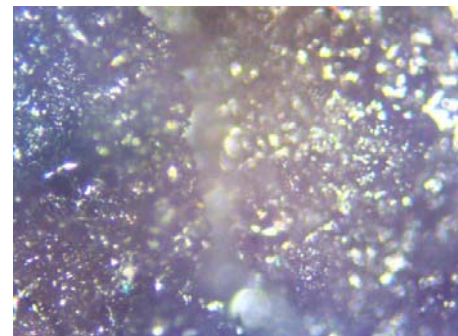
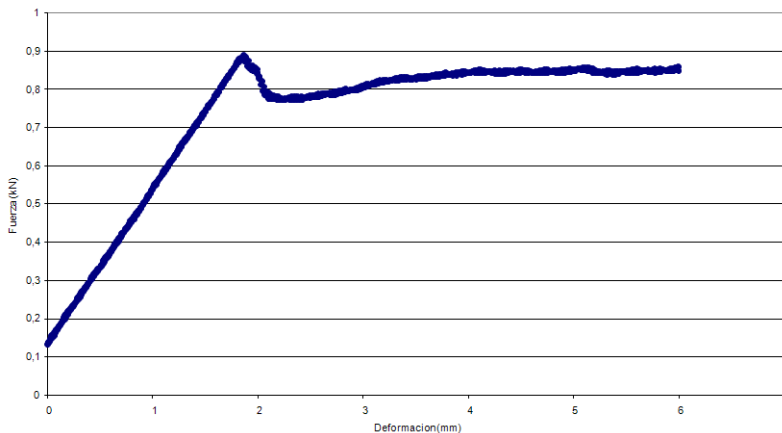


Figura 6. Gráfico fuerza / flecha e imagen microscópica de la probeta AC1010E4

3.1.2.3. Ensayo de flexión sobre probeta AC1010E6

En este material se registró la falla para los siguientes valores:

- Deformación (flecha): 5,1 mm
- Fuerza: 0,84 KN

En la figura 7 se pueden apreciar la curva fuerza / deformación (flecha), y la imagen microscópica de la zona fracturada.

En la imagen capturada por el microscopio óptico, en la zona de falla, se puede observar nuevamente la fisura de rotura del recubrimiento.

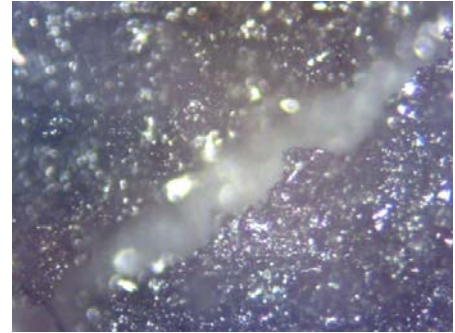
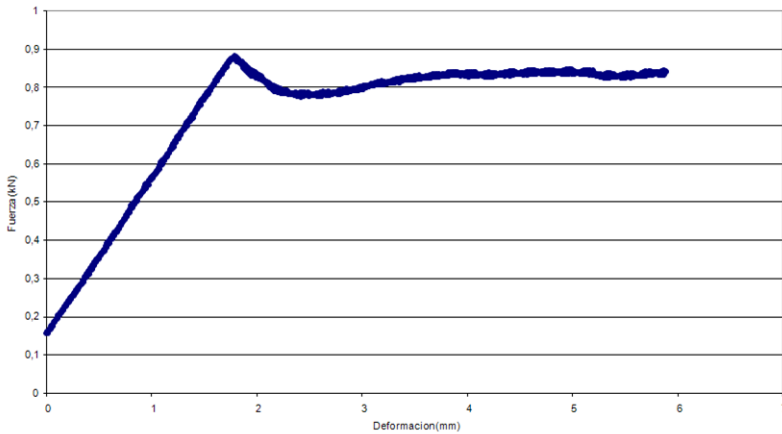


Figura 7. Gráfico fuerza / flecha e imagen microscópica de la probeta AC1010E6

En función de los resultados obtenidos, se puede afirmar que la deformación para la cuál se alcanza la fisura en el recubrimiento, disminuye con el aumento de espesor de éste, variando muy poco los valores del esfuerzo necesario.

Para las probetas AC1010G2, AC1010G4 y AC1010G6 se llegaron a resultados similares con un incremento en los valores de deformación al momento de la fisura, representando una mejor adherencia.

Por tal motivo no siempre es beneficioso hacer demasiadas pasadas de recubrimiento para lograr una mayor resistencia al desgaste, ya que se podría llegar a la falla por desprendimiento del metalizado antes de llegar al límite de su vida útil, por una deformación del material base.

En la tabla 2 se muestra un resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 2. Resultados de los ensayos de flexión

Probeta	AC1010E2	AC1010E4	AC1010E6	AC1010G2	AC1010G4	AC1010G6
Deformación	7,77 mm.	5,83 mm.	5,13 mm.	8,74 mm.	8,35 mm.	5,46 mm.
Esfuerzo de rotura	0,85 KN	0,85 KN	0,84 KN	0,96 KN	0,91 KN	0,94 KN

Como trabajos futuros, a los efectos de obtener información más certera sobre la adherencia de la capa de metalizado al material base, sería conveniente realizar una serie de ensayos a probetas, preparadas con la técnica de enarenado y otras con granallado, aplicando la norma ASTM C 633. El ensayo consiste en pegar dos chapas metalizadas con un pegamento de alta resistencia y luego someterlas a tracción en una máquina de ensayos universal. Adicionalmente, se podrían realizar ensayos de *Desgaste Abrasivo*. Bajo la norma ASTM G65 las probetas, con recubrimiento antidesgaste, son sometidas al efecto abrasivo producido por una cortina de arena que cae entre la probeta propiamente dicha y una rueda de caucho.

Con los resultados de este último ensayo, se podría determinar cuál es el factor por el cual se multiplica la duración o vida útil del material recubierto en relación al sustrato virgen, que es lo que realmente le interesa al usuario final, a la hora de realizar una inversión.

4. CONCLUSIONES

Ha sido probada la técnica de Arc-Spray, específicamente en lo que respecta a la calidad de las capas obtenidas con diversos estados de terminación de la superficie a recubrir, mediante la realización de ensayos

de rugosidad superficial previo a la deposición; y mediante ensayos de flexión y microscopía del recubrimiento, a los efectos de determinar el nivel de adherencia de la misma.

Fueron probadas diversas combinaciones de electrodos comercialmente disponibles para el método, así como la influencia de la cantidad de capas aplicadas del recubrimiento metálico.

Los resultados obtenidos demuestran que se debe tener especial cuidado en la determinación de la cantidad de capas de recubrimiento a aplicar, en función de las características del sustrato, y de la vida útil prevista para el recubrimiento, a los efectos de optimizar el consumo de material de aporte y obtener menores costos generales del proceso.

5. REFERENCIAS

- [1] J.R. Davis (Ed.), Handbook of Thermal Spray Technology, ASM International, Materials Park, OH, USA, pp. 175–213, 2004.
- [2] L. Pawlowski, The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings, Wiley, New York, 1995.
- [3] Matthew K. Hedges, A.P. Newbery, P.S. Grant, Characterisation of electric arc spray formed Ni superalloy IN718, Materials Science and Engineering A326, pp 79–91, 2002.
- [4] Gregory A. Butzer, The Production-Scale Spray Forming of Superalloys for Aerospace Applications, JOM, vol. 51, N° 4, 1999.
- [5] A.P. Newbery a, P.S. Grant, Oxidation during electric arc spray forming of steel, Journal of Materials Processing Technology, N° 178, pp. 259–269, 2006.
- [6] B.Q. Wang, M.W. Seitz, Comparison in erosion behavior of iron-base coatings sprayed by three different arc-spray processes, Wear, 250, pp. 755-761, 2001.
- [7] J.C. Fang, W.J. Xu, Z.Y. Zhao, Arc spray forming, Journal of Materials Processing Technology, 164–165, pp. 1032–1037, 2005.