

Modificación de las propiedades superficiales de aceros inoxidables Dúplex mediante recubrimientos por láser^(*)

V. Amigo*, Y. Pineda**, F. Segovia* y A. Vicente*

Resumen

La posibilidad de restaurar superficies y, con ello, las propiedades de las mismas mediante el recubrimiento por láser de polvos constituye uno de los mayores intereses en las investigaciones actuales. En este trabajo se ha obtenido un recubrimiento de una aleación base níquel, mediante el tratamiento láser de polvos elementales para diferentes condiciones de procesado. Se ha evaluado la influencia de las variables de proceso, velocidad del láser y desenfoque del haz láser en la microestructura de los recubrimientos y con ello en las propiedades finales de los mismos, así como en la transición de estas a través de la interfase y la zona afectada por el calor, ZAC, evaluada mediante perfiles de microdureza. La obtención de recubrimientos a partir de polvos resulta muy adecuada, en este caso, al obtener unas propiedades mecánicas que están determinadas por la microestructura de solidificación, originada por la transferencia de masa y calor en el sistema.

Palabras clave Aceros dúplex. Recubrimiento láser. Polvos metálicos. Aleaciones base Ni.

Duplex stainless steel surface by laser cladding

Abstract

Laser cladding is one of the most promising techniques to restore damaged surfaces and achieve properties similar to those of the base metal. In this work, duplex stainless steels have been cladded by a nickel alloy under different processing conditions. The influence of the beam speed and defocusing variables has been evaluated in the microstructure both of the cladding and heat affected zone, HAZ. These results have been correlated to mechanical properties by means of microhardness measurements from cladding area to base metal through the interface. This technique has shown to be very appropriate to obtain controlled mechanical properties as they are determined by the solidification microstructure, originated by the transfer of mass and heat in the system.

Keywords Duplex steel. Laser cladding. Metallic powders. Ni alloys.

1. INTRODUCCIÓN

La técnica de modificación de las propiedades superficiales de un material mediante la utilización de un haz de láser es un proceso relativamente nuevo que permite mejorar las propiedades del material tales como resistencia a la corrosión y a la abrasión o para reparar superficies dañadas^[1-6].

Con este proceso, que consiste en obtener un recubrimiento sobre la superficie de la pieza de trabajo mediante la fusión por láser del material de aporte (polvo) y una delgada capa de material de la pieza de trabajo, se consigue una buena unión metalúrgica, mínima dilución y baja distorsión de

la pieza de prueba^[7], y puede utilizarse, también, como una nueva tecnología de fabricación de partes metálicas por deposición directa^[8].

La mejora de las propiedades mecánicas del material se consigue gracias a los efectos de solidificación rápida que resultan en una microestructura refinada y nueva^[1 y 7] que, frecuentemente, contienen fases de no equilibrio, en razón a que los procesos de difusión en el estado sólido son, prácticamente, despreciables, y soluciones sólidas supersaturadas que conducen a aplicaciones potenciales e interesantes^[8 y 9]. Debido a la alta densidad de energía del haz del láser, se pueden utilizar

(*) Trabajo presentado el día 17 de septiembre de 2004 y aceptado en su forma final el día 11 de noviembre de 2004.

(*) Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera, s/n. Valencia 46022 España. E. Mail: vamigo@mcm.upv.es

(**) Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia -Tunja-

muchos tipos de materiales como recubrimiento, incluyendo los materiales compuestos^[3 y 10-14], aleaciones base cobalto^[3 y 15] para incrementar la resistencia a la corrosión y al desgaste, y, en el caso particular de las aleaciones de níquel, también a altas temperaturas^[7 y 16].

En el caso específico de los aceros inoxidables, su resistencia a la corrosión es alta^[17], pero su resistencia al desgaste es, relativamente, baja^[18] y el principal modo de falla de estos componentes es, con frecuencia, la erosión^[19]. Para mejorar el comportamiento de estos materiales se pueden utilizar técnicas de modificación superficial como proyección térmica, nitruración o implantación iónica y, en años recientes, la técnica de mejora de las propiedades superficiales del material por medio de láser ha ganado popularidad en el campo industrial y académico^[7] teniendo en cuenta que con este proceso, se pueden restaurar superficies que han perdido material como consecuencia del desgaste^[20 y 21].

2. PROCESO EXPERIMENTAL

2.1. Materiales experimentales

El material base consistió en una lámina de acero inoxidable dúplex con dimensiones 20mm × 15mm × 2mm, en condición de recibido. El polvo utilizado como material de recubrimiento es una aleación de níquel con denominación comercial Metco 12C, con un tamaño de partícula de -125 a 45 µm. La microestructura del material se observa en la figura 1, en la que puede apreciarse la estructura dendrítica de solidificación obtenida por el proceso de atomizado utilizado.

En la tabla I se indica la composición química del polvo y del material base.

2.2. Recubrimiento por láser

Como equipo para obtener el recubrimiento se ha utilizado un láser de Nd-YAG de 1000 W de potencia, alimentándose el polvo a través de una boquilla incidente al material base, con una inclinación de

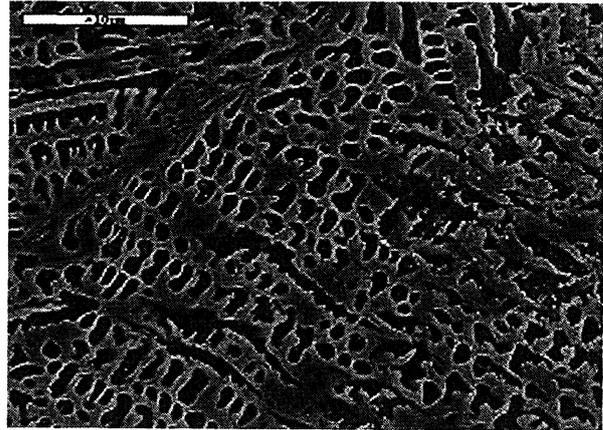


Figura 1. Microestructura del polvo Metco 12C utilizado como material de recubrimiento. Imagen de electrones secundarios obtenida a 3500X donde se muestra la estructura dendrítica obtenida durante el proceso de fabricación del polvo.

Figure 1. Microstructure of the powder Metco 12C used as cladding material. Image of secondary electrons obtained at 3500X, where the typical dendritic microstructure of solidification due to powder fabrication is observed.

45°, a partir de tolva de alimentación del polvo por rotación Twin 10-C de Sulzer Metco. Las velocidades de avance de la mesa fueron de 400 y 500 mm/min, utilizándose desenfoques del haz láser de 10, 15 y 20 mm para ambas velocidades.

2.3. Microscopía y microdurezas

La sección transversal de las muestras se preparó metalográficamente por desbaste y pulido mecánico, y se atacó superficialmente mediante reactivo de Murakami. Para la evaluación de la microestructura se utilizó un microscopio óptico Nikon Microphot FX y, un equipo Matsuzawa MHT2, para los barridos de microdureza en los que se aplicó una carga de 300 gf y un tiempo de 15 s.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 2 se observan las diferentes curvas de microdureza obtenidas para las tres condiciones de

Tabla I. Composición química del recubrimiento y del metal base

Table I. Chemical composition of the cladd and the metal base

Material	C	Cr	Ni	Mn	Mo	N	B	Si	Fe
Recubrimiento	0.15	10.00	82.35	-	-	-	2.5	2.5	2.5
Base	0.03	22.00	5.50	< 2.00	3.00	0.20	-	1.00	Balance

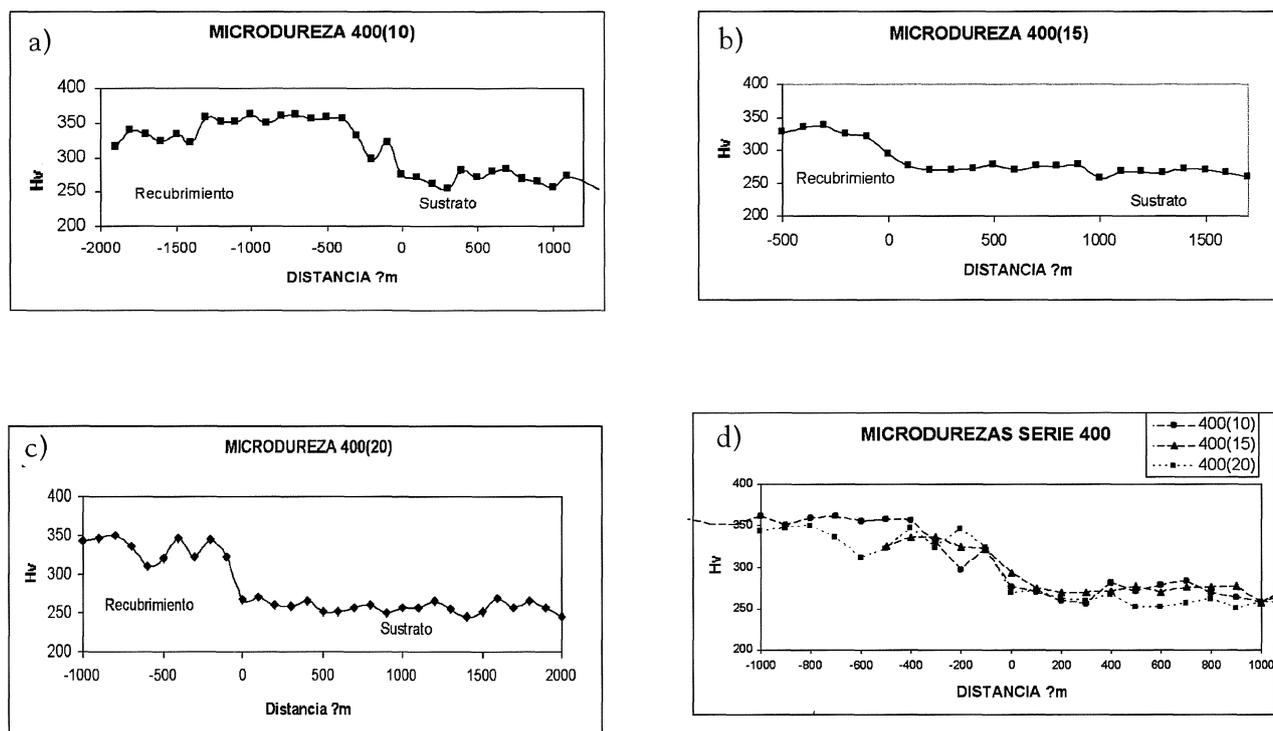


Figura 2. Barridos de microdureza para la velocidad de avance del láser de 400 mm/min, en los diferentes desenfocos ensayados: a) 10 mm, b) 15mm, c) 20 mm, y, d) Gráfico resumen, para los tres desenfocos ensayados, de los barridos de microdureza superpuestos.

Figure 2. Microhardness profiles with 400 mm/min laser beam speed for different defocusing: a) 10 mm, b) 15mm, c) 20 mm, and, d) summary.

desenfoco del haz, manteniendo constante el valor de la velocidad, en este caso, de 400 mm/min. Para el desenfoco de 10 mm (Fig. 2a), el valor máximo de microdureza presenta una evolución desde 361 HV, en la zona del recubrimiento, hasta 283 HV, en el material base, pasando por 270 HV, que corresponde a la zona afectada por el calor. A pesar de tener una zona afectada por el calor muy pequeña (aproximadamente 35 μm), la penetración del recubrimiento dentro del metal base (dilución) es grande, como se observa en la figura 3a, si se compara con los desenfocos del haz de 15 mm (Fig. 3b), lo que se debe a una focalización de la energía y la contribución de ésta en la formación del baño de fusión que se traduce en una mayor entrada de energía al sistema.

Para el desenfoco de 15 y 20 mm la zona afectada por el calor, ZAC, ha crecido y los granos de ferrita han aumentado su tamaño, igualmente.

Para desenfoco de 15 mm, la transición entre el recubrimiento y el metal base es muy suave, no existe un descenso brusco de la dureza y, ésta, pasa de valores de 321 HV, a aproximadamente, 100 μm de la interface hacia el recubrimiento hasta 273 HV a una distancia similar pero en dirección

al metal base. En estas condiciones, la geometría del recubrimiento y su dilución, producen una buena adherencia al sustrato.

Las microestructuras de la figura 4 muestran el crecimiento de los granos en la ZAC. Se observan los granos de ferrita y el crecimiento de la austenita en borde de grano de la ferrita. La austenita también puede crecer intragranularmente en los granos de ferrita, disminuyendo la proporción 50-50 austenita-ferrita que se tiene en el material base inicial. Esto sucede cuando el acero inoxidable dúplex es calentado por encima de los 1.100 $^{\circ}\text{C}$, como sucede con el recubrimiento por láser, la austenita, γ , empieza a disolverse y su fracción puede volverse muy pequeña, dependiendo de la composición química de la aleación.

A pesar de la mayor dilución del recubrimiento dentro del sustrato, en el desenfoco de 10 mm se obtiene una ZAC más pequeña, alrededor de 50 μm (Fig. 4a), comparada con el desenfoco de 15 y 20mm, como se observa en las figuras 4b y 4c, 160 y 200 μm , respectivamente.

Estas mismas situaciones se mantienen para la velocidad de 500 mm/min, con estos mismos desenfocos del haz de 10, 15 y 20 mm (Fig. 5).

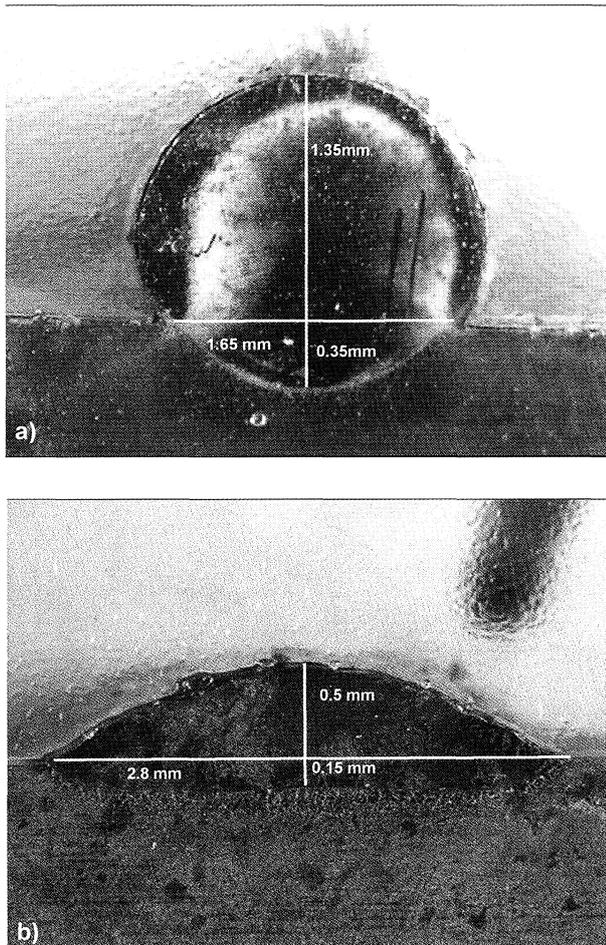


Figura 3. Geometría del recubrimiento, para velocidades de avance de 400 mm/min, obtenida a diferentes desenfoces del haz láser: a) desenfoco del haz de 10 mm, b) desenfoco del haz de 15 mm. El aspecto mostrado para estas mismas condiciones con 500 mm/min es muy semejante.

Figure 3. Geometry of the cladding, for speeds of advance of 400 mm/min, by different defocusing: a) 10 mm, b) 15 mm. The aspect shown is very similar for the same conditions at 500 mm/min.

Para esta velocidad de avance, los valores de microdurezas del recubrimiento son inferiores que para la velocidad de avance de 400 mm/min, tal como puede observarse en la figura 6. Esto se debe a que, a una mayor velocidad de avance, la energía de entrada al sistema recubrimiento-metal base es menor, dando lugar a un enfriamiento más rápido que suprime la nucleación y crecimiento de algunas fases duras, como carburos y/o intermetálicos, en el recubrimiento.

4. CONCLUSIONES

- Mediante el recubrimiento de polvos por láser se posibilita la modificación de las superficies

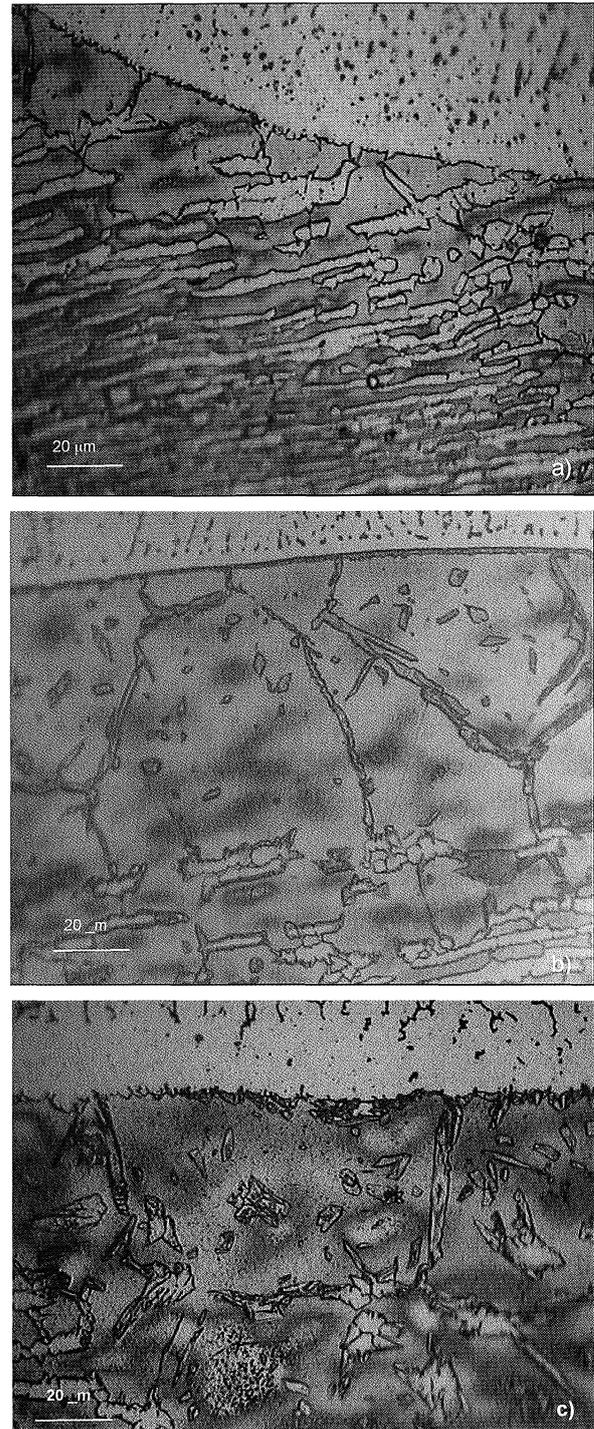


Figura 4. Microestructura de la interface y la zona afectada por el calor para velocidad de avance de 400mm/min y los desenfoces de a) 10 mm b)15 mm y c) 20 mm. Se observa el crecimiento de los granos de ferrita, puede verse también la austenita intragranular y en bordes de grano de la ferrita. En la parte inferior derecha de b) se observa la microestructura del metal base con los granos de ferrita y austenita orientados en la dirección de laminado.

Figure 4. Microstructure of the interface and heat affected zone for speed of advance of 400mm/min and defocusing of a) 10 mm b)15 mm and c) 20 mm. Ferrite growth is observed, and also austenite located at the borders of ferrite grains. Typical laminated microstructure of base metal is observed to the right and below area of figure b).

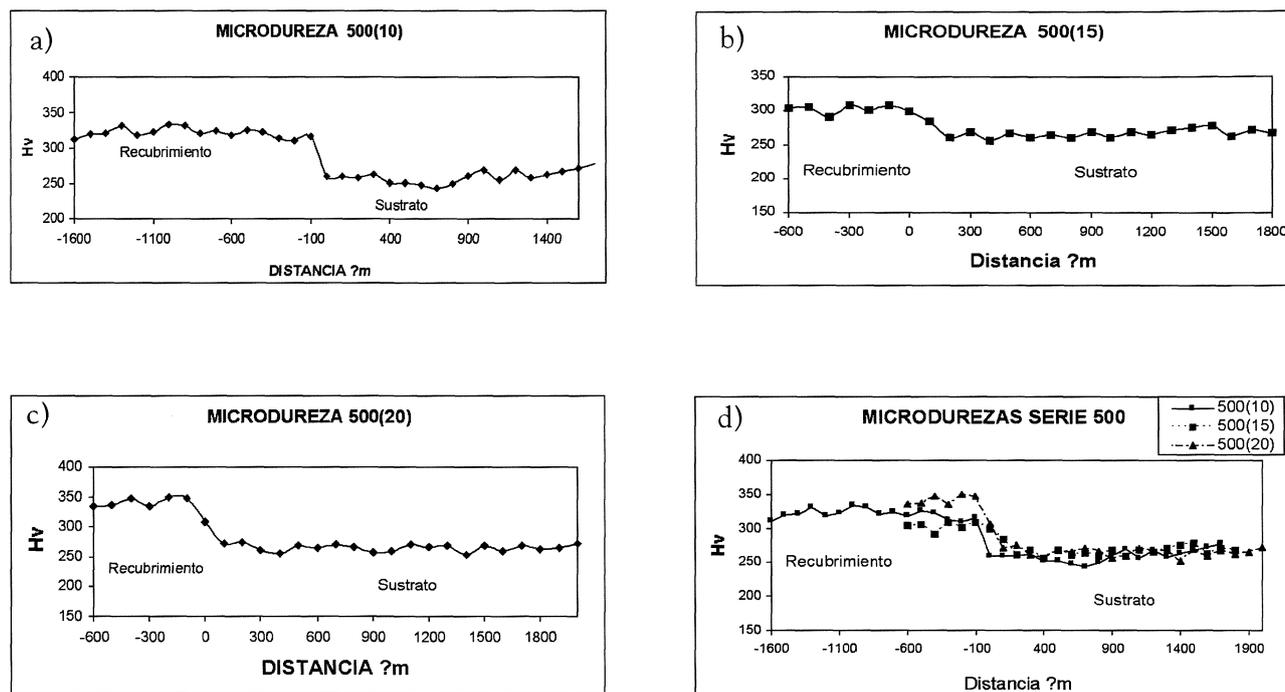


Figura 5. Microdurezas para velocidad de avance de 500 mm/min y desenfoques de 10, 15 y 20 mm. En la figura d) se observan las curvas para los 3 desenfoques.

Figure 5. Microhardness for speed of advance of 500 mm/min and defocusing of 10, 15 and 20 mm. In the figure d) all curves are shown.

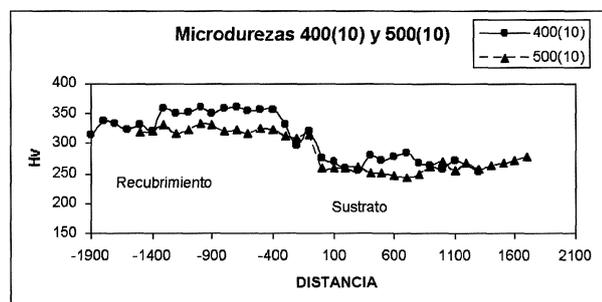


Figura 6. Valores de microdureza para velocidad de avance de 400 y 500 mm/min y desenfoques de 10 mm.

Figure 6. Microhardness values for speed of advance of 400 and 500 mm/min and 10 mm defocusing.

de aceros inoxidables duplex. Estas superficies han podido mejorarse, utilizando esta técnica, recubriéndolas con polvos de aleación de níquel, de mayor dureza.

- La velocidad de avance de la mesa durante la aplicación del recubrimiento, ejerce una influencia importante en el proceso de solidificación y, por tanto, en la microestructura final obtenida, así como en la dureza del recubrimiento, para lo que debe tenerse en cuenta que a mayor velocidad de avance la energía específica de entrada es menor.

- A mayor desenfoque del haz, la relación ancho/alto del recubrimiento aumenta y la penetración del recubrimiento dentro del metal base, dilución, disminuye, debido a una menor densidad de energía, sin que por ello disminuya la unión recubrimiento-metal.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Asociación de Investigación de Óptica de la Comunidad Valenciana por la aplicación por láser del recubrimiento; al soporte del Ministerio de Ciencia y Tecnología a través del proyecto MAT2001-1123-C03-02 y a la Consellería de Cultura, Educación y Esport de la Generalitat Valenciana, a través del Proyecto GV04B-425.

REFERENCIAS

- [1] L.C. LIM, QIAN MING y Z.D. CHEN, *Surf. Coat. Tech.* 106 (1998) 183-192.
- [2] J. DE DAMBORENEA, *Surf. Coat. Tech.* 100-101 (1998) 377-382.
- [3] A. HIDOUCI, J.M. PELLETIER, F. DUCOIN, D. DEZERT y R. EL GUERJOUA, *Surf.Coat. Tech.* 123 (2000) 17-23.

- [4] Z. DAWEI, T. LI y T.C. LEI, *Surf.Coat. Tech.* 110 (1998) 81-85.
- [5] X. WU, B. ZHU, X. ZENG, X. HU y K. CUI, *Surf. Coat. Tech.* 79 (1996) 200-204.
- [6] A. CONDE, F. ZUBIRI y J. DE DAMBORENEA, *Mat. Sc. Eng.* 334 (2002) 233-238.
- [7] Q. MING, L.C. LIM y Z.D. CHEN, *Surf.Coat. Tech.* 106 (1998) 174-182
- [8] Y. ZHANG, M. XI, S. GAO y L. SHI, *J. Mat. Proc. Tech.* 142, 2, 25 (2003) 582-585.
- [9] R. VILAR, *Int. J. Powder Metall.* 37 (2001) 31-48.
- [10] J. FENG, M.G.S. FERREIRA y R VILAR, *Surf. Coat. Tech.* 88(1996) 212-218.
- [11] Q. LI, T.C. LEI, Y.B. CHEN, J.H. OUYANG, D.Z. YANG y Y. ZHOU, *Mater. Sci. Tech.* 15 (1999) 323-327.
- [12] A. TECHEL, A. LUFT, A. MULLER y S. NOWOTNY, *Opt. Quant. Elect.* 27 (1995) 1.313-1.318.
- [13] Y. YANG, *App. Surf. Sci.* 140 (1999)19-23.
- [14] Y.T. PEI y T.C. ZUO, *Mater. Sci. Eng. A* 241 (1998) 259-263.
- [15] H. SO, C.T. CHEN y Y.A. CHEN, *Wear* 192 (1996) 78-84.
- [16] P. WANG, Y. YANG, G. DING, J. QU y H. SHAO, *Wear* 209 (1997) 96-100.
- [17] C.M. ABREU, M.J. CRISTÓBAL, X.R. NOVOA, G. PENA y M.C. PÉREZ, *Rev. Metal. Madrid* 40 (2004) 224-229.
- [18] G. FARGAS, J.M. MANERO, M. ANGLADA y A. MATEO, *Rev. Metal. Madrid* 40 (2004) 219-223.
- [19] D. ZHANG, T.C. LEI, J. ZHANG y J. OUYANG, *Surf. Coat. Tech.* 115(1999) 176-183.
- [20] M. GAUMAN, S. HENRY, F. CLETON, J.D. WAGNIERE y W. KURZ, *Mater. Sci. Eng. A* 271 (1999) 232-241.
- [21] M. CADENAS, J.M. CUETOS, J.E. FERNÁNDEZ, M.R. FERNÁNDEZ, L. M. VEGA, J. DE DAMBORENEA, *Rev. Metal. Madrid* 38 (2002) 457-463.