

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

ESCUELA DE POSGRADO



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**“INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE FeTi EN LA RESISTENCIA AL
DESGASTE, DUREZA Y MICROESTRUCTURA DE UN
RECUBRIMIENTO DURO BASE Cr”**

Artículo para optar el grado de Magíster en Ingeniería de Soldadura

AUTOR

Ronald Requejo Villanueva

ASESOR

Francisco Rumiche

JURADO

Paul Lean

Anibal Rozas

LIMA – PERÚ

2017

INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE FeTi EN LA RESISTENCIA AL DESGASTE, DUREZA Y MICROESTRUCTURA DE UN RECUBRIMIENTO DURO BASE Cr

Tesista: Ronald Requejo
Asesor: Francisco Rumiche

ABSTRACT

En el presente trabajo de investigación se evaluó la influencia del porcentaje de FeTi en el revestimiento de electrodos de soldadura, sobre la microestructura, la resistencia al desgaste, y la dureza de recubrimientos duros base Cr. El porcentaje de FeTi (45% de concentración) en el revestimiento de los electrodos estuvo en el rango de 0 a 6.85%. Los electrodos fueron empleados para depositar capas de recubrimiento sobre sustratos de acero ASTM A-36 empleando el proceso SMAW. La microestructura de los recubrimientos fue evaluada mediante técnicas metalográficas y microscopía electrónica de barrido. Para la determinación de la dureza se empleó el método Vickers. La resistencia al desgaste de los recubrimientos fue evaluada mediante el ensayo de desgaste continuo por abrasión e impacto y el ensayo de desgaste por abrasión de rueda de caucho y arena (ASTM G 65-04). Los resultados indican que los porcentajes de carburo de titanio, austenita retenida, y martensita, en la microestructura de los recubrimientos, varían con el contenido de FeTi. No se aprecia una variación significativa en la dureza asociada al porcentaje de FeTi debido al efecto compensatorio que ejerce el porcentaje de las fases observadas. En relación a la resistencia al desgaste, altos porcentajes de FeTi (5 y 6.85%) generan un ligero incremento en la resistencia al desgaste abrasivo.

1. INTRODUCCIÓN

La aplicación de recubrimientos duros mediante soldadura, o hardfacing, constituye un método de relativo bajo costo para generar sobre un determinado componente una superficie resistente al desgaste y extender la vida operativa del mismo. Los recubrimientos duros son aplicados tanto a componentes nuevos como a componentes que se encuentran en servicio. Dentro de las ventajas que presenta el aplicar recubrimientos duros a componentes se pueden mencionar las siguientes:

- Reducción de los costos por reemplazo de componentes en un 25 a 75%.
- Disminución de los tiempos por paradas de equipos.
- Empleo de materiales base (sustrato del componente) más económicos.

Generalmente los recubrimientos son aplicados para extender la vida de los componentes expuestos a un amplio rango de fenómenos de desgaste, tales como fricción metal – metal, abrasión, impacto e impacto más abrasión, y combinaciones de dos o más de las anteriores.

Uno de los materiales más empleados actualmente para hardfacing son las aleaciones de hierro blanco hipereutécticas de alto contenido de cromo. Estas aleaciones presentan una excelente resistencia al desgaste debido a la presencia de carburos de cromo del tipo $(Cr,Fe)_7C_3$, en porcentajes entre 40 a 50% [1]. Sin embargo, la aplicación de estas aleaciones no es recomendada para aquellos componentes en los que se requiere mantener una elevada resistencia al impacto, pues al contener carburos de cromo, particularmente alargados, el recubrimiento exhibe un comportamiento frágil.

En este contexto, en el presente trabajo de investigación se propone producir recubrimientos con partículas de TiC, que exhiben mayor dureza y mejor estabilidad térmica que los carburos de cromo, y pueden ser empleadas como refuerzo en aleaciones base Fe [2]. Se pretende eliminar los carburos de cromo y generar recubrimientos con buena resistencia al desgaste y una adecuada resistencia al impacto.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1. Fabricación de electrodos y preparación de cupones

Para el desarrollo del presente trabajo se fabricaron 5 tipos de electrodo para soldadura SMAW con un diámetro de 4.00 mm. El núcleo de los electrodos está constituido por un alambre de acero tipo SAE 1008 y el revestimiento por un flux tipo Carbonato-Fluorspar, con un contenido 23 % de Ferro Cromo (composición: 67% Cr y 17% Fe). En cada uno de los 5 electrodos se empleó un contenido distinto de Ferro

Titanio (composición: 55% Fe y 45% Ti) en el revestimiento, variando en un rango de 0.0% a 6.85%. La Tabla 1 presenta la designación de cada electrodo y el correspondiente contenido de FeTi en el revestimiento.

Tabla 1. Designación de los electrodos fabricados y composición del revestimiento.

Designación del electrodo	Ti0	Ti125	Ti250	Ti500	Ti685
% de FeTi	0.0 %	1.25 %	2.50%	5.00%	6.85%

Los electrodos fabricados fueron empleados para depositar recubrimientos duros sobre sustratos de acero ASTM A-36 (cupones de 100 mm de ancho x 200 mm de longitud y 12 mm de espesor, ver Figura 1) empleando el proceso de soldadura SMAW. Los parámetros de soldadura empleados se muestran en la Tabla 2. Se aplicaron 3 pases de soldadura con la finalidad de evitar el efecto de la dilución y de replicar una práctica común en el campo.

A cada cupón se le asignó la misma designación de los electrodos con los que fueron preparados (i.e. el cupón Ti 125 fue preparado con electrodos de designación Ti125).

Tabla 2. Parámetros de soldadura

Material	
Base	ASTM A 36
Amperaje	180 - 190 A
Temperatura	
Interpase	120 - 150 °C
Vel. Avance	3 - 4 cm/min
Polaridad	DCEP
N° Pases	3

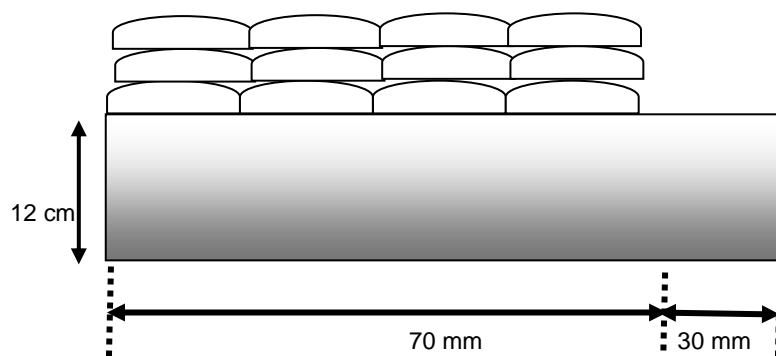


Figura 1. Esquema del cupón.

2.2 Dureza, Análisis Químico, Análisis Metalográfico y Ferritometría

Se realizaron barridos de dureza Vickers en muestras de la sección transversal de cada cupón, de acuerdo al estándar ASTM E384-11 [3], empleando una carga de 10 kg. El análisis químico de las muestras se realizó mediante espectrometría de emisión atómica con un equipo Bruker Magellan. Para el análisis metalográfico se prepararon probetas de acuerdo a los estándares ASTM E3-11 [4] y ASTM E407-07 [5] y se atacaron químicamente siguiendo el método desarrollado por Ikawa et al. [6], con la finalidad de revelar la microestructura. El método de ataque involucra 2 pasos: primero un ataque electrolítico con 3 V durante 3 s en una solución de glicina ($\text{CH}_3\text{COONH}_2$) (5g) y fluoruro de sodio (NaF) (0.5g) en 100 ml de agua destilada, y un segundo ataque electrolítico con 6 V durante 30 s en una solución de hidróxido de sodio (NaOH) (25g) y ácido pícrico $\text{C}_6\text{H}_2\text{OH}(\text{NO}_2)_3$ (5g) en 100ml de agua destilada. Se registraron imágenes de la microestructura empleando un microscopio óptico Leica modelo DMI 5000M equipado con una cámara digital Leica DFC 320. Asimismo, se empleó microscopía electrónica de barrido para un análisis más detallado de la microestructura, empleando un equipo FEI Quanta 200 equipado con un detector EDS, operando a 30 kV. Finalmente se estimó el contenido de austenita retenida mediante un análisis por ferritometría con un equipo Fisher Ferritoscope® MP30E que opera según la norma ISO 17655:2003 [7].

2.3 Ensayo de desgaste CIAT (Continuous Impact-Abrasion Test)

La Figura 2 (a) presenta una fotografía del equipo CIAT empleado en la presente investigación. En este equipo la probeta es ubicada en un porta muestras que gira a una velocidad de 650 rpm; el porta muestras se ubica de manera concéntrica con un recipiente que contiene una carga abrasiva y que gira a 60 rpm, tal como se muestra en la Figura 2(b). La probeta es sometida al impacto continuo de la carga abrasiva por un periodo de tiempo, luego del cual se determina la pérdida de masa y características del desgaste generado en la probeta. En la presente investigación se empleó como agente abrasivo una carga de 1 kg de billas de acero de 10 mm de diámetro (ver Figura 2(c)). La evaluación se realizó sometiendo la probeta a 4 intervalos de exposición de 15 minutos cada uno. Luego de cada intervalo la probeta fue sometida a un proceso de limpieza ultrasónica en acetona, y a la determinación de la correspondiente pérdida de masa.

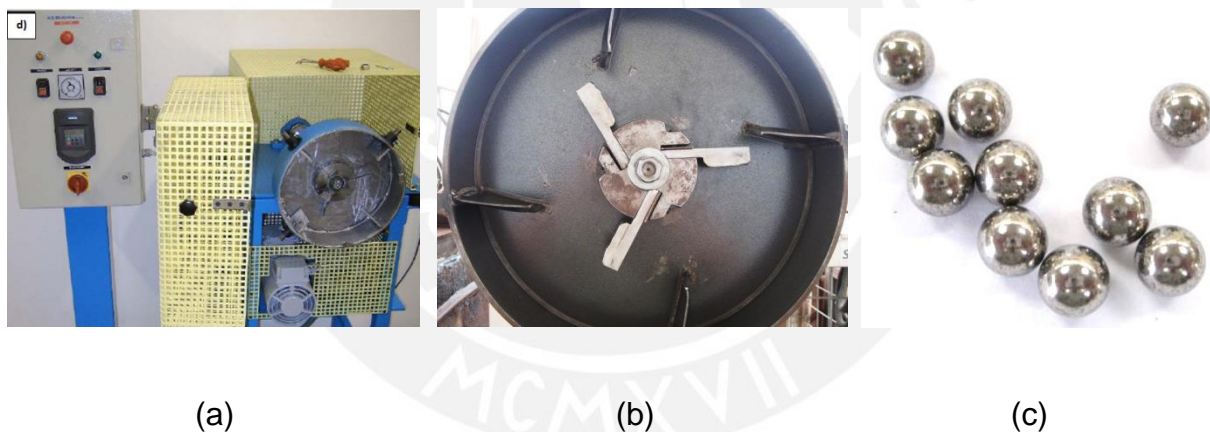


Figura 2. Fotografías del equipo de desgaste CIAT (a), portamuestras y recipiente (b) y billas de acero usadas como carga abrasiva para el ensayo (c).

2.4 Ensayo de Desgaste según ASTM G 65-04 (2010)

En este ensayo se utilizó un equipo de acuerdo a la norma ASTM G 65-04 (2010) (ver Figura 3). Se utilizó arena de fundición aplicando una fuerza de 130N por un tiempo de 10 minutos. Los especímenes fueron pesados antes y después del ensayo y previamente limpiados mediante ultrasonido para posteriormente determinar la pérdida de peso.



Figura 3. Fotografía del equipo de desgaste ASTM G 65-04 (2010).

3. RESULTADOS

3.1. Análisis Químico

La Tabla 3 presenta los resultados del análisis químico de los recubrimientos (metal depositado) en cada uno de los cupones. Se puede observar que el contenido de titanio en el recubrimiento se incrementa conforme se incrementa el contenido de FeTi en el revestimiento del electrodo. Los resultados muestran también que el contenido de carbono en los recubrimientos se mantuvo en un rango inferior al 0.7%.

Element o Electrod o	% C	%Si	%S	%P	%Mn	%Cr	%Mo	%V	%Ti
Ti 0.0	0.609	0.52	0.007	0.0174	2.130	6.90	0.442	0.718	0.00
		5	6			6			3
Ti 1.25	0.577	0.60	0.007	0.0175	2.060	6.66	0.437	0.711	0.01
		2	4			1		3	6
Ti 2.5	0.616	0.74	0.006	0.0187	2.162	6.87	0.428	0.707	0.02
		3	9			7			8

Ti 5.0	0.620	0.97 2	0.006 4	0.0179	2.197	6.99 1	0.439	0.709	0.05 5
Ti 6.85	0.667	1.24 8	0.006 6	0.0173	2.269	7.15 1	0.445	0.749	0.12 2

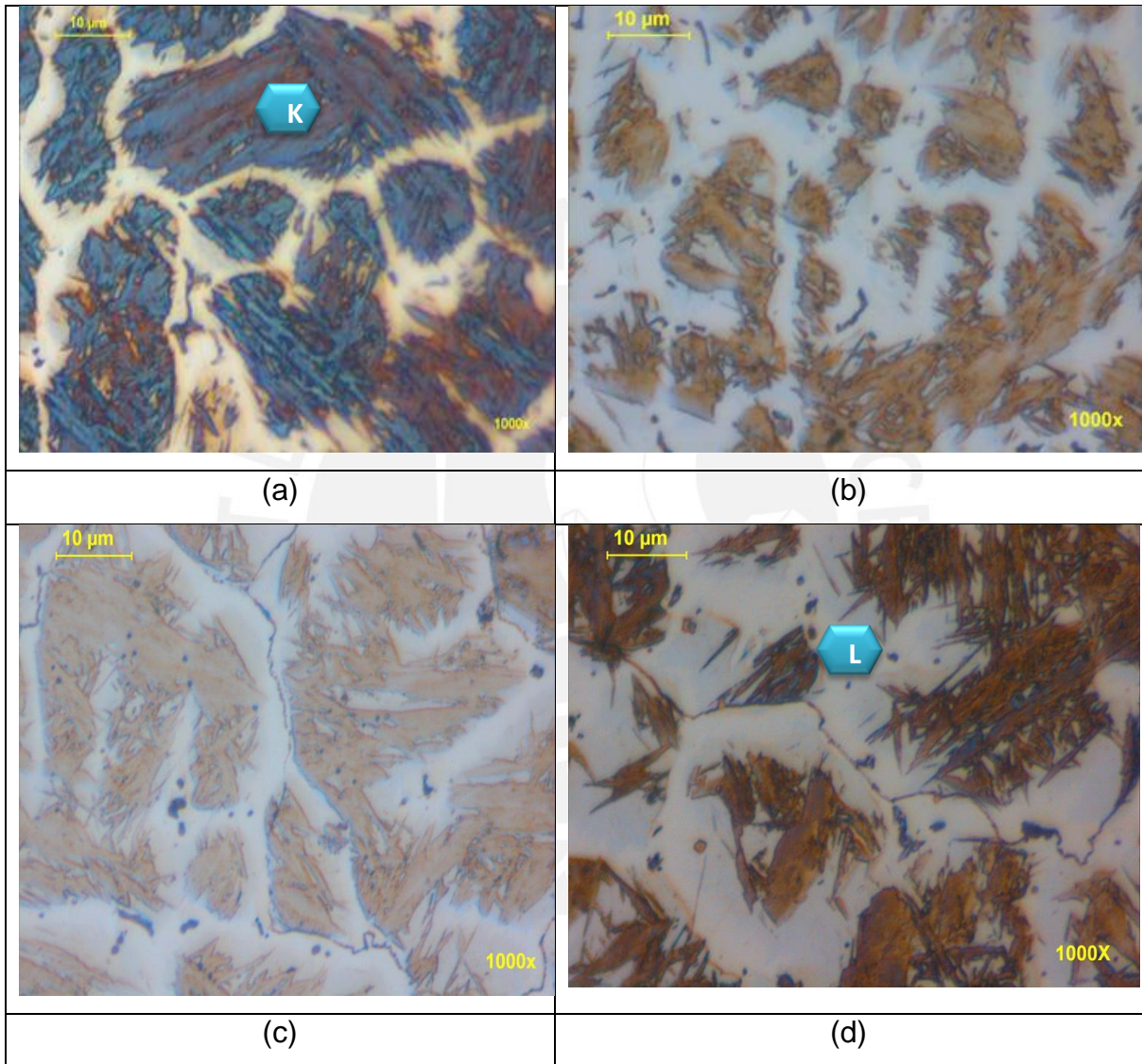
Tabla 3. Composición química (en porcentaje en peso) de los recubrimientos.

3.2. Análisis Metalográfico

La Figura 4 presenta imágenes representativas de la microestructura de los recubrimientos; la microestructura está constituida por martensita (K), carburos dispersos (L), austenita retenida (A) y carburos de titanio (T). Tal como se puede observar en la Figura 5, a medida que la concentración de titanio disminuye, la temperatura de formación de carburos de titanio también tiende a disminuir; así para concentraciones de titanio de 0.0025% la temperatura de inicio de la formación de carburos es de aproximadamente 850- 900° C en condiciones de equilibrio. Teniendo en cuenta que los rangos de estudio en porcentaje atómico de titanio están por debajo de 0.0025 %, y que el porcentaje atómico promedio de carbono es de 0.050%; entonces es de esperarse una microestructura constituida por ferrita + Fe₃C + TiC.

Al comparar la microestructura de la muestra Ti0 (Figura 4 (a)) con la muestra Ti685 (Figura 4 (e)) se puede observar que en la primera muestra no hay presencia de carburos de titanio y la microestructura dominante es la martensita (K). En cambio en la muestra con 6.85 % FeTi se observa la presencia de TiC (T); formas poligonales de color naranja; y además una menor presencia de martensita y mayor presencia de austenita retenida (A).

Si bien es cierto que se aprecia la formación de TiC en las muestras (a excepción de la muestra Ti00), no es posible establecer una correlación entre el contenido de FeTi en el electrodo y el porcentaje de TiC observado. Esto se debe a que el sistema Fe-Ti-C es bastante complejo; en particular, el carbono tiende a migrar fácilmente de formar TiC a Fe₃C, y viceversa, dependiendo de la temperatura [18].



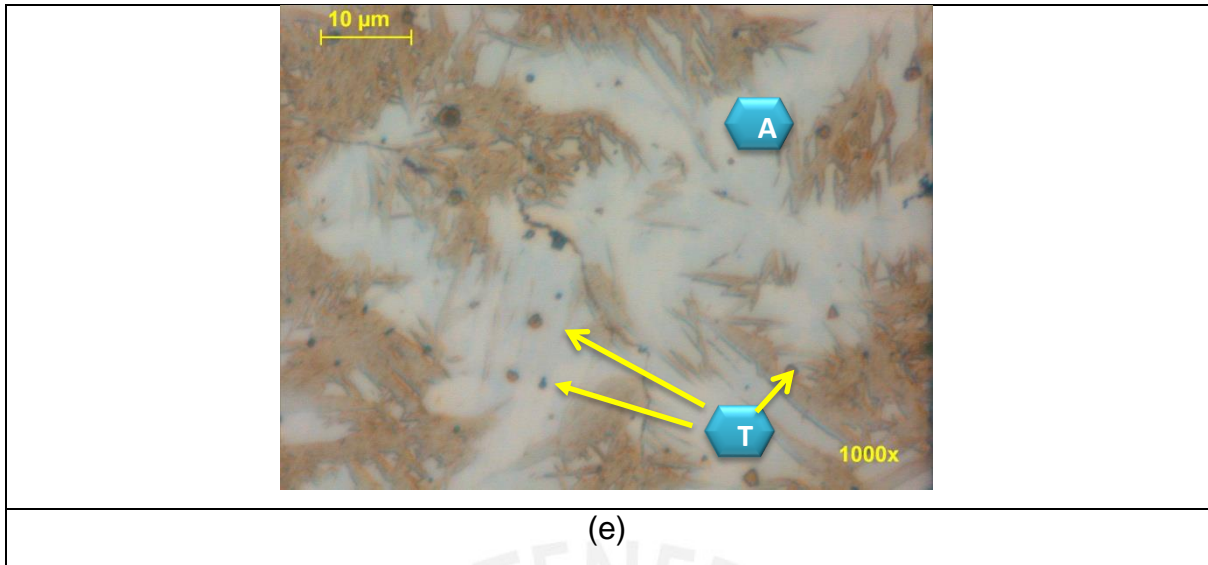


Figura 4. Microestructuras de los recubrimientos duros a 1000x a) 0%FeTi, b)1.25%FeTi, c) 2.5%FeTi, d) 5.0%FeTi, y e) 6.85%FeTi.

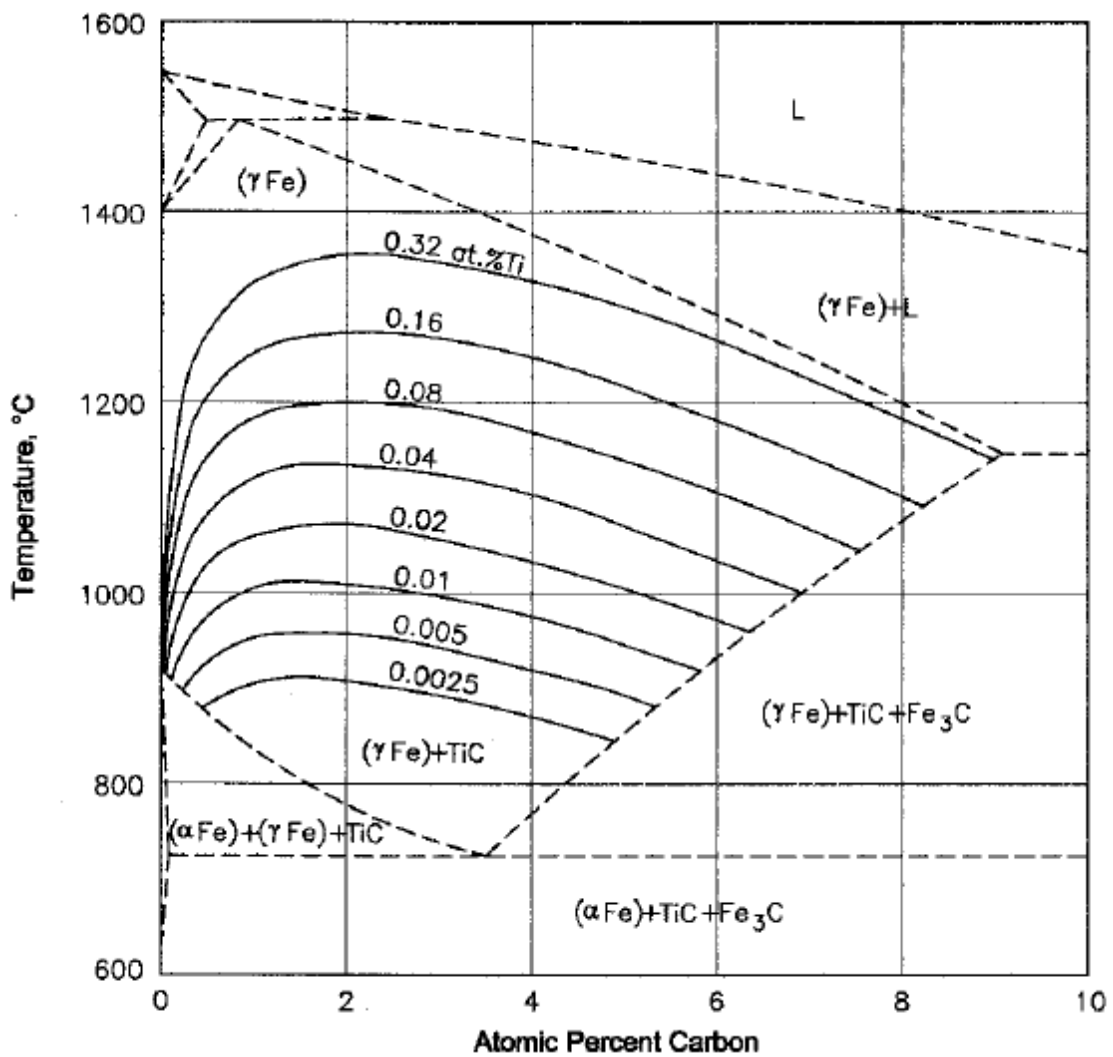


Figura 5. Temperaturas de disolución de TiC en austenita a diferentes concentraciones de C y Ti.

3.3 Dureza

En la Figura 6 se muestra el perfil de durezas obtenido durante el barrido realizado a la sección transversal de los recubrimientos. La máxima dureza superficial alcanzada es de 610 HV y corresponde al cupón Ti250. La mínima dureza obtenida es 480 HV, para el cupón Ti685. Los valores promedio de dureza para todas las muestras se mantienen en un rango entre 500 a 600 HV. Sin embargo, en el presente trabajo se han empleado porcentajes de FeTi y C significativamente menores a los empleados en investigaciones anteriores. Asimismo, se puede apreciar que en la mayoría de los casos la máxima dureza no se obtiene en la superficie, sino unos milímetros hacia el interior, en la interfase entre el segundo y el último pase de soldadura. La microestructura compleja de los recubrimientos y la distribución variable de las fases: TiC, martensita, austenita retenida, no permite establecer una relación directa entre el contenido de FeTi en el revestimiento y la dureza.

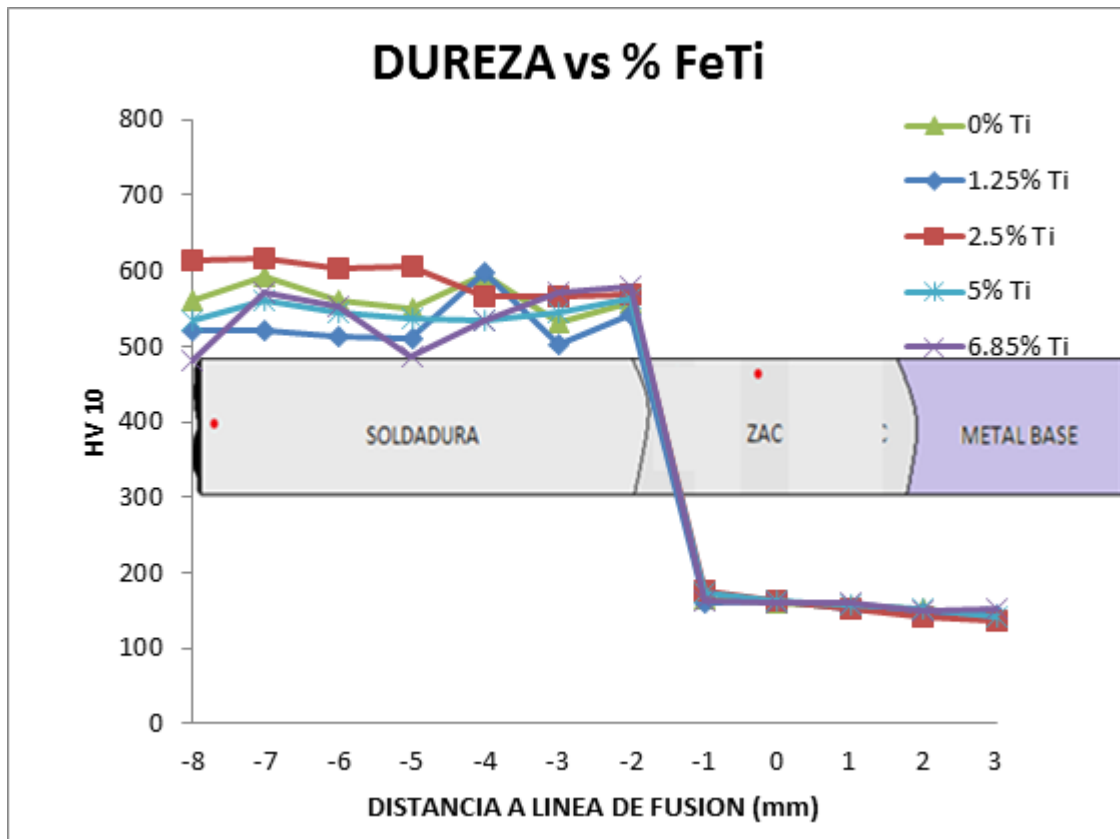


Figura 6. Perfil de dureza de los distintos recubrimientos duros.

3.4 Resistencia al desgaste

Los resultados del ensayo CIAT se muestran en la Figura 7, la cual presenta la pérdida de masa para cada muestra en función del tiempo de ensayo. Como se puede observar, existe una relación lineal entre la pérdida de masa y el tiempo de ensayo, con un alto coeficiente de correlación. Para todos los tiempos de ensayo la muestra Ti125 y la muestra Ti0 presentan los mayores y menores valores de pérdida de masa, respectivamente. En el caso de la muestra Ti125, la mayor pérdida de masa alcanzada es de 2.4 g para un tiempo de ensayo de 60 min. El resto de muestras exhibe un valor máximo de pérdida de masa que oscila entre 1 y 1.5 g, también para un tiempo de ensayo de 60 min.

La Figura 8 presenta los resultados del ensayo de desgaste mediante ASTM G 65. Se puede apreciar que existe una ligera tendencia del valor de pérdida de peso, a disminuir conforme se incrementa el porcentaje de Ferro-Titanio. Presumiblemente, al aumentar el porcentaje de FeTi, con el consecuente incremento del TiC, se

consigue un comportamiento más homogéneo del recubrimiento frente al desgaste netamente abrasivo. Esto no ocurre en el caso del ensayo CIAT, en donde la carga de impacto propia del ensayo genera desprendimientos de trozos de recubrimiento, limitando el establecimiento de una tendencia. En base a los resultados se puede inferir que, para las condiciones de la presente investigación, la adición de FeTi en el revestimiento del electrodo, en los porcentajes estudiados, no genera necesariamente una mejor resistencia al desgaste por abrasión-impacto. Esto quiere decir que potencialmente se podría disminuir costos en la fabricación de este tipo de electrodos (menor cantidad de FeTi), sin comprometer ni la dureza ni la resistencia al desgaste del recubrimiento.

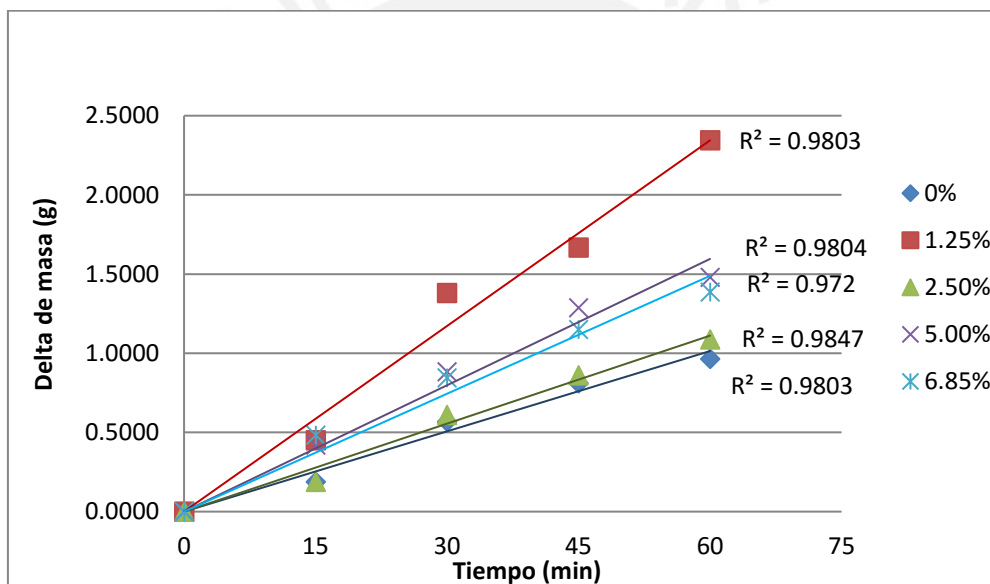


Figura 7. Resultados de los ensayos de desgaste CIAT a 15, 30, 45 y 60 minutos.

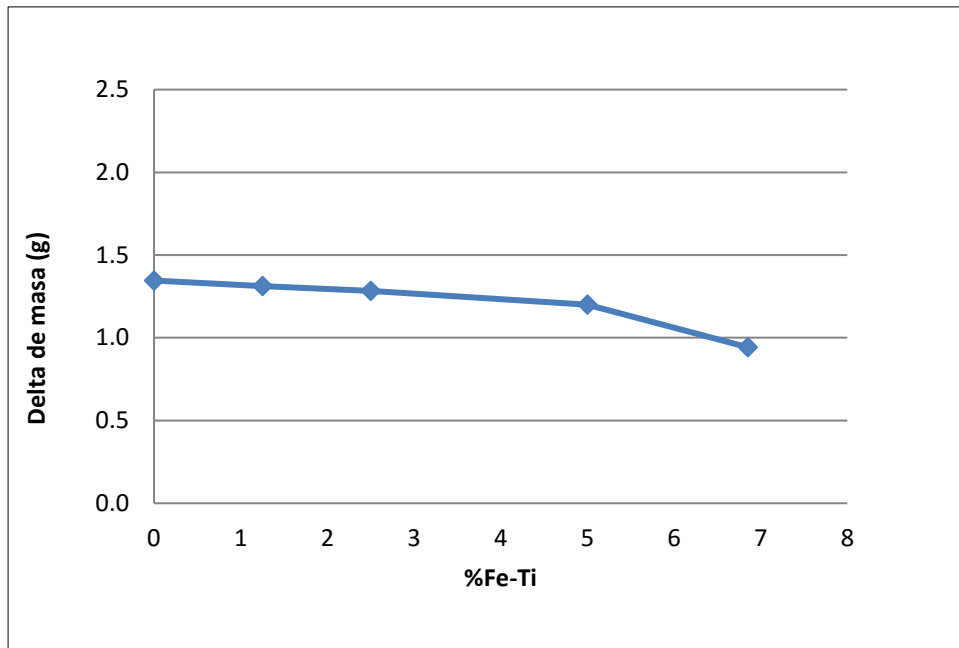


Figura 8. Resultados de ensayo de desgaste según ASTM G65.

CONCLUSIONES

- Se fabricaron electrodos para recubrimientos duros, para proceso SMAW, con distintos contenidos de FeTi en el revestimiento del electrodo; con los que se fabricaron cupones que fueron caracterizados y sometidos a ensayos de desgaste.
- De la evaluación de la microestructura se puede concluir que a medida que se incrementa el contenido de Ferro-Titanio en el revestimiento del electrodo, se incrementa la presencia de carburos de titanio. Adicionalmente se produce un aumento también en el contenido de austenita retenida.
- Los valores de dureza son similares para todos los recubrimientos, independientemente del contenido de FeTi. Si bien es cierto que el contenido de martensita va disminuyendo a medida que aumenta el contenido de Ferro-

Titanio, también se incrementa la cantidad de carburos de titanio, lo cual haría que no se observó una diferencia sustancial en la dureza.

- La adición de Ferro-titanio no tuvo efecto sobre los resultados obtenidos en la pruebas CIAT, no es posible derivar una relación entre el porcentaje de titanio y la pérdida de masa por desgaste en este tipo de prueba.
- A partir de las pruebas realizadas bajo la norma ASTM G65 se puede concluir que existe una ligera mejora en la resistencia al desgaste cuando se aumenta el contenido de Ferro-Titanio en el rango de 1% a 5%, siendo aún más evidente la mejora para porcentajes mayores a 5%.

REFERENCIAS

1. DIN. Wear; Terms, Systematic Analysis of Wear Processes, Classification of Wear Phenomena. DIN 50320:1979-12
2. R.D Wilson, J.A Hawk. Impeller wear impact-abrasive wear test Original. Wear, Vol. 225–229, pp. 1248-1257. 1999.
3. E Badisch, M Kirchgaßner y F Franek. Continuous impact/abrasion testing: influence of testing parameters on wear behavior. Proc- IMechE Vol. 223 Part J: 741-750. 2009
4. R. Chung, X. Tang, D. Li, B. Hinckley, K. Dolman. Effects of titanium addition on microstructure and wear resistance of hypereutectic high chromium cast iron Fe-25wt%.%Cr-4wt.%C. Wear Vol.267, pp. 356-361. 2009
5. X. Wang, F. Han, X.Liu, S. Qu, Z. Zou. Microstructure and wear properties of the Fe-Ti-V-Mo-C hardfacing alloy. Wear Vol. 265, pp. 583-589. 2008
6. Ikawa, H., Oshige, H., Tanoue, T. Effect of martensite-austenite constituent on HAZ toughness of a high strength steel. Trans. Jpn. Weld. Soc. 11, 87–96, 1980.
7. ISO. Destructive tests on welds in metallic materials - Method for taking samples for delta ferrite measurement (ISO 17655:2003).
8. V. Raghavan. C-Fe-Ti (Carbon-Iron-Titanium). Journal of Phase Equilibria Vol 24 No 1 2003

9. X12 – K. Han, T.D. Mottishaw, G.D.W. Smith, D.V. Edmonds, A.G. Stacey. Effects of vanadium additions on microstructure and hardness of hypereutectoid pearlitic steels. *Materials science and engineering*. A190. 207-214. 1995
10. M.F. Buchely, J.C. Gutierrez, L.M. León y A. Toro The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys. *Wear* 259, 52-61. 2005
11. C. Katsich, E. Badisch. Effect of carbide degradation in a Ni-based hardfacing under abrasive and combined impact/abrasive conditions. *Surf.Coat. Technol.* (2011), doi:10.1016/j.surfcoat.2011.07.064
12. J.A. Hawk, R. D. Wilson, J.H. Tylczak, Ö.N. Dogan. Laboratory abrasive wear tests: investigation of test methods and alloy correlation. *Wear* 225-229. pp. 1031-1042. 1999
13. S. M. Abassi y Shokufar A. Improvement of Mechanical Properties of Cr-Ni-Mo-Cu-Ti Stainless steel with addition of Vanadium. *Journal of Iron and Steel Research, International*, 14(6): 74-78. 2007
14. R.L. Klueh, D.J. Alexander. Effect of vanadium and titanium on mechanical properties of chromium – tungsten steels. *Journal of Nuclear Materials* 212-215. 569-573. 1994
15. J. Rendón, M. Olsson. Abrasive wear resistance of some commercial abrasion resistant steels evaluated by laboratory test methods. *Wear* 267 pp.2055-2061. 2009
16. L. Xu, S. Clough, P. Howard, D. StJohn. Laboratory assessment of the effect of white layers on wear resistance for digger teeth. *Wear* Vol. 181-183, pp. 112-117. (1995)
17. X. Wang, M. Zhang, Z.D. Zou, S.Y. Qu. Microstructure and wear properties of TiC-VC reinforced iron based hardfacing layers. *Material Science & Technology* Vol. 22 no2pp. 193-198. 2006.
18. Wang, Z.D Zou; S.Y. Qu. Microstructure and wear properties of Fe-based hardfacing coating reinforced by TiC particules. *Journal of Materials Processing Technology* Vol 168 pg 89 – 94.
19. XiaohuiZhi, Jiandong Xing, Hanguan Fu, YimingGao. Effect of Titanium on the as cast microstructure of hypereutectic high chromium cast iron. *Materials Characterization* Vol 59 2008.