

Estudio del comportamiento mecánico-metalúrgico de aleación inconel 600 y estelita

Martín Castillo¹
Gabriel Villa¹
Manuel Vite¹
Francisco Palacios²
Luis H. Hernández¹
Guillermo Urriolagoitia¹

¹Departamento de Mecánica,
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI),
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME),
Instituto Politécnico Nacional (IPN).
Av. IPN, Edificio 5, 2º piso, Col. Lindavista, CP 07738. México, DF.
MÉXICO

² Gerencia de Ciencia de Materiales,
Instituto Nacional de Investigación Nuclear, Salazar, Edo. de México.
MÉXICO

Tel. (1) 57296000 exts. 54691-54748; (2) 53297200 ext. 2896

email: avinfer@hotmail.com

Recibido el 3 de septiembre de 2002; aceptado el 7 de mayo de 2004.

1. Resumen

Este trabajo presenta el estudio sobre las propiedades metalúrgicas y mecánicas de dos aleaciones, inconel 600 y estelita, clasificadas dentro del grupo de aleaciones de alta dureza o superaleaciones; las cuales fueron depositadas mediante el proceso de soldadura eléctrica al arco metálico con electrodo revestido (SMAW) y fueron analizadas mediante microscopía electrónica (SEM), difracción, pruebas de abrasión, impacto y dureza. Se observó la relación entre la microestructura y las propiedades del recubrimiento, como son: dureza, resistencia a la abrasión, resistencia al impacto, entre otras.

2. Abstract (Metallurgical and Mechanical Properties of Inconel 600 and Stellite)

The present work studies the metallurgical and mechanical properties of two alloys, Inconel 600 and Stellite, which are

within the group of high hardness alloys or superalloys, which are deposited through the electrical weld process to the metallic arc with coated electrode (SMAW) and thereafter analyzed through electron microscopy, diffractometry and abrasion, Impact and hardness tests. The relationship between the microstructure and the final properties of the coating (hardness and abrasion wear resistance) was observed.

Palabras clave: estelita, inconel 600, austenita, abrasión, carburo, recubrimiento duro.

3. Introducción

Los recubrimientos duros sobre metales blandos tienen una gran importancia en los componentes de equipos sometidos a diferentes tipos de servicio. Estos recubrimientos tienen una amplia aplicación en la industria petroquímica, generación de energía eléctrica, movimiento de tierras e industria nuclear.

Objetivos

- Estudiar las fases que provocan los diferentes niveles de endurecimiento en los recubrimientos con aleaciones de inconel y estelita.
- Caracterizar los recubrimientos mediante técnicas experimentales, como son: microscopía óptica y electrónica, difracción, pruebas de dureza, pruebas de abrasión.
- Estudiar la forma de sustituir una aleación con base de cobalto por una aleación con base de níquel.

Generalidades

Recubrimiento duro. La aplicación de recubrimientos duros sobre las superficies, consiste en depositar alguna clase de aleación especial sobre una parte metálica mediante alguno de los diversos métodos de aplicación de soldadura, para formar una superficie que resista a la abrasión, al calor, al impacto y a la corrosión o sus combinaciones. [1]

Níquel y aleaciones con alto contenido de níquel. Un grupo importante de aleaciones para el servicio de corrosión y alta temperatura está basado en el elemento níquel. Uno de los atributos más importantes del níquel, con respecto a la formación de aleaciones resistentes a la corrosión, es su compatibilidad metalúrgica con otros metales tales como cobre, cromo, molibdeno y hierro. Las aleaciones de níquel

Tabla 1. Análisis químico del metal base (obtenidos en el laboratorio de análisis químicos del ININ).

Acero al carbono					
Muestra	C %	Mn %	Si %	P %	S %
01	0.123	0.390	0.033	0.0098	0.
	±	±	±	±	01
	0.003	0.005	0.006	0.002	0

son, en general, austeníticas; sin embargo, pueden estar sujetas a la precipitación intermetálica y a la formación de fases de carburo al someterse al envejecimiento.

Aleaciones de cobalto. Las aleaciones de cobalto son químicamente menos complejas que las aleaciones de níquel, siendo más parecidas a los aceros inoxidable. La constitución de fases de la mayoría de las superaleaciones de cobalto consiste en una matriz continua cúbica de cara centrada (fcc), llamada austenita o gama (γ), una o más fases de carburo, la precipitación infrecuente de estructura hexagonal compacta (hcp) llamada martensita o ϵ . Sin embargo, es común encontrar únicamente la fase γ y carburos en superaleaciones de cobalto bien diseñadas; la resistencia al desgaste abrasivo y corrosivo,

Tabla 2. Análisis químico del metal de aporte, inconel 600 (obtenidos en el laboratorio de análisis químicos del ININ).

Muestra	Ni %	Ta %	Ti %
02	72.89 ± 0.90	0.004 ±	0.33 ±
		0.0005	0.02
	Co %	Al %	Nb %
	0.004	0.22 ± 0.01	1.912 ±
			0.038

Muestra	C %	S %	Mn %	Cr %
02	0.013 ±	0.003	3.10	18.2
	0.001			8 ±
	Fe %	Cu %	P %	Si %
	1.42 ±	0.005	0.018	0.20
	0.05			

Tabla 3. Análisis químico del metal base (obtenidos en el laboratorio de análisis químicos del ININ).

Muestra	Co %	Cr %	Fe %	W %
03	55.78	28.68	2.38	4.74
	Ni %	Si %	O %	K %
	2.54	2.10	3.56	0.22

y la dureza en aleaciones de cobalto se obtiene principalmente a través de una combinación de efectos entre la solución sólida y la precipitación de carburos.[2]

4. Desarrollo

Preparación de la muestra. El metal base utilizado es un acero de bajo carbono ASTM-A36 (tabla 1), en forma de placas cuyas dimensiones son las siguientes: 200 x 200 x 25.4 mm. Se utilizó electrodo revestido con diámetro 4.8 mm, ERNiCR (tabla 2) y ERCoCr (tabla 3).

La aplicación de los cordones que forman el depósito se realizó usando el método de soldadura eléctrica al arco metálico con electrodo revestido, la técnica de aplicación de la soldadura consistió en movimiento del electrodo con oscilación en posición plana, como se muestra en la figura 1. Durante la depositación de los cordones se controlaron los parámetros de soldadura con la finalidad de mantenerlos constantes; se

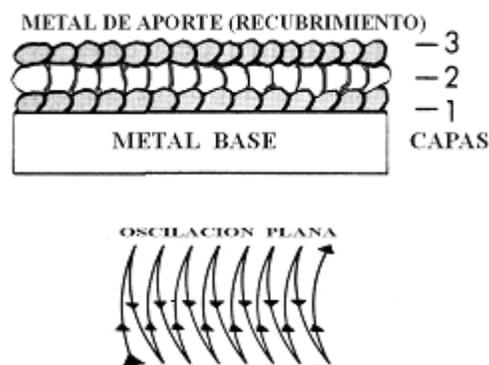


Fig. 1. Aplicación del recubrimiento.

Tabla 4. Parámetros del proceso de soldadura.

Código del electrodo ASME	Voltaje del arco, V	Corriente A	Velocidad mm/min
ERNiCr (Inconel) SF A5.11	32	95	700
ERCoCr (Estelita) SF A 5.13	30	110	700
<ul style="list-style-type: none"> La corriente utilizada en todos los casos es directa, polaridad invertida (CDpi). La temperatura promedio entre capas al depositar es de entre 30 y 40°C. 			

aplicaron tres capas de depósito, y los datos correspondientes se muestran en la tabla 4.

El tratamiento térmico se llevo a cabo en un horno a 800°C, durante 4 horas, enfriándose las probetas en aceite a una temperatura de 20°C, para las que se aplicó el inconel 600, con el objeto de homogeneizar la fase y la precipitación de partículas.

4.1 Resultados

Dureza

La medición de dureza se llevó a cabo en un durómetro Rockwell marca *Karl Frank*, modelo K506, a temperatura

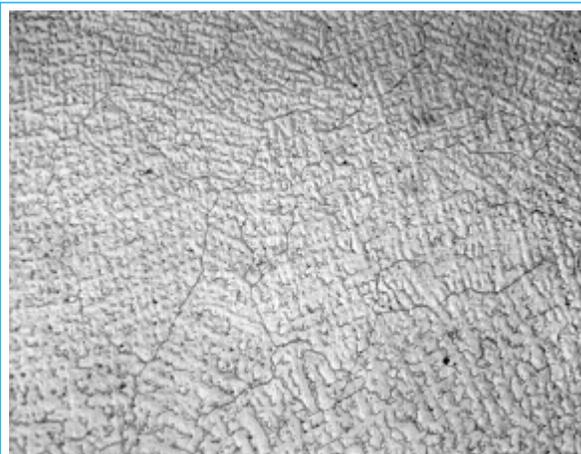


Fig. 2. Inconel 600. 3ª capa. Óptico 150X.

Tabla 5. Dureza y microdureza de inconel 600 y estelita sobre acero ASTM-A36.

Dureza	Carga de prueba N	Metal base	Recubrimiento			
			Aleación	Primera capa	Segunda capa	Tercera capa
HBR	98.06	38.2	Estelita	65.57	70.67	75.53
			Inconel 600	50	52	54
			Inconel 600T	54	62	65
Hv	0.049	207.4	Estelita	557.8	611.38	757.4
			Inconel 600	274.30	305.25	420.1
			Inconel 600 T	249.066	306.833	445.0

ambiente. La microdureza se midió con un microdurómetro marca *Shimadzu*, modelo 3077. Los valores de dureza obtenidos se muestran en la tabla 5.

Estudio de la microestructura

a) Microscopía óptica.

Se utilizó un microscopio metalográfico marca *Versamet*, modelo Unión 647.

- El estudio muestra una estructura dendrítica gruesa tipo «escritura china» de la aleación de inconel 600, como se observa en la figura 2, donde la matriz es níquel mientras que la región interdendrítica es rica en carburos de cromo y niobio. [2,4]

- En la aleación estelita hay una estructura dendrítica gruesa con matriz de cobalto y región interdendrítica rica en

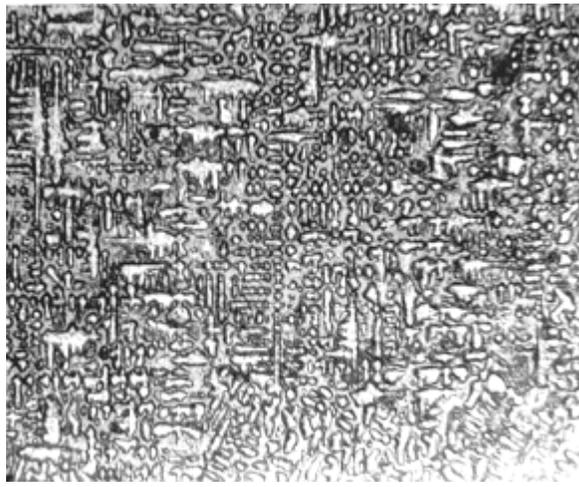


Fig. 3. Estellita, 3a capa. Óptico 150X.

carburos de cromo, con una morfología conocida como «cubos», la cual se observa en la figura 3. [2,4]

- La superficie observada en la figura 4 muestra una morfología que se presenta en forma de agujas, ricas en carburos de cromo y niobio en el inconel 600 templado. [2,4]

a) Microscopía electrónica de barrido (SEM).

Se llevó a cabo con microscopio electrónico *Philips* alto vacío, modelo XL30, acoplado a sistema de microanálisis por espectrometría de energía dispersa.



Fig. 4. Inconel 600 templado. Óptico 150X.

Tabla 6. Análisis químico básico de la aleación inconel 600.

	1ª capa	2ª capa	3ª capa
Elemento	Porcentaje en peso	Porcentaje en peso	Porcentaje en peso.
C	9.72	14.83	18.94
Si	0.62	0.47	0.74
Nb	1.64	1.55	2.36
Cr	14.24	13.74	14.2
Mn	4.91	4.92	5.19
Fe	14.94	11.36	3.95
Ni	53.93	53.13	54.63
Total	100	100	100

- Se observa que las dendritas de la matriz de níquel están formadas por carburos de cromo primarios, con morfología tipo «escritura china» (figura 5), y la distribución homogénea del niobio dentro de la matriz de níquel (figura 6 y tabla 6).
- En la estellita observada en la figura 7, las dendritas son ricas en carburo de cromo y los límites de grano forman una red tipo «esqueleto» con matriz austenítica (figura 8 y tabla 7).
- En el inconel 600 templado los granos se adelgazan y se alargan, las partículas de niobio se difunden en la matriz y partículas muy finas migran a los límites de grano, sólo

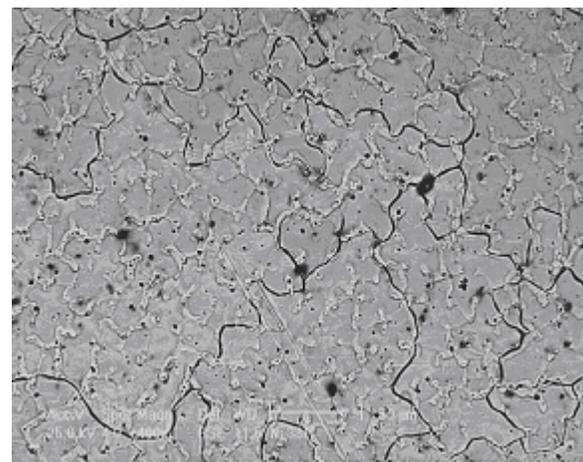


Fig. 5. . Inconel 600, 3a capa. SEM 400X (1. Carburos, 2. Fase níquel).

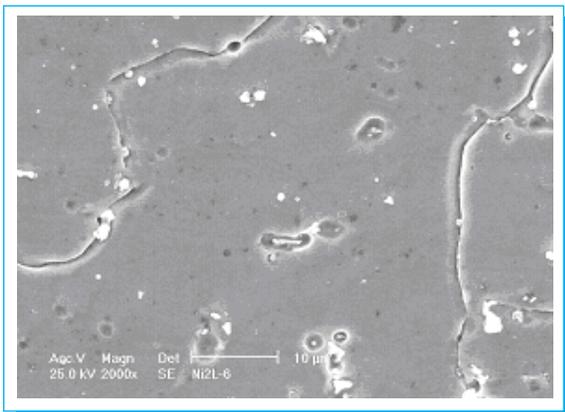


Fig. 6. Inconel 600, 3ª capa. SEM 2000X.

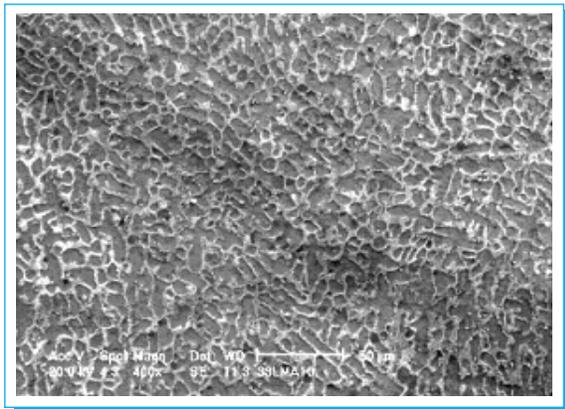


Fig. 7. Estelita, 3ª capa. SEM 400X.

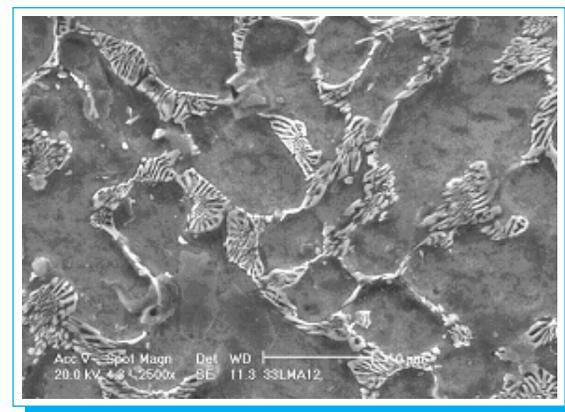


Fig. 8. Estelita, 3ª capa. SEM 2500X.

Tabla 7. Análisis químico básico de aleación inconel 600 templado.

	1ª capa	2ª capa	3ª capa
Elemento	Porcentaje en peso	Porcentaje en peso	Porcentaje en peso
O	3.51	4.12	4.37
Nb	2	2.51	2.49
Cr	10.63	14.35	16.21
Mn	3.97	5.08	5.51
Fe	34.83	10.29	10.87
Ni	45.07	63.20	60.02
Si	-	0.45	0.53
Total	100	100	100

algunas partículas grandes se encuentran en la superficie, como se puede observar en la figura 9.

Análisis con el difractor de rayos X

Se realizó utilizando un difractor de rayos X *Siemens*, modelo D 500, $\lambda = 1.545 \text{ \AA}$ (CuK α – radiación).

Las fases constituyentes del depósito de inconel 600 fueron determinadas mediante difracción de rayos X, mostrando una fase austenítica (figura 10) en un sistema cúbico de cara centrada y con radio atómico $a = 2.8681 \text{ \AA}$, con planos principales en la orientación preferencial (110), con carburos de cromo primarios.

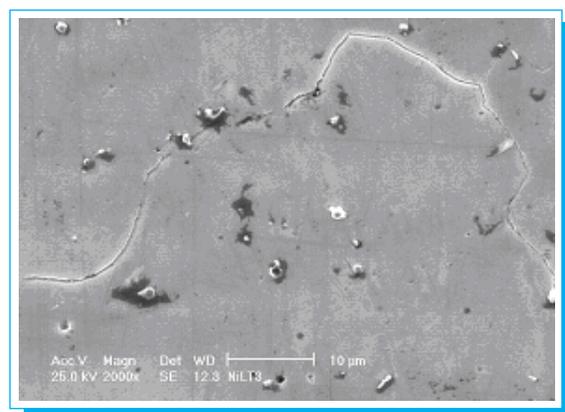


Fig. 9. Inconel 600 templado, 3ª capa. SEM 2000X.

Tabla 8. Análisis químico básico de aleación estelita.

	1ª capa	2ª capa	3ª capa
Elemento	Porcentaje en peso	Porcentaje en peso	Porcentaje en peso
C	11.14	11.57	14.85
Si	1.39	-	-
O	-	6.97	5.67
Cr	20.51	24.62	22.53
Fe	26.21	12.76	5.40
Co	38.65	38.58	43.54
Ni	2.10	1.72	2.43
W	-	3.79	5.57
Total	100	100	100

Las fases constituyentes en el depósito de estelita muestran una fase austenítica (figura 11), en un sistema cúbico, con carburos de cromo primarios y radio atómico $a = 2.857\text{Å}$, con planos principales en la orientación preferencial (110).

En el inconel 600 templado, se tiene una matriz austenítica fcc, con parámetro de red $a = 2.8681\text{Å}$, con planos principales en la orientación (111), correspondiente a una estructura fcc, con carburos de cromo primarios (figura 12). [6]

Abrasión

La prueba de resistencia a la abrasión se llevó a cabo empleando una máquina de arena seca/disco metálico vulcanizado,

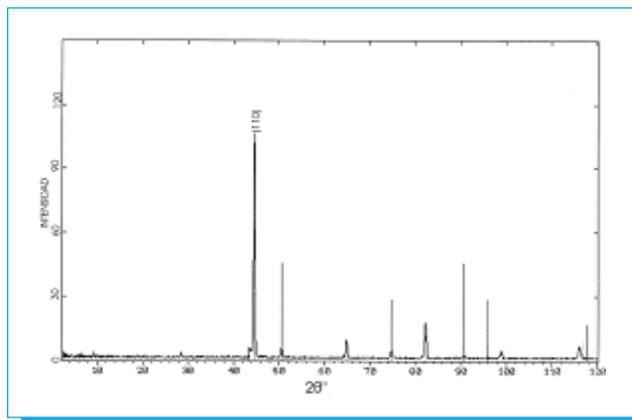


Fig. 11. Diffractograma de estelita.

construida por el grupo de tribología de la SEPI-ESIME-IPN de acuerdo a la norma ASTM G65-94. Las probetas que se emplearon tienen las siguientes dimensiones $25.4 \times 76.0 \times 12.7$ mm. El material abrasivo que se utilizó es arena sílica AFS 50/70, a un flujo de 0.008 kg/s .

La carga aplicada en la superficie de prueba es de 130 N. El disco metálico recubierto con neopreno gira a una velocidad de 20.94 rad/s . La prueba se realiza hasta alcanzar un total de 5000 ciclos [3]. La tabla 9 muestra los valores de resistencia al desgaste abrasivo, los cuales se grafican en la figura 13.

Prueba de impacto

Las pruebas de impacto se realizaron en una máquina Universal Impact Testing Machine, *Tinius Olsen*, modelo 74.

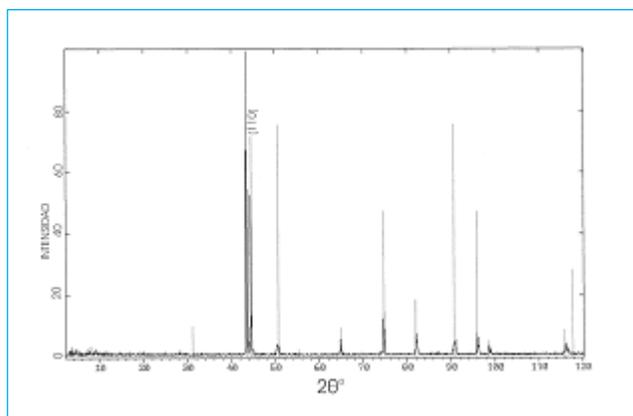


Fig. 10. Diffractograma de inconel 600.

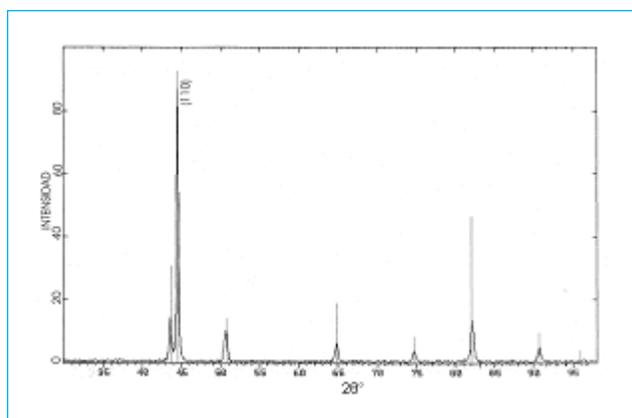


Fig. 12. Diffractograma de inconel 600 templado.

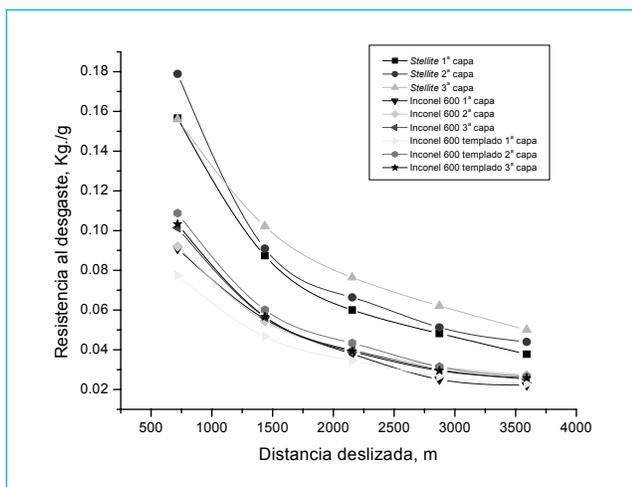


Fig. 13. Gráfica de resistencia al desgaste contra distancia deslizada.

Las probetas se cortaron con las siguientes dimensiones: 55 x 10x10 mm. Las pruebas de impacto Charpy se realizan de acuerdo con la norma ASTM E 23, a una temperatura ambiente de 25°C. La tabla 10 muestra los valores obtenidos de resistencia al impacto, los cuales se grafican en la figura 14.

4.2 Discusión de resultados

- Se observa que la morfología superficial al depositar el recubrimiento es una típica fase austenítica, la cual va

Tabla 9. Resistencia al desgaste abrasivo, kg/g.

Dist. m	718.168	1436.336	2154.504	2872.672	3590.840
Capas Aleación Estelita					
1	0.1566	0.0874	0.0600	0.0482	0.0378
2	0.1789	0.0910	0.0664	0.0513	0.0440
3	0.1560	0.1022	0.0764	0.0621	0.0500
Aleación Inconel 600					
1	0.0909	0.0555	0.0379	0.0251	0.0222
2	0.0920	0.0544	0.0398	0.0316	0.0273
3	0.1014	0.0565	0.0389	0.0301	0.0252
Aleación Inconel 600 templado					
1	0.0773	0.0466	0.0346	0.0266	0.0228
2	0.1088	0.0601	0.0434	0.0314	0.0266
3	0.1033	0.0567	0.0391	0.0295	0.0258

Tabla 10. Resistencia al impacto en joules.

		Aleación			
capas	Acero	Inconel 600	Estelita	Inconel 600 templado	
Base	90.24	-	-	-	
1	-	118.65	81.812	127.464	
2	-	75.032	56.952	90.852	
3	-	150.516	60.568	141.024	

engrosando conforme se depositan capas de recubrimiento en inconel 600 (figura 2), la morfología presente es del tipo «escritura china». Para el caso del inconel 600 templado, se tiene una morfología del tipo «agujas» (figura 4). En ambos casos la matriz es níquel y las dendritas son ricas en carburos de cromo y niobio.

- En la aleación estelita, la morfología superficial es de tipo «cubos» (figura 3), la estructura dendrítica es gruesa con matriz de cobalto y rica en carburos de cromo,
- Al aumentar el volumen de carburos, se engrosó la morfología superficial, la cual incrementa directamente la dureza y la resistencia a la abrasión [4]. En las figuras 3 y 4 se observa el cambio en la morfología superficial de los recubrimientos respectivos, y en la tabla 5 se muestra el incremento gradual de la dureza.
- Se observó que las dendritas de la matriz de níquel están formadas por carburos de cromo primarios, con morfología

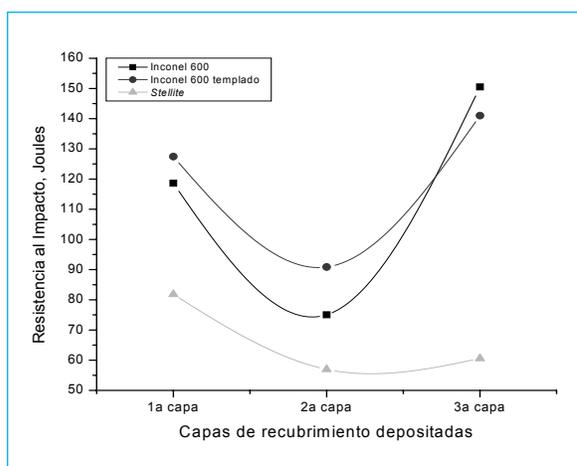


Fig. 14. Comportamiento de aleación contra resistencia al impacto.

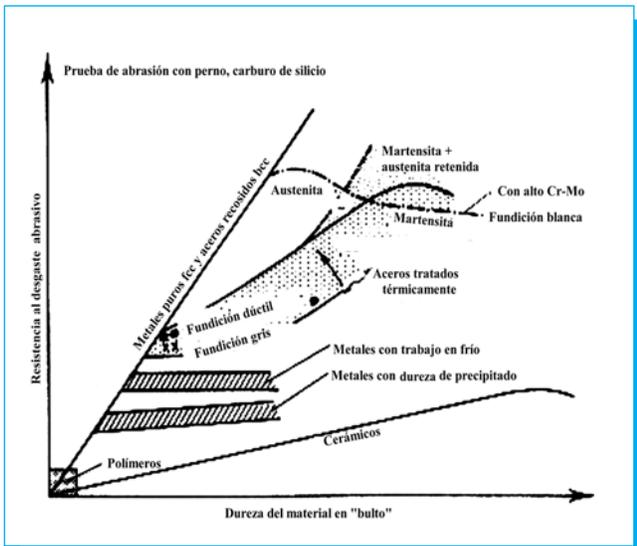


Fig. 15. Resistencia al desgaste abrasivo de dos cuerpos (Hutchings, 1992).

«escritura china» (figura 5), la distribución del niobio es homogénea dentro de la matriz de níquel. La precipitación en el iniconel 600 se observa en la figura 6, el niobio precipita preferentemente en los límites de grano. Este elemento tiene la particularidad de aumentar la fase austenítica, formar fases duras (carburos) y proporcionar un aumento a la resistencia a la abrasión en caliente.

- En el iniconel 600 templado se observa una reacción de tipo martensítica, a través de la cual se obtiene una morfología superficial denominada «agujas», los granos se alargan y adelgazan como se observa en la figura 4, los carburos de cromo y niobio, que en un principio se orientaban en los límites de grano, se diluyen totalmente en la matriz de níquel, partículas muy finas migran a los límites de grano y sólo algunas de ellas que son grandes, se encuentran en la superficie (figura 9). Esto induce un cambio en las propiedades mecánicas y tribológicas, como son la dureza, resistencia a la abrasión y resistencia al impacto, respectivamente. [5]
- La fase presente en ambas aleaciones es austenítica, pero el porcentaje de cromo es mayor para la aleación estelita (tablas 6 y 7). En consecuencia, se da una mayor formación de carburos de cromo que forman una red continua en los límites de grano, conocida como «huesos» (figura 8).
- El análisis de rayos X muestra que tanto el iniconel 600, el iniconel 600 templado y la estelita exhiben una fase austenítica. [6]

- En todos los casos la aleación estelita presenta mayor resistencia al desgaste abrasivo, como se muestra en la figura 13.
- Los valores de dureza más altos se tienen en la tercera capa del recubrimiento, pero la resistencia al impacto disminuye, como se muestra en la figura 14. Los elementos que constituyen las aleaciones influyen en el comportamiento de la misma, como se observa en las tablas 6, 7, 8. En la segunda capa de recubrimiento depositada, el porcentaje en peso de hierro es muy cercano en ambas. Éste agrega cierta ductilidad, lo que marca un comportamiento casi homogéneo en las aleaciones. Para la tercera capa, dicho elemento disminuye en su concentración pero aumenta la participación de otros elementos, tales como: cromo, tungsteno y manganeso.
- De acuerdo con Vázquez [9], una buena resistencia a la abrasión está determinada por una fase dura muy compacta. Si se requiere una matriz tenaz para condiciones de impacto y abrasión, es recomendable una estructura austenítica con elementos de aleación que formen carburos de mayor dureza. Aunque según B. C. Wu [8], la actuación de una aleación de níquel se puede acercar a un comportamiento martensítico, que le permite sustituir a una aleación de estelita [7]. Esto se puede observar en la figura 15.

5. Conclusiones

- Las aleaciones de cobalto que han sido utilizadas en recubrimiento de compuertas, anillos y discos en válvulas de las plantas nucleares, tienen el inconveniente que las partículas del desgaste (debris) se activan nuclearmente después de sufrir un bombardeo de neutrones, por lo que el iniconel 600 se presenta como una alternativa para sustituirlo, con base en los resultados obtenidos en la presente investigación.
- Los parámetros analizados en este trabajo de investigación como son: composición química, fases, orientación cristalina, morfología superficial, precipitación de partículas, tamaño de grano, dureza, resistencia a la abrasión, resistencia al impacto, están íntimamente relacionados entre sí, por lo cual el conocimiento del comportamiento de estos parámetros es importante para la toma de decisiones, cuando se requiera hacer la sustitución de una aleación por otra.
- El comportamiento mecánico que presenta la aleación iniconel 600 templada de acuerdo con B. C. Wu, la acerca a un comportamiento martensítico, como se observa en la figura 15, cuanto más se acerca el campo de la austenita a la zona de interfase con la martensita, comienza a tener un

comportamiento de tipo martensítico pero sin dejar de ser una fase austenítica.

6. Referencias

- [1] AWS. *Metals Handbook*, Volume 6. American Society For Metals. 1985.
- [2] Chester T. Sims. *The Superalloys*. Ed. John Wiley & Sons, Inc. 1972.
- [3] ASTM, G65-94 Standard. *Measuring Abrasion using the Dry Sand/rubber wheel Apparatus*.
- [4] J.C. Cassina and J. E. Redman, *Welding Journal*. 73, 9. 1994.
- [5] Cahn, R. W. *Physical Metallurgy*. Ed. North-Holland publishing Company. 1977.
- [6] C. Giacomazzo, H. L. Monaco. *Fundamentals of Crystallography*. Ed. C. Giacomazzo.
- [7] M. Hutchings. *Tribology: Friction and Wear of engineering Materials*. Ed. Edward Arnold. A division of Hodder&Stoughton. 1992.
- [8] James B. C. Wu and James E. Redman. Hardfacing with Cobalt and Nickel Alloys, *Welding Journal*, September 1994, pp. 63-68.
- [9] Vázquez, J. *Elementos de control de desgaste*. Universidad Central de Venezuela. 1994.
- [10] Albert de Sy, Julien Vidts. *Traité de Métallurgie Structurale*. N.I.C.I. GAND. Paris. 1968.
- [11] ASM. *Handbook* Volume 1, Properties and Selection: Irons, Steels and High-Performance Alloys. USA 1991.
- [12] ASM. *Handbook* Volume 3, Properties and selection: Stainless Steels, Tool Materials and Special-Purpose Metals. USA 1985.
- [13] ASM. *Handbook* Volume 4, Heat Treating. USA 1985.
- [14] ASM. *Handbook* Volume 5, Surface Cleaning, Finishing, and Coating. USA 1985.
- [15] ASM. *Handbook* Volume 5, Surface Engineering. USA 1991.
- [16] ASM. *Handbook* Volume 6, Welding, Brazing and Soldering. USA 1985.
- [17] ASM. *Handbook* Volume 7, Atlas of Microstructures. USA 1985.
- [18] ASM. *Handbook* Volume 8, Metallography, Structure and Phase Diagrams. USA 1985.
- [19] ASM. *Metals Handbook*, Desk edition. American Society For Metals. 1985.
- [20] Avner Sydney H. *Introducción a la metalurgia física*. Mc Graw Hill. Segunda Edición 1979.
- [21] Bharat Bhushan, B. K. Gupta. *Handbook of Tribology*. Ed. Mc Graw Hill, Inc. 1991.
- [22] Bohler Thyssen Welding. UTP México, SA de CV Catálogo de productos. 1999.
- [23] Castillo M, F. Palacios, A. Márquez, G. Villa, P. Villegas. Características y propiedades de recubrimientos con aleación inconel 600 y estelita. *Latin American Journal of Metallurgy and Materials*, Volumen 21, N° 2 (Diciembre 2001), pp.64-70.
- [24] Chester T. Sims. *The Superalloys*. Ed. John Wiley & Sons, Inc. 1972.
- [25] Colin S Dimbylow. *Bead geometry and properties of Inconel 625 overlays on steel*, *Metal construction*, January 1985, pp. 35-39.
- [26] De La Torre Cursach Juan M. *Metales y aleaciones para elevadas temperaturas*. Ed. Montecurvo. 1964, pp. 151-170.
- [27] F. Galen Hodge. Nickel and Nickel Alloys. Inter-American Conference on Materials Technology. México. DF 1981, pp. 1-10.
- [28] G A. Knorovsky, M.J.Cieslak. T. J. Headley, A.D. Romig, Jr., and W. F. Hammett(1987). Inconel 718: A Solidification Diagram. *Metallurgical Transactions*, Volume 20A. October 1989, pp. 2149-58.
- [29] Harmer E. Davis, George Earl Troxell, Clement T. Wiskocil. *Ensayo e inspección de los materiales en ingeniería*. Ed. C.E.C.S.A. México. 1981.
- [30] Howard B. Cary. *Manual de soldadura moderna*. Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, Segunda Edición. 1992.
- [31] Ihsan Efeoglu. *The Mechanical and Tribological Properties of Ceramic Sputter Ion-Plated Coatings*. Ph. D. Thesis. University of Salford. 1993.
- [32] J. H. Yang and X .B. Wang, *K/Na-Treated Fe-Cr-C Hardfacing Alloys with High - Impact- Abrasion Resistance*, pp.103s-107s.
- [33] J. J. Kai, G.P. Tsai, M.N. Liu, and S.C. Yao(1988). The effects of Heat Treatment on the Chromium Depletion, Precipitate Evolution, and Corrosion Resistance of Inconel alloy 690, *Metallurgical Transactions A*, Volume 20A, October 1989, pp. 2057-67.
- [34] J. Wilson and A. Matteews, J. Houdsen, R. Turner and B. Garside. *Surface and Technology*, 62 (1993) 600-607.
- [35] Kenneth G. Budinski. *Hardfacing II-Consumables. Welding Design and Fabrication*, August 1986. pp. 42-46.
- [36] M. Vite, M Castillo, F. Palacios, P. Villegas. Resistance to the Abrasive Wear of the Coating Obtained of Welding by the Technique Shield Welding Arc Deposited on Steel A-36. pp. 43 *Materials Technology*. Volume 15, Number 1. March 200.
- [37] M. D. Mathew, S. L. Mannan and S. K. Gupta. Influence of Preheat temperature on Stellite Deposits. *Welding journal*, July 1980, pp. 213s-217s.
- [38] R. J. Dawson, S. Shewchuk, and J. E. Pritchard. Selection and Use of Hardfacing Alloys. *Welding Journal*, November 1982. pp.15-23.
- [39] Ramos Watanave Jorge. *Curso de soldadura*. SEPI-ESIME-IPN.
- [40] Ravi Menon, New Developments in Hardfacing Alloys, *Welding Journal*. February 1996, pp. 43-49.

- [41] Recargues por soldadura resistentes a la abrasión.
<http://www.Guayanet.com/unexpo/recsol.htm>.
- [42] Richard A. Harris. Proper Preparation Improves Hardface Performance, *Welding Design and Fabrication*, April 1998. pp. 38-40.
- [43] Robert E. Reed-Hill. Principios de Metalurgia Física. Compañía Editorial Continental. Primera Edición 1968.
- [44] SFA-5.01. Filler Metal Procurement Guidelines(AWS-A5.01-78).
- [45] SFA-5.11. Specification for Nickel and Nickel Alloy Covered Welding Electrodes (AWS-A5.11-76).
- [46] SFA-5.13. Specification for Solid Surfacing Welding Rods and Electrodes(AWS-A5.13-80).
- [47] SFA-5.14. Specification for Nickel and Nickel Alloy Bare Welding Rods and Electrodes (AWS-A514-76).
- [48] SFA-5.21. Specification for Composite Surfacing Welding Rods and Electrodes (AWS-5.21-80).
- [49] Shackelford James F. *Ciencia de materiales para ingenieros*. Prentice Hall. Tercera edición. 1995.
- [50] Shimadzu Micro Hardness Tester, Vickers Hardness Number Table, Shimadzu Corporation Kyoto Japan.
- [51] Suh, N. 1986. *Tribophysics*. Ed. Prentice-Hall. New Jersey, USA. 498 páginas.
- [52] Villa y Rabasa Gabriel, Alla Kabatskaia Ivanovna, Hernández Gómez Luis H. *Apuntes de metalurgia de soldadura*. SEPI-ESIME-IPN. 1999.
- [53] W. H. Dennis. *Metallurgy of The Non Ferrous Metals*. B.Sc.(London), Ed. A.M.I.M.M. Pitman, Second Edition. 1961.
- [54] *Welding Inspection*. American Welding Society. Second edition 1980.

ESIME Zacatenco

La Coordinación del Piso de Pruebas
para Transformadores de los
Laboratorios Pesados II de Ingeniería Eléctrica
cuenta con pruebas acreditadas
que se encuentran al servicio de la industria nacional.

PRUEBAS:

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

RESISTENCIA ÓHMICA

RIGIDEZ DIELECTRICA

TENSIÓN APLICADA

TENSIÓN INDUCIDA

ELEVACIÓN DE TEMPERATURA

IMPULSO

Tel. 5729 6000, ext. 54750
correo electrónico:
[piso_pruebas@hotmail.com](mailto: piso_pruebas@hotmail.com)