

Electrodos austeníticos inoxidables semisintéticos para la soldadura manual por arco eléctrico: Una variante económica para las pequeñas y medianas empresas (PIME).

A. Paz Iglesias, A. Alvarez Paneque, T. García Hernández, P. Sarriá Popowski.

Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría (ISPJAE)
Facultad de Ingeniería Mecánica.
Departamento Tecnología de Construcción de Maquinaria
Calle 127 s/n, CUJAE, Marianao 15, Ciudad Habana, Cuba.
Teléfono: 2670316 Telefax: 2671208.
E-mail: electrodos@mecanica.ispjae.edu.cu

(Recibido el 23 de septiembre de 1999, aceptado el 14 de Octubre del 2000).

Resumen

En el presente trabajo se brinda una valoración económica para la producción de electrodos austeníticos inoxidables tipos E308L, E309, E312 y E316L en las pequeñas y medianas empresas (PIME). Lo significativo de la presente valoración es que se brindan los resultados obtenidos al fabricar los electrodos de forma semisintética; es decir, utilizando un solo tipo de alambre inoxidable (308L) y añadiendo las ferroaleaciones necesarias en el revestimiento. Los resultados que se muestran están basados en las experiencias de investigación, producción y comercialización de una planta con capacidad para 200 toneladas al año, a la cual le es muy difícil insertarse en el mercado utilizando los mismos procedimientos tecnológicos y financieros de una gran empresa con grandes capitales y recursos.

Palabras claves: Electrodos austeníticos inoxidables, electrodos sintéticos, ferroaleaciones, electrodos semisintéticos, electrodos convencionales, metal depositado.

1. Introducción.

En la actual coyuntura internacional las PIME se ven obligadas a competir con empresas de enormes recursos financieros y que por lo general invierten grandes sumas en investigaciones y nuevos desarrollos.

La única forma de que las PIME puedan ser competitivas es desarrollando tecnologías que no requieran recursos e inversiones por encima de sus posibilidades manteniendo en un mínimo los inventarios de materias primas y productos para asumir un pedido determinado.

Para la obtención de los electrodos de acero inoxidable se pueden seguir tres vías fundamentales: producción convencional, donde para cada tipo de electrodo se tiene un tipo de alambre y formulaciones; producción de electrodos sintéticos, en los cuales se

emplea un núcleo de alambre de acero de bajo carbono y se añaden todos los elementos aleantes en el revestimiento y producción de electrodos semisintéticos, donde a partir de un núcleo de acero inoxidable se logra la composición deseada introduciendo en el revestimiento ciertas cantidades de elementos aleantes.

Los electrodos austeníticos inoxidables tipo E308L, E309, E312 y E316L son fabricados por todas las grandes empresas a costos muy competitivos. Estos electrodos se producen en diferentes diámetros, siendo los de mayor consumo los de 2.5, 3.2 y 4 mm.

El objetivo fundamental del presente trabajo es el estudio comparativo de las variantes de producción de electrodos convencionales y semisintéticos.

2. Parte experimental.

Para la ejecución del trabajo se partió de un alambre de acero inoxidable de 3,2 mm de diámetro, tipo 308L (Tabla 1), con la misma relación de revestimiento (D/d) que para los electrodos E308L y la formulación de revestimiento (fórmula base) que se emplea para la producción convencional de éstos, en %:

Tabla No.1: Composición nominal típica del alambre austenítico inoxidable 308L.

C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu	Co	S	P
0,009	0,07	1,78	9,8	20,1	0,01	0,01	0,07	0,002	0,011

En la tabla No. 2 se observa la composición química (en %) de los depósitos de los distintos tipos de electrodos inoxidables objeto de estudio, según la Norma AWS: A5.4 – 92.

Tabla No.2: Composición química del metal depositado.

Electrodo	C	Cr	Ni	Mo	Mn máx.	Si máx.	S máx.	P máx.
E308L	0,04	18,6-21,0	9,0-11,0	-	2,5	0,9	0,04	0,03
E309L	0,04	22,0-25,0	12,0-14,0	-	2,5	0,9	0,04	0,03
E312	0,15	28,0-32,0	8,0-10,5	-	2,5	0,9	0,04	0,03
E316L	0,04	17,0-20,0	11,0-14,0	2,0-2,5	2,5	0,9	0,04	0,03

Como se observa, el electrodo E308L es el que presenta menor contenido de cromo y níquel, además no contiene molibdeno; por ello es razonable y técnicamente posible su obtención a partir de los tres

restantes (E309L, E316L y E312), añadiendo FeCr, FeMo y polvo de níquel, cuyas composiciones químicas se presentan en la tabla No. 3.

Tabla No.3: Composición química de las ferroaleaciones en polvo.

Ferroaleaciones	Contenido de elementos, %								
	C	Si	S	P	Fe	Cu	Cr	Ni	Mo
Ferrocromo	0,028	0,45	0,002	0,013	25,80	----	resto	----	----
Ferromolibdeno	0,04	1,5	0,04	0,03	24,90	0,58	----	----	resto
Polvo de níquel	0,03	----	0,03	----	0,02	0,02	----	resto	----

Como se puede observar, una característica general de todas estas ferroaleaciones es el muy bajo porcentaje de carbono; lo cual garantiza que el porcentaje de este elemento se mantenga inferior o en los rangos recomendados para cada caso.

A la fórmula base se le añadió la cantidad de las ferroaleaciones señaladas en la tabla No.4

Tabla No.4: Cantidad de ferroaleaciones (en %) añadidas a la fórmula base.

Tipo de electrodo	FeCr	FeMo	Polvo de Níquel
E309	16	-	8
E312	30	-	2
E316	-	7	5

Después de fabricados los electrodos, se analizó la composición química del metal depositado. Para ello se utilizó un espectrómetro multicanal digital Modelo Spectrolab No. 6236/94 según la norma ASTM E 1086. Los resultados obtenidos pueden observarse en la tabla No.5.

Analizando los resultados obtenidos; en la composición química del metal depositado, se observa que todos los elementos están en concordancia con los valores que plantea la norma de referencia. El porcentaje de carbono en el caso del E316, está una centésima por encima del valor deseado, correspondiente al tipo de electrodo E316L, éste admite un valor máximo de 0,04% de carbono.

Para la valoración de la operatividad se realizaron depósitos en posición plana y horizontal en ángulo; también se evaluó ésta durante la obtención de las probetas de metal depositado para análisis químico. El comportamiento del electrodo en cuanto a encendido, reencendido y estabilidad del arco, fue similar a la de los electrodos inoxidables convencionales. Las salpicaduras generadas son normales; característica ésta de los electrodos inoxidables de rutilo. La escoria cubre

completamente el cordón y se desprende fácilmente. El acabado del cordón es excelente y su superficie presenta una coloración amarilla uniforme.

3. Valoración económica.

Para simplificar la valoración económica se incluyen solamente los datos que tienen valor comparativo; no se tienen en cuenta los comunes a la producción de cualquier tipo de electrodo (silicato, envase, consumo energético y otros); es decir, sólo se valoraron los costos de las ferroaleaciones, fórmula base y alambres. Los precios de estos componentes se tomaron de ofertas recibidas de suministradores europeos.

Para todos los tipos de electrodos estudiados las relaciones mr/mel y ma/mel fueron de 0,4 y 0,6 respectivamente.

Se asumió que la PIME puede comercializar 10 toneladas de electrodos austeníticos inoxidables al año, con una distribución por diámetros y tipos como se muestra en la tabla 6.

Tabla No.5: Composición química (en %) de los electrodos desarrollados.

Tipo de electrodo	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S
E309L	0.04	22.94	12.68	0.24	0.70	0.70	0.032	0.023
E312	0.05	28.59	8.91	0.22	0.71	0.75	0.033	0.022
E316	0,05	19.58	11.30	2.40	0.76	0.85	0.016	0.021

Tabla No.6: Distribución de las ventas en función del diámetro y tipo de electrodo.

Diámetro [mm]	Ventas estimadas [%]	Tipo de electrodo	Ventas estimadas [%]
2,5	15	E308L	40
3,2	50	E309	10
4,0	30	E312	20
5,0	5	E316L	30

Costos para la producción de electrodos austeníticos inoxidables convencionales.

Tabla No.7: Costos de los distintos tipos de alambres y diámetros para la producción prevista

Diámetro [mm]	E309		E312		E316L		Total	
	Cant. [kg]	Costo [USD]	Cant. [kg]	Costo [USD]	Cant. [kg]	Costo [USD]	Cant. [kg]	Costo [USD]
2,5	90	394,20	180	1015,20	270	845,10	540	2254,50
3,2	300	1245,00	600	3120,00	900	2682,00	1800	7047,00
4,0	180	738,00	360	1857,60	540	1582,20	1080	4177,80
5,0	30	122,40	60	308,40	90	260,10	180	690,90
Total	600	2497,60	1200	6301,20	1800	5369,40	3600	14170,20

Tabla No.8: Costos de las masas para la producción prevista

Tipo de masa	Cant. kg	Precio USD/kg	Costo USD
309	400	2,72	1088,0
312	800	2,67	2136,0
316	1200	3,10	3720,0
TOTAL			6944,0

La inversión para producir los tipos de electrodos seleccionados (Tablas 7 y 8) será de:

- En alambres-----14170,20 USD
- En masas-----6944,00 USD
- Total-----21114,20 USD

Costos para la producción de electrodos inoxidables semisintéticos

Tabla No.9: Costo de los alambres 308L, necesarios para la distribución por diámetros propuesta.

Diámetro [mm]	Cantidad. [kg]	Precio [USD/kg]	Costo total [USD]
2,5	540	3,20	1728,00
3,2	1800	2,67	4806,00
4,0	1080	2,65	2862,00
5,0	180	2,63	473,4
Total	3600		9869,4

Tabla No.10: Costos de la masa (fórmula base) y ferroaleaciones para la producción del surtido propuesto.

Electrodo	Costos en USD				
	Masa 308	FeMo	FeCr	Polvo de Ni	Total
E309	2280,96	----	377,60	480,00	3138,56
E312	1175,04	----	1416,00	240,00	2831,04
E316	656,54	655,20	----	900,00	2211,74
Total	4112,54	655,20	1793,60	1620,00	8181,34

La inversión para producir los tipos de electrodos seleccionados (Tabla 9 y 10) será de:

En alambres-----9869,40 USD
 En fórmula base y ferroaleaciones-----8181,34 USD
 Total-----18050,74 USD

Si se compara éste ultimo resultado con el total de 21114,20 USD de las inversiones para la producción de electrodos convencionales, se obtiene un ahorro de 3063,46 USD al año para el plan propuesto. Por otro lado, al fabricar los electrodos semisintéticos se tiene un menor surtido de alambres en inventario. De igual forma se contará con mejores posibilidades de afrontar pedidos mayores a los planificados en un momento dado.

Adicionalmente existe la ventaja de que, normalmente, las empresas tienen en inventario ferroaleaciones (FeMo, FeCr y polvo de níquel) para producir otros tipos de electrodos, por ejemplo los de relleno superficial y los de acero bajo aleado para la soldadura de unión.

4. Conclusiones.

- Se logró el desarrollo de electrodos austeníticos semisintéticos tipos E309L, E312 y E316, a partir de masas y alambres para fabricar electrodos E308L.
- La valoración económica realizada demuestra que para las PIME la variante de producir electrodos semisintéticos es adecuada ya que las coloca en una mejor situación competitiva, al tener menor capital invertido y por ser más flexibles para cumplimentar cualquier pedido.

5. Referencias.

1. Memorias del 2do Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica y Metalurgia. (ISPJAE del 12 al 15 de septiembre del 2000). “Desarrollo de electrodos revestidos de tipo AWS E316 y E316S para la soldadura de aceros inoxidables”. Ing. Tiel García Hernández. Coautores: Dr. Ing. Antonio Paz Iglesias, Ing. Artemio Alvarez Paneque, Ing. Perla Sarria Popowski.
2. Evento Internacional “Materiales 2001” (Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente del 16 al 20 de abril del 2001). “Desarrollo de electrodos revestidos de tipo AWS E308 y E316 para la soldadura de aceros inoxidables”. Ing. Tiel García Hernández. Coautores: Dr. Ing. Antonio Paz Iglesias, Ing. Artemio Alvarez Paneque, Ing. Perla Sarria Popowski.
3. Norma ANSI/AWS: A5.4 – 92
4. Eletrodos ANSI/AWS: A5.4 – 96 E308L – 15/16/17: estudo do efeito do sistema escorificante e protetor sobre o comportamento do arco. Ricardo José de Oliveira Nunes y otros. Buenos Aires agosto 1999.

Abreviaturas y siglas.

PIME-Pequeñas y medianas empresas.
FeCr-Ferrocromo.
FeMo-Ferromolibdeno.
mr-Masa del revestimiento
ma-Masa del alambre.
mel-Masa del electrodo.
D-Diámetro del revestimiento.
d-Diámetro del núcleo.

Semi-synthetic austenitics stainless steel electrodes for shielded metal arc welding: An economic variant for small and middle companies (PIME).

Abstract

This paper offers an economic valuation for the production of stainless electrodes type E308L, E309, E312 and E316L, for small and middle companies (PIME). The significant part of the present valuation gives the results obtained in the production of semi-synthetic electrodes; using just one type of stainless wire (308L) and adding the ferroalloys needed in the coat. The results shown are based on investigation experiences, production and trading of companies with a capacity for 200 T/year, so it is very difficult to enter in the market using the same technological procedures of a big company with higher capital and financial resources.

Key words: Nonrusting austenistic electrodes, sintetic electrodes, semisintetic electrodes, iron alloy, conventional electrodes, metal deposition.