

SOLDADURA DE LOS BRONCE - ALUMINIO COMPLEJOS

Samuel Rosario Francia

I.-INTRODUCCIÓN

Los bronce - aluminio, son un grupo importante de las aleaciones a base de cobre en que el principal elemento aleante es el aluminio hasta 14%, cuando otros elementos de aleación se introducen en porcentajes significativos como el níquel, fierro, manganeso, silicio adquieren propiedades físicas, mecánicas o químicas de gran magnitud y que cumple con una gran variedad de requerimientos de ingeniería. Existen cuatro grupos importantes de bronce aluminio.

1.1 Grupo 1

Las aleaciones que contienen menos de 7% de aluminio, presentan una fase simple, tienen buena ductilidad y son adecuados para trabajos en frío, pero son frágiles en caliente y difíciles de soldar. El conjunto de las partes soldadas en estas aleaciones puede agrietarse en la ZAC.

1.2 Grupo 2

Las aleaciones de dos fases (duplex), que contienen de 8 a 11 % de aluminio, también con adiciones de fierro y níquel para incrementar la resistencia. Esta representa el tonelaje mayor, sean fundidas o forjadas para la ingeniería naval. Estas aleaciones y las de otros grupos que presentan dos o más fases, se consideran soldables cuando se emplean procesos y procedimientos de soldadura diseñados para evitar fragilidad y agrietamiento.

1.3 Grupo 3

Bronce aluminio-silicio, de menor permeabilidad magnética.

1.4 Grupo 4

Las aleaciones cobre-manganeso-níquel, aluminio, que son bien fundibles y que originalmente fueron desarrolladas para la fabricación de hélices.

Las frecuentes reparaciones de piezas fundidas de aleación bronce. aluminio-níquel-manganeso, nos ha motivado a estudiar la soldabilidad de piezas fundidas en arena y examinar los efectos de los tratamientos térmicos, inhibidores de la corrosión sobre las propiedades de resistencia mecánica, corrosión y micro

estructura evaluadas sobre un rango de contenido de aluminio y una relación níquel-ferro.

Los bronce aluminio con níquel-ferro manganeso conforme a la especificación ASTM - B148, número UNS. C95800, son extensivamente empleadas para fabricar piezas fundidas que trabajarán en aguas marinas, debido a su alta resistencia mecánica, moderada ductilidad y razonable resistencia a la corrosión cuando se tienen en la correcta condición micro estructural. Estas aleaciones sin embargo están sujetas a un ataque selectivo de fase (des aluminización) especialmente en la zona afectada por el calor de la soldadura, cuando un tratamiento térmico de post soldado no se ha aplicado. La des aluminización ocurre debido a la presencia de la fase γ_2 .

Muchos estudios de los bronce aluminio complejos, han demostrado el efecto de la composición sobre las propiedades así como el efecto del contenido de hierro y níquel sobre la formación, composición y morfología de la fase k rica en hierro (Fe₃ Al) y rica en níquel (NiAl). En el presente trabajo se hace notar la influencia de la estructura de las fases α + γ_2 , que inducen a la corrosión, la cual se remueve por tratamientos térmicos inhibidores de la corrosión tratando las muestras entre 650° - 700°C durante 6 a 8 horas.

Se resumen en este trabajo, los resultados de las experiencias, en tablas reportes, micro estructuras.

II.-RESULTADOS

2.1 Procedimiento Experimental

a.- Fundición colada y tratamiento

Se fundieron, en horno de inducción, placas de 12 mm x 10 cm x 25 cm de acuerdo a los rangos de composición que se indican en la Tabla N° 1 según ASTM.B 148

TABLA N° 1.- Rango de composición de la Aleación Cu-Al-Ni-Fe-Mn.		
Elemento	% en Peso Nominal	% Promedio
Níquel	4,0 - 5,0	4,45
Fierro	4,0 - 5,0	4,15
Manganeso	0,8 - 1,4	1,20
Aluminio	0,8 - 10,0	9,25

Se fundió primero, las pre aleaciones cobre-hierro, cobre-níquel, cobre-manganeso, agregándose luego el balance de cobre empleando fundente de cobertura carbón vegetal seco con Albral-2; finalmente, se añadió el aluminio alcanzando la temperatura de 1200°C, des gasificando con gas nitrógeno y

verificando la presencia o eliminación de gases en cámara al vacío, colándose luego en moldes de arena estufados.

Una vez solidificada las muestras, se introdujeron a un horno a 1000°C durante 2 horas, seguido de un enfriamiento en el horno hasta 500° en un tiempo de cuatro horas, y enfriado luego a temperatura ambiente al aire calmado.

Las composiciones de las aleaciones experimentales, obtenidos por análisis químico en técnicas de Absorción Atómica, se dan en la tabla 2, los ensayos mecánicos se efectuaron en probetas de acuerdo a las especificaciones para materiales. ASTM-B505 para aleaciones C95800, para aleaciones de a niveles de aluminio menores de 9,2%.

b.- Tratamiento térmico de inhibición a la corrosión

Se ha demostrado que bajo ciertas condiciones, el tratamiento térmico por 6 horas a 700°C, seguido por un enfriamiento al aire, reduce o elimina la fase $\alpha + \gamma_2$, la cual es altamente susceptible al ataque corrosivo.

Este tratamiento está dispuesto por la especificación MIL-B-24480 (buques) del año 1973. En el presente trabajo se hicieron tratamientos entre 600° y 700°C, observando los efectos sobre las propiedades mecánicas y micro estructura del material fundido.

c.- Soldadura

Es importante señalar algunas notas que son muy importantes y aplicables para la soldadura de bronces - aluminio.

c.1) La presencia natural de las películas de superficie de óxidos, ricos en aluminio, son vitales para la sobresaliente resistencia a la corrosión de las aleaciones, pero pueden impedir la soldadura, tanto sobre el metal sólido como cuando se están formando en el baño del metal fundido. Si se quedan atrapados en la soldadura, la sanidad queda inevitablemente afectada. Una limpieza previa al metal base, a la soldadura y a los inter fases, así como la selección correcta del proceso de soldadura ayudan a evitar este problema.

c.2) Debe permitirse tolerancia para los bronces aluminio, que tienen una conductividad térmica y un grado de expansión térmica mayores que los aceros comunes. Estas propiedades significan que el calor es diseminado de manera más uniforme y que, por consiguiente, la zona afectada por el calor es más pequeña; por tanto, no deberá estar presente una fijación indebida.

c.3) Consideramos importante esta información, las aleaciones especialmente aquellas de menor contenido de aluminio (una sola fase), tienen una ductilidad reducida en el rango de temperatura entre 400° - 600°C. Esto significa un riesgo

potencial de rajadura durante el enfriamiento después de la solidificación, lo que puede reducirse evitando la fijación mediante un diseño correcto de la junta una correcta administración de calor a través del control de la técnica de soldadura.

c.4) Igual como todos los metales que son soldados, los bronce aluminio, y en particular los complejos, sufren cambios metalúrgicos, por lo tanto la zona soldada como la zona afectada por el calor varían en algún alcance del metal base. Esta variación en estructura y propiedades puede tener un efecto potencialmente perjudicial sobre la resistencia a la corrosión en la zona afectada por el valor, Dependiendo de la severidad de las condiciones de servicio, es recomendable hacer un pos tratamiento de alivio de tensiones o un tratamiento térmico completo para restaurar las propiedades y homogenizar la estructura.

d.-Selección del proceso de soldadura

Para seleccionar el proceso de soldadura y el metal de relleno se considera las características básicas de las aleaciones de la experiencia dada, además en reparación debemos de tener en cuenta su forma, y su historia si es posible desde la fabricación hasta momentos antes de la determinación de reparación.

La soldadura oxiacetilénica, casi sólo es practicable, para trabajos sencillos.

La soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido se usa ocasionalmente para mantenimiento y reparación. Tanto en la soldadura por gas como la de arco eléctrico con electrodo, se requiere fluxes, capaces de enténderselas con la película refractaria de aluminio, y que al entrapar tales residuos, la producción de una soldadura satisfactoria puede resultar seriamente impedida.

Por estas razones se recomienda que, para obtener los mejores resultados, debe emplearse la soldadura por arco con protección de gas, donde el área de soldadura es protegida contra una oxidación significativa mediante una atmósfera de gas inerte. La acción del arco dispersa eficazmente todo óxido que pueda estar presente, la soldadura en posición plana, logra el mejor éxito.

La selección entre el proceso TIG y MIG, o el posible uso de un amplio rango de técnicas como corriente pulsada o arco plasma, desarrolladas para suplementar estas técnicas básicas, queda sujeta al criterio individual basándose en el diseño original y la experiencia. En este sentido el proceso MIG es el más empleado, y una buena práctica normal es, asegurar una buena y controlable penetración en la raíz, con soldadura TIG, seguida por TIG o MIG para la soldadura subsecuente de construcción. La soldadura MIG, es más rápida y permite un control mayor, si aplicamos un proceso de MIG pulsada, este permite realizar pases de raíz satisfactorios con igual calidad como la mejor práctica manual con TIG.

e.- Metales de relleno

Los metales de relleno de bronce aluminio complejos, son adecuados para uso con los procesos de soldadura TIG y MIG protegidos por gas para todo rango de aleaciones. La Tabla N° 2 contiene una selección de alambres de uso comercial de 1,2 a 1,6 mm.

f. Práctica de soldadura

Estas anotaciones respecto a una buena práctica de soldadura, se restringen a las técnicas de soldadura por arco con gas protector. Se supone que todo el equipo esté en pleno estado para el trabajo, que las condiciones de trabajo sean controladas cuidadosamente y que las prácticas aprobadas por el estándar sean seguidas en todo momento. La Tabla N° 3 nos da las condiciones de trabajo en las experiencias.

TABLA N° 2.- Metales de relleno recomendados									
Designación	Cu	Al	Ni	Fe	Mn	Composición Química y Propiedades Mecánicas			
						Densidad Gr/cm ³	TS MPa	YS MPa	E %
TIPO- 1 (*)	Bal	7,50	(Fe + Ni + Mn 1,90 - 2,50%)			7,50			
UTP- 34 N (aws- ercU MnNiAl)	Bal	7,00	2,50	2,50	13,0		>650	>400	18
A216/13 MIH (DIN S-CuMn 13 Al) (**)	74,0	6,80	3,00	2,50	13,00	8,95	700	420	20
(*) Materiales de stock, sin especificación de proveedor. (**) Diámetro del alambre 1,2 mm									
TABLA N° 3.- Condiciones de Trabajo de la soldadura									
Diseño de la Junta					Ranura en V. Ángulo 60°, Abertura de raíz 1,5 mm (5,00 mm)				
Alambre de soldadura					1,2 mm de diámetro (UTP - 34N)				
					1,2 mm de diámetro (A216/13 MIG)				
					1,2 mm de diámetro				
Ángulo del soplete					Aproximadamente 15° de la vertical con el soplete apuntando en la dirección del recorrido				
Gas Protector					Mezcla de Argón + 15% de Helio (1m ³ /h)				
Voltaje del Arco					26 - 29 Voltios				
Corriente (CC, electrodo positivo)					260 - 310 Amperes				
Velocidad de recorrido					3 -5 mm/s				
Temperatura de Pre calentamiento					80° C				
Energía del arco					1,6 2,4 KJ /mm				
Temperatura de Inter Fases					120° - 180° C				

g. Diseño de la junta y preparación

Las juntas se diseñan para asegurar un libre movimiento térmico, para no exponer al material a una fijación excesiva durante el ciclo de soldadura. Para espesores normales se recomienda una abertura de raíz de 1,5 mm, con el fin de asegurar una penetración satisfactoria del metal de aporte, en casos de espesores mayores puede prepararse aberturas hasta de 5 mm.

El tipo de preparación de los borde, como una sola V, a tope cuadrado debe estar en concordancia con la buena práctica normal en la soldadura.

El área dentro y alrededor de la soldadura tiene que estar escrupulosamente limpia y libre de grasa, suciedad, marcador no volátil y óxido visible. Se recomienda el cepillado de raspado con un cepillo de bronce (no de acero) inmediatamente antes de la soldadura.

h. Control de precalentamiento y temperatura entre Fases

Raramente es necesario emplear un precalentamiento mayor que 150°-200°C, y en la mayoría de los casos es suficiente calentar el material base sólo lo suficiente para quitar la humedad y asegurar que no haya más condensación. Un precalentamiento excesivo puede ocasionar una mayor zona afectada por el calor, con un mayor volumen de metal expuesto al riesgo de rajadura en caliente y con problemas de distorsión. Igualmente la temperatura entre pases debe mantenerse limitada en forma similar, si fuese necesario, permitiendo que la zona de trabajo se enfríe entre los pases que siguen, se recomienda el uso de un cepillo de raspado para remover el óxido entre los pases y reducir el riesgo de una soldadura porosa.

Las experiencias se realizaron con precalentamiento del metal base entre 70° - 80°C, y la temperatura entre pases 120° - 180°C.

i.- Selección del gas protector

Para la soldadura MIG convencional, se recomienda la protección con gas argón con C.C y electrodo en polo positivo. Sin embargo, mezclas de argón - helio, hasta un 30% de helio, pueden mejorar la entrada de calor y lograr una soldadura más rápida, que es la razón principal para usar este proceso. En las experiencias empleamos, mezclas argón con 10 a 15% de helio.

j.-Selección del metal de aporte

Soldaduras de un sólo pase pueden realizarse en aleaciones de una sola fase, de espesor delgado usando un material de relleno, del tipo - 1, con 7.5% Al, (Fe + Ni + Mn) no mayor del 2.0% para obtener una resistencia equivalente, a la corrosión a través del área de soldadura.

Los materiales de aleación del grupo-2 (dúplex) se sueldan mejor con un material de aporte de composición similar al metal base, del tipo 4, que tienen mejor resistencia a la corrosión, pero son menos dúctiles durante el enfriamiento después de la solidificación.

Donde existen condiciones de sujeción es posible que la soldadura llegue a rajarse durante el enfriamiento, para estas condiciones se debe usar un alambre que no contenga níquel para el pase de raíz y los pases de relleno, seguido de una capa de alambre del tipo-4, según sea apropiado para obtener una resistencia equivalente a la corrosión. Si la sujeción es mínima, el tipo-4 puede usarse para todos los pases de soldadura. En las experiencias utilizamos alambre del tipo-4 que corresponde a la UTP-34N.

I.- Tratamiento térmico posterior a la soldadura

En muchos casos, no es necesario un tratamiento posterior a la soldadura. Pero cuando se requiere que el material tenga la máxima confiabilidad bajo condiciones de severa corrosión, es aconsejable un tratamiento térmico para asegurar que la soldadura y la zona afectada por el calor sean restauradas plenamente hasta una estructura de óptima resistencia a la corrosión, esto asegura a la vez el alivio de eventuales tensiones residuales internas retenidas después de la soldadura que, al no removerlas, podrían ocasionar el inicio de corrosión por fatiga. Se puede realizar un tratamiento de revenido para alivio de tensiones a 300°-350°C durante el tiempo que depende del espesor de la sección (media hora a la temperatura por pulgada).

El tratamiento térmico necesario para desarrollar una óptima resistencia a la corrosión dependerá de la aleación, la sección, el espesor y las propiedades requeridas y, por consiguiente, se determina generalmente por la experiencia. En algunos casos informaciones nos indican que en conexiones de tubos de fundición, a usarse en condiciones severas, se recomienda un tratamiento a 700°-730°C durante 6 horas, seguido de una velocidad de enfriamiento que no exceda a 250°C/hora, en el caso de hélices se requiere un tiempo de remojo de 20 a 30 minutos por cada 25 mm de espesor de la sección y velocidades de enfriamiento que no exceda 50°C/hora hasta los 100°C. Este es el caso que se acomoda más a nuestras exigencias que se ha practicado en las experiencias.

Algunos tratamientos más exigentes, con resultados sumamente mejorados son, con tratamientos a 925°-950°C durante 1 hora/ pulg. de espesor, y luego un enfriamiento rápido hasta 650°-700°C en un medio como sales fundidas y luego un lento enfriamiento para restablecer la resistencia a la corrosión. No es muy práctico y por su elevado costo no es muy requerido, y el hecho que las propiedades existentes con el tratamiento anterior son frecuentemente más adecuadas.

m.- Pruebas y ensayos

La especificación general que cubre tanto las pruebas destructivas como las no destructivas de soldadura por fusión en cobre y aleaciones de cobre es la BS-4206, pero en diferentes especificaciones se mencionan variaciones, de acuerdo a la severidad de las condiciones de operación a esperarse, como la norma DIN 8524, parte-1, defectos en uniones soldadas, o la norma ANSI/AWBI-11-88 de inspección de juntas soldadas. Además de la inspección visual con o sin auxiliares, se especifican las pruebas de tintes penetrantes, radiografía y ultrasonido. Los bronce aluminio, absorben los rayos X y rayos γ en mayor extensión que el acero, por lo tanto son diferentes las condiciones de la prueba. Los rayos-X, de 300 KV, pueden usarse hasta un espesor de 50 mm y los rayos- γ hasta un espesor de 160 mm, en dependencia de los niveles mínimos acordados de porosidad y defectos a detectarse.

n.- Solidaridad

a.-Características y sanidad de la soldadura

Las características de la soldadura de las aleaciones de cobre de aluminio complejos han sido investigados en muchos trabajos y los procedimientos de reparación se han descrito.

b.-En el presente trabajo se observó durante los ensayos, que soldando con argón puro se producía excesiva porosidad a través de la soldadura, con poros de hasta 1 mm de diámetro. Sin embargo soldaduras sanas se produjeron cuando una mezcla de argón y helio, mayor al 15% se usaron en lugar de argón puro.

Aunque la soldadura libre de porosidad fue obtenida, una falta de penetración o fusión e inclusiones de óxido ocurrieron, sobre todo cuando uno de los alambres presentaba porcentaje de aluminio alto, mayor de 9,25% de aluminio, con el alambre de nuestro ensayo que presenta bajo aluminio las características de la soldadura fueron excelentes.

c.- Metalografía de la soldadura

La macro estructura de la soldadura, en la fotografía-1 es típica de toda soldadura. El examen metalográfico revela una estrecha zona afectada por el calor (ZAC)(0,8-1,0 mm de ancho).

Las micrografías 1 al 6 muestran las características estructurales del metal base, zona fundida, dilución, soldadura, y zona afectada por el calor, en muestra sin tratamiento posterior, como aquellas con tratamiento térmico de inhibición de la corrosión. La micrografía-5, presenta una fase -K- rica en hierro, algunas manchas negras de fase γ_2 (no deseables), embebidas en fases a y b el enfriamiento rápido ha producido fases fina de k y γ_2 .

La micrografía-3, de muestras después del tratamiento térmico de la soldadura, la micro estructura de la zona de fusión es modificada, por difusión del aluminio del alambre de soldadura.

La micrografía-6, presenta inter fase de soldadura de dos alambres, la UTP, 34N y A-216/13, por las características similares de ambos alambres, se observa la fase b predominante con algo de fina fase k.

d.- Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas de tensión y resistencia de las uniones soldadas se presentan en la Tabla N° 4. Los resultados son consistentes con los reportados anteriormente, similar contenido de aluminio y mayor contenido de manganeso en metal de aporte incrementa la resistencia a tensión y fluencia decreciendo la elongación, la resistencia al impacto disminuyen.

III.-Conclusiones

a) Las aleaciones de bronce de aluminio complejos obedecen al endurecimiento por precipitación, como se ha demostrado en los ensayos con tratamiento térmico de los materiales.

b) Se sugiere el tratamiento de inhibición a la corrosión de 650°C por períodos más prolongados de 6 a 20 horas, porque mejora la resistencia y simultáneamente se elimina la micro segregación de la fase y, del producto fundido.

c) El tratamiento térmico causa una marcada precipitación de la fase k muy fina dentro de la fase a, con un incremento en la resistencia y disminución en la ductibilidad.

d) Soldadura libre de porosidad puedes ser obtenida empleando una mezcla de gases argón - helio (15%).

e) Alambres de relleno con contenidos altos de aluminio son propensos a producir inclusiones oxidadas en la soldadura.

f) La fase deprimente γ_2 se forma en ZAC de la soldadura y en la zona de fusión.

g) El tratamiento térmico de post soldado a 700°C durante 6 horas elimina la fase γ_2 de la zona de fusión y ZAC y causa una ligera esferoidización de la fase k en ambas regiones.

h) La resistencia a la tracción y la fluencia se incrementan y la elongación y resistencia al impacto disminuyen por el tratamiento térmico de post soldado, especialmente al bajo aluminio final del rango de composición.

i) La filosofía común es, seleccionar una aleación de alto contenido de aluminio para obtener propiedades mecánicas y que con el tratamiento térmico se remueve la fase γ_2 , así mejoramos la resistencia a la corrosión.

El presente trabajo sugiere mejor, escoger una aleación de bajo contenido de aluminio digamos 8,5% Al, el cual podrá contener muy poco o nada de fase α_2 y por lo tanto tendrá una inherente resistencia a la corrosión. Estas fundiciones podrán ser soldadas o reparadas con soldadura con alambres de composición aproximada. El tratamiento térmico de post soldado puede entonces ser empleado para remover la fase γ_2 de la zona de fusión y de la ZAC y mejorar las propiedades mecánicas de la fundición.

TABLA N° 4.- Propiedades Mecánicas de la Junta Soldada								
	Después de Soldado			Soldado + 700°C, 6h: enfriado al aire				
Muestra	TS (MPa)	YS (MPa)	E %	Impacto J	TS (MPa)	YS (MPa)	E %	Impacto J
1	572	265	18	51	652	304	15	30
2	637	278	28	51	682	331	16	31
3	673	323	17	41	675	298	15	29
4	661	334	12	39	706	327	17	27
5	663	311	16	*	---	---	---	---
6**	564	247	17	56	637	304	13	36
7	665	318	13	22	692	311	16	22
8	510	242	13	46	597	286	15	32
9	638	288	27	49	688	335	18	31
10	665	318	13	22	692	311	16	22

(*) Defecto de oxidación en la sección calibrada . Fractura presentada en la zona de fusión.
(**)Alambre de relleno del tipo - 1

IV.-BIBLIOGRAFÍA

1.- S. GOLDSPIEL - US NAVAL APPLIED SCIENCE LAB. MODERN CASTING. 1965. Heat Treatment Micro Estructure and Corrosion Resistance of Aluminium Bronze Casting.

2.-VA. CALLCUTT
WELDING & METAL FABRICATION
1988. La Soldadura de Bronce Aluminio.

3.-M. SAHOO-
High Strength Cast Nickel - Aluminium Bronzes
Canada.

4.-AMERICAN WELDING SOCIETY
1996. welding Handbook- Materials and Applications
Eight edition Vol.3

5.- F. EMERY GARRIOTT
Selección del Electrodo Adecuado para Obtener Versatilidad en las Uniones
Ampeo Metal Inc.

6.- H. WEHNER
La Soldadura de Cobre y Aleaciones de Cobre.
Metales No Ferrosos.