Efecto de los parámetros del proceso brazing en las propiedades metalúrgicas de uniones de acero inoxidable AISI 304

F. García-Vázquez, I. Guzmán, J. Acevedo y E. Aguilar
Corporación Mexicana de Investigación en Materiales (COMIMSA), Calle ciencia y tecnología No. 790, Col. Saltillo 400, c.p. 25290, Coahuila, México
felipegarcia@comimsa.com, isidroguzman@comimsa.com, edgaraguilar@comimsa.com

Resumen

El proceso de brazing al vacío se utiliza para unir y reparar materiales metálicos sin que se presenten problemas de oxidación. Mediante este proceso se pueden llevar a cabo uniones de materiales disímiles y geometrías complejas, con una mínima distorsión que no se podrían obtener con otros métodos de unión. En este proceso se utiliza un material de aporte base níquel (Ni-11Cr-3.5Si-2.25B-3.5Fe) debido a su resistencia a altas temperaturas y a la corrosión. Se utiliza boro y silicio como elementos que disminuyen el punto de fusión del material de aporte, sin embargo se forman compuestos intermetálicos duros y frágiles, los cuales son perjudiciales para las propiedades mecánicas de las uniones mediante el proceso brazing. En este trabajo se realizó un estudio del efecto de los parámetros del proceso, en específico tiempo de mantenimiento y temperatura de brazing en las propiedades metalúrgicas y formación de compuestos intermetálicos en las uniones.

Introducción

El proceso de brazing al vacío produce uniones de componentes metálicos con buena resistencia mecánica, además con resistencia a la corrosión cuando se utilizan metales de aporte base níquel [1-4]. Este proceso ha sido ampliamente utilizado en industrias de alta tecnología como un medio efectivo y económico que ofrece ciertas ventajas sobre otros procesos de soldadura convencionales. Por ejemplo, el proceso brazing se puede utilizar para unir ensambles complicados entre secciones gruesas y delgadas, así como geometrías complejas. En el proceso convencional de brazing, es necesario que se mantenga un espacio de unión aproximadamente de 0-1.5 mm para asegurar la atracción capilar [2]. Además, una propiedad esencial de este proceso es la fuerte reacción metalúrgica entre el metal de aporte y el metal base, lo cual da como resultado uniones de alta resistencia y dureza. Este proceso es utilizado en la unión y reparación de componentes de turbinas de gas fabricados con superaleaciones base níquel [5]. El uso de metales de aporte que contienen boro y silicio forman fases intermetálicas duras y frágiles en la microestructura final de la unión [6]. La formación de constituyentes eutécticos y otras partículas de segundas fases, ya sea en la zona central o en la interface metal base/metal de aporte, por lo general son perjudiciales para las propiedades mecánicas de las uniones realizadas con el proceso brazing [7,8].

Por otra parte, el acero inoxidable AISI 304 presenta una excelente resistencia a la corrosión y los componentes fabricados con este acero pueden operar dentro de un amplio rango de temperaturas. Este acero es usado en la manufactura de intercambiadores de calor, sistemas de enfriamiento y generadores de poder [9]. La principal razón de utilizar el proceso de brazing al vacío, como método de unión de este tipo de componentes, es obtener una mínima distorsión del metal base y libre de porosidad, además puede ser usado para realizar uniones complejas. En las uniones mediante brazing es muy importante reducir la cantidad de compuestos intermetálicos en la zona central. Diversos estudios indican que el tiempo y temperatura de brazing pueden disolver los compuestos intermetálicos mediante solidificación isotérmica [10].

Procedimiento experimental

Para realizar el presente trabajo, se utilizaron muestras de acero inoxidable AISI 304 con el objetivo de evaluar las características metalúrgicas y esfuerzo de tensión de los componentes unidos mediante brazing. Las muestras del material base fueron secciones rectangulares de 130 mm x 30 mm x 3 mm, con un claro de unión de 2 mm y una sección de traslape de 25 mm, ver figura 1. El proceso brazing fue realizado en un horno de vacío utilizando metal de aporte con una aleación base níquel a temperaturas de 1120°C y 1160°C por 15, 30, 45 y 60 minutos. El análisis microestructural de algunas muestras se llevó a cabo usando microscopia electrónica de barrido (MEB) en un equipo JEOL equipado con análisis simi-cuantitativo EDXS. El equipo fue operado con un voltage de aceleración de 15 kV, tamaño de spot de 40 y con una distancia de trabajo de 11 mm. Con el objetivo de evaluar el esfuerzo de tensión de las uniones, se fabricaron probetas de acero inoxidable 304 de acuerdo con las normas AWS C3.2M y ASTM E8. La prueba de tensión se realizó en una máquina Olsen de 100 toneladas, y la prueba de microdureza en la zona de la unión se determinó en una máquina Future Tech con una carga de 500 g.

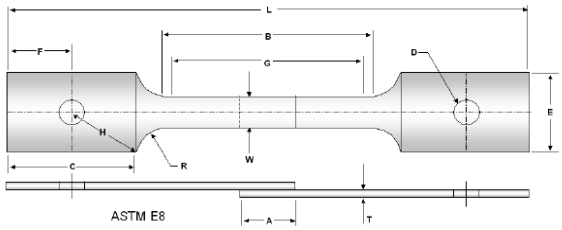

Figura 1. Geometría de las probetas para evaluación de propiedades mecánicas bajo las normas AWS C3.2M y ASTM E8.

Discusión y análisis de resultados

a) Caracterización microestructural

La figura 2 muestra una serie de imágenes de electrones secundarios donde se observa la sección transversal de la microestructura en las uniones obtenidas a 1120°C y 1160°C por 30 y 60 minutos. Como se puede apreciar, la zona de difusión o áreas formadas por solución sólida de níquel [11], a una temperatura constante de 1120°C, se incrementa al aumentar el tiempo de mantenimiento de brazing. Este comportamiento también se puede observar cuando el tiempo se mantiene fijo y se aumenta la temperatura de 1120°C a 1160°C. La temperatura de brazing y el tiempo tienen un efecto significativo en la formación de compuestos intermetálicos (fases eutécticas) en la zona central de la unión.

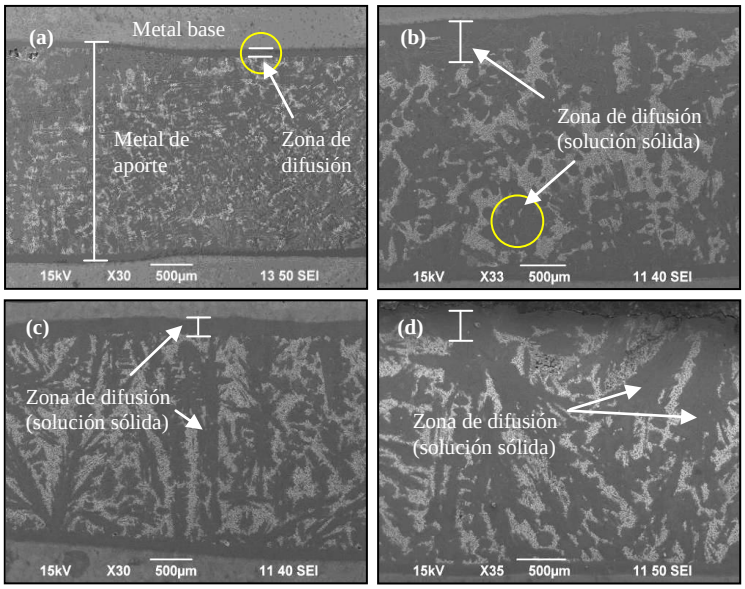

Figura 2. Imágenes de electrones secundarios de la microestructura de las uniones por brazing de acero inoxidable 304 utilizando metal de aporte base níquel: (a) 1120°C por 30 min, (b) 1120°C por 60 min, (c) 1160°C por 30 min, y (d) 1160°C por 60 min.

b) Evaluación de propiedades mecánicas

Los resultados de la prueba de tensión se muestran en la figura 5, como se puede apreciar se obtiene un valor máximo al aplicar las condiciones de temperatura de brazing de 1120°C por 60 min. El tiempo y temperatura de brazing tienen un efecto

importante en la difusión del boro y la disolución del metal base. Estos parámetros deben ser optimizados para obtener una apropiada microestructura y propiedades mecánicas. Un incremento en el tiempo de brazing permite la difusión adecuada del boro hacia el metal base, de esta manera al formarse una microestructura más homogénea, se incrementan las propiedades mecánicas en la zona de la unión. Por otra parte, un excesivo incremento en el tiempo de brazing generará una mayor disolución del metal base, lo cual favorecerá la aparición de microcavidades debido a la corrosión, y por lo tanto, las propiedades mecánicas en la unión disminuyen. En este trabajo, se desarrolló un diseño de experimentos para analizar el efecto del tiempo de brazing en la resistencia a la tensión en uniones mediante brazing. Los resultados ilustrados en la figura 5 muestran que al utilizar las condiciones de procesamiento de 1120°C por 60 min de tiempo de brazing, se logró obtener un valor máximo de esfuerzo de tensión de 465 Mpa.

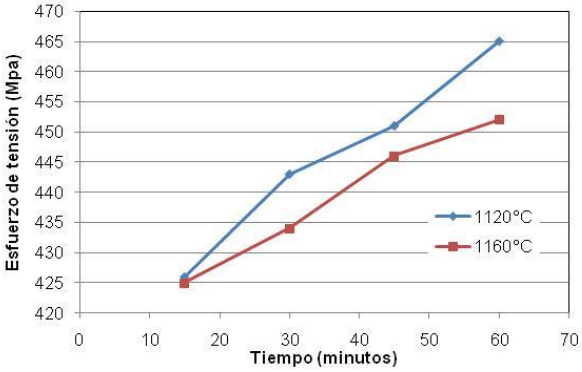

Figura 5. Efecto de la temperatura y tiempo de brazing en el esfuerzo de tensión.

En la figura 6 se presentan los resultados del ensayo de dureza realizado en las zonas de las uniones mediante brazing. Las mediciones de dureza se realizaron desde el centro de la unión hacia la zona del metal base de ambos lados. En general, se puede apreciar que la zona de unión mediante brazing presenta valores más altos de dureza, sin embargo, al aumentar el tiempo de mantenimiento de temperatura, existe una disminución en los valores de dureza. Esto se debe principalmente a la disminución de compuestos intermetálicos en la zona central [12], debido a que existe mayor tiempo para que el boro y silicio difundan hacia el metal base.

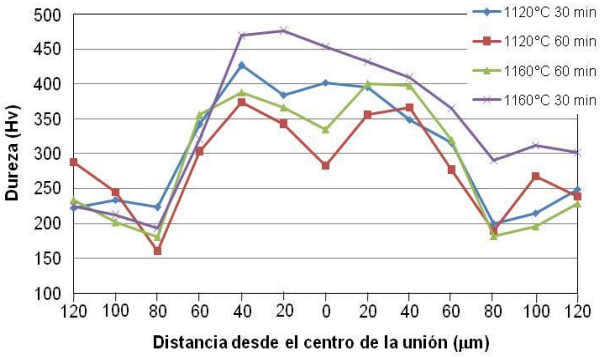

Figura 6. Gráfica de las mediciones de dureza en la zona de la unión mediante brazing.

Conclusiones

- La difusión del boro y silicio se incrementa al aumentar el tiempo de proceso brazing, por lo tanto, bajo esta condición se tiene un control más adecuado de la formación de compuestos intermetálicos base níquel en la zona de la unión y la zona de difusión es más amplia.

- Bajo condiciones de procesamiento de 1120°C por 60 minutos se obtuvo un valor máximo de esfuerzo de tensión de 465 Mpa, y una disminución en los valores de dureza en la zona de la unión, esto debido a que las condiciones para la difusión del boro hacia el metal base fueron las adecuadas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la corporación mexicana de investigación en materiales (COMIMSA) y al consejo nacional de ciencia

y tecnología (conacyt) por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo.

Referencias

1. Y.H. Yu, M.O. Lai. Effect of gap filler and brazing temperature on fracture and fatigue of wide-gap brazed joints. J. Mater. Sci. 30 (1995) 2101-2107.
2. E. Lugscheider, Th. Schittny, E. Halmoy. Metallurgical aspects of additive-aided wide-clearance brazing with nickel-based filler metals. Welding journal (1989) 9s-13s.
3. W.D. Zhung, T.W. Eagar. Transient liquid phase bonding using coated metal powders. Welding journal (1997) 157s-162s.
4. C. Fujiwara, T. Hattori and S. Sakai. Optimizing processing variables in high-temperature brazing with nickel-based filler metal. Wld. J. (1989) 63-91.
5. S.K. Tung, L.C. Lim. Wide gap brazing with precraks of nickel base braze mixes. Mater. Sci. Technol. 11 (1995) 949-954.
6. R. Johnson, M. Baron and N.J. Livesey, Third International Brazing and Soldering Conference (BABS), Paper 21, 1979.
7. E. Lugsscheider, H. Schmoor, U. Eritt, *Brazing, High Temperature Brazing and Diffusion Welding*, Deutscher Verlag fur Schweisstechnik GmbH, Germany, 259–261 (1995).
8. M. Pouranvari, A. Ekrami and A.H. Kokab. Microstructure development during transient liquid phase bonding of GTD-111 nickel-besed superalloy. J. Alloys and Compounds 2008; 461(1-2): 641-647.
9. F. Pra, P. Tochon, Ch. Mauget, J. Fokkens and S. Willemsen. Promising designs of compact heat exchangers for modular HTRs using the Brayton cycle. Nuc. Eng. Des. 2008; 238(11): 3160-3173.
10. M. Pouvarani, A. Ekrami and A.H. Kokab. Effect of bonding temperature on microstructure development during TLP bonding of a nickel based superalloy. J. Alloys and Compounds (469) 2009. 270-275.
11. N.P. Wikstrom, O.A. Ojo and M.C. Chaturvedi. Influence of process parameters on microstructure of transient liquid phase bonded Inconel 738LC superalloy with Amdry DF-3 interlayer. Materials Science and Engineering A 417 (2006) 299–306.
12. N.P. Wikstrom, O.A. Ojo and M.C. Chaturvedi. Influence of process parameters on microstructure of transient liquid phase bonded Inconel 738LC superalloy with Amdry DF-3 interlayer. Materials Science and Engineering A 417 (2006) 299–306.