

Soldadura por difusión de chapas de la aleación Ti-6Al-4V: Determinación de propiedades mecánicas en probetas planas

Por F.A. CALVO CALVO, J.M. GOMEZ DE SALAZAR,
A. UREÑA FERNANDEZ y J.G. CARRION MARTIN

Recibido: 10 mayo 1989.

Resumen

El trabajo que presentamos describe un ensayo a cortadura de chapas soldadas por difusión de la aleación Ti-6Al-4V. En él, se describen la metodología y las propiedades mecánicas de la unión obtenida entre dos superficies planas mediante Soldadura por Difusión (SD). Debido a las características de las probetas empleadas en el procedimiento ensayado, en ningún caso la rotura se produce por la unión, sino que tiene lugar en un área adyacente, alcanzándose una resistencia a cortadura máxima del 76% con respecto al material base ensayado de igual forma, y con alargamientos muy bajos.

INTRODUCCION

El desarrollo del estudio metalúrgico (1-3), la implantación tecnológica de los procesos de Conformado Superplástico y Soldadura por Difusión de material en chapa con propiedades superplásticas (4-9) ha impulsado en la misma medida, diferentes estudios sobre la evaluación de las propiedades mecánicas de las soldaduras y cuya resistencia va a depender en gran parte del propio proceso de fabricación de la pieza (10-15).

En la actualidad no existe un criterio internacionalmente aceptado para la definición de probetas aptas para el establecimiento de propiedades mecánicas en uniones soldadas por difusión, por lo que es nuestro propósito aportar un modelo diferente y, en cualquier caso, una experiencia más.

MATERIALES Y EQUIPOS

El material utilizado ha sido una chapa de 1 mm de espesor de la aleación Ti-6Al-4V en estado recocido. La chapa de partida se corta rectangularmente y con dimensiones aproximadas de 50 X 30 mm y constituyen las probetas que son soldadas por difusión con un estrecho área de solape, cuyas dimensiones son 30 X 3 mm (Fig. 1).

El procedimiento de SD fue realizado en un horno de vacío de inducción magnética, propiedad de The Welding Institute (Gran Bretaña). Esta unidad de calefacción incorpora un sistema de aplicación de carga, con el cual, se aporta la presión necesaria para conseguir la soldadura entre las

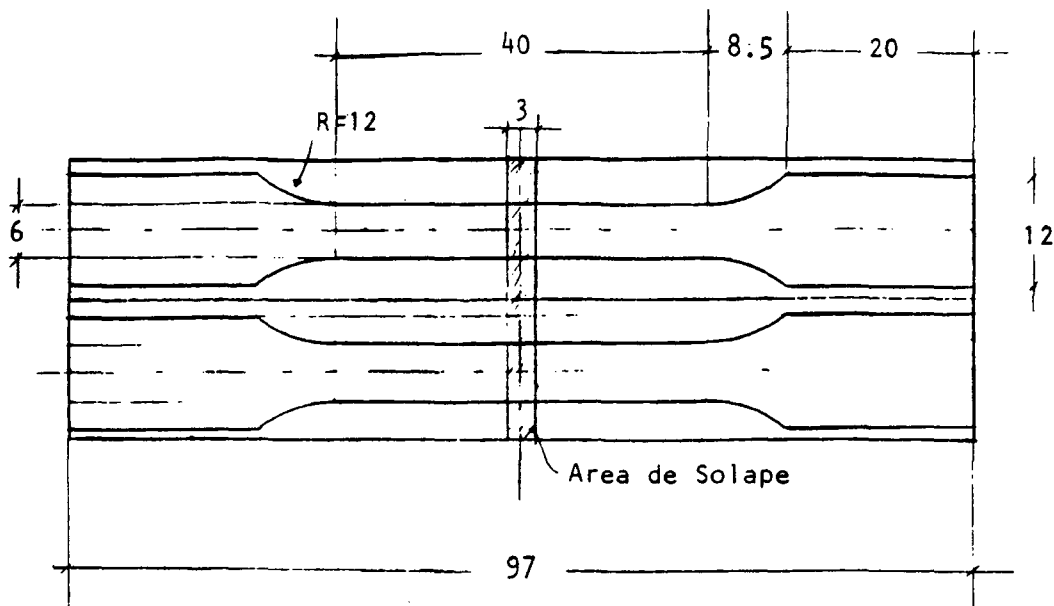


Figura 1.—Esquema de las probetas utilizadas para los ensayos descritos en el trabajo. El área de solape representa el área soldada entre dos probetas de soldadura por difusión; la unión de ambas constituye una única probeta de ensayo de cortadura.

superficies de las probetas. Todo el sistema está controlado por un microprocesador.

Los ensayos de cortadura se llevan a cabo en una máquina universal de ensayos INSTRON, aplicando a las mordazas una velocidad de desplazamiento en tracción 0.5 mm/minuto.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Las pequeñas chapas rectangulares se desbastan con papel abrasivo hasta el grado 600 por la zona que constituirá el solape de la soldadura, alcanzando una rugosidad final de $0.1 \mu\text{m}$. Posteriormente se lavan con alcohol etílico en baño de ultrasonidos y se procede a soldar por difusión las áreas elegidas.

La SD tiene lugar a una temperatura de 850°C , bajo presión de 4 MPa y en tiempos comprendidos entre 30 y 120 minutos (Tabla I). La velocidad de calentamiento es de 0.52°C/s , mientras que la de enfriamiento es de 0.25°C/s .

Una vez obtenida la soldadura, las probetas son mecanizadas hasta conferirles la forma y dimensiones que indica la norma BS-18, de la British Standards Institution, para el ensayo a tracción de probetas planas (Fig. 1). El mecanizado sitúa la zona soldada en la mitad de la longitud calibrada de la probeta de ensayo, esto es, la probeta de ensayo se compone de dos “medias probetas” de soldadura. Como resultado de esta operación el área de SD que se somete al ensayo de cobertura es de $6 \times 3 \text{ mm}$ (Fig. 1).

TABLA I

*Resumen de las condiciones experimentales de soldadura por difusión
y de los resultados obtenidos en el ensayo a cortadura de las probetas soldadas.*

PROBETAS	CONDICIONES EXPERIMENTALES DE SD			PROPIEDADES MECANICAS	
	Temperatura (°C)	Presión de Soldadura (MPa)	Tiempo (min.)	Resistencia a Cortadura (MPa)	Elongación (%)
COR 1	850	4	30	628.8	1.5
COR 2			60	689.3	1.9
COR 3			90	710.5	1.5
COR 4			120	816.7	1.98
MATERIAL BASE				1074.7	11.5

RESULTADOS y DISCUSION

En la Tabla I se muestran los resultados del ensayo, junto con las condiciones de SD, y en la figura 2 un diagrama tensión-deformación representativo de las probetas ensayadas.

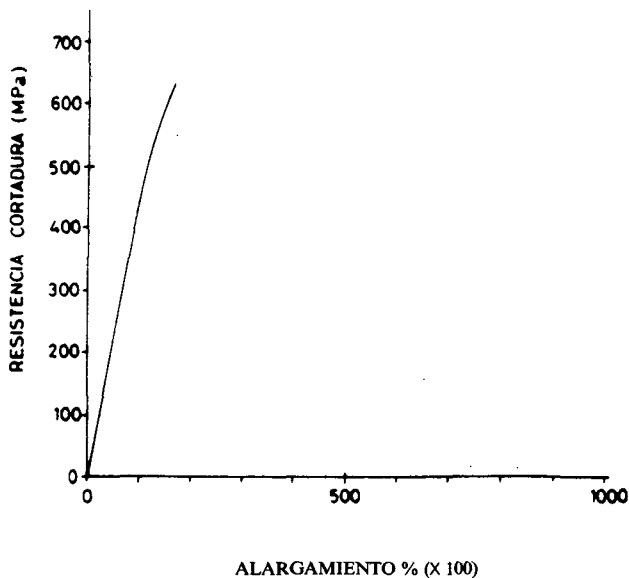


Figura 2.—Diagrama tensión-deformación típico obtenido en las probetas soldadas por difusión ensayadas a cortadura.

Todas las roturas han tenido lugar por el material base en la zona inmediatamente próxima a la soldadura como consecuencia de un fenómeno de acentuación de tensión originado por la ausencia de protección de dicha zona, lo que provoca una brusca deformación de la misma durante el ensayo. Esta tensión acentuada supera a la que pueda originarse en la unión soldada.

En comparación con el material base (Fig. 3), la resistencia alcanzada en las probetas soldadas y ensayadas, llega a un máximo del 76%, mientras que el alargamiento es prácticamente inapreciable, siendo muy elevado (11.5%) en el material de partida. (Fig. 4).

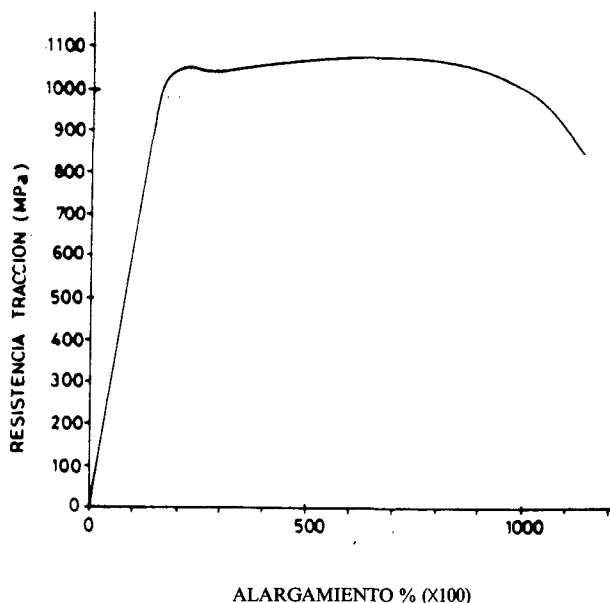


Figura 3.—Diagrama tensión-deformación obtenido en un ensayo de tracción plana efectuado en una probeta de material base.

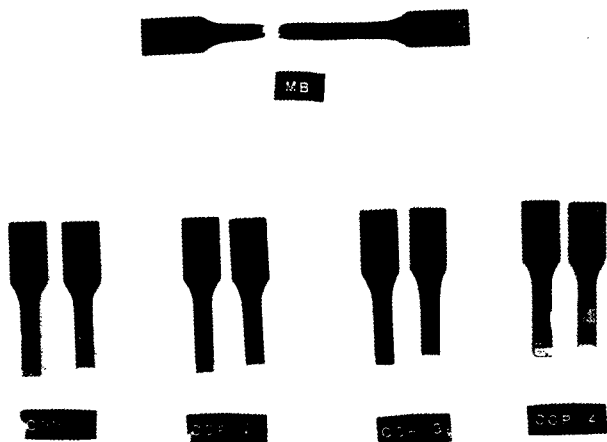


Figura 4.—Fotografía donde se compara el aspecto general de la rotura en el material base con el obtenido en las probetas soldadas.

Los mejores resultados de resistencia y ductilidad se obtienen en las probetas de mayor tiempo de soldadura, lo que equivale a decir en las condiciones más propicias, para la difusión, ya que a igualdad de temperatura, presión y estado superficial, un tiempo más elevado favorece una zona de difusión más extensa entre las dos superficies que se sueldan.

En la bibliografía (referencias 1, 10 y 11) hemos encontrado que la geometría de las probetas de cortadura es parecida a la adoptada por nosotros, con variaciones en las dimensiones, así como en la extensión del solape de soldadura.

CONCLUSIONES

Aunque el método empleado no permite conocer las propiedades mecánicas de la unión soldada en la posición exacta en que está localizada en la probeta, el ensayo demuestra que la unión tiene una resistencia suficiente como para soportar el esfuerzo aplicado provocando la fractura de la probeta por el material base. Hay que considerar no obstante, el efecto de acentuación de tensiones debido a fenómenos de tracción en la zona del material base que sufre deformación durante el ensayo.

La ductilidad del material tras los ensayos de SD no puede ser estimada debidamente ya que las condiciones del ensayo mecánico posibilitan una rotura de carácter prácticamente frágil.

La resistencia más alta se logra en la probeta de mayor tiempo de SD, que debe corresponderse con la situación en la cual la intercara de soldadura debe estar más extendida y, por lo tanto, la difusión entre las dos superficies más completas [16].

AGRADECIMIENTOS

A la Subdirección de Investigación y Desarrollo de Tecnología y Materiales de la Empresa Construcciones Aeronáuticas, S.A., que nos ha proporcionado el material necesario para esta experimentación, así como su apoyo científico y técnico.

A The Welding Institute por la utilización de sus equipos.

Al Departamento de Ciencia de los Materiales de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid, por su colaboración durante los ensayos mecánicos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] J. PILLING, D.W. LIVESEY, J.B. HAWKYARD and N. RIDLEY. *Metals Science*, 18 [3], 1984.
- [2] C. HAMMOND. *Superplastic Forming of Structural Alloys*, Proc. Conf. AIME, 1982.
- [3] C.H. HAMILTON. *Superplastic Forming*, Proc. Conf. ASM, 1984.
- [4] No especificado. *Metalurgia*, 52 [1], 1985.
- [5] S. BOWNALL. *Metalworking Production*, 129 [2], 1985.
- [6] B. KELLOCK. *Machinery and Production Engineering*, 143 [3], 1985.
- [7] M. OHSUMI, M. SHIMIZU, A. TAKAKASHO, T. TSUZUKU. *Mitsubishi Heavy Industries Ltd. Technical Review* Feb. 1984.
- [8] A. ARIELI, R.B. VASTAVA. *Superplastic Forming*, Proc. Conf. AMS, 1984.
- [9] R. SAWLE. *Superplastic Forming of Structural Alloys*, Proc. Conf. AIME, 1982.
- [10] J. HARVEY, P.G. PARTRIDGE, C.L. SNOOKE. *Journal of Materials Science*, 20 (1985), 1009-1014.
- [11] P.G. PARTRIDGE, D.V. DUNFORD. *Journal of Materials Science*, (1987), 1597-1608.
- [12] K.S. PERUN. *Welding Research Supplement*, Welding Journal, [9], 1967.
- [13] H. KATO, M. SHIBATA, K. YOSHIKAWA. *Materials Science and Technology*, 2 [4], 1986.
- [14] T. OMAE, Y. FUKAYA, S. INOUE, A. KATO, T. OKITA. *Mitsubishi Heavy Industries Ltd.*, Technical Review Feb. 1983.
- [15] T.S. BAKER, P.S. MOORE. *Designing with Titanium*, Int. Conf., Bristol, 1987.
- [16] A. UREÑA. *Tesis Doctoral*. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Complutense, 1987.

Subdirección de Investigación y Desarrollo de Tecnología y Materiales
División de Proyectos. C.A.S.A. Getafe-Madrid