

# Soldadura TIG de los aceros inoxidables dúplex del tipo 22-05 (Uranus 45N y Avesta). Estudio de la microestructura y de las propiedades mecánicas

J.M<sup>a</sup>. Gómez de Salazar<sup>(\*)</sup>, A. Ureña<sup>(\*)</sup>, M. Cobollo<sup>(\*)</sup>, V. Barranco<sup>(\*)</sup> y M<sup>a</sup>.J. Álvarez<sup>(\*)</sup>

**Resumen** Se estudia la soldadura TIG de dos aceros inoxidables dúplex. Para ello, se ha descargado un arco sobre las chapas de material base mediante la técnica TIG, sin aportación de material y variando las E.N.A. Se realiza un estudio comparativo de la evolución microestructural, así como de las propiedades mecánicas. Se establece la relación entre los perfiles de dureza obtenidos y la variación microestructural y de la concentración de ferrita  $\delta$ , así como estas propiedades con el E.N.A. de cada cordón.

Palabras clave: **Acero inoxidable dúplex. Soldadura. Microestructura. Propiedades.**

## TIG welding of 22-05 duplex stainless steels (Uranus 45N and Avesta). Microstructural studies and mechanical properties

**Abstract** TIG welding of two different duplex stainless steels is carried out. Arc-discharge on base-material plates by means of the TIG technique without filler metal and varying the energetic conditions (E.N.A.) has been performed. A comparative study concerning the microstructural evolution as well as mechanical properties is carried out. The relation between hardness profiles, the microstructural variations and the ferrite  $\delta$  concentration is established. Further, the above mentioned properties are related to the E.N.A. for each welded joint.

Keywords: **Duplex stainless steel. Welding. Microstructure. Mechanical properties.**

### 1. INTRODUCCIÓN

Los aceros inoxidables dúplex y superdúplex comenzaron a fabricarse debido a las atractivas características que ofrecían, tanto en su comportamiento mecánico como ante la corrosión. Sin embargo, la experiencia demostró que algunas de estas aleaciones presentaban fallos estructurales al cabo de un tiempo en servicio (1). Estudios sobre el tema llevaron a la conclusión de que estos fallos se debían a serios deterioros en la zona afectada por el calor durante las operaciones de soldeo (ZAC), a causa, principalmente, de un crecimiento excesivo del grano ferrítico y de transformaciones en estado

sólido, tras las cuales dejaba de ser óptima la resistencia a la corrosión (2-6).

Diversos autores señalan que las técnicas de soldadura más adecuadas para este tipo de aceros son: TIG, MIG, MIG con electrodo hueco (FCAW), soldadura de arco sumergido y soldadura de arco de plasma (6 y 7).

El metal de aportación para la soldadura de aceros inoxidables dúplex muestra una matriz básicamente ferrítica con una cantidad limitada de austenita dúctil. Comparado con el metal base, el de aportación estará, por tanto, sobrealeado con níquel. Sin embargo, el metal de soldadura puede ser similar al metal base si después de la soldadura se realiza un tratamiento de recocido (1).

Los gases protectores adecuados a los procesos de soldadura aplicados a aceros inoxidables dúplex y superdúplex son el argón puro y las mezclas

(\*) Dpto. de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica. Fac. de Ciencias Químicas. Univ. Complutense de Madrid. 28040 Madrid (España). Email: gsalazar@eucmax.sim.ucm.es

Ar-O<sub>2</sub>, o Ar-He-O<sub>2</sub> dependiendo del proceso de soldadura empleado (1).

## 2. CONDICIONES EXPERIMENTALES

### 2.1. Materiales base

Se han estudiado dos aleaciones de aceros inoxidable dúplex del tipo 22-05: Avesta (Avesta Sheffield) y Uranus 45N (Creusot-Loire), suministrados en forma de chapa laminada de 5 y 3 mm, respectivamente. La composición química de ambas se refleja en la tabla I.

### 2.2. Parámetros de soldadura

Los parámetros de soldeo TIG utilizados en la presente investigación se recogen en la tabla II:

Los estudios realizados sobre las soldaduras han sido:

- Microscopía óptica y electrónica de barrido, con el fin de estudiar la evolución microestructural. Igualmente, se han utilizado las técnicas de análisis de imagen para determinar las dimensiones del baño fundido (B.F.) y de la ZAC en cada uno de ellos (8).
- Estudio de la variación del porcentaje de ferrita mediante ferritometría (8). Se utilizó un ferritómetro Reutlinger.
- Estudio de las variaciones de dureza, desde el centro del B.F. hasta alcanzar el material base. Las medidas se realizaron bajo norma UNE 7-423-84, con un durómetro Akashi AVK-AII, aplicando una carga de indentación de 50 kgf durante 15 s.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Análisis microestructural. Microscopía óptica y electrónica

#### 3.1.1. Evolución microestructural

Básicamente, desde el punto de vista de la evolución microestructural que sufre cada cordón

desde el centro del B.F. hasta el material base, podemos señalar que se producen los mismos fenómenos. En el centro del B.F., aparecen grandes granos ferríticos con morfología columnar. La austenita secundaria nuclea en los límites de grano ferrítico, y se desarrolla hacia el interior de la ferrita con morfología Widmanstätten. Se observa gran cantidad de picaduras en el interior de la ferrita, aunque en la aleación Avesta esto se produce con menor intensidad que en el Uranus 45N. Esta precipitación es de nitruros de cromo y aparece principalmente de forma intragranular en la ferrita, y en la interfase ferrita/austenita secundaria. A medida que aumenta la distancia al centro del B.F., la precipitación va disminuyendo y, paralelamente, el grano ferrítico adquiere morfologías más equiaxiales. Esto se debe a que los gradientes térmicos que se alcanzan son menores en estas, encontrándose la disipación térmica más favorecida. La ZAC es muy estrecha en este tipo de aceros, y predominan los fenómenos de recristalización y crecimiento de grano ferrítico, que adquieren forma equiaxial.

### 3.2. Cálculo de las dimensiones de los cordones

La figura 1 muestra las tendencias que siguen las dimensiones (anchura y profundidad de B.F., ZAC y total) de los cordones realizados en las dos aleaciones objeto de estudio. Se observó que la extensión de las ZAC es muy pequeña, que escasamente afecta a las dimensiones globales del cordón y en nada a la tendencia que siguen las dimensiones de los cordones al variar los parámetros de soldadura. Se observa una tendencia general en el aumento de la anchura del B.F. al aumentar la energía aportada durante la operación de soldeo en ambas aleaciones. La profundidad del baño, tanto en la aleación Avesta como en la Uranus 45N sufre una estabilización y posterior descenso al aumentar la E.N.A.

### 3.3. Ferritometría

Se ha medido el contenido de ferrita, desde el centro de cada cordón hasta alcanzar el material base, cada 2 mm. Un resumen de los resultados se muestra en la figura 2, donde se expone la evolución del contenido de ferrita de los cordones 1, 4 y

TABLA I.- Composición química de las aleaciones Uranus 45N y Avesta, según las especificaciones de fábrica  
TABLE I.- Chemical composition of Uranus 45N and Avesta alloys according to the manufacturer's specifications

		C	Cr	Ni	Mo	N	Mn	Si	S	P
Uranus 45N	UNS S31803	0,02	22,0	5,7	2,8	0,2	1,7	0,4	0,003	0,025
Avesta		0,017	21,82	5,72	3,01	0,155	1,51	0,34	0,001	0,022

TABLA II.— Parámetros de las soldaduras efectuadas sobre los materiales estudiados

TABLE II.— Welding conditions of the parent materials

Aleación	Parámetros de soldadura	Cord. 1	Cord. 2	Cord. 3	Cord. 4	Cord. 5	Cord. 6	Cord. 7	Cord. 8
	Int. (A)	114	140	166	193	219	—	—	—
AVESTA	Volt. (V)	9,9	10,5	11	12,3	12,6	—	—	—
	Vel. (cm/min)	10	10	10	10	10	—	—	—
URANUS	Int. (A)	71	114	114	71	71	114	141	141
45N	Volt. (V)	8,2	10,3	10,3	9,4	8,2	9,1	10,4	10,4
	Vel. (cm/min)	25	25	15	10	15	10	10	15

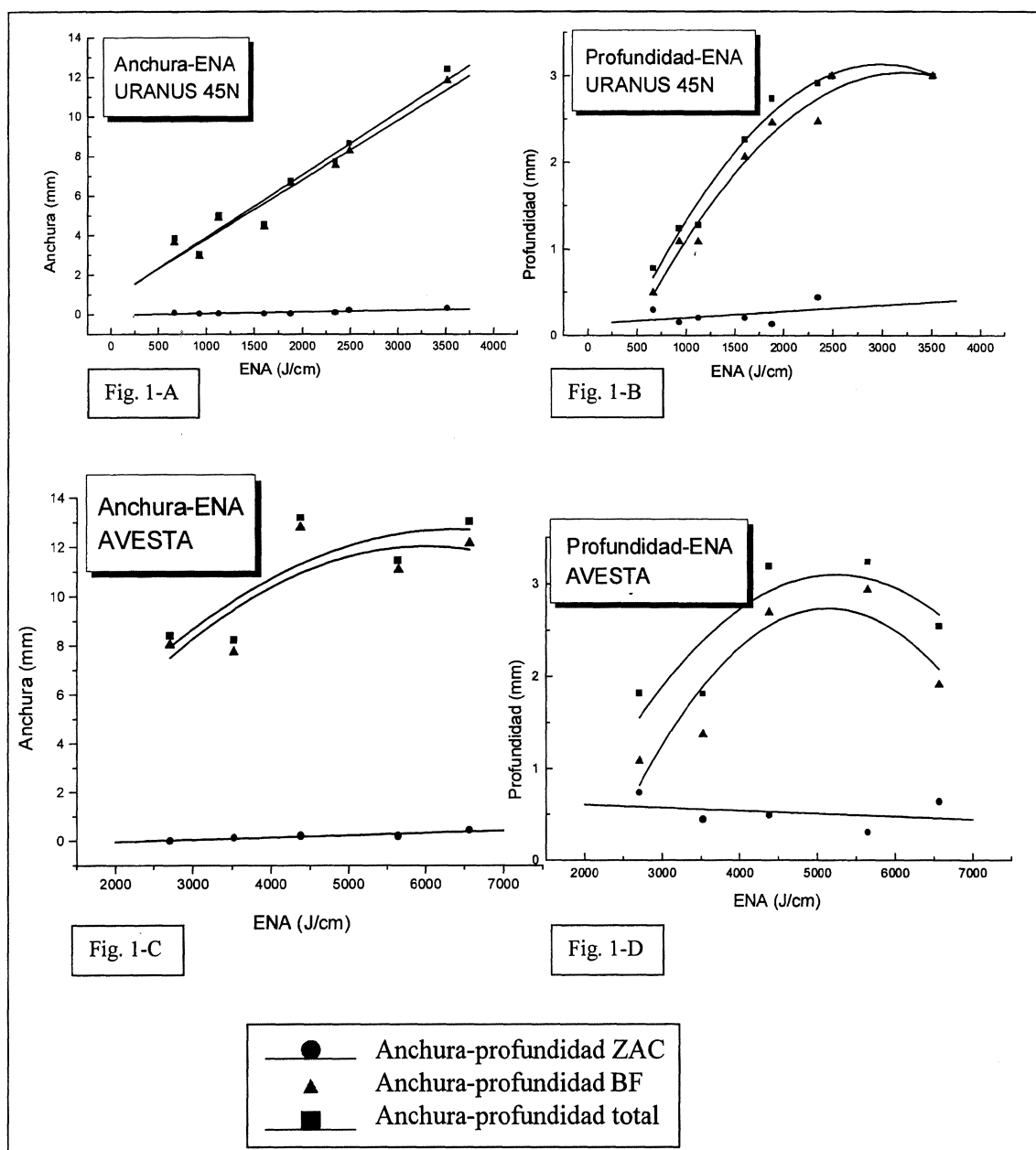


FIG. 1.— Variación de las dimensiones de los cordones en función de la energía térmica aportada (E.N.A.) en las aleaciones Avesta y Uranus 45N.

Fig. 1.— ENA vs weld dimensions of the Avesta and Uranus 45N.

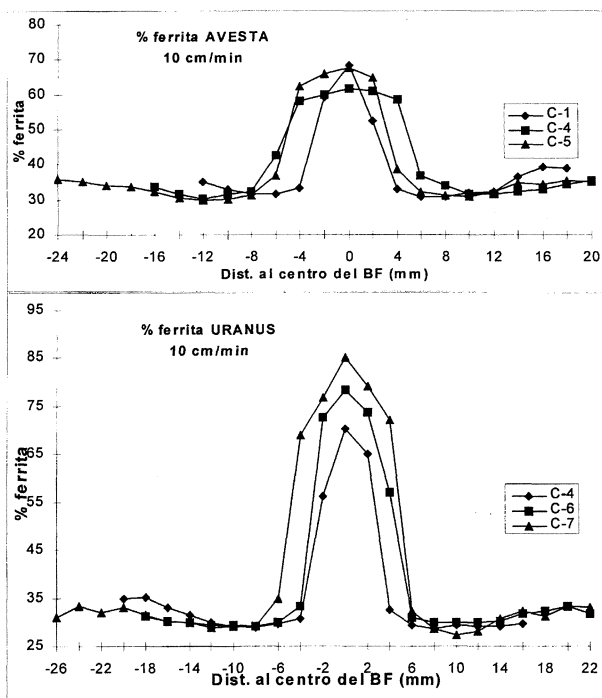


FIG. 2.— Porcentaje de ferrita en los cordones de soldadura

FIG. 2.— Ferrita content in the weld.

5 de la aleación Avesta y de los cordones 4, 6 y 7 de la aleación Uranus 45N. En esta figura, se observa que, para E.N.As. crecientes, la cantidad de ferrita

encontrada en el centro del baño fundido en ambas aleaciones, es cada vez mayor, ya que, cuanto mayor es la temperatura alcanzada, mayor es el gradiente de temperaturas durante el enfriamiento, inhibiendo la formación de austenita.

### 3.3. Ensayos de dureza

Se llevaron a cabo dichas medidas en la cara longitudinal de los cordones, desde el centro del mismo, desplazándose a izquierda y derecha cada 2 mm. Los resultados se exponen en la tabla III.

Como se puede deducir, en la aleación Uranus 45N, la dureza del material sufre una gran caída en la ZAC y B.F., recuperándose, sin embargo, hasta alcanzar valores muy superiores a los del material base en el centro del B.F. Esto indica una gran fragilización en dicha zona por la presencia de precipitados.

En el caso de la aleación Avesta, no se produce un endurecimiento tan acusado en el centro del B.F., sino que algunos cordones sufren incluso más reblandecimiento que en otras zonas. De hecho, existe una relación muy directa entre la anchura del cordón y la zona en la que se detecta el reblandecimiento del material. En cuanto a los altibajos que sufren los valores de dureza en el centro, podrían deberse, al menos en algunos cordones, al gran tamaño de grano ferrítico, que determina que las

TABLA III.— Valores de dureza Vickers encontrados a lo ancho de los cordones en las aleaciones

TABLE III.— Hardness variation across the weld

D.a BF (mm)	URANUS 45N								AVESTA					
	HV C-1	HV C-2	HV C-3	HV C-4	HV C-5	HV C-6	HV C-7	HV C-8	HV C-1	HV C-2	HV C-3	HV C-4	HV C-5	
-16			261	261		273	263					287	280	265
-14		258	266	265	254	272	262	254				281	278	272
-12		258	262	263	255	268	257	259	261	296	276	281	259	
-10		261	258	257	261	248	257	264	267	296	269	275	255	
-8	253	266	254	253	262	264	256	259	265	290	262	271	255	
-6	260	262	257	253	263	263	254	253	264	278	265	268	261	
-4	259	259	256	250	253	260	250	251	263	285	268	267	253	
-2	253	265	261	253	253	258	245	265	267	284	280	265	255	
0	269	271	258	257	270	258	270	250	247	257	256	275	279	
2	253	265	256	253	254	262	256	267	272	278	263	269	264	
4	257	256	257	249	255	259	261	256	262	282	260	284	253	
6	264	268	260	254	259	262	256	254	271	280	269	273	266	
8	259	267	256	255	258	268	259	258	280	284	272	270	262	
10	257	262	256	257	254	271	262	264	288	298	269	262	267	
12	256	259	266	259	249	267	261	258	288	274	276	268	271	
14	256		265	264		270	265	252	283	279	290	276	285	
16	255		266	262		277	268		282		290	280	280	

medidas realizadas en el centro del B.F. puedan no ser demasiado fiables. Sin embargo, sí parece existir una tendencia al aumento de la dureza en este punto, al igual que sucede con la aleación Uranus 45N.

#### 4. CONCLUSIONES

- En la aleación Uranus 45N, en chapa de 3 mm., se consigue penetración total con aportes energéticos superiores a 2.500 J/cm. En la aleación Avesta, con un espesor de chapa de 5 mm, no se ha conseguido penetración total con los aportes energéticos estudiados (máximo 6.500 J/cm), lo que indica que es más adecuada una soldadura en dos pasadas, de cara y de raíz.
- En la aleación Avesta, se consigue la máxima penetración con un E.N.A. de 4.382 J/cm (3,2 mm), pero, para mayores aportes energéticos, se produce ensanchamiento del cordón sin conseguir mayor penetración.
- El máximo contenido de ferrita que se obtiene en el centro del baño fundido es, en ambas alea-

ciones, en torno al 77 %, máximo valor aconsejado para este tipo de aceros.

#### REFERENCIAS

- (1) VAN NASSAU, L., BEKKERS, K., HILKES, J. y MEELKER, H. Smitweld (Lincoln Norweld, The Netherlands), Proc. Conf. 8<sup>as</sup> J. T. de Soldadura, Adesol (Madrid), 1990.
- (2) SINHA, A.K. Ferrous Physical Metallurgy. Edic. Butterworth Stoneham (MA), 1991.
- (3) SOLOMON, H.D. y DEVINE, Jr. T.M. Duplex Stainless Steels. A Tale of Two Fases, En "DSS'82". Ed. R.A. Lula, ASM. Ohio 1983: 693-737.
- (4) LILJAS, M. Proc. Int. Conf. Duplex Stainless Steels' 94. Glasgow (Escocia), Nov. 1994. Trabajo KV.
- (5) CHARLES, J. Duplex Stainless Steels. Vol. 1, Ed. Les Ulis (Francia). Les Éditions de Physique, 1991, p. 151-168.
- (6) VAN NASSAU, L., MEELKER, H. y HILKES, J. Smitweld (Lincoln Norweld, Países Bajos), Duplex Stainless Steels. Vol. 1, Ed. Les Ulis (Francia). Les Éditions de Physique, 1991: 303-323.
- (7) KOTECKI, D.J. y HILKES, J.L.P. Proc. Int. Conf. Duplex Stainless Steels'94. Glasgow (Escocia). Nov. 1994. Trabajo KVI.
- (8) ELMER, J.W. y EAGAR, T.W. *Rev. Weld. Res., Supp. Weld. J.* Abr. 1990: 141-150.