

Influencia de la Forma de los Granos del Fundente Fundido CIS-F10 en la Morfología y Propiedades del Metal Depositado

(The influence of grains shape of the fused flux CIS-F10 on the morphology and properties of the deposited metal)

Marilene Álvarez Valdez¹; Daniel Pérez Pérez²; Carlos R. Gómez Pérez³; Víctor Miguel Oría³; Rafael Quintana Puchol³; Lorenzo Perdomo González³; Amado Cruz Crespo³

1. Empresa Provincial de Transporte. Villa Clara. Cuba. operaciones@eptvc.vcl.transnet.cu
2. Abastecedora Central de la Pesca (ABACEN). Proveedora e importadora de Artículos para la Pesca (Propes) Santa Clara. Villa Clara. Cuba. daniel@abacen.co.cu
3. Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS). Universidad Centra "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV). Santa Clara. Villa Clara. Cuba. crene@uclv.edu.cu, jorgev@uclv.edu.cu, rquin@uclv.edu.cu, lperdomo@uclv.edu.cu, acruz@uclv.edu.cu

Resumen

En el trabajo se realiza un estudio de la forma de los granos del fundente fundido CIS-F10, tanto granulado con aire, como en agua, la geometría de la soldadura y sus propiedades. Para ello se realiza un análisis morfológico de los granos del fundente CIS-F10, sus densidades, la fluidez que presentan durante su apilamiento, su comportamiento higroscópico y las diferencias entre la cantidad de aire intergranular, durante su deposición sobre las piezas a soldar. La aplicación de estos procedimientos de estudio de materiales evidencia que el fundente granulado con aire (con un 79,2 % de partículas esféricas) posee una fluidez relativamente superior (34 %), una disminución del ángulo de talud (28,8 %) y un menor volumen relativo de aire intergranular (28,2 %), que el fundente granulado en agua, además de una disminución de la pendiente de crecimiento de la curva de humectación. La conjugación de estos aspectos producen una mayor penetración del arco de soldadura (8 %) y un menor ancho medio de la zona de afectada térmicamente (17 %), aunque no se evidencian diferencias en las propiedades metalográficas, ni mecánicas (< 1 %), en las uniones soldadas. La escoria formada en ambos casos es de configuración geométrica constante (espesores de 4 mm y anchos de 25 mm, respectivamente) con una razón de consumo de fundente de 0,64.

Palabras Claves: Fundente fundido, Soldadura con arco sumergido, Métodos de granulación.

Abstract: In the present paper, the shape of fused grains flux CIS-F10, granulated in air and in water; its effect on weld bead geometry and its properties were studied. Grains morphology, properties, fluidity during piling, hygroscopic behavior and the amount of air between the grains during use were analyzed. The application of these procedures showed evidence that flux granulated in air (79.2 % of spherical particles) has fluidity relatively higher (34 %), smaller shape angle (28.8 %) and a lesser intergranular air per volume (28.2 %) than the flux granulated flux in water; despite the decrease in the slope of the humectation curve. The conjugation of these aspects improve penetration (8 %) and a reduction in the width of the heat affected zone (17 %) although neither metallographic nor mechanics (< 1%) differences are shown on the welds. The slag formed in both cases is of constant geometric configuration (4 mm thickness and 25 mm width) with 0.64 flux consumption rate.

Key Words: molten flux, Submerged, arch welding, Granulation methods.

Introducción

Varios autores [1, 2] han desarrollado procedimientos para la obtención de fundentes fundidos con granos esféricos, a partir de la granulación seca (con aire) del chorro de la masa fundida vertida desde el horno (1500 °C).

También se han desarrollado [3] modelos para la descripción matemática de la función que caracteriza su desplazamiento en

un medio gaseoso estático, permitiendo explicar los contenidos y clases granulométricas necesarias conducentes a un adecuado desempeño del proceso de granulación para su uso industrial necesarias para un adecuado desempeño del proceso SAW.

Si se prescinde de la resistencia del aire, los chorros de agua de los surtidores inclinados, así como todos los proyectiles arrojados por cualquier medio, describen trayectorias en forma de parábolas perfectas. La parábola que dibuja la trayectoria de los proyectiles es una línea curva, que resulta de la sección de un cono por un plano paralelo a una de las generatrices [4]. La correspondencia que a cada $x \in R$ le hace a su imagen $f(x) = -a(x+d)^2 + c$ se denomina función cuadrática o parábola, donde "d"

(Recebido em 14/02/2010; Texto final em 02/06/2010).

es la ordenada para la cual “c” es el punto de inflexión (altura máxima en el caso del tiro oblicuo), resultando la coordenada (d,c) el centro del origen, a partir del cual la función cambia de monotonía, es decir es axisimétrica respecto al valor $x=d$ y cuyos ceros corresponden a los puntos en los que la función interseca al eje x en los puntos (0;0) y (2-d;c). El valor del parámetro “a” es un indicador de la magnitud de la apertura de la parábola, mientras que el signo del parámetro cuadrático indica la posición de su apertura.

La asociación de estos elementos matemáticos con las ecuaciones que rigen el tiro oblicuo de proyectiles y los resultados del estudio del proceso de fragmentación con aire de fundentes fundidos (alcance, altura y velocidades de las partículas) podrían aportar criterios para evaluar el efecto friccional del aire y su influencia sobre los valores de los parámetros reales, que participan en el proceso de fragmentación. Esta valoración resulta interesante desde el punto de vista científico, no encontrándose referida en la literatura especializada que aborda la obtención de fundentes fundidos [5].

Pérez y Gómez proponen un procedimiento para la recuperación de las coordenadas de partículas en movimiento, a partir de la adquisición digital de su imagen, lo cual posibilita una descripción matemática de la función que caracteriza su desplazamiento [5].

Sin embargo, el estudio de las diferencias entre los fundentes fundidos granulados en agua y con aire no ha concluido. Respecto a este aspecto Pérez-Pérez [3] plantea que no se ha demostrado la influencia que ejercen las diferencias entre la forma y las densidades de estos tipos de fundentes sobre el comportamiento operativo de los mismos, así como sobre el coeficiente de forma de los cordones, que con ellos se obtienen y ni sobre sus propiedades mecánicas.

El objetivo del presente trabajo radica en la asociación de las formas de los granos del fundente fundido CIS-F10 con su comportamiento ante algunas propiedades físicas, tales como: la densidad aparente, la higroscopicidad, la fluidez que presentan

durante su apilamiento, las diferencias entre la cantidad de aire intergranular, que producen durante su deposición sobre las piezas a soldar, y la relación, de todo lo anterior, con la forma y propiedades mecánicas de los cordones de soldadura, obtenidos con su participación.

Desarrollo

1. Análisis morfológico de los granos

El proceso de obtención de fundentes fundidos granulados con agua, producto de la brusca contracción originada por el gran impacto térmico, produce la fractura del sólido subenfriado debido al desarrollo de tensiones en diferentes direcciones sobre múltiples zonas (o puntos) del cuerpo (volumen), proporcionándole a los granos formas irregulares, con disímiles superficies lisas, o planos de ruptura, que convergen en aristas o bordes y puntas agudas a diferencia del granulado con chorro de aire [3].

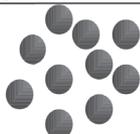
Durante la granulación con chorro de aire, en dependencia del lugar de la trayectoria en que interaccionan los chorros de masa fundida y aire, se pueden obtener partículas de diferentes tamaños y formas.

Se establece [6] una clasificación de las partículas en nueve tipos: aciculares, angulares, dendríticas, fibrosas, granulares, irregulares, nodulares y esferoidales. La forma de las partículas se determina mediante un análisis de morfología de las mismas por observación visual, comparando con lo planteado en las normas [7].

Para ello se emplean placas de cristal transparente y una lupa, depositando una pequeña fracción de fundente, mediante espolvoreo, sobre la placa de cristal, evitando aglomeraciones de partículas. El análisis se realiza definiendo la morfología por comparación.

Puede apreciarse (Tabla 1) que la suma de las partículas no esféricas constituyen el 20,8 % del total, mientras que el 79,2

Tabla 1: Análisis morfológico de los granos de fundente CIS-F10, granulado con aire

Tipo de partícula observada	%	Forma según norma ISO 3252 [7]
Esferoidal	73,8	
Nodular (muy pequeño tamaño)	5,4	
Asociación de esferas y nódulos	11,5	
Adheridas	8,7	
Aciculares, (agujas)	0,6	

% presentan una forma esferoidal. Es alentador el relativo bajo por ciento (6 %) de las partículas no adecuadas (nodulares y aciculares).

El carácter heterogéneo en la forma de las partículas puede influir en la fluidez del fundente, o sea, en la facilidad de transportación por conductos desde la tolva hasta la zona de soldadura y su acomodamiento en la formación de la pila, depositada sobre la junta de soldadura.

2. Análisis de la fluidez de apilamiento

El conocimiento de la fluidez de apilamiento de los fundentes permite conocer la velocidad de su deposición sobre el metal a soldar y dar criterios sobre el ángulo de acomodamiento (talud) y la altura de la capa.

El ensayo de fluidez, se basa en la determinación del tiempo en el que el flujo de fundente sólido granulado, pasa a través de un embudo de dimensiones específicas [8, 9].

La instrumentación necesaria para el ensayo de fluidez está compuesta por un embudo de vidrio con marcas de calibración, un cronómetro digital modelo DM1-001, una balanza técnica de laboratorio con precisión de $\pm 0,1$ g, una mufla, con temperatura regulable desde 20 hasta 1000 °C, un nivel de burbuja y una desecadora de cristal con agente desecante activo "sílica gel", todos certificados por la Oficina Cubana de Normalización (OCN) como aptos para su uso.

Para la realización del ensayo se calibra el embudo llenándolo y enrasándolo con un volumen (100 cm³ de agua) hasta una marca calibrada del embudo, tapando la salida o el corto cuello del mismo y liberándose repentinamente. Posteriormente se mide el tiempo de flujo. Este procedimiento se repite cinco veces y la media aritmética de estas mediciones (Tabla 2) constituye el calibrado del embudo.

Tabla 2: Calibración del embudo para el ensayo de fluidez

Mediciones y tiempos (s)					Media aritmética, \bar{X}
1	2	3	4	5	
20,5	20,5	19,5	19,5	20,5	20,1

Tabla 3: Resultados del ensayo de fluidez del fundente fundido CIS-F10 para un coeficiente de corrección (f) de 1,26: A.- granulado en agua, B.- granulado con aire

Fundente	Muestra	Muestras de 500 g			S (s)	Fluidez (s)	Ángulo de talud (grados)
		Tiempos de flujo (s)					
		t_1	t_2	t_3			
A	1	18,2	18,5	18,3	18,3	23,51	35
	2	17,6	17,8	17,7	17,7	22,8	34
	3	18,5	18,2	18,3	18,3	23,6	35
	Promedio (s)					23,30	34,67
B	1	12,2	12,3	12,5	12,3	15,87	25
	2	12,6	12,2	12,2	12,3	15,87	25
	3	11,9	11,6	11,5	11,6	14,96	24
	Promedio (s)					15,57	24,67

El valor 25,3, en segundos, es un factor matemático [8], empleado conjuntamente con la media aritmética de la calibración del embudo (\bar{X}), en segundos, para determinar el

coeficiente (f) de corrección (Ecuación 2.1), cuyo resultado es 1,26.

$$f = \frac{25,3}{\bar{X}} \quad (2.1)$$

Se toma una muestra (700 g) de cada tipo de fundente y se secan en la mufla (105 ± 2 °C), durante una hora. Se enfrían las muestras en la desecadora hasta la temperatura ambiente. Se nivela el embudo en la base en posición horizontal. Del total de la masa del fundente granulado, en función de sus densidades aparentes y la capacidad del embudo, con agua se escogen tres porciones aproximadas de 159 g, mientras que para el caso del fundente granulado con aire se escogen tres porciones de 175 g con un error de medición máximo de $\pm 0,1$ g. Cada una de las porciones ocupa un volumen de 100 cm³. Se vierte cada porción del fundente seleccionado en el embudo, taponando el orificio de salida previamente, al quitar el tapón, se acciona el cronómetro y se detiene cuando salgan las últimas partículas de fundente.

El tiempo de flujo (t) se determina (Ecuación 2.2) como la media aritmética de los tiempos de cada porción (Tabla 3) y, a partir de este parámetro, se calcula la fluidez (X).

$$X = t \cdot f \quad (2.2)$$

El ángulo de talud (Tabla 3) se mide desde la horizontal, hasta el borde de la pendiente de apilamiento, empleando un goniómetro sobre un mármol, y realizando las mediciones por tres lugares diferentes de cada pila.

El decremento de la diferencia relativa de la fluidez (34 %) y del ángulo de talud (28,8 %) del fundente fundido CIS F10 granulado con aire respecto al granulado en agua evidencia un comportamiento diferente a la rodadura, lo cual puede estar asociado a las diferencias entre la forma de los granos, su distribución en tamaños y sus densidades.

3. Aire intergranular durante la deposición de los fundentes

Según estudios reportados por [10] durante la deposición de algunos fundentes se instala entre sus intersticios granulares cierta cantidad oculta de aire (40 % del volumen total de la capa), constituido aproximadamente por 21 % de oxígeno y 78 % de nitrógeno, gases indeseables durante el proceso SAW. El oxígeno oxida el metal en la zona fundida mediante la formación de óxidos creando discontinuidad en el material y el nitrógeno disminuye la capacidad de deformación de la unión soldada.

La cantidad de aire intergranular entre los granos de fundente permite determinar la cantidad de oxígeno y nitrógeno, que interactúan con las gotas del alambre electrodo y con el baño de soldadura [10].

Las presión estática (Ecuación 3.1), que ejerce el fundente sobre el cordón de soldadura, es una función lineal directamente proporcional a la densidad aparente (ρ_{af}) (Tabla 4) del fundente ($g \cdot cm^{-3}$); a la aceleración (g) de la gravedad ($981 \text{ cm} \cdot s^{-2}$) y al espesor (h) de la capa de fundente (4,5 cm).

$$P = \rho_{af} * g * h \tag{3.1}$$

Se puede suponer (Tabla 5) que cuanto mayor sea la densidad aparente (Tabla 4), como es el caso del fundente granulado con aire (B), más profundo debería ser el cordón de soldadura, puesto que la presión estática que ejerce la capa del fundente sobre el arco será mayor, que en el caso del granulado en agua (A).

Tabla 4. Densidades picnométricas y aparentes del fundente fundido CIS F-10 [11]

	Densidad picnométrica ($g \cdot cm^{-3}$)	Densidad aparente ($g \cdot cm^{-3}$) (A)	Densidad aparente ($g \cdot cm^{-3}$) (B)
1	2,31	1,59	1,74
2	2,32	1,58	1,76
3	2,30	1,61	1,74
\bar{X}	2,31	1,59	1,75
S	0,01	0,015	0,012

(A) Granulado en agua. (B) Granulado con aire.

No obstante, la experiencia de varios operarios del taller deja evidencias que la presión estática resulta suficiente en ambos casos para eliminar la salpicadura del metal y los defectos de formación de la costura (poros e irregularidades en la superficie en el cordón, entre otros), incluso en caso de emplear altas intensidades de corriente.

Tabla 5. Presión estática que ejerce la capa de fundente fundido CIS F-10 (kPa)

No	Granulado en agua (A)	Granulado con aire (B)
1	0,70	0,77

Para determinar el aire intergranular entre los intersticios de los granos del fundente elegido es necesario determinar [10]

experimentalmente los valores de la densidad aparente (ρ_a) y porosidad (P_i) del fundente. Para ello se fija una masa inicial de fundente (m_i) constante de 100 g, pesada con una balanza electrónica analítica, con una capacidad máxima de 200 g y un error de $\pm 0,001$ g, entre las temperaturas de 5 y 40 °C, certificada por la (OCN) como aptos para su uso. Además se emplea un volumen inicial (V_i) de queroseno ($\rho_1 = 0,82 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$), aproximadamente de 60 ml, medido en una probeta graduada de 100 ml.

El procedimiento experimental se adecua a los criterios de Quintana [10], calculándose primeramente la cantidad de aire intergranular (porosidad, P) (Ecuación 3.2).

$$P = 1 - \frac{V_f - V_i}{V_f} \tag{3.2}$$

Para cuantificar el aire intergranular en 100 g de fundente se determina primeramente el volumen intergranular disponible de la masa de granos del fundente (V_p) y el promedio de sus fracciones granulométricas \bar{V}_p mediante la Ecuación 3.1.

$$\bar{V}_p = V_S - (V_f - V_i) \tag{3.3}$$

Empleando la densidad del aire ($\rho_{aire} = 1,293 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$), a 20 °C, se calcula (Ecuación 3.4) la masa de aire intergranular (Tabla 6).

$$m_{aire} = \bar{V}_p * \rho_{aire} \tag{3.4}$$

Otra forma de determinar (Ecuación 3.5) el “volumen relativo” de aire intergranular ($V_{R\text{aint}}$) durante el apilamiento del fundente sobre el arco eléctrico es calculando la diferencia entre las densidades (Tabla 4) picnométricas y aparentes de los fundentes.

$$V_{R\text{aint}} = \frac{\rho_{\bar{f}} - \rho_{\bar{f}_i}}{\rho_{\bar{f}}} * 100 \tag{3.5}$$

Los resultados comparativos muestran (Tabla 6) que, al calcular la cantidad de aire intergranular por ambos métodos, el error relativo no sobrepasa el 5 %, demostrando la validez de ambos métodos. También se aprecia que el fundente fundido CIS-F10 granulado con agua presenta mayor (28,2 %) volumen relativo de aire intergranular, que el fundente granulado con aire.

En una masa de aire intergranular (m_{aire}) de 42,84 g (Tabla 6), en el fundente granulado con aire están presentes 9,0 g de O_2 y 33,8 g de N_2 , mientras que para el fundente granulado con agua es de 60,0 g; es decir, que en el fundente granulado con agua están presentes 12,6 g de O_2 y 47,4 g de N_2 . A partir de estos criterios puede inferirse que ocurran reacciones más intensas (alrededor de un 28,2 %) durante el proceso de soldadura con fundentes granulados en agua, que con fundentes granulados con aire. Esta diferencia puede influir beneficiosamente en el comportamiento metalúrgico del fundente granulado con aire. Sin embargo, esta misma diferencia puede no resultar significativa (para aceros de medio y alto contenido de carbono y baja aleación) en la variación de las propiedades mecánicas de los cordones, como tampoco en las variables operativas del proceso.

Tabla 6: Parámetros para el cálculo de la cantidad de aire intergranular del fundente fundido granulado con agua (A) y con chorro de aire (B)

Tipo de fundente	V _i (ml)	V _f (ml)	V _s (ml)	ρ_{ϕ} (g·cm ⁻³)	P ₁ (%)	V _p (ml)	V _{Raint} (ml)	error	m _{aire} (g)
A	60,0	76,0	62,8	1,59	79,6	46,8	45,3	3,35	60,51
	60,0	77,0	63,3	1,58	78,6	46,8	46,2	1,29	60,51
	61,0	77,5	62,1	1,61	78,1	45,6	43,5	4,88	58,96
Media	60,33	76,83	62,73	1,59	78,76	46,40	44,99		60,00
B	61,0	85,0	57,4	1,74	71,2	33,4	32,76	1,96	43,19
	60,0	84,0	56,6	1,76	72,0	32,6	31,25	4,32	42,15
	60,5	84,5	57,4	1,74	71,6	33,4	32,76	1,96	43,19
Media	60,50	84,50	57,13	1,75	71,60	33,00	32,25		42,84

V_i - Volumen inicial (cm³) de queroseno en la probeta; V_f - Volumen final (cm³) alcanzado por el queroseno cuando se le adiciona el fundente; V_s - Volumen ocupado (cm³) por el fundente dentro de la probeta; y V_p - Volumen de queroseno (cm³) que llenó los intersticios entre los granos y V_{Raint} - volumen relativo de aire intergranular.

Se aprecia (Tabla 6) que la pila de fundente granulado con aire, depositada sobre la pieza a soldar, está compuesto por aproximadamente un 33 % de aire, respecto a su volumen total, mientras que en el caso del fundente granulado con agua, por un 46 %.

4. Estudio de higroscopicidad

El ensayo de higroscopicidad se basa en la capacidad de humectación de las partículas de los materiales, durante un tiempo de exposición a una temperatura y humedad relativa determinada [12], sin la fluctuación de la temperatura de ensayo [13].

El procedimiento experimental se sustenta en los criterios de Durlík [13], Alfonso [14] y Quintana [15], según los cuales se establece una relación entre el incremento de la masa producto de la adsorción de agua, y el tiempo de exposición, en dependencia de la humedad relativa existente en el interior de la cámara (establecidas por las temperaturas de los termómetros de bulbo seco y húmedo).

Para el estudio se emplea un horno de cámara español, modelo ECFA 80/80/60, una balanza analítica digital modelo SARTORIUS, tipo 1475, con una capacidad máxima de hasta 400 g, dos termómetros con graduación de 0 °C a 50 °C, un cronómetro mecánico y una cámara hermética modelo GALLENKAMP, todos certificados por la (OCN) como aptos para su uso.

Se calienta el fundente en el interior del horno hasta la temperatura de 300 °C, durante dos horas, dentro de cápsulas secas previamente taradas. Posteriormente se extraen y colocan las cápsulas de porcelana con las muestras de fundentes en el interior de una desecadora, con partículas de “sílica gel”, a la que se le realizó vacío mediante una bomba peristáltica rusa, modelo 214-87. Una vez alcanzada la temperatura ambiente, se colocaron las cápsulas con fundentes sobre la balanza dentro de la cámara de humectación. El ensayo se realiza a una humedad relativa de 94 %, que se mide a partir de un psicrómetro o higrómetro que se compone de dos termómetros ordinarios,

uno de los cuales tiene la bola humedecida con agua, y por la comparación de las temperaturas indicadas en ellos se calcula el grado de humedad del aire.

Este ensayo se realiza para el fundente fundido CIS-F10 granulado con aire (Figura 1) pudiéndose comparar con los resultados para el mismo, pero granulado con agua, y para los fundentes comerciales AH 348 y AS 200, reportados en la literatura [6].

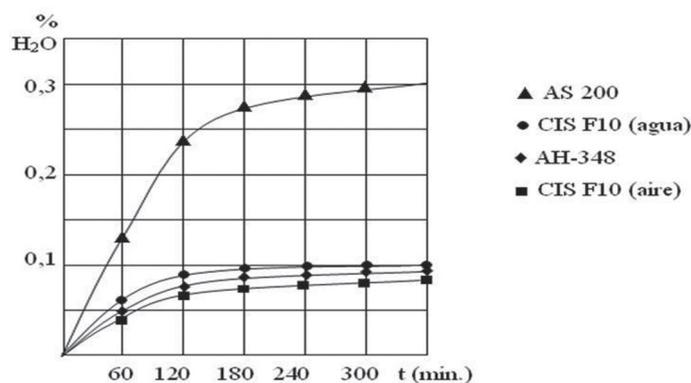


Figura 1: Resultados del ensayo de humectación

Puede apreciarse que la humedad absorbida es muy inferior a la del fundente AS 200, inferior a la del CIS-F10, granulado en agua, y ligeramente inferior a la del AH 348. La disminución de la absorción en el fundente CIS-F10, granulado con aire, respecto al granulado en agua, puede depender sustancialmente de la diferencia de la forma y compactación de los granos obtenidos con el proceso de granulación con aire.

5. Estudio de las uniones soldadas

Las muestras (Figura 2) para los ensayos mecánicos de tracción (tres probetas) e impacto (tres probetas), según estándares internacionales [16], se evalúan en una máquina de tracción “IBERTEST”, modelo VIP-600-0/AuT y (tres probetas) en un péndulo de ensayos Charpy, modelo UT-

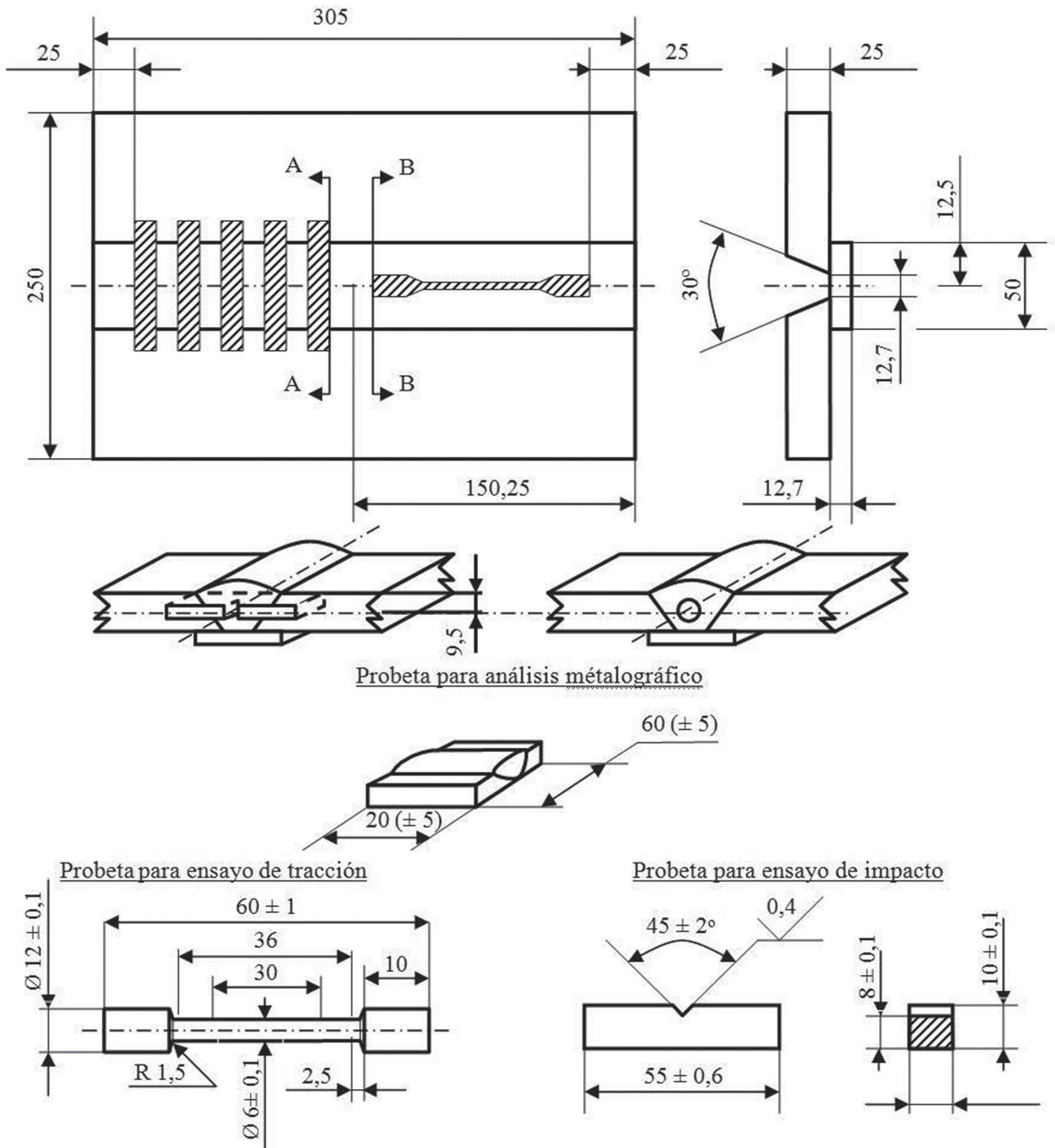


Figura 2: Configuración del conjunto soldado (cupón de soldadura), geometría y localización de las probetas para los ensayos de tracción e impacto, según norma AWS [16]

30, respectivamente. El análisis morfológico se realiza en un microscopio óptico “NEOPHOT”, modelo 32, cuyos resultados (Figura 3) muestran una correspondencia entre los coeficientes de forma de los cordones y sus respectivas formas de influencia térmica. La microestructura característica de la unión soldada corresponde a la de una unión típica de acero (AISI 1010),

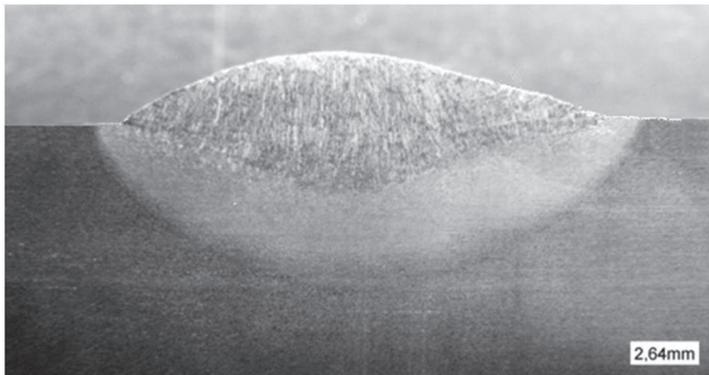
soldado con arco sumergido.

No se aprecian (Tabla 7) diferencias significativas (> 1 %) entre las propiedades mecánicas, tanto al emplear el fundente granulado en agua, como granulado con aire; tampoco, en su estructura ferrítica de bandas.

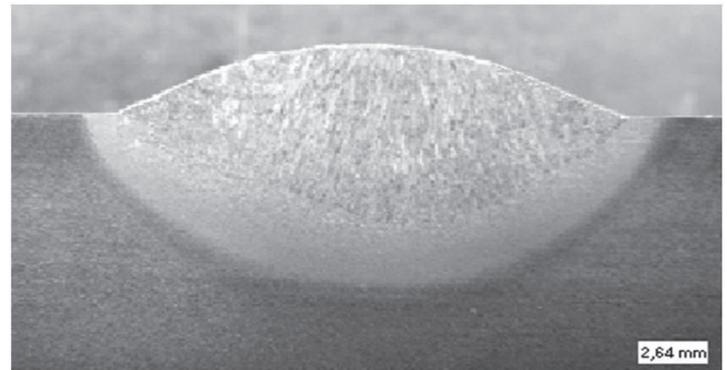
Tabla 7: Resultados de los ensayos mecánicos aplicados a cupones soldados* con fundentes CIS-F10; A. – granulados en agua y B. – granulados con aire

Propiedad mecánica	Unidades	A	B
Limite de rotura	MPa	438	437
		442	440
		441	441
Promedio		440,33	439,33
Desviación Estándar		2,08	2,08
Límite de fluencia	MPa	322	320
		320	323
		317	318
Promedio		319,67	320,33
Desviación Estándar		2,52	2,52
Elongación	%	18	20
		20	19
		21	22
Promedio		19,67	20,33
Desviación Estándar		1,53	1,53
Estricción	%	45	44
		46	46
		43	44
Promedio		44,67	44,67
Desviación Estándar		1,53	1,15
Reciliencia	J·cm ⁻²	7	7
		7	6
		6	9
Promedio		6,67	7,33
Desviación Estándar		0,58	1,53

*Parámetros del régimen de soldadura (400 A, 32 V y $v_s = 0,27 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$)



A



B

Figura 3: Macrografías de depósitos realizados con los fundentes CIS-F10, granulado en agua (A) y con aire (B)

Sin embargo, se evidencia (Figura 3), (Tablas 8 y 9) una cierta diferencia en la profundidad de penetración (8 % más en los cordones realizados con fundentes granulados con aire que con agua) y en la zona afectada térmicamente (17 % menos de ancho medio de la zona afectada térmicamente también para el caso el empleo de fundentes granulados con aire), lo que conduce a pensar en una concentración de la energía del arco por el efecto de la presión de la capa de fundente causada por el

efecto de la densidad picnométrica y la menor cantidad de aire intersticial (mayor densidad aparente).

La cantidad de fundente consumido en la formación del cordón de soldadura puede determinarse, a partir de la consideración de un régimen de soldadura compuesto por una intensidad (I_s) de 400 A, un voltaje de arco (U) de 32 V, una velocidad de soldadura (v_s) de $270 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ y el empleo de un alambre-electrodo (AWS EL12) de diámetro (d) 4 mm.

Tabla 8: Dimensiones fundamentales de los cordones depositados con fundente CIS-F10 granulado en agua

Replica	Profundidad del cordón (mm)	Ancho del cordón (mm)	Ancho medio de la Z.A.T (mm)	Dureza (HV) promedio en el cordón
1 (FP-H)	5,31	17,19	2,33	216
2 (FP-H)	5,93	17,46	2,08	190
3 (FP-H)	5,53	17,26	2,05	197
Promedio	5,59	17,30	2,15	201,00
Desviación	0,314	0,140	0,154	13,454

Tabla 9: Dimensiones de los cordones depositados con fundente CIS-F10 granulado con aire

Replica	Profundidad del cordón (mm)	Ancho del cordón (mm)	Ancho medio de la Z.A.T (mm)	Dureza (HV) promedio en el cordón
1 (FP-H)	6,19	17,19	1,92	213
2 (FP-H)	6,19	15,26	1,81	202
3 (FP-H)	5,85	15,91	1,62	212
Promedio	6,08	16,12	1,78	209,00
Desviación	0,196	0,982	0,152	6,083

FP-H: Estructura ferritoperlítica, fina y homogénea

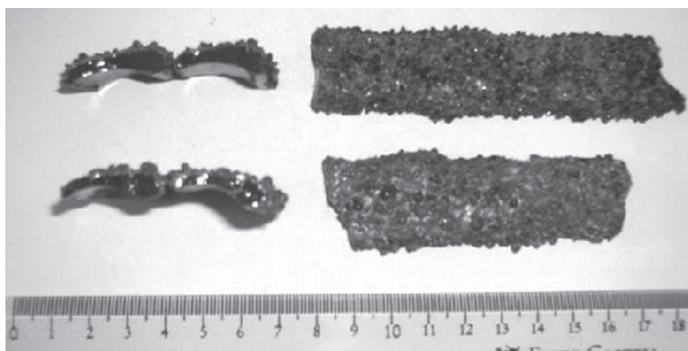


Figura 4: Foto de las escorias
Arriba: de fundente granulado con agua; abajo: de fundente granulado con aire

Los espesores (4 mm) y anchos (26 mm) aproximadamente similares de las escorias (Figura 4) concuerdan con una razón de consumo de fundente de 0,73, inferior al reportado por la literatura especializada [17], dado por un consumo de fundente (2,68 g·cm⁻¹) aproximadamente un 30 % menor que de alambre electrodo (3,68 g·cm⁻¹). A partir de la composición química reportada por Gómez-Pérez [6] para el fundente fundido CIS-F10, según el índice de basicidad (B = 0,78) y actividad química (A = 0,6) calculados a partir de los criterios de Potapov [18], las escorias son de tipo ácida (B < 1) y reductoras muy activas (A ≥ 0,6) concordante con escorias delgadas de baja razón de consumo [18]. La configuración geométrica constante y similar entre ambos tipos de escorias presupone una similitud en los procesos de fusión y endurecimiento de las escorias para ambos tipos de fundente (granulado con agua y con aire). Este aspecto demuestra una diferencia poco significativa de la

influencia de la forma de los granos, su densidad picnométrica y su distribución granulométrica sobre la forma de las escorias.

Conclusiones

1. En el fundente granulado con aire la suma de las partículas esféricas constituyen el 79,2 %, las deformes un 20,8 % del total y no adecuadas (nodulares y aciculares) un (6 %), lo que produce una diferencia relativa menor entre la fluidez (34 %) y menor del ángulo de talud (28,8 %), presentando un menor (aproximadamente un 28,2 %) volumen relativo de aire intergranular, respecto al fundente granulado en agua.
2. La disminución de la pendiente de crecimiento de la curva de humectación en el fundente CIS-F10, granulado con aire, respecto al granulado en agua, puede depender sustancialmente de la diferencia de la forma y compactación interna de los granos.
3. Se evidencia una mayor penetración (8 %) y un menor ancho medio (17 %) de la zona afectada por el calor en los cordones realizados con fundentes granulados con aire, que en los realizados empleando fundentes granulados en agua, no apreciándose diferencias significativas en la estructura ferrito-perlítica de los cordones de soldadura, ni entre las propiedades mecánicas (> 1 %) al emplear ambos tipos de fundentes.
4. La configuración geométrica constante y similar entre ambos tipos de escorias (espesores 4 mm y anchos 26 mm) presupone una similitud en los procesos de fusión y endurecimiento de las escorias con una razón de consumo de fundente similar (0,73) para ambos tipos de fundentes (granulado con agua y con aire). Este aspecto demuestra una diferencia poco significativa de la influencia de la forma de los granos, su

densidad picnométrica y su distribución granulométrica sobre la forma de las escorias.

18. Potapov, N.N., Materiales para la soldadura por arco eléctrico. 1989, Moscú: Construcción de Maquinaria. 544.

Referencias

1. Pérez-Pérez, D.G., C, Fundente fundido con granos esféricos y procedimiento de obtención., in CU 23122 A1. 2006: Cuba.
2. Konishi, T., Production of fused flux for submerged arc weldind. 1985: Japan.
3. Pérez-Pérez, D., Potencialidades de la granulación horizontal con aire del fundente fundido CIS-F10. Soldagem&Inspecao, 2008. Vol. 13(3): p. 245-254.
4. Galiano M., T., Pequeño Larouse de Ciencias Técnicas. Colección Diccionario. 1988, Ciudad de la Habana: Editorial Científico-técnica. 1056.
5. Pérez-Pérez, D., Procedimiento para la determinación de los parámetros de origen del proceso de dispersión de granos de fundentes fundidos fragmentados con aire y criterios sobre su aplicación. En proceso de publicación. Revista Ingeniería Universidad de Antioquia, 2010.
6. Gómez, C., Obtención de fundente fundido para la SAW a partir de rocas minerales cubanas, in Centro de Investigaciones de Soldadura. 1996, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas: Santa Clara. p. 104.
7. Particle Shape Analysis, in ISO 3252.
8. Flow of metal powders, in ISO 4490.
9. Standard Test Method for Flow Rate of Metal Powders, in ASTM B213
10. Quintana, R., Gómez, C., Influencia del Aire Ocluido en la Capa de Deposición de Fundentes durante la Soldadura Automática: un Aspecto Tecnológico a considerar en la Calidad del Cordón (The Influence of the Air occluded in the Deposition Layer of Flux during the Automatic Welding: a Technological Aspect to consider in the Quality of the Cord). Soldagem&Inspecao, 2007. 12(4).
11. Pérez Pérez, D., Potencialidades de la granulación horizontal con aire del fundente fundido CIS-F10. Soldagem&Inspecao, 2008. Vol. 13(3).
12. Valencia Morález, A., Consideraciones teóricas de las curvas de sorción-tiempo, in V Simposio de soldadura. 1993: CIS-UCLV.
13. Durlík, J., Influencia de la humedad del fundente en las propiedades de las uniones soldadas. (en polaco). 1974. p. 80 pp.
14. Alfonso, C.A. Valoración de la higroscopicidad en matrices cerámicas. in III Simposio de soldadura. 1990. CIS-UCLV.
15. Quintana Puchol, R., Algunas consideraciones sobre la humectación de electrodos básicos. Construcción de Maquinarias, 1989. N. 3: p. 46-51.
16. AWS, ANSI /AWS A5.17/ A5.17M-97. Specification for Carbon Steel Electrodes and Fluxes for Submerged Arc Welding. Supersedes An American National Standard. 1997.
17. Pozo Morejón, J., Apuntes para el establecimiento de una tecnología de soldadura por arco eléctrico. 2000, Santa Clara. 54.