

CÁLCULO DE COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DURANTE EL PROCESO METALÚRGICO DE RELLENO CON FUNDENTE HF-600

CALCULATION OF TRANSFER COEFFICIENTS DURING THE METALLURGICAL PROCESS OF FILLER WITH HF-600 SPECIAL FLUX

GILMA CASTELLANO HERNÁNDEZ
 RAFAEL QUINTANA PUCHOL
 CARLOS R. GÓMEZ PÉREZ
 ZENAIDA FLEITES MARTÍ

E-mail: gcastellano@uclv.etecsa.cu
 Universidad Central de Las Villas Martha Abreu

RESUMEN: Se evalúan diferentes metodologías para el cálculo de los coeficientes de transferencia (K_t) de elementos aleantes durante el proceso de relleno, empleando el método de Soldadura Automática por Arco Sumergido (SAAS) y tomando en consideración el aporte de elementos aleantes a partir del fundente y del alambre-electrodo. Se determinan experimentalmente los K_t de cromo y de manganeso en el fundente cerámico comercial HF-600.

Palabras claves: transferencia, soldadura, recargue, fundente.

ABSTRACT: This paper shows a valuation of different methodologies used to calculate the Transfer Coefficients (K_t) of alloy elements during the metallurgist process of Submerged Arc Welding taking in account the contribution of alloy elements starting from flux and from the wire-electrode. It is experimentally determined the chromium and manganese K_t in ceramic and commercial HF-600 flux.

Key words: transfer, coefficients, welding, surfacing.

INTRODUCCIÓN

Es conocido que sobre los coeficientes de transferencia (K_t) influyen el régimen de soldadura, el grado de basicidad del fundente, la afinidad de los elementos con el oxígeno y la presencia de desoxidantes en el fundente, entre otros (Burgos, 1986; Potapov, 1989). Este proceso ha sido investigado por varios autores a partir de diferentes concepciones (Burgos, 1986; Cañete y García, 1986; Petrov y Tumarev, 1967).

El objetivo fundamental de este trabajo es analizar algunas alternativas para el cálculo de los coeficientes de transferencia aplicados al fundente cerámico aleado HF-600 en el proceso de relleno empleando Soldadura Automática por Arco Sumergido (SAAS) a partir de algunas experiencias referidas a la soldadura manual.

CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES

El cálculo de los coeficientes de transferencia ha sido abordado en la literatura, tomando en consideración la influencia del metal base (Burgos, 1986; Cañete y Gar-

cía, 1986) o sin considerarla, al realizar reiteradas deposiciones unas sobre otras (Petrov y Tumarev, 1967; Castellano y Quintana, 1994).

El cálculo de los coeficientes de transferencia desarrollado por N. K. Bagrianskiyi (Burgos, 1986) se realiza según la fórmula:

$$K_t = \frac{[E_a]_{\cos}}{a[E_a]_a + b[E_a]_b + c[E_a]_c} \quad (1)$$

donde: $a + b + c = 1$

K_t : Coeficiente de transferencia.

$[E_a]_{\cos}$: Contenido del elemento en el metal de la costura, en %.

$[E_a]_a$, $[E_a]_b$, $[E_a]_c$: Contenido del elemento en el metal base, alambre electrodo y adiciones metálicas en el fundente, respectivamente, en %.

a, b, c: Partes de participación que corresponden, respectivamente, al metal base, alambre electrodo y fundente en la formación del baño de soldadura.

$$a = \frac{m}{m+1}; b = \frac{1}{(m+1) \cdot (n+1)}; c = \frac{n}{(m+1) \cdot (n+1)};$$

$$m = \frac{E_f}{E_d}; n = K_p \cdot (E_a) \cdot \varphi$$

siendo:

F_f : Área de fusión de la costura, se plantea su proporcionalidad a la masa del metal base fundido.

F_d : Área del depósito, se plantea su proporcionalidad a la masa del metal depositado.

K_p : Relación de la masa de fundente fundido respecto al alambre fundido (consumidos en el proceso).

(E_a) : Parte de adición metálica en el fundente.

φ : Parte de adición que se ha trasladado al baño metálico.

En la determinación de a, b y c influye notablemente la relación de masa del fundente fundido respecto al alambre fundido (K_p), la cual, a su vez, depende del régimen de soldadura y del tipo de material empleado, entre otros factores (Potapov, 1989), por lo que debe calcularse experimentalmente. Bagrianskiyi (Burgos, 1986) manifiesta valores aproximados de 1,0 para esta relación, y se representa con ello igual consumo de fundente y de alambre-electrodo durante la soldadura; sin embargo, esta proporción no se cumple al extender su expresión a la SAAS, donde se ha encontrado un mayor consumo de fundente por alambre. La relación fundente/alambre-electrodo alcanza en este caso valores entre 1,20 y 1,80 cuando se emplean fundentes aglomerados aleados, donde la participación de los elementos aleantes en la formación del depósito es mayor desde el fundente que desde el alambre-electrodo (Castellano y otros, 1993; Portal, 1994). El área de fusión de la costura (F_f) y del depósito (F_d) y sus densidades son factores que también influyen, ya que debido a las fluctuaciones en la geometría del cordón depositado, la relación entre el área de fusión de la costura y el área del depósito no se mantiene estrictamente constante a todo lo largo del cordón, lo que trae como consecuencia que los cálculos de las densidades puedan fluctuar.

La expresión (1) desarrollada por Bagrianskiyi (Burgos, 1986) está referida sólo a la concentración del elemento en el depósito respecto a la suma de las concentraciones iniciales de dicho elemento en el sistema alambre-fundente, por lo que el cálculo de la contribución se limita sólo al cordón y no tiene en consideración la cantidad del elemento que se difunde hacia la escoria. Esto da lugar a que no se logre la integridad del proceso de soldadura como una unidad, por lo que pueden obtenerse valores de coeficientes de transferencia algo superiores a los reales.

Cañete y García (1986) obtienen una expresión similar a la (1):

$$K_t = \frac{[X]_D}{a \cdot [X]_D + b \cdot [X]_D + c \cdot [X]_D \cdot K_p} \quad (2)$$

Los parámetros empleados en la ecuación anterior son similares en su significación a los referidos en la ecuación (1), y coinciden además en la metodología del

cálculo, por lo que presentan las mismas limitantes. A diferencia de la expresión (1), se introduce en el denominador el término K_p anteriormente definido, con lo que se logran resultados más reales para los coeficientes de transferencia calculados al realizarse una ponderación parcial del sistema, por considerar el peso del fundente, del alambre fundido y las contribuciones fraccionales del metal base, alambre-electrodo y fundente derretido en el sistema inicial.

Petrov y Tumarev (1967) integran el grupo de autores que no considera la influencia del metal base sobre la formación del depósito metálico. Ambos aluden las diferencias en la capacidad de transferir elementos aleantes entre el alambre y la carga aleante del fundente, que es menor en este último debido a la existencia en el fundente de una mayor cantidad de agentes oxidantes los cuales se desprenden del mismo con la posible disolución incompleta en el metal depositado. No obstante, ellos plantean que en algunos casos estas diferencias no son significativas y determinan experimentalmente un único coeficiente de transferencia mediante la fórmula siguiente:

$$K_t = \frac{[Me]_{Dep}}{[Me]_{Al} + \frac{G_f}{G_{Al}} \cdot R_{Me} \cdot [Me]_{Fte}} \quad (3)$$

donde:

K_t : Coeficiente de transferencia de elementos aleantes.

$\frac{G_f}{G_{Al}}$: Peso del fundente respecto al peso del alambre.

R_{Me} : Cantidad relativa del elemento en el fundente en estado metálico.

$[Me]_{Dep}$, $[Me]_{Al}$, $[Me]_{Fte}$: Contenido del elemento en el depósito, alambre y fundente, respectivamente.

Los términos R_{Me} y $[Me]_{Fte}$ se refieren a la cantidad total del elemento en estudio presente en el fundente, obtenido analíticamente o por cálculos teóricos sobre la base del conocimiento de la composición química de los materiales empleados para su elaboración. La determinación independiente de estos términos es una limitante seria al trabajar con fundentes comerciales, ya que el fabricante no reporta los datos necesarios para ello.

Es conocido que en el proceso de SAAS las pérdidas por salpicaduras son mínimas y la cantidad del elemento aleante que se volatiliza por la alta temperatura de fusión y ebullición de los mismos es despreciable. Puede entonces considerarse que este proceso se enmarca en un sistema casi cerrado, regido desde el punto de vista químico por la ley de conservación de la masa (Castellano y otros, 1993; Castellano y Quintana, 1994).

En este trabajo se aborda el estudio de la transferencia de los elementos aleantes durante la soldadura considerando, además de los procesos térmicos, termodinámicos y metalúrgicos (oxidación-reducción), dos sistemas materiales (inicial y final) que se muestran en la figura 1 (Castellano y Quintana, 1994).

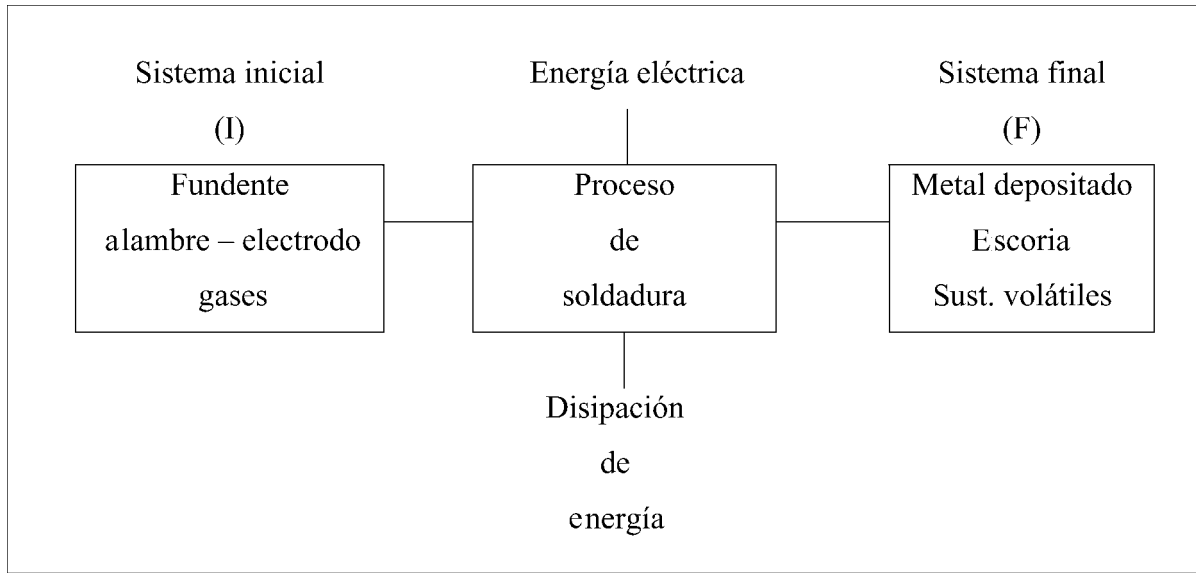


Figura 1. Representación esquemática de los sistemas matriciales (inicial y final) considerados en la obtención de los coeficientes de transferencia de los elementos aleantes.

En este proceso deben cumplirse tres principios:

1. Principio de Conservación de la Masa: $\sum M_i = \sum M_f$

La suma de las masas de los constituyentes del sistema inicial (I) debe ser aproximadamente igual a la suma de las masas de los constituyentes del sistema final (F). Si consideramos insignificantes las pérdidas por salpicadura y volatilización por la alta temperatura que se alcanza en la práctica, tenemos que $\sum M_i \geq \sum M_f$, donde las diferencias entre ellas oscilan entre 0,7 y 1,0 % de la masa del sistema inicial involucrado.

2. Principio de Conservación Estequiométrica

La concentración sumatoria ponderada del elemento de aleación antes de la soldadura (sistema I), debe ser aproximadamente igual a la concentración sumatoria ponderada de dicho elemento después del depósito (sistema F)

$$\frac{\sum C_i \cdot M_i}{\sum M_i} = \frac{\sum C_f \cdot M_f}{\sum M_f}$$

El empleo de las masas ponderadas de cada uno de los elementos participantes en el proceso con relación a sus masas totales respectivas, permite considerar las diferencias de masa perdida por volatilización y salpicaduras como si se distribuyeran proporcionalmente entre los constituyentes del sistema final, en dependencia de las características del mismo (capacidad de asimilación de un elemento más que otro).

3. Principio de Transferencia Total

Considerando los dos principios anteriores y conociendo que la mayoría de los elementos aleantes tiene una alta temperatura de ebullición (por lo que sus pérdidas por vaporización pueden ser despreciables), debe cumplirse que la suma de los coeficientes de transferencia de dicho elemento al depósito y a la escoria sea aproximadamente igual a 100 %, o sea:

$$K_{t\text{Total}} = K_{t\text{Dep.}} + K_{t\text{Esc.}} \cong 100 \%$$

Esto permite realizar un análisis integral del proceso de transferencia de los elementos aleantes durante la soldadura. Considerando el cumplimiento de los principios antes expuestos, los autores han desarrollado la siguiente expresión aplicable al relleno por SAAS:

$$K_t = \frac{\sum C_f \cdot M_f \cdot M_{SF}}{\sum C_i \cdot M_i \cdot M_{SF}} \quad (4)$$

Donde no se considera la posible dilución por parte del metal base al realizarse múltiples pasadas (Castellano y otros, 1993; Castellano y Quintana, 1994). Mediante esta expresión puede determinarse la transferencia de los elementos aleantes al depósito y a la escoria. Referida al depósito, tenemos:

$$K_{t\text{Dep.}} = \frac{C_{e\text{Dep.}} \cdot M_{\text{Dep.}}}{C_{e\text{Al.}} \cdot M_{\text{Al.}} + C_{e\text{Fte.}} \cdot M_{\text{Fte.}}} \cdot \frac{M_{\text{SI}}}{M_{\text{SF}}} \quad (5)$$

donde:

$K_{t\text{Dep.}}$: Coeficiente de transferencia del elemento aleante desde el fundente hacia el depósito metálico.

$C_{e\text{Al.}}$, $C_{e\text{Fte.}}$, $C_{e\text{Dep.}}$: Contenido del elemento de aleación en el alambre, fundente y depósito, respectivamente, en %.

$M_{\text{Al.}}$, $M_{\text{Fte.}}$: Masas de alambre y fundente que se funden durante el relleno, en gramos.

$M_{\text{Dep.}}$: Masa de depósito formado, en gramos.

M_{SF} : Suma de las masas del depósito y la escoria formada, en gramos. $M_{\text{SF}} = M_{\text{Dep.}} + M_{\text{Esc.}}$

M_{SI} : Suma de las masas de alambre y fundente, fundidos durante el proceso, en gramos.

$$M_{\text{SI}} = M_{\text{Al.}} + M_{\text{Fte.}}$$

El análisis del proceso de soldadura, desde este punto de vista, permite:

- a) valorar la capacidad real de un elemento que tiende a depositarse o a transferirse, ya sea al cordón y/o a la escoria;

b) conocer las características de los elementos que participan en determinadas condiciones del proceso, que dependen además de las propiedades ácido-base y de la actividad química de la matriz del fundente;

c) minimizar las cantidades de los elementos que se añaden a la carga aleante del fundente y lograr, a la vez, economizar la producción del mismo.

El requerimiento experimental de la determinación de los términos M_{Fe} , M_{Al} , M_{Dep} , M_{Esc} antes definidos, permite realizar el análisis másico del proceso y valorar el consumo de alambre por fundente y viceversa, así como la fracción o porcentaje del fundente que participa en la formación del depósito y el que se incorpora a la escoria. Esto hace posible la evaluación de las propiedades de los fundentes y las condiciones del proceso, en dependencia de lo cual pueden seleccionarse las características adecuadas de sus depósitos.

El hecho de considerar este proceso de relleno basado en un balance de masa y regido por la ley de conservación de la misma, permite hacer un análisis de la transferencia de los elementos aleantes desde los constituyentes del sistema inicial a los constituyentes del sistema final, referido a un mismo elemento presente en distintas aleaciones o compuestos y su distribución en este último.

PARTE EXPERIMENTAL

Para efectuar el cálculo de los coeficientes de transferencia (Kt) utilizando los métodos antes expuestos (Petrov y Tumarev, 1967; Burgos, 1986; Cañete y García, 1986; Castellano y Quintana, 1994), se realizaron dos experimentos, variando el régimen de soldadura (Tabla 1) y empleando el fundente cerámico aleado HF-600 de procedencia japonesa (Tabla 2).

Con el objetivo de evaluar la capacidad de transferencia del fundente sin otra influencia, se emplearon en los experimentos materiales no aleados. Como metal base se utilizó una plancha de acero CT-3 de 20 mm de espesor y alambre electrodo BOSTRAND S-1, de 2 mm de diámetro. La composición química de los mismos aparece en la Tabla 3. Se efectuaron cinco pasadas sucesivas durante el relleno.

Para evitar la aparición de poros en el depósito por humedad en el fundente durante la soldadura, éste fue calcinado durante 60 min a 350 °C en una mufla, antes de

ser utilizado (Portal, 1994). Las masas de fundente, alambre-electrodo, metal depositado y escoria, fueron determinadas mediante pesadas en una balanza analítica digital Sartorius (Tabla 1). Las masas del metal base y del depósito utilizadas para el cálculo de los coeficientes de transferencia según las expresiones (1) y (2), se determinaron sobre la base de la proporcionalidad de la masa del metal base fundido y el área de fusión de la costura, y de la masa del metal depositado y el área del depósito, planteadas por Burgos (1996), Cañete y García (1986).

Las áreas fueron determinadas por metalografía en un microscopio NEOFHOT-32 de fabricación alemana. Para ello se fotografió una sección pulida y macroatacada del último depósito (Fig. 2). Se consideró como metal base el penúltimo depósito, cuya composición química coincide con la del último, expuesta en la Tabla 3.

Las muestras para la caracterización química del fundente y la escoria se trituraron en morteros de ágata hasta la obtención de un polvo homogéneo de 200 mesh. Las muestras de depósito y de metal base se obtuvieron en forma de virutas utilizando una fresa, con sumo cuidado de no recalentarlas demasiado para no alterar su composición química. La muestra de alambre se obtuvo mediante el corte manual.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El consumo del fundente HF-600 por unidad de masa (g) del alambre-electrodo consumido durante el relleno por SAAS, arroja valores de 1,17 y 1,78 para cada experimento respectivamente, lo que indica que para este tipo de soldadura y para las características del fundente en estudio el valor de Kp es superior a 1. Esto coincide con los valores experimentales reportados por Castellano y Quintana (1994).

A pesar de que el electrodo es el responsable del mayor aporte de metal a la unión soldada, comparado con el fundente, este último es el que mayor cantidad de elementos aleantes incorpora en el sistema que se estudia.

La contribución porcentual del fundente HF-600 en la formación del cordón viene dada por: $[(M_{Dep} - M_{Al}) / M_{Fe}] 100$, con lo que se obtienen valores experimentales de 7,85 y 9,70 %, por lo cual se concluye que alrededor del 90 al 93 % del fundente conforma la escoria del proceso.

El aporte del fundente a la formación del depósito fue mayor en el segundo experimento, a pesar de ser menor

Figura 2. Esquema de la última capa depositada.

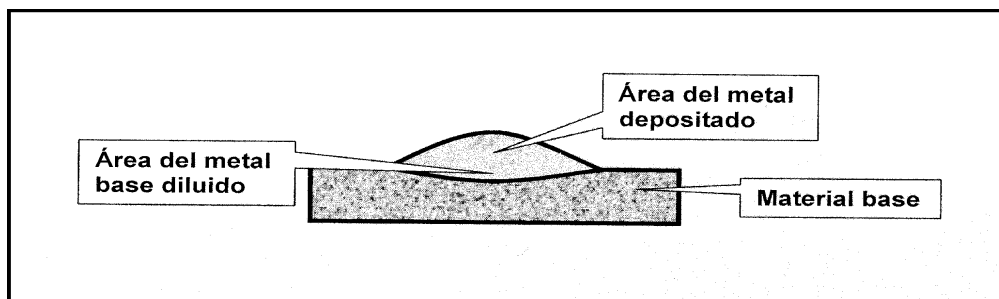


TABLA 1. DATOS DEL PROCESO DE SOLDADURA CON EL FUNDENTE HF-600

Experimento	Régimen de soldadura			Contribución másica (g)				
	Intensidad (A)	Tensión (V)	Velocidad (m/min.)	Sistema Inicial			Sistema Final	
				M _{A1}	M _{Fte}	K _p	M _{Dep}	M _{Esc}
1	400	36	0,41	38,31	44,83	1,17	41,83	39,74
2	300	36	0,66	32,47	57,71	1,78	38,07	44,01

TABLA 2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL FUNDENTE HF-600 (A) Y DE LAS ESCORIAS DE LOS EXPERIMENTOS 1 Y 2

	Composición química (%)														
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	MnO	SO ₃	CO ₂	P ₂ O ₅	CaF ₂	PPI
A	21,93	10,57	4,41	9,29	7,42	12,42	1,89	1,28	8,50	6,81	1,05	4,22	0,16	2,20	5,01
1	22,10	12,69	4,72	6,91	8,60	14,11	2,10	1,37	5,13	5,83	1,05	4,42	0,12	4,60	0,96
2	21,45	12,32	4,72	8,47	8,63	14,15	2,10	1,37	4,99	6,40	0,05	4,42	0,12	4,62	1,50

TABLA 3. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LOS MATERIALES

Material	Composición química (%)					
	C	Si	Mn	S	P	Cr
Alambre electrodo	0,08	Trazas	0,50	<0,025	<0,025	...
Acero Ct-3 (metal base)	0,18	0,21	0,53	0,055	0,055	...
Metal depos. Exp. 1	0,41	0,939	1,62	0,013	0,063	2,77
Metal depos. Exp. 2	0,25	1,004	1,58	0,015	0,034	3,83

TABLA 4. COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA (K_i) CALCULADOS EN %, SEGÚN LAS EXPRESIONES DE BAGRIANSKIYI (1), CAÑETE (2), PETROV (3) Y CASTELLANOS (5)

Exp.	Elemento	(1)	(2)	(3)	(5)
		K _i DEPÓSITO	K _i DEPÓSITO	K _i DEPÓSITO	K _i DEPÓSITO K _i ESCORIA
1	Cr	56,53	49,29	40,67	45,26 54,49
	Mn	39,46	34,21	24,30	27,04 71,52
2	Cr	72,96	44,32	37,03	47,70 49,09
	Mn	37,75	22,14	16,01	20,63 74,86

la corriente empleada y mayor la velocidad de soldadura. Esto se debe a que al utilizar intensidades de corriente menores de 400 A, la gota de alambre fundido cae rodando por la pared de la cúpula de la escoria fundida, interactuando intensamente con ella lo que aumenta la posibilidad del paso de los elementos aleantes del fundente al cordón (Gómez, 1996).

En la Tabla 4 puede apreciarse que los coeficientes de transferencia obtenidos según la expresión desarrollada por Bagrianskiyi (Burgos, 1986) son superiores a los calculados por la expresión 2 (Cañete y García, 1986), esto puede atribuirse a que la ponderación realizada por el primero en su metodología, a través de los coeficientes a, b y c, ejerce un efecto multiplicador mayor con respecto a la ponderación de Cañete al incluir el término K_p en el denominador.

De la Tabla 4 puede notarse que existe una mayor concordancia entre los valores de los coeficientes de transferencia (K_i) de cromo y de manganeso al metal depositado, al ser calculados empleando las expresiones propuestas por Cañete, Petrov-Tumarev y Castella-

no (Expresiones 2, 3 y 5), por lo que se observa una diferencia respecto a los valores de los K_t obtenidos según Bagrianskiyi (Burgos, 1986).

La metodología elaborada por Petrov y Tumarev (1967) arroja valores más pequeños de coeficientes de transferencia al depósito, lo que puede atribuirse a la realización de una ponderación parcial del elemento de aleación en el fundente que potencialmente puede transferirse ([Me]_{Fte}), el cual puede ser aportado por aleaciones metálicas o minerales, siendo diferentes sus capacidades para transferirse. El término R_{Me} representa la cantidad real del elemento que puede transferirse durante el relleno (adiciones metálicas en el fundente).

En el presente trabajo se consideró la multiplicación de los términos R_{Me} y Me_{Fte} equivalente al porcentaje del elemento de interés en el fundente comercial HF-600, del cual no se reporta su composición química ni física. Experimentalmente, se obtuvo su composición química (Tabla 2).

Los coeficientes de transferencia a la escoria (Tabla 4) sólo han sido reportados para la expresión (5), al

considerar sus autores, Castellano y Quintana (1994), el proceso de soldadura como un sistema casi cerrado donde deben cumplirse los principios 1 y 2 enunciados con anterioridad. Para este cálculo se empleó la composición química de las escorias reportadas en la Tabla 2.

El cumplimiento de este primer principio puede ser corroborado con los datos que aparecen en la Tabla 1, de donde se obtiene que una vez concluido el proceso de soldadura la masa del sistema final es ligeramente inferior a la del sistema inicial, lo que no contradice su cumplimiento, ya que hay pequeñas pérdidas, tanto por volatilización, como por manipulación experimental.

Por la combinación de los datos reportados en las Tablas 1, 2 y 3 puede comprobarse el cumplimiento del segundo principio, al obtenerse valores similares de la concentración sumatoria ponderada del elemento de aleación antes y después de las deposiciones, con el empleo de la fórmula que expresa este principio de conservación estequiométrica. Los resultados para el cromo en el experimento 1 son de 3,138 y 3,131, mientras que para el experimento 2 se reportan valores de 3,724 y 3,605; las diferencias en este último son ligeramente mayores, lo cual no significa el incumplimiento de este principio.

El cumplimiento del tercer principio, según el método desarrollado por los autores del presente trabajo, puede evaluarse en la Tabla 4 donde se encuentran reportados los valores de los coeficientes de transferencia de cromo y manganeso al depósito y a la escoria. La suma de los coeficientes de transferencia al depósito y a la escoria para el cromo y el manganeso es de alrededor del 100 %, lo cual es un resultado lógico atendiendo a los criterios expuestos con anterioridad en relación con el cumplimiento del primer principio, donde MSI en la práctica es ligeramente superior a la MSF. Los resultados obtenidos para los coeficientes de transferencia del cromo al depósito son lógicos para los regímenes de soldadura empleados y recomendados por el fabricante. Para el manganeso se alcanzaron valores cercanos a lo esperado.

El cálculo de los coeficientes de transferencia mediante la expresión 5, que sintetiza los diferentes principios de la metodología propuesta por Castellano y Quintana (1994), permite el análisis integral de la transferencia de los elementos aleantes al metal depositado y su difusión hacia la escoria en el proceso de relleno, con el empleo del método de Soldadura Automático con Arco Sumergido.

CONCLUSIONES

- Las metodologías desarrolladas por Petrov y Tumarev (1967), Cañete y García (1986), y la de los autores del presente trabajo pueden ser comparables, al oscilar los

valores de Kt, con ellas obtenidos, entre un 17 y 28 %, a pesar de que sus puntos de vista metodológicos son diferentes.

- Los coeficientes de transferencia, independientemente de la fórmula que se emplee, tienen una dependencia con el régimen de soldadura.
- La expresión desarrollada por Petrov y Tumarev (1967) debe ser utilizada con carácter orientativo experimental, ya que los requerimientos para el cálculo de los coeficientes de transferencia, por su sencillez, no exigen la complejidad y el rigor que las demás metodologías evaluadas con anterioridad. Sin embargo, no permite realizar un análisis integral del proceso de relleno, al no brindar información acerca de la magnitud sobre la difusión de los elementos aleantes a la escoria.
- Los fundamentos metodológicos que respaldan el cálculo de los coeficientes de transferencia mediante la expresión 5 son corroborados a través del cumplimiento de los principios de Conservación de la Masa, Conservación de las Relaciones Estequiométricas y de Transferencia Total de los Elementos.
- La expresión 5 permite calcular los coeficientes de transferencia al depósito y a la escoria, lo que da a su vez criterios sobre la capacidad de interacción del metal aleante con la escoria.

BIBLIOGRAFÍA

- BURGOS, S. J.: *Procesos metalúrgicos durante la soldadura por fusión*, UCLV, 1986.
- CAÑETE, E. Y A. GARCÍA: "Coeficientes de transferencia de algunos elementos de aleación de los electrodos básicos", *Construcción de Maquinaria*, 2:63-69, 1986.
- CASTELLANO, H. G. Y R. QUINTANA PUCHOL: "Algunas consideraciones sobre los coeficientes de transferencia de elementos químicos en soldadura automática bajo arco sumergido", *Construcción de Maquinaria*, 2: 23-28, 1994.
- CASTELLANO, H. G. y otros: "Estudio de la transferencia de elementos químicos aleantes en prototipos de fundentes cerámicos para el relleno superficial", 20 pp., V Simposio de Soldadura, CIS-UCLV, Santa Clara, Villa Clara, febrero, 1993.
- GÓMEZ, C.: "Fundente fundido para la SAAS a partir de materias primas minerales cubanas", Tesis doctoral, CIS-UCLV, Santa Clara, Villa Clara, 1996.
- PETROV, G. L. Y TUMAREV. A. S.: *Teoriya Svarochnij Protseessov*, Visshaia Shkola, Moscú, 1967.
- PORTAL, G.: "Desarrollo de un fundente no fundido para el relleno de rodillos de bulldozer y piezas que trabajan en condiciones similares", Tesis doctoral, CIS-UCLV, Santa Clara, Villa Clara, 1994.
- POTAPOV, N. N.: *Svarochnie Materialy Dlia Dugovoi Svarki*, Moskva: Machinostroienniye, 1989.
- QUINTANA, R. Y H. G. CASTELLANO: "Algunas consideraciones sobre la influencia de la constitución matricial de los fundentes cerámicos en la composición química del metal depositado mediante la soldadura automática bajo fundentes", *Minería y Geología*, XV (2): 69-74, 1998.