

# Estudio del comportamiento de la emisión de salpicadura, en el proceso de GMAW, utilizando mezclas de CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> como gas de protección

Díaz Cedré E.<sup>1</sup>, Ramos Morales F.<sup>2</sup>, Tello Rico M.<sup>3</sup>, Cruz Crespo A.<sup>4</sup>, Chaparro González J.<sup>5</sup>, Rodríguez Pérez M.<sup>6</sup>, Ortiz Méndez T.<sup>7</sup>, Pozo Morejón J.<sup>8</sup>

*Recibido: 16 de marzo de 2006 – Aceptado: 17 de julio de 2006*

## RESUMEN

En este trabajo se presenta un estudio sobre la influencia que tiene en la generación de salpicadura, la adición de determinadas cantidades de O<sub>2</sub> al CO<sub>2</sub>, con vistas a mejorar las condiciones de transferencia de metal. Para esto, se utilizó una técnica experimental en la que se tuvo en cuenta la cantidad de O<sub>2</sub> adicionada al CO<sub>2</sub> y como respuesta, la cantidad de salpicadura adherida a la tobera de gas. Para el estudio se tomó CO<sub>2</sub> como referencia y fueron valoradas seis mezclas entre 10 y 30 % de O<sub>2</sub>, con una variación de 5% entre cada una. Del resultado del estudio se obtuvo la relación entre la cantidad de salpicadura adherida y el contenido de O<sub>2</sub> en la mezcla.

**Palabras claves:** Soldadura, GMAW, Mezcla de gases, Salpicaduras, Gases activos

---

## Study of the spatter emission behaviour, at GMAW process, using CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> mixtures as shielding gas.

## ABSTRACT

In this work a study about the influence of the addition of determined amounts of O<sub>2</sub> to CO<sub>2</sub> in the spatter generation, in order to improve the metal transfer conditions, is presented. To this purpose, an experimental technique, which took into account the quantity of O<sub>2</sub> added to the CO<sub>2</sub> and had as outcome the quantity of spatter adhered to the gas nozzle, was implemented. For the study, CO<sub>2</sub> was used as reference and six mixtures, between 10 and 30% of O<sub>2</sub>, with a variation of 5% between them were evaluated. As a result of this study the behaviour of the quantity of spatter with respect to the content of O<sub>2</sub> in the mixture was obtained.

---

<sup>1,2,4,6,7,8</sup> Centro de Investigaciones de Soldadura, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Carretera a Camajuaní, km 5½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. e-mail: [cedre@uclv.edu.cu](mailto:cedre@uclv.edu.cu)

<sup>3,5</sup> Centro de Ingeniería y Desarrollo Industria, Ave Playa Pie de la Cuesta # 702, Querétaro, Qro. México e-mail: [soldadura@cidesi.mx](mailto:soldadura@cidesi.mx)

## **1. Introducción**

En Cuba y específicamente en la región central del país, existen varias empresas donde se producen elementos metálicos empleando la soldadura como proceso tecnológico fundamental de unión. Este es el caso de la fabricación de estructuras metálicas, bicicletas y muebles clínicos para el consumo nacional y la exportación. En estas entidades se sueldan principalmente chapas de espesores que van desde los 2 mm hasta los 12 mm y en muchos casos secciones tubulares. En todas ellas se emplea el proceso con electrodo fusible y protección gaseosa (GMAW), motivado por las ventajas que posee este proceso con respecto a otros y que se reporta en la literatura (O'Brien, 1991).

Sin embargo, la utilización de la soldadura GMAW en estas entidades deja mucho que desear, debido fundamentalmente a la utilización del CO<sub>2</sub> como gas de protección, lo que provoca un arco de aspecto desagradable, originando un elevado número de salpicaduras, un aumento en el consumo de materiales de aporte, un bajo aprovechamiento de la energía del arco y gastos adicionales al proceso, resultando en la necesidad de operaciones de limpieza de salpicaduras complementarias.

Los problemas antes mencionados, han sido resueltos desde hace mucho tiempo (Dillenbeck y Castagno, 1987; Larson, 1992) con la utilización de mezclas de gases de base argón y para ello se han desarrollado mezclas para múltiples aplicaciones. Sin embargo en Cuba, debido a las particularidades socio-económicas y a las producciones específicas que se realizan, la utilización de mezclas de gases base argón no se justifica económicamente, es por ello que como una solución a este problema se valoró la utilización de mezclas de gases CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>.

Las mezclas de CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>, son poco conocidas en el hemisferio occidental, (Cary, 1994) y prueba de ello lo constituye el hecho de que ninguna de las grandes productoras de gases suministran este tipo de mezcla. Sin embargo, múltiples trabajos se han realizado en Rusia, donde sobre la base de aplicaciones concretas se ha demostrado la valía de las referidas mezclas. Entre estos trabajos se pueden mencionar:

1. Zhiznyalov (1977) determinó que la adición del O<sub>2</sub> al CO<sub>2</sub> mejora el encendido del arco, la forma de la costura, aumenta la productividad y la profundidad de penetración, disminuyendo la posibilidad de que en el metal depositado queden poros.

2. Asnis (1974) utilizó la mezcla CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> en la soldadura de aceros 16G2A y 15G2A utilizando alambre Cb – 08G2C con un aumento considerable de la longitud libre, logrando aumentar la resistencia a la formación de grietas del metal de la costura, comparado con el CO<sub>2</sub> y una longitud libre normal.
3. Antonets (1974) utilizó la mezcla CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> para la soldadura del acero 20XGCHM, logrando una mayor estabilidad del proceso, disminución de la salpicadura en un 40-50%, aumentando la productividad en un 20%, todo esto comparado con el CO<sub>2</sub>.
4. Buki (1989) logró la disminución de la salpicadura durante la soldadura de aceros 10Kp y así mejoró la forma del cordón con la utilización de una mezcla CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>.

En todos estos trabajos referenciados, se partió de la utilización de materiales de aporte ricos en silicio y manganeso similares al ER 70S6 de AWS A 5.18-98 (American Welding Society, 1998). Los gases utilizados cumplieron las especificaciones GOST 14771-85 (Committee of the Russian Federation for Standardization, 1985), similar a la AWS A 5.32-98 (American Welding Society, 1998), la que establece el nivel de pureza que deben tener los gases que se utilizan como protección.

Asimismo, un elevado volumen del CO<sub>2</sub> que se utiliza en Cuba en las operaciones de soldadura, es un residuo proveniente de la fermentación de mieles para la producción de alcohol, y en la totalidad de los casos es utilizado sin un proceso previo de purificación. Esta situación provoca, que la cantidad de humedad que dicho gas posee, (Delegación Provincial del MINAZ, 2001), sea mayor del 0.8%, valor establecido por las especificaciones sobre gases antes mencionadas e internacionalmente reconocidas. Por tales razones se ha decidido realizar el estudio del comportamiento de dicha mezcla de gas frente al proceso de soldadura y particularmente ante la generación de salpicaduras y de esa forma corroborar lo planteado por Antonets (1974) de disminuir la salpicadura en un 40-50% en la soldadura de aceros al carbono y de baja aleación.

---

## **2. Metodología**

### **2.1 Planteamiento de la técnica**

Para la determinar la influencia de la composición de la mezcla de gas de protección CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> en la generación de salpicadura durante el proceso de soldadura se partió de la utilización de una variable de entrada: **X1**: cantidad de O<sub>2</sub> que se le adiciona al CO<sub>2</sub>.

Según la literatura consultada (Beluae, 1985) la cantidad de O<sub>2</sub> presente en la mezcla de CO<sub>2</sub>, va a permitir mejorar las condiciones de transferencia por cortocircuito, sin que ésta deje de ocurrir. Los valores adicionados de O<sub>2</sub> fueron tomados de la literatura (Zhiznyalov, 1977), donde se recomiendan valores entre un 15 y 30 % de O<sub>2</sub>, tomándose una variación de 5 % con respecto al CO<sub>2</sub>. Los valores de las muestras se muestran en la Tabla 1.

Para valorar el comportamiento de las salpicaduras con los cambios en la composición de la atmósfera protectora, y al no poder contar con una técnica que nos permita determinar con exactitud la cantidad de salpicadura que se genera (Zaruba, 1985), se utilizó un criterio comparativo, dado por la cantidad de salpicaduras adheridas en la tobera de salida del gas.

Según la literatura consultada (Kang y Rhee, 2001), es la zona más cercana a la columna del arco y al baño fundido, en donde se producen los mecanismos de desarrollo de la salpicadura.

Estas mediciones se basaron en la diferencia de masa de la tobera antes y después de la soldadura, calculando de esta manera la cantidad de material adherido durante el proceso

## 2.2 Materiales y equipos utilizados en los experimentos.

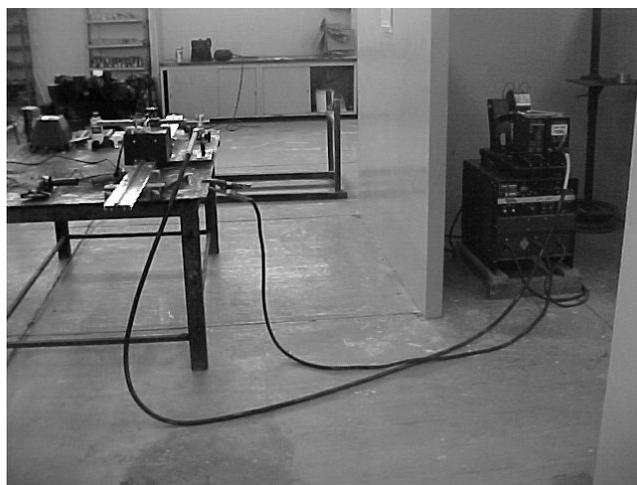
Para la realización de los experimentos se utilizó la instalación que aparece en la Figura 1, el alambre utilizado fue un INDURA 70S-6, el cual responde a la clasificación AWS A5.18 ER 70S-6 de diámetro 1.00 mm.

**Tabla 1. Composiciones de mezclas de gases de protección estudiados**

Muestra	Composición de la atmósfera protectora
1	100% CO <sub>2</sub>
2	CO <sub>2</sub> + 10% O <sub>2</sub>
3	CO <sub>2</sub> + 15% O <sub>2</sub>
4	CO <sub>2</sub> + 20 % O <sub>2</sub>
5	CO <sub>2</sub> + 25 % O <sub>2</sub>
6	CO <sub>2</sub> + 30 % O <sub>2</sub>

Para la realización de los experimentos se utilizó un equipo de soldadura semiautomática bajo gases protectores marca LINCOLN ELECTRIC modelo

IDEALARC CV-300, con un alimentador de alambre modelo LN-742 (Catalogo de productos, 2002), cuya pistola se montó sobre un tractor de soldadura GOFER III.



**Figura 1. Equipamiento de soldadura utilizado**

Debido a la imposibilidad de obtener comercialmente este tipo de mezcla de gas, se desarrolló y calibró en el Centro de Investigaciones de Soldadura de la

Universidad Central de Las Villas (CIS-UCLV) un mezclador de gases del tipo de chorro (CISMIX-1) (Ramos, 2002), el cual fue el encargado de

suministrar los caudales de gases necesarios (ver Figura 2).

### 2.3 Realización de los ensayos.

Para la selección del régimen de soldadura empleado, se partió de recomendaciones dadas en la literatura para el modo de transferencia por cortocircuito con la utilización de CO<sub>2</sub> (O'Brien, 1991). Éste se ajustó de tal forma, que el nivel de salpicadura lograda para este gas de protección fuera el menor posible, y así poder utilizarlo como un régimen de referencia de bajo nivel de salpicaduras utilizando CO<sub>2</sub> como gas de protección. El régimen de soldadura medio utilizado, se puede apreciar en la Tabla 2.

Para la realización de los depósitos mostrados en la Figura 3, se tomaron placas de acero de bajo carbono (ASTM A-36) de 10 mm de espesor por 50 mm de ancho y 100 mm de largo, y encima de ellas de

depositaron tres cordones para poder realizar las mediciones de la salpicadura adherida en el interior de la tobera de gas.

### 3. Resultados y discusión.

Las mediciones de peso de la tobera se realizaron en una balanza analítica marca SHIMADZU, Modelo AX200, con un nivel de precisión de 0.0001g. Los resultados de las mediciones se presentan en la Tabla 3. A partir de estos resultados, se realizó un análisis aplicando la regla para eliminar observaciones experimentales erróneas a partir de la prueba de Student, según lo planteado por la literatura (Carmenate, 1986). Los resultados del análisis, con los valores considerados se presentan en la Figura 4. En este sentido se aprecia el efecto significativo que representa la adición del oxígeno a la mezcla sobre la emisión de salpicaduras.

**Tabla 2. Valores medios de los regímenes de soldadura utilizados en la determinación del comportamiento de la salpicadura.**

Corriente de soldadura (A)	Velocidad de alimentación del alambre (mm/min.)	Voltaje de arco (V)	Velocidad de soldadura (mm/min)	Flujo de gas (l/min.)
261	13.8	24.5	250	16



**Figura 2. Mezclador de gases.**

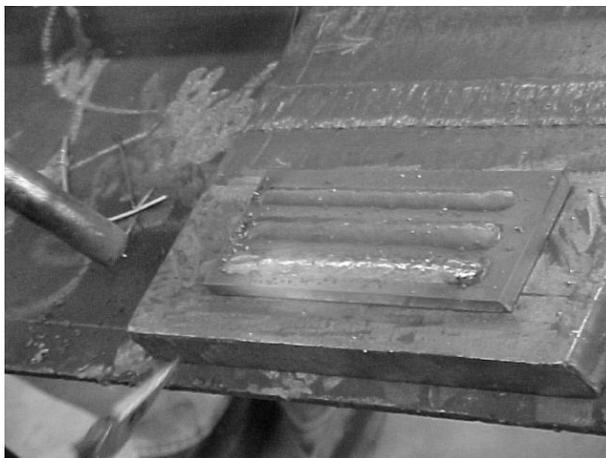


Figura 3. Depósitos realizados.

Tabla 3. Valores medidos de salpicaduras para diferentes mezclas.

% de O <sub>2</sub>	Peso inicial de la tobera (g)	Peso en la 1 <sup>ra</sup> Pasada (g)	Peso en la 2 <sup>da</sup> Pasada (g)	Peso en la 3 <sup>ra</sup> Pasada (g)	Diferencia de peso Δ <sub>1</sub> (g)	Diferencia de peso Δ <sub>2</sub> (g)	Diferencia de peso Δ <sub>3</sub> (g)	Total salpicadura adherida (g)
0	88.7244	89.0306	89.9206	92.5280	0.3062	0.8900	2.6074	5.8755
10	88.7032	89.0039	90.0539	90.9928	0.3007	1.0500	0.9389	4.6793
15	88.7660	89.1176	89.8895	90.4790	0.3516	0.7719	0.5895	3.3286
20	89.2109	89.5322	89.9055	90.8911	0.3213	0.3733	0.9856	2.2051
25	88.7048	89.0597	89.6377	90.3184	0.3549	0.5780	0.6807	1.5105
30	88.6920	88.9226	89.2696	89.7177	0.2306	0.3470	0.4481	0.5776

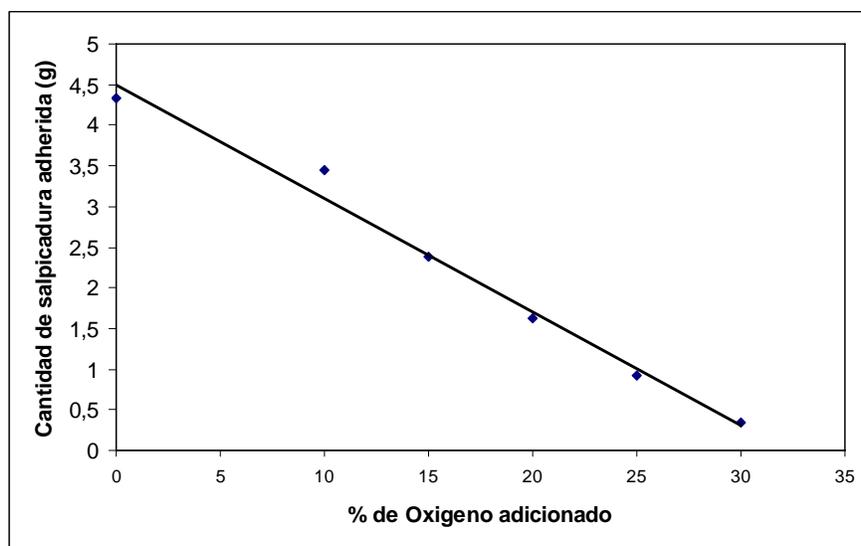


Figura 4. Relación entre la cantidad de oxígeno en la mezcla y la cantidad de salpicadura adherida a la tobera para las diferentes pasadas.

Según se puede apreciar en la Figura 4, en la medida que aumenta la cantidad de O<sub>2</sub> presente en el gas de protección, la cantidad de salpicadura adherida a la tobera disminuye, lo cual es indicativo de que la salpicadura total generada por el proceso disminuye.

De acuerdo con la literatura (Popkov, 1971), las salpicaduras en la transferencia por cortocircuito, ocurren en dos momentos diferentes, el primero, cuando la gota toca el baño fundido y el segundo, durante el reencendido del arco, siendo, el primer instante, el que mayor volumen de salpicadura genera. En este periodo, la ocurrencia de la salpicadura está vinculada a que la gota, cuando está próxima a tocar el baño fundido, hace que el arco se distribuya sobre ella, provocando que la fuerza electromagnética actúe empujándola hacia arriba. Esto proyecta a la gota fuera de la región del charco metálico a una distancia que depende del valor de la corriente. Además, el incremento del valor de la corriente sobre un área de contacto tan pequeño, como lo constituye el área de contacto entre la gota y el charco metálico, provoca una elevación puntual de temperatura y en la medida que el valor de la corriente aumenta, puede ocurrir la evaporación del metal fundido, provocando microexplosiones. De aquí se establece, que en la medida que la gota sea de menor tamaño, la cantidad de salpicaduras generadas también serán menores.

Con respecto al tamaño de la gota, según análisis realizados por Kiyohara, Okada y Yamamoto, (1973), ésta no rompe el puente con la punta del alambre hasta que adquiere la longitud de ruptura. Esta magnitud puede estimarse con la Ecuación 1.

$$L_b = \frac{4\gamma R^2}{\alpha I^2} \quad (1)$$

Donde: L<sub>b</sub> es la longitud de ruptura, α, es una constante de proporcionalidad, γ es la tensión superficial, R es el radio del electrodo e I es la corriente de soldadura.

De la Ecuación 1, puede apreciarse la importancia del elemento tensión superficial en la longitud de ruptura y por tanto, su repercusión en la ocurrencia de la salpicadura.

Según Kiyohara, Okada y Yamamoto, (1973), la fuerza de tensión superficial es un elemento vital durante todo el proceso de transferencia metálica por cortocircuito. Esta fuerza actúa en el sentido de reducir al mínimo la energía superficial libre, que en el caso de líquidos, los lleva a asumir la forma esférica, como la de menor área superficial, para un

determinado volumen. En el caso del proceso GMAW, la fuerza de la tensión superficial tiende a retener la gota metálica al electrodo, produciendo la forma esférica de la gota. Durante el instante del cortocircuito, la gota, se alarga por el efecto de la tensión superficial del charco metálico hacia ella. La intensidad de esta fuerza depende de la temperatura de la gota y de su composición química. Sin embargo, según lo reportado en la literatura, (Gupta y Gupta, 1984), su magnitud se desconoce debido a que la composición química y la temperatura de la gota no son homogéneas.

Por esta causa, y de acuerdo a lo planteado por Deev, (1986), se puede asumir que si el oxígeno que está presente en la atmósfera del arco, por la vía de la disociación del CO<sub>2</sub> y del O<sub>2</sub> presentes en la mezcla, se disuelve en el metal de la gota en estado atómico, su solubilidad sigue directamente la Ley Sievert, la que se establece a través de la Ecuación 2.

$$S_g = k\sqrt{P_g} \quad (2)$$

Donde: S<sub>g</sub> es la solubilidad de un gas diatómico, P<sub>g</sub> es la presión parcial del gas sobre el metal y k es la constante del sistema metal-gas para una temperatura dada. Sobre la base de la ecuación 2 se puede establecer que el contenido de gas en el metal de la gota tiene una dependencia lineal en la presión parcial de este gas en el medio gaseoso. Por tanto, en la medida que exista mayor cantidad de oxígeno en la atmósfera del arco, mayor será su capacidad para difundirse dentro de la gota y por tanto su influencia en la tensión superficial será mayor haciéndola disminuir.

Según cálculos realizados y que aparecen en la Tabla 4, sobre la base de trabajos realizados por Quintana, (1998), en la atmósfera protectora constituida por las mezclas CO<sub>2</sub>+ O<sub>2</sub> la cantidad de oxígeno disociado será mayor si se compara con una atmósfera protectora basada solamente en CO<sub>2</sub>.

Sobre la base de estos estimados se puede establecer que la cantidad de oxígeno disuelto en la gota será mayor para la mezcla que para el gas puro, y que según lo que se aprecia en la Figura 6, en la medida que haya mayor cantidad de oxígeno disuelto en el metal, la tensión superficial de la gota se verá disminuida, lo que facilitará el desprendimiento de la gota de la punta del electrodo y esto a su vez, disminuirá la ocurrencia de salpicadura.

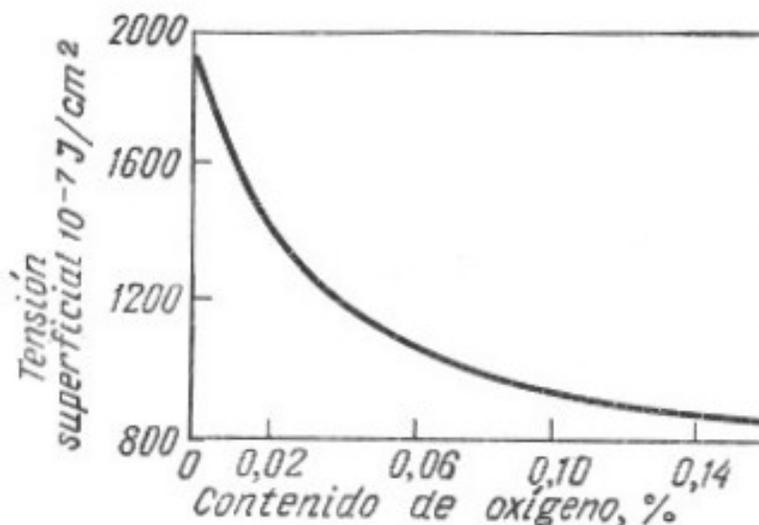
Sin embargo, es conveniente señalar que las salpicaduras no serán eliminadas completamente con

la transferencia por cortocircuito, ya que debido al carácter oxidante de la atmósfera (Popkov, 1971), se generan fuertes movimientos de repulsión originados por la reacción exotérmica de formación de los óxidos de manganeso y de silicio, que originan un

movimiento oscilatorio de las gotas, las que en el momento de la separación del extremo del alambre se pueden encontrar en una posición desfavorable y en lugar de transferirse hacia el baño, son lanzadas fuera de esta región.

**Tabla 4. Cálculos comparativos entre la cantidad de oxígeno disociado para la mezcla CO<sub>2</sub>+ O<sub>2</sub> y para el CO<sub>2</sub>.**

Protección	Cantidad de oxígeno disociado. (g /min.)
CO <sub>2</sub>	9.7
Mezcla CO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> (para la mezcla 80-20)	15.2



**Figura 5. Relación entre la cantidad de O<sub>2</sub> disuelto y la tensión superficial para aleaciones base hierro (Kudrin, 1984).**

**4. Conclusiones.**

El aumento del contenido de O<sub>2</sub> en la mezcla, y por tanto el aumento del mismo en la atmósfera del arco, provoca una disminución de la tensión superficial en

las gotas de metal que se están transfiriendo, lo que facilita el desprendimiento de la gota y por lo tanto, la disminución de las condiciones para la ocurrencia de las salpicaduras.

**5. Referencias bibliográficas.**

AMERICAN WELDING SOCIETY. (1998). AWS A 5.32-98. Specification for welding shielding gases, 12 p

AMERICAN WELDING SOCIETY. (1998). AWS A 5.18-98. Specification for carbon steel electrodes and rods for gas shielded arc welding, 14p

ANTONETS, D.P. (1974). Some features of the arc welding of steel 20XGCHM in the mixture of gas CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>. "Welding Production", No 3, pp 12-17.

ASNIS, A. E. (1974). Comparing the properties of welded joints made with Cb-08Г2C wire in mixture of CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> or with YOHN 13/45 electrode. "Automatic Welding", No 4, p 32-36.

BELUAEV, V. N. (1985). Effect of oxygen content CO<sub>2</sub>+O<sub>2</sub> mixture on some characteristics of weld metal. "Automatic Welding", No 5, p 46-50.

BUKI, A.A. (1989). Investigation of the welding of steel 10Kp in mixture of CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>. "Automatic Welding", N° 2, p 18-23.

CARMENATE, J. F. G. (1986). “Diseño de experimentos para Ingenieros Mecánicos”, Ediciones Instituto Politécnico Julio Antonio Mella. Santiago de Cuba. 166 pags.

CARY, H. B. (1994). “Modern Welding Technology”, Third Edition, Regents/Prentice Hall, New York, 770p.

CATALOGO DE PRODUCTOS. (2002). Lincoln Electric Company. Cleveland, 72p, 2000.

COMMITTEE OF THE RUSSIAN FEDERATION FOR STANDARDIZATION. (1985). Gost 14771-85, Specification for welding shielding gases, 18 p

DEEV, (1986). G. F. Effect of O<sub>2</sub> on surface tension of molten metal. “Automatic Welding”, No 6, p 97-100.

DELEGACION PROVINCIAL DEL MINAZ. (2001). Informe sobre la calidad de derivados del azúcar, Santa Clara, 23p.

DILLENBECK, V R; CASTAGNO, L. (1987). The effects of various shielding gases and associated mixtures in

GMAW of mild steel. “Welding Journal”, USA, v. 66, n 9, pp 17-s a 19-s, Sep.

GUPTA, S. R., AND GUPTA, P. C. (1984). Effect of some variables on spatter loss. “Welding and Metal Fabrication”, 54 (11/12), pp 361–364.

KANG, M. J., AND RHEE, S. (2001). The statistical models for estimating the spatter rate in the short circuit transfer mode of GMAW. “Welding Journal, USA, v.80 No 1, pp 1-s a 8-s.

KIYOHARA.M, OKADA.T, YAMAMOTO.H. (1973). On the Stability of Metal Transfer in Short Circuiting Arc Welding and the New Control Systems’, IIW Doc. 212-276-73.

KUDRIN, V.A. (1984). “Metalurgia del Acero”, Editorial MIR, Moscú, 443 p.

LARSON, N. E. (1992). Shielding gas selection manual. Linde Division. Union Carbide Co. 20p.

O’BRIEN, R. L. (1991). Welding Handbook, 8th Ed., Vol. 2, Welding process, Miami, Fla., American Welding Society, pp 110–155,.

POPKOV, A. M. (1971). Causes of spatter loss in welding with the short circuiting CO<sub>2</sub>- shielded arc. “Welding Production”, No 5, pp 20–23.

QUINTANA PUCHOL, RAFAEL. (1998). Procesos Metalúrgicos de la soldadura por arco eléctrico. Editorial Feijo. Universidad Central de Las Villas, Santa Clara 102p

RAMOS, M. F. (2002). Atmósfera protectora para la soldadura de aceros al carbono y de baja aleación mediante proceso de soldadura GMAW: 82p. Disertación (Maestría), Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, Cuba.

ZARUBA, I. I. (1985). Factors governing metal spatter during welding with short-circuiting. “Automatic Welding”, No 8, p 26-29.

ZHIZNYALOV, S.N. (1977). It influences of the O<sub>2</sub> in the welding process with mixture CO<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>. “Welding Production”, No 2, pp 40–44.

---

Este documento se debe citar como:

Díaz Cedré E., Ramos Morales F., Tello Rico M., Chaparro González J. Cruz Crespo A., Rodríguez Pérez M., Ortiz Méndez T., Pozo Morejón J. (2006). **Estudio del comportamiento de la emisión de salpicadura, en el proceso de GMAW, utilizando mezclas de CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> como gas de protección.** Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 10-2, pp. 17-24, ISSN: 1665-529X.