

EL EFECTO DE LA TRANSFERENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN EL PROCESO DE SOLDADURA GMAW

CARLOS MARIO GARZÓN OSPINA.

Ingeniero mecánico

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

CÉSAR AUGUSTO CHAVES ROLDÁN

Profesor asociado

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

RESUMEN

Se depositaron cordones de soldadura, utilizando tres entradas de calor, en platinas de acero estructural ASTM A36. Con un metal de aporte ER70S-3. Esto para comparar la microestructura y las propiedades mecánicas a tensión de las zonas fundida y afectada térmicamente, para las transferencias spray y corto circuito, en el proceso GMAW*.

No se detectó con microscopía óptica, diferencia en la microestructura, al soldar con corto circuito o con spray a igual entrada de calor.

La diferencia en los valores de resistencia y ductilidad de las platinas soldadas con corto circuito y con spray no es muy marcada.

PALABRAS CLAVES

GMAW, Transferencia de Metal, Propiedades Mecánicas, Corto circuito, Spray.

ABSTRACT

Single-pass welds were deposited in ASTM A36 plate steel, using three different heat inputs. An electrode ER 70S-3 was used. The purpose of this was to compare the microstructure and the tension properties on weld zone and on the heat affected zone, using spray transfer and short circuit in the GMAW process.

No difference were detected in the microstructure under optical microscope for both : spray and short circuit with the same heat input.

In the same way, the difference between strength and ductility of the welded plates with spray and short circuit is light.

KEY WORDS

GMAW, Metal transfer, Mechanical properties, Short circuit, Spray.

1. INTRODUCCIÓN

La manera como viaja el metal a través del arco de soldadura para depositarse en la unión constituye lo que se conoce como transferencia de metal. Cada tipo de transferencia de metal en un proceso de soldadura, corresponde a un determinado comportamiento físico del arco de soldadura. Estas características conllevan a diferencias en el efecto que tiene sobre la junta soldada la energía involucrada en el proceso.

En el proceso GMAW se han identificado tres transferencias principales: globular, spray, y corto circuito.^{1,2,3,4} Es característico de este proceso el poder seleccionar el tipo de transferencia deseado.

En la transferencia spray el metal viaja a través del arco en forma de gotas pequeñas y consecutivas en la dirección del eje del electrodo, sin estar unidas entre si. El diámetro de la gota es menor o igual al diámetro del electrodo.^{2,4} El estrangulamiento de las gotas y su dispersión se regula por las fuerzas

* Gas Metal Arc Welding. Soldadura con arco eléctrico y protección gaseosa.

electromagnéticas. Para obtener este tipo de transferencia es necesario aplicar altas densidades de corriente (el valor depende del diámetro del electrodo) y una protección gaseosa rica en argón o argón puro.

En la transferencia por corto circuito la velocidad de alimentación del electrodo es más alta que la velocidad de fusión, por lo tanto el extremo del electrodo hace contacto con la pieza extinguiendo el arco, lo que ocasiona la reducción del voltaje del arco e incrementa el valor de la corriente rápidamente, ayudando a la fusión del electrodo. Una vez se desprende la gota del electrodo, el arco se reenciende y el voltaje sube nuevamente a su valor pico mientras la corriente disminuye. La extinción y generación del arco puede ocurrir entre 20 y 200 veces por segundo dependiendo de los parámetros eléctricos seleccionados.¹ Este tipo de transferencia se presenta empleando bajas densidades de corriente y CO₂ como gas de protección, o mezclas ricas en CO₂ o helio.⁴ La característica de la transferencia globular, es la formación de grandes gotas en el extremo del electrodo, de un diámetro mayor que el diámetro del electrodo. La gota crece en la punta del electrodo hasta que la fuerza de la gravedad sobrepasa la tensión superficial, momento en el cual se desprende. En argón ocurre a corrientes de soldadura relativamente bajas, pero eventualmente puede ocurrir con todos los tipos de gases de protección usados en GMAW⁴.

Con el objetivo de entender como los fenómenos propios de la transferencia de metal, en el proceso de soldadura GMAW, afectan las características de la pieza de trabajo, se desarrolló un estudio de las propiedades mecánicas estáticas (resistencia y ductilidad) comparando estas propiedades cuando se solda con las transferencias spray y corto circuito.

Para analizar la energía involucrada en el proceso, principalmente de cómo ésta afecta las propiedades del metal que se está soldando, utilizaremos el concepto de entrada de calor, que es el calor introducido por unidad de longitud de soldadura desde una fuente viajera tal como un arco, expresado en joules por metro.¹ En un arco de soldadura, como primera aproximación tenemos:

$$H = EI / v \quad (1)$$

donde:

H: entrada de calor, J/mm

E: voltaje del arco, voltios

I: intensidad de corriente a través del arco, Amperios.

V: velocidad de desplazamiento del arco en la dirección de la soldadura, mm/s

Esta expresión no es en realidad el calor que entra en la pieza de trabajo, es el calor generado por el arco. Parte de este calor se disipa por convección, radiación y conducción, provocando que a la junta llegue una fracción del mismo. La fracción neta de calor que llega a la pieza (H_{net}) esta relacionada con el calor total generado (H) por un factor (f₁) de eficiencia de transferencia de calor así:

$$H_{\text{net}} = f_1 H = f_1 (EI / v) \quad (2)$$

f₁ varía poco para un proceso particular de soldadura, en GMAW esta entre 0.8 y 0.9.⁵ Como el presente trabajo es comparativo no hay ningún error al tomar el valor de f₁ como 1, así la entrada neta de calor se trabajará según la ecuación (1).

2. TRABAJO EXPERIMENTAL

El objetivo de este trabajo es comparar las microestructuras y las propiedades de resistencia a la tracción y ductilidad, (medidas como porcentaje de alargamiento y de reducción de área), de probetas soldadas mediante dos tipos de transferencia de metal: spray y corto circuito.

2.1. MATERIALES

El metal base trabajado fue el acero estructural ASTM A36 laminado en caliente, en platinas de 6.3mm por 76.2mm. y de 9.52mm por 76.2 mm. Su composición, determinada por espectrometría, es la siguiente:

Tabla 1 Composición química del metal base

%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cu	%Cr	%Ni	%Mo
0.195	0.730	0.190	0.03	0.019	0.33	0.16	0.09	0.02

El metal de aporte es el alambre electrodo ER70S-3 de 0.9 mm. de diámetro, especificado para GMAW, y suministrado por la West Arco con las siguientes características:

Tabla 2 Composición química del metal de aporte.

%C	%Mn	%Si	%P	%S
0.10	1.10	0.54	0.014	0.09

Resistencia a la tracción 494 - 549 MPa

Porcentaje de alargamiento en 50 mm. 22%

El gas de protección para trabajar con la transferencia spray es una mezcla 95% Ar + 5% CO₂. Para la transferencia de corto circuito se utiliza 75% Ar + 25% CO₂.

2.2 PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

Se trabajaron seis procedimientos de soldadura, tres con la transferencia spray y tres con corto circuito. Correspondiendo cada uno de los tres procedimientos de cada transferencia a tres valores de entrada de calor. Estos procedimientos se numeraron del 01 al 06 y se resumen en las tablas 3 y 4.

El estudio de la zona fundida se desarrolló con las platinas de 9.52 mm. de espesor. Las platinas de 6.35 mm. de espesor se utilizaron para estudiar la zona afectada termicamente.

Las probetas se obtuvieron depositando un cordón de un solo pase sobre una platina. Para los procedimientos del IS-01 a el IS-04 la platina no tiene ninguna preparación, para los procedimientos IS-05 e IS-06 se le hizo una ranura en forma de v de 90° y 3 mm. de profundidad.

Tabla 3 Número de los procedimientos de soldadura según la entrada de calor y el tipo de transferencia.

Procedimiento #	Tipo de transferencia	Entrada de calor en kJ/mm
IS - 01	Corto circuito	3.15
IS - 02	Spray	3.5
IS - 03	Corto circuito	1.45
IS - 04	Spray	1.25
IS - 05	Corto circuito	0.80
IS - 06	Spray	0.78

Tabla 4 Parámetros de soldadura de los procedimientos.

Entrada de calor promedio	3.3 aprox kJ/mm	1.3 aprox kJ/mm	0.8 aprox kJ/mm
Transferencia			
Corto circuito	Corriente 150 A Voltaje 21 V Velocidad avance 1mm/s IS - 01	Corriente 150 A Voltaje 21 V Velocidad avance 2.2mm/s IS - 03	Corriente 150 A Voltaje 21 V Velocidad avance 3.9mm/s IS - 05
Spray	Corriente 215 A Voltaje 34 V Velocidad avance 2.08mm/s IS - 02	Corriente 215 A Voltaje 34 V Velocidad avance 5.9mm/s IS - 04	Corriente 215 A Voltaje 34 V Velocidad avance 9.3mm/s IS - 06

2.3. ENSAYOS DE TRACCIÓN

De cada uno de los seis procedimientos de soldadura en estudio se maquinaron cuatro probetas de tracción según los métodos normalizados de la AWS B4.0⁶, con una sección reducida de 2.9 mm. de diámetro y 15.9 mm de longitud. Dos de las probetas de tracción corresponden a la zona afectada térmicamente y las otras dos a la zona fundida.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 MICROESTRUCTURA

En cada una de las diferentes zonas metalúrgicas se observa el mismo tipo de microestructura, en cuanto al tamaño y el tipo de microconstituyentes, independientemente de la transferencia. Esto ya lo había formulado Claudia Serna en su trabajo.⁸ La diferencia radica en los tamaños relativos de estas zonas, a mayor entrada de calor, mayores áreas transversales de la zona afectada térmicamente y de la zona fundida. En la figura 1 se presentan las micrografías de las observaciones

En la figura 1 (a) se observa la zona fundida (ZF). Constituida de ferrita en borde de grano. Placas

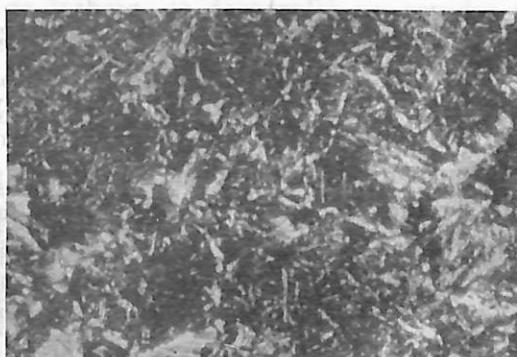
laterales de ferrita, desarrolladas a partir de ferrita en borde de grano, o de los límites de lo que fueron granos austeníticos. Ferrita acicular al interior de las líneas formadas por la ferrita en borde de grano. En las regiones entre las placas laterales de ferrita, y las agujas de ferrita acicular se presentaron agregados de carburo y partículas MA^{7,9}. (Martensita, austenita)

En la figura 1(b) se observa la zona de grano grueso (ZGG) de la zona afectada térmicamente. Constituida de ferrita en borde de grano delineando lo que eran los granos de austenita antes de esta haber transformado a ferrita. Placas laterales de ferrita. Al interior de esta malla se forma ferrita acicular, mezclada con agregados de carburo (zona oscura). En algunos puntos se forma ferrita poligonal, y una muy pequeña cantidad de perlita.

En la zona de grano fino (ZGF), figura 1 (C), la zona de transformación parcial (ZTP), figura 1 (D) y el metal base no afectado (MB), figura 1 (E) se presentan

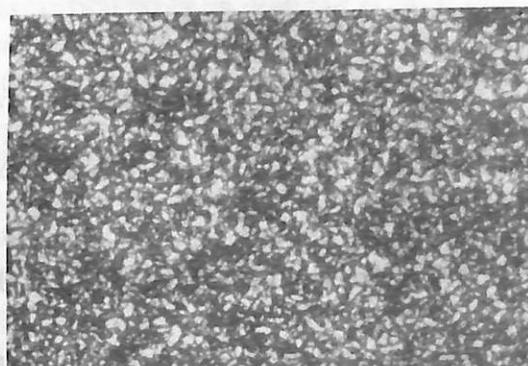


(A) ZF.

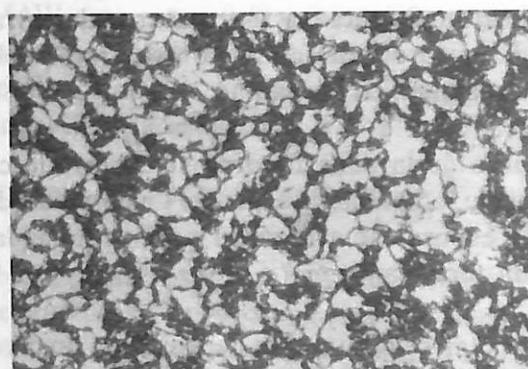


(B) ZGG.

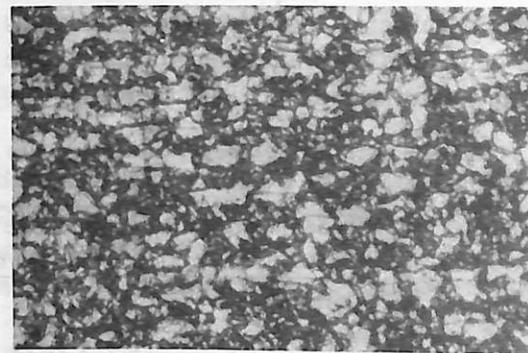
granos equiaxiales de ferrita (zonas claras) y colonias de perlita (zonas oscuras). La microestructura más fina de todas es la de la ZGF. En la ZTP se encuentran granos de ferrita muy finos mezclados con granos de perlita fina, esta ferrita y perlita se halla en regiones específicas donde se produjo la transformación a austenita. Además existen granos de ferrita gruesos, los cuales provienen del metal base, que no alcanza a transformar a austenita.



(C) ZGF



(D) ZTP.



(E) Metal base no afectado.

Figura 1 Micrografías. Todas las figuras a 105 X. Nital al 2 %.

3.2. PROPIEDADES MECÁNICAS

Tabla 5. Propiedades mecánicas de la zona fundida

Propiedad	Resistencia a la tracción MPa	Porcentaje de alargamiento en 12 mm	Porcentaje de estricción
Probeta #			
IS - 01	549	35%	67.6%
IS - 02	490	28%	61.5%
IS - 03	556	31%	71.4%
IS - 04	593	27%	63.6%
IS - 05	653	25%	71.4%
IS - 06	623	13%	54.8%

Tabla 6. Propiedades mecánicas de la zona afectada térmicamente. La probeta 00 corresponde al metal base en estado de entrega

Propiedad	Resistencia a la tracción MPa	Porcentaje de alargamiento en 12 mm	Porcentaje de estricción
Probeta #			
00	497	36%	71.4%
IS - 01	542	38%	68.6%
IS - 02	549	29%	65.6%
IS - 03	556	31%	67.6%
IS - 04	586	32%	66.6%
IS - 05	534	30%	63.6%
IS - 06	586	28%	65.5%

Si analizamos la figura 2. La resistencia a la tracción de la zona fundida disminuye a medida que aumenta la entrada de calor. Mientras la ductilidad (con base en los porcentajes de estricción y de alargamiento) aumenta al aumentar la entrada de calor. Es notorio que para igual entrada de calor son mas dúctiles las probetas soldadas con corto circuito que aquellas soldadas con spray. Las diferencias de resistencia entre las dos transferencias son muy pequeñas. Estas diferencias son de 10.7%, 6.2% y 4.6% para las entradas de calor de 2.6, 1.1 y 0.6 kJ/mm. respectivamente. Para las entradas de calor de 2.6 y 0.6 kJ/mm. la transferencia corto circuito es un poco mas resistente que la spray, y para la de 1.1 kJ/mm. es un poco mas resistente la spray.

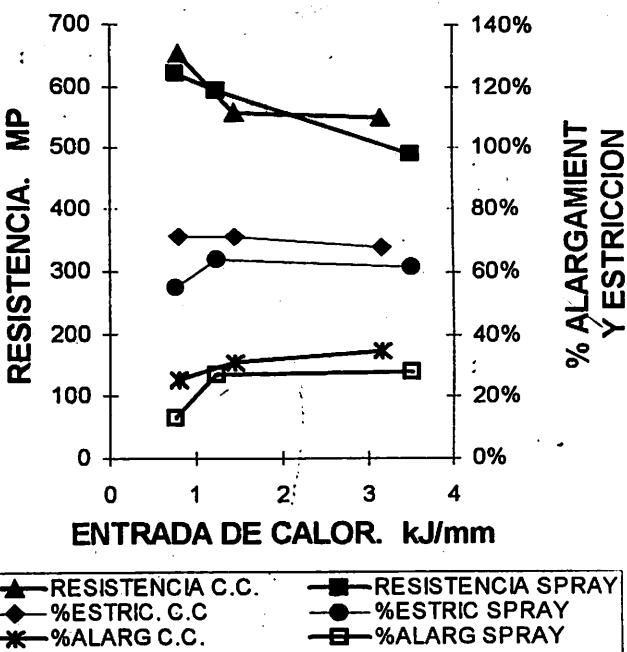


Figura 2. Propiedades mecánicas de la zona fundida para diferentes entradas de calor

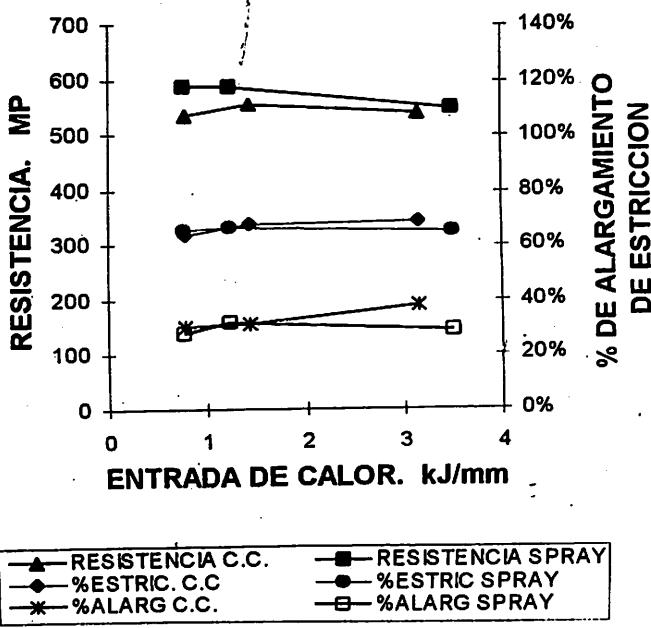


Figura 3. Propiedades mecánicas de la zona afectada térmicamente para diferentes entradas de calor.

De la figura 3 se observa que hay una tendencia a que disminuya la resistencia a medida que aumenta la

entrada de calor. Al tiempo que hay un pequeño aumento de la ductilidad (los porcentajes de estricción y alargamiento) al aumentar la entrada de calor.

Se observa que a igual entrada de calor es un poco mas resistente la transferencia spray que la de corto circuito, entre el 1 y el 9% mayor.

Es muy importante tener en cuenta que los análisis de los valores obtenidos solo representan tendencias generadas por un limitado número de puntos muestrales. Por esto no se deben tomar las líneas que unen los puntos muestrales en las figuras 3 y 4 como líneas que describen una variación continua de las propiedades en estudio.

Por las condiciones muy particulares del estudio experimental, el pequeño tamaño de la población muestral y la no muy marcada diferencia en los valores, se genera cierta incertidumbre sobre cuales de las tendencias observadas son generalizables.

4. CONCLUSIONES

- Existe la tendencia a la disminución de la resistencia a la tracción a medida que aumenta la entrada de calor, tanto en la zona fundida como en la afectada térmicamente.
- La ductilidad tiende a ser mayor a mayores entradas de calor, esto para las zonas fundida y afectada térmicamente.
- A igual entrada de calor. Es un poco mas resistente la transferencia spray que la de corto circuito en la zona afectada térmicamente. En la zona fundida es mas dúctil la transferencia por corto circuito que la spray.
- Para iguales tipos de zonas metalúrgicas, e igual entrada de calor, se observaron idénticas microestructuras, en cuanto al tamaño y el tipo de microconstituyentes, independiente de la transferencia.

4. REFERENCIAS

1. AMERICAN WELDING Society. Welding Handbook: Welding processes. 8 ed. Miami: AWS, 1991. Vol 2. 638 p.
2. LANCASTER J.F. The phisics of welding. Gran Bretaña: Pergamon, 1984. 297 p.
3. AMERICAN SOCIETY for Metals. Metals handbook: Welding Brazing and Soldering. 9 ed. Ohio: ASM, 1978. Vol 6. 1152 p.
4. HOWARD B., Cary. Manual de soldadura moderna. 2 ed. México: Printice-Hall, 1992. Tomo I. 256 p.
5. WASZINK J.H Y VAN DEN HEUVEL J.P.M. Heat generation and heat flow in the filler metal in GMA welding. En: Welding journal. (1984). P 269 s.
6. AMERICAN WELDING Society. Standard methods for mechanical testing of welds. Miami: AWS, 1974. P 60.
7. HOEKSTRA S. Y SCHMIDT. Van de Burg. Microstructure and notch toughness of ferritic weld metal. En: Metal construction. (dic. 1986). P 771-775.
8. SERNA G. Claudia Patricia. Análisis de la incidencia de la transferencia por aspersión (spray) en la metalurgia de la soldadura GMAW (MIG). Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 1994. P 134.
9. GLOVER, A.G., McGRATH, J.T., Tinkler, M.J., y Weatherly G.C. The influence of cooling rate and composition on weld metal microstructures in a C/Mn and a HSLA steel. En : Welding Journal. Vol 56 (Nº 9), 1977. P267s-273s.