

4.3. PROCESOS DE SOLDADURA

Los procesos de soldadura se dividen en dos categorías principales: 1) soldadura por fusión, en la cual se obtiene una fusión derritiendo las dos superficies que se van a unir, y en algunos casos añadiendo un metal de aporte a la unión; y 2) soldadura de estado sólido, en la cual se usa calor o presión o ambas para obtener la fusión, pero los metales base no se funden ni se agrega un metal de aporte.

La soldadura por fusión es la categoría más importante e incluye: 1) la soldadura con arco eléctrico, 2) la soldadura por resistencia, 3) la soldadura con oxígeno y gas combustible y 4) otros procesos de soldadura por fusión (los que no pueden clasificarse en alguno de los primeros tres tipos). Los procesos de soldadura por fusión se analizan en las cuatro secciones siguientes, que cubren las operaciones de soldadura de estado sólido. Y posteriormente, examinamos temas relacionados con todas las operaciones de soldadura: calidad de la soldadura, soldabilidad y diseño para soldadura.

4.3.1. SOLDADURA CON ARCO ELÉCTRICO

La *soldadura con arco eléctrico*, SAC (*arc welding* en inglés, AW), es un proceso de soldadura en el cual la unión de las partes se obtiene por fusión mediante el calor de un arco eléctrico entre un electrodo y el material de trabajo.

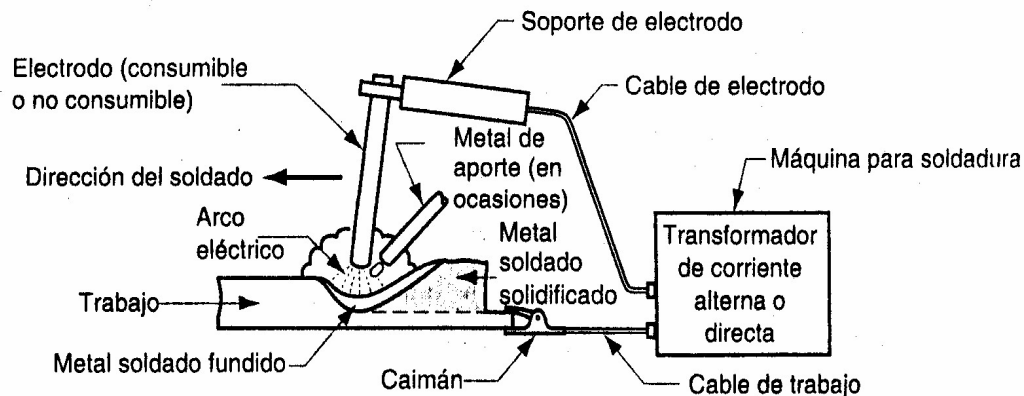


Figura 4.9 Configuración básica y Circuito eléctrico de un Proceso de soldadura Con arco eléctrico.

Un proceso de AW general se muestra en la figura 4.9 Un arco eléctrico es una descarga de corriente eléctrica a través de una separación en un circuito. Se sostiene por la presencia de una columna de gas térmicamente ionizada (denominada plasma) a través de la cual fluye la corriente. En un proceso de AW, el arco eléctrico se inicia al acercarse el electrodo a la pieza de trabajo, después del contacto el electrodo se separa rápidamente de la pieza a una distancia corta. La energía eléctrica del arco eléctrico así formado produce temperaturas de 5500°C o mayores, que son lo suficientemente calientes para

fundir cualquier metal. Se forma un pozo de metal fundido, que consiste en metal(es) base y metal de aporte (si se usa uno), cerca de la punta del electrodo. En la mayoría de los procesos de soldadura con arco eléctrico, se agrega un metal de aporte durante la operación para aumentar el volumen y fortalecer la unión soldada. Conforme el electrodo se mueve a lo largo de la unión, el pozo de metal fundido se solidifica de inmediato.

El movimiento del electrodo se consigue ya sea mediante una persona que solda (soldadura manual) o por medios mecánicos (soldadura con máquina, soldadura automática o soldadura robótica). Un aspecto problemático de la soldadura manual con arco eléctrico es que la calidad de la unión fundida depende de la habilidad y ética de trabajo del soldador. La productividad también es un aspecto de la soldadura con arco eléctrico. Con frecuencia se mide la productividad como tiempo de arco eléctrico, que es la proporción de las horas trabajadas en las que se obtiene una soldadura con arco eléctrico.

Esto es:

$$\text{Duracion del arco} = \frac{\text{Tiempo en que el arco electrico esta encendido}}{\text{Horas trabajadas}} \quad 4.7$$

Esta definición de productividad puede aplicarse a un soldador individual o a una estación de trabajo mecanizada. Para la soldadura manual, el tiempo de arco eléctrico es por lo general de un 20%. Se requieren periodos de descanso frecuentes para que el soldador supere la fatiga en la soldadura manual con arco eléctrico, la cual establece condiciones de tensión en la coordinación manual-visual. La duración del arco eléctrico aumenta al rededor del 50% (mas o menos, dependiendo de la operación) para la soldadura con maquina, automática y robótica.

4.3.1.1. Tecnología general de la soldadura con arco eléctrico

Antes de describir los procesos individuales de soldadura con arco eléctrico, es conveniente examinar algunos de los aspectos técnicos que se aplican a estos procesos.

Electrodos Los electrodos que se usan en los procesos de AW se clasifican como consumibles y no consumibles.

Los electrodos consumibles contienen el metal de aporte en la soldadura con arco eléctrico; están disponibles en dos formas principales: varillas (también llamados bastones) y alambres. Las varillas para soldadura normalmente tienen una longitud de 225 a 450 mm y un diámetro de 9.5 mm ó menos. El problema con las varillas de soldadura consumibles, al menos en las operaciones de producción, es que deben cambiarse en forma periódica, reduciendo el tiempo de arco eléctrico del soldador. El alambre para soldadura consumible tiene la ventaja de que puede alimentarse en forma Continua al pozo de soldadura desde bobinas que contienen alambres en grandes cantidades, con esto se evitan las interrupciones

frecuentes que ocurren cuando se usan las varillas para soldadura. Tanto en forma de varilla como de alambre, el arco eléctrico consume el electrodo durante el proceso de soldadura y éste se añade a la unión fundida como metal de relleno.

Los electrodos de varilla se clasifican en base a las propiedades mecánicas del metal depositado, tipo de recubrimiento, posiciones en las que se puede emplear el electrodo y tipo de corriente y polaridad a emplear. El sistema de clasificación empleado para electrodos recubiertos sigue el modelo empleado por la AWS. De acuerdo con este sistema, la clasificación de un electrodo se designa con la letra "E" y con cuatro o cinco dígitos. La letra "E" significa electrodo, los dos o tres primeros dígitos indican la resistencia a la tracción del metal depositado en miles de libras por pulgada cuadrada, el tercer o cuarto dígito indica las posiciones en las que debe emplearse el electrodo y el último dígito se relaciona con las características del recubrimiento, la escoria, con el tipo de corriente y a polaridad a emplear.

De acuerdo con esto, los diferentes dígitos en los electrodos con clasificación:

E 6 0 1 0

tiene el siguiente significado:

E = Electrodo.

60 = Resistencia mínima a la tensión de 60,000 lb/pulg²

1 = Para ser empleado en todas las posiciones

E XX1X = Cualquier Posición (De piso, horizontal, sobre cabeza y vertical)

E XX2X = Horizontal y de piso solamente

E XX3X = De piso solamente

E XX4X = De piso, sobre cabeza, horizontal y vertical hacia abajo.

0 = Es un electrodo con recubrimiento de alto contenido de celulosa y con base de sodio y que debe emplearse con corriente directa y polaridad invertida. (Para mas detalle remítase a la tabla 4.3)

En algunas clasificaciones de electrodos existen adicionalmente dos digito (6) y (7) **E-XXXX-X₆X₇** que identifican el tipo de elemento que resulta después de la soldadura, ejemplo

E – 7018 - Mo

E = Electrodo

70 = Resistencia mínima a la tensión de 70,000 lb/pulg²

1 = Cualquier posición, (de piso, horizontal, vertical y sobre cabeza)

8 = AC o DCEP Corriente Alterna o Corriente Directa con electrodo positivo"+"

Mo = Molibdeno en el material después de depositado

TABLA 4.3 Clasificación de los electrodos

CLASIF.	CORRIENTE	ARCO	Penetración	Fundente y Escoria
EXXX0	DCEP	Penetrante	Profunda	Celuloso - Sodio (0 - 10% de polvo de Hierro)
EXXX1	AC o DCEP	Penetrante	Profunda	Celuloso - Potasio (0% de Polvo de Hierro)
EXXX2	AC o DCEN	Mediano	Mediana	Titanio - Sodio (0 - 10 % de Polvo de Hierro)
EXXX3	AC o DCEN o DCEP	Suave	Ligera	Titanio - Potasio (0 - 10% de Polvo de Hierro)
EXXX4	AC o DCEN o DCEP	Suave	Ligera	Titanio - Polvo de Hierro (25 - 40% de Polvo de Hierro)
EXXX5	DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Sodio (0% de Polvo de Hierro)
EXXX6	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Potasio (0% de Polvo de Hierro)
EXXX8	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Polvo de Hierro (25 - 40% de Polvo de Hierro)
EXX20	AC o DCEN	Mediano	Mediana	Oxido de Hierro - Sodio (0% de Polvo de Hierro)
EXX22	AC o DCEN o DCEP	Mediano	Mediana	Oxido de Hierro - Sodio (0% de Polvo de Hierro)
EXX24	AC o DCEN o DCEP	Suave	Ligera	Titanio - Polvo de Hierro (50% de Polvo de Hierro)
EXX27	AC o DCEN o DCEP	Mediano	Mediana	Oxido de Hierro - Polvo de Hierro (50% de polvo de Hierro)
EXX28	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Polvo de Hierro (50% de polvo de Hierro)
EXX48	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Polvo de Hierro (25 - 40% de Polvo de Hierro)
DCEP - Corriente Directa Electrodo Positivo DCEN - Corriente Directa Electrodo Negativo				
Nota: El porcentaje del polvo de Hierro esta calculado en base al peso del fundente				

Consideraciones para la selección de electrodos. La selección de electrodos para una aplicación específica, en términos generales, se basa en los siguientes factores:

- Propiedades mecánicas del metal base a soldar
- Composición química del metal base a soldar
- Espesor y forma del metal base a soldar.
- Especificaciones y condiciones de servicio de la estructura a fabricar.
- Tratamiento térmico que se aplicará a la estructura a fabricar
- Posiciones de soldadura posibles durante la fabricación
- Tipo de corriente de soldadura y polaridad a emplear.
- Diseño de la unión.
- Eficiencia en la producción y condiciones de trabajo.
- En el caso particular de los aceros de alta resistencia o los inoxidables, la selección de electrodos generalmente está limitada a uno o dos electrodos diseñados específicamente para dar una composición química determinada en el metal depositado.
- En el caso de los aceros al carbono y de baja aleación, la selección de electrodos debe basarse, además de la composición química y resistencia mecánica del metal de soldadura, en otras características de los electrodos. Esto se debe a que para aceros al carbono y de baja aleación, hay varios tipos diferentes de electrodos que pueden proporcionar la misma composición química en el metal de soldadura. En este caso, el electrodo se selecciona para obtener la calidad deseada

al más bajo costo, esto es, el electrodo a elegir es aquel que permite la más alta velocidad de soldadura para cada unión en particular.

Electrodos para "Solidificación rápida" Son aquellos diseñados para depositar metal de soldadura que solidifique rápidamente después de haber sido fundido por el arco. Estos electrodos sirven para soldar en posiciones verticales y sobre cabeza (además de la plana y la horizontal). Electrodos pertenecientes a esta clasificación: **E-6010**, **E-6011**, **E-7010-A1**, **E-7010-G**, sus principales características son:

- Alta penetración.
- Son de "bajo depósito".
- Dejan poca escoria.
- Producen mucho chisporroteo
- Se utilizan con corriente relativamente baja.
- Aplicaciones principales: propósitos generales de fabricación y mantenimiento, para posiciones vertical y sobre-cabeza, soldadura en tuberías, soldadura sobre superficies galvanizadas o no muy limpias, uniones que requieren alta penetración, soldadura de láminas delgadas en juntas de borde, esquina y a tope.

Electrodos para "Llenado rápido" Estos electrodos están diseñados para proporcionar cantidades relativamente altas de metal fundido y son adecuados para realizar soldadura de "alta velocidad". El metal de soldadura solidifica con relativa lentitud y por esta razón, estos electrodos no son adecuados para realizar soldaduras fuera de posición. Electrodos pertenecientes a esta clasificación: **E-7024**, **E-6027**, **E-7020-A1**, sus principales características son:

- Poca penetración
- Proporcionan "alto depósito"
- Permiten velocidades de soldadura relativamente elevadas.
- Producen mucha escoria.
- Producen muy poco chisporroteo.
- Aplicaciones principales: soldadura de planchas de 5 mm. (3/16") o mayor espesor, soldaduras de filete en posiciones horizontal y plana y soldaduras de ranura profunda en uniones a tope, soldaduras de acero de mediano contenido de carbono y con tendencia al agrietamiento (cuando no se dispone de electrodos de bajo hidrógeno).

Electrodos para "Llenado-Solidificación" Estos electrodos están diseñados para proporcionar características intermedias entre los electrodos para solidificación y llenado y proporcionar así relaciones de depósito y penetración "medianas". Electrodos pertenecientes a esta clasificación: **E-6012**, **E-6013**, **E-6014**, sus características principales son:

- De penetración y llenado medianos.
- Producen cantidades medianas de chisporroteo y escoria.

- Principales aplicaciones: soldaduras de filete en posición vertical descendente, propósitos generales, soldaduras cortas o irregulares que cambian de posición o dirección durante la aplicación, soldaduras de filete en láminas delgadas.

Electrodos de bajo hidrógeno Estos electrodos están diseñados para producir soldaduras de alta calidad en aplicaciones en las cuales el metal base tiene tendencia al agrietamiento, los espesores a soldar son relativamente grandes (mayores a 19 mm.) o cuando el metal base tiene un contenido de aleantes ligeramente mayor al de los aceros dulces. Los electrodos de bajo hidrógeno están disponibles ya sea con las características de llenado rápido o solidificación rápida. Electrodos pertenecientes a esta clasificación: **E-7018 y E-7028**.

Los electrodos no consumibles están hechos de tungsteno (o algunas veces de carbono), los cuales resisten la fusión mediante el arco eléctrico. A pesar de su nombre, un electrodo no consumible se desgasta gradualmente durante el proceso de soldadura (la vaporización es el mecanismo principal) y ocurre en forma similar al desgaste gradual de una herramienta de corte en una operación de maquinado. Para los procesos de AW que utilizan electrodos no consumibles, cualquier metal de relleno usado en la operación debe proporcionarse mediante un alambre separado que se alimenta dentro del pozo de soldadura.

Protección del arco eléctrico En la soldadura con arco eléctrico, las altas temperaturas provocan que los metales que se unen reacciones intensamente al oxígeno, nitrógeno e hidrógeno del aire. Las propiedades mecánicas de la unión soldada pueden degradarse seriamente por estas reacciones. Para proteger la operación de soldadura de este resultado no deseado, casi todos los procesos de soldadura con arco eléctrico proporcionan algún medio para proteger el arco del aire en el ambiente. Esto se logra cubriendo la punta del electrodo, el arco eléctrico y el pozo soldadura fundida con un manto de gas o fundente o ambos, lo que inhibe la exposición del metal soldado al aire,

Los gases de protección comunes incluyen el argón y el helio, pues ambos son inertes. En la soldadura de metales ferrosos con ciertos procesos de AW se usan oxígeno y dióxido de carbono, por lo general en combinación con argón o helio, para producir una atmósfera oxidante o para controlar la forma de la soldadura.

Un *fundente* es una sustancia usada para evitar la formación de óxidos y otros contaminantes no deseados o para disolverlos y facilitar su remoción. Durante la soldadura, el fundente se derrite y convierte en una escoria líquida, que cubre la operación y protege el metal de soldadura fundido. La escoria se endurece después del enfriamiento y debe removerse con cincel o cepillo. Por lo general un fundente está formado para cumplir con varias funciones adicionales que incluyen: 1) proporcionar una atmósfera protectora para la soldadura, 2) estabilizar el arco eléctrico y 3) reducir las salpicaduras.

El método de aplicación del fundente es diferente para cada proceso. Entre las técnicas de incorporación se encuentran: 1) vaciando el fundente granular en la operación de soldadura, 2) usando un electrodo de varilla cubierto con material fundente, en el cual el recubrimiento se derrite durante la

soldadura para cubrir la operación y 3) usando electrodos tubulares que contienen fundente en el núcleo, el cual se libera conforme se consume el electrodo. Estas técnicas se analizan mejor en las descripciones particulares de los procesos de AW.

Fuente de energía en la soldadura con arco eléctrico En la soldadura con arco eléctrico se usan tanto la corriente directa (DC) como la corriente alterna (AC). Las maquinas de AC son menos costosas de adquirir y operar, pero por lo general están limitadas a la soldadura de metales ferrosos. El equipo DC puede usarse en todos los metales con buenos resultados y generalmente destaca por un mejor control del arco eléctrico.

En todos los procesos de soldadura con arco eléctrico, la energía para conducir la operación es el producto de la corriente I que pasa por el arco eléctrico y el voltaje E a través de éste. Esta energía se convierte en calor, pero no todo el calor se transfiere a la superficie del trabajo. La convección, la conducción, la radiación y las salpicaduras representan pérdidas que reducen la cantidad de calor utilizable.

El efecto de las pérdidas se expresa mediante la eficiencia de transferencia de calor f_1 (sección 4.2.2). Algunos valores representativos de f_1 para varios procesos de soldadura con arco eléctrico se proporcionan en la tabla 4.4.

TABLA 4.4 Eficiencias de transferencia de calor para varios procesos de soldadura con arco eléctrico.

Procesos de soldadura con arco eléctrico ^a	Eficiencia de transferencia de calor f_1 típica
Soldadura metálica con arco protegido	0.9
Soldadura metálica con arco eléctrico y gas	0.9
Soldadura con núcleo de fundente	0.9
Soldadura con arco sumergido	0.95
Soldadura de tungsteno con arco eléctrico y gas	0.7

^a los procesos de soldadura con arco eléctrico se describen en la sección 4.3.1.2

La eficiencia de transferencia de calor es mayor para los procesos de soldadura con arco eléctrico que usan electrodos consumibles, debido a que gran parte del calor consumido para fundir el electrodo se transfiere subsecuentemente al trabajo como metal fundido. El proceso con el valor f_1 más bajo en la tabla 4.4 es la soldadura de tungsteno con arco eléctrico y gas, que usa un electrodo no consumible. La eficiencia de fusión f_2 (sección 4.2.2) reduce más el calor disponible para la soldadura. El equilibrio de energía resultante en la soldadura con arco eléctrico se define mediante:

$$HR_w = f_1 f_2 IE = U_m A_w v \quad 4.8$$

Donde:

$E =$ voltaje; en [V];

$I =$ corriente, en [A]

Y los otros términos se definen igual que en la sección 4.2.2. Las unidades de HR_w , que son el resultado de los amperes x voltaje son watts, que son iguales a joules/segundo.

EJEMPLO 4.3 Energía en la soldadura con arco eléctrico

Una operación de soldadura de tungsteno con arco eléctrico y gas se realiza a una corriente de 300 A y un voltaje de 20V. La eficiencia de fusión $f_2 = 0.5$ y la unidad de energía de fusión para el metal $U_m = 9$ J/mm³. Determine: a) la energía en la operación, b) la rapidez de generación de calor en la soldadura y c) la rapidez de volumen de metal fundido.

Solución: a) La energía en esta operación de soldadura con arco eléctrico es

$$P = I E = (300A)(20 V) = 6000 W$$

b) Considerando la tabla 4.4, la eficiencia de transferencia de calor $f_1 = 0.7$. La rapidez de calor que entra a la soldadora se proporciona mediante:

$$HR_w = f_1 f_2 I E = (0.7) (0.5) (6000) = 2100W$$

c) La rapidez volumétrica del metal fundido es:

$$WVR = \frac{2100 \text{ J/s}}{9 \text{ J/mm}^3} = 233.33 \text{ mm}^3 / s$$

4.3.1.2. Procesos de soldadura con arco eléctrico que usan electrodos consumibles

En esta sección se analizarán varios procesos importantes de soldadura con arco eléctrico que utilizan electrodos consumibles.

Soldadura metálica con arco protegido La *soldadura metálica con arco protegido* (en inglés *shielded metal arc welding, SMAW*), es un proceso de soldadura con arco eléctrico que usa un electrodo consumible y consiste en una varilla de metal de aporte recubierta con materiales químicos que proporcionan un fundente y protección. El proceso se ilustra en las figuras 4.10 y 4.11.

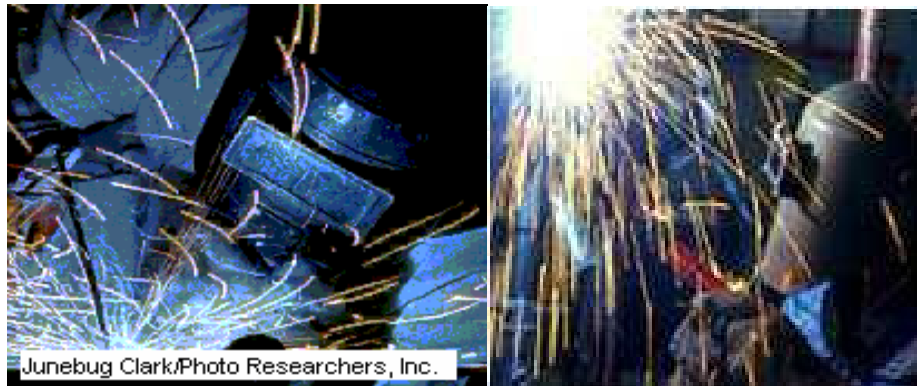


FIGURA 4.10 Soldadura metálica con arco protegido (soldadura de varilla) ejecutada por un soldador

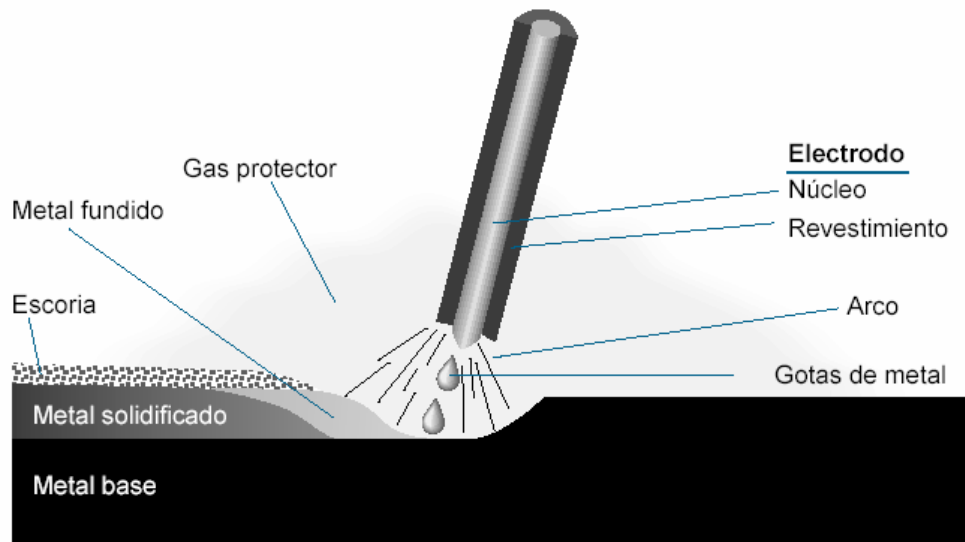


FIGURA 4.11 Soldadura metálica con arco protegido (SMAW)

En ocasiones, el proceso se denomina soldadura de varilla. La varilla de soldadura normalmente tiene una longitud entre de 230 a 460 mm y un diámetro de 2.5 a 9.5 mm. El metal de aporte usado en la varilla debe ser compatible con el metal que se va a soldar y, por tanto, la composición debe ser muy parecida a la del metal base. El recubrimiento consiste en celulosa pulverizada (polvos de algodón y madera) mezclados con óxidos, carbonatos y otros ingredientes integrados mediante un aglutinante de silicato. En ocasiones se incluyen en el recubrimiento polvos metálicos para aumentar la cantidad de metal de aporte y agregar elementos de aleación. El calor del proceso de soldadura funde el recubrimiento y proporciona una atmósfera protectora y escoria para la operación de soldadura. También ayuda a estabilizar el arco eléctrico y regula la velocidad a la que se funde el electrodo.

Durante la operación, el extremo de metal descubierto de la varilla de soldadura (que está en la otra punta de la soldadura) se sujeta en un soporte de electrodos conectado a la fuente de energía. El soporte tiene una manija aislada para que lo tome y manipule el soldador. Las corrientes que se usan regularmente en la SMAW varían entre 30 y 300 A y 15 a 45 V. La selección de los parámetros de energía adecuados depende de los metales que se van a soldar, del tipo y longitud del electrodo, así como de la profundidad de penetración de la soldadura requerida. El transformador de corriente, los cables de conexión y el soporte del electrodo pueden adquirirse en algunos miles de dólares.

Por lo general, la soldadura metálica con arco protegido se ejecuta en forma manual y sus aplicaciones comunes incluyen la construcción, instalación de tuberías, estructuras de maquinaria, construcción de embarcaciones, tiendas de manufactura y trabajos de reparación. Se prefiere sobre la soldadura con oxígeno y gas combustible para secciones más gruesas que 4.8 mm debido a su mayor densidad de energía. El equipo es portátil y de bajo costo, lo que convierte a la SMAW en el proceso más versátil y de mayor uso entre los procesos de AW. Los metales base incluyen los aceros, los aceros inoxidables, los hierros fundidos y ciertas aleaciones no ferrosas. No se usa o se emplea rara vez en aluminio y sus aleaciones, al igual que en las aleaciones de cobre y titanio.

La desventaja de la soldadura metálica con arco protegido como operación de producción proviene del uso de varillas de electrodos consumibles, porque éstos deben cambiarse en forma periódica a causa del desgaste. Esto reduce el tiempo de arco eléctrico en este proceso de soldadura. Otra limitación es el nivel de corriente que puede usarse, porque la longitud del electrodo varía durante la operación y ésta afecta el calentamiento de la resistencia del electrodo, los niveles de corriente deben mantenerse dentro de un rango seguro o el recubrimiento se sobrecalentará y fundirá prematuramente cuando se empiece a usar una nueva varilla de soldadura. Algunos de los otros procesos de soldadura con arco eléctrico superan las limitaciones de la longitud de la varilla de soldadura en este proceso, usando un electrodo de alambre que se alimenta en forma continua.

Soldadura metálica con arco eléctrico y gas o Soldadura MIG (metal inert gas) es también conocida como Gas Arco Metal o MAG La *soldadura metálica con arco eléctrico y gas*. SMAEG (en inglés *gas metal arc welding*, GMAW) es un proceso en el cual el electrodo es un alambre metálico desnudo consumible y la protección se proporciona inundando el arco eléctrico con un gas. El alambre desnudo se alimenta en forma continua y automática desde una bobina a través de la pistola de soldadura, como se ilustra en la figura 4.12. La figura 4.13 a) muestra una pistola de soldadura. En la GMAW se usan diámetros de alambre que van desde 0.8 a 6.4 mm, el tamaño depende del grosor de las partes que se van a unir y la velocidad de deposición deseada.

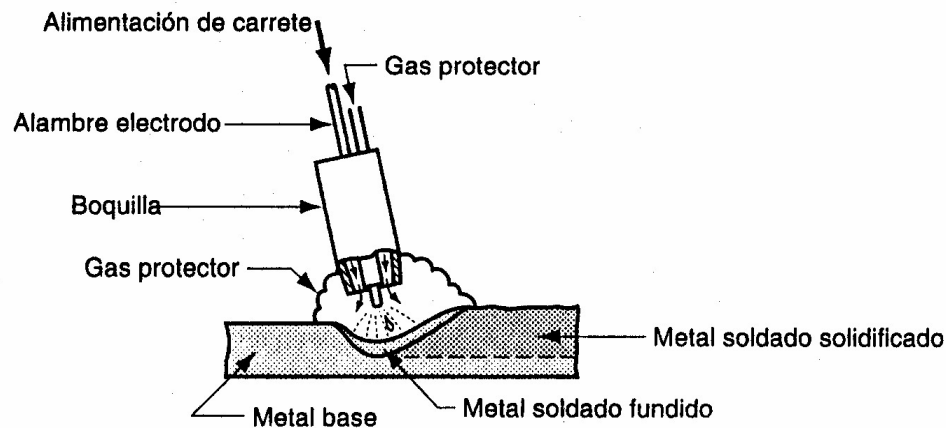


FIGURA 4.12 Soldadura metálica con arco eléctrico y gas (GMAW).

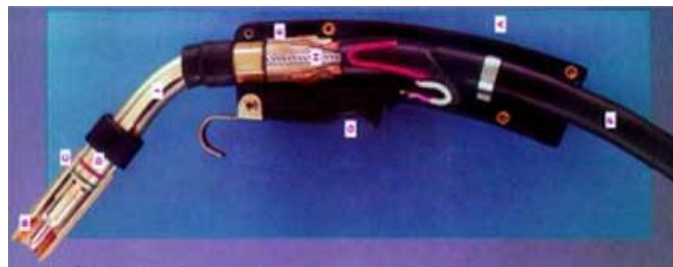


FIGURA 4.13 a) Pistola para soldadura metálica con arco eléctrico y gas.



Figura 4.13 b) Operación realizada mediante el proceso MIG.

Para protección se usan gases inertes como el argón y el helio y también gases activos como el bióxido de carbono. La elección de los gases (y sus mezclas) dependen del material que se va a soldar, al igual que de otros factores. Se usan gases inertes para soldar aleaciones de aluminio y aceros inoxidable, en tanto que normalmente se usa CO_2 para soldar aceros al bajo y mediano carbono. La combinación del alambre de electrodo desnudo y los gases protectores eliminan el recubrimiento de escoria en la gota de soldadura y, por tanto, evitan la necesidad del esmerilado y limpieza manual de la escoria. Por tal razón, el proceso de GMWA y gas es ideal para hacer múltiples pasadas de soldadura en la misma unión.

Los diferentes metales en los que se usa la soldadura GMAW y las propias variaciones del proceso han dado origen a diferentes nombres. La primera vez que se introdujo el proceso a fines de los años cuarenta, se aplicó a la soldadura de aluminio usando un gas inerte (argón) para protección del arco eléctrico. Este proceso recibió el nombre de *soldadura metálica con gas inerte*, SMGI (en inglés *MIG welding, metal inert gas welding*). Cuando este proceso de soldadura se aplicó al acero, se encontró que los gases inertes eran costosos y se usó CO_2 como sustituto. Por tanto, se aplicó el término de *soldadura con CO_2* . Algunos refinamientos en el proceso para la soldadura del acero condujeron, al uso de mezclas de gases, incluyendo dióxido de carbono y argón, e incluso oxígeno y argón.

El proceso MIG opera en DC (corriente continua) usualmente con el alambre como electrodo positivo. Esto es conocido como "Polaridad Negativa" (reverse polarity). La "Polaridad Positiva" (straight polarity) es raramente usada por su poca transferencia de metal de aporte desde el alambre hacia la pieza de trabajo. Las corrientes de soldadura varían desde unos 50 Amperios hasta 600 Amperios en muchos casos en voltajes de 15V hasta 32V, un arco auto-estabilizado es obtenido con el uso de un sistema de fuente de poder de potencial constante (voltaje constante) y una alimentación constante del alambre.

Continuos desarrollos al proceso de soldadura MIG lo han convertido en un proceso aplicable a todos los metales comercialmente importantes como el acero, aluminio, acero inoxidable, cobre y algunos otros. Materiales por encima de 0.76 mm de espesor pueden ser soldados en cualquier posición, incluyendo de piso, vertical y sobre cabeza.

Es muy simple escoger el equipo, el alambre o electrodo, el gas de la aplicación y las condiciones optimas para producir soldaduras de alta calidad a muy bajo costo.

El proceso básico MIG incluye tres técnicas muy distintas: Transferencia por "Corto circuito", transferencia "Globular" y la transferencia de "Arco Rociado" (Spray Arc). Estas técnicas describen la manera en la cual el metal es transferido desde el alambre hasta la soldadura fundida. En la transferencia

por corto circuito, también conocido como "Arco Corto", "Transferencia espesa" y "Micro Wire", la transferencia del metal ocurre cuando un corto circuito eléctrico es establecido, esto ocurre cuando el metal en la punta del alambre hace contacto con la soldadura fundida. En la transferencia por rociado (spray arc) diminutas gotas de metal fundido llamadas "Moltens" son arrancadas de la punta del alambre y proyectadas por la fuerza electromagnética hacia la soldadura fundida. En la transferencia globular el proceso ocurre cuando las gotas del metal fundido son lo suficientemente grandes para caer por la influencia de la fuerza de gravedad. Los factores que determinan la manera en que los moltens son transferidos son la corriente de soldadura, el diámetro del alambre, la distancia del arco (voltaje), las características de la fuente de poder y el gas utilizado en el proceso.

La soldadura MIG es un proceso versátil, con el cual se puede depositar soldadura a un rango muy alto y en cualquier posición. El proceso es ampliamente usado en laminas de acero de bajo y mediano calibre de fabricación y sobre estructuras de aleación de aluminio particularmente donde existe un alto requerimiento de trabajo manual o trabajo de soldador.

Desde su aparición en el mundo de la soldadura, todas las agencias de regulación y clasificación de los metales de aporte tomaron muy en serio este proceso y la creación de su propio código de clasificación fue indispensable, en el caso de la Sociedad Americana de Soldadura AWS, se crearon dos códigos por separado, uno para las aleaciones de bajo contenido de Carbón o también conocido como acero dulce y uno para las aleaciones de alto contenido de Carbón o donde la composición química final del material aportado fuera cambiada de forma dramática.

Clasificación AWS para los metales de aporte Electrodo de baja aleación de acero para soldadura de arco protegida por gas

ER₁ – XXX₂ S₃ – XXX₄

1. Las primeras dos letras identifican como alambre o varilla desnuda
2. Los tres primeros números indican la resistencia a la tracción en miles de libra/pulg²
3. La letra intermedia indica que el tipo de alambre es sólido.
4. Los últimos tres dígitos indican la Composición química del alambre

Lo que determina la ejecución correcta de este proceso es:

- La fluidez de la soldadura fundida.
- La forma del cordón de la soldadura y sus bordes.
- La chispa o salpicaduras que genera (Spatter).

Clasificación AWS para los metales de aporte Electrodo de acero al carbón para soldadura de arco protegida por gas

ER₁ – XX₂ S₃ – X₄

1. Las primeras dos letras identifican como alambre o varilla desnudas
2. Los tres primeros números indican la resistencia a la tracción en miles de libra/pulg²
3. La letra intermedia indica que el tipo de alambre es sólido.
4. Composición química del alambre

Un buen procedimiento de soldadura está caracterizado por la poca presencia de porosidad, buena fusión, y una terminación libre de grietas o quebraduras

La Porosidad, es una de las causas más frecuentemente citadas de una soldadura pobremente ejecutada, es causada por el exceso de oxígeno de la atmósfera, creada por el gas usado en el proceso y cualquier contaminación en el metal base, que, combinado con el carbón en el metal soldado forma diminutas burbujas de monóxido de carbono (CO). Algunas de estas burbujas de CO pueden quedar atrapadas en la soldadura fundida después que se enfría y se convierten en poros mejor conocidos como porosidad.

Control de la Porosidad Una suficiente desoxidación del cordón de soldadura es necesaria para minimizar la formación de monóxido de carbono CO y, por consiguiente, la porosidad. Para lograr esto, Algunos fabricantes han desarrollado alambres que contienen elementos con los cuales el oxígeno se combina preferentemente al carbón para formar escorias inofensivas. Estos elementos, llamados desoxidantes, son manganeso (Mn), silicón (Si), titanio (Ti), aluminio (Al), y zirconio (Zr).

Aluminio, titanio y zirconio son los desoxidantes más poderosos, quizás cinco veces más efectivos que el manganeso y el silicón, no obstante estos últimos dos elementos afectan de manera especial el proceso y por eso no son ampliamente utilizados, las cantidades de manganeso podrían variar desde 1.10% hasta 1.58% y en el caso del silicón desde un 0.52% hasta 0.87%.

Influencia del Gas y el Arco de la Soldadura El uso de Anhídrido Carbónico (CO₂) causa más turbulencias en la transferencia del metal del alambre al metal base con la tendencia a crear cordones de soldadura más abultados y un alto incremento de las salpicaduras.

Las mezclas de gases con bases de Argón (Ar) proveen transferencias de metales más estables y uniformes, buena forma del cordón de soldadura y las salpicaduras son reducidas al mínimo, además de un rango más bajo en la generación de humo.

Equipo para la soldadura MIG *Generador de soldadura* Los generadores más adecuados para la soldadura por el procedimiento MIG son los rectificadores y los convertidores (aparatos de corriente continua). La corriente continua con polaridad inversa mejora la fusión del hilo, aumenta el poder de penetración, presenta una excelente acción de limpieza y es la que permite obtener mejores resultados.

En la soldadura MIG, el calor se genera por la circulación de corriente a través del arco, que se establece entre el extremo del hilo electrodo y la pieza. La tensión del arco varía con la longitud del mismo. Para conseguir una soldadura uniforme, tanto la tensión como la longitud del arco deben mantenerse constantes. En principio, esto podemos lograrlo de dos formas; (1) Alimentando el hilo a la misma velocidad con que éste se va fundiendo; o (2), fundiendo el hilo a la misma velocidad con que se produce la alimentación.

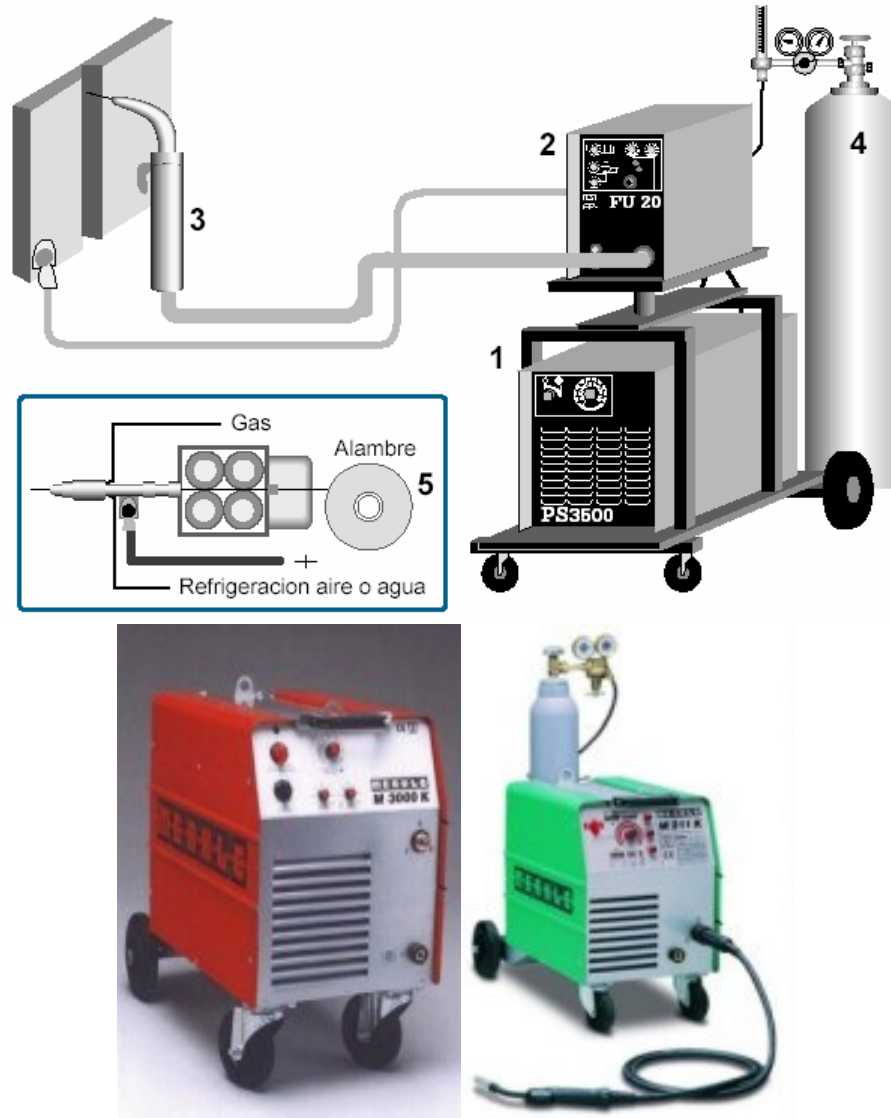
Diagrama esquemático del equipo MIG:

Figura 4.13 c) Equipo para soldadura MIG.

1. Una máquina soldadora.
2. Un alimentador que controla el avance del alambre a la velocidad requerida.
3. Una pistola de soldar para dirigir directamente el alambre al área de soldadura.
4. Un gas protector para evitar la contaminación del baño de fusión.
5. Un carrete de alambre del tipo y diámetro especificado.

Beneficios del sistema MIG.

1. No genera escoria.
2. Alta velocidad de deposición.
3. Alta eficiencia de deposición.
4. Fácil de usar.

5. Mínima salpicadura.
6. Aplicable a altos rangos de espesores.
7. Baja generación de humos.
8. Es económica.
9. La pistola y los cables de soldadura son ligeros haciendo más fácil su manipulación.
10. Es uno de los más versátiles entre todos los sistemas de soldadura.
11. Rapidez de deposición.
12. Alto rendimiento.
13. Posibilidad de automatización.



Figura 4.13 d)

Soldadura con arco sumergido De los métodos de soldadura que emplean electrodo continuo, el proceso de arco sumergido desarrollado simultáneamente en EE.UU. y Rusia a mediados de la década del 30, es uno de los más difundidos universalmente. La soldadura con arco sumergido. SAS (en inglés submerged arc welding, SAW), es un proceso que usa un electrodo de alambre desnudo consumible continuo, el arco eléctrico se protege mediante una cobertura de fundente granular. El alambre del electrodo se alimenta automáticamente desde un rollo hacia dentro del arco eléctrico. El fundente se introduce a la unión ligeramente adelante del arco de soldadura, mediante gravedad, desde un tanque alimentador, como se muestra en la figura 4.16

El manto de fundente granular cubre por completo la operación de soldadura con arco eléctrico, evitando chispas, salpicaduras y radiaciones que son muy peligrosas en otros procesos de soldadura con arco eléctrico. Por tanto, el operador de la soldadura no necesita usar la molesta máscara protectora que se requiere en otras operaciones (pero los anteojos de seguridad y guantes protectores son necesarios).

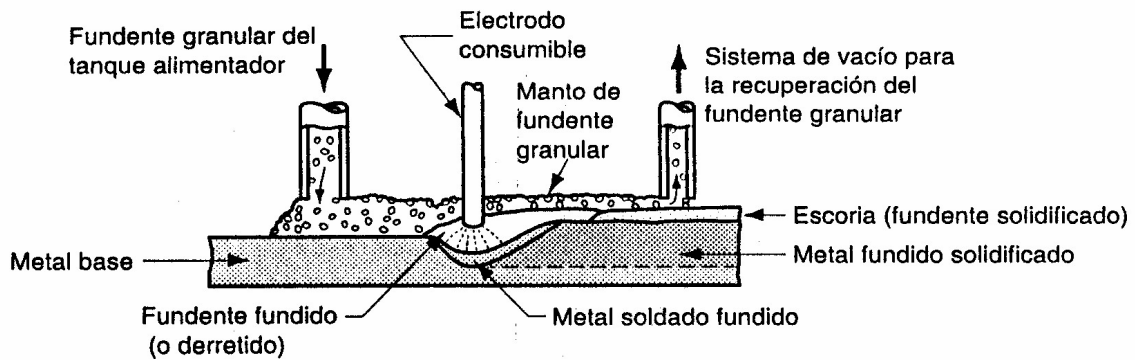


FIGURA 4.16 Soldadura con arco sumergido

La parte del fundente más cercano al arco se derrite y se mezcla con el metal de soldadura fundido, que después se solidifican en la parte superior de la unión soldada y forman una escoria con aspecto de vidrio. La escoria y los granos de fundente no derretidos en la parte superior proporcionan una buena protección de la atmósfera y un buen aislamiento térmico para el área de soldadura. Esto produce un enfriamiento relativamente bajo y una unión de soldadura de alta calidad cuyos parámetros de resistencia y ductilidad son notables. Como se aprecia en el esquema. El fundente no derretido que queda después de la soldadura puede recuperarse y reutilizarse. La escoria sólida que cubre la soldadura debe arrancarse, por lo general mediante medios manuales.

Principio de funcionamiento La corriente eléctrica se conduce entre el electrodo y la pileta fundida a través de un plasma gaseoso inmerso en el fundente. La potencia la suministra un generador, un transformador – rectificador ó un transformador y se conduce al alambre (electrodo) a través del tubo de contacto, produciéndose el arco entre aquel y el metal base. El calor del arco funde el electrodo, el fundente y parte del metal base, formando la pileta de soldadura que conforma la junta. En todos los equipos de este tipo existe un mecanismo que traciona el alambre y lo conduce a través del tubo de contacto y de la capa de fundente hasta el metal base. Los alambres utilizados son generalmente aceros de bajo carbono y de composición química perfectamente controlada; el alambre se encuentra usualmente enrollado en una bobina. El fundente se va depositando delante del arco a medida que avanza la soldadura. Cuando se solidifica, se extrae el exceso para utilizarlo nuevamente y el fundido se elimina mediante un piqueteado. En los equipos modernos existe una aspiradora que absorbe el excedente de fundente y lo envía nuevamente a la tolva de alimentación.

Alambre para electrodo El alambre para soldadura por arco sumergido se emplea en forma de bobinas y esté cobreado; esto evita la oxidación superficial en el almacenaje y proporciona seguridad en el contacto eléctrico; con poca resistencia entre el alambre de soldar y los contactos de cobre a través de los cuales se conduce la corriente. El diámetro del hilo utilizado depende fundamentalmente de la intensidad de corriente de soldadura necesaria y puede situarse entre 5mm de diámetro, para corriente de 150 A, a 10mm de diámetro, para una corriente de 3000 A. El cordón de soldadura es ligeramente más estrecho con un alambre delgado que con un alambre grueso con la misma intensidad de corriente,

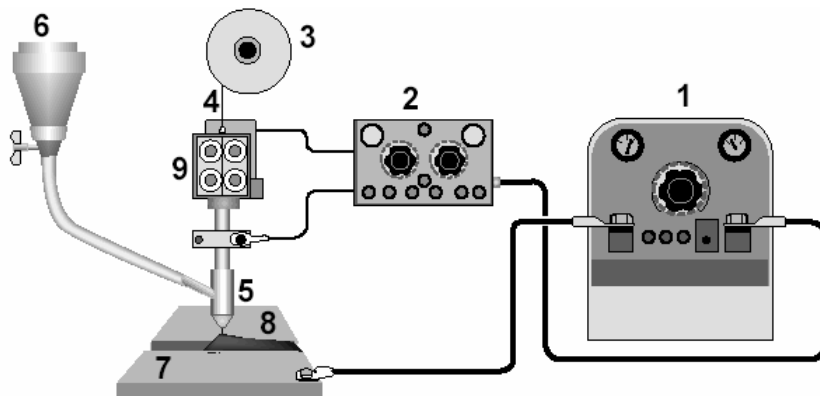
pero el efecto principal del tamaño del alambre reside en su penetración. La composición de los alambres para soldadura por arco sumergido depende del material que se suelda, puesto que los elementos aleados se añaden generalmente al alambre y no al fundente. En este proceso las variaciones en la técnica pueden alterar las relaciones de las cantidades fundidas de plancha alambre y fundente. Cuando se utilizan alambres altamente aleados, por ejemplo, aceros inoxidable, puede ser necesario añadir compuestos de los elementos aleantes al fundente, para disminuir las reacciones metal-escoria que pueden traducirse en pérdidas de los elementos aleantes hacia la escoria.

Fundentes Los fundentes para la soldadura por arco sumergido están granulados a un tamaño controlado y pueden ser de tipo fundido, aglomerado ó sinterizado. Originalmente se utilizaban fundentes fundidos, machacados y calibrados; atribuyéndoseles las ventajas de estar totalmente libres de humedad y no ser higroscópicos. Tanto la composición química como el estado de división de los fundentes tienen una importante influencia sobre la forma de comportarse en la soldadura. Los fundentes aglomerados se hacen mezclando los constituyentes, finamente pulverizados, con una solución acuosa de un aglomerante tal como silicato sódico; la finalidad es producir partículas de unos pocos milímetros de diámetro formados por una masa de partículas más finas de los componentes minerales. Después de la aglomeración el fundente se seca a temperatura de hasta 800 °C. Los fundentes sinterizados se hacen calentando pellets componentes pulverizados a temperaturas justo por debajo del punto de fusión de algunos de los componentes. Las temperaturas alcanzadas durante la fabricación limitan los componentes de los fundentes. Para fundir un fundente las temperaturas deben ser tan altas que los carbonatos y muchos otros minerales se descomponen, por lo cual los fundentes básicos que llevan carbonatos deben hacerse por alguno de los otros procedimientos, tales como aglomeración. Se ha sabido durante años que la baja tenacidad se favorece con el uso de fundentes ácidos y que los fundentes de elevado contenido en silicio tienden a comunicar oxígeno al metal soldado. Inversamente los fundentes básicos dan un metal soldado limpio, con poca pocas inclusiones no metálicas, y, consecuentemente, de elevada tenacidad. Tanto la composición del fundente como su estado de división influyen en el control de la porosidad. El proceso de arco sumergido es generalmente más susceptible a la porosidad causada por superficies herrumbrosas y sucias que el proceso de arco abierto. Ello es debido a que con el proceso de arco abierto el vapor de agua y los productos gaseosos, que abandonan la plancha por el calor de la soldadura, pueden escapar; mientras que en el arco sumergido tienden a ser retenidos bajo el cojín de fundente.

Por esta razón es por lo que fundentes que tienen la mayor tolerancia a la oxidación y suciedad son también los que tienen mayor permeabilidad, lograda usando un grado grueso de gran regularidad. Sin embargo, cuando es necesario soldar utilizando intensidades elevadas se requiere un fundente que cubra más estrechamente, para dar un buen cierre al arco; esto se logra utilizando un tamaño de partículas lo más fino posible y una mayor variedad en tamaños, para aumentar el cierre de recubrimiento. Para los tipos de fundentes que mas se utilizan remítase a la tabla 4.5

TABLA 4.5

MATERIALES UTILIZADOS COMO COMPONENTES DE LOS FUNDENTES	
MINERAL	FÓRMULA
Calcita	CaCO_3
Corindón	Al_2O_3
Criolita	Na_3AlF_6
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Ferosilicio	FeSi_2
Fluorita	CaF_2
Hausmanita	Mn_3O_4
Hierro	Fe
Óxido cálcico	CaO
Magnesita	MgCO_3
Periclasa	MgO
Cuarzo	SiO_2
Rhodenita	MnSiO_3
Rutilo	TiO_2
Wellastonita	CaSiO_3
Circón	ZrSiO_4
Zirconia	ZrO_2

Diagrama esquemático del equipo para arco sumergido

1. Fuente de Poder de CC o CA (100% ciclo de trabajo).
2. Sistema de Control.
3. Porta carrete de alambre.
4. Alambre-electrodo.
5. Tobera para boquilla.
6. Recipiente porta-fundente.
7. Metal base.
8. Fundente.
9. Alimentador de alambre.

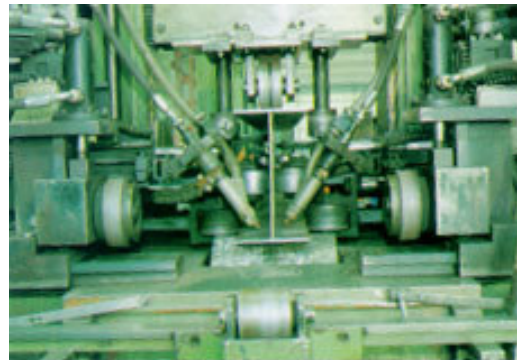
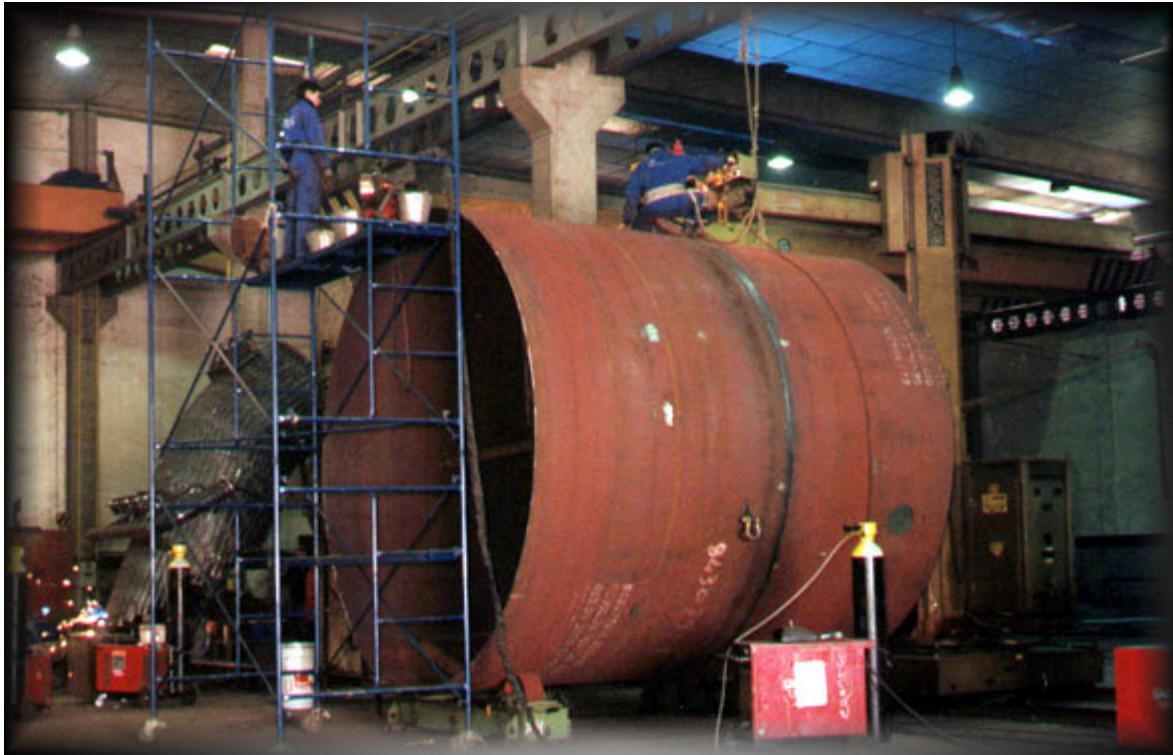


Figura 4.17 Las imágenes ilustran el empleo del proceso de soldadura por arco sumergido en el armado de perfiles tipo "I" soldados (www.geocyties.com)

Ventajas y desventajas del proceso El arco sumergido, respecto de los otros procesos de soldadura, ofrece las siguientes ventajas:

- Las juntas pueden ser preparadas en “V” con poca profundidad debido a la elevada penetración del proceso, obteniéndose con esto un menor consumo de alambre y fundente.
- Los procesos de soldadura pueden realizarse a altas velocidades debido a la elevada intensidad con que se opera en la mayoría de las aplicaciones.
- No es necesario proteger al operador de la máquina de la emisión de radiación, ya que el arco se encuentra sumergido en el fundente, evitándose además las salpicaduras del metal fundido.
- El fundente actúa como un desoxidante protegiendo el arco y aportando elementos de aleación al cordón en el caso de emplear fundentes aleados.

Por otro lado, las limitaciones del proceso son:

- Muchas soldaduras requieren algún tipo de respaldo para evitar la perforación del metal base, este respaldo puede ser del mismo material o de un material mucho más resistente que el anterior.
- Este proceso conlleva un tiempo de preparación mayor que otros.
- Con este sistema generalmente se sueldan piezas a partir de los 5 mm de espesor.

La soldadura por arco sumergido ha encontrado su principal aplicación en los aceros suaves de baja aleación, aunque con el desarrollo de fundentes adecuados el proceso se ha usado también para el cobre, aleaciones a base de aluminio y titanio, aceros de alta resistencia, aceros templados y revenidos y en muchos tipos de aceros inoxidables. También se aplica para recubrimientos duros y reconstrucción de piezas. Es un método utilizado principalmente para soldaduras horizontales de espesores por encima de 5mm, en los que las soldaduras sean largas y rectas. Pueden soldarse espesores hasta doce milímetros sin preparación de bordes mientras que con preparación de bordes el espesor máximo a unir es prácticamente ilimitado. El propio cabezal de soldadura puede moverse sobre el trabajo en un vehículo autopropulsado ó en un puente ó el trabajo se hace girar bajo el cabezal de soldadura estacionario. Este método es ampliamente utilizado, tanto para soldaduras a tope como en rincón, en construcción naval e industrias de recipientes a presión, estructuras metálicas, tubos y tanques de almacenaje; para esta última finalidad se utilizan máquinas especiales autopropulsadas, con un dispositivo para contener el fundente, para soldar las costuras circulares en plaza.

4.3.1.3. Procesos de soldadura con arco eléctrico que usan electrodos no consumibles

Todos los procesos AW analizados hasta aquí usan electrodos consumibles, existen procesos en los cuales se puede considerar electrodos no consumibles: la soldadura de tungsteno con arco eléctrico y gas, la soldadura de plasma de arco eléctrico y varios procesos más.

Soldadura de tungsteno con arco eléctrico y gas La soldadura *de tungsteno con arco eléctrico y gas*, STAEG (en inglés *gas tungsten arc welding*, GTAW), es un proceso que usa un electrodo de tungsteno no consumible y un gas inerte para proteger el arco eléctrico. Con frecuencia, este proceso se

denomina soldadura de tungsteno con gas inerte (en inglés *tungsten inert gas welding, TIG welding*); en Europa se le denomina wolframio con gas inerte (WIG welding). El proceso de GTAW puede realizarse con o sin un metal de relleno. La figura 4.18 ilustra este último caso.

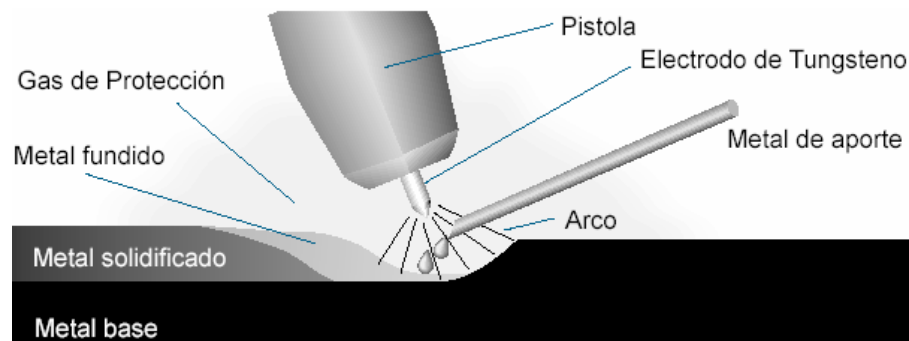


FIGURA 4.18 a) Soldadura de tungsteno con arco eléctrico y gas.

Cuando se usa un metal de aporte, éste se agrega al pozo de soldadura desde una varilla separada, la cual se funde mediante el calor del arco eléctrico. El tungsteno es un buen material para electrodo debido a su alto punto de fusión de 3410°C . Los gases protectores que se usan normalmente incluyen argón, helio o una mezcla de ellos.

El sistema TIG es aplicable a casi todos los metales en un rango amplio de espesores. También se usa para unir diferentes combinaciones de metales distintos. Sus aplicaciones más comunes incluyen el aluminio y el acero inoxidable. El hierro colado, el hierro fundido, el plomo y el tungsteno son difíciles de soldar mediante este proceso. En las aplicaciones de soldadura de acero, la soldadura TIG generalmente es más lenta y más costosa que los procesos de soldadura con arco de electrodo consumible, excepto cuando se incluyen secciones delgadas y cuando se requieren soldaduras de muy alta calidad. Cuando se sueldan hojas delgadas con tungsteno y gas inerte a tolerancias muy reducidas no se agrega el metal de aporte. El proceso se ejecuta en forma manual o mediante métodos de máquina y automatizados para todos los tipos de uniones. Las ventajas del sistema TIG son: su alta calidad, no hay salpicaduras de soldadura debido a que no se transfiere un metal de aporte a través del arco eléctrico y no se requiere limpieza o ésta es muy reducida porque no se usa fundente.

La Soldadura TIG fue desarrollada inicialmente con el propósito de soldar metales anticorrosivos y otros metales difíciles de soldar, no obstante al pasar del tiempo, su aplicación se ha expandido incluyendo tanto soldaduras como revestimientos endurecedores (hardfacing) en prácticamente todos los metales usados comercialmente.

En cualquier tipo de proceso de soldadura la mejor soldadura, que se puede obtener, es aquella donde la soldadura y el metal base comparten las mismas propiedades químicas, metalúrgicas y físicas, para lograr esas condiciones la soldadura fundida debe estar protegida de la atmósfera durante la operación de la soldadura, de otra forma, el oxígeno y nitrógeno de la atmósfera se combinarían, literalmente, con el metal fundido resultando en una soldadura débil y con porosidad. En la soldadura TIG la zona de soldadura es resguardada de la atmósfera por un gas inerte que es alimentado a través de la antorcha, Argón y Helio pueden ser usados con éxito en este proceso, el Argón es principalmente

utilizado por su gran versatilidad en la aplicación exitosa de una gran variedad de metales, además de su alto rendimiento permitiendo soldaduras con un bajo flujo para ejecutar al proceso. El Helio genera un arco mas caliente, permitiendo una elevación del voltaje en el arco del 50-60%. Este calor extra es útil especialmente cuando la soldadura es aplicada en secciones muy pesadas. La mezcla de estos dos gases es posible y se usa para aprovechar los beneficios de ambos, pero la selección del gas o mezcla de gases dependerá de los materiales a soldar.

Dado que la atmósfera esta aislada 100% del área de soldadura y un control muy fino y preciso de la aplicación de calor, las soldaduras TIG, son más fuertes, más dúctiles y más resistentes a la corrosión que las soldaduras hechas con el proceso ordinario de arco manual (electrodo cubierto). Además del hecho de que no se necesita ningún fundente, hace este tipo de soldaduras aplicable a una amplia gama de diferentes procedimientos de unión de metales.

Es imposible que ocurra una corrosión debido a restos de fundente atrapados en la soldadura y los procedimientos de limpieza en la post-soldadura son eliminados, el proceso entero se ejecuta sin salpicaduras o chispas, la soldadura de fusión puede ser ejecutada en casi todos los metales usados industrialmente, incluyendo las aleaciones de Aluminio, Acero Inoxidable, aleaciones de Magnesio, Níquel y las aleaciones con base de Níquel, Cobre, Cobre-Silicón, Cobre-Níquel, Plata, Bronce fosforico, las aleaciones de acero de alto carbón y bajo carbón, Hierro Colado (cast iron) y otros. El proceso también es ampliamente conocido por su versatilidad para soldar materiales no similares y aplicar capas de endurecimiento de diferentes materiales al acero.

La fuente de poder para TIG puede ser AC o DC, sin embargo, algunas características sobresalientes obtenidas con cada tipo, hacen a cada tipo de corriente mejor adaptable para ciertas aplicaciones específicas.



Figura 4.18 b) El Gas "El escudo protector". El escudo de gas que expulsa la antorcha es muy importante para asegurar soldaduras de calidad. La forma de todas las partes internas y externas de la boquilla han sido creadas para lograr las características apropiadas del flujo de gas.

Los Lentes Del Gas (Gas Lenses) Con la introducción del "Lente del Gas" (Gas Lens) la forma con la que las boquillas elaboran el escudo de gas cambio, el Lente es una malla de acero inoxidable con diminutos agujeros concéntricos que enfocan el gas produciendo un chorro considerablemente estable, reduciendo la turbulencia y enfocando el gas en un chorro coherente y un patrón más efectivo que puede

ser proyectado a mayor distancia haciendo que la soldadura sea posible con la Boquilla mas elevada, en muchos casos hasta 25 mm.

El resultado de reducir la turbulencia es tener un escudo más efectivo y que las moléculas de aire que entren en la zona de soldadura sean muy pocas. Trabajando a mayor distancia del área permite la extensión del electrodo mas allá de la boquilla incrementando el campo visual y la eliminación del "Punto Ciego" en el cordón de soldadura sin la necesidad de las boquillas de cristal transparentes que se manchan y rompen con mucha facilidad, el electrodo extendido también hace más fácil el acceso a las esquinas y otras áreas de difícil acceso. La capacidad de amperaje de las antorchas también es incrementada con el uso de los lentes del gas.

Soldadura por arco de plasma La soldadura *por arco de plasma*, SPA (en inglés *plasma arc welding*, PAW), es una forma especial de la soldadura de tungsteno con arco eléctrico y gas en la cual se dirige un arco de plasma controlado al área de soldadura. En la PAW, se coloca un electrodo de tungsteno dentro de una boquilla especialmente diseñada, la cual concentra una corriente de gas inerte a alta velocidad (por ejemplo, argón o mezclas de argón e hidrógeno) dentro de la región del arco eléctrico, para formar una corriente de arco de plasma intensamente caliente a alta velocidad, como en las figuras 4.19 y 4.20. También se usan el argón, el argón-hidrógeno y el helio como gases protectores del arco eléctrico.

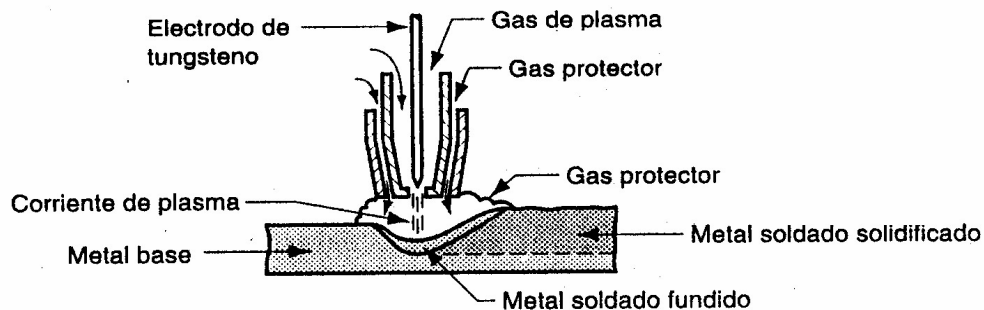


FIGURA 4.19 Soldadura de arco de plasma (PAW)



Figura 4.20 Maquinaria empleada para la soldadura por arco de plasma

(www.geocyties.com)

Las temperaturas en la soldadura de plasma de arco eléctrico son de 2800 °C o mayores, y lo suficientemente altas para fundir cualquier metal conocido. La razón de estas altas temperaturas en PAW (mucho mayores que las de TIG) derivan de la estrechez del arco eléctrico. Aunque los niveles de energía normales usados en la soldadura de plasma de arco son menores que los usados en la soldadura de tungsteno con arco eléctrico y gas, la energía se concentra mucho para producir un chorro de plasma de un diámetro pequeño y una densidad de energía muy alta.

La soldadura de plasma de arco se introdujo alrededor de 1960, pero tardó en popularizarse. En años recientes se usa cada vez más como sustituto de la TIG en aplicaciones tales como subensambles de automóviles, gabinetes metálicos, marcos para puertas y ventanas y aparatos para el hogar. Debido a las características especiales de la PAW, sus ventajas en estas aplicaciones incluyen una buena estabilidad de arco eléctrico, un control de penetración mejor que en la mayoría de los otros procesos de soldadura con arco eléctrico, altas velocidades de viaje y una excelente calidad de soldadura. El proceso se usa para soldar casi cualquier metal, incluyendo el tungsteno. Sin embargo, hay metales difíciles de soldar con la PAW, entre estos se incluyen el bronce, el hierro colado, el plomo y el magnesio. Otras limitaciones son el equipo costoso y un tamaño de soplete más grande que para las otras operaciones de soldadura con arco eléctrico, lo cual tiende a limitar el acceso en algunas configuraciones de unión.

Otros procesos de soldaduras con arco eléctrico y relacionados Los procesos anteriores de soldadura con arco eléctrico son los más importantes en el aspecto comercial. Deben mencionarse varios más, que son casos especiales o variantes de los principales procesos de AW.

La soldadura con electrodo de carbono, SEC (en inglés *carbón arc welding*, CAW), se define como un proceso de soldadura con arco eléctrico que utiliza un electrodo de carbono (grafito) no consumible. Su importancia histórica radica en que fue el primer proceso de soldadura con arco eléctrico en desarrollarse, pero su importancia comercial actual es prácticamente nula. El proceso con arco eléctrico de carbono se usa como una fuente de calor para soldadura fuerte y para reparar coladores de acero. También se aplica algunas veces para depositar materiales resistentes al desgaste sobre superficies. Sin embargo, el tungsteno ha sustituido casi por completo a los electrodos de grafito (en la TIG y en la PÁW).

La soldadura de espárragos, SE (en inglés *stud welding*, SW), es un proceso especializado de soldadura con arco eléctrico para unir pernos o componentes similares a partes básicas. Las aplicaciones incluyen sujetadores roscados para fijar manijas en utensilios de cocina, aletas de radiación de calor en maquinaria y situaciones de ensamble similares. En operaciones de alta producción, la soldadura de espárragos generalmente tiene ventajas sobre los remaches, las uniones soldadas con arco eléctrico en forma manual y las aberturas taladradas y enroscadas. La figura 4.21 ilustra una operación normal SW, en la cual se obtiene protección por medio del uso de una férula de cerámica. Para empezar el espárrago o tocón se sujeta en una pistola de soldadura especial que controla automáticamente los parámetros de

tiempo y potencia de los pasos mostrados en la secuencia. El trabajador sólo debe colocar la pistola en la posición correcta en contra de la parte de trabajo base, a la cual se unirá el espárrago, y jalar del gatillo.

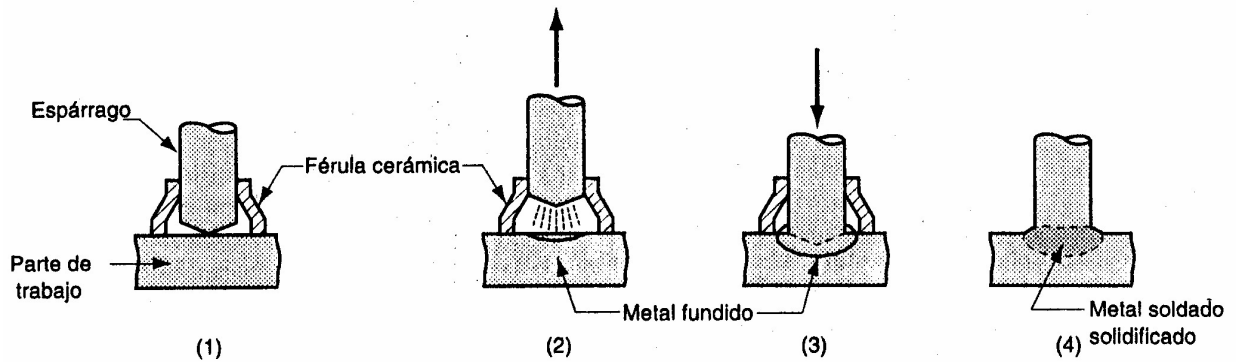


Figura 4.21 Soldadura de espárrago SW: (1) Se coloca el espárrago o perno; (2) Fluye la corriente desde la pistola y se jala el espárrago desde la base para establecer un arco eléctrico y crear un pozo fundido; (3) Se hunde el espárrago en el pozo fundido; (4) Se remueve la férula cerámica tras la solidificación.