

# Titanio y sus Aleaciones

## INDICE

---

29.1. Propiedades del titanio .....	552
29.2. Aleaciones de titanio y su soldabilidad.....	553
29.3. Procesos de soldeo .....	554
29.4. Soldeo por arco .....	554
29.4.1. Preparación y diseño de la unión .....	554
29.4.2. Limpieza y decapado.....	555
29.4.3. Metales de aportación.....	555
29.4.4. Gas de protección.....	556
29.4.5. Pre calentamiento y tratamiento térmico postsoldo .....	559
29.4.6. Control de la calidad de la soldadura por su aspecto.....	560
29.4.7. Soldeo TIG .....	560
29.4.8. Soldeo MIG .....	561
29.5. Soldeo fuerte .....	561

### **29.1. Propiedades del Titanio**

Entre las propiedades del titanio y sus aleaciones cabe destacar:

- Baja densidad, el titanio es un metal más pesado que el aluminio y que el magnesio, sin embargo es mucho más ligero que el acero y que el cobre.
- El titanio puro presenta buenas propiedades mecánicas, que pueden ser aumentadas en gran medida mediante aleación con otros metales (especialmente aluminio y vanadio) y tratamiento térmico, teniendo en este caso alta resistencia mecánica sin perder su ductilidad.
- Alta temperatura de fusión (1.668°C).
- El titanio y algunas de sus aleaciones tienen buena resistencia, ductilidad y tenacidad a bajas temperaturas (-240°C).
- Baja conductividad térmica y bajo coeficiente de dilatación. Estas propiedades permitirán realizar soldaduras sin que se presenten grandes deformaciones ni tensiones residuales en las piezas.
- Baja conductividad eléctrica.
- La resistencia a la oxidación y a la corrosión a temperatura ambiente son excelentes, similares o incluso, en algunas circunstancias superiores, a la de los aceros inoxidable. El titanio tiene gran afinidad por el oxígeno y forma una capa de óxido superficial que lo protege de la corrosión.
- A temperaturas por encima de los 600°C su resistencia a la corrosión desaparece, a estas temperaturas absorbe oxígeno, hidrógeno y nitrógeno de la atmósfera por lo que se debe proteger del aire para evitar su contaminación.
- El titanio líquido reacciona rápidamente con todos los elementos formando compuestos que constituirán una impureza para el material.

Estas dos últimas características hacen que la protección de la soldadura y de las zonas calientes de la pieza sea absolutamente imprescindible, mucho más exhaustiva que en el soldeo de la mayoría de los materiales. Por la misma razón, la limpieza previa al soldeo debe ser meticulosa.

- Otra característica importante del titanio es su elevado precio, que limita el número de aplicaciones de este metal y de sus aleaciones.

El titanio y sus aleaciones se suelen emplear en la industria del transporte, sobre todo aeroespacial. Muchas piezas de los motores y del fuselaje de los aviones se fabrican en aleación de titanio, ya que tienen alta resistencia con bajo peso. Otra

gran aplicación de las aleaciones de titanio se encuentra en la industria química por su buena resistencia a la corrosión.

## **29.2. Aleaciones de Titanio y su Soldabilidad**

El titanio suele alearse con aluminio, vanadio, molibdeno, hierro, níquel y otros elementos, todos ellos generalmente en pequeñas proporciones.

Las aleaciones de titanio se clasifican en grupos en función de la estructura, denominándose con los mismos nombres de las letras griegas con los que se conocen las fases que se observan. De este modo se distinguen los siguientes grupos:

- Aleaciones alfa ( $\alpha$ )
- Aleaciones alfa - beta ( $\alpha + \beta$ )
- Aleaciones beta ( $\beta$ )

La denominación más común de las aleaciones de titanio indica el porcentaje de los elementos de aleación junto a su símbolo químico. En la tabla 29.1 se indican algunas de las aleaciones de titanio clasificadas en sus grupos. De todas estas aleaciones destaca por su amplia utilización la aleación Ti6Al4V, que contiene 6% de aluminio y 4% de vanadio y es una aleación  $\alpha + \beta$ . También es muy utilizada la aleación Ti-5Al-2,5 Sn, que contienen 5% de aluminio y un 2,5% de estaño y es una aleación alfa. No se debe olvidar que el titanio puro es también muy empleado.

En la tabla 29.1 también se ha indicado la soldabilidad de las diferentes aleaciones de titanio.

Las aleaciones de titanio de grados ELI (ver tabla 29.1) tienen contenidos inferiores de determinados elementos como el carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno que las aleaciones similares convencionales, de esta forma se mejora su soldabilidad y resistencia a la corrosión en determinados ambientes.

Las aleaciones Ti-7Al-4Mo y la Ti-6Al-6V-2Sn se consideran de soldabilidad limitada, porque tienen tendencia a agrietarse durante su soldeo cuando se generan grandes tensiones debidas al embridamiento de la pieza. No se recomienda el soldeo de la aleación Ti-8Mn porque se forman grietas con gran facilidad, inclusive en condiciones de embridamiento bajas.

Tipo de aleación	Ejemplos	Soldabilidad
Titanio puro	Ti	Excelente
Aleaciones alfa ( $\alpha$ )	Ti – 5 Al – 2,5 Sn	Admisible o buena
	Ti – 5 Al – 2,5 Sn (ELI)	Excelente
Aleaciones alfa-beta ( $\alpha+\beta$ )	Ti – 6 Al – 4 V	Admisible
	Ti – 6 Al – 4 V (ELI)	Excelente
	Ti – 7 Al – 4 Mo	Limitada a aplicaciones especiales
	Ti – 6 Al – 6V – 2 Sn	Limitada a aplicaciones especiales
	Ti – 8 Mn	No se recomienda su soldeo
Aleaciones beta ( $\beta$ )	Ti – 13 V – 11 Cr – 3 Al	Admisible

TABLA 29.1: ALEACIONES DE TITANIO MÁS COMUNES

### 29.3. Procesos de Soldeo

El titanio se puede soldar por resistencia, por láser, haz de electrones y mediante procesos de soldeo en estado sólido, además de mediante soldeo fuerte y soldeo por arco. Los procesos de soldeo por arco empleados son el TIG, MIG y arco-plasma.

El soldeo con alambre tubular, por arco sumergido y con electrodos revestidos no se utiliza porque la atmósfera protectora no es adecuada para el titanio y por las reacciones que se producen entre la escoria y el metal fundido.

### 29.4. Soldeo por Arco

#### 29.4.1. Preparación y diseño de la unión

Las piezas a soldar deben prepararse mediante sierra, fresado, amolado o torneado, pero siempre teniendo cuidado para no contaminar el metal base, además

no se deberá sobrecalentar las piezas. Se utilizarán muelas limpias que sólo se destinen a piezas de titanio.

La disposición de las piezas para realizar el soldeo debe ser muy cuidadosa permitiendo que el gas de respaldo llegue a la raíz de la soldadura.

El punteado se debe realizar con los mismos parámetros y gases (incluyendo gas de respaldo) que se van a utilizar en el soldeo.

### ***Corte térmico***

El titanio se puede oxicortar a mayor velocidad que el acero, sin embargo se debe limpiar perfectamente las caras oxicortadas antes de soldar, retirando de 0,2 a 2 mm de profundidad.

### **29.4.2. Limpieza y decapado**

El óxido que recubre las piezas de titanio se hace más protector, grueso e impermeable a medida que aumenta la temperatura de la pieza, siempre que la temperatura sea inferior a 600°C. Cuando la pieza haya permanecido a alta temperatura se deberá decapar antes del soldeo, para ello se utilizará una disolución de ácido nítrico (30-40%), ácido fluorhídrico (4-5%) y agua durante 2-20 minutos, posteriormente se limpia la pieza en agua o alcohol y se seca. El decapante mencionado contiene sustancias peligrosas por lo que debe emplearse con cuidado.

En el caso de que el óxido formado sea muy grueso se utilizarán medios mecánicos para retirarlo, posteriormente se decapará químicamente como se ha indicado.

Sin embargo, las piezas a soldar no suelen sufrir calentamientos a altas temperaturas antes de su soldeo, por lo que no tendrán estas gruesas capas de óxido. En este caso es suficiente con desengrasar las piezas mediante disolventes adecuados, en algunos casos se utiliza acetona o alcohol. También se cepillan las piezas empleando siempre cepillos de alambre de acero inoxidable y nunca se debe utilizar disolventes que contengan cloro. Después de limpiar ambas caras de las piezas se envolverán en trapos limpios y se manejarán con guantes blancos, ya que incluso las huellas dactilares pueden favorecer la contaminación del metal.

El metal de aportación debe estar limpio y brillante. También se limpiará con acetona o alcohol y se secará con una tela que no deje pelusa. Una vez que se ha extraído una varilla de su paquete no debe devolverse a él.

### **29.4.3. Metales de aportación**

En general, el metal de aportación será del mismo tipo y composición química

que el metal base, sin embargo a veces se utilizan metales de aportación de titanio puro en el soldeo de las aleaciones de titanio porque se consigue mayor ductilidad.

Es muy importante utilizar metales de aportación de gran calidad y perfectamente limpios (esto es importante en el soldeo de cualquier metal pero en el titanio es absolutamente imprescindible).

El metal de aportación puede favorecer la inclusión de contaminantes procedentes del polvo, suciedad o grasa y las imperfecciones (muescas o grietas) pueden impedir la correcta limpieza del metal de aportación, que producirá la contaminación del metal de soldadura y la aparición de poros.

Las varillas y alambres serán inspeccionadas para detectar defectos, limpiados y utilizados de forma adecuada y estarán siempre empaquetados y almacenados de forma correcta.

La especificación más utilizada para los metales de aportación es la A5.16 de la AWS.

### **29.4.4. Gas de protección**

Como gases de protección se utilizan exclusivamente los inertes, es decir argón y helio o sus mezclas.

El soldeo de las piezas de titanio puede realizarse dentro de cámaras llenas de gas inerte, esta solución sólo se utiliza cuando el diseño de la pieza no permite asegurar la atmósfera inerte adecuada.

Sin embargo, en la mayoría de los casos se suelda fuera de cámaras y se tiene que disponer de los accesorios adecuados que permitan:

1. Proteger el baño de fusión, encargándose de esta función el gas suministrado por la tobera (ver figura 29.1). Se deberá seleccionar el máximo diámetro de tobera que permita buena accesibilidad y visibilidad de la unión, los diámetros suelen oscilar entre 13 y 19 mm y puede ser muy conveniente disponer de un laminador de flujo de gas para evitar turbulencias del gas de protección.
2. Proteger el metal de soldadura y la zona afectada térmicamente mientras se enfría hasta una temperatura en la que la oxidación no sea un problema, es decir hasta unos 600°C. Como la conductividad del titanio es baja se deberá proteger una longitud grande, mucho mayor que la que puede proteger la tobera durante el soldeo.

El método más empleado es una cámara remolcada que se acopla a la tobera y suministra el gas a través de un difusor poroso (ver figura 29.1).

La longitud y anchura de la cámara será mayor cuanto mayor sea el aporte térmico y la velocidad de desplazamiento.

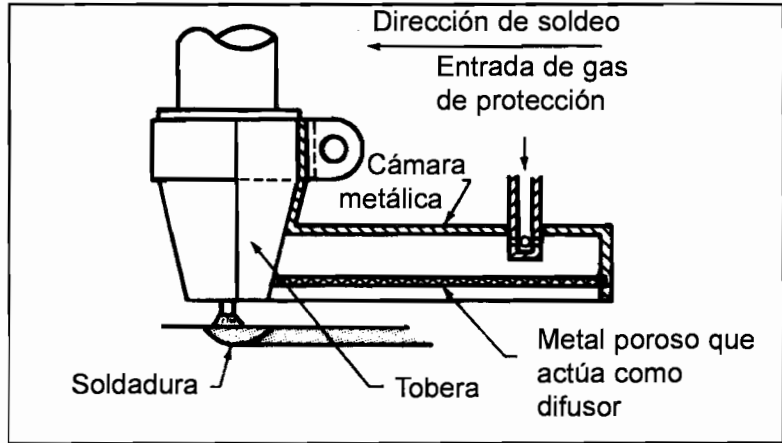


FIGURA 29.1: CÁMARA REMOLCADA PARA SOLDEO DE TITANIO

Otro método consiste en incorporar salidas de gas a los sistemas de sujeción de las piezas (ver figura 29.2). En el caso de soldaduras circunferenciales con tubería rotando se puede disponer de una protección como la indicada en la figura 29.3.

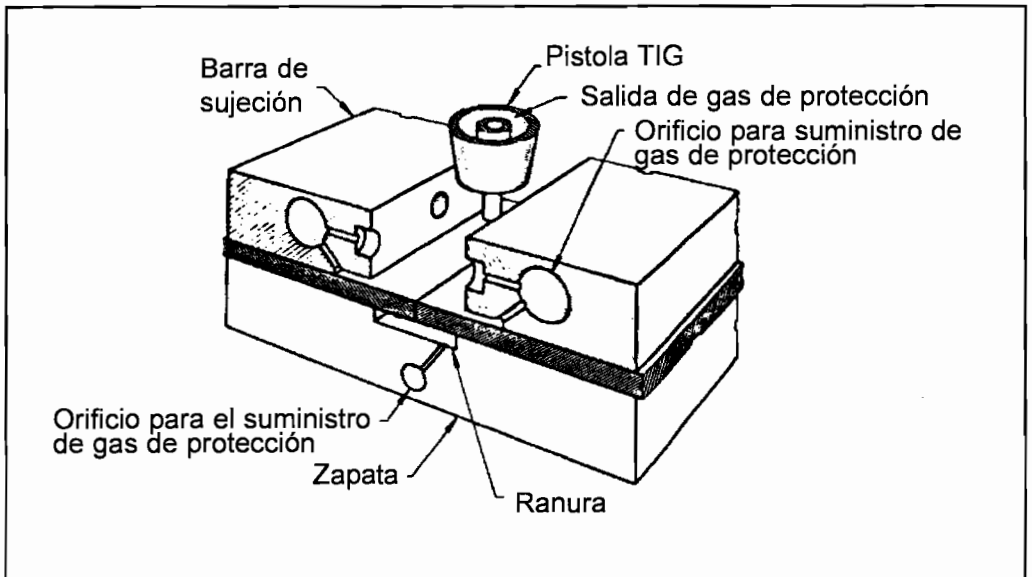


FIGURA 29.2: SISTEMA DE SUJECIÓN DE PIEZAS CON SUMINISTRO DE GAS DE PROTECCIÓN

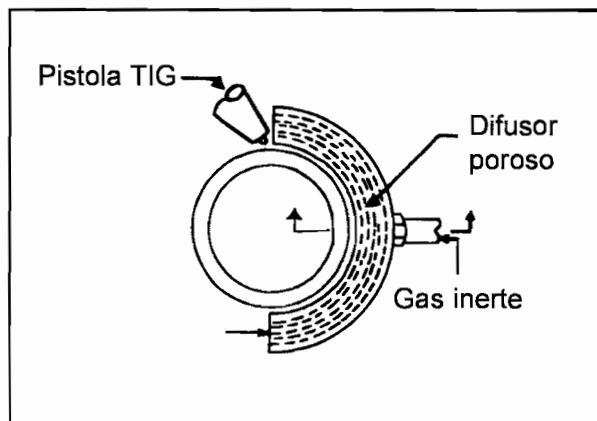


FIGURA 29.3: PROTECCIÓN ADICIONAL PARA SOLDEO CIRCUNFERENCIAL CON TUBERÍA ROTANTE

3. Proteger la raíz de la soldadura durante el soldeo, para ello se utilizará el gas de respaldo suministrado por anillos, zapatas de respaldo (ver figura 29.4 y figuras del apartado 11.3) o incorporar salidas de gas en los sistemas de fijación de las piezas. El tamaño de la ranura de salida de gas depende, entre otras cosas, del espesor de las piezas indicándose en la tabla 29.2 las dimensiones recomendadas.

En el caso de tuberías, éstas se deberán purgar como se indica en el apartado 11.3.

Espesor de las piezas (mm)	Anchura de la ranura (mm)	Profundidad de la ranura (mm)
Menor de 1	3	1
1 - 2	5	1
2 - 3	6	1
3 - 6	8	1,5

TABLA 29.2: DIMENSIONES DE LA RANURA EN ZAPATAS DE RESPALDO



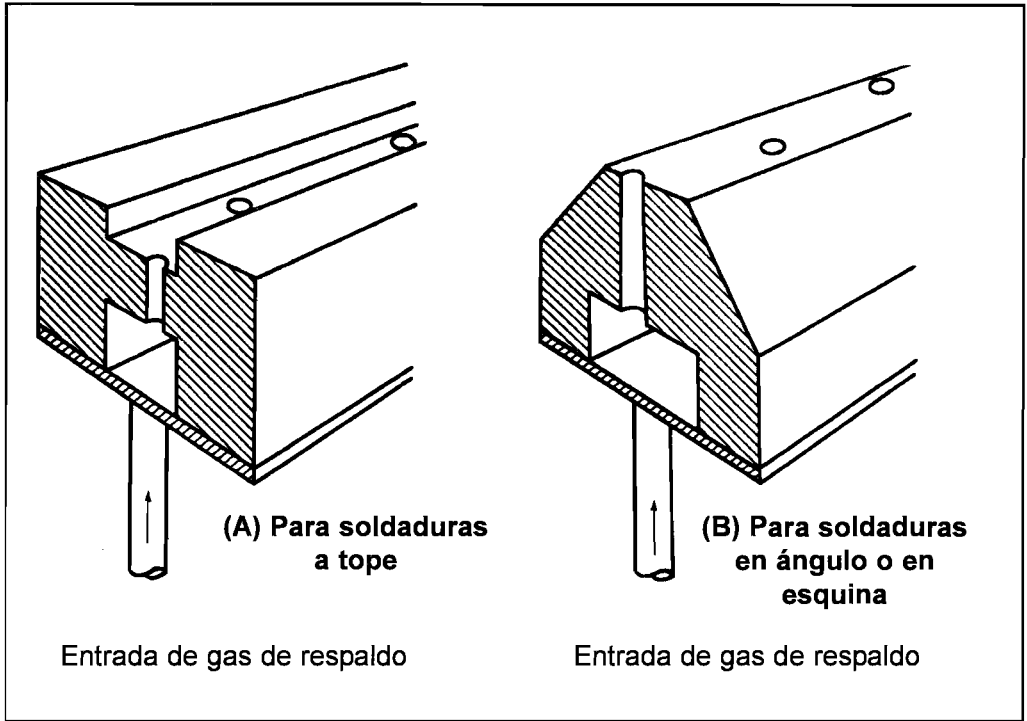


FIGURA 29.4: ZAPATAS DE RESPALDO PARA SUMINISTRO DE GAS

### 29.4.5. Pre calentamiento y tratamiento térmico postsoldado

No es necesario precalentar, ni tampoco se recomienda aunque se puede dar un ligero precalentamiento para eliminar la posible humedad existente en la superficie. El precalentamiento y la temperatura entre pasadas no debe superar los 125°C, si la temperatura fuera superior la pieza estaría excesivamente caliente y la protección gaseosa no sería adecuada. Cualquier exposición al aire de una pieza de titanio a temperaturas superiores a 125°C producirá una película de óxido que se tendrá que eliminar con un cepillo de alambre de acero inoxidable, dedicado exclusivamente al trabajo con titanio.

A veces se requiere realizar un tratamiento térmico postsoldado para aliviar las tensiones que se puede realizar mediante calentamiento a 590°C, permaneciendo a esta temperatura durante 30 minutos a 1 hora y enfriamiento lento, el tratamiento se realiza a veces sin atmósfera protectora, pero cuando se utiliza deberá ser de gas inerte. A estas temperaturas se producirán manchas y óxidos que se retirarán como se ha indicado en el apartado 29.4.2.

## 29.4.6. Control de la calidad de la soldadura por su aspecto

La apariencia de la soldadura en cuanto a su color indica de forma bastante clara si la soldadura está contaminada. Entre pasadas se observará el color de la soldadura, si es plateada se podrá continuar soldando y si tiene óxidos azules se retirarán por cepillado, pero si tiene color oscuro, o aparecen óxidos amarillos o grises, se deberá retirar el cordón, limpiar y volver a soldar mejorando la protección. En la tabla 29.3 se indica el significado del color de la soldadura.

Color del cordón de soldadura de titanio	Significado	Protección	Acción
Plateado	Soldadura generalmente buena	Buena	
Paja a azul muy claro	Soldadura aceptable	Aceptable	Se deberá cepillar con cepillo de alambre de acero inoxidable antes de realizar otra pasada.
Azul o púrpura	Soldadura de mala calidad	Mala	Retirar completamente la soldadura y el metal adyacente y mejorar la protección (aumentar el caudal de gas, la longitud de remolque o disminuir la longitud del arco antes de volver a soldar).
Polvo gris o amarillo	Soldadura de bajísima calidad	Extremadamente mala	Retirar completamente la soldadura y la zona afectada térmicamente. Examinar el equipo de protección en busca de fugas y realizar un ensayo del gas de protección antes de volver a soldar.

TABLA 29.3: SIGNIFICADO DEL COLOR DEL CORDÓN DE SOLDADURA DE TITANIO

## 29.4.7. Soldeo TIG

Es el proceso de soldeo más utilizado, sobre todo para espesores inferiores a 3-6 mm. Se suelda con corriente continua electrodo negativo, por lo que se utilizarán electrodos de wolframio-torio.

El extremo del electrodo puede sobresalir de la tobera en unos 4-6 mm e incluso

25 mm, sin embargo en el soldeo del titanio se debe prestar más atención a esta longitud que se limitará siempre al mínimo posible. La longitud del arco también debe ser la mínima posible. Como ocurre en el soldeo de cualquier material, si se toca con el electrodo el baño de fusión hay que retirar la zona de soldadura contaminada, limpiando y volviendo a afilar el electrodo.

Para reducir al mínimo la posible contaminación del baño se recomienda el empleo de postflujos y preflujos de gas de protección. No se cebará el arco por raspado, se utilizarán placas auxiliares o, a ser posible, cebado con una corriente de alta frecuencia.

#### **29.4.8. Soldero MIG**

El proceso MIG se utilizará para el soldeo de mayores espesores. Como el aporte térmico de este proceso de soldeo es mayor que con el TIG, es necesario utilizar mayor caudal del gas de protección, así como mayor longitud de la cámara remolcada, ésta será mayor también cuando la transferencia sea con spray que con arco pulsado o por cortocircuito.

Las bobinas de metal de aportación deben almacenarse en lugares limpios y deben estar totalmente cubiertas mientras se suelda.

### **29.5. Soldero Fuerte**

Las piezas de titanio se pueden unir mediante soldeo fuerte sin que se produzca una disminución de alguna de las propiedades del titanio. Los procesos más utilizados son soldeo fuerte por inducción y soldeo fuerte en horno, también se puede realizar con soplete pero se necesita un fundente especial y gran habilidad por parte del soldador, se utilizará llama oxiacetilénica ligeramente reductora debiéndose retirar completamente los restos de fundente después del soldeo. Como metales de aportación se utilizan, entre otros, aleaciones de plata (95Ag - 5Al ó 92,5Ag - 75Cu) y aleaciones de titanio (48Ti - 48Zr - 4Be).