

Importancia y Métodos de la Limpieza de Tuberías de Titanio del Sistema de Propulsión antes de la Soldadura.

Importance and Methods of the Propulsion System Titanium Pipes Cleaning, before Welding.

Kristal N. Varela, *Investigadora, ABAE*

Resumen—La calidad en la soldadura del sistema de propulsión de un vehículo espacial debe ser muy estricta, debido a la estrecha relación entre el sistema de propulsión y la vida útil o cumplimiento de la misión de la nave. La alta reactividad del titanio con otros materiales, una limpieza de la superficie inadecuada o una incorrecta protección durante la soldadura conllevan a contaminación, porosidad y fragilización de la soldadura. Una cuidadosa limpieza en la superficie antes de la soldadura es esencial para la correcta unión de piezas de titanio y sus aleaciones, llevada a cabo con productos químicos que sean capaz de remover las impurezas que puedan generar fragilización del material, porosidad, etc., durante la soldadura. Este artículo resume los tipos de contaminación en la superficie del titanio y detalla los métodos para la remoción de las mismas, así como procesos de limpieza efectivos al cual se debe someter las tuberías del sistema de propulsión para garantizar la calidad de la soldadura, además de los equipos e instalaciones con las que debe contar el área de soldadura para la correcta limpieza de las tuberías.

Palabras claves—Limpieza de tuberías, Sistema de Propulsión, Soldadura, Titanio

Abstract— The welding quality of a spacecraft propulsion system must be very strict due to the close relationship between the propulsion system and the service life or fulfillment of the ship's mission. The high reactivity of titanium with other materials, inadequate surface cleaning or poor protection during welding lead to contamination, porosity and brittleness of the weld. Careful surface cleaning prior to welding is essential for the correct bonding of titanium parts and their alloys, carried out with chemicals that are capable of removing impurities that may cause brittleness of the material, porosity, etc., during the welding. This article summarizes the types of contamination on the Titanium surface and details the methods for removal of these, as well as the effective cleaning processes to which the propulsion system pipelines must be submitted to guarantee the quality of the welding, besides the equipment and facilities with which the welding area must count for the correct pipe.

Index terms— Pipe Cleaning, Propulsion System, Titanium, Welding.

I. INTRODUCCIÓN

EL Titanio (Ti) es un metal abundante en la tierra; su uso ha sido impulsado junto con la tecnología aeroespacial debido a sus propiedades de maleabilidad, baja densidad y alta ductilidad, dureza (escala de Mohs 6), es un material soldable, refractario, posee excelente resistencia a la fatiga, alta resistencia a la corrosión (debido al fenómeno de pasivación), baja conductividad térmica y eléctrica, además es resistente al ataque de muchos ácidos. El titanio es un material muy fuerte, pero más costosos que cualquier otro metal, pero posee precios de mantenimiento y reparación drásticamente más bajos que la mayoría [1]. Estas propiedades le permiten al titanio ser utilizado en una variedad de aplicaciones que incluye equipos aeroespaciales, químicos, militares y de marina, artículos médicos asimismo posee participación en la industria energética, automovilística, etc.

Uno de los principales usos del Titanio en el ámbito aeroespacial es en el sistema de propulsión; este consiste en un conjunto de tuberías de titanio, válvulas, tanques, propulsores, etc., los cuales están soldados entre sí. Las tuberías son dobladas a diferentes formas, ya que deben ser ajustadas para adaptarse a la disposición de los componentes y equipos, y cumplir con los requerimientos de diseño para el sistema de propulsión, soldadura y fijación.

El éxito en las soldaduras de Titanio envuelve una cuidadosa consideración de varios factores: la extrema sensibilidad del Titanio a la fragilización por pequeñas cantidades de algunas impurezas; la muy alta reactividad del Titanio, no solo a temperaturas de soldadura sino también a bajas temperaturas; los efectos de los tratamientos térmicos (ciclos de calentamientos y enfriamientos) para establecer las propiedades mecánicas en las aleaciones; las estructuras inherentemente frágiles que se forman cuando el Titanio se encuentra unido a otro metal; además se debe tener en cuenta la composición de la aleación de titanio a ser utilizada [2].

La sensibilidad del Titanio y de sus aleaciones a la fragilización impone limitaciones en los procesos de soldaduras

que puedan ser utilizados. Originando la necesidad de requerimientos de limpieza especializados evitando así cualquier tipo de contaminación que influya en las características mecánicas del material o en el éxito de las soldaduras durante el ensamblaje del sistema de propulsión.

II. IMPORTANCIA DE LA LIMPIEZA DE LAS TUBERÍAS DE TITANIO

El titanio reacciona fácilmente con el oxígeno, haciéndolo propenso a la oxidación (efecto de pasivación) y contaminación, originando dificultades al soldarlo. Sin embargo, una preparación meticulosa de métodos adecuados de limpieza y soldadura son las condiciones para la obtención de una soldadura de titanio exitosa.

La Soldadura de tubos de titanio requiere extrema limpieza tanto del metal base como del metal de relleno y el entorno de soldadura debe ser impecable. La contaminación por aceites naturales del cuerpo, aceites del proceso de formación y doblaje, el polvo, pintura, suciedad, líquidos y lubricantes de corte puede conducir a la fragilidad y porosidad del material y por lo tanto el fracaso de soldadura. Pequeñas cantidades de carbono, oxígeno, Nitrógeno o Hidrógeno pueden deteriorar la ductilidad y la dureza del titanio; debido a la afinidad del titanio por estos elementos a altas temperaturas, una protección de la atmosfera normal es requerida al momento de la soldadura. La contaminación que surge ya sea desde la atmosfera abierta o de la suciedad del metal o de las superficies debe ser evitada estrictamente para el éxito de la soldadura de Titanio y sus aleaciones [1,2].

A pesar que la capa de oxígeno que cubre la superficie de titanio es la responsable de la resistencia a la corrosión de este metal, esta debe ser removida antes de la realización de la soldadura ya que esta capa funde a temperaturas más altas que el titanio por lo que puede entrar en el baño de soldadura fundida ocasionando inclusiones que debilitan la soldadura [1].

III. TIPOS DE CONTAMINACIÓN EN LA SUPERFICIE DE TITANIO Y SUS ALEACIONES

Existen cuatro tipos de contaminación que pueden cubrir la superficie de los metales; y de acuerdo a cada tipo de contaminación existe un método de limpieza adecuado:

A. Contaminaciones físicas

La superficie del metal es cubierta por contaminantes comunes en el ambiente como polvo, aceites, arena, deposito en la superficie de partes y formas de polvo flotante y sedimentos. Pueden ser limpiadas mediante métodos mecánicos como vibración, solventes orgánicos, cepillado mecánico, etc.

B. Contaminaciones químicas

Existe una reacción química entre la superficie del metal y el ambiente originando capas de moho, oxidación, etc. Los métodos de limpieza se realizan mediante el uso de soluciones químicas como baños de ácidos, limpieza electroquímica, etc.

C. Contaminaciones biológicas

La superficie es cubierta por contaminación microbiana comúnmente algas u hongos. Una limpieza especial es

requerida para este tipo de contaminación, como el uso de germicidas o vapor a alta presión.

D. Contaminaciones mixtas

Combinación de contaminación como física-química, física-biológica, y química-biológica. Se combinan métodos para eliminar los agentes contaminantes de la superficie de los metales.

Comúnmente la superficie de las tuberías de titanio usadas para los sistemas de propulsión de vehículos espaciales se encuentra cubierta por una delgada y compacta capa de óxido y grasa de su fabricación u almacenamiento, por lo tanto el objetivo de la limpieza de tuberías antes de realizar la soldadura es despejar la superficie de las piezas de la grasa y de la capa de óxido con los métodos adecuados para ello [3].

IV. MÉTODOS DE LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE DE TITANIO Y SUS ALEACIONES

A. Desengrasado de la superficie

La acumulación de grasa y aceite durante el mecanizado y formación de las tuberías de titanio debe ser removida antes de la soldadura para evitar la contaminación de la misma. Los métodos para el desengrasado incluyen: desengrasado con solventes orgánicos, desengrasado en vapor, desengrasado con solución alcalina y desengrasado electrolítico [4].

B. Desengrasado con solventes

La limpieza con solventes orgánicos es frecuentemente usada especialmente para piezas de gran tamaño, se aplica por rocío, inmersión o trapeado. Los solventes aplicados incluyen metiletilcetona (butanona), tolueno, acetona y otros solventes libres de cloro (los solventes clorados como tricloroetileno y también los solventes con silicio pueden contribuir al agrietamiento de las soldaduras de titanio. El alcohol metílico (metanol) ha sido reportado por causar corrosión, y por lo tanto está prohibido su uso como solvente en la industria aeroespacial [2].

Las zonas de unión son limpiadas a mano con el disolvente justo antes de la soldadura. Toda limpieza debe hacerse con toallas de limpieza sin pelusa o una esponja de celulosa. Los guantes sin pelusa o de plástico deben ser usados; los guantes de caucho son propensos a dejar trazas de plastificante que pueden causar porosidad en el metal de soldadura. El uso de guantes es obligatorio durante todo el proceso de limpieza de las tuberías ya que las huellas dactilares, suciedad o sudor de la mano son también fuentes de contaminación [2,4].

Los procedimientos de enjuague y secado son importantes en estas operaciones. Los residuos originados del tratamiento de desengrase no deben permanecer en el área de soldadura. Las marcas sensibles a la temperatura como marcas de colores, de pintura, de lápiz y/o tinta deben ser removidas de las áreas que serán sometidas a la soldadura; estos materiales pueden contaminar o bien el metal subyacente o el metal de soldadura y el resultado es la fragilización o porosidad [2,4].

El desengrasado con solventes orgánicos es rápido y presenta muchas ventajas, sin embargo, los solventes orgánicos son comúnmente inflamables, venenosos y volátiles, por lo que la

protección contra explosión, incendio e ingestión debe estar bajo atención constante y contar con la ventilación adecuada.

C. *Desengrasado con vapor*

Para la aplicación de este método también es requerido el uso de un solvente orgánico, el cual es colocado dentro de un contenedor sellado con agitación constante, y la parte a ser limpiada colgando sobre el solvente. Luego se calienta el solvente y el vapor alcanza la superficie del objeto, removiendo la grasa, siendo condensado a líquido en la parte superior del contenedor. No todas las piezas son adecuadas para la limpieza con vapor, por ejemplo las piezas porosas o de formas complicadas que puedan retener mucho solvente o con una gran relación de superficie/peso [3,5].

D. *Desengrasado alcalino*

Los desengrasantes alcalinos contienen sales inorgánicas alcalinas a los cuales pueden agregarse jabones u otros agentes orgánicos tensoactivos. Están formulados para eliminar aceites, grasas y partículas sólidas tales como polvo del taller u otras suciedades. Bajo condiciones de trabajo apropiadas estos desengrasantes alcalinos, pueden brindar un alto grado de limpieza. Los desengrasantes alcalinos combinan diversas sales alcalinas tales como hidróxido de sodio, carbonato de sodio, fosfato trisódico, etc., junto con productos coloidales como jabones y agentes tensoactivos. A diferencia de los solventes que disuelven los aceites, los detergentes alcalinos los desplazan y suspenden o los emulsifican en la solución; también reaccionan con los aceites formando jabones solubles. Los detergentes alcalinos son usados para eliminar aceites y el polvo que se adhiere a la superficie. Las reacciones químicas incluyen saponificación y emulsión [5].

El principio del efecto de saponificación es basado en que todas las grasas de animales o grasas de aceite contienen estearina (insoluble en agua) la cual es saponificada con hidróxido de sodio (NaOH). El efecto de saponificación cambia la estearina insoluble en agua en jabón soluble en agua y glicerol, este último puede ser limpiado fácilmente. La reacción de saponificación es la siguiente:



Las grasas minerales no sufren el efecto de saponificación por lo que deben ser removidas por emulsificación. La grasa en la superficie es encapsulada en pequeñas pelotas que pueden ser desacopladas de la superficie y distribuidas en el agua formando una emulsión. Para lograr este efecto es requerido un compuesto tensoactivo o Surfactante (Surface active reagent) que se encarga de disminuir la tensión superficial manteniendo de esta manera las grasas y aceites en emulsión; su estructura posee dos grupos funcionales incompatibles uno de ellos hidrofóbico y el otro hidrofílico. El Grupo hidrofóbico brinda una reacción compatible con el aceite en la superficie del metal, mientras que el grupo hidrofílico interacciona con la solución desengrasante. Con la introducción del surfactante la conexión entre el aceite y la pieza de trabajo se hace débil y se desengancha de la superficie convirtiéndose en pequeñas bolas que se mantienen en la solución formando una emulsión [3].

Un buen desengrase alcalino cumplirá las siguientes funciones: 1. Saponifica las grasas. 2. Moja y emulsiona. 3. Ablandador de agua. 4. Inhibe el ataque del metal. 5. Actúa como regulador de pH, siendo esta última muy importante debido a que los agentes tensoactivos funcionan de manera óptima dentro de un rango de pH, es por ello que un buen desengrasante debe contener sales que actúen de regulador de pH, es decir, que mantengan a éste en el rango óptimo, aun cuando haya contaminación del desengrase con productos ácidos o alcalinos [5].

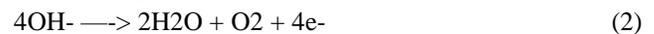
E. *Desengrasado electrolítico*

La pieza de trabajo pasa a ser parte de un circuito y es utilizado como ánodo o cátodo según el tipo de metal. Junto con el electrodo correspondiente, se sumerge en el baño que contiene un electrolito. Se aplica un voltaje; el ánodo comienza a producir oxígeno y el cátodo burbujas de hidrogeno. Estas burbujas se originan directamente en la superficie del metal bajo la capa del contaminante. Levantará así la suciedad que luego puede disolverse o emulsionarse en el baño [6].

En limpieza electrolítica catódico el Hidrógeno formado en la reacción produce un efecto de fregamiento en la superficie y arrastra los contaminantes limpiando las piezas. En el proceso catódico se produce el doble de Hidrógeno que de oxígeno en el proceso anódico. Este proceso ofrece una buena limpieza pero se ha de tener precaución principalmente por dos motivos, el primero tiene que ver con la fragilidad de los materiales por la absorción del hidrógeno generado en el proceso, y el segundo, con el riesgo asociado a la deposición de los posibles metales encontrados en la solución en la superficie de las piezas cargadas negativamente [7].

Para la limpieza electrolítica anódica el oxígeno formado en la reacción produce un efecto de fregamiento en la superficie y arrastra los contaminantes limpiando las piezas, al igual que el hidrógeno en el proceso catódico. Las burbujas de oxígeno formadas en la superficie se juntan y crecen antes de levantarse en capas continuas. La carga electrostática que mantiene las partículas de contaminantes en la superficie de las piezas se disipa mediante la capa de burbujas y así facilita la eliminación de la superficie. En este proceso se producen efectos químicos, como la oxidación y baja de pH, que influyen negativamente debido a la pasivación de algunos materiales [7].

Reacción Anódica:



Reacción catódica:



F. *Eliminación del óxido*

La composición de la capa de óxido en la superficie varía de TiO_2 a Ti_2O_3 hasta TiO . Condiciones de ambientes acuosos promueven la formación del TiO_2 de modo que en ambientes normales la película de óxido formada es principalmente TiO_2 , esta es transparente y no es detectable a simple vista. La capa de óxido en el titanio es muy estable y solo es atacado por pocas sustancias, entre ellas el ácido fluorhídrico. El titanio es capaz

de formar esta capa casi instantáneamente en cualquier ambiente donde existan trazas de humedad u oxígeno [8].

Cuando el titanio es calentado por encima de los 600°C (1100°F) la capa de óxido es más gruesa que la formada por debajo de los 600°C (1100°F), las altas temperaturas tienden a promover la formación de la estructura altamente cristalina y químicamente resistente de TiO₂ conocidas como Rutilio y Anatasa. Estas capas más gruesas de titanio requieren métodos más complejos o combinaciones de ellos. Existen tres formas de eliminar la capa de óxido de la superficie de titanio mediante el uso de baños de ácidos, baños de sal o mediante la implementación de procesos mecánicos [2].

G. Limpieza mecánica

La limpieza mecánica se realiza mediante el blastinado con partículas abrasivas o mediante el uso de cepillos y pulidos. Para el blastinado con partículas abrasivas se deben usar abrasivos limpios, libre de carbón o de partículas de hierro o acero ya que estas pueden generar contaminación, las esferas de vidrio son efectivas, es recomendable. La limpieza con cepillos se debe realizar solamente con cepillos hechos de alambres de acero inoxidable o Titanio. Sin embargo, estos métodos pueden generar contaminación, incrustaciones o manchas de partículas, que pueden hacer susceptible a la corrosión cuando la unidad se coloca al servicio, por lo tanto no son permitidos para la limpieza de las tuberías de Titanio de los sistemas de propulsión de naves espaciales [1].

H. Limpieza con ácidos

El titanio es altamente resistente a la limpieza por ácidos en un amplio rango de concentraciones y temperaturas. Los ácidos como el nítrico, crómico, perclórico, hipocloroso, entre otros, aseguran la estabilidad de la capa de óxido por ser ácidos oxidantes. Por otro lado ácidos reductores como el ácido clorhídrico, sulfúrico, fosfórico y fluorhídrico resulta una buena opción para la remoción de la capa de óxido, aumentando su efectividad al aumentar la concentración del ácido y la temperatura.

El ácido clorhídrico (HCl), el ácido sulfúrico (H₂SO₄) y el ácido fosfórico (H₃PO₄) poseen similar actuación frente a la capa de óxido de la superficie de Titanio. La resistencia de la capa de óxido es alta a concentraciones diluidas de estos ácidos y temperatura ambiente, sin embargo, la resistencia de la capa de óxido disminuye a temperaturas de ebullición de los ácidos y concentraciones altas. Para el caso del H₂SO₄ existe un aumento favorable en la tasa de erosión solo con el aumento de la temperatura, manteniendo concentraciones bajas del ácido. Por otro lado el ácido fluorhídrico (HF) es el más utilizado debido a su rápido ataque a la capa de óxido [8].

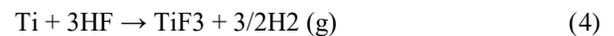
La presencia de iones metálicos multivalentes, tales como iones férricos o cúpricos, o especies oxidantes inhiben la acción de los ácidos sobre la capa de óxido en la superficie del Titanio. Por lo general se utilizan mezclas de ácidos, donde se agrega como agente inhibidor el ácido nítrico para controlar la velocidad de erosión de la capa de óxido y evitar daños en el material, en donde al aumentar la concentración del ácido reductor, aumenta la capacidad de ataque a la capa de óxido [8].

I. Baños de sal

Los baños de sal fundidos son básicamente hidróxido de sodio (NaOH), al cual se le añade agentes oxidantes o Hidrógeno para formar hidruro de sodio (NaH). Este método es de gran cuidado, la composición y temperatura deben ser cuidadosamente controladas, para prevenir la introducción de cantidades excesivas de Hidrógeno en el Titanio. Los baños de sal fundidos son utilizados cuando la capa de óxido es gruesa y formada a temperaturas mayores a los 600°C (1100°F) [2].

V. LIMPIEZA CON ÁCIDO FLUORHÍDRICO (HF)

El Titanio es rápidamente atacado por el HF, incluso en soluciones de concentraciones diluidas, por lo que raramente es usado solo. Usualmente es combinado con otro químico para producir una solución adecuada para el tratamiento de las superficies. La mezcla de HF y HNO₃ ha sido bastante prevalente. Algunas de las desventajas de usar el HF solo es que primero existe la formación de Hidrógeno en forma de gas, altamente inflamable y explosivo. Esto puede crear un peligro potencial de incendios (la reacción química se muestra a continuación); segundo el HF tiende a evaporarse rápidamente, y por último el resultado final de la superficie puede ser el no deseado [10].



Para restar algunas de estas desventajas, el ácido nítrico es añadido a la solución, de esta manera el HF tiende a ser más estable, el gas Hidrógeno es eliminado, y el ataque a la capa de óxido es controlado. Una relación 3% de HF y 15 % de HNO₃ en relación peso es normalmente la concentración recomendada para la preparación de las soluciones de limpieza de ácidos [2,10]. La reacción química es la siguiente:



VI. TRATAMIENTO DE LIMPIEZA DE TUBERÍAS DE TITANIO ANTES DE LA SOLDADURA

En vehículos espaciales se debe asegurar la correcta limpieza de todos los contaminantes presentes en la superficie de las tuberías. En la figura 1 se presenta un esquema detallado y completo de un posible proceso de limpieza de la superficie de las tuberías de Titanio para un sistema de propulsión de acuerdo a la temperatura de formación del óxido. Sin embargo, algunos otros parámetros deben ser tomados en consideración antes de la definición del proceso de limpieza, como si es permitido o no la limpieza mecánica además de tener presente siempre el tipo de aleación de titanio que se está utilizando para la elección del tipo y concentración de los baños ácidos, etc. De acuerdo con esto y las condiciones e instalaciones del cuarto de limpieza es definido el esquema y procedimiento de limpieza.

La utilización de los métodos de desengrasado por solvente y el desengrasado con solución alcalina asegura la remoción de todos los tipos de grasa y aceites que pueden estar presentes en la superficie a ser limpiada.

La remoción de la capa de óxido formada a temperaturas

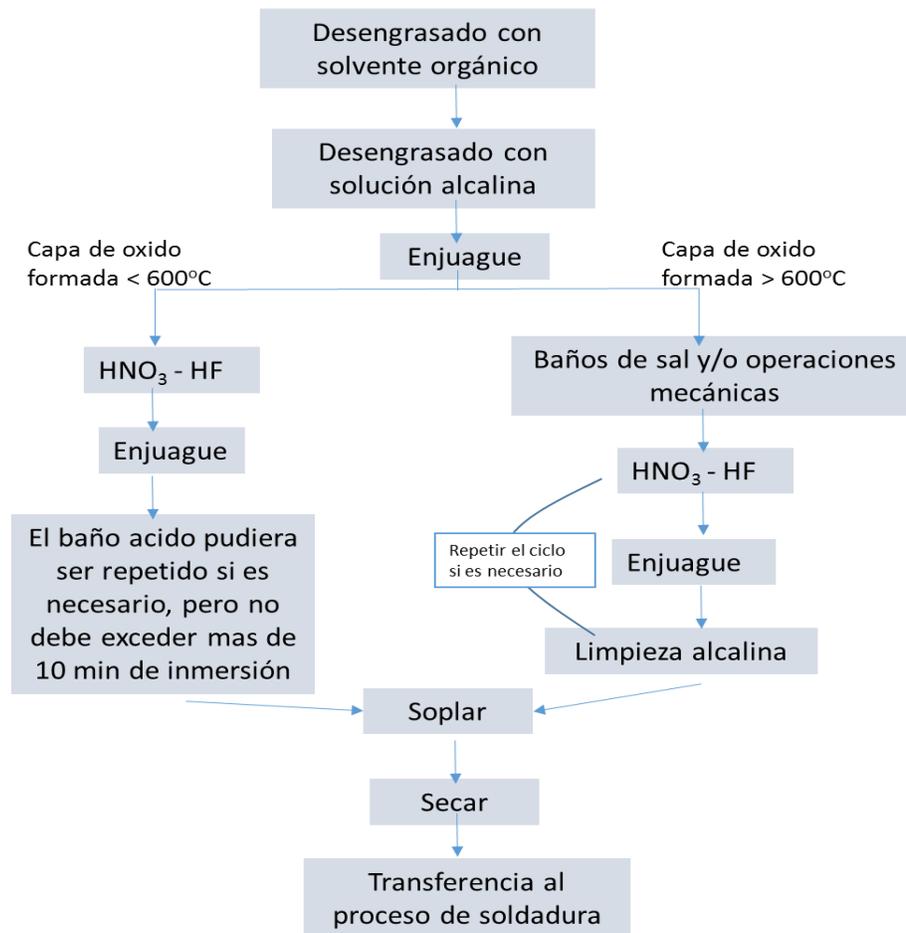


Fig. 1. Proceso de limpieza de las tuberías de titanio para el sistema de propulsión de una nave espacial antes de la soldadura [1,4].

bajas, es de fácil remoción con la implementación de baños de ácidos, repitiendo el procedimiento si es necesario. Sin embargo, para la remoción de la capa de óxido formada a temperaturas mayores requiere tratamientos más complejos como baños de sal, limpiezas mecánicas o la combinación de estos. Ambos tratamientos son seguidos por el baño de ácido para asegurar la completa remoción de la capa de óxido [2].

Luego de cualquier tratamiento con solventes, soluciones alcalinas, ácidos o cualquier sustancia para realizar la limpieza, la pieza de titanio debe ser enjuagada o lavada con agua desionizada para remover los residuos de las sustancias químicas y evitar cualquier tipo de inconveniente durante la soldadura, ya que por ejemplo restos de solventes orgánicos pueden causar incendios debido a que son en su mayoría inflamables.

La superficie de titanio antes de la limpieza suele mostrar un brillo blanco y plateado metálico, que luego de la limpieza con ácidos y remoción de la capa de óxido desaparece [3].

La validez del tratamiento de limpieza escogido para las piezas de titanio se evalúa mediante ciertos métodos. El método de menor popularidad es el de descubrir porosidad, grietas u otra evidencia de contaminación luego de la soldadura de la pieza. La medida de la resistencia en la superficie de la pieza puede proveer información sobre la efectividad y consistencia de las operaciones de limpieza. [2].

Uno de los métodos más utilizados para el control de partículas sobre la superficie de las tuberías de titanio es el uso de un fluido adecuado que no cause efectos sobre la superficie de la tubería y que pueda ser eliminado fácilmente luego de la evaluación. Normalmente el fluido elegido es Agua desionizada. Al dejar correr el fluido sobre la superficie de la pieza, este debe correr a través de ella sin ningún corte o ruptura; si el fluido presenta un descanso indica que algún material no deseado se encuentra sobre la superficie. El filtrado del fluido es realizado y observado mediante lupas o microscopio con el fin de observar la cantidad y tamaño del contaminante, y asegurar la total remoción de partículas mayores a 50 μm , requerimiento común para sistemas de propulsión [3].

El control de limpieza debe ser llevado a cabo durante todo el proceso de limpieza y soldadura de las tuberías del sistema de propulsión. El cuarto de limpieza debe garantizar la pureza del ambiente y el control de tamaño y cantidad de partículas.

El cuarto de limpieza debe estar provisto por los tanques para ácidos, los cuales deben cumplir ciertas condiciones de acuerdo al tipo de solución que contenga. Para una solución de ácidos comunes (sulfúrico, nítrico, etc.) el tanque debe ser de polipropileno (PP), si la solución contiene ácido crómico el material del tanque debe ser cloruro de polivinilo. Para las soluciones alcalinas usualmente el material del tanque es acero

inoxidable. Además de esto, un tanque para solución



Figura 2. Tanque de soluciones acidas de PP neutralizadora y tanques de agua desionizada deben estar presentes en el cuarto de limpieza, el primero para remover el exceso de ácido en caso de corrosión y los tanques de agua para enjuagar las soluciones tanto acidas como alcalinas de los componentes limpiados

Luego que superficie de titanio cumple con los requerimientos de diseños, soplar agua dentro de las tuberías y colocar dentro de un horno para secar. Cuando las tuberías se encuentran en el horno, se selecciona la temperatura de secado requerida y se mantiene constante. El tiempo de secado es decidido de acuerdo a la longitud y complejidad de las tuberías.

VII. MANEJO Y ALMACENAMIENTO DESPUÉS DE LA LIMPIEZA

Todo el manejo de las piezas después de la limpieza y antes de la soldadura debe ser controlado. Inmediatamente de la limpieza de las tuberías, estas deben ser soldadas, o deben ser protegidas con envolturas libres de pelusas y aceites y almacenadas en cuartos limpios. De acuerdo al tipo de soldadura una limpieza luego del almacenamiento puede ser requerida.

Entre la limpieza y las operaciones de soldaduras, las piezas tal vez sean expuestas a la atmosfera abierta. Durante dicha exposición, el polvo y partículas de suciedad finas pueden depositarse en la superficie del área de soldadura o áreas adyacentes. En mucho de estos casos estas partículas de polvo y suciedad pueden eliminarse frotando con cuidado el área de la soldadura con un paño libre de pelusa humedecido con un disolvente orgánico tal como metiletilcetona [2].

VIII. CONCLUSIONES

Cada proceso durante el ensamblaje integración y pruebas de naves espaciales determinan el éxito o falla de una misión espacial; por lo que cada paso debe realizarse cumpliendo con las exigencias que requieren, como el caso de la limpieza de las tuberías de titanio de los sistemas de propulsión antes de ser soldados, para asegurar la calidad y confiabilidad en la soldadura y garantizar así la funcionabilidad del sistema de propulsión.

La exigencia del control de la limpieza requerida durante el proceso de limpieza y soldaduras de tuberías, que incluye ambiente, operadores, equipos, componentes y procesos

operacionales debe ser controlada y monitoreada durante todo el proceso cumpliendo estrictamente los requerimientos.

Los ácidos, solventes, los métodos y procedimientos de limpieza deben ser escogidos teniendo en consideración marca del material de la tubería de titanio, el tipo de aleación y los requerimientos de diseño.

REFERENCIAS

- [1] J. Fulcer. "TIG for titanium tubing. Success hinges on filler metal selection, cleanliness, gas coverage". The tube & Pipe Journal October, 2008
- [2] "Welding Procedures for Titanium and Titanium Alloys". NASA TM X-53432. October 1965.
- [3] "Satellite Pipeline Welding Technologies". China Academy of Space Technology - Shenzhou Institute CSI-DA-003 (VDA Training)
- [4] W. W. Scott. "Materials Properties Handbook: Titanium Alloys". USA, ASM International 1994.
- [5] "Principios de limpieza de metales". FOSFAMET. [En Línea]. Disponible en: http://www.fosfamet.cl/limpieza_fosfamet_cl.pdf
- [6] "Limpieza Electrolítica". [En Línea]. Disponible en: http://www2.cleantool.org/lang/sp/mat_cleaning/13_reinigungprozess.htm
- [7] "Limpieza y desengrase alcalino electrolítico catódico". El Hco Electroless Hard Coat, S.A [En Línea]. Disponible en: <http://elhco.com/es/limpieza-desengrase-alcaino-electrolitico-catodico>
- [8] "Corrosion Resistance of Titanium". Titanium Metals Corporation. [En Línea]. Disponible en: http://www.parrinst.com/wp-content/uploads/downloads/2011/07/Parr_Titanium-Corrosion-Info.pdf
- [9] "Titanium - Corrosion by Acids". [En Línea]. Disponible en: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1240>
- [10] "Etching Titanium with HF and HNO3 solutions. Part 1." ChemCut Cooperation.



Kristal N. Varela, nació en Mérida, Venezuela en 1987. Licenciada en Química de la Universidad de Los Andes en 2013.

2013-2014 recibió entrenamiento en la República Popular de China en tecnología espacial. Desde el 2014 trabaja en la Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales, desempeñándose como Ingeniero en diseño y ensamblaje satelital, encargada del área de Detección de fugas en vehículos espaciales.

Participante del Proyecto VRSS-2 en las pruebas de detección de fugas y las pruebas de ambiente espacial.