

Acero contra Titanio

Ha habido una gran confusión sobre los grados de acero utilizados para la joyería corporal, los términos “acero inoxidable” y “acero de grado implante” son utilizados indistintamente.

Las personas están a favor y en contra del 316 L, 316 LVM, STTM F 138, etc. Para aclarar lo anterior es importante entender quien creó los diferentes términos y estándares, así como entender los estándares en sí.

AISI

AISI: Es el número más asociado con el acero utilizado en la joyería de perforación es 316 o 316 L, tales números se encuentran en un sistema de “grado” AISI; los más comunes son 316 L Ó 316 LVM.

El AISI es el American Iron Steel Institute (Instituto Americano de Hierro y Acero [www.steel.org]); este instituto está compuesto de fabricantes y usuarios de acero. Su declaratoria de misión es la siguiente: “Por alrededor de un siglo los productores de acero norte americanos han dejado a un lado su rivalidad para trabajar como socios y miembros del American Iron Steel Institute, para llevar más allá su misión para promover el acero como el material a elegir y para aumentar la competitividad en la industria de acero de norte américa y sus compañías miembro”.

Es importante comprender que AISI está interesado en cada aspecto del acero, desde clavos hasta contenedores gigantes de acero y puentes de vigas compuestas.

[316, 316 L y 316 LVM](#)

¿Entonces qué significa 316? Tómalo como una receta para cocinar una mezcla o “aleación” de elementos. Le dice a un productor de acero la cantidad de cada componente elemental que se requiere para producir el diseño principal y las características del desempeño que desean.

316 L es ésta misma receta con un contenido de carbono reducido (de .80% a .03%).

316 LVM es la receta con un bajo contenido de carbono que se ha alcanzado al derretir al vacío los componentes.

Históricamente, la serie 316 fue producida para satisfacer necesidades industriales. Según www.metalinfo.com, la serie 316 fue utilizada especialmente en maquinaria de fábricas de papel, pero también tenía aplicaciones en medios marinos y componentes de industria en general.

El 316 L fue creado en los años 50's, su carbono fue reducido para tener más resistencia a la corrosión. El 316 L tiene todas las propiedades del 316 pero además tiene Soldabilidad superior.

En otras palabras se mejoró el acero por razones industriales, no por aplicaciones médicas, mientras que los aceros de la serie 316 (y 304) se abrieron paso en la industria médica, originalmente su propósito no era para uso en el cuerpo; no fue formulado específicamente para biocompatibilidad.

Sin embargo, sus características de resistencia superior a la corrosión lo hicieron conveniente en un papel limitado para propósitos de implantes.

¿En qué difieren el ASTM F-138 y el ISO 5832-1 del 316LVM?

- I. Hay diferencias en los requerimientos de la composición.
- II. Hay requerimientos metalúrgicos para el ASTM F-138 y el ISO 5832-1
- III. Hay requerimientos para pruebas especiales para el ASTM F-138 y el ISO 5832-1
- IV. Hay un certificado del fabricante establecido que el material fue producido y probado (sólo para el ASTM F-138)

- I. Primero Veamos los requerimientos en la composición. Mantenga en mente que cada uno de los elementos en la tabla afecta las características del acero de una u otra forma.

Requerimientos de composición química

	AISI max %	ASTM max %	ISO max %
Carbono	.03	.03	.03
Manganesio	2.0	2.0	2.0
Fósforo	.045	.025	.025
Azufre	.03	.01	.01
Silicio	.75	.75	1.0
Cromo	16.0 – 18.0	17.0 – 19.0	17.0 – 19.0
Níquel	10.0 – 14.0	13.0 – 15.0	13.0 – 15.0
Molibdeno	2.0 – 3.0	2.25 – 3.0	2.25 – 3.5
Nitrógeno	.1	.1	.1
Cobre	No estándar	.5	.5
Hierro	Balance	Balance	Balance

1. **Cromo:** Es materia prima esencial en el acero inoxidable para otorgar resistencia a la corrosión. El cromo se une con el oxígeno del aire para formar el óxido de cromo (Cr_2O_3). El óxido de cromo es una capa de laminilla adherente muy delgada y fuerte, la cual se repara así misma si se rasga o se daña. Recuerde que éste óxido formado por una reacción química entre el carbono y el oxígeno, entonces este delgado recubrimiento molecular de Cr_2O_3 evita que el O_2 entre en contacto con el carbono que se encuentra en el acero. El comité aumentó el nivel de cromo para asegurar que haya suficiente para formar Cr_2O_3 si el cromo se ha reducido por un uso diferente (como la unión con carbono para formar carburo de cromo). El óxido de cromo no va bien con soluciones de cloro, el cloro interrumpe la laminilla y puede causar picaduras.
2. **Molibdeno:** Es la mano derecha del cromo. Se une con el carbono, lo que ayuda a limitar la cantidad de carbono que está disponible para atar el cromo y precipitar carburo de cromo. El carburo de cromo es malo porque forma zonas de bajo contenido de cromo alrededor de las precipitaciones. Las zonas de bajo contenido de cromo ya no son capaces de formar cantidades adecuadas de película protectora pasiva (Cr_2O_3) y por lo tanto los límites de grano son los primeros en ser atacados en un medio corrosivo. El Molibdeno también es elemento principal mejorando la resistencia a la corrosión de picaduras. El molibdeno ayuda a producir una pequeña estructura de grano con mejoras generales en la fuerza. Esta estructura fina es el resultado de la distribución estable y pareja del carburo de molibdeno. Dichos carburos también pueden servir para estabilizar el inoxidable lo cual, de otra manera, puede mostrar fragilidad de templado debido a otras precipitaciones de carburo.
3. **Níquel:** proporciona un alto grado de ductilidad (habilidad de cambiar la forma sin fractura) al acero, así como ayudar a la resistencia a la corrosión. El níquel también puede ayudar a

disminuir las temperaturas críticas del tratamiento de calor y generalmente permite una preparación más sencilla. El níquel refuerza y endurece el acero por disolución en la matriz ferrítica.

4. *Cobre*: es benéfico para la resistencia a la corrosión, pero el ISO 5832-1 y el ASTM F-138 limitan la cantidad que puede ser utilizada.
5. *Fósforo y Azufre*: Son productos derivados de la producción y se ven como impurezas. Al disminuir la cantidad de estos dos elementos, el efecto es tener acero más limpio. Dichos elementos tienden a reunirse en los límites del grano, lo que causa la creación de inclusiones. El azufre se asocia específicamente con las picaduras, mientras el acero se enfría y pasa de líquido a sólido, las partículas ricas de azufre se solidifican a una temperatura más baja. Esto significa que forman pequeñas burbujas de partículas que siguen líquidas cuando el resto del acero se ha solidificado. Estas burbujas (probablemente junto con carbono) sacan al corno del acero alrededor que causa pequeñas “cáscaras” de acero que no es “inoxidable”, lo cual a su vez es más susceptible a la corrosión.

- II. Para continuar con la manera de los estándares del ISO 5832-1 y del ASTM F-138 difieren del estándar 316 L, necesitamos dirigirnos a los requerimientos metalúrgicos establecidos en la sección 8 del ASTM F-138 y la sección 4 del ISO 5832-1

Una nota sobre la naturaleza de los metales; para propósitos, todos los metales y aleaciones son sólidos cristalinos. La mayoría de los metales adoptan una de tres diferentes estructuras de entramado o cristalino conforme se forma: cuerpo cúbico central (BBC por sus siglas en inglés), cara cúbica central (FFC), o cuerpo cerrado hexagonal (HCP).

El cuerpo cúbico central y la cara cubica central son importantes para el acero; el cuerpo cerrado hexagonal y el cuerpo cúbico central son importantes para el titanio que veremos más adelante.

Puede encontrar un ejemplo de los requerimientos quirúrgicos en el 8.1 del ASTM F-138 que establece “El material no deberá exhibir fases de hierro Delta, Chi o Sigma cuando es examinado de manera metalográfica con un aumento de 100X”.

Lo anterior significa que cuando llega el stock que su fabricante recibe de la fábrica estará libre de estructuras de grano de cuerpo cúbico central dentro de la matriz de austenítico con un aumento de 100X

El 8.2 de los estándares establece los límites para “la micro limpieza del acero” al dictar el tipo y el tamaño de las inclusiones permisibles.

El estándar 316 L no tiene un estándar de limpieza equivalente.

- III. Otra diferencia es que el ISO 5832-1 y el F-138 requieren pruebas especiales para asegurar un tamaño de grano fino y la capacidad de resistir la corrosión intergranular. Por ejemplo, la sección 10.1 del ASTM F-138 establece que “El acero deberá ser capaz de aprobar de susceptibilidad a la corrosión intergranular. 10.2 La barra de forje, alambre y alambre fino de conformidad con esta especificación deberán tener un tamaño de grano de ASTM No. 5 o más fino de acuerdo con los métodos de prueba E 112.
- IV. La Certificación. La última diferencia es que usted no tiene que confiar en lo que le diga nadie en términos de la pureza del acero que le estén vendiendo. Si el proveedor de la joyería está utilizando acero ASTM F-138 certificado o acero que cumple con el ISO 5832-1, él estará orgulloso de esto y en general no tendrá ningún problema con mostrarle un certificado de la fábrica de acero avalando el lote de acero

que están utilizando. Dicho certificado mostrará si el acero fue producido y probado de conformidad con el estándar F-138.

El acero es mucho más fácil de producir que el titanio y hay una marcada disparidad entre las diferencias de calidad entre los mismos grados de acero, consecuentemente, el acero tiene requerimientos mucho más estrictos para que se le pueda considerar como “certificado para implantes”. Por lo tanto, es muy importante que un perforador profesional o dueño del estudio investigue o conozca muy bien a su proveedor de acero.

Hay un consenso general que dice que una estructura metalúrgica homogénea será superior en lo que respecta a la corrosión y resistencia al desgaste. Con base en lo anterior. Los requerimientos metalúrgicos incluyen una estructura austenítica libre de ferrito con una bajo contenido de micro inclusiones y con la capacidad de aprobar una prueba intergranular de susceptibilidad a la corrosión.

Particularidad del Acero Inoxidable

Es importante mencionar que el estándar ASTM F-138 sólo para el material en sí; algunos fabricantes utilizan entubados para producir su joyería de acero inoxidable. Cuando éste es el caso hay un estándar adicional que usted deberá tomar en cuenta: el ASTM F 2257.

Este estándar requiere que el acero cumpla con todos los requerimientos metalúrgicos del F-138 pero también incluye los estándares para producir el entubado.

Así mismo surgió la preocupación de la presencia del cloro o cloruros que podrían afectar el acero inoxidable ASTM certificado. El óxido de cromo sólo es sensible ante el cloro y puede ocasionar un tipo de

corrosión localizada conocida como Picadura. El cloro puede ocasionar debilitamiento en la capa pasiva en la superficie del acero, la cual a su vez, puede exponer inclusiones en las que puede generarse corrosión.

Sin embargo esto tendría que ocurrir en la ausencia o casi ausencia de oxígeno, de lo contrario el cromo se uniría con el oxígeno formando óxido de cromo.

También hago mención que nuestro cuerpo contiene cloro, orina y sudor; sin embargo el cloro que se encuentra y se excreta de nuestro cuerpo está unido con otro elemento llamado Sodio.

La unión entre el sodio (Na) y el cloro (Cl) es muy fuerte y por lo tanto no debemos de preocuparnos de que esta fuente de cloro libre dañe nuestra joyería, así mismo el agua que usamos para bañarnos o el agua de una alberca tiene niveles de cloro lo suficientemente diluidos para ser virtualmente segura para los fregaderos de acero o para los cubiertos que son de un grado mucho menor que el de nuestra joyería.

El cloro en su estado natural es excesivamente dañino para el acero, sin embargo es venenoso cuando lo respiramos. A menos de que sumerja su joyería en una solución de cloro blanqueador, no deberá tener ningún tipo de problema.

TITANIO

Otra opción acerca de la naturaleza de los metales, básicamente hay dos formas de hacer la aleación de los elementos con el metal base o padre.

Los átomos de la aleación se pueden combinar por medio de sustitución directa, crear una solución sustitucional sólida o se pueden combinar de forma intersticial formando una solución intersticial sólida.

Solución sustitucional sólida: Cuando los átomos de la aleación son similares del metal padre, siempre remplazaran a los átomos del metal padre en el entramado. El nuevo metal se disuelve en el metal base para formar una solución sólida.

Solución intersticial sólida: Cuando los átomos de la aleación son más pequeños que los átomos del metal padre podrán encajar entre los átomos del entramado del metal padre.

Los átomos de aleación no ocupan sitios de entramado y no remplaza ninguno de los átomos originales; por supuesto esto causa presión en la estructura de cristal porque no encajan perfectamente; hay átomos que toman espacio que originalmente no estaba ocupado.

Normalmente el resultado final, es un aumento en la resistencia a la tensión y una disminución en el estiramiento.

A menudo ni la solución directa ni la intersticial pueden disolver completamente todos los átomos agregados. Cuando esto pasa, el resultado atómico.

En otras palabras existen estructuras cristalinas diferentes dentro de una misma aleación. Cada una de estas estructuras diferentes es llamada fase la aleación, la cual es una mezcla de estas estructuras cristalinas diferentes, es llamada aleación multifase.

La mayor parte de la joyería Ti que utilizamos es una aleación multifase.

Estas fases diferentes se pueden distinguir con un microscopio cuando se pule y se grava la aleación. Las fases presentes en una aleación, junto con la disposición general de los granos y de los límites de grano, se combinan para formar una microestructura de aleación. Y la microestructura de una aleación es crítica, ya que es la gran responsable de las propiedades física y mecánicas de tal aleación.

Existen aproximadamente 30 grados de titanio. Los primeros cuatro y el grado 7 son conocidos como grados comercialmente puros o CP. Esto significa que no aleaciones, son más del 99% puro con sólo rastros de carbono, oxígeno de nitrógeno, hierro e hidrógeno.

Los otros grados de titanio están divididos por el tipo de fase que se muestran sus microestructuras a la temperatura de un cuarto; las aleaciones alfa, alfa-beta y beta.

De los 30 grados, solo cuatro de ellos se utilizan comúnmente como materiales para implantes, grados CP 1y 2, el grado 23, y el Ti-6Al-6V-2Sn. Aunque cualquiera de estos 4 tipos de Ti serían adecuados para las perforaciones, el tipo de titanio que se utiliza de manera más común para las perforaciones corporales es el grado 23, el cual también se conoce como Ti-6Al-4V ELI.

El grado 23 es una aleación alfa-beta Ti, para entender perfectamente lo que significa, debemos pensar una vez más en términos de átomos. El titanio puro a temperatura de un cuarto contiene una estructura cristalina estrecha hexagonal, esto se conoce como su fase alfa. La fase alfa de Ti es muy estable hasta los 882 grados C, en ese punto cambia a una estructura de cuerpo cúbico central, también conocido su fase beta.

La Ti6Al4V ELI es una aleación de dos fases, las partes son la fase alfa y se precipitan fuera de la matriz de la fase beta, conforme la aleación es enfriada y pasa de líquida a la temperatura de un cuarto.

Ahora pasamos a Ti6Al4V ELI

El Ti obviamente significa Titanio, es titanio es útil para los implantes porque en presencia de O₂ siempre forma óxido de titanio (TiO₂). El dióxido de titanio es una laminilla pasiva, biocompatible, altamente cohesivo, adherente y químicamente estable que se forma en la superficie del Ti. Además, se puede regenerar espontánea e instantáneamente si es dañado mecánicamente.

El 6Al: Significa que la aleación es 6% de aluminio por volumen. Se agrega aluminio en la aleación para ayudar a estabilizar la fase alfa HCP. La fase alfa de Ti es muy plegable y resistente a la corrosión, el aluminio permite aumentar la temperatura de la fase alfa a la beta, lo que a su vez estabiliza la aleación a la temperatura del cuarto y aumenta su forjabilidad. El aluminio también le da a estas aleaciones unas excelentes características de fuerza.

El 4V: Indica que la aleación tiene 4% de Vanadio por volumen. Se agrega vanadio a la aleación para que algo de la fase beta BBC permanezca cuando se enfría la aleación a la temperatura de un cuarto. Las aleaciones alfa no pueden estar sujetas a tratamientos de calor. Entonces el hacer presente la fase beta a una temperatura de cuarto, la aleación alfa beta puede sujetarse a tratamientos de calor como el destemple y es más fácil de procesar que las aleaciones alfa comunes. Además también tienen características mecánicas óptimas y son a prueba de orín.

ELI: Significa Intersticial Extra Bajo. El Ti debería ser una solución sólida sustitucional, no una solución sólida intersticial. De manera más específica. Significa que el Ti ha sido producido de una forma que disminuye las impurezas intersticiales. Los metales tienen un factor de empaque atómico muy alto. Una pureza intersticial es un átomo extra muy pequeño (normalmente de O, N, C, H) que ha sido forzado dentro de un lugar que normalmente no es ocupado por un átomo.

La microestructura deberá ser una dispersión fina de las fases alfa y beta que resultan del procesamiento en el campo alfa más beta. No deberá haber redes alfa continuas previas a los límites de grano beta. No deberá haber plaquetas alfa alargadas y gruesas. ASTM F-136-08

Particularidades del Titanio.

El procesamiento de la aleación del Ti a través del forje y los procesos térmicos subsecuentes es una tecnología altamente desarrollada. El comportamiento metalúrgico de las aleaciones impone algunas limitaciones en las operaciones de forje, e influye en todos los pasos del proceso de fabricación.

Como consecuencia, tiende a haber muy pocas diferencias de calidad de un lote de Ti6Al4V a otro. No se puede decir lo mismo del procesamiento del acero. Sin embargo, debería seguir verificando para asegurarse de que el Ti que está utilizando es uno de los cuatro mencionados anteriormente, y si es Ti6Al4V ELI está certificado como el ASTM F-136 o conforme a el ISO 5832-3.

Se ha demostrado que hasta el Ti6Al4V libera cada una de las especies metálicas en la sangre y el tejido. Sorprendentemente, el cuerpo humano desarrolla una adaptación a los invasores; esta respuesta está relacionada con la tasa de liberación de productos corrosivos, así como su toxicidad.

En vivo (en un sistema biológico activo) las pruebas han demostrado que después de cierto periodo (dependiendo del huésped y muchas otras variantes) los productos corrosivos se acumulan alrededor del implante metálico y actúan como amortiguador, alentando la liberación de productos más corrosivos.

En teoría después de un periodo bastante largo se alcanzará el equilibrio y la liberación de varios iones disminuirá y será casi nula volviendo al Ti o al Acero Inoxidable virtualmente neutros. Dicho esto, es importante observar que tanto el acero inoxidable como el titanio han provocado respuestas alérgicas en sus huéspedes.

Aunque no sea común, puede pasar. Estamos familiarizados con la apariencia de una reacción alérgica provocada por el hacer inoxidable; hinchazón, enrojecimiento, y hasta tejido que “trata de escapar” de la joyería. Las reacciones alérgicas al titanio es un poco más difícil de identificar.

Según la fundación MELISA “para aquellos afectados por la alergia al Titanio, los síntomas pueden ser múltiples y desconcertantes. Estos van desde simples erupciones en la piel a dolor muscular o cansancio”. www.melisa.org/titanium-allergy.php

Finalmente, hubo cambios tanto en los estándares del acero y del Ti, concernientes al acabado de las superficies. “Acabado: El producto de fábrica puede ser entregados al fabricante de implantes descamados o picados mecánicamente, destruidos por abrasión, molido, triturado, maquinado, pelado, pulido químicamente, combinaciones de estas operaciones o como lo especifique el comprador.

En los alojamientos, las barras, las placas y las forjaduras, se pueden eliminar pequeñas imperfecciones de la superficie al pulir si el área satisface los requerimientos dimensionales y de acabado de superficie de esta especificación”.

Referencias:

ASTM Designation: F 128-08 Standard Specification for Wrought 18 Chromium-14Nickel-2.5Molybdenum Stainless Steel Bar and Wire for Surgical Implants

ASTM Designation: F-136-08´1 Standard Specification for Wrought Titanuim-6Aluminium-4Vanadium ELI (Extra Low Interstitial) Alloy for Surgical Implant Applications

Handbook of materials for medical devices, Joseph R Davis, ASM International Published by ASM International, 2003

Imperial College of Science, Technology and Medicine (2002, February 14). Stainless Steel Corrosion Mystery Solved by UK Researchers

The structure of metal; Bob Capudean, Contributing Writer Practical Welding Today April 24, 2003 Christel, P. A. Meunier, and A.J.C. Lee (Editors) 1986.

Christel, P. A. Meunier, and A.J.C. Lee (Editors) 1986. Biological and Biomechanical Performance of Biomaterials. European Society for Biomaterials, Elsevier. Amsterdam.

Department of Metals and Materials Engineering. 1998. Ceramists for Non-Ceramists: Body of Basic Knowledge for Materials Engineering Courses. The University of British Columbia. Vancouver. www.mmat.ubc.ca/other/courses/mmat382/

Ducheyne, P. S. Radin and J. Cuckler. 1990 "Bioactive Ceramic Coatings on Metal: Structure property relationships of surfaces and Interfaces". In Oonishi, H, (editorial) Bioceramics: Proceedings of the First International Bioceramic Symposium. Ishyaku EuroAmerica. Pp. 365-373

Elssner g. W. Barisch and R. Pabst 1980. "Fracture Toughness of Metal_to_Ceramic Joints as a Function of Environment, 2in Hasting, G (editorial) Mechanical Properties of Biomaterials, John Wiley and sons. Pp. 265-274.

Heimke G. U. Soltesz and A.J. C. Lee (editors) 1989. Clinical Implant Materials. European Society for Biomaterials, Elsevier. Amsterdam.

Pizzoferrato, A. P.G. Marchetti, A. Ravaglioli and A.J.C Lee (Editors) 1986. Biomaterials and Clinical Applications. European Society for Biomaterials. Elsevier. Amsterdam.