

ESTUDIO DE LA VIDA A LA FATIGA DE UNA ALEACIÓN DE TITANIO-ALUMINIO-NIOBIO Y DEL ACERO INOXIDABLE AISI 316 LVM MODIFICADOS SUPERFICIALMENTE PARA SU POTENCIAL USO EN APLICACIONES BIOMÉDICAS

D. Cattoni⁽¹⁾, L. Pazos⁽¹⁾, H Svoboda^(2,3)

¹ Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Centro de Investigación y Desarrollo en Mecánica, San Martín, Buenos Aires, Argentina.

² Universidad de Buenos Aires, Laboratorio de Materiales y Estructuras, INTECIN, Facultad de Ingeniería, Ciudad de Buenos Aires, Argentina.

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Ciudad de Buenos Aires, Argentina.

dcattoni@inti.gob.ar

OBJETIVO

- Estudiar el efecto del anodizado y del granallado "blasting", usando partículas de alúmina, en la vida a la fatiga de la aleación de Titanio Ti-6Al-7Nb.
- Estudiar el efecto del "blasting", utilizando partículas de vidrio, en la vida a la fatiga del acero inoxidable AISI 316 LVM.
- Comprender los mecanismos que controlan la nucleación y propagación de fisuras por fatiga y desarrollar herramientas de utilidad en el diseño de implantes quirúrgicos que contemplen los tratamientos estudiados.
- Generar información de interés tecnológico para el diseño de implantes quirúrgicos.

DESCRIPCIÓN

Los materiales estudiados fueron la aleación de Titanio Ti-6Al-7Nb (Ti) y el acero inoxidable AISI 316 LVM (SS). La caracterización de cada material fue llevada a cabo a través de análisis metalográfico, ensayo estático de tracción, y medición de microdureza Vickers. Se realizó la caracterización de la microestructura. El tratamiento de "blasting" sobre las muestras de Ti se realizó utilizando partículas irregulares de alúmina. Los parámetros de tratamiento fueron: presión 5 bar, tiempo 45 s, velocidad 25 rpm, distancia 10 cm. El tratamiento de "blasting" sobre las muestras de SS, se realizó utilizando microesferas de vidrio. Los parámetros de tratamiento fueron: presión 5 bar, tiempo 30 s, velocidad 25 rpm, distancia 10 cm. Mientras que el tratamiento de anodizado, sobre las muestras de Ti, se realizó con una fuente de corriente continua en ácido sulfúrico 1 molar y una tensión de 75v. En todos los casos, se utilizó la condición de mecanizado como referencia. Las letras M, B y A se utilizaron para diferenciar las muestras mecanizadas (M) de las tratadas con "blasting" (B) y las anodizadas (A). Se caracterizaron las superficies de las muestras mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), y Espectroscopía Dispersiva en Energía (EDS), perfilometría de contacto y Espectroscopía Infrarroja (IR). Se estimó el nivel de tensiones

residuales por Difracción de rayos X (DRX). Por otro lado, se analizaron cortes longitudinales de las muestras tratadas para identificar defectos superficiales. Los ensayos de fatiga fueron del tipo flexión rotativa ($R = -1$). La configuración del ensayo fue del tipo "viga en voladizo" realizados en aire, a una frecuencia de 43 Hz. El criterio de vida infinita adoptado fue de 10^7 ciclos. Las diferentes probetas fueron ensayadas con un valor de amplitud de tensión constante a diferentes niveles de carga. La máxima tensión aplicada fue del orden del 70% de la tensión de rotura del material.

RESULTADOS

Todos los tratamientos de superficie generaron un aumento de los parámetros de rugosidad medidos, con respecto a la condición de referencia.

El tratamiento de "blasting" generó tensiones residuales de compresión y se observó un aumento del parámetro FWHM (ancho del pico medido a la mitad del máximo) lo cual indica un endurecimiento superficial. Mientras que el tratamiento de anodizado generó tensiones residuales de tracción.

En las Figuras 1 y 2 se muestran las curvas de amplitud de tensiones (σ_a) vs número de ciclos a la falla (N_f) correspondientes a cada condición superficial tanto para el Ti como para el acero inoxidable.

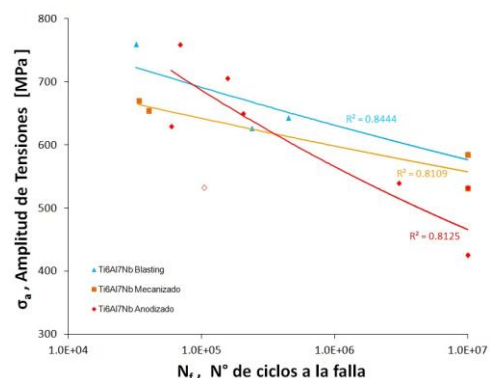


Figura 1: Curvas $\sigma_a - N_f$ correspondiente a cada condición para el Ti.

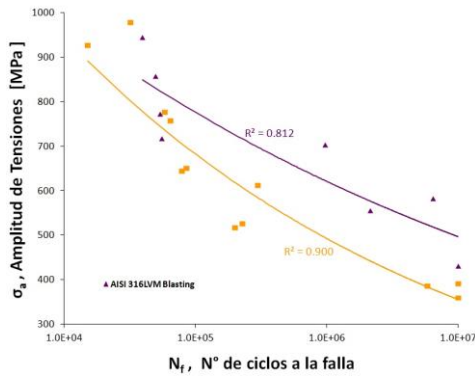


Figura 2: Curvas $\sigma_a - N_f$ correspondiente a cada condición para el SS.

Los datos experimentales fueron ajustados con curvas potenciales, las cuales se corresponden con la ecuación de Basquin, definida en la ecuación 1, donde k y C son constantes empíricas. Las expresiones obtenidas para cada condición se muestran en la Tabla 1.

$$\sigma_a^k * N_f = C \quad (1)$$

Tabla 1: Ecuaciones de Basquin para cada condición.

Condición	Ti	SS
M	$\sigma_a^{25,64} * N_f = 7,53 \times 10^{77}$	$\sigma_a^{7,04} * N_f = 8,65 \times 10^{24}$
B	$\sigma_a^{32,26} * N_f = 3,37 \times 10^{95}$	$\sigma_a^{10,31} * N_f = 6,26 \times 10^{34}$
A	$\sigma_a^{11,90} * N_f = 6,16 \times 10^{38}$	-----

Dichas expresiones cuantifican el comportamiento a la fatiga tanto del material base, así como del material tratado superficialmente. Esto genera valor tecnológico, pudiéndose usar en el diseño de implantes metálicos quirúrgicos.

En la Figura 1 se observa una disminución en el límite de fatiga de probetas de Ti-A, con respecto a las restantes condiciones. Esta disminución es del orden de 110 Mpa. Por otro lado, el límite de fatiga de probetas de Ti-M y Ti-B estuvo comprendido en el rango de los 530 - 580 Mpa, siendo levemente superior la condición de "blasting", en todo el rango de amplitud de tensiones analizadas.

En la Figura 2 se observa que el tratamiento de "blasting" mejoró la resistencia a la fatiga, en todo el intervalo de amplitud de tensiones estudiado, y que la diferencia respecto a la condición de referencia fue mayor a medida que aumenta el número de ciclos a la falla, donde se destaca que el efecto de la condición superficial es más importante a bajas amplitudes de tensión. El aumento en el límite de fatiga fue de 145 MPa.

A partir de los resultados obtenidos se pueden determinar factores de corrección que modifiquen la vida infinita a la fatiga, asociados a cada tratamiento y material.

Estos factores de corrección por tratamiento superficial podrían ser aplicados a la ecuación de Marin (K_s), definida en la ecuación 2, la cual tiene en cuenta factores que modifican el límite de fatiga para un dado material. Los valores obtenidos de dicho estimador se muestran en la Tabla 2.

$$K_s = \frac{\text{Límite de fatiga del mat tratado superficialmente } (\sigma_{TR})}{\text{Límite de fatiga del mat de referencia } (\sigma_{MB})} \quad (2)$$

Tabla 2: Factor de modificación K_s por tratamiento superficial.

Material	Condición	Límite de fatiga [Mpa]	K_s
Ti-6Al-7Nb	M	531	-----
	B	585	1,1
	A	425	0,8
AISI 316 LVM	M	359	-----
	B	431	1,2

El factor K_s antes calculado, puede ser escrito como producto de otros factores, cada uno de los cuales queda definido por los aspectos que modifican la vida a la fatiga. En este sentido, puede relacionarse y estimar cada factor con algún parámetro medible que permita cuantificar su efecto. Esto se aprecia en la Tabla 3

Tabla 3: Factores multiplicadores de K_s .

Material/Cond	K_{rug}	K_{RS}	K_H	K_o	
Ti	M	1,0158	1,000	1,000	1
	B	1,0377	1,004	2,4740	1
	A	1,0211	0,9986	0,8151	<1
SS	M	1,0166	1,000	1,000	1
	B	1,0171	1,001	1,6359	1

Los valores expuestos son solo estimaciones, para poder analizar el beneficio o perjuicio de los tratamientos de superficie en la vida a la fatiga.

Se estima a K_o para el anodizado como <1 ya que contemplaría la fragilidad de la capa de óxido y por ende los posibles concentradores de tensión que puede originar la rotura de la misma.

CONCLUSIONES

Los ensayos de fatiga mostraron que el tratamiento de "blasting" utilizado en las probetas de Ti-6Al-7Nb no presentó diferencias significativas respecto del mecanizado. Mientras que para las muestras de AISI 316 LVM, dicho tratamiento mejoró la resistencia a la fatiga, en todo el intervalo de amplitudes de tensión estudiado con respecto de la condición de mecanizado. Por otro lado el tratamiento de anodizado, provocó sobre este material una disminución en el límite de fatiga del orden de 110 Mpa. Asimismo, la capa de óxido incrementada por el tratamiento de anodizado es frágil y se fisuraría con facilidad cuando se la somete a cargas generando concentradores de tensión, por lo que explicaría la disminución en el límite de fatiga observado.