

CONCLUSIONES

El estudio realizado sobre el tratamiento superficial de oxidación de titanio con láser de Nd:YAG ha permitido formular las siguientes conclusiones:

1- El análisis morfológico de la superficie del titanio tratado con un solo pulso láser ha puesto de manifiesto que la irradiación con una intensidad superior al umbral de fusión provoca cambios en la morfología superficial debido a movimientos termocapilares del material fundido.

2- A intensidades suficientes para conseguir la formación de un plasma, ya sea por la ruptura dieléctrica del aire o por la vaporización de material, la presión de retroceso del plasma puede dar lugar al desplazamiento de material líquido desde el centro de la huella fundida hacia su periferia y contribuir a la formación de un cráter. Se ha encontrado que a valores de intensidad muy elevados el plasma absorbe parte de la radiación incidente y apantalla parcialmente la zona irradiada de la acción del pulso láser.

3- Es posible obtener la fusión superficial del titanio con valores de intensidad láser inferiores al umbral de fusión mediante la acumulación de pulsos láser debido al aumento de la temperatura media y de la absorción óptica del material irradiado con dicha acumulación. Este efecto se observa ya sea irradiando con múltiples pulsos en una misma zona o realizando trazas. En estos casos, el parámetro utilizado en la descripción del fenómeno es la fluencia acumulada. Con los valores más elevados de fluencia acumulada se forma un plasma intenso que provoca la aparición de un cráter en el centro de las huellas, al igual que el caso de un solo pulso, por la vaporización y el desplazamiento de material fundido.

Conclusiones

4- El tratamiento superficial con láser en modo continuo provoca la aparición de colores debido a la oxidación del titanio. Estos colores, que en algunos casos muestran una tonalidad secundaria son, en orden creciente de fluencia acumulada: dorado, marrón, púrpura, azul, amarillo-verdoso, rosa-dorado, verde-rosado y gris. El análisis por microscopia óptica revela que el color de las muestras no es uniforme pues presentan bandas submilimétricas de colores alternados. El patrón de bandas da cuenta de la doble tonalidad observada.

5- En este modo de operación la oxidación tiene lugar en estado sólido, a excepción de la muestra de color gris, en la que se produce una fusión muy superficial del titanio.

6- El análisis composicional pone de manifiesto que a las zonas del haz con intensidades más elevadas les corresponde una mayor incorporación de oxígeno en el titanio, así como un mayor estado de oxidación. Sin embargo, a partir de cierta fluencia acumulada, este último comportamiento se invierte debido al incremento de la difusión del oxígeno hacia el sustrato. Además, se observa que la concentración de oxígeno disminuye con la profundidad.

7- Las muestras tratadas con láser en modo continuo están formadas, en orden decreciente de abundancia, por Ti_2O , TiO_2 básicamente rutilo, γ -TiO y algo de β - Ti_2O_3 . La cantidad de estos óxidos aumenta con la fluencia acumulada. A pesar de ser el TiO_2 el óxido más abundante, el ritmo de formación de γ -TiO crece con la fluencia acumulada hasta superar el del TiO_2 .

8- El análisis de los espectros de reflectancia correspondientes a las muestras tratadas en modo continuo y el estudio comparativo con muestras anodizadas indican que el color es originado por fenómenos de interferencias en una capa fina superficial de TiO_2 transparente.

9- La oxidación del titanio en modo pulsado produce una variedad de colores macroscópicos. Éstos son, en orden creciente de fluencia acumulada: plateado, dorado, marrón, púrpura, azul y gris. En este caso, el análisis de microscopia óptica también revela la presencia de bandas de colores, aunque distintas a las del modo continuo.

10- En los tratamientos realizados en modo pulsado se consigue la fusión del titanio en todo el rango de fluencias acumuladas explorado. La morfología que presenta la superficie de las muestras efectuadas por solapamiento de trazas depende en gran medida de la fluencia acumulada y del solapamiento entre las trazas. Así, las superficies pueden presentar grietas, poros y surcos originados, respectivamente, por los elevados esfuerzos mecánicos que aparecen en el material, por la vaporización y por la formación de un plasma intenso durante el tratamiento.

11- El estudio de la composición de las muestras obtenidas con láser en modo pulsado revela un mayor efecto de la difusión de oxígeno hacia el sustrato que en modo continuo. Así, se forma esencialmente Ti_2O y γ -TiO, y en menor medida, TiO_2 rutilo y algo de β - Ti_2O_3 . El aumento de la fluencia acumulada y del solapamiento produce una mayor cantidad de óxidos y el crecimiento de TiO_2 frente a γ -TiO (fase de alta temperatura de activación), al contrario que en modo continuo, dado el carácter más superficial del procesado en modo pulsado.

12- El análisis de los espectros de reflexión de las muestras obtenidas en modo pulsado y su comparación con el caso del tratamiento en modo continuo permite afirmar que, en modo pulsado, el color de las muestras se debe esencialmente a fenómenos de interferencias en el TiO_2 superficial influido por la composición debajo de éste y, en menor medida, por fenómenos de absorción óptica de los demás óxidos.

13- El estudio del color llevado a cabo mediante la variación de los parámetros tecnológicos relacionados con el marcado con láser pone de manifiesto la viabilidad de esta técnica para la realización de motivos en color sobre titanio.

14- El modo de operación a base de trazas separadas entre sí permite realizar diseños vectoriales de forma muy sencilla y rápida. Mediante el solapamiento de trazas se pueden efectuar diseños con áreas rellenas de colores muy vistosos y luminosos. En los tratamientos realizados en modo continuo se pueden obtener más colores que en aquellos efectuados en modo pulsado. Sin embargo, los colores son menos uniformes y luminosos y el tiempo de procesado, mayor.

Conclusiones

15- Mediante la acumulación de pulsos láser se consigue realizar píxeles de colores que permiten marcar mapas de bits sobre el titanio con gran resolución. La variación del número de pulsos acumulados produce una evolución del color equivalente a la de las muestras tratadas en modo pulsado al variar la fluencia acumulada. Este modo de marcado permite realizar diseños de gran calidad, con colores muy atractivos y uniformes.