

ENSAYO MECANICO DE INTERCONECTORES DE CELDAS SOLARES EN APLICACIONES ESPACIALES

C.J. Bruno^{*†}, V.R. Goldbeck^{††}, L.M. Merino[†], G. Rubiolo^{††,†††}.

[†] Unidad de Actividad Física ^{††} Unidad de Actividad Materiales ^{†††} Investigador del CONICET
COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA (CNEA) - Centro Atómico Constituyentes (CAC)
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín _ Pcia. Buenos Aires _ Argentina
e-mail goldbeck@cnea.gov.ar

RESUMEN

La predicción de vida para interconectores utilizados en generadores solares de satélites es obtenida con ensayos de fatiga térmica o por métodos analíticos de limitada validez. Para disminuir el tiempo de ensayo, el ciclado térmico puede ser reemplazado por ciclado mecánico.

En este trabajo se diseñó y construyó una máquina que simula la deformación mecánica del interconector en servicio y además mide su resistencia eléctrica. Interconectores de Ag y Ta recubierto con una fina capa de Ti-Pd-Ag fueron diseñados, fabricados y ensayados en fatiga. Se presentan algunos resultados preliminares de la vida en fatiga de estos interconectores y de la evolución de su resistencia eléctrica con el número de ciclos en fatiga.

ABSTRACT

For prediction of the lifetime of interconnectors within solar generators in orbit, long time thermal cycling tests and analytical methods with limited validity were used. To decrease the time effort, the thermal cycling can be replaced by a mechanical cycling of interconnector's samples.

In this work a test machine for mechanical simulation of the gap variations in the interconnector length was designed and it also measure its electrical resistance. Interconnectors of Ag and Ta covered with a thin layer of Ti-Pd-Ag were designed, made and tested in fatigue. First results of fatigue life in those interconnectors are presented and the evolution of its electrical resistance with the number of cycles in fatigue is shown.

INTRODUCCION

Los módulos solares son la fuente de energía habitual en satélites y otras aplicaciones espaciales. Están constituidos por celdas solares individuales, conectadas por interconectores metálicos para realizar la configuración eléctrica necesaria.

Durante las misiones los módulos y sus componentes deben soportar las condiciones propias del ambiente espacial y de las características de la misión.

Una de estas condiciones es el ciclado térmico debido a la situación en la cual se encuentren los módulos, es decir apuntando al Sol o en eclipse, con temperaturas extremas que dependerán de la altitud y las características de disipación.

Los interconectores son básicamente una cinta metálica delgada ($< 50 \mu\text{m}$), cuya forma incluye un alivio para compensar las deformaciones debidas a las tensiones producidas por el ciclado térmico. En particular para órbitas de baja altura, estos interconectores deben soportar un alto número de ciclos de fatiga debido al ciclado térmico.

En este trabajo se describe el desarrollo de un ensayo acelerado de fatiga, que incluye la realización de una máquina que produce pequeñas deformaciones ($240 \mu\text{m}$). El objetivo de este ensayo es evaluar el comportamiento de los materiales y el proceso de fabricación de estos interconectores.

DESCRIPCION

Los interconectores a ensayar están constituidos por cintas de Ag, Mo ó Ta, estos materiales son elegidos para las primeras pruebas por ser candidatos típicos para constituir los conectores de las celdas solares en los módulos solares de los satélites.

Los materiales seleccionados deben satisfacer, entre otras, las siguientes consideraciones:

- Maleabilidad suficiente para adquirir la geometría necesaria
- Baja resistividad específica
- Soldabilidad

En el caso del Ta y el Mo se los recubre con una capa de Ag para mejorar su soldabilidad. La forma y dimensiones de los interconectores diseñados pueden observarse en la figura 1.

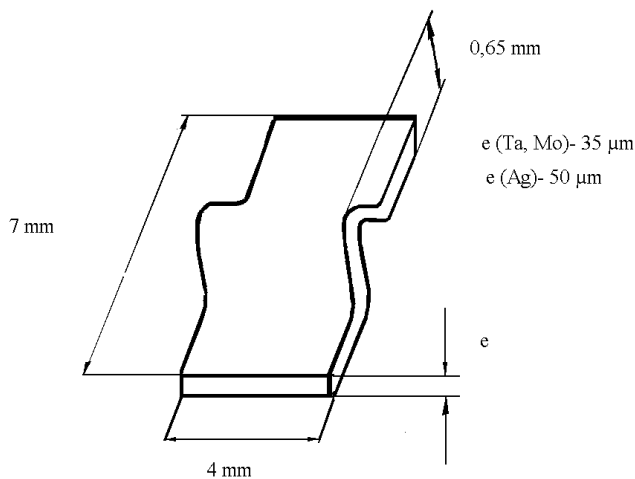


Figura 1: geometría de los interconectores

El principal objetivo de este trabajo fue observar el comportamiento a la fatiga de los interconectores. Las deformaciones que sufre el interconector en el módulo solar provienen de un ciclado térmico de muy baja frecuencia (aproximadamente algunos ciclos diarios dependiendo de las aplicaciones del satélite). Dado que el ciclo térmico se realiza a bajas temperaturas no existe componente de termofluencia durante el ciclado y la frecuencia del ensayo es entonces irrelevante. Luego el ensayo puede acelerarse reemplazando las deformaciones térmicas de baja frecuencia por deformaciones mecánicas de mayor frecuencia^(1,2).

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para simular las deformaciones se desarrolló una máquina que produce un ciclo cuadrado en la deformación con una amplitud de 240 μm . En el diseño de la máquina se previó la posterior incorporación de un mecanismo suplementario que permita realizar ensayos con distintas amplitudes.

Básicamente la máquina está compuesta por una parte fija y otra móvil. La móvil son dos barras cilíndricas, donde se desplaza un carro impulsado por un motor paso a paso. La transmisión de este movimiento se realiza a través de una reducción y una correa metálica. Se desarrolló a su vez, un circuito electrónico de control que permite:

- Fijar la posición inicial.
- Establecer la frecuencia de ciclado.
- Controlar la dirección inicial del ciclado.
- Contar, en forma automática, el número de ciclos.

Los interconectores se fijan mediante soldadura a dos láminas de cobre, que a su vez se atornillan a la parte fija y a la móvil de la máquina. Esta soldadura se realiza de manera similar a aquella que se practica sobre la celda solar, de esta manera también se evalúa el comportamiento de la parte del interconector que se encuentra soldada.

Las dimensiones de toda la máquina son de

aproximadamente 10 cm x 7 cm y 3 cm de altura.

Para comenzar a estudiar el comportamiento se eligieron dimensiones del interconector un tanto holgadas, especialmente en espesor.

Otro tanto se estableció para la amplitud de la deformación, para comenzar se eligió una amplitud aproximadamente 3 veces superior a la máxima esperada [1,3], ya que es sabido que unos de los principales parámetros que influyen sobre la fatiga es la amplitud de las deformaciones. Resumiendo, el criterio es el de observar el comportamiento con estas amplitudes, si es bueno, con deformaciones menores será aún mejor.

Se le adosó al ensayo una medición continua de la resistencia eléctrica de la muestra, se evalúa por el método de cuatro terminales la resistencia de todo el conjunto, soldaduras incluidas, para poner de manifiesto la evolución del interconector hasta la fractura.

RESULTADOS

Como se sabe, el número de ciclos a rotura en los ensayos de fatiga presentan una dispersión estadística, por lo que es importante obtener una muestra representativa del comportamiento de la población.

Estos ensayos se están llevando a cabo actualmente, por lo que se presentan algunos resultados individuales a modo de ejemplo:

Caso interconector de Ag (número de ciclos hasta la fractura completa)

Pieza 1	12.000 ciclos
Pieza 2	11.900 ciclos
Pieza 3	5.400 ciclos
Pieza 4	25.630 ciclos

Caso interconector de Ta

Pieza 1	57.900 ciclos
Pieza 2	29.790 ciclos
Pieza 3	39.650 ciclos

En la Pieza 3 se observó desprendimiento de la capa de Ag en una de las soldaduras

En el caso del interconector de Ta debe tenerse en cuenta que en realidad se trata de un interconector compuesto, ya que está cubierto de una capa de Ti-Pd-Ag a los efectos de su soldabilidad y mejorar su conductividad eléctrica. A raíz de esta situación no solo se evalúa el comportamiento del Ta sino también el de su recubrimiento y fenómenos asociados como la adherencia del mismo y su evolución con el ciclado.

En la figura 2 se presenta la evolución de la resistencia en función del número de ciclos para la muestra 3 del interconector de Ta. Se observa una estabilidad de la resistencia hasta un número de ciclos de alrededor de 10000 donde comienza una evolución creciente con el número de ciclos. Este comportamiento induce a pensar que la cubierta de Ti-Pd-Ag comienza a

fracturarse a los 10000 ciclos, tal como ocurre en el interconector de Ag, pero la velocidad de crecimiento de la fisura es restringida por la presencia de la interfaz Ta/Ti-Pd-Ag. Si esta hipótesis es correcta, debería esperarse un estado constante a una dada alta resistencia

representativa de la conducción eléctrica en el núcleo de Ta. Este último resultado todavía no fue alcanzado porque el ensayo se halla actualmente en ejecución.

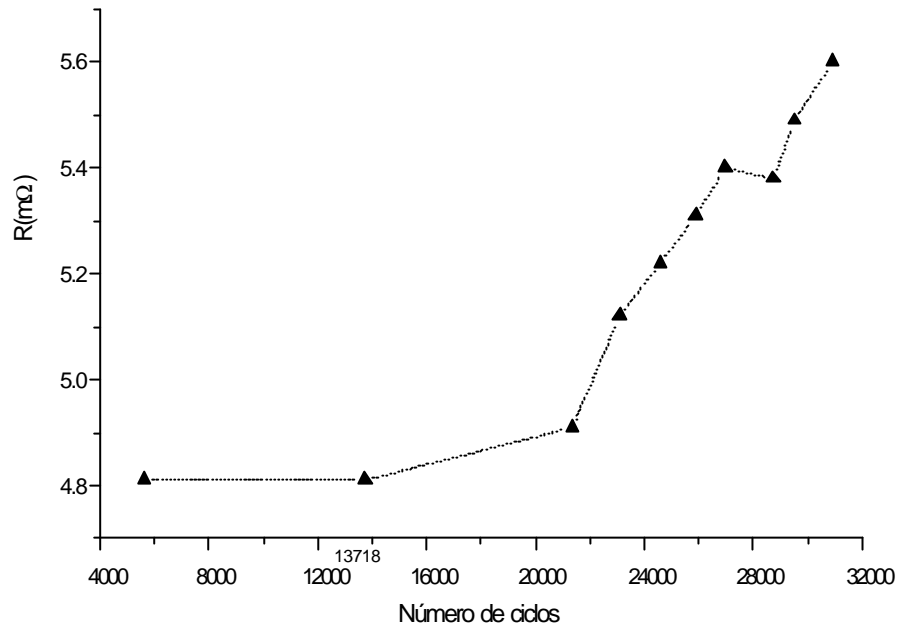


Figura 2: evolución de la resistencia vs. número de ciclos para la muestra 3 del interconector de Ta

CONCLUSIONES

Se desarrolló un ensayo de fatiga para interconectores de celdas solares que aporta información para su diseño, fabricación y calificación.

Ensayos de fatiga en interconectores de Ag y Ta recubierto con una fina capa de Ti-Pd-Ag muestran que éstos últimos tienen mayor vida para igual amplitud de deformación.

La resistencia del interconector de Ta, recubierto con Ti-Pd-Ag, evoluciona con el número de ciclos en fatiga como consecuencia de la fractura por fatiga del recubrimiento.

REFERENCIAS

1 - Accelerated fatigue tests of solar cell interconnectors

for simulations of thermal cycles. H.W. Boller, J. Koch, AEG-TELEFUNKEN, Space Technology Department. 11th IEEE Photovoltaics Specialists Conference, Arizona, EE.UU. 1975.

2 - Gold interconnectors for solar generators in low Earth orbits. G.J. La Roche, C. Oxynos-Lauschke, K.H. Wehner, Daimler-Benz Aerospace, Space Group, Satellite Systems Division. First W.C.P.E.C. Hawaii, EE.UU. 1994.

3 - Design of the IUE Solar Array, B. Gorgens, E.G. Suppa AEG-TELEFUNKEN, Space Technology Department and European Space Research and Technology Center 11th IEEE Photovoltaics Specialists Conference, Arizona, EE.UU. 1975.