

DEGRADATION STUDY IN FIRST STAGE RENE® 77 GAS TURBINE BLADES EXPOSED TO TEN THOUSAND HOURS OF SERVICE

Y. Salerno ^{a *}, A. Suárez ^{b *}, G. Navas ^c, L. Martínez ^d, D. Rodríguez ^e

^{a,b,c,d,e} Departamento de Tecnología de Materiales, Universidad Nacional Experimental del Transporte, Miranda, Venezuela.

E-mail: yrane.maria@gmail.com

Received: 15-07-2024

Accepted: 12-09-2024

Published: 27-03-2025

ABSTRACT

The René 77 nickel-based superalloy is used for critical elements such as industrial gas turbine blades. In this case, it is used in the first stage of the GE MS 7000 1B turbine. This type of blade is manufactured using the lost wax casting method, they are high-quality pieces. This work presents the microstructural study of Rene 77 blades, with rejuvenation heat treatment, which, in routine borescopic inspection, after 10,000 hours of service, presented surface cracking. At this stage of the turbine, the blades have a cooling system to preserve their integrity, so it is necessary to study the cracking mechanism present to corroborate whether the remaining ones can continue operating, be recovered or replaced. Several evaluations were carried out, including macroscopic and visual inspection of the outer surface of the blade and microstructural and chemical evaluation by SEM-EDS of samples extracted from the hottest zone, to the coldest zone of the root. The results obtained show a significant degradation that affects the microstructural stability throughout the blade structure. The thickening of the γ' phase caused a change in its morphology, which affects the mechanical properties, since the γ' phase acts as a barrier to the movement of dislocations, retarding thermo-creep, so the resistance to this mechanism decreased significantly. It is suggested that restoration of microstructure and properties can be effected with appropriate rejuvenation heat treatment.

Keywords: gas turbine, René 77 nickel base superalloy, blades, degradation, creep

ESTUDIO DE DEGRADACIÓN EN ÁLABES DE PRIMERA ETAPA RENE® 77 DE TURBINA A GAS EXPUESTO A DIEZ MIL HORAS DE SERVICIO

RESUMEN

La superaleación base níquel René 77 se utiliza para elementos críticos como álabes de turbinas de gas industriales. En este caso, es utilizada en la primera etapa de la turbina GE MS 7000 1B. Este tipo de álabe se fabrica mediante el método de fundición a la cera perdida, son piezas de alta calidad. Este trabajo presenta el estudio microestructural de álabes Rene 77, con tratamiento térmico de rejuvenecimiento, los cuales, en inspección boroscópica de rutina, luego de 10.000 horas de servicio, presentaron agrietamiento superficial. En esta etapa de la turbina, los álabes cuentan con un sistema de enfriamiento para preservar su integridad, por lo que es necesario estudiar el mecanismo de agrietamiento presente para corroborar si los restantes pueden seguir operando, ser recuperados o reemplazados. Se llevaron a cabo varias evaluaciones, incluida la inspección macroscópica y visual de la superficie exterior del álabe y la evaluación microestructural y química por SEM-EDS de muestras extraídas en la zona más caliente, hasta zona más fría de la raíz. Los resultados obtenidos muestran una importante degradación que afecta la estabilidad microestructural en toda la estructura del álabe. El engrosamiento de la fase γ' provocó un cambio en su morfología, lo que afecta las propiedades mecánicas, ya que la fase γ' actúa como barrera al movimiento de las dislocaciones, retardando la termofluencia, por lo que la resistencia a este mecanismo disminuyó significativamente. Se sugiere que la restauración de la microestructura y las propiedades del Rene 77 puede efectuarse con tratamiento térmico de rejuvenecimiento adecuado.

Palabras claves: turbina a gas, superaleación base níquel René 77, álabes, degradación, termofluencia.

INTRODUCCION

Las turbinas de gas tienen amplias aplicaciones como locomotoras, generación de energía, propulsión marina, aviones y otros motores industriales. Una turbina de gas es una turbo máquina térmica capaz de convertir la energía térmica de un fluido en energía mecánica, hacia una mayor eficiencia operativa. El reconocimiento de la turbina de gas en todo el mundo como fuente de energía mecánica enfatiza la eficiencia y confiabilidad que se pueden lograr. Está constituida por tres partes principales: un compresor (comprime el aire), una cámara de combustión (quema mezcla aire –combustión) y una turbina (mueve compresor). El funcionamiento de una turbina de gas se basa en un proceso termodinámico donde la energía mecánica convertida en el eje de la turbina se convierte en energía eléctrica utilizable.

Durante el ciclo de vida útil de una turbina de gas, los dos costos operativos más importantes son el combustible y la revisión / mantenimiento del motor. El costo de mantenimiento más importante es el reemplazo de los componentes de las zonas calientes. El tiempo de vida de diseño de los álabes en la zona caliente varía entre 30-40,000h de operación. La turbina de gas funciona a temperaturas alrededor de 1000 a 1500°C y con una relación de presión alta de aproximadamente 50 psi en el compresor. Estas altas temperaturas provocan daños térmicos (fusión, corrosión, fatiga térmica, oxidación y erosión) y degradación de las resistencias estructurales locales o globales de los álabes y otros componentes, y se estima que la mitad de la vida útil de los álabes se reduce debido a la pequeña diferencia de temperatura. por enfriamiento inadecuado. Los daños incluyen grietas en el borde de salida del álabe, pandeo y riesgo de falla del álabe. [1] La superaleación base Ni es el material más utilizado en los motores de turbina debido a su alta resistencia y larga vida útil combinada con una buena resistencia a la oxidación y corrosión a alta temperatura. Aunque algo complejas en su composición, las superaleaciones base Ni son microestructuralmente simples y consisten en:

- ◆ Un precipitado γ' coherente y ordenado basado en Ni_3Al ;
- ◆ Una solución sólida de FCC principalmente de Ni pero con otros elementos de sustitución;
- ◆ Carburos del tipo MC, M_6C o M_{23}C_6 según la temperatura y la composición; los carburos generalmente se encuentran en los límites o en las regiones interdendríticas, pero a veces en el interior de los granos; y otras fases menores como los boruros, tal como se puede apreciar en la figura 1.

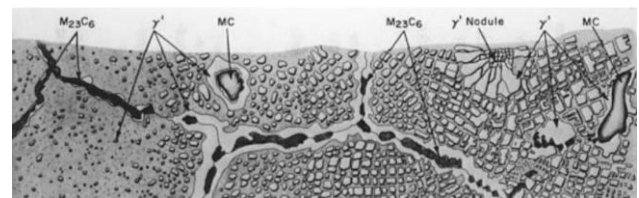


Figura 1. Esquema de la evolución de la microestructura en superaleaciones a base de níquel marcadas con diferentes carburos y otros precipitados secundarios. [2]

Al igual que todas las superaleaciones, las propiedades del Rene 77 están determinadas por la estructura microestructural, características como el tamaño y la morfología del grano, el tamaño y la distribución de las fases γ' y de los carburos. El tipo de daño que se produce en los álabes de las turbinas de gas después de un período de servicio puede ser descrito como:

- ◆ Daños en las superficies internas y externas (corrosión, oxidación, formación de grietas, erosión y daños por objetos extraños).
- ◆ Daño interno de la microestructura como envejecimiento en fase γ' [$\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$], crecimiento de grano, huecos o voids por fluencia en los límites, precipitación de carburos y formación de fases frágiles TCP. [3]

La degradación estructural de los álabes se caracteriza por hay un cambio en el número, la forma y el tamaño de las partículas de la fase γ' y en las cantidades, distribución y composición de los carburos. (fases σ , μ , λ), lo que origina pérdida en las propiedades mecánicas. Este

envejecimiento microestructural origina la subsiguiente pérdida de resistencia a la fluencia, a la fatiga, disminuye significativamente la tenacidad y la resistencia a la corrosión lo que puede reducir su vida útil y, en última instancia, provocar la falla. Bajo las mismas condiciones de temperatura, mientras más componentes permanezcan en servicio, mayor será la degradación microestructural. La degradación del álabe es una de las principales causas de la retirada de los componentes de la sección caliente de la turbina de gas. Extensos estudios han demostrado que la exposición prolongada a la tensión causa un sobreesfuerzo de la microestructura de la aleación, es decir, engrosamiento y coalescencia de fase γ' , formación de películas de carburo $M_{23}C_6$ secundarias continuas en los límites de grano, degeneración de carburo MC primario, formación de fase σ , que tienen un efecto perjudicial sobre las propiedades de resistencia a la fluencia. La investigación sobre el comportamiento de degradación de los álabes de turbinas expuestas a ambientes complejos y extremos para un servicio a largo plazo es de gran importancia para evaluar la vida remanente de los álabes y en esa línea, los procesos de tratamientos térmicos de rejuvenecimiento de materiales se han desarrollado e implementado en las últimas décadas.

Este trabajo presenta el estudio microestructural de los álabes Rene 77 de primera etapa, con tratamiento térmico de rejuvenecimiento, en los cuales, en la inspección boroscópica de rutina, luego de 10.000 horas de servicio, se detectó agrietamiento superficial.

MATERIALES Y MÉTODOS

La superaleación base Níquel René 77, se utiliza en la primera etapa de una turbina GE MS 7000 1B. Este tipo de álabe se fabrica mediante el método de fundición a cera perdida, que se utiliza en la producción de piezas de alta calidad [2]. En esta etapa de la turbina los álabes presentan sistema de enfriamiento para preservar su integridad y está constituida por 100 álabes, por lo que se requiere estudiar

el mecanismo de agrietamiento presente en los álabes inspeccionados para así corroborar si los restantes pueden seguir en funcionamiento, ser recuperados o reemplazados.

En la Tabla 1 se presenta la composición nominal comercial de la superaleación base Ni Rene 77.

Tabla 1. Composición Química Rene 77

Elemento	Al	Cr	Co	Mo	Ti	Si	C	Ni
wt. %	4.30	14.76	15.18	4.20	3.30	0.02	0.08	Bal.

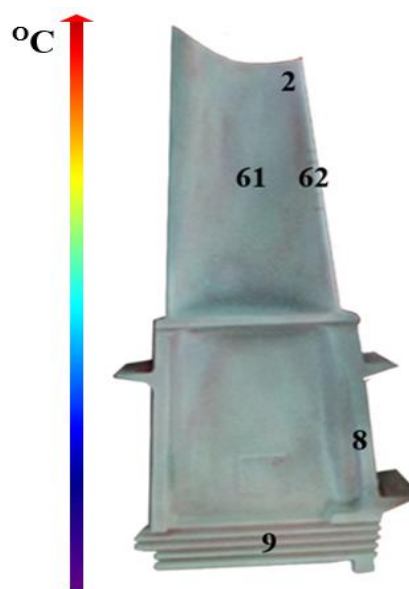


Figura 2. Álabe Rene 77. Ubicación e Identificación de las muestras extruídas para su evaluación.

Se efectuó inspección macroscópica y visual de la superficie exterior del álabe y evaluación microestructural y química por MEB-EDS de muestras extraídas a lo largo del componente; desde la zona más caliente identificada como muestra 2, la zona de agrietamiento, muestras identificadas como 61 y 62, hasta la raíz, zona más fría, que corresponde a las muestras 8 y 9 representativas de una microestructura con menor degradación. En la Figura 2 se muestra la ubicación e identificación de las secciones extraídas. Las muestras fueron cortadas en sección

transversal, preparadas metalográficamente y luego atacadas químicamente con el reactivo Marble para su observación microestructural.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las diferentes muestras evaluadas se observa la presencia de la fase matriz γ y la fase endurecedora γ' característica de éste componente. Es relevante mencionar que la fase γ' es cuboidal.

En las Figuras 3, 4, 5, 6 y 7, en las cuales se evidencia una morfología similar: las fases principales presentes definidas como matriz gama γ , gama prima (γ') fase intermetálica basada en $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$ en forma cuboidal y carburos primarios del tipo MC que corresponden a Ti y Mo, y los carburos secundarios, corresponden a precipitados de Cr, como de Mo en los límites de grano.

El engrosamiento notable de la fase γ' provocó un cambio en su morfología, así mismo promueve la iniciación de grietas, interrumpen la continuidad de la microestructura y agotan de la matriz los elementos responsables del endurecimiento por solución sólida. Este engrosamiento afecta las propiedades mecánicas, (resistencia a la fatiga, tenacidad a la fractura, resistencia a la fluencia, etc) puesto que la fase γ' actúa como barrera al movimiento de dislocación retardando la termofluencia, por lo que se infiere que la resistencia a este mecanismo disminuyó significativamente.

Se observa que el agrietamiento, Figura 5 (62c), se origina desde el borde externo por coalescencia de micro grietas en el borde de grano agravado por una alta oxidación, típico de termofluencia. En este caso, además de las fases matriz γ y la fase endurecedora γ' , es clara la ocurrencia de carburos identificados como del tipo MC, cerca de límites de grano y en la matriz del álabe.

Similar morfología se observa en las Figuras 6 y 7 que corresponden a la zona más fría del componente, la cual debería ser representativa de una microestructura "original".

Los resultados obtenidos muestran una degradación significativa que afecta la estabilidad microestructural a lo largo de toda la estructura del álabe, ya que no se observan diferencias entre la zona fría, raíz del álabe, de la zona más caliente, hoja del álabe. Esto puede estar asociado a problemas de temperatura (exceso, /bajo eficiencia del sistema de enfriamiento del álabe).

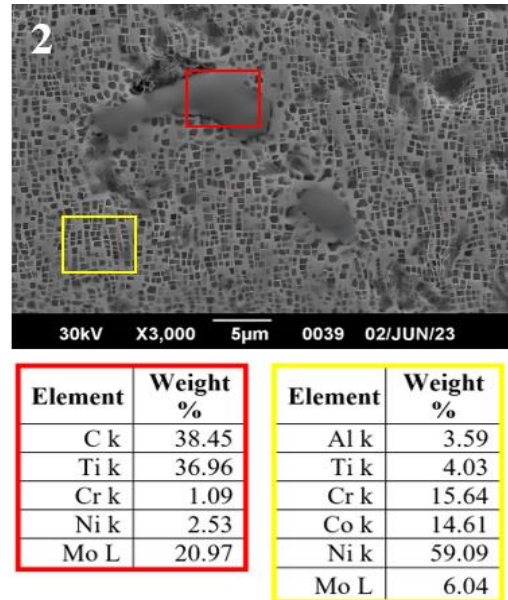


Figura 3. Muestra 2 - Rene 77. Análisis microestructural y químico MEB-EDS. 3000x.

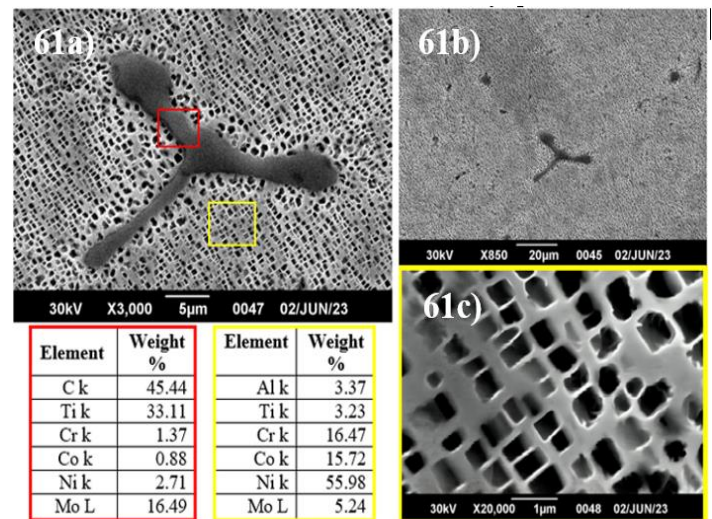


Figura 4. Muestra 61 - Rene 77. Análisis microestructural y químico. MEB-EDS a) 3000x, b) 850x, c) 20000x

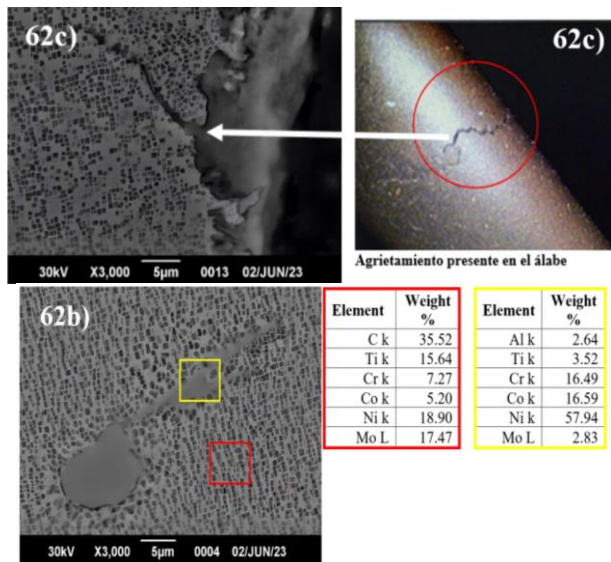


Figura 5. Muestra 62 - Rene 77. Análisis microestructural y químico en la zona de agrietamiento. MEB-EDS. 3000X.

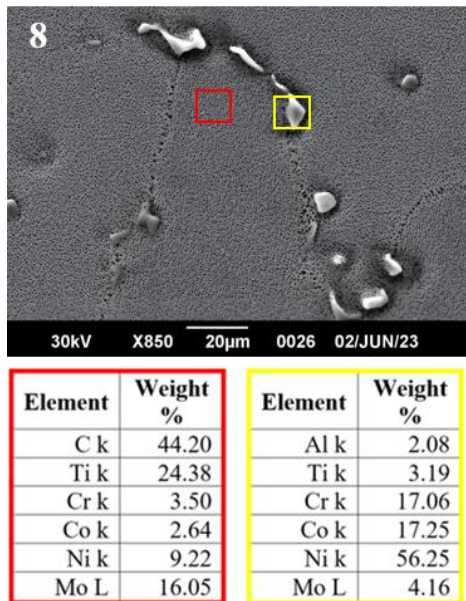


Figura 6. Muestra 8 - Rene 77. Análisis microestructural y químico. MEB-EDS. 850X.

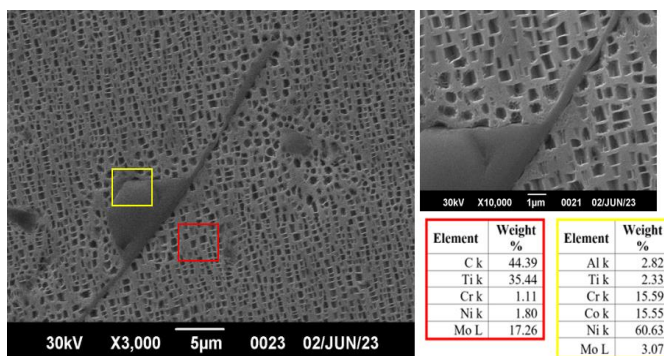


Figura 7. Muestra 9 - Rene 77. Análisis microestructural y químico. MEB-EDS. 3000X.

CONCLUSIONES

La vida útil de los álabes de las turbinas está estrechamente relacionada con la degradación microestructural introducida por la exposición al servicio.

La evaluación microestructural y química efectuada en las muestras evidenció un nivel de degradación significativa a lo largo de toda la estructura del álabes, lo que afectó la resistencia a la termofluencia a la temperatura de servicio y origino el agrietamiento en la zona considerada relativamente menos crítica, muestra 62. Esta degradación prematura posiblemente este asociado a problemas de temperatura ya sea por sobrecalentamiento o pobre enfriamiento del cuerpo del álabes (bajo flujo de aire de enfriamiento del compresor)

La degradación térmica de las superaleaciones base Ni endurecidas por precipitación se ha demostrado que es reversible a través del tratamiento térmico de rejuvenecimiento, (disolución de γ' , carburos y fases tipo TCP y posterior re-precipitación de γ'), los cuales se han desarrollado e implementado en las últimas décadas. Es posible rejuvenecer parcial o total una microestructura degradada a su condición previa al servicio, y extender la vida útil del componente. Por lo que se sugiere que la restauración de la microestructura y las propiedades de la aleación Rene 77 puede efectuarse con un tratamiento térmico de rejuvenecimiento adecuado.

AGRADECIMIENTOS

Profesores pertenecientes al laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) y Metalografía de IUT-RC/UNETRANS. Dpto. de Tecnología de Materiales, así como al Lic. Gleen Enrique Rodríguez Carrasco, Sección de Microscopia Electrónica, Laboratorio E, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela.

REFERENCIAS

- [1] M. Zielińska, et al. (2009) "Surface Modification, Microstructure and Mechanical Properties of Investment Cast Superalloy" Journal of Achievements

- in Materials and Manufacturing Engineering. Vol. 35. Issue 1, pp. 55-62.
- [2] Murali Aashish. (2016) ‘Phase and Residual Stress Analysis of Alloys 600/82 Used in Nuclear Reactor Components” ResearchGate. DOI:10.13140/RG.2.2.21603.55842.
- [3] Saravanan, R. and Karuppasamy, M. (2017) “Structural Stability Investigation on Nickel Alloy 901 and Rene 77 made Gas Turbine Guide Vanes with Impingement Cooling” International Journal of Engineering Trends and Technology. Vol. 47, No. 6, pp. 364-368, DOI 10.14445/22315381/IJETT-V47P260.