

Resumen

En el presente trabajo se ha estudiado y analizado ampliamente el proceso de producción de pastillas de combustible de UO_2 . Los objetivos de esta investigación fueron comprender y analizar la influencia de diferentes aditivos y la variación de los pasos del proceso de producción sobre la microestructura y por consiguiente en la resistencia mecánica de la pastilla de combustible nuclear.

Por otra parte, se pretende también una mejora de las características cualitativas de las pastillas de combustible cerámico. Para este propósito, se produjeron las pastillas de UO_2 sin aditivos, las llamadas pastillas estándar, las pastillas que contienen como aditivo *AZB* (Azodicarbonamida), U_3O_8 negro (de uranio oxidado de las pastillas de chatarra - *OS*), U_3O_8 verde (polvo de uranio oxidado - *OP*), o fibras queratínicas (un aditivo no convencional).

La introducción de estos aditivos en la mezcla de polvo de UO_2 antes o después de la etapa de granulación y en diferentes concentraciones, produjo varias configuraciones de microestructura. Como no sería posible analizar todas las configuraciones, durante los pre-tests de investigación se separaron algunos para estudiarlos con más detalle.

Las pastillas con *AZB* añadido después de la granulación presentan granos más grandes y mayores poros que aquellas con el *AZB* añadido antes de la granulación, así como granos libres de poros y una estructura granulada en lugar de homogénea. Las pastillas con *OS* presentan una porosidad fina distribuida en toda la matriz de la pastilla con algunos grupos de porosidad, mientras las pastillas que contienen *OP* muestran en su matriz una porosidad aglomerada en forma de ganchos. En cuanto al tamaño de grano, se puede observar una distribución más uniforme del tamaño de grano en las pastillas de *OS* que en las pastillas con *OP*.

Las variaciones en la cantidad de fibras de queratina añadidas, tiempo de permanencia en la sinterización y densidad de las pastillas verdes dan lugar a diferentes microestructuras. Sin embargo, se observaron algunas características comunes entre ellas, tales como la presencia de poros alargados, grupos de porosidad y granos más grandes situados en los bordes de las pastillas, mientras que los más pequeños se concentraron más en la parte central de la pastilla. Esta distribución de los granos se identificó como estructura bi-modal.

Los aspectos de la microestructura mencionados tienen ciertamente influencia en las propiedades mecánicas de la pastilla de combustible. Sin embargo, los parámetros de sinterización, la densidad de la pastilla verde y sinterizada y las dimensiones de las pastillas también tienen influencia en las características mecánicas de las pastillas. Para el estudio de la influencia de todos estos parámetros sobre las propiedades mecánicas de las pastillas se utilizaron cuatro procedimientos de ensayo: el denominado "squirrel-cage", donde se probó la resistencia mecánica de las pastillas no sinterizadas mediante choques mecánicos; la prueba de compresión diametral ("Brazilian Test") donde se estudió la

resistencia de las pastillas sinterizadas y no sinterizadas; la “Vickers indentation technique”, y el ensayo de fluencia donde se analizó la plasticidad de las pastillas, a temperatura ambiente y elevada, respectivamente.

Los resultados de la “squirrel-cage” mostraron que las pastillas con fibras de queratina eran mucho más resistentes mecánicamente que las pastillas sin ella, lo que significa que las fibras de queratina actuaron, antes de la sinterización, como un polvo aglutinante aumentando la cohesión entre los granos de polvo y proporcionando a las pastillas verdes mayor resistencia mecánica contra impactos.

El “Brazilian Test” evaluó la influencia de la longitud de la pastilla frente a su diámetro (relación L/D), la influencia de diferentes aditivos mezclados con el polvo de UO_2 y los diferentes procesos de producción de pastillas. El análisis de la influencia de L/D mostró que si se fija el diámetro de las pastillas y se aumenta la longitud, también aumentará el módulo de Weibull (una medida de la fiabilidad del lote de pastillas). Mediante la comparación de las pastillas con OS , OP y $0,3\%$ de fibras de queratina se observó que las pastillas con OS presentan el mayor volumen de poros de menos de $10\mu m$, mientras las pastillas con OP y queratina presentan el mayor volumen de poros más grandes de $20\mu m$. Parece que esta relevante característica favorece el más alto valor de la fuerza Weibull en pastillas con OS .

En el test de “Vickers indentation”, se probaron pastillas estándar, pastillas con OS y pastillas con fibras de queratina. Los resultados mostraron que la dureza calculada para las pastillas estándar es ligeramente inferior en comparación con los valores obtenidos para las pastillas con fibras de queratina. También las pastillas que contienen OS tienen en la mayoría de los casos, una dureza inferior en comparación con las pastillas con fibras de queratina. La resistencia a la fractura calculada y los valores de la energía superficial de fractura muestran también un mejor comportamiento mecánico para las pastillas con fibra de queratina que para las estándar.

Las pastillas estándar, las que tienen un 30% OP , con el tamaño más pequeño de grano, las pastillas con fibras de queratina, con estructura bi-modal y las pastillas con óxido de cromo, con el tamaño de grano más grande, se ensayaron en el horno de fluencia. Los resultados mostraron que todas las pastillas con aditivos presentan un mejor comportamiento de fluencia que las pastillas estándar. Entre las pastillas preparadas con aditivos la comparación mostró claramente que bajo tensiones inferiores las pastillas con granos más pequeños tienen una mejor tasa de fluencia. Al aumentar las tensiones aplicadas se observa una mejora de la velocidad de fluencia de las pastillas con óxido de cromo y fibra de queratina incluso superando ligeramente a las pastillas con 30% OP en el esfuerzo más alto aplicado.