

UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE DESGASTE PIN-ON-DISK PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN PROFUNDA DE MATERIALES CERÁMICOS

M.P. Gómez-Tena, J. Gilabert, J. Toledo, E. Zumaquero

Instituto de Tecnología Cerámica (ITC).

Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas (AICE).

Universitat Jaume I. Castellón. España.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO DEL TRABAJO

El desgaste de materiales de naturaleza cerámica es una de las propiedades más significativas a tener en cuenta a la hora de determinar su resistencia al uso.

El objetivo principal del presente trabajo consiste en la implementación de la técnica de desgaste mediante el uso de un tribómetro pin-on-disk para la caracterización tribológica de materiales de naturaleza cerámica, y su posterior correlación con la microestructura, propiedades mecánicas y rugosidad superficial.

2. MATERIALES Y MÉTODOS DE ENSAYO

Se ha realizado una selección de materiales cerámicos de diferentes naturalezas, tanto química como microestructural, susceptibles de ser sometidos a procesos de abrasión: vidriados cerámicos (transparentes (**T1** y **T2**), mates (**M1** y **M2**) y opacos (**O1** y **O2**)), materiales cerámicos tradicionales (gres porcelánico (**P1-P4**) y gres extrudido (**E1**)) y cerámicas avanzadas (Al_2O_3 y Si_3N_4). Asimismo, se seleccionaron diferentes vidrios (sódico-cálcico (**V1**) y bórico-cálcico (**V2**)), a efectos comparativos, por tratarse de materiales vítreos homogéneos.



Figura 1. Tribómetro Pin-on-disk.

Con el objetivo de caracterizar tribológicamente cada una de las muestras, se evaluó la resistencia al desgaste mediante un tribómetro pin-on-disk de CSEM. Desde el punto de vista mecánico, se calculó la tenacidad y el índice de fragilidad de la superficie de los materiales estudiados, utilizando un nanoindentador Nanotest, de Micromaterials. Las fases cristalinas se analizaron mediante un difractómetro BRUKER Theta-Theta modelo D8 Advance.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 2 se muestran comparados los gráficos representativos de la evolución del desgaste experimentado por cada uno de los materiales ensayados en función del número de revoluciones generadas sobre su superficie. Se observa que la muestra que presenta una menor resistencia al desgaste es el gres extrudido, ya que realmente se está analizando el comportamiento del soporte debido al poco espesor de la capa vidriada que éste posee, generada durante el proceso de cocción. Dicho material presenta propiedades mecánicas y tribológicas significativamente inferiores a los vidriados cerámicos. Por otro lado, las cerámicas avanzadas son las que experimentan un grado de desgaste menor debido a su tamaño de grano más fino y porosidad prácticamente nula. Los vidrios, vidriados cerámicos y gres porcelánico presentan resistencias al desgaste intermedias entre los dos productos anteriormente mencionados. Dentro de esta tipología de productos, los vidriados opacos y gres porcelánico son aquellos con velocidades específicas de desgaste más bajas. Dicho comportamiento se debe a la presencia de fases cristalinas de pequeño tamaño y homogéneamente repartido por toda la matriz, en el caso de los materiales opacos; y de la elevada dureza de las fases cristalinas embebidas, en el caso de los productos de gres porcelánico.

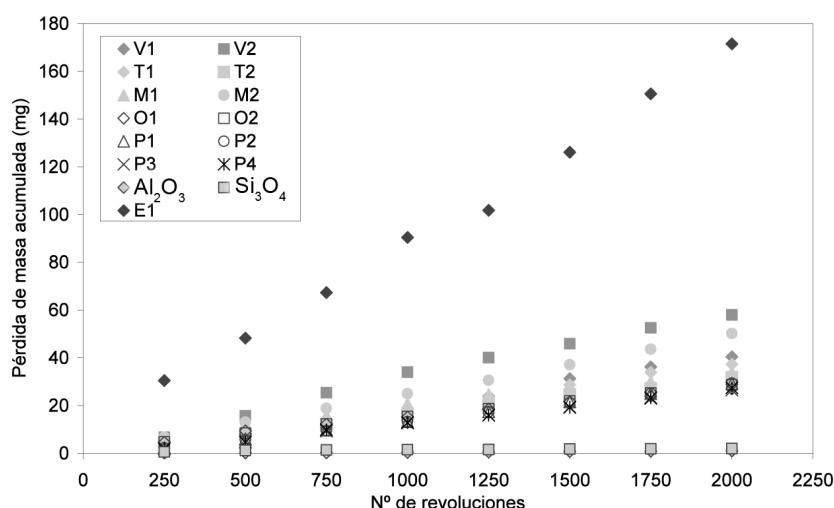


Figura 2. Gráfico representativo de la resistencia al desgaste de los materiales ensayados.

Entre los vidrios, se observa una mejora de la resistencia del vidrio sódico-cálcico con respecto al bórico-sódico debido a que el tratamiento de templado al que éste se ha sometido favorece la rotura cohesiva del material, generando grietas circulares y desconchados con mayor facilidad.

En la tabla 3, se muestra un resumen con los valores de tenacidad, índice de fragilidad, rugosidad, porcentaje de fase vítrea, velocidad de desgaste específica y ordenada en el origen de las rectas de variación de la resistencia al desgaste obtenidas a partir de la figura 2.

Muestra	K_{Ic} (MPa·m ^{1/2})	B (m ²)·10 ³	R_a (μm)	Porcentaje de fase vítreo (%)	V_e (μg/N·m)	OO (μg)
V1	0.58 ± 0.02	12 ± 1	0.01 ± 0.01	100	21.2 ± 0.1	-1.25
V2	1.00 ± 0.02	7 ± 1	0.01 ± 0.01	100	24.8 ± 0.2	11.2
T1	0.74 ± 0.09	10 ± 1	0.03 ± 0.01	100	19.6 ± 0.8	-1.66
T2	0.98 ± 0.01	9 ± 1	0.04 ± 0.02	97	17.4 ± 0.3	0.28
M1	1.1 ± 0.1	9 ± 1	0.9 ± 0.1	72	17.4 ± 0.3	0.49
M2	0.7 ± 0.1	10 ± 1	1.2 ± 0.1	65	26.1 ± 0.4	0.44
O1	1.12 ± 0.09	7 ± 1	0.04 ± 0.01	72	14.2 ± 0.8	2.5
O2	1.3 ± 0.1	7 ± 1	0.04 ± 0.01	73	14.3 ± 0.1	1.75
P1	1.3 ± 0.2	6 ± 1	0.2 ± 0.1	62	15.7 ± 0.1	-1.77
P2	1.1 ± 0.1	7 ± 1	2.0 ± 0.1	59	17.4 ± 0.7	-2.05
P3	1.3 ± 0.1	7 ± 1	1.3 ± 0.1	79	14.5 ± 0.3	-1.09
P4	1.3 ± 0.1	8 ± 2	2.9 ± 0.5	74	15.6 ± 0.7	-2.53
Al ₂ O ₃	3.3 ± 0.3	6 ± 1	0.47 ± 0.06	<1	0.11 ± 0.01	0.01
Si ₃ N ₄	2.8 ± 0.3	4 ± 1	4.5 ± 0.6	<1	0.42 ± 0.05	-0.046
E1	0.32 ± 0.08	16 ± 2	5.4 ± 0.9	44	90.2 ± 0.9	-2.79

Tabla 1. Valores medios y desviaciones típicas en la caracterización mecánica de los materiales ensayados.

A partir de los resultados obtenidos se observa que a medida que aumenta la tenacidad y disminuye el índice de fragilidad del material se reduce la velocidad de desgaste específica. Respecto a la proporción de fase vítreo presente, puede deducirse que, en estos materiales, un incremento en la cantidad de fase vítreo del material implica una menor resistencia al desgaste por parte del mismo, ejerciendo la presencia de cristales en el seno del vidriado un efecto positivo en este fenómeno, aunque cristalizaciones masivas en algunos vidriados mates provoca efectos adversos. La rugosidad no afecta de forma apreciable a la resistencia al desgaste global del material, aunque provoca una mayor pérdida de masa en las etapas iniciales del ensayo.

Tras la realización de micrografías para las distintas zonas de abrasión se observaron distintos mecanismos de desgaste. Según la naturaleza del desgaste se ha establecido la siguiente clasificación (figura 3), en la que se detalla la micrografía de la superficie desgastada, el tipo de mecanismo, los materiales que lo presentan y las características del surco de desgaste generado.

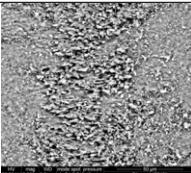
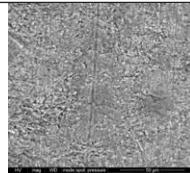
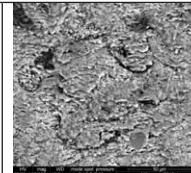
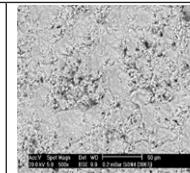
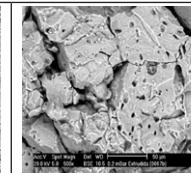
Micrografía					
Tipología	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V
Materiales	Vidrios y vidriados transparentes	Vidriados opacos	Vidriados mates y gres porcelánico	Cerámicas avanzadas (Al_2O_3 y Si_3N_4)	Gres extrudido
Forma de rotura	Rotura frágil, aparición de cantos vivos	Desgaste homogéneo, sin fallos cohesivos	Desconchados laminares	Desconchados poco importantes	Fallo cohesivo severo

Figura 3. Clasificación de los mecanismos de desgaste.

4. CONCLUSIONES

La determinación la resistencia a la abrasión profunda mediante un tribómetro pin-on-disk se ha establecido como una técnica adecuada para distinguir comportamientos entre materiales cerámicos de diferentes naturalezas. Los vidriados cerámicos muestran mayor resistencia al desgaste que el propio soporte cerámico ensayado sobre el material extrudido. Sin embargo, las cerámicas avanzadas presentan una menor velocidad específica de desgaste que el resto de muestras ensayadas debido a su microestructura más ordenada y elevada densidad.

Entre los vidriados cerámicos, existe una fuerte correlación de la microestructura y las propiedades mecánicas del material con respecto a su velocidad específica de desgaste. Cuanto mayor es la proporción de fase vítreo presente en la matriz, más se incrementa su velocidad específica de desgaste. Esto se debe a hecho de que el contenido en fases cristalinas incrementa la tenacidad del material y su dureza, fomentando el aumento de su resistencia al desgaste.

Asimismo, se ha evidenciado cierta influencia de la rugosidad superficial de las muestras con el porcentaje inicial de volumen desgastado, calculado a partir de la ordenada en el origen de la recta de desgaste.

Se han observado diferentes mecanismos de desgaste en función de la microestructura y composición de los materiales a ensayar, produciéndose rotura frágil en materiales vítreos, fallos cohesivos importantes cuando las fases cristalinas son de tamaño elevado y pequeños desconchados en cerámicas avanzadas.

AGRADECIMIENTOS

La realización del presente trabajo ha sido apoyada por la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional y por el IMPIVA (Generalitat Valenciana).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ASTM G99-05: Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus.
- [2] Guía de la baldosa cerámica. 5^a ed. Valencia: Instituto Valenciano de la edificación, 2006.