

LOS ENSAYOS DE CORROSIÓN DE REFRACTARIOS EN LABORATORIO Y EL MDN

M. Gutiérrez^a; M^º. F. Barbés^a; C. Goñi^b; A. Alfonso^a; R. Parra^b; L. F. Verdeja^a.

^a Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Oviedo. Independencia 13, 33004 Oviedo.

^b Facultad de Ingeniería. Universidad de Concepción. Edmundo Larenas 270. Concepción Chile.

RESUMEN

La corrosión de los materiales refractarios por escorias y vidrios es un tema muy complejo debido a la diversidad de mecanismos paralelos de ataque químico, termomecánico y procesos de desgaste tribológico que pueden influir durante el servicio, además de que las características físicas y químicas durante el ataque no son uniformes por tratarse de materiales y medios corrosivos heterogéneos. Como consecuencia, tanto los fabricantes como los consumidores de refractarios deben mantener de forma continua programas de investigación en esta línea.

Este trabajo consiste en la simulación de un ensayo de corrosión con un baño fundido estático de arrabio con el 4.5% C (*finger test*). Los resultados que hemos obtenido de dicho estudio constatan la idoneidad del ensayo propuesto como ensayo de laboratorio, ya que en tiempos muy cortos conseguimos obtener niveles de corrosión muy grandes (observables con microscopía óptica) y además, al trabajar con varias probetas a la vez, podremos comparar los resultados de forma rápida y fiable.

Palabras claves

Ensayo de refractarios, corrosión, productos fundidos.

1. INTRODUCCIÓN

La corrosión de los materiales refractarios por escorias y metales fundidos es de gran importancia económica. Una de las aplicaciones más comunes de los materiales refractarios son los revestimientos empleados en procesos de reducción y afino en acerías, metales no férreos, industria del vidrio u hornos con circulación de cenizas o escorias.

Con el objeto de determinar qué refractario es el mejor para una aplicación específica o para obtener un mejor conocimiento de los mecanismos de corrosión imperantes, se suele recurrir a la realización de aquellos ensayos que, al menos nos indiquen de forma cualitativa, la mayor o menor resistencia a la corrosión de las distintas calidades disponibles en el mercado.

Por tanto, los ensayos que se deben desarrollar serán los que estén capacitados para reproducir o simular en la medida de lo posible las condiciones reales de servicio, de manera que debemos de conocerlas bien y tratar de forzarlas para acelerar, en lo que se pueda, los procesos de corrosión, pero siempre teniendo la precaución de no modificar los mecanismos de corrosión que aparecen en servicio, en este intento de acelerar el ensayo a escala de laboratorio.

Además, los ensayos de laboratorio deben permitir la comparación entre diferentes calidades de materiales en tiempos muy cortos, pudiendo de alguna manera hacer factible la extrapolación de los resultados obtenidos en el laboratorio a lo que realmente podría ocurrir en servicio, disponiendo así de una herramienta eficaz a la hora de seleccionar el material idóneo.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Selección y descripción del ensayo

Existen ensayos de corrosión de estas características en normas como la ASTM C-621, C-622, C-768. Sin embargo dichos ensayos son habitualmente rechazados por los fabricantes y consumidores de materiales refractarios, por lo que esto conduce a que se lleven a cabo numerosos ensayos de laboratorio que permitan estudiar el comportamiento de refractarios ante el ataque corrosivo de escorias o vidrios fundidos a elevadas temperaturas.

En nuestro caso hemos elegido un ensayo de corrosión con un fundido estático. En algunas referencias bibliográficas (1,2,3 y 4) se exponen ensayos de este tipo, que presentan diferentes características y soluciones.

Con el objeto de realizar ensayos comparativos entre distintos tipos de refractario, se ensayan varias probetas a la vez, obteniendo así resultados comparativos en tiempos muy cortos y permitiéndonos asegurar la igualdad de condiciones de contorno bajo las cuales están sometidos los distintos materiales.

Para llevar a cabo el ensayo se hace lo siguiente: se realiza, con una broca de diamante, un orificio determinado (con la forma semejante a la podría presentar un “dedo”) en la pieza refractaria, el cual se rellena del fundido a ensayar. El conjunto se calienta a una temperatura y tiempo seleccionados, finalizado el cual se saca del horno y se enfría a la temperatura ambiente. A continuación se procede a cortar la probeta en sentido transversal y se examina la zona de reacción, una vez pulida adecuadamente, utilizando las técnicas apropiadas de microscopía óptica o electrónica con microanálisis, así como mediante difracción de rayos X o cualquier otra técnica que contribuya a resolver el problema del mecanismo controlante del proceso de corrosión.

2.2 Materiales ensayados

Para realizar los ensayos hemos utilizado, como medio agresivo fundido, el arrabio.

Los ensayos se realizan con 3 probetas, todas ellas de carbono con distintos contenidos de grafito y diferenciadas entre sí por la conductividad térmica.

Probeta de Referencia	A	B	C
Conductividad (W/m. °C)	10	25	50

Las dimensiones de las probetas cilíndricas son:

30 mm de radio y 60 mm de longitud.

Las dimensiones del orificio cilíndrico central (“dedo”) que sustenta el fundido corrosivo son:

5.3 mm de radio y 40 mm de longitud (profundidad).

2.3 Condiciones del ensayo

En nuestro ensayo, además de trabajar con tres probetas distintas características en cuanto a su contenido en grafito, también se ha utilizado para el fundido corrosivo (arrabio con el 4,5% C) tres temperaturas diferentes, con el objeto de comparar los resultados obtenidos. Las condiciones empleadas han sido las siguientes:

- Temperatura del fundido de arrabio: 1500°C, 1550°C y 1600°C
- Duración del ensayo: 80 segundos (no se considera incluido el tiempo necesario para que la probeta refractaria adquiera la temperatura nominal del horno).

3. RESULTADOS

En la figura 1 y 2 se muestra cómo el fundido (arrabio del 4,5% C), a la temperatura de 1500°C, ha atacado a las probetas carbonosas tanto en la base (figura 1) como en el lateral (figura 2). Si las comparamos los perfiles con la probeta sin ensayar, se observa que existe una claro avance en la corrosión del refractario tanto de la sección en el lateral del “dedo” como en su base.

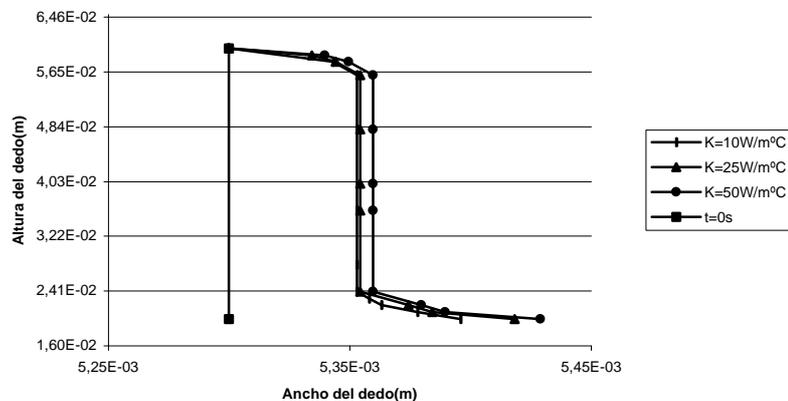


Figura 1. Desgaste lateral de las probetas tras 80s en el ensayo a 1500°C

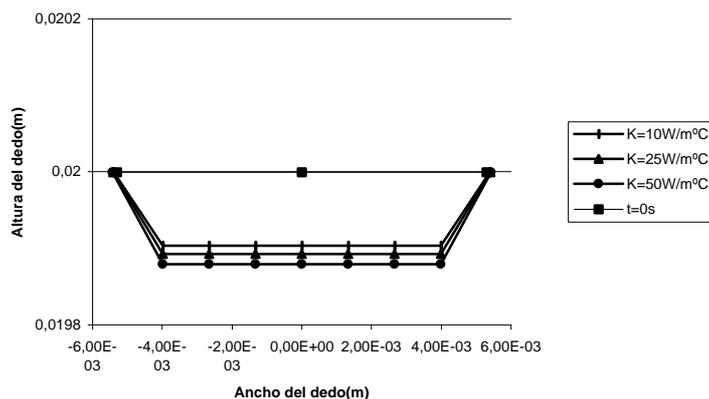


Figura 2. Desgaste en la base las probetas tras 80s en el ensayo a 1500°C

En las figuras 3 y 4, se muestran los perfiles de corrosión obtenidos si la temperatura del caldo es de 1550°C, y en las 5 y 6, cuando la temperatura del ensayo alcanza los 1600°C.

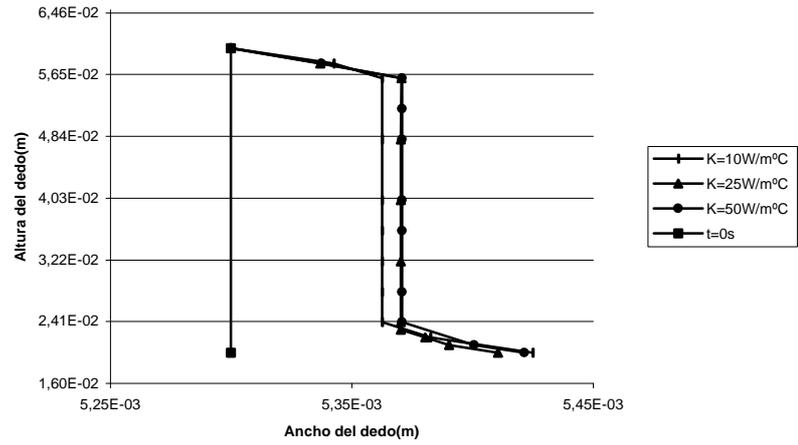


Figura 3. Desgaste lateral de las probetas tras 80s en el ensayo a 1550°C

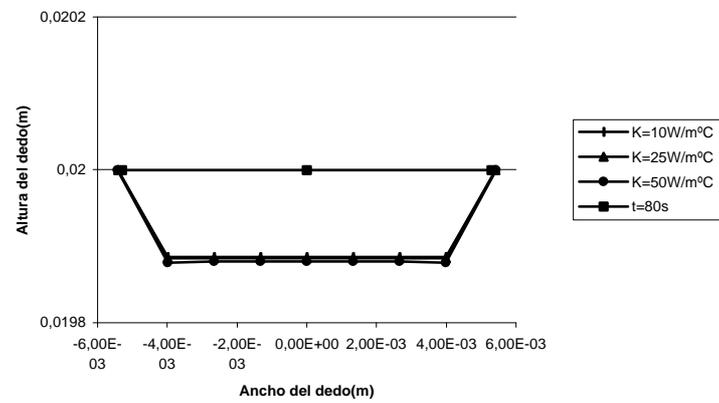


Figura 4. Desgaste en la base las probetas tras 80s en el ensayo a 1550°C

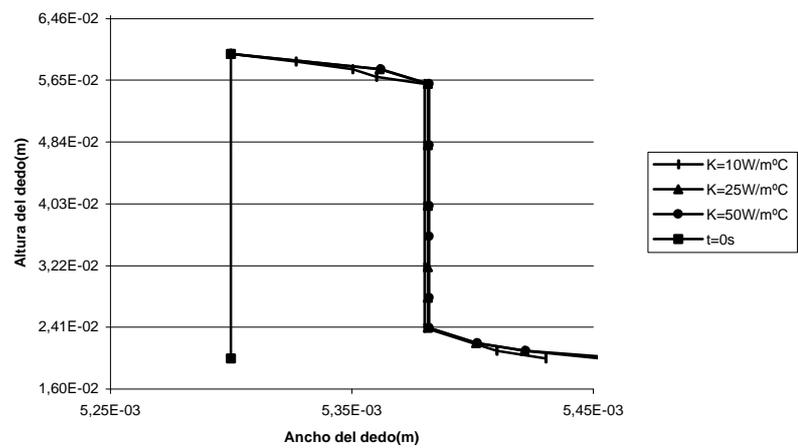


Figura 5. Desgaste lateral de las probetas tras 80s en el ensayo a 1600°C

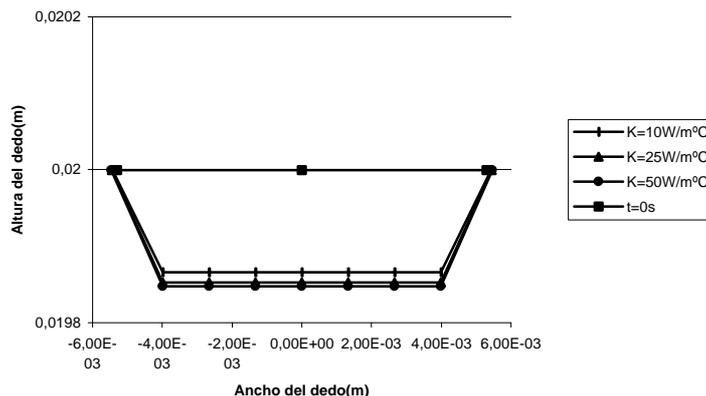


Figura 6. Desgaste en la base las probetas tras 80s en el ensayo a 1600°C

Otra manera de representar los resultados de los ensayos de corrosión de las probetas carbonosas es tabulando los valores que se obtienen para cada uno de los nodos de la intercara transversal y longitudinal que contactan con el fundido a los cuales se les aplica la correspondiente ecuación de corrosión según el Modelo de Desgaste Nodal (MDN) y que se detalla en la referencia (5). Los resultados de las medidas que se han obtenido se muestran en las Tabla 1 y 2.

Tabla 1. Desgaste en la pared de la intercara carbono - fundido de las probetas

Temperatura (°C)	R.inicial (mm)	R.final A(mm)	R.final B(mm)	R.final C(mm)
1500	5.303	5.3505	5.3507	5.3510
1550	5.303	5.3604	5.3611	5.3612
1600	5.303	5.3803	5.3804	5.3805

Tabla 2. Desgaste en la base de la intercara carbono - fundido de las probetas

Temperatura (°C)	H.inicial (mm)	H.final A(mm)	H.final B(mm)	H.final C(mm)
1500	20	19.900	19.890	19.880
1550	20	19.886	19.884	19.880
1600	20	19.866	19.852	19.847

Observando los valores de las tablas 1 y 2 se deduce que, en todos los casos, la penetración (lateral y en la base, esta última se corresponde con la altura que alcanza el material carbonoso al finalizar el ensayo, tabla 2) ha sido mayor en la probeta C mientras que la menos afectada ha sido la A (material con menor conductividad térmica).

4. DISCUSIÓN

La velocidad de corrosión del refractario depende normalmente de gran cantidad de variables. No obstante, en la simulación desarrollada en la ponencia se ha querido simplificar el problema para mostrar específicamente, la influencia de la temperatura y la conductividad térmica del material. Para materiales refractarios de semejantes características físico químicas que contactan con un agente corrosivo concreto (arrabio), la temperatura a la cual se encuentre el fundido constituye una de las variables más decisivas del proceso. La capacidad reactiva del fundido o escoria (en nuestro caso el arrabio) crece exponencialmente con la temperatura.

Por otro lado, los valores que presenta la conductividad del material es otra de las variables que juegan un papel importante en la disolución del refractario, ya que como puede

comprobarse en las tablas 1 y 2, para una misma temperatura de ensayo, el desgaste y disolución del refractario en el fundido es tanto mayor cuando más elevada es la conductividad térmica del mismo ($W/m\ ^\circ C$).

Finalmente cabe destacar los desgastes que presenta la cavidad en aquellos puntos de las paredes laterales próximos a la base del cilindro (figuras 1, 3 y 5) produciendo en el conjunto un perfil de desgaste conocido como de “*tipo seta*”.

5. CONCLUSIONES

Aunque en la realidad los materiales refractarios estén sometidos a situaciones industriales mucho más complejas, el procedimiento descrito pretende simular las condiciones experimentales habituales de laboratorio en el ensayo *finger test* pudiéndose considerar como válido para realizar estudios del comportamiento de los no metálicos ante la corrosión a elevadas temperaturas por escorias o fundidos. Aunque este tipo de ensayo trata de simular, de una manera bastante sencilla, las condiciones industriales a un bajo coste y nos permiten obtener resultados en tiempos muy breves, en muchas ocasiones, las conclusiones obtenidas contradicen los desgastes producidos, por ejemplo, en los bloques de carbono del crisol de un alto horno.

Mediante la simulación llevada a cabo se revela el efecto corrosivo que producen las escorias o fundidos en una zona concreta de la probeta. Además, podemos controlar variables como la conductividad del material refractario o la temperatura de ensayo. También permite ensayar tres o más probetas al mismo tiempo, por lo que podremos garantizar igualdad de condiciones en todo los ensayos.

Esta simulación permitirá por tanto seleccionar o hacer trabajos comparativos de los materiales refractarios cuyas aplicaciones suelen ser los revestimientos de los equipos empleados en los procesos de reducción, afino y fusión de metales, canales de conducción de fundidos o de elementos de transporte de metales líquidos.

Alternativamente la comunicación que se presenta abre una nueva vía para que, mediante la determinación microestructural del avance del daño/corrosión de un material refractario en contacto con un medio agresivo (ensayo de corrosión estático tipo *finger test*), se pueda derivar una ecuación de corrosión que, incorporada a la metodología del MDN, pueda simular, además de la velocidad de desgaste del material bajo las condiciones experimentales de laboratorio, la de cualquier situación en instalaciones siderometalúrgicas.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores del trabajo quieren agradecer al Ministerio de Ciencia y Tecnología la ayuda facilitada para el desarrollo del Proyecto MAT2000-1715.

7. REFERENCIAS

1. T. D. McGee “Laboratory Slag Test to Simulate Refractory Corrosion”, Interceram NR 4 (1978)
2. M. Kobayashi, M. Nishi, A. Miyamoto “Slag Resistance for Refractories”, Taikabutsu Overseas Vol. 2 , No. 2, 5-13, (1982)
3. A.R. Cooper, Jr. and W. D. Kingery, “Corrosion of Refractories by Liquid Slag and Glasses, in Kinetics of High-Temperature Processes”, Ed. by W. D. Kingery, Publish. by Wiley & Sons Inc., New York, pp.85-92 (1959)
4. T. S. Busby, R. J. Turner “The Development of a Corrosion Test for Glass Contact Refractories”, Glass Technology Vol. 22, No.1, (Feb.1981)
5. L. F. Verdeja, R. González and A. Ordoñez “Using FEM to determine temperature distribution in a blast furnace crucible”, Journal of Metals (JOM), Vol. 52, No. 2, 74-77, (2000)