



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

PERMEABILIDAD EN CALIENTE DE MOLDES CERÁMICOS PARA FUNDICION DE PRECISION

**César Martín Sanchez, Omar Antonio Radevich, Martín A. Kunusch Micone,
Pablo Gerardo Varela ***

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Río Cuarto
Ruta Nac. 36 km. 601 – X5804BYA Río Cuarto (Cba.) - Argentina.
correo-e: pvarela@ing.unrc.edu.ar

RESUMEN

La fundición de metales líquidos para producir objetos sólidos es un proceso de manufactura que ha sido practicado por más de 5000 años, siendo la fundición de precisión uno de los métodos de conformado más antiguamente conocidos. Dicha técnica permite producir piezas de alta calidad, en lo concerniente a terminación superficial y tolerancia dimensional.

La calidad de las piezas solamente puede asegurarse, mediante la elaboración de moldes que también sean de alta calidad. A los efectos de la evaluación de la calidad de los moldes, la industria de la fundición de precisión, realiza habitualmente la determinación de la permeabilidad de las masas de moldeo, entre otras variables.

El presente trabajo estudia un método mejorado para evaluar la permeabilidad de moldes cerámicos de fundición de precisión aglomerados con silicato de sodio, en condiciones de alta temperatura.

Para ello, se han utilizado modelos de geometría esférica, sobre los cuales se han elaborado los moldes tipo cáscara cerámica. En dichas probetas a temperaturas que llegaron a 900°C, se ha procedido a la determinación del flujo y la caída de presión a través de la pared del molde, con lo cual se han determinado los valores de permeabilidad.

Se demuestra la utilidad de esta técnica, que es muy simple, y que puede fácilmente implementarse en los talleres de fundición, a los efectos de determinar parámetros de calidad de moldes cerámicos, y su evolución con el aumento de la temperatura.

Palabras Claves: *Fundición de Precisión, Cera Perdida, Microfusión, Permeabilidad.*



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

1. INTRODUCCIÓN

La permeabilidad en caliente es una propiedad muy relacionada con el desempeño en servicio de moldes cerámicos para fundición de precisión. Conjuntamente con la resistencia en caliente, son los indicadores más importantes de las propiedades de dichos moldes [1]. Se requiere que un molde tenga permeabilidad en caliente para el mismo pueda evacuar aire y otros gases atrapados durante el llenado del metal fundido. La permeabilidad de moldes tipo cáscara es generalmente terminada a temperatura ambiente; sin embargo, la extrapolación de esta propiedad es poco fiable, y la caracterización a temperatura ambiente no ilustra el comportamiento del molde tipo cáscara para las altas temperaturas de servicio.

La permeabilidad puede evaluarse por el método descrito por Lang et al. [2], Amira et al. [3] y Jones [4], y recomendado por Investment Casting Institute [5], utilizando una cáscara cerámica elaborada sobre un modelo de pelota de tenis de mesa. Luego de secado y calcinado, se introduce aire comprimido dentro de la muestra de molde cáscara, a alta temperatura. La variación de la presión con el flujo a través de la pared del molde, conduce a un factor de permeabilidad o a un valor absoluto de permeabilidad, utilizando la Ley de Darcy [5]. Los valores de permeabilidad reportados por la literatura [1-3, 6-8], corresponden a moldes elaborados con Sílice coloidal o silicato de etilo como material aglomerante.

El presente trabajo realiza determinaciones de permeabilidad en caliente sobre moldes cáscara de fundición de precisión elaborados con silicato de sodio como aglomerante (Varela et al. [9]).

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1. Preparación de muestras

Fueron elaboradas muestras de molde cáscara para su análisis, en todos los casos siguiendo el procedimiento descrito por Varela et al. [9], el cual emplea ligante base agua.

Dichas cáscaras fueron elaboradas sobre una pelota de tenis de mesa, a los efectos de obtener forma esférica, con un tubo conector de cerámica para la introducción de aire a presión. Dicha pelota tiene un diámetro exterior de 40 mm., lo cual permitió obtener moldes cáscara con dicho diámetro interior.

La secuencia completa de operaciones utilizada para la elaboración de las cáscaras cerámicas se describe a continuación.

El moldeo se realizó en forma sucesiva a la inmersión de los modelos en el barro refractario, se-



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

guido del correspondiente estucado con distintos materiales refractarios: ortosilicato de circonio y chamote sílico aluminoso. Fue repetido dicho proceso hasta completar seis capas de barro refractario y relleno. Se utilizó en todas las capas el Silicato de Sodio como aglomerante con agente humectante y antiespumante, variando el refractario del barro y del relleno de cada capa.

Se utilizaron como materiales refractarios harina de circonio #325, arena de circonio con índice de finza según American Foundrymen's Society (AFS) 110 y chamote de distintos tamaños de partícula.

Para la construcción de los barros se empleó una mezcladora rotativa a paletas y el estucado se aplicó en todos los casos por lluvia de refractario.

En todos los casos, la elaboración de los moldes fue realizada en una sala de moldeo acondicionada a 20/21°C y 50/55 % de HR.

Al conjunto de esfera y tubo, se le aplicó el barro refractario por inmersión y se lo estucó con arena de circonio, procediéndose a continuación al fraguado del mismo en una atmósfera de dióxido de carbono durante cuatro minutos. Este procedimiento se repitió en las sucesivas capas aplicadas. La capa primaria, que influye en la terminación superficial de la pieza, fue construida con un barro compuesto por ligante y harina de circonio, viscosidad 60/70 seg. Copa Ford N°4.

Para los sucesivos revestimientos o capas secundarias, que determinan la resistencia, se empleó un barro con viscosidad 20/25 seg. Copa Ford N° 4, estucándose la primera, segunda y tercera capa con chamote # 50/70 y las capas cuarta a sexta con chamote # 12/30.

Fraguada la última capa se dejó secar el molde en aire tranquilo y a continuación en aire forzado.

La figura 1 esquematiza la secuencia de operaciones para la elaboración de una muestra para ensayar.



Figura 1. Secuencia de elaboración de una muestra de ensayo



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

El tubo conector de cerámica debe ser lo suficientemente largo para que salga del espacio interior del horno, y pueda conectarse adecuadamente al dispositivo para la determinación de permeabilidad. Durante el ensayo el horno permaneció con la puerta abierta, a los efectos de permitir la salida del mencionado tubo, y para disminuir pérdidas energéticas, se aisló adecuadamente dicho espacio, mediante la utilización de manta térmica. La figura 2 muestra el dispositivo completo utilizado para los ensayos.

2.2. Determinación de permeabilidad

Las cáscaras elaboradas como se ha expresado, fueron conectadas al equipamiento para la determinación de permeabilidad, que también se muestra en la figura 2.



Figura 2. Dispositivo completo de ensayo

El equipamiento utilizado fue un Permeámetro absoluto digital P.A.D. marca Gerosa. Dicho dispositivo utiliza un volumen constante de aire, el cual fluye por la probeta a una determinada velocidad, la cual se determina con un caudalímetro, y al mismo tiempo se determina la caída de presión con un manómetro. Empleando la Ley de Darcy, el instrumento calcula la permeabilidad de la cáscara, de acuerdo a los valores de flujo y sus correspondientes valores de caída de presión. Los ensayos fueron realizados incrementado gradualmente la temperatura, desde 20 °C hasta 900 °C.

El valor de permeabilidad obtenido a temperatura ambiente se consideró de referencia, y en consecuencia, con los demás valores registrados, se determinó la permeabilidad relativa, es decir el cociente entre el valor obtenido y el de referencia.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

En la tabla 1 se pueden apreciar los resultados obtenidos de permeabilidad relativa en función de la temperatura, y en la figura 3 se observa gráficamente la evolución de la misma. El error relativo en las mediciones es de aproximadamente el 10%, que puede atribuirse principalmente a la incertidumbre en las determinaciones del espesor de las cáscaras.

Tabla 1. Resultados de los ensayos realizados.

T (°C)	Permeabilidad relativa
20	1,00
100	1,00
200	1,00
300	1,02
400	1,16
500	2,00
600	2,44
700	2,44
800	2,44
900	2,67

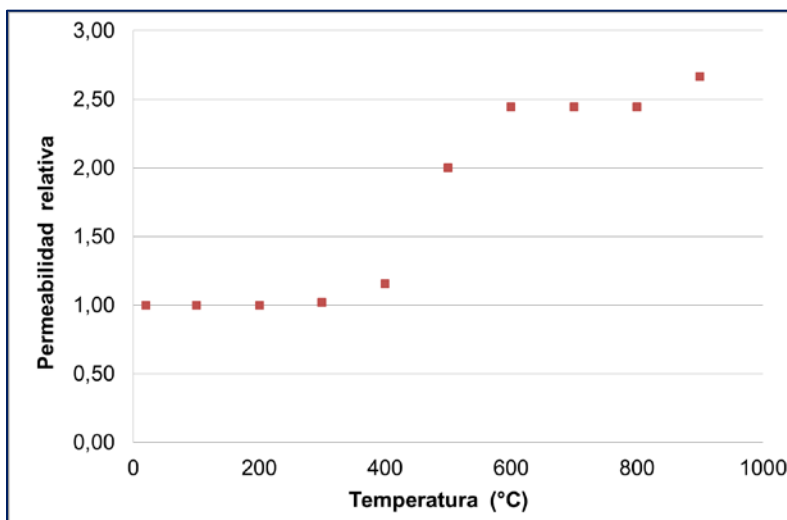


Figura 3. Variación de la permeabilidad en función de la temperatura.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

3.2. Discusión

Se observa en la figura 3 que la permeabilidad permanece prácticamente constante hasta aproximadamente 300 °C, teniendo a partir de allí un aumento importante hasta alrededor de 600 °C, para luego estabilizarse y volver a crecer a temperaturas próximas a 900 °C. Podría esperarse un aumento en la permeabilidad que puede atribuirse al aumento en el tamaño de los poros. Sin embargo, la interconexión entre los mismos no se altera en forma significativa, y ello podría explicar el aparente estancamiento en los valores de permeabilidad que se produce a partir de los 600 °C.

4. CONCLUSIONES

Han sido determinados valores de permeabilidad en caliente, y su variación en función de la temperatura, de moldes cerámicos para fundición de precisión, elaborados con silicato de sodio.

Con los resultados obtenidos, se puede apreciar el aumento de la permeabilidad en función de la temperatura.

Dicho aumento registrado en la permeabilidad de este tipo de moldes es muy beneficioso, puesto que contribuye a la evacuación de los gases disueltos en el metal en estado líquido, y que podrían tener consecuencias en la calidad de la pieza final obtenida. Al ser mayor la permeabilidad a altas temperaturas, favorece dicho proceso de evacuación, el cual debe precisamente ser mayor, mientras el metal está en estado líquido.

5. REFERENCIAS

[1] Mills, D. Investment Materials and Ceramic Shell Manufacture. Institute of Materials, University Press, Cambridge, UK, pp. 65-122. 1995.

[2] Lang W., Learmonth D., McCallum R., Hot permeability of Shell moulds: its measurement and place in process technology. Proceedings of the 36th Annual Meeting of the Investment Casting Institute, p.29. 1988

[3] S. Amira, D. Dubé, R. Tremblay. "Method to determine hot permeability and strength of ceramic shell moulds", Journal of Materials Processing Technology, N° 211, pp. 1336–1340, 2011.

[4] S. Jones, C. Yuan. "Advances In Shell Moulding For Investment Casting". Journal of Materials Processing Technology, N° 135, pp. 258-265, 2003.

[5] Investment Casting Institute. Ceramics Testing Guidebook. 136 Summit Avenue, Montvale, New Jersey, USA, p. 167. 1979.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

- [6] Hassan Jafari, Mohd Hasbullah Idris, Ali Ourdjini, "An alternative approach in ceramic shell investment casting of AZ91Dmagnesium alloy: In situ melting technique". Journal of Materials Processing Technology 214, 988–997, 2014.
- [7] Sarojrani Pattnaik, D. Benny Karunakar, P.K. Jha, "Developments in investment casting process—A review". Journal of Materials Processing Technology 212, 2332–2348, 2012.
- [8] Fazal Reza, Hidekazu Takahashi, Naohiko Iwasaki, and Yukimichi Tamaki, "Effects of investment type and casting system on permeability and castability of CP titanium". The Journal of Prosthetic Dentistry 104, 114-121, 2010.
- [9] Varela Pablo, Cotella Nelson, Oviedo Osvaldo, Kohl Rodolfo, "Nuevo Procedimiento para la Construcción de Moldes Cerámicos de Microfusión", Actas de III Congreso anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica, Morelia Michoacán México, pp. 82-87, 1997.