

Influencia de la humedad en el comportamiento de la resistencia a la compresión en mezclas de moldeo

J. E. HERNÁNDEZ, E. VALENCIA, E. VILLAR

Departamento de Física. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara. 54830. V.C. Cuba.

Se evalúa el comportamiento de mezclas de moldeo para machos de fundición expuestas a intemperies de altas humedades relativas. En las mezclas analizadas se obtuvo la relación entre la resistencia mecánica a la compresión y el incremento relativo en peso húmedo. La dependencia entre ambos parámetros, de tipo exponencial, fue corroborada por estimaciones estadísticas adecuadas.

Palabras claves: Mezclas de moldeo, machos de fundición, resistencia mecánica y humedad.

Influence of moisture on the behavior of the compression strength in moulding mixtures.

The behavior of molding mixtures for foundry cores in high relative humidity outdoors is evaluated. The relationship between the mechanical strength to compression and the relative increment of wet weight in the mixtures was obtained. The functional dependence between both parameters of exponent - type was properly corroborated by statistical estimates.

Keywords: Molding mixtures, foundry males, mechanical strength and moisture.

1. INTRODUCCIÓN

La humectación de las mezclas de moldeo para machos de fundición durante su permanencia en la atmósfera del taller y su consecuente degradación por este concepto ha sido descrita para mezclas arena - melaza(1).

En la década de los 80 se afirmaba que no existe un método generalmente aceptado para la determinación de la higroscopicidad en las mezclas de moldeo. En general, se emplean dos formas de ensayos, en una de ellas se determina el incremento en peso húmedo de la probeta, designándose la higroscopicidad por dicho aumento expresado en tanto por ciento. En la otra forma un cierto número de probetas se someten durante un tiempo a condiciones de alta humedad relativa (~ 100 %) evaluándose la forma en que esto altera una o varias propiedades de la mezcla previamente establecidas(2). Sin embargo, como se ha demostrado(1), la caracterización higroscópica integral de una mezcla de moldeo se basa en la conjugación de ambos métodos.

El primer tipo de ensayo es clásicamente descrito(3-11). Las técnicas gravimétricas de el registro del incremento en peso de una muestra de material absorbente en interacción con un absorbato gaseoso son empleadas para estudios de absorción y difusión en vidrios y dieléctricos(3, 4), polímeros(5 - 7), zeolitas(8 - 10) y sólidos inertes(11).

Mediante estudios de esta naturaleza, se han obtenido los coeficientes de difusión del agua atmosférica a determinadas intemperies en mezclas arena - melaza(1) y en mezclas autofraguantes(12). Esto ha mostrado, además, que en la caracterización higroscópica de la mezcla, no solo se requiere del cálculo del incremento porcentual en peso húmedo adquirido por la muestra, sino que también es necesario la determinación de la velocidad con que la mezcla incorpora agua higroscópica.

El segundo tipo de ensayo también es descrito(1, 13). Para determinar cómo influye la humectación de un material dado en una o varias de sus propiedades, otras variantes de ensayos han sido desarrolladas(14). Estudios del segundo tipo realizados en mezclas arena- melaza(1) mostraron que la resistencia mecánica a la tracción decrece exponencialmente con su incremento porcentual en peso húmedo. La conjugación de los resultados obtenidos mediante ambos tipos de ensayo, en estas mezclas, permitió con posterioridad calcular los tiempos límites de permanencia de machos de determinadas geometrías y dimensiones expuestos a una intemperie dada, sin que estos se incapaciten por concepto de humectación(1).

Estudios del primer tipo, como se mencionó antes, también se han realizado en mezclas autofraguantes para machos de fundición(12), sin que aún se hallan sometido a ensayos del segundo género. Esto permitiría con posterioridad dictaminar normas para la permanencia de los machos fabricados con estas mezclas en las condiciones concretas de la atmósfera del taller. Por tanto, constituye un problema de interés actual investigar cómo influye la humedad ambiental en el comportamiento tecnológico de mezclas autofraguantes.

En el presente trabajo se analiza el comportamiento de la resistencia mecánica a la compresión con el incremento en masa húmeda de probetas standard, fabricadas con un grupo de ocho mezclas autofraguantes para machos de fundición anteriormente descritas(2, 15 - 17).

En la parte experimental se presentan las propiedades físico-químicas de los materiales utilizados en la elaboración de las probetas, se explica el proceso de elaboración de las mezclas y probetas y se describe el procedimiento gravimétrico

empleado para determinar como la humectación de las mezclas estudiadas influye en la resistencia mecánica a la compresión. Los resultados obtenidos son presentados y discutidos en la sección 3 destacándose la disminución, según leyes exponenciales, de la resistencia a la compresión con el incremento en peso húmedo en las mezclas autofraguantes estudiadas. Finalmente, se presentan las conclusiones y se ofrecen algunas recomendaciones relacionadas con las posibilidades de uso de estas mezclas en las condiciones de climas tropicales y húmedos.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Características y propiedades fundamentales de los materiales utilizados.

Las composiciones de las mezclas ensayadas se han mejorado aplicando técnicas de diseño de experimento⁽¹⁸⁻²¹⁾, excepto en los casos de las MMA-1 y MMSi-1.

TABLA I. COMPOSICIÓN DE LAS MEZCLAS ESTUDIADAS.

MEZCLA	ARENA SILÍCEA (%)	SILICATO DE SODIO (%)	TIEMPO DE SOPLADO; S	ADITIVO MELAZA (%)	OTROS COMPONENTES (%)
M ₁₀	92,1	5,6	60	2,3	-
G ₁	90,29	4,85	37	-	Esquistos grafiticos micáceos 4,85
A ₃	95	3,9	40	-	Azúcar 1,1
E ₁	94	3,63	7,5	-	Escoria 2,05 Azúcar 0,32
M ₂	87	6,5	-	3,2	Sulfato de sodio 3,3
C ₁	93,5	5% de solución con azúcar al 20%	5	-	Cemento 1,5
MMA-1	84	-	-	6% solución 34-36 ^o Be	Cemento 10
MMSi-1	93	6,5	5	-	Serrín 0,5

Las denominaciones M₁₀, G₁, etc. se corresponden con la primera letra del componente que le ha dado nombre a la mezcla. El número que aparece como subíndice indica la composición de la mezcla que en el diseño dado ofrece las mejores propiedades o corresponde a una composición de propiedades adecuadas ubicada en la zona del simplex en estudio. Esto no es así en el caso de las mezclas MMA-1 y MMSi-1 cuyas denominaciones son las que aparecen en las cartas tecnológicas correspondientes.

En la elaboración de las mezclas se empleó como material base arena silícea del tipo 1k 016 A (Norma Soviética GOST 2138-74.), procedente del yacimiento Casilda en las proximidades de Trinidad. Sus características y composición química han sido descritas anteriormente⁽²²⁾. Se trata de una arena de cuarzo con menos de un 2% de componente arcilloso y un contenido de SiO₂ entre el 96 y el 98%. Durante el tamizado dejó más del 70% de sus granos en los tamices 02, 016 y 01, con la particularidad de encontrarse un mayor residuo en el tamiz 02 que en el 01.

Se utilizó silicato de sodio de módulo 2,17 y densidad 1,49 g/cm³; el cual cumple con las exigencias que se le plantean a este material en su condición de aglutinante.⁽²³⁾

El empleo del cemento para la fabricación de machos y moldes en calidad de aglutinante se describe por la literatura⁽²⁴⁻²⁶⁾. En dos de las mezclas estudiadas se empleó como aglutinante el cemento Portland PP-250, el que se combina con el gaseado CO₂ en el caso de la mezcla C₁.

Como endurecedor gaseoso se usó el CO₂. La escoria de horno de cubilote y los esquistos grafiticos micáceos fueron

utilizados como endurecedores sólidos, destacándose además que este último posee también propiedades desarenantes. En la mezcla M₂, se emplea como endurecedor con propiedades desarenantes al sulfato de sodio.

Entre los aditivos desarenantes usados se encuentran la melaza, el azúcar de barrido y el serrín. La melaza empleada, subproducto de la industria azucarera, se ajusta a las especificaciones para su uso en la fundición según la norma cubana NC-8105-81 (Cantidad mínima de sólidos solubles en la miel ≈ 36%, cantidad mínima de azúcares totales ≈ 52% y densidad 1,3 g/cm³) y cumple con las reglamentaciones para su almacenamiento y conservación con posterioridad a la entrega, según la norma cubana NC-8121-85.

2.2 Elaboración de las mezclas y probetas

Las mezclas se confeccionaron en base a 7 Kg. de masa total para cada composición. Después de pesados cada uno de los componentes en una balanza de exactitud 0,1g, se mezclaron los componentes sólidos durante 2 minutos, luego se añadió la emulsión preparada con los componentes líquidos premezclados (tipo aglutinante complejo)⁽²⁷⁾ y se volvió a mezclar durante 2 minutos más. Los porcentajes de los componentes sólidos y líquidos aparecen en la Tabla I.

Posteriormente, se confeccionaron las probetas normalizadas (50 mm x 50 mm) compactadas a tres golpes; las que finalmente fueron gaseadas a presión de 0.2 MPa. (2 atm.) durante el tiempo requerido.

2.3 Ensayo de humectación

La masa inicial de las probetas se midió en una balanza de exactitud 0.1g. Las probetas se distribuyeron aleatoriamente en grupos de diez. A un primer grupo de probetas "secas", se les determinó la resistencia mecánica media a la compresión en una Prensa Universal tipo LRUTUS. El resto de los grupos se situaron en una intemperie altamente humectante (~100 % Hr). La atmósfera experimental se creó artificialmente en una cámara climatizada especialmente diseñada para estos fines⁽¹⁾, con humedad relativa y temperatura fija. Esta cámara consta de un higrómetro acoplado que permite el registro de la humedad relativa y la temperatura. El mantenimiento de la humedad requerida en la cámara se garantiza inyectando o extrayendo vapor de agua en ella, según sea el caso. La atmósfera interior se homogeneiza mediante un sistema de ventilación instalado que permite la circulación de aire a muy baja velocidad.

Los diferentes grupos de probetas fueron extraídos a intervalos de una hora*, evitándose de esta forma la descompensación de la atmósfera de la cámara. A los grupos de probetas extraídas se les determinó el incremento medio en peso y la resistencia mecánica media a la compresión, análogamente a como se hiciera con el primer grupo. Para las mezclas E₁, M₂, C₁ y MMA-1 este procedimiento se hizo además con grupos de probetas que previamente estuvieron durante 24 horas en las condiciones normales de humedad existente en el taller (80-85% Hr.) como promedio anual para climas tropicales y húmedos como el cubano, pues en estos casos deben existir diferencias significativas entre las resistencias en verde y en seco, lo cual no es así en el caso del resto de las mezclas, en las que el proceso de fraguado concluye prácticamente en el instante mismo que se termina el proceso de gaseado.

El incremento porcentual en peso húmedo de las probetas se calculó mediante la expresión(1):

$$\bar{C}(t) = \{[m(t) - m(t_0) / m(t_0)] 100\% \quad [I]$$

donde $m(t)$ es la masa del producto húmedo en el tiempo t de exposición a la atmósfera dada, la que se mide a intervalos de tiempos preferiblemente fijos y es la masa de la muestra en el instante inicial del ensayo(masa del producto "seco").

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La resistencia mecánica media a la compresión para los distintos grupos de probetas en las mezclas analizadas decrece con los valores promedio de los incrementos porcentuales en peso húmedo, excepto en las mezclas MMA-1 y M_2 , cuando los experimentos se ejecutan a partir del instante en que se fabrican las probetas.

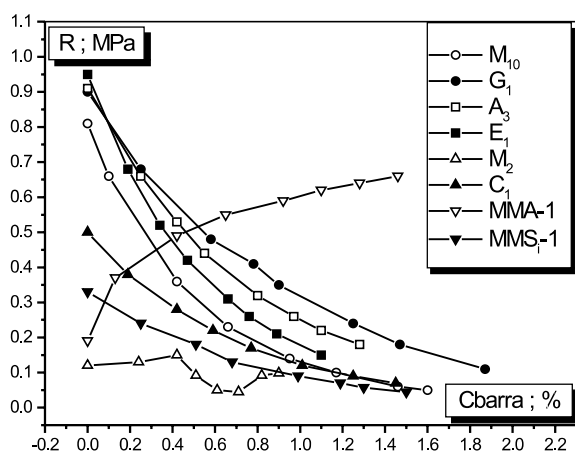


Figura 1. Comportamiento de la Resistencia mecánica a la compresión con el incremento porcentual en peso húmedo en probetas normalizadas cuando los ensayos se inician a partir del instante en que son conformadas éstas.

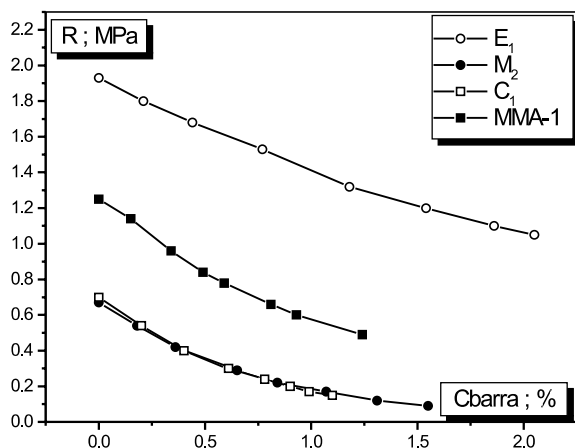


Figura 2. Comportamiento de la resistencia mecánica a la compresión con el incremento porcentual en peso húmedo en probetas normalizadas cuando los ensayos se realizan a partir de las 24h. de conformadas éstas

Este decrecimiento de la resistencia, que de forma general tiene lugar en condiciones de alta humedad, se debe a la acción negativa del agua atmosférica que incorporan las mezclas.

En el caso de la mezcla MMA-1, en la cual a diferencia de lo que ocurre en la generalidad de las mezclas, la resistencia a la compresión crece con el incremento porcentual en peso húmedo, el agua que difunde en forma de vapor desde la intemperie hacia su interior, en tiempos posteriores a su conformado y hasta que concluya en lo fundamental el fraguado, es usada por la mezcla en la formación de hidrosolvatos, por ello la incorporación del agua favorece el incremento de la resistencia mecánica a la compresión. Esto pudiera explicar el comportamiento de esta mezcla, diferente al manifestado por el resto de las mezclas (excepto para la mezcla G_1 , en que esta operación se realizó cada 1^{1/2} horas, pues en los primeros tiempos a intervalos de 1 hora no se apreciaba el incremento porcentual en peso húmedo).

El comportamiento de la mezcla M_2 es atípico, después de un ligero crecimiento de la resistencia con el incremento porcentual en peso húmedo se produce un cambio de concavidad y comienza a decrecer para luego volver crecer. Esto debe estar asociado a fenómenos relacionados con las propiedades físico-químicas del sulfato de sodio, que en su interacción con la melaza pudiera estar originando algún tipo de reacción de nucleación y crecimiento de una nueva fase en estado sólido, pero que es limitada desde su mismo inicio por el carácter altamente higroscópico de estos dos constituyentes y su presencia en condiciones de altas humedades.

Para las mezclas C_1 y E_1 , las cuales aglutinan por procesos combinados, se esperaba que en los momentos iniciales se produjera un ligero incremento de la resistencia, para después decrecer según el comportamiento general mostrado por las mezclas, mas esto no ocurrió. Como las mediciones se efectuaron a intervalos de una hora, este fenómeno pudiera haber quedado enmascarado. No obstante, este comportamiento, aquí esperado y no observado, se describe en mezclas arena-melaza(1) haciendo uso de la misma técnica experimental. Se admite entonces, el presupuesto de que el comportamiento mostrado en estos casos no obedezca necesariamente a una limitación de la técnica experimental usada.

En las mezclas C_1 y E_1 después de concluido el proceso vidrio líquido- CO_2 el fraguado continúa debido a la presencia de los endurecedores sólidos. Sin embargo, el agua que incorporan las mezclas en condiciones de alta humedad es tal que el deterioro que ella provoca en la resistencia prevalece sobre el crecimiento de ésta por la acción del endurecedor sólido, y en general se aprecia una disminución de la resistencia de estas mezclas. En ambos casos, ocurre la formación del gel de cadenas de enlaces entre el calcio y el dióxido de silicio contenido en el silicato de sodio. Los iones calcio forman puentes en esta combinación y se obtienen cadenas o macromoléculas, en las cuales la resistencia es proporcional a la longitud de las cadenas. El agua que difunde hacia el interior de las mezclas fracciona estas cadenas y consecuentemente disminuye su resistencia. Esta disminución se comprende mejor en el caso de la mezcla E_1 pues, la escoria es un endurecedor de baja actividad.

Por otra parte, en la mezcla MMS_1-1 la reacción de la parte del silicato de sodio que quedó sin reaccionar al soplar, sólo 5 segundos con gas carbónico, y que reacciona con el CO_2 presente en la atmósfera, debía proporcionar un aumento inicial de la resistencia de esta mezcla. No obstante, en este caso esto tampoco ocurre, ello puede deberse a que en altas intemperies al efecto positivo de aporte a la resistencia por reacción

del vidrio líquido-CO₂ atmosférico hay que sumarle el aporte negativo por concepto de humectación de la mezcla. Esto conduce a que el efecto total que se aprecia, desde el mismo inicio de la reacción, es una disminución de la resistencia.

Se aprecia, que el logaritmo natural de la resistencia mecánica media a la compresión depende linealmente del incremento porcentual medio en peso húmedo. Del análisis de regresión se obtuvo, para todos los casos, un valor adecuado del coeficiente de correlación ($R \geq 0.9985$). Los restantes estimadores, la desviación standard (SD) y la probabilidad (P) de que el valor medido no este comprendido en el intervalo definido por el ancho de la desviación standard, también mostraron valores apropiados. Se exceptúan de este análisis las mezclas MMA-1 y M₂. En este caso los experimentos se ejecutan a partir del instante en que se fabrican las probetas y por el tipo de comportamiento mostrado carece de sentido este tipo de análisis.

TABLA II. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE REGRESIÓN PARA LOS DISTINTOS GRUPOS DE PROBETAS A PARTIR DEL INSTANTE EN QUE ÉSTAS FUERON CONFECCIONADAS.

MEZCLA	PARÁMETRO	VALOR	ERROR	R	SD	P
M ₁₀	Ln A	-0.27	0.031	-0.9989	0.051	2.54*10 ⁻⁹
	B	-1.75	0.032			
G ₁	Ln A	-0.08	0.024	-0.9988	0.037	4.30*10 ⁻⁹
	B	-1.11	0.022			
A ₃	Ln A	-0.10	0.012	-0.9996	0.017	1.61*10 ⁻¹⁰
	B	-1.27	0.015			
E ₁	Ln A	-0.07	0.010	-0.9998	0.015	4.14*10 ⁻¹¹
	B	-1.67	0.015			
C ₁	Ln A	-0.71	0.019	-0.9992	0.030	1.32*10 ⁻⁹
	B	-1.36	0.022			
MMS-1	Ln A	-1.09	0.025	-0.9989	0.037	3.70*10 ⁻⁹
	B	-1.35	0.026			

TABLA III. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE REGRESIÓN PARA LOS DISTINTOS GRUPOS DE PROBETAS A PARTIR DE LAS 24H. DE QUE FUERAN CONFECCIONADAS.

MEZCLA	PARÁMETRO	VALOR	ERROR	R	SD	P
E ₁	Ln A	0.65	0.006	-0.9992	0.010	1.48*10 ⁻⁹
	B	-0.30	0.005			
M ₂	Ln A	-0.40	0.006	-0.9999	0.010	1.47*10 ⁻¹²
	B	-1.28	0.007			
C ₁	Ln A	-0.33	0.009	-0.9998	0.013	3.16*10 ⁻¹¹
	B	-1.43	0.013			
MMA-1	Ln A	0.22	0.012	-0.9985	0.019	8.47*10 ⁻⁹
	B	-0.78	0.017			

Por criterios estadísticos(28), se puede garantizar que la dependencia lineal entre dos variables correlacionadas se verifica si:

$$|r| > t_{cr} / \sqrt{(t_{cr})^2 + N-2} \tag{II}$$

Asumiendo una confiabilidad del 99% y utilizando la estadística de Students se encontró que los módulos de los valores de los coeficientes de correlación calculados en todos los casos exceden a $r=0,67$ (calculado para ocho experimentos). Luego con una probabilidad del 99% las variables $\ln R$ y $\bar{C}(t)$ están correlacionadas linealmente, infiriéndose que la resistencia mecánica a la compresión R y el incremento porcentual en peso húmedo ($\bar{C}(t)$) obedecen a una ley exponencial del tipo:

$$R \cong A e^{-B\bar{C}(t)} \tag{III}$$

donde A y B son constantes que se determinan del ajuste por mínimos cuadrados de la expresión [III] linealizada.

En consecuencia, el incremento relativo en peso húmedo que puede admitir un macho de las mezclas estudiadas, sin que su resistencia mecánica a la compresión alcance valores por debajo del mínimo permisible, es decir sin que éste se incapacite por concepto de humectación está determinado por la razón:

$$R_{min} = R_{inic} / e \tag{IV}$$

Entonces, (e es el número de Euler) el valor límite permitido para la resistencia mecánica a la compresión es el 63% del valor inicial y por debajo de este valor la resistencia decrecerá bruscamente, condicionada por la propia relación analítica. Conocido esto, es posible calcular los valores límites de la resistencia mecánica a la compresión y mediante el procedimiento de interpolación determinar el límite de los incrementos porcentuales en masa húmeda para cada una de las mezclas cuyo comportamiento a altas intemperies sea conocido.

TABLA IV. VALORES LÍMITES DE RESISTENCIA E INCREMENTOS EN PESO HÚMEDO.

MEZCLA	R _{lim} ; MPa	$\bar{C}(t)_{lim}$; %
M ₁₀	0.30	0.52
G ₁	0.33	0.95
A ₃	0.34	0.75
E ₁	0.71	3.28
M ₂	0.25	0.71
C ₁	0.26	0.70
MMA-1	0.46	1.27
MMS-1	0.12	0.72

Resultados análogos se han obtenido en mezclas arena – melaza para la resistencia mecánica a la tracción. (1)

Entre las mezclas que menor incremento porcentual en masa húmeda admiten se encuentran las M₁₀, C₁, M₂ y MMS₁-1 y entre las que más soportan las E₁, MMA-1 y G₁, lo cual habla en favor del uso de estas últimas.

4. CONCLUSIONES

De forma general, en las mezclas estudiadas la resistencia mecánica a la compresión decrece exponencialmente con el incremento porcentual en masa húmeda. Las excepciones en este comportamiento lo constituyen las mezclas MMA-1 y M₂. En el primer caso, como se ha dicho, las exposiciones en atmósferas altamente humectante durante las primeras horas, después de confeccionada, favorece el fraguado de la mezcla y consecuentemente que adquiera valores más altos de resistencia, en tanto la mezcla M₂ tiene un comportamiento totalmente atípico.

Por criterios de deterioro por humectación, de las mezclas estudiadas en este trabajo, las menos recomendadas para su uso son las M₁₀, M₂, C₁ y MMS₁-1, en tanto se sugiere el empleo preferencialmente de las G₁, E₁ y MMA-1.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Ricardo Graú Ávalos por sus valiosas recomendaciones y sugerencias a la hora de realizar los análisis estadísticos, al Lic. Roberto Choy Madariaga por su colaboración en la realización de los experimentos, y al Lic. Lázaro Pino por sus criterios críticos y acertadas sugerencias.

BIBLIOGRAFÍA

1. E. Valencia. Tesis doctoral. Higroscopicidad en mezclas de arena y melaza para la fundición cubana. pp.47 – 80. Higroscopicidad en los revestimientos de los electrodos básicos y mezclas de moldeo para la fundición cubana. UCLV. Sta. Clara.(Cuba).1992.
2. C.M. Salcines Merino. Higroscopicidad. Tecnología de fundición. Tomo I. Editorial Pueblo y Educación. Habana.(Cuba), pp.383 –284, 1985.
3. M. Tomosawa. H. Li. and K.M. Davis. Water diffusion, oxygen vacancy annihilation and structural relaxation in silica glasses. J. Non-Cryst. Solids. 179, 162-169, (1994).
4. B.M. Taréiev. Propiedades con respecto a la humedad de los dieléctricos. Física de los materiales dieléctricos. Editorial MIR. Moscú.(URSS), pp.383 – 400, 1978.
5. K- I. Okamoto. Sorption and diffusion of water vapor in polimide films. Polymides. Fundamentals and applications. Edited by K. G. Malay & K.L. Mittal. Marcel Dekker, inc. New York – Basel – Hong Kong, pp. 265 – 278, 1995.
6. P. Neogi. Transport phenomenon in polymer membranes. Diffusion in Polymers. Edited by P. Neogi. Marcel Dekker, inc. New York – Basel – Hong Kong, pp.173-209, 1996.
7. B. Vázquez, et. al. Polymeric hydrophilic hydroxyls with flexible hydrophobic chains- control of the hydration and interactions with water molecules. Macromolecules. 30(26) 8440 – 8446 (1997).
8. L. Abrams and A.J. Owens. $Q_t=Q_\infty \tanh(Bt^{1/2})$: A descriptive equation for diffusion/sorption date. J. Phys – Chem. 90(1986) 2300 – 2302.
9. M.W. Ackely and R.T. Yang. Diffusion in Ion – Exchanged Clinoptilolites. A.I. Ch.E. Journal 37 1645 -1656 (1991).
10. M.W. Ackely, R.F. Giese and R.T. Yang. Zeolite 12, 770 – 788, (1992).
11. J.K. Baird and J-S. Chen. Theory of time - lag diffusion method for the case of outgassing solid. J. Mater Res. 6, 1455 – 1461, (1993).
12. J.E. Hernández Ruiz y otros. Higroscopicidad en mezclas de moldeo para machos de fundición. Memorias Forum Internacional Fundición 95. Habana.(Cuba).1995.
13. E. Valencia. Hygroscopic Behavior of Certain Basic - Coated Electrodes in Wet Tropical Climate. Welding International. 8(3) 1994 Rev. Soldadura. Madrid. 23(2) 94 - 103 (1993).
14. X-W. Luo, Z-Y. Yun and S-J. Li. Study on the sorption of water into resins by means of electrochemical impedance spectroscopy. „ Hüthing & Wepf Verlag, Zug. 940 – 946 (1995).
15. P. Rodríguez García y otros. Mezclas de silicato de alta desmoldeabilidad. Técnicas de fundición (1), 27 –32, 1988.
16. A. González Rodríguez y otros. Desmoldeabilidad de las mezclas con vidrio líquido. Técnicas de fundición (1), 15 –18, 1988.
17. A. González Rodríguez y otros. Mejoramiento de la desmoldeabilidad de las mezclas con vidrio líquido. Construcción de Maquinarias 11(2) 41 – 44 (1986).
18. S. Akhnasarova and V. Kafarov. Mixture Design. pp.240 – 295. Experiment optimization in chemistry and chemical engineering. MIR Publishers. Moscow(URSS). 1982.
19. J.A. Cornell and J.W. Gorman. Factorial designs plants for process variables in mixture experiments. J. Quality Technology 16(1) 1984.
20. O.O. Kenworthy. Factorial experiment with mixtures using ratios. Industrial Quality Control 19(12) 24 – 26 (1963).
21. J.E. Hernández Ruiz y otros. Diseño factorial incompleto con relaciones y variables de proceso y la cinética de absorción - desorción del agua atmosférica en mezclas de moldeo con vidrio líquido y proceso CO₂. Construcción de Maquinarias 20(1) 43 – 51 (1995).
22. Ref. 2. Arenas y arcillas de moldeo. 52 –57.
23. The Distillers Company (Carbon Dioxide) Ltd. El proceso silicato CO₂. Estado actual. Colada 13(11) 257 – 259. (1980).
24. A. Lemet y R. Duppont. Mezclas con cemento para moldes y machos. Express - Information 34(1996) Moscú (1976).
25. K. H. Turner. The cement - sand molasses process. Foundry Trade J. 140(3087) 1973.
26. Cement sand moulding and core making. Foundry Welding Production Eng. J. 9(2) 1969.
27. D. Warren, Perfeccionamiento del proceso de elaboración de mezclas con vidrio líquido en Inglaterra. British Foundry – men. 64(12) 1971.
28. V.P. Spiridonov. y A.A Zopatkin. Tratamiento Matemático de datos Físico - Químicos. Editorial MIR. Moscú(URSS). 1974.

Recibido: 31.07.00

Aceptado: 01.11.00

◆ ◆ ◆

I N T E R N A T I O N A L C O N F E R E N C E

CERAM - 2001

ADVANCED CERAMICS FOR
THIRD MILLENIUM

NOVEMBER 5-9, 2001
Kiev Ukraine

Information support from

Ukrainian Industrial Journal / "MM&Money" Technologies
I. Frantsevich Institute For Problems Of Materials Science • E-mail: chern@materials.kiev.ua