Manufacturing Porous Ceramic from Iraqi Kaolin by using paper pulp

E. M. Hadi
Applied science department, University of Technology/ Baghdad.
H. J. abd Al-Hussien
Applied science department, University of Technology/ Baghdad.

Received on 25/5/2017 & Accepted on 12/10/2017

Abstract

In this work porous clay refractory was prepared from Iraqi kaolin clay; by addition of water or different type of paper pulp; the paper pulp different in (paper : water), the sample formed by mold method, then dried at room temperature for (72) hr at last fired at (1200)°C with soaking time for (2) hr. Properties (linear shrinkage, loss in mass, apparent porosity, water absorption ratio, apparent density, thermal conductivity, thermal shook resistance and diametrical strength) were studied.

تصنيع حراريات مسامية من خام الكاؤلين العراقي باضافة عجينة الورق التالف

الخلاصة

في هذا العمل تم تحضير مادة حرارية مسامية من خام الكاؤلين العراقي؛ بإضافة عجينة من الماء و الورق المستعمل (الورق: الماء)، والعجينة شكلت بطريقة القولبة، تركت النماذج المشكلة لتجف عند درجة حرارة الغرفة في المختبر لمدة (72) ساعة ثم حرقت عند درجة حرارة (1200) م° ولمدة انضاج (2) ساعة. تم دراسة الخصائص (التقلص الطولي، فقدان الكتلة، والمسامية الظاهرية ، ونسبة امتصاص الماء، والكثافة الظاهرية، والموصلية الحرارية، مقاومة الصدمة الحرارية، ومتانة الكسر المحوري).

المقدمة:

تعد مشكلة النفايات الصلبة إحدى المشكلات البيئية التي توليها الدول في الوقت الراهن اهتماماً متزايداً لأثارها الضارة على الصحة العامة والبيئية وتشويهها للوجه الحضاري و عملية التخلص منها. من أبرز المشاكل التي تواجه المدن والتجمعات البشرية وذلك لما تشكله هذه النفايات من أخطار على البيئة ومواردها الطبيعية وعلى صحة الإنسان وسلامته. وقد جاءت الدراسة الحالية كحل عملي للتخلص من النفايات بخلط نفايات الورق مع خام الكاؤلين العراقي لانتاج اجسام سيراميكية خفيفة الوزن.

تتميز الاجسام السيراميكية خفيفة الوزن بانها اجسام عازلة حراريا ذو مسامات عالية ، اذ يمكن استعمالها كمواد عازلة حراريا في المباني وفي تبطين الافران التي تستعمل في العديد من الصناعات [2,1]، ويتم تحسين عملية العزل الحراري للاجسام السيراميكية من خلال عدة طرائق اهمها[3-5]:

1- اضافة مواد طبيعية خفيفة الوزن مثل اضافة الدياتوميت التي تكون مساميتها عالية وتكونت نتيجة لحدوث البراكين.
2- اضافة مواد عضوية قابلة للاحتراق مثل الورق ونشارة الخشب وهذه المواد المضافة تحترق وتتحول الى غازات متطايرة وتترك فراغات مملؤة بالهواء.
3- اضافة اكاسيد درجة انصهارها عالية مثل الالومينا(Al_2O_3) او الزركونيا(ZrO).

اعتمدت كل من الطريقتين الثانية والثالثة لانتاج مواد سيراميكية الخفيفة نظرا لرخصها وتوفرها محليا، ومن اغلب الاطيان المستعملة في صناعة الحراريات هو طين الكاؤلين الذي يحتوي على معدن الكاؤلينايت كمعدن اساس في تركيبته الطينية وصيغته الكيميائية ($AL_2O_3.2SiO_2.2H_2O$) بلاضافة لاحتوائه على اكاسيد اخرى مثل (Fe_2O_3, MgO, TiO_2, K_2O, Na_2O,CaO) [6]. علاوة على ذلك يتوفرخام الكاؤلين العراقي محليا بكميات انتاجية سهلة الاستخراج. وتقع نسب اكاسيد الخام ضمن المواصفات العالمية للاطيان. لذا شكلت النماذج باضافة عجينة الورق المستخدم والماء بطريقة القولبة. ثم حرقت بدرجة حرارة °C (1200) ولمدة انضاج (2) ساعة. اثناءعملية الحرق احترق الورق تاركا محله المسامات في الجسم الحراري والتي حسنت الخصائص الحرارية عن طريق زيادة نسبة المسامية الظاهرية ونقصان الكثافة الظاهرية.

اهتمت العديد من البحوث بدراسة خام الكاؤلين منها الدراسة التي اجريت في سنة (2010) للباحث (Fayyad) وفريقه إمكانية استخدام المواد الخام المتاحة محليا (خام الكاؤلين) لإنتاج الطابوق الحراري، من خلال إضافة نسب متفاوتة من Al_2O_3 إلى الطين الكاؤليني[7].

اما عام (2014) قيم الباحث (Abel) الطابوق الحراري المنتج في نيجيريا ودرس الانكماش والكثافة الظاهرية والمسامية الظاهرية ومقاومة الصدمة الحرارية [8].

Copyright © 2017 by UOT, IRAQ

https://doi.org/10.30684/etj.35.1C.20
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.

ودرس الباحث (Iyasara) وزملاؤه في عام (2016) مدى ملائمة استخدام الكاؤلين المحلي (Nsu clay) و الكروك (grog) لتعزيز كفاءة الطابوق الحراري من خلال تقليل الانكماش وتحسين التآكل والحد من المسامية ،تم الحصول على أقصى مسامية عند نسبة الكروك (30%)[9].

الجانب العملي:

المواد المستخدمة والنظرية:

كسرت صخور خام الكاؤلين العراقي بالكسارة الفكية وتم تنعيمها ومن ثم نخلت الى حجم دقائقي اقل من (45)µm لتوفير مسحوق ناعم ذو لدونة عالية لتسهيل عملية التشكيل. تم تجهيزنا بخام الكاؤلين العراقي من قبل الشركة العامة للصناعات التعدينية التابعة لوزراة الصناعة والمعادن من مقالع دويخلة في الصحراء الغربية في محافظة الأنبار. وحضرت عجينة الورق المستخدم والماء بنسب وزنية (ورق : ماء) مختلفة وكما موضح في الجدول (1). تم امرارالورق المستخدم عبر جهاز اتلاف الورق عدة مرات لتصغير قصاصات الورق ومن ثم غمرت القصاصات بالماء. تركت لمدة (24) ساعة ثم خلطت جيدا بالخلاط الكهربائي وتركت لمدة اسبوع ليتحلل الورق في حاويات محكمة الاغلاق لمنع تبخرالماء. بعد ذلك سلط ضغط متساوي على العجينة للتخلص من الماء الزائد وخلطت العجينة مع مسحوق خام الكاؤلين لتشكيل النماذج بطريقة القولبة دون اضافة الماء اذ حلت عجينة الورق المستخدم محل الماء وعملت كمادة رابطة اثناء عملية القولبة والتشكيل. عند إضافة العجينة الى خام الكاؤلين يتحول الطين الى كتلة متماسكة سهلة التشكيل.ولغرض المقارنة بين النماذج المحضرة من عجينة الورق المستخدم والماء والطريقة التقليدية المتمثلة باضافة الماء فقط الى مسحوق خام الكاؤلين حضرت نماذج بالطريقة التقليدية وكما موضح في الجدول (2).

جدول (1) النسب الوزنية لعجينة (الورق : الماء).

التسلسل	رمز العجينة	نسبة الورق:الماء
1	a	1 : 4
2	b	1 : 2
3	c	1 : 1

جدول (2) نسب خلطات الحراريات المحضرة.

التسلسل	رمز الخلطة	مكونات الخلطة
1	A الخلطة	كاؤلين وماء
2	B الخلطة	كاؤلين وعجينة a
3	C الخلطة	كاؤلين وعجينة b
4	Dالخلطة	كاؤلين وعجينة c

تركت النماذج المشكلة لتجف عند درجة حرارة الغرفة في المختبر لمدة (72) ساعة ثم حرقت عند درجة حرارة (1200) ºC ولمدة انضاج (2) ساعة. يوضح الشكل (1) النماذج المنتجة.

شكل (1) النماذج المنتجة.

اجريت الاختبارات الاولية لتقييم الخام المستخدم في صناعة الحراريات كالتحليل الكيميائي الرطب ودراسة مخطط حيود الاشعة السينية، ولدراسة المسامات المتكونة في الجسم الحراري المسامي صورت مقاطع الكسر بالمجهر الالكتروني الماسح.كما اجري نوعين من الاختبارات هما:

❖ **الاختبارات الفيزيائية:**

I-التقلص الطولي : هو مقياس التغير في طول وأبعاد النموذج السيراميكي بعد عمليتي التجفيف والحرق، ويحسب كنسبة مئوية ويحدد شكل وأبعاد المنتج السيراميكي النهائي[10]ويحسب وفقاً للمواصفة الأمريكية - (ASTM C1407) من العلاقة (1).

$$\text{التقلص الطولي (L.S) \%} = \frac{Lo-L}{Lo} \times 100 \quad \ldots(1)$$

اذ إن:

Lo. طول النموذج الأصلي (mm).

L. طول النموذج بعد الحرق (mm).

II-الفقدان بالكتلة: يعد هذا المقدار من الاساسيات التي يجب حسابها قبل عملية الانتاج وذلك لتحديد الكثافة المطلوبة ، ويحسب كنسبة مئوية وفقاً للمواصفةالأمريكية (ASTM - C134) من العلاقة (2).

$$\text{الفقدان في الكتلة (L.O.I)} = \frac{mo-m}{mo} \times 100 \quad \ldots(2)$$

اذ إنm_0 وm.وزن النموذج قبل وبعد الحرق على التوالي.

III-المسامية الظاهرية ونسبة امتصاص الماء: المسامات هي الطور الموجود في كل منتج سيراميكي يحضر من تشكيل المساحيق ثم حرقها، أما المسامية فهي حجم الفراغات الى الحجم الكلي للجسم السيراميكي المنتج و يوجد نوعان من المسامات هما المسامات المفتوحة و المغلقة[11]، فيتم حسابها وفقاً للمواصفة الأمريكية (ASTM - C373) وحسب العلاقات (4,3).

IIII-الكثافة الظاهرية هي النسبة بين الكتلة والحجم الظاهري والذي يشمل المادة والمسامات المغلقة فقط [12]، وتحسب وفقاً للمواصفة الأمريكية (ASTM - C373) ومن العلاقة (5).

$$\text{المسامية الظاهرية (A.P) \%} = m_s-m_d\ /m_s-m_i \times 100 \quad \ldots(3)$$

$$\text{نسبة امتصاص الماء (W.A)\%} = (m_s-m_d\ /m_d) \times 100 \quad \ldots(4)$$

$$\text{الكثافة الظاهرية (A.D)} = (m_d\ /m_s-m_i\ ) \times \rho_w \quad \ldots(5)$$

اذ إن:

m_d. كتلة النموذج وهو جاف (g).

m_i. كتلة النموذج وهو مغمور(g).

m_s. كتلة النموذج وهو رطب (المسامات المفتوحة مملوءة بالماء) (g).

ρ_w. كثافة الماء (g/cm^3).

❖ الاختبارات الحرارية:

I-التوصيلية الحرارية: هي مقدرة المادة على نقل الطاقة الحرارية نتيجة الإنحدار الحراري عند حالة الإتزان، فهي مقياس لقابلية المادة على تشتيت الحرارة [13]. وتحسب من العلاقة (7).

$$IV=\pi D^2 e(T_A + T_B)+2\pi De\ [d_A T_A + d_s(\tfrac{1}{2})(T_A + T_B)+ d_B T_B + d_C T_C] \ldots(6)$$

ومن حساب (e) نحسب معامل التوصيلية الحرارية W/mk (K) من العلاقة الآتية:

$$K \times (T_B - T_A/ds) = e[\ T_A+2/D(d_A+1/4d_S)T_A+1/2Dd_ST_B\ ] \ldots.(7)$$

اذ إن:

I. التيار المار (0.25 Amp).

V. الفولتية المسلطة (6Volt).

D. قطر الأقراص (m).

T_C, T_B, T_A. درجة الحرارة النهائية (k) للأقراص (C, B, A).

d_C, d_B, d_A, d_S. سمك النموذج والاقراص (m).

II-اختبار الصدمة الحرارية : هي قابلية المادة الحرارية على الحفاظ على شكلها الأصلي دون تغير (كالتكسر والتشقق والتشظي) عند تعرضها الى تغير حراري مفاجئ، وهي خاصية مهمة للحراريات فهي تتعرض وبشكل مستمر الى تغير كبير بدرجات الحرارة. وتحسب وفق المواصفة الالمانية((DIN-50168) اذ تسخن النماذج في فرن كهربائي بدرجة حرارة ^oC (900-1000) ولمدة (5-15) دقيقة بعدها تخرج النماذج وتوضع في الماء بدرجة حرارة ^oC(25) ولمدة 3دقائق ثم تجفف وتعاد الى الفرن مرة اخرى.

النتائج والمناقشة

تقييم ودراسة خام الكاؤلين العراقي:

اجري التحليل الكيميائي الرطب لتحديد تركيب خام الكاؤلين العراقي ونسب الاكاسيد الداخلة في تركيبه لبيان ملائمته لانتاج الحراريات وكما موضح في الجدول (3). يتضح من الجدول ان خام الكاؤلين يحتوي على نسب جيدة من اوكسيد السليكون

(السليكا) واوكسيد الالمنيوم (الالومينا) والتي تلائم انتاج حراريات الاطيان اذ تكون طور المولايت والطور الزجاجي (السائل) عند الحرق دون الافراط بالطورالزجاجي المتكون والذي يضعف الحراريات المنتجة. كما يمتاز خام الكاؤلين العراقي بوجوده بكميات انتاجية سهلة الاستخراج.

جدول (3) التركيب الكيميائي لخام الكاؤلين العراقي.

الاكاسيد	النسب المؤية%
SiO_2	49.38
Al_2O	32.72
Fe_2O_3	2.07
TiO_2	1.08
CaO	1.19
MgO	0.18
Na_2O	0.22
K_2O	0.44
SO_3	0.05

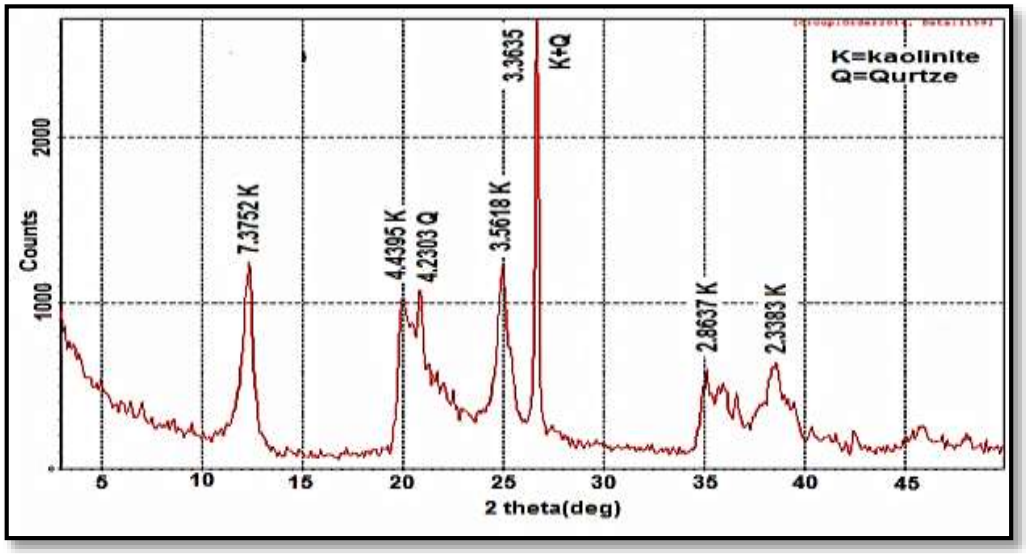
دراسة مخطط حيود الاشعة السينية.

اجري حيود الاشعة السينية لخام الكاؤلين العراقي باستخدام الجهازالمصنع من قبل شركة(Bruker) الماني المنشأ سنة (2010). شكلت نماذج صغيرة تناسب الحامل في الجهاز. مخطط حيود الاشعة السينية لخام الكاؤلين موضح في الشكل (2). يتضح من الشكل ان خام الكاؤلين العراقي يتكون بشكل رئيس من المعدن الطيني الكاؤلينايت ونسب منخفضة من معدن الكوارتز. عند الحرق ينتج طور المولايت من اتحاد الالومينا مع السليكا وفقا للمعادلة الكيميائية التالية(8).

$$3Al_2O_3 + 2SiO_2 \xrightarrow{1100 - 1300^{\circ}C} 3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \quad \text{.....8}$$

Mullite

يعد طور المولايت من الاطوار المهمة في انتاج حراريات الاطيان اذ تقيم الحراريات اعتمادا على نسبة طور المولايت المتكون بعد عملية الحرق. يمتاز طور المولايت بالثبات الحراري العالي والتمدد والتوصيل الحراري المنخفض وهو طور متعادل خامل كيميائيا.

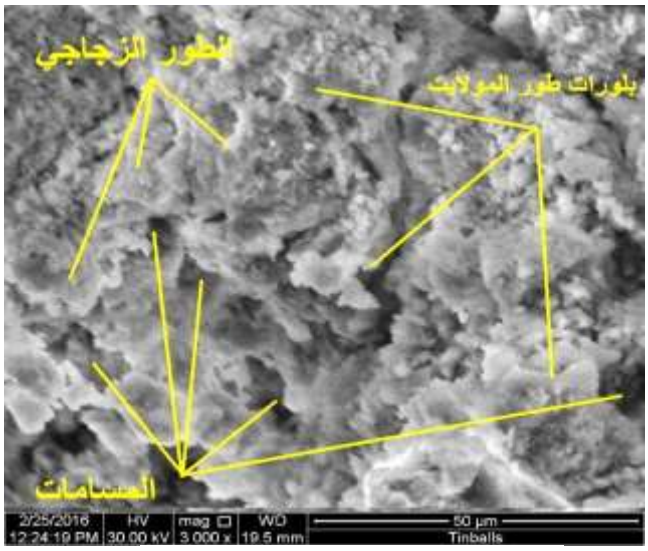


شكل (2) مخطط حيود الاشعة السينية لخام الكاؤلين.

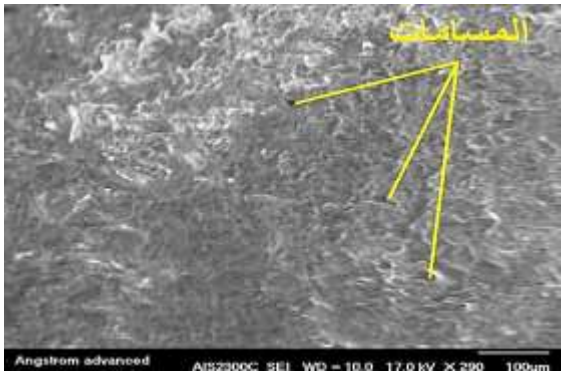
البنية المجهرية.

باستخدام المجهرالالكتروني الماسح درست البنية المجهرية لنماذج الحراريات المسامية المحضرة عن طريق تصوير سطوح الكسر. وكما موضح في الشكل (3- a). من الشكل يتضح ان الخام بعد الحرق يتكون من طور المولايت بشكل رئيس والطور

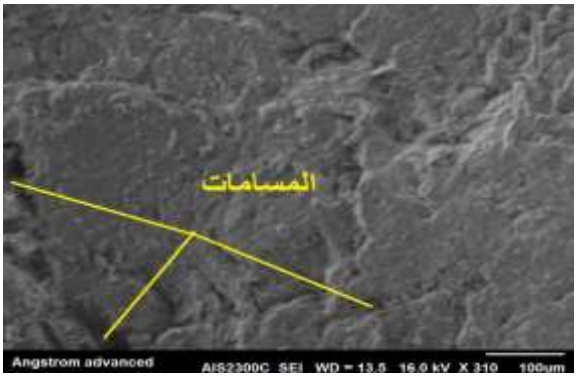
الزجاجي الرابط. بنية طور المولايت منتظمة الشكل والبلورات متساوية الابعاد اي ان الطور الزجاجي لا يعيق اتحاد السليكا مع الالومينا وهي حالة مثالية تحصل عندما تكون كمية الطور السائل مناسبة دون افراط بالطور. وهكذا تمتلك الحراريات خصائص جيدة. وعلى العكس فان الافراط بتكون الطور السائل يعرقل تكون طور المولايت ويضعف الحراريات.



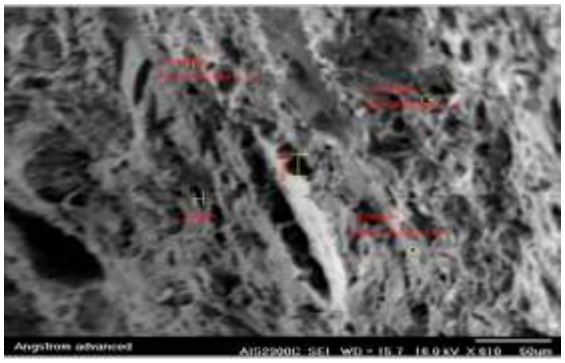
3- a. البنية المجهرية للخلطة (D).

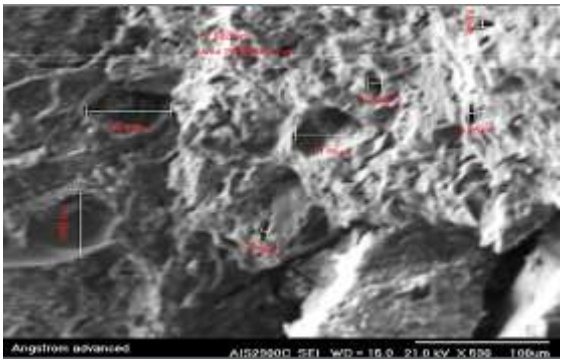


3- b. المسامات للخلطة (A).



3- c. المسامات للخلطة (C).





3- d. المسامات للخلطة (D)

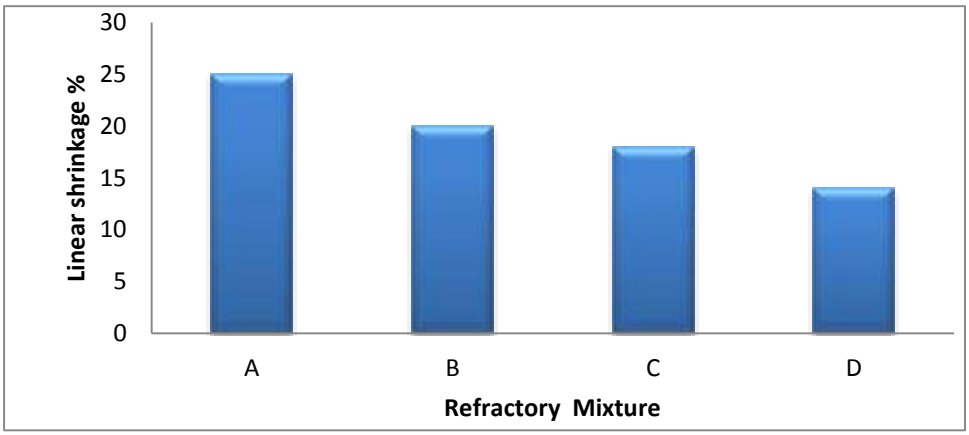
شكل (3) البنية المجهرية والمسامية لبعض نماذج الحراريات.

اما فيما يخص نسبة المسامات في الحراريات المسامية المحضرة, يتضح من الشكل ان الحراريات المحضرة من خام الكاؤلين والماء فقط تمتلك نسبة المسامية الاقل مقارنة بالحراريات المحضرة من الخام وعجينة الورق والماء (D, C, B) وذلك نتيجة لكون المسامات تتولد وتتكون في حراريات الخلطة (A) نتيجة لتبخرماء التشكيل والماء الشبكي فقط اما في حراريات الخلطات (D, C, B) فهي تنتج عن تبخر ماء التشكيل والماء الشبكي اضافة الى احتراق الورق والذي يحتل حيز من حجم النموذج النهائي

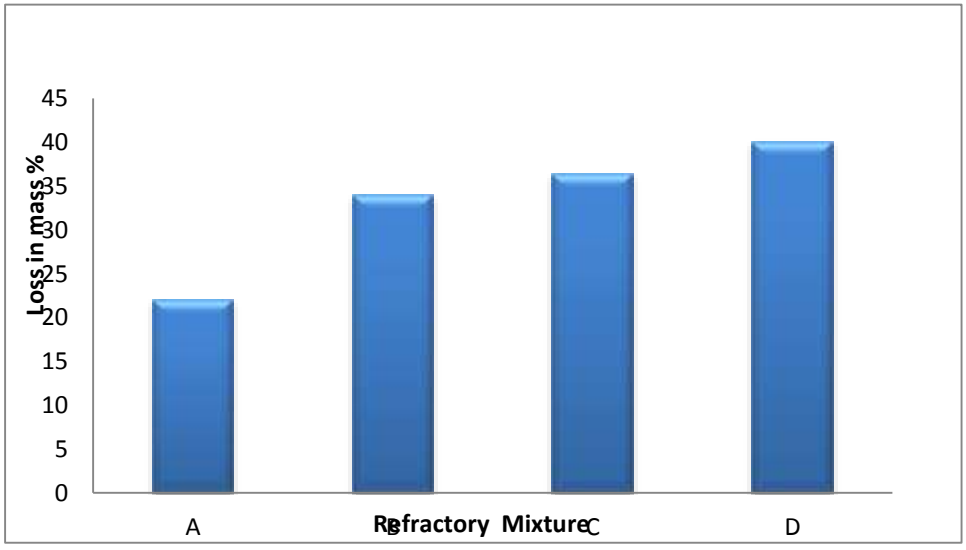
المنتج، وتزداد نسبة المسامية مع زيادة نسبة الورق الى الماء في العجينة, وكما موضح في الاشكال (3- b,c,d). كما تمتلك حراريات الخلطة (D) مسامات منتظمة كروية الشكل وبيضوية موزعة بشكل متجانس وهي مختلفة الحجم صغيرة وكبيرة.

التقلص الطولي والفقدان بالكتلة:

يوجد العديد من العوامل التي تؤثر في التقلص الطولي والفقدان بالكتلة الذي يحصل للحراريات السيراميكية كدرجة حرارة الحرق وطبيعة المواد الداخلة في تحضيرها هل هي مواد خام ام لا وطريقة التشكيل وغيرها. كما موضح في الشكل (4). يتضح من الشكل ان التقلص الطولي للحراريات المسامية المحضرة ينقص بزيادة نسبة الورق المضافة الى الماء في عجينة الورق المستخدم والماء المضافة الى خام الكاؤلين. ان التقلص الطولي يحصل نتيجة لعملية الحرق والتحولات الطورية لخام الكاؤلين التي تحصل اثناءها اضافة لتكون الطور السائل من الاكاسيد المساعدة على الصهر مثل (MgO, CaO, Fe_2O_3,....) وتسهم السليكا الحرة بتكوين الطور السائل بشكل رئيس, عندما تنخفض درجات الحرارة يتصلب الطور السائل وينكمش اثناء التحول من الحالة السائلة الى الحالة الصلبة وتعمل خاصية الشد السطحي للطور السائل على سحب بلورات المولايت اثناء التصلب والانكماش. اما تاثيرنسبة (الورق :الماء) في عجينة الورق المستخدم والماء فيتمثل بعلاقة عكسية مع التقلص الطولي نتيجة لان زيادة نسبة الورق في العجينة تؤدي الى زيادة المسامات في الحراريات المحضرة بعدعملية التلبيد واحتراق الورق, اي زيادة نسبة المسامات مقابل ثبات نسبة الطورالسائل والذي يصبح غير قادرعلى ملء المسامات بشكل كلي لذا ينخفض تاثيره في التقلص الطولي النهائي الذي يحصل للنماذج وتتفق هذه النتائج مع نتائج الدراسة [9]. علما ان زيادة نسبة الورق في العجينة تؤدي الى زيادة نسبة المسامات في الجسم السيراميكي الحراري وذلك نتيجة لان الورق يحتل حيز اكبر من الماء. اما الشكل (5) فيوضح الفقدان بالكتلة للحراريات المسامية المحضرة. ويتضح من الشكل ان الفقدان بالكتلة يزداد بزيادة نسبة الورق في عجينة (الورق : الماء) وذلك لكون الفقدان بالكتلة يحصل نتيجة لفقدان الماء الشبكي في خام الكاؤلين واحتراق الورق.



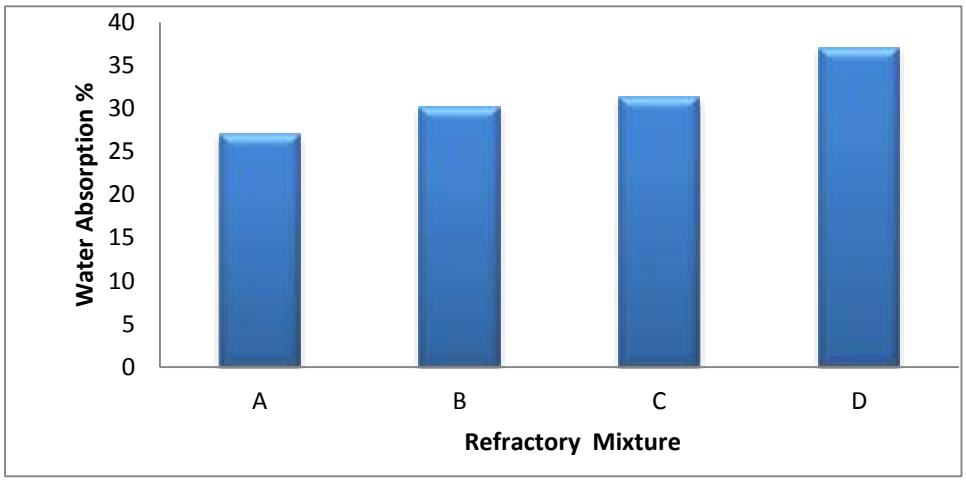
شكل (4) التقلص الطولي للحراريات المسامية المحضرة.



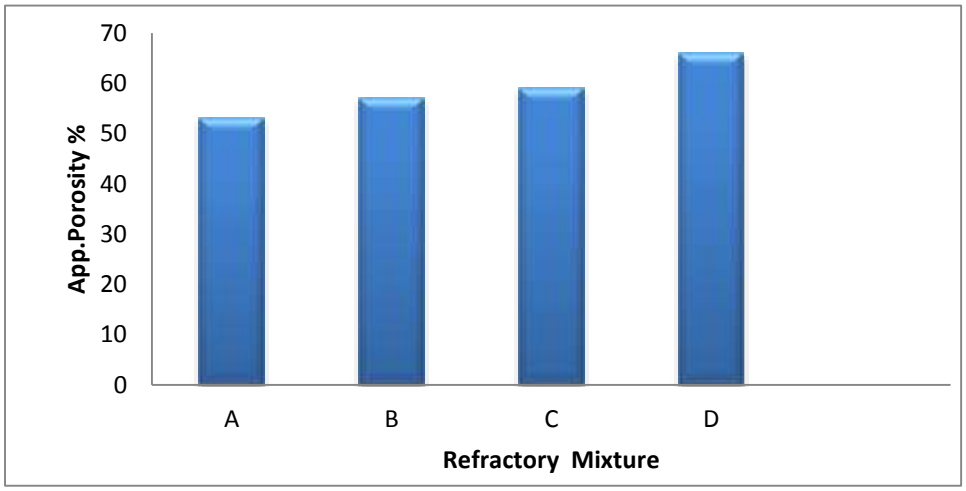
شكل (5) الفقدان بالكتلة للحراريات المسامية المحضرة.

المسامية الظاهرية ونسبة امتصاص الماء:

تعتمد المسامية الظاهرية على محصلة عاملين: العامل الاول هو متغيرات عملية التلبيد والعامل الثاني هوتكون المسالك والقنوات الهوائية وبالتالي المسامات في الجسم السيراميكي الحراري. اثناء الحرق يتبخر الماء الشبكي ويحترق الورق محررا غازات يعمل كلا من بخار الماء والغاز المتحررعلى تكوين المسالك الهوائية في المراحل الاولية من عملية التلبيد ومن ناحية اخرى يعمل الطور الزجاجي المتكون في المراحل النهائية من عملية التلبيد على ملء المسامات والمسالك الهوائية المتكونة سابقا ولو جزئيا اذ ان زيادة نسبة المسامية تؤدي الى عدم مقدرة الطور السائل على ملء المسامات كليا. وكما موضح في الشكل (6). يتضح من الشكل ان المسامية الظاهرية تزداد بزيادة نسبة الورق في عجينة الورق المستخدم والماء المضافة لخام الكاؤلين. وترتبط المسامية الظاهرية مع نسبة امتصاص الماء والتي تمثل كمية الماء الممتصة من قبل المسامات الظاهرية اي المفتوحة عند السطح. وكما موضح في الشكل (7). اي ان نسبة امتصاص الماء تسلك نفس سلوك المسامية الظاهرية ولنفس الاسباب التي تم توضيحها.



شكل (6) المسامية الظاهرية للحراريات المسامية المحضرة.



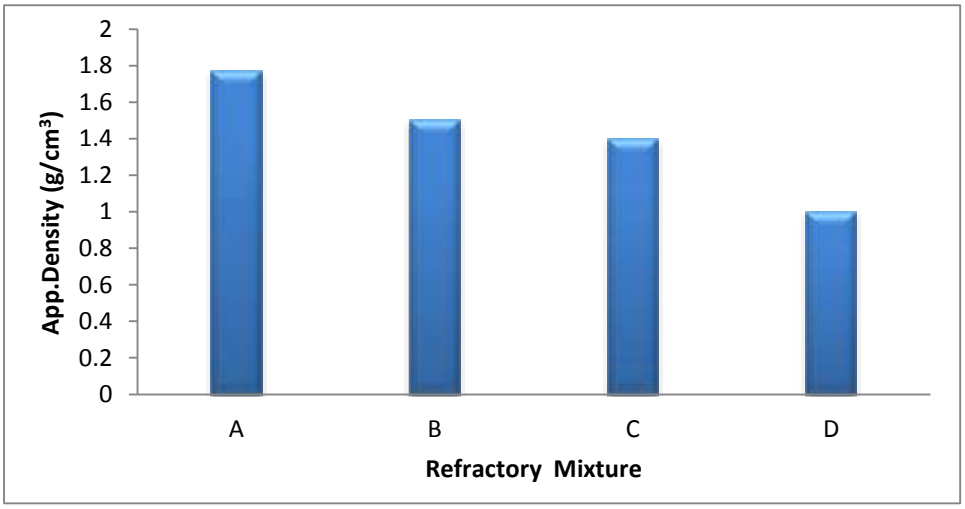
شكل (7) نسبة امتصاص الماء للحراريات المسامية المحضرة.

عنداضافة عجينة الورق وبنسب (ورق : ماء) (a,b,c) مختلفة الى خام الكاؤلين نحصل على خلطات الحراريات الثلاث (D,C,B) والتي تمتلك نسب مسامية متزايدة اذ امتلكت الحراريات المحضرة من اضافة العجينة (D) الى خام الكاؤلين نسبة المسامية الاعلى. وذلك نتيجة لزيادة نسبة الورق في الجسم السيراميكى الحراري وبالتالي المسامات بعد الحرق ويصبح الطور الزجاجي غير قادرعلى ملء كل المسامات في الجسم الحراري. الحراريات المحضرة من اضافة الماء الى خام الكاؤلين(A) امتلكت نسبة المسامية الاقل مقارنة بالحراريات الاخرى وذلك لان المسامات تتكون من تبخر ماء التشكيل فقط.

الكثافة الظاهرية:

تعتمد الكثافة الظاهرية على عدة عوامل اهمها متغيرات عملية التلبيد ونسبة المواد الخام في الحراريات المحضرة ونوع المواد المضافة, اي انها تعتمد على محصلة التفاعل بين تكون المسالك الهوائية والمسامات اثناء مراحل الحرق الاولية من جهة وقابلية الطورالسائل على ملئها اثناء مراحل الحرق النهائية من جهة اخرى. الشكل (8) يوضح الكثافة الظاهرية للحراريات المسامية

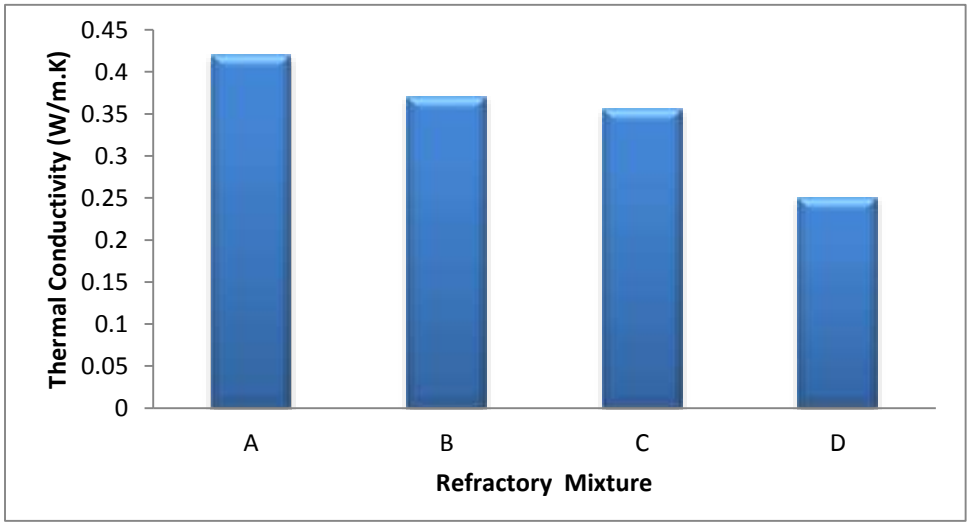
المحضرة. يتضح من الشكل ان الكثافة الظاهرية تنقص بزيادة نسبة الورق في عجينة الورق المستخدم والماء المضافة الى خام الكاؤلين. نتيجة لاحتراق الورق اثناء عملية الحرق ودوره في تكوين المسامات والمسالك الهوائية في الحراريات المحضرة. زيادة نسبة المسامية الظاهرية يقابلها نقصان الكثافة الظاهرية. ويمتلك طورالمولايت كثافة بحدود ($3.03\ g/cm^3$) لاتؤثركثافة طورالمولايت سلبا في كثافة الحراريات فوجود نسبة المسامات العالية والطور الزجاجي منخفض الكثافة يؤدي الى نقصان الكثافة الظاهرية للحراريات المحضرة. نقصان الكثافة الظاهرية عامل مهم جدا للحراريات الطينية فهو يسهم بنقصان التوصيلية الحرارية وبالتالي زيادة العزل الحراري ومقاومة الصدمة الحرارية.



شكل (8) الكثافة الظاهرية للحراريات المسامية المحضرة.

التوصيلية الحرارية:

تعد التوصيلية الحرارية واحدة من اهم الخصائص للحراريات والعوازل الحرارية السيراميكية. وتشير الى كمية الحرارة المنتقلة عبرالمادة بالية التوصيل الحراري. ويتم التوصيل الحراري في المواد العازلة بواسطة الفونون المتولد من اهتزاز الشبيكة البلورية. الشكل (9) يوضح التوصيلية الحرارية للحراريات المسامية المحضرة. يتضح من الشكل نقصان التوصيلية الحرارية بزيادة نسبة الورق في عجينة الورق المستخدم والماء المضافة الى خام الكاؤلين. وذلك نتيجة لكون زيادة نسبة الورق تؤدي الى زيادة نسبة المسامية الظاهرية ونقصان الكثافة الظاهرية. اذ ان نقصان الكثافة وزيادة المسامات يؤدي الى اعاقة وتشتيت الفونونات المنتقلة عبر الحراريات المسامية. لذا تنقص التوصيلية الحرارية وبشكل واضح. اما فيما يخص التوصيلية الحرارية لطور المولايت فهي منخفضة ($5\ w\ m^{-1}\ k^{-1}$) ولا تؤثر سلبا على العزل الحراري للحراريات المسامية المحضرة. ويمتلك الطور الزجاجي توصيلية حرارية متوسطة يمكن تجاوزها عن طريق تعدد الاطوار في الحراريات المحضرة فهو يسهم بتشتيت الفونون فالحراريات المحضرة تتكون من ثلاث اطوارهي (مولايت - طور زجاجي - مسامات).



شكل (9) التوصيلية الحرارية للحراريات المسامية المحضرة.

مقاومة الصدمة الحرارية:

تعد مقاومة الصدمة الحرارية من اهم خصائص الحراريات السيراميكية وهي مقياس لقابليتها على مقاومة التغير الكبير في درجات الحرارة. وتمتلك الحراريات السيراميكية عالية المسامية مقاومة صدمة حرارية عالية عادة. تم اخضاع الحراريات لعدد من الدورات الحرارية (25) دورة حرارية كل دورة تمثلت بتسخين الحراريات عند ºC (900) ولمدة (1) ساعة ومن ثم اخراجها من الفرن ووضعها في ماء مثلج مباشرة. لم تفشل نماذج الحراريات واجتازت الاختبار بنجاح. اسهمت نسبة المسامية الظاهرية العالية بزيادة مقاومة الصدمة الحرارية للحراريات المحضرة. وفيما يخص طور المولايت فهو يمتلك مقاومة صدمة حرارية عالية فهو طور يدخل بانتاج الحراريات. اما الطور الزجاجي فيمتلك مقاومة صدمة منخفضة تم تجاوزها عن طريق مقاومة الصدمة الحرارية العالية لطوري الحراريات السيراميكية الاخرى (مولايت- مسامات). وكما موضح في الشكل (10) الذي يوضح نماذج الحراريات وهي في الفرن عند ºC (900) ثم بعد ان وضعت في الماء البارد وكررت العملية (الدورات الحرارية).

النماذج في الفرن **النماذج في الماء البارد**

شكل (10) مقاومة الصدمة الحرارية للحراريات المسامية المحضرة.

الاستنتاجات:

- الحراريات المنتجة من خام الكاؤلين العراقي عالية المسامية وفقا للتصنيف العالمي للحراريات فهي تجاوزت المنخفضة والمتوسطة المسامية.
- تكون الطور الزجاجي بكمية مناسبة ولم يملء المسامات كليا اشارة الى ان تركيب خام الكاؤلين يناسب انتاج حراريات مسامية باضافات بسيطة (الورق التالف).
- افضل نسبة (ورق : ماء) في عجينة الورق المستخدم المضافة لخام الكاؤلين هي (D) اذ نتج عنها اعلى نسبة مسامية واقل توصيلية حرارية واعلى مقاومة صدمة حرارية.
- امتلكت حراريات (خام الكاؤلين - عجينة الورق) نتائج افضل من حراريات (خام الكاؤلين - ماء) التقليدية.
- امتلكت الحراريات المحضرة نسبة مسامية ظاهرية عالية اذ بلغت (66).
- امتلكت الحراريات المحضرة توصيلية حرارية منخفضة بلغت (0.25 w/m.K).
- الحراريات المحضرة ذات مقاومة صدمة حرارية عالية اذ تجاوزت (25) دورة حرارية بنجاح.

References

[1]- A. M. Aliyu , M. Umaru, "A Comparative Study of the Refractory Properties of Selected Clays in Niger State, Nigeria". Advances in Biotechnology & Chemical processes ,2012,Vol 2, pp 1-5.

[2]- M. Ameh, "Effect of rice husk on isulating bricks produced with Nafuta and Nsu clays". Global Journal of Engineering and Technology , 2009, vol 2,No.4, pp 661-668.

[3]- W. K. Waing , "study on the production of chromite refractory brick from local chromite ore. World Academy of Science", Engineering and Technology , 2008, vol 46,pp 569-574.

[4]- S. Banerjee," Properties of Refractories in Refractories Handbook. Edited by Charles A. Schacht. Schacht Consulting Services Pittsburgh, Pennsylvania, U.S.A. 2004.

[5]- O. Aksogan,"Thermal isolation and mechanical properties of fiber reinforced mud bricks as wall materials" ,construction and Building Materials,(2007),pp901-906.

[6]- O.J. Siljan, C. Schøning and T. Grande,"Cathode Refractory Materials for Aluminium Reduction Cells",J. Light Metals ,1999. pp. 231-238.

[7]- S. M. Fayyad, G. S. Marahleh, ," Improvement of the Refractoriness under Load of Fire-Clay Refractory Bricks",Adv. Theor. Appl. Mech,2012,pp161-172.

[8]- O. J. .Abel "Performance Evaluation of Refractory Bricks produced from locally sourced Clay Materials", J. Appl. Sci. Environ. Manage, 2014 ,pp151-157.

[9]- A. C. Iyasara, E. C. Stan, ," Influence of Grog Size on the Performance of NSU Clay-Based Dense Refractory Bricks",American Journal of Materials Science and Engineering,Vol. 4, No. 1, 2016, pp 7-12.
[10]- W. D. Kingery, H.K. Bowen and D. R. Uhlmanm, "Introduction to ceramics" 2nd Edi. , John Wiley and Sons, New york, 1975, pp.3, 210, 440, 593, 643, 770.
[11]- W. E. Worrall, "Ceramic Raw Materials", 2nd. Edi., The Institute of Ceramic, 1982, pp.61.
[12]- P. Boch and J . C Niepce "Ceramic Materials" ISTEL td, Uk, 2007 pp,.227, 361.
[13]- T. Kawakuho and N. Yamamtu, "Thermal Properties Advanced Technical Ceramic", Academic press Inc. Sandi ego, New york, 1989, pp.50

1-د. ايناس محي هادي حاصلة على شهادة البكالوريوس فرع المواد - قسم العلوم التطبيقية - الجامعة التكنولوجية عام 1997, حاصلة على شهادة الماجستيرعام 1999فرع علم المواد - قسم العلوم التطبيقية - الجامعة التكنولوجية حاصلة على لقب استاذ مساعد عام 2010. حاصلة على شهادة الدكتوراه كلية العلوم - قسم الفيزياء - الجامعة المستنصرية عام 2015. حاصلة على براءة اختراع في مجال الحراريات عام 2016. ومستمرة في العمل في الجامعة التكنولوجية - قسم العلوم التطبيقية- فرع علم المواد.

2- هدى جبار عبد الحسين على شهادة البكالوريوس فرع المواد - قسم العلوم التطبيقية - الجامعة التكنولوجية عام 2004, حاصلة على شهادة الماجستيرعام 2008فرع علم المواد - قسم العلوم التطبيقية - الجامعة التكنولوجية ، ومستمرة في العمل في الجامعة التكنولوجية - قسم العلوم التطبيقية- فرع علم المواد.