مجلة بحوث البناء
المجلد (٩) العدد (١) ٢٠٢٤

امكانية انتاج خرسانة حرارية عازلة من تالف الطابوق الحراري

*[١]رفعت عباس سلوم، [٢] احمد جبار محسن، [١]زياد ممتاز محمد

[١] قسم مواد البناء، دائرة بحوث البناء، بغداد، العراق

[٢] قسم التخطيط، دائرة بحوث البناء، بغداد، العراق

الخلاصة

تعتبر الخرسانة الحرارية من المواد المستخدمة في صناعة الافران لما تتميز به من تحمل وعزل حراري عالي وقد تم في هذا البحث تصنيع خرسانة حرارية عازلة باستخدام مواد محلية اساسية متمثلة بركام تالف الطابوق الناري الالومينى المستخدم في الكثير من المصانع العراقية ومنها مصانع السمنت مع استخدام مواد مضافة محلية متمثلة في السمنت الابيض الذي يضاف بنسبة ٣٠٪ والالياف الزجاجية التي تضاف بنسبة لا تتجاوز(٢،٥)%,حيث دلت نتائج الفحوص الفيزيائية والحرارية مطابقتها للمواصفة الامريكية C٤٠١ مما يؤهلها للاستخدام في الافران الحرارية على اختلاف انواعها وبدرجات حرارة لا تتجاوز ١٢٠٠-١٣٠٠ م^{o} ، وقد تم في البحث انتاج خرسانة حرارية عازلة بكثافة حجمية (١,٣٧ غم/سم^{3}) متوسط الالومينا وبإضافة مواد محلية هي السمنت الابيض بنسبة ٣٠٪ والالياف الزجاجية بنسبة ٢,٥٪ وتستخدم بدرجات حرارة تصل الى ١٢٠٠ م^{o} في حين تستخدم الخرسانة الحرارية العازلة ذات الركام عالي الالومينا بدرجات حرارة تصل الى ١٣٠٠ م^{o}.
علماً انه قد تم انتاج وجبة ريادية جهزت الى الشركة العامة للمعدات الهندسية الثقيلة أحد شركات وزارة الصناعة والمعادن كما نجحت دائرة بحوث البناء بتجهيز العديد من شركات القطاع العام مثل مصافي النفط ومحطات توليد الطاقة وكانت بديلا ناجحا عن الخرسانة الحرارية العازلة المستوردة.. وتم استعمالها بنجاح.

الكلمات الرئيسية: خرسانة حرارية، عازلة، الطابوق الحراري

*المؤلف المراسل: رفعت عباس سلوم
rifatsallom@gmail.com

١ـ المقدمة

تعرف الخرسانة الحرارية خفيفة الوزن، بانها منتجات حرارية عازلة تتألف من خليط من الركام الحراري خفيف الوزن، ومادة رابطة اساسية هي السمنت الالومينى، يكون الركام الحراري الخفيف الوزن على نوعين ركام حراري خفيف مصنع يتمثل في كسر الطابوق الناري الخفيف او مواد طبيعية خفيفة الوزن مقاومة للحرارة مثل الدايتومايات وغيرها [١]. ومن مميزات الخرسانة الحرارية بصورة عامة(عازلة وغير عازلة)،انه يمكن صبها او رصها بمساحات كبيرة وبأشكال مختلفة وفي اماكن حرجة يصعب استخدام الطابوق الحراري الخفيف فيها [١]، ان استخدام المواد الحرارية بصورة عامة والخرسانة الحرارية الخفيفة بصورة خاصة هو لحصر الحرارة داخل الافران والحيلولة دون تسربها الى الخارج بشرط ان لاتتجاوز الحرارة الخارجية لجدار الفرن عن 40 م^{o} والمهمة الاخرى لهذه البطانات هو حماية الاطار الخارجي للفرن من الانصهار او الالتواء، لأنه يصنع عادة من حديد الصلب (steel) واضافة الى ذلك تساعد هذه المواد المبطنة على تهيئة وسط ملائم يمكن للفني او المهندس من مراقبة العمليات التي تجري داخل الفرن وبدون تواجد هذه البطانة سوف تكون درجة الحرارة عالية جداً بالقرب من الفرن مما لا يسمح لمشغلي الفرن من الاقتراب منه وبذلك يتعذر متابعة او التحكم بالعمليات الخاصة لتشغيل هذه الافران [٢] ,ونظر الاستهلاك كميات كبيرة من الطابوق الناري الالومينى في الكثير من المصانع المتواجدة في البلد ،حيث يلقى هذا الطابوق بعد انتهاء عمره التشغيلي في الانقاض ولا يتم الاستفادة منه بالرغم من انه يبقى محافظاً على خواصه الحرارية، خصوصاً في حالة عدم تعرضه لتلوث كبير اثناء استعماله في عمليات التصنيع المختلفة مما يسهل اعادة استخدامه لصنع مواد حرارية مثل الخرسانة الحرارية او المونة الحرارية وغيرها، حيث أن الخرسانة الحرارية تطلق على المادة المتكونة من الركام الحراري مضافاً اليه نسب معينة من السمنت فأنه بالإمكان استغلال تالف الطابوق الالومينى وتكسيره الى احجام معينة كركام حراري تصنع منه الخرسانة الحرارية على اختلاف انواعها، وعلى العموم فأن تالف الطابوق الناري الذي تم استخدامه في هذا البحث يكون على نوعين:

- طابوق ناري تالف عالي الالومينا
- طابوق ناري تالف متوسط ـ واطئ الالومينا

ونظراً لاستمرار معظم مصانع السمنت في الانتاج حالياً في القطاعين العام والخاص فقد تم التركيز على تالف الطابوق الناري الالومينى المستخدم في تبطين افران السمنت لإمكانية الحصول عليه من شركات السمنت [٢] ,ان نوعية الركام الخفيف وخواص السمنت المستخدم في الخلطة الخرسانية ونسبة الماء المضاف عوامل مهمة في تحديد خواص الخرسانة الحرارية العازلة ومكان استخدامها، وبالرغم من ان الركام الحراري المستخدم في بحثنا هذا ركام حراري مصدره الطابوق الناري الالومينى الذي يمتاز بكثافة عالية فيما لو قورن بالركام الذي مصدره من الطابوق الناري الخفيف لكن بالرغم من ذلك تم استخدامه لاستغلال الكميات الكبيرة التالفة من هذا النوع وعدم وجود هذه الكميات من الطابوق الناري الخفيف مع الاخذ بنظر الاعتبار ان تخفيض الكثافة النهائية للخرسانة الحرارية العازلة يتم باستخدام مواد مضافة مصنعة محلياً هي الالياف الزجاجية ذات الخواص الفيزيائية المناسبة خصوصاً كثافتها الواطئة لاحظ الجدول رقم (١)، اما المادة الرابطة المستخدمة لتشكيل الخرسانة الحرارية العازلة فهي السمنت الابيض وهو احد انواع السمنت البورتلاندي الذي يمتاز بخواص فيزيائية وكيميائية تجعله مناسباً لتصنيع

الخرسانة الحرارية الخفيفة ذات درجات التحمل المتوسطة(١٠٠٠-١٣٠٠م°) [٣] ، ولابد الاشارة الى ان السبب في عدم استخدام السمنت الالومينى والالياف الزجاجية الحرارية الى عدم وجود صناعة محلية لهذين النوعين لذلك تم الاستعاضة عنها بمواد منتجة محلياً من سمنت ابيض والياف زجاجية نوع (E) ،خصوصاً وانها تفي بالغرض الهادف الى تصنيع خرسانة خفيفة ذات تحمل حراري لا يتجاوز درجة حرارة 1300م°، يتم الحصول على خاصية العزل الحراري التي تتطلبها المواد العازلة ومنها الخرسانة الحرارية العازلة، عادة بتقليل الكثافة الكلية مما يؤدي الى تكون فجوات هوائية (Air spaces) داخلها ذات توصيل حراري منخفض جداً (Kcal/mh.c٠،٠٢) فيما لو قورن بالتوصيل الحراري المرتفع جداً للمواد الصلبة (Kcal/mh.c٢،٠٠) [٤].

ومن المعلوم ان انتقال الحرارة في المواد الصلبة يتم بواسطة ثلاثة طرق هي:

- التوصيل الحراري Conduction:

وتعتمد على نسبة الفجوات الهوائية داخل الطابوقة وكلما ازدادت نسبة هذه الفجوات فأن التوصيل الحراري يقل وبالتالي يزداد العزل الحراري.

-انتقال الحرارة بالهواء Convection:

وتعتمد على حجم الفجوات الهوائية داخل الطابوقة، حيث تنتقل الحرارة بواسطة حركة الهواء وكلما قل حجم تلك الفجوات الهوائية فأن انتقال الحرارة سوف يقل مما يؤدي الى الزيادة في خاصية العزل الحراري[٤]

-الاشعاع Radiation:

وتعتمد على الفرق في درجات الحرارة بين الوجهين المتعاكسين للكتلة الحرارية فكلما قل حجم الفجوات الهوائية فأن الفرق في درجات الحرارة بين الوجهين المتعاكسين سوف يقل وبالتالي يؤدي الى تقليل من فقدان الحرارة وكلما قل حجم الفجوات الهوائية يكون العزل للحرارة جيد، وبصورة عامة تعتبر نسبة الفجوات الهوائية وحجمها من العوامل الرئيسية التي تؤثر على الخواص العزلية للكتلة الحرارية حيث كلما زادت نسبة الفجوات الهوائية وكان حجمها صغيراً فأن فقدها للحرارة يقل وعزلها الحراري يكون جيداً [٤].

١-١ هدف البحث

انتاج خرسانة حرارية عازلة وجعلها متاحة صناعياً باستغلال الكميات الكبيرة من تالف الطابوق الناري الالومينى المتوفرة في الكثير من المصانع ومنها معامل السمنت وهي كميات كبيرة حيث يقدر الاستهلاك السنوي لهذا النوع من الطابوق الناري في معامل السمنت وحدها ٤٥٠٠ طن سنوياً [٢].

١-٢الدراسات السابقة

ان الدراسات والبحوث في مجال تحضير خرسانة حرارية عازلة والمنجزة في دائرة بحوث البناء قليلة جداً، فيما لو قورنت بالبحوث المختبرية الخاصة بتحضير خرسانة حرارية عادية ويعزى سبب ذلك حيث ان حاجة الجهات المستفيدة للخرسانة الحرارية العادية (غير العازلة) اكثر من حاجتها للخرسانة الحرارية العازلة، و أن الاخيرة تستخدم استخدامات خاصة علما ان

دائرة بحوث البناء انجزت عدد من البحوث المختبرية والمعملية حول امكانية انتاج المواد الحرارية العازلة على اختلاف انواعها وكما يلي:

- قام (الجندي و نسرين، ١٩٨٢) ببحث حول انتاج طابوق ناري عازل للاستخدام في الافران الصناعية وقد امكن تحضير عينات من الطابوق الناري العازل باستخدام خامات الكاؤولين المحلية وتم استخدام نوعين من المضافات المسببة لتكوين الفجوات هي مضافات عضوية وكيمياوية وكانت عينات الطابوق المنتجة ذو كثافات واطئة (١- ١،٢ غم/سم^3)وخواصها مطابقة للمواصفات القياسية المطلوبة [٤].
- قام (عبود واخرون،١٩٩٨). بتحضير عينات من مادة بنائية حرارية ذات هيكل مسامي خفيف الوزن، وتم في هذا البحث دراسة تأثير المتغيرات الرئيسية في الخلطة التصنيعية التي تتكون من ركام البوكسايت المحروق ومواد مضافة هي خام الدولومايت وحامض الكبريتيك، اضافة الى استخدام مادة رابطة هي الكاوولين وسليكات الصوديوم، وقد أمكن الحصول على طابوق حراري عازل تراوحت كثافته (٠،٧١-١،٠٥ غم/سم^3) [٥].
- قام (الجباري واخرون ،١٩٩٣) بإنجاز بحث حول السمنت الحراري العازل للحرارة وقد امكن تحضير عينات من هذا النوع من السمنت ذو خواص فيزيائية وحرارية مختلفة مطابقة للمواصفات المعتمدة علما ان السمنت المستخدم كمادة رابطة في هذا البحث هوسمنت الومينى محلي تم انتاجه حينذاك في معمل سمنت الفلوجة مضافا اليه الياف زجاجية محلية منتجة في شركة ذات الصواري [٣] تم انتاج هذا النوع من السمنت كوجبة ريادية في دائرة بحوث البناء وتم استخدامه في المنشأة العامة للمعدات الهندسية الثقيلة مشروع (٧٤)،وهي احد تشكيلات وزارة الصناعة والمعادن واستخدم ايضاً في شركة نفط الشمال الوحدة(١٠٤) كطبقة عازلة بين جدار الفرن والطابوق الناري بالإضافة الى استخدامه لملئ الفواصل الحرارية والتي تترك بين الطابوق الناري اثناء بناء جدران الفرن [٦].
- تمكن (فيصل وفائزة، 2000) من تحضير مصبوبات حرارية عازلة وبالاعتماد على مواد اولية مصنعة محلياً، تتألف المصبوبات العازلة من سمنت الومينى (حراري) وركام حراري، وتعد هذه المحاولة الاولى لإنتاج خرسانة حرارية عازلة، وكانت نتائج الفحوص مطابقة للمواصفات القياسية المعتمدة حيث بلغت الكثافة الكلية لدرجة حرارة ١١٠ م^o (١،٤٢ غم/سم^3) وبتقلص خطي لا يزيد عن١،١ % بعد حرقه بدرجة حرارة ١٢٦٠ م^o.

١-٣المواد الاولية والمضافة

١-٣-١ الموقع

تم استخدام الركام الناتج من تكسير تالف الطابوق الالومينى الذي تم جلبه من الشركة العامة للسمنت الجنوبية- معمل سمنت الكوفة في مدينة النجف الاشرف ويعتبر المادة الاساسية المستخدمة في هذا البحث. اما المواد المضافة وهي السمنت البورتلاندي الابيض تم جلبه من الاسواق المحلية، بينما تم استخدام الالياف الزجاجية المنتجة في الشركة العامة لذات الصواري التابعة لوزارة الصناعة والمعادن وموقعها في بغداد، الكاؤولين الابيض المستخدم في بعض الخلطات يجلب عادة كمادة خام من منطقة دويخلة في الصحراء الغربية.

١-٣-٢ تالف الطابوق الالومينى

يستعمل الطابوق الناري ومنه الطابوق الناري الالومينى - لتطبيق الافران التي تستعمل في عديد من الصناعات وخاصة تلك التي تحتاج عملياتها الى درجة حرارة أكثر من (١٠٠٠ م^o)،

مثل افران صهر الزجاج والمعادن وكذلك الافران التي تستعمل في صناعة المواد السيراميكية وغيرها، اضافة الى الطابوق الناري المستخدم في تطبيق المراجل البخارية وابراج التصفية التي تستعمل في الصناعات النفطية والبتروكيمياوية. [٢] ، ولما كان لهذا الطابوق الناري عمر تشغيلي يختلف بالاعتماد على نوعية الافران والعمليات الجارية فيهافانه يتم تبديل بطانات الافران بعد انتهاء عمرها التشغيلي وعادة ما تلقى الاف الاطنان من هذا الطابوق التالف في الانقاض، علماً ان هذا الطابوق التالف قد يفقد بعض خواصه الفيزيائية والميكانيكية ككتلة او كطابوق بأبعاد معينة ،ولكنها لأتفقد خواصها الحرارية من ناحية أخرى بشرط عدم تعرضها للتلوث، وبالتالي فبالإمكان استغلاله كركام حراري يعتمد تحمله الحراري على نسبة مكوناته وخصوصاً نسبة Al_2O_3، ويشير الجدول رقم (١) الى التحليل الكيميائي للطابوق الناري الالومينى التالف المستخدم في هذا البحث.

١-٣-٣ السمنت الابيض

وهو احد انواع السمنت البورتلاندي، والذي يصنع بنفس طريقة تصنيع السمنت البورتلاندي العادي مع اضافة بعض المواد منها الكاؤولين الابيض او الحجر الجيري الطباشيري مع تقليل كميات اوكسيد الحديد ،ويوضح الجدولين رقم (٣،٢) الخواص الكيميائية والفيزيائية لهذا النوع من السمنت والتي تم تحديدها في مختبرات دائرة بحوث البناء .وعادة ما يستخدم السمنت الالومينى كمادة رابطة لأغراض تصنيع الخرسانة الحرارية على اختلاف انواعها، حيث يشكل الطور المعدني CA النسبة الاعلى للمركبات المعدنية المتواجدة فيه، لذلك تزداد مقاومته للحرارة ،بينما تشكل اطوار (C_2S،C_3S)المركبات الرئيسية الموجودة في السمنت الاعتيادي ومنها السمنت الابيض ،وبالرغم من ان السمنت الابيض لا يمتلك الخواص الحرارية بالمقارنة مع السمنت الالومينى لكن تم استخدامه في بحثنا هذا لعدة اسباب منها:

- لا توجد صناعة محلية للسمنت الالومينى حاليا فيما يعتبر السمنت الابيض مادة متاحة وتنتج في معمل سمنت الفلوجة.
- الخرسانة الحرارية العازلة موضوع البحث هي عازلة ذات تحمل حراري واطئ – متوسط لايتجاوز ١٢٠٠-١٣٠٠ م^{o}.

١-٣-٤ الكاؤولين الابيض

وهو نوع من الاطيان الصالحة لصناعة المواد الحرارية، وهي تمتاز بخواص عديدة تؤهلها لاستخدامها كمواد رابطة ومقاومة للحرارة منها اللدونة العالية (High plasticity) بسبب نقاوتها من المعادن غير اللدنة مثل حجر الكلس وغيره. ويوضح الجدول رقم (٢) التحليل الكيميائي للكاؤولين الابيض المستخدم في هذا البحث.

١-٣-٥ الالياف الزجاجية

تجهز الالياف الزجاجية على شكل كرات بيضاء اللون وهي عبارة عن حزمة من الخيوط الزجاجية يبلغ عددها 40 خيط زجاجي ويتألف الخيط الواحد من 204 شعيرة زجاجية، وان الالياف الزجاجية من أكثر المواد استخداماً في الصناعة والتسليح وبأشكالها المختلفة بسبب قوة شدها العالي وكثافتها النوعية الواطئة، وبسبب كونها مادة خاملة كيمياوياً وتعتبر من المواد الرخيصة. وتوجد انواع مختلفة من الالياف الزجاجية اعتماداً على كمية الاكاسيد المعدنية المضافة الى السليكا في عملية انتاجها، الالياف التي تم استخدامها في العديد من بحوث دائرة

بحوث البناء ومنها هذا البحث هي من نوع (E) وتمتاز بقوة شد عالية ويبين الجدول رقم (٤) خواصها الفيزيائية ومكوناتها الكيميائية، ان السبب الرئيسي لاستخدام هذا النوع من الالياف هو كثافتها النوعية الواطئة التي تساهم بصورة فعالة في تخفيض كثافة الخرسانة الحرارية ،وتحويلها الى خرسانة حرارية عازلة، بالرغم من ان هذه الالياف المستخدمة في هذا البحث ليس من نوع الفايبر الحراري الذي يتحمل درجات حرارية عالية والذي يصنع باستخدام الاطيان عالية الالومينا مثل الكاؤولين [٣] ، والتي هي غير متاحة في الصناعة المحلية لذلك تم الاستعاضة عنها واستخدام الالياف الزجاجية نوع(E) في تصنيع الخرسانة الحرارية العازلة ذات التحمل الحراري الواطئ الذي لا يتجاوز ١٣٠٠ م^{o} والتي تصنع في شركة ذات الصواري العامة التابعة لوزارة الصناعة.

جدول (1): التحاليل الكيميائية للطابوق الناري الالومينى التالف

نوع الطابوق الناري الالومينى التالف	المكونات وزناً %							
	L.O.I	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	SO_3	MgO	CaO	Total
متوسط الالومينا	0.96	42.38	51.72	1.99	Nil	0.46	2.48	99.99
عالي الالومينا	0.17	14.38	82.88	1.70	Nil	Nill	0.86	99.99

جدول (٢): التحاليل الكيميائية للسمنت الابيض والالومينى والكاؤولين الابيض

نوع السمنت المستخدم	المكونات وزناً %							
	L.O.I	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	SO_3	MgO	CaO	Total
سمنت الومينى	0.40	11.12	44.01	0.45	------	------	44.0	99.98
سمنت ابيض	11.64	17.54	3.61	0.17	2.94	1.02	62.30	99.72
الكاؤولين الابيض	12.02	50.18	32.0	2.8	0.52	0.93	1.13	99.58

جدول (٣): الخواص الفيزيائية للسمنت الابيض استناداً الى المواصفة العراقية رقم ٥ لسنة ١٩٨٤

الفحص	النتيجة	حدود المواصفة العراقية رقم ٥ لسنة ١٩٨٤ السمنت الابيض
النعومة سم^2/غم	3131	2500 كحد ادنى
وقت التماسك الابتدائي(دقيقة) النهائي(ساعة)	 80 4:15	 45 كحد ادنى 10 كحد اعلى
مقاومة الانضغاط (نت/مم^2) عمر ٣ ايام عمر ٧ ايام	 40 50	 15 كحد ادنى 23 كحد ادنى

جدول (٤): الخواص الفيزيائية والكيميائية للألياف الزجاجية نوع (E)

الاكاسيد	%
SiO_2	54
Al_2O_3	14
CaO	17.5
MgO	4.5
B_2O_5	10
الخواص الفيزيائية	نتيجة الفحص
الكثافة غم/سم^3	0.2
قوة الشد نت/مم^2	34.5

٢- الاعمال المختبرية

تضـمنت الاعمال المختبرية المراحل اللازمة لتحضـير عينات الخرسـانة الحرارية العازلة وكما يلي:

٢-١تكسير الطابوق الناري التالف

لغرض تهيئة المادة الاولية الاساسية لتحضير العينات وهي الركام الحراري لابد من تكسير الطابوق الناري التالف الى تدرجات حجمية مختلفة، وتستخدم عملية التكسير للمواد الاولية المستخدمة في صناعة الاجسام السيراميكية لغرض تهيئتها لعمليات التشكيل اللازمة وتختلف الاجهزة المستخدمة في التكسير حسب نوع المواد. وصلابتها وبالنسبة للطابوق الناري التالف تستخدم الكسارات الفكية (Jaw Crusher) لتحويلها الى كتل صغيرة ذات حجوم اقل. [٨]

٢-٢ تهيئة التدرجات الحجمية المطلوبة

ان تحضـير عينات من الخرسـانة الحرارية العازلة ذات الكثافات الواطئة يتطلب اسـتخدام تدرجات حجمية كبيرة.[١].

ويوضح الجدولين رقم (٦،٧) التدرجات الحجمية لركام تالف الطابوق الناري التي تم استخدامها في تحضير العينات المختبرية. حيث تم استخدام غرابيل قياسية مختبرية على النظام ASTM للحصول على التدرجات الحجمية المطلوبة.

٢-٣ خلط المواد الاولية

يتم خلط المواد الاولية المتكونة من المادة الاساسية، ركام تالف الطابوق الناري، مضافاً اليه السمنت البورتلاندي الابيض كمادة رابطة، مع اضافة الالياف الزجاجية لتقليل الكثافة الحجمية الى الحد الادنى، وبنسب مختلفة مع اضافة الكاؤولين في بعض الخلطات وكما هو موضح في الجدول رقم (٥)، يتم خلط كل من ركام تالف الطابوق الناري مع السمنت الابيض والالياف الزجاجية بصورة جيدة لضمان تجانس الخليط. ثم يضاف الماء بنسبة لا تتجاوز (٣٠-٣٥ %). ولابد من حصول التجانس التام للخلطة وحصول القوام المناسب الذي يضمن تصلب الخرسانة الحرارية، ان الحصول على التجانس التام والقوام المناسب في تحضير عينات الخرسانة الحرارية العازلة يكون أكثر صعوبة من تحضير العينات الخرسانة الحرارية العادية بسبب طبيعة الالياف الزجاجية المضافة. علماً ان العامل الاساسي لحصول التصلب الابتدائي لخلطة عينات الخرسانة الحرارية العازلة هو نسبة اضافة السمنت وخواصه، تم تشكيل النماذج باستخدام قوالب قياسية بأبعاد (٥x٥x٥ سم) لغرض فحص النماذج لاحقاً على اساس المواصفات الامريكية المعتمدة.

٢-٤تجفيف النماذج

تترك المادة المصبوبة في القوالب لمدة 24 ساعة ثم تفتح وبعدها تترك النماذج لمدة 24ساعة في جو المختبر ثم يتم اجراء عملية التجفيف للنماذج المشكلة باستخدام برنامج تجفيف لمدة 24ساعة على درجة ١١٠ مْ ، وبعد اخراج النماذج او العينات تؤخذ اوزانها وابعادها لتهيأ بعد ذلك الى عملية الحرق.

٢-٥ الحرق

يتم استخدام درجات حرارة مختلفة لحرق الخلطات وكما هو موضح في الجدول رقم (٥) علماً انه تم استخدام درجات حرارية مختلفة من (١٠٠٠-١٣٠٠ م^{o}) اعتماداً على نوع الخلطة ومكوناتها. وان الغرض من عملية الحرق هو معرفة السلوك الحراري للعينات المحضرة، تم حرق العينات باستخدام افران كهربائية عالية الحرارة والموجودة في دائرة بحوث البناء، وباستخدام برنامج حرق تدريجي بمعدل ١٠٠ درجة/ ساعة لضمان عدم حدوث تشقق في العينات. مع فترة إنضاج حراري لمدة ساعتين.

جدول (٥): الخلطات المختبرية

رمز الخلطة	مكونات الخلطة وزناً % ركام تالف الطابوق	سمنت ابيض	كاؤولين ابيض	الياف زجاجية كنسبة اضافية وزنية للخلطة الكلية %	الملاحظات
A_{REF}	70	30	------	------	حرق النموذج بدرجة 1200 م°
A1	30	70	------	------	حرق النموذج بدرجة 1000 م°
A2	50	50	------	5	= = = =
A3	50	40	10	5	= = = =
A4	50	40	10	2.5	= = = =
A5	55	40	5	2.5	= = = =
A6	55	45	------	2.5	= = = =
A7	65	30	5	2.5	= = = =
A8	70	30	------	2.5	حرق النموذج بدرجة 1000 م°
A9	70	30	------	2.5	حرق النموذج بدرجة 1100 م°
A10	70	30	------	2.5	حرق النموذج بدرجة 1200 م°
A11	70	30	------	2.5	حرق النموذج بدرجة 1200 م° وبتدرج حجمي خشن
A12	70	30	------	5	حرق النموذج بدرجة 1000 م°
B_{REF}	70	30	------	------	استخدام ركام تالف طابوق عالي الالومينا
B1	70	30	------	2.5	استخدام ركام تالف طابوق عالي الالومينا حرق النماذج بدرجة 1300م°

٣- النتائج

تشير الجداول المرقمة (٦،٧) الى نتائج الفحوص الفيزيائية والحرارية لعينات الخرسانة الحرارية العازلة والمحضرة مختبريا وقد أجريت الفحوص استناداً الى المواصفة الامريكية ،وتصنف الخرسانة الحرارية استناداً الى المواصفة اعلاه الى نوعين ،احداها الخرسانة الحرارية العازلة ،والتي تصنف الى تسعة اصناف اعتماداً على الكثافة الحجمية والتقلص الخطي عند الحرق ، وبالرغم من ان متطلبات المواصفة الامريكية C ٤٠١ تتضمن خاصيتين هما الكثافة الحجمية والتقلص الخطي عند الحرق لكن تم اجراء فحوص اخرى على الخواص الفيزيائية والحرارية للعينات بعد الحرق والتي تعطي مؤشراً لهما على السلوك الحراري لهذه العينات اثناء تعرضها للحرارة. ضافة الى فحص الموصلية الحرارية بدرجة ١١٠ م^{o} والذي يعطي مؤشراً على زيادة العزل الحراري للعينات، وكما موضح في الجدول رقم (٨)، وعلى العموم فأن الفحوص التي تم اجرائها على العينات والتي اجريت بموجب المواصفة الامريكية C ٤٠١ هي:

- الكثافة الحجمية
- التقلص الخطي بعد الحرق
- مقاومة الانضغاط بعد الحرق
- التغير الحراري المفاجئ
- الموصلية الحرارية بدرجة 110م^{o} (للخلطة الناجحة والقياسية)

جدول (٦): الخواص الفيزيائية والحرارية لعينات الخرسانة الحرارية العازلة باستخدام ركام تالف الطابوق الناري واطئ- متوسط الالومينا

رمز الخلطة	محتويات الخلطة وزناً %			الياف زجاجية نسبة اضافية	الكثافة الحجمية غم/سم^3 م 110	حرارة الحرق م	الكثافة الحجمية بعد الحرق غم/سم^3	التقلص الخطي بعد الحرق %	مقاومة الانضغاط نيوتن/ملم^2	الصدمة الحرارية (دورة)	النسيج No sieve (%)
	ركام	سمنت ابيض	كاولين ابيض								
AREF	70	30	-----	-----	1.67	1200	1.63	0.98-	10	-------	+
A1	30	70	-----	-----	1.83	1000	1.58	1.39-	-------	-------	
A2	50	50	-----	5	1.49	1000		فشل النموذج		-------	
A3	50	40	10	5	1.44	1000	1.25	2.33-	-------	-------	
A4	50	40	10	2.5	1.63	1000	1.38	3.39-	-------	-------	+30(50%)
A5	55	40	5	2.5	1.58	1000	1.39	1.32-	-------	-------	+50(15%)
A6	55	45	-------	2.5	1.62	1000	1.35	1.19-	-------	-------	-50(35%)
A7	65	30	5	2.5	1.60	1000	1.40	1.10-	-------	-------	
A8	70	30	-------	2.5	1.50	1000	1.34	0.55-	-------	-------	
A9	70	30	-------	2.5	1.50	1100	1.35	1.36-	-------	-------	+

جدول (٦): تابع

A10	70	30	-------	2.5	1.50	1200	1.37	0.95-	6	أكبر من 15	
A11	70	30	-------	2.5	1.48	1200	1.35	1.0-	5.8	أكبر من 15	*
A12	70	30	-------	5	1.26	1150	1.20	1.30	-------	-------	

جدول (٧): الخواص الفيزيائية والحرارية لعينات الخرسانة الحرارية العازلة باستخدام ركام تالف الطابوق الناري عالي الالومينا

رمز الخلطة	محتويات الخلطة وزناً %			الياف زجاجية نسبةوزنية اضافية للخلطة	الكثافة الحجمية بعد التجفيف غم/سم^3 110 c^o	درجة حرارة الحرق c^o	الكثافة الحجمية بعد الحرق غم/سم^3	التقلص الخطي بعد الحرق %	مقاومة الانضغاط نت/ملم^2	الصدمة الحرارية (دورة)	التدرج No sieve(%)
	ركام تالف الطابوق	سمنت ابيض	كاؤولين ابيض								
BREF	70	30	ـــــ	ـــــ	2.0	1300	1.95	1.43-	14.5	ـــــ	+30(50%) +50(15%) -50(35%)
B1	70	30	ـــــ	2.5	1.69	1300	1.64	0.82-	6.5	اكبر من 15	-4+30(75%) -30+50(25%)

جدول (٨): نتائج الموصلية الحرارية للخلطة الناجحة والخلطة المرجعية ونموذج مستورد

رمز الخلطة	الموصلية الحرارية(k) (w/m.k)
A_{REF}	0.8353
A_{10}	0.5310
نموذج مستورد	0.3500

٤-المناقشة

٤-١ ميكانيكية التفاعل

قبل الخوض في مناقشة نتائج الخواص الفيزيائية والحرارية لعينات الخرسانة الحرارية العازلة، لابد من التطرق الى ميكانيكية التفاعل الحاصلة في تحضير هذه العينات، حيث ان الاواصر المتكونة للخلطات المحضرة تكون على نوعين:

- اواصر هيدروليكية، يسببها السمنت المضاف وتكون القوة لهذه الاواصر عالية في الايام الاولى لتشكيل الخلطات، التي لا تتعرض فيها العينات الى درجات حرارة عالية، ثم تتدهور قوة الاصرة الهيدروليكية نتيجة لفقدان الماء بارتفاع درجات الحرارة، حيث يفقد السمنت الابيض الماء الزائد الذي يحتويه (free water) عند درجات حرارة اوطأ من ١٠٠٠ م^{o}, ويبقى هذا السمنت محتفظاً بكمية من الماء المتحد (combined water) عند درجات حرارة ٦٠٠-٧٠٠ م^{o} وتنتهي كلياً بدرجات حرارة ٩٠٠ م^{o}. [٦]
- - اواصر سيراميكية، وهي تحدث نتيجة لتفاعل كيميائي يتحقق بارتفاع درجة الحرارة أكثر من ١٠٠٠ م^{o},بين مكونات السمنت غير المميهة (C2S,C3S)(dehydrated) وبين مكونات الركام الحراري تؤدي الى نمو بلورات وتكوين مركبات حرارية جديدة [٦] وهذه الاواصر السيراميكية هي المسؤولة عن الخواص الفيزيائية للكتلة الحرارية او لعينات الخرسانة الحرارية العازلة بعد الحرق.

٤-٢الكثافة الحجمية (Bulk Density)

تعتبر الكثافة الحجمية من الخواص الفيزيائية المهمة في تحديد نوعية الحراريات وذلك لعلاقتها الكبيرة في تحديد خواص الحراريات المنتجة، فزيادة الكثافة الحجمية تؤدي الى زيادة قابلية الخزن الحراري (heat storage capacity)، كما تتأثر التوصيلية الحرارية بالكثافة الحجمية. فعند انخفاضها تزداد المسامية فيزداد تبعاً لذلك مقدار العزل الحراري، نتيجة لزيادة نسبة الهواء الذي يمتاز بانخفاض التوصيلية الحرارية له مقارنة بالأجسام الاخرى.[٩]

وعلى العموم تتأثر الكثافة الحجمية في المواد الحرارية، بعوامل عديدة ومنها:

- نوعية المواد الاولية الاساسية والمضافة المستخدمة في الخلطات
- التدرج الجيبي للمواد المستخدمة
- الظروف المرافقة لعمليات تصنيع العينات مثل طريقة التشكيل، والمواد الرابطة المستخدمة
- درجة حرارة الحرق. وغيرها.[٩]

علماً ان الكثافة الحجمية من الخواص المحددة لمتطلبات المواصفة الامريكية C ٤٠١ , والتي تصنف على اساسها الخرسانة المصنعة قبل حرقها، ومن ملاحظة نتائج الكثافة الحجمية للخلطات A والتي استخدم فيها ركام واطئ متوسط –الالومينا جدول رقم (٦) للخلطة (A1) يلاحظ ارتفاع كثافتها الحجمية بعد التجفيف مقارنة بالخلطة المرجعية (A_{REF})، بسبب زيادة نسبة السمنت الابيض الى (٧٠%)، حيث ادت النعومة العالية للسمنت المضاف الى تقليل حجم الفراغات وبالتالي ارتفاع قيمة الكثافة الحجمية. وان التأثير الاكبر على الخواص الفيزيائية لعينات الخرسانة عند درجة ١١٠ م^{o} ناتج من الاصرة الهيدروليكية المتكونة بسبب السمنت المضاف

- بالنسبة للخلطات (A3,A2) فيلاحظ انخفاض مقدار الكثافة الحجمية مقارنة بالخلطة (A_{REF}) بسبب ارتفاع نسبة الالياف الزجاجية وتخفيض نسبة السمنت الابيض الى 50,40 %مقارنة بالخلطة A1). بالرغم من وجود خام الكاؤولين الذي يؤدي الى تقليل حجم الفراغات.
- بالنسبة للخلطات (A7,A6,A5,A4) والتي كانت نسب الالياف الزجاجية المضاف فيها (٢،٥ %) فكانت كثافتها الحجمية مرتفعة نسبياً (١،٥٨-١،٦٣) غم/سم^3 بالرغم من تباين نسب الركام المضاف.
- الخلطات(A11,A10,A9,A8) انخفضت كثافتها الحجمية الى (١،٥ غم/سم^3) بسبب تقليل نسبة السمنت المضاف الى (٣٠ %) وارتفاع نسبة الركام الى (٧٠ %) بالرغم من ان نسبة الالياف الزجاجية المضافة كانت (٢،٥ %)
- اما الخلطة رقم (A12) والتي تم رفع نسبة الالياف الزجاجية المضافة الى (٥ %),محاولة من الفريق البحثي للحصول على اوطأ كثافة حجمية ممكنة, كانت (1.26 غم/سم^3)ولغرض مقارنة خواصها مع الخلطات السابقة , اما الخلطات التي استخدم فيها ركام تالف الطابوق الحراري عالي الالومينا جدول رقم(٧) فكانت قيمة الكثافة الحجمية للخلطة المرجعية (B_{REF}) عالية مقارنة بالخلطة المرجعية للخلطات التي استخدم فيها تالف الطابوق الحراري- واطئ متوسط الالومينا (A_{REF})كما هو موضح في الجدولين(٦،٧) , ويعزى ذلك الى ارتفاع الكثافة الحجمية للركام الحراري عالي الالومينا الذي يشكل طور المولايت نسبة عالية فيه مقارنة مع ركام تالف الطابوق واطئ-متوسط الالومينا الذي تقل فيه نسبة المولايت اضافة الى وجود اطوار معدنية اخرى مثل الكرستبلايت وغيرها [٢], ويلاحظ ان الخلطة(B1) والتي استخدم فيها نسبة الحد الاعلى للركام 70 % والنسبة الاوطأ للسمنت الابيض 30 % كانت الكثافة الحجمية التي تم الحصول عليها(1.69 غم/سم^3) وهي عالية مقارنة بالخلطة رقم(A11)التي كانت كثافتها الحجمية ١،٤٨ غم/سم^3) , اما الكثافة الحجمية للعينات (B,A) والتي تم حرقها بدرجات حرارة مختلفة (١٠٠٠-١٣٠٠م^{o}) فلوحظ على العموم انخفاضها بعد الحرق, وكان الانخفاض اكبر عند عينات الخرسانة الحرارية العازلة التي استخدم فيها ركام تالف الطابوق الحراري واطئ – متوسط الالومينا. كما هو واضح في الجدولين رقم (٦،٧) بسبب تزايد تأثير الاواصر السيراميكية المتشكلة اثناء الحرق بدرجات حرارة عالية، وعلى العموم فأن الكثافة الحجمية لعينات الخرسانة الحرارية العازلة تنخفض بتقليل نسبة السمنت الى اقل حد ممكن ٣٠ % ورفع نسب الركام

الحراري والالياف الزجاجية الى اعلى نسبة ممكنة. مع استخدام تدرجات حجمية خشنة بالنسبة للركام المستخدم في الخلطات. لاحظ الجدول رقم (٧،٦).

٤-٣ التقلص الخطي بعد الحرق Linear Shrinkage after Firing

تعاني المواد الحرارية اثناء الاستعمال وعند تعرضها لدرجات حرارة عالية في الافران الى تغيرات في الابعاد بسبب عوامل كثيرة منها تغيرات مكونات الطور واعادة التبلور وكذلك حدوث تلبيد اضافي. وهذه التغييرات تؤدي الى زيادة او نقصان في ابعاد الجسم الحراري ,مما يؤدي الى اضعاف قابلية التحمل الميكانيكي, وحدوث تشققات في الجسم السيراميكي يسبب تشوه الشكل الهندسي للبطانات وكذلك عدم تجانس توزيع الاجهادات في الجسم الحراري يؤدي الى هدم البطانة الحرارية.[٨] ، ان التغيرات في ابعاد الجسم الحراري يحدث نتيجة للشد السطحي الذي يولده السائل المتكون اثناء عملية التلبيد, مسبباً اعادة توزيع وتجاذب متبادل من قبل حبيبات المادة الحرارية وعند حساب التغير الحجمي او الخطي يشار اليه بإشارة سالبة او موجبة حسب نوع التغير, فالتقلص يشار اليه بإشارة سالبة اما التمدد فيشار اليه بإشارة موجبة، وقد حددت المواصفة الامريكية C٤٠١ التغير الخطي المسموح به اثناء فحص النموذج بما لا يزيد عن 1.5% من الطول الاصلي واعتبرته المحدد الثاني في تصنيف الخرسانة الحرارية العازلة وشرط مطابقتها للمواصفة [١٠] ،من ملاحظة نتائج التقلص الخطي للعينات عند حرقها بدرجات حرارة (١٠٠٠-١٣٠٠ م^{o})الجدولين رقم (٧،٦) ان معظم العينات كان تقلصها الخطي مطابقاً لمتطلبات المواصفة الامريكية C 401,باستثناء الخلطات (A4,A3,A2)التي كان التقلص الخطي فيها بدرجة ١٠٠٠ م^{o} عالياً بسبب ارتفاع نسبة الالياف الزجاجية المضافة الى (٥ %) ، اما الخلطات الاخرى والتي كانت نسبة الالياف الزجاجية المضافة(٢،٥ %) وتم خفض نسبة السمنت المضاف الى (٤٠ %) او اقل ورفع نسبة الركام التالف الى اكثر من (50 %) فكان التغير الخطي عند الحرق بدرجات (١٠٠٠،١١٠٠،١٢٠٠) م^{o} ضمن الحدود المسموح بها لمتطلبات المواصفة الامريكية C٤٠١ , وكانت ادنى قيمة تم الحصول عليها للتقلص الخطي عند الحرق هي (٠،٩٥)للخلطة رقم (A10) بالنسبة للخلطات التي استخدم الركام واطئ-متوسط الالومينا فيها و(٠،٨٢-) للخلطة رقم (B1) بالنسبة للخلطات التي تم استخدام الركام عالي الالومينا مع الاخذ بنظر الاعتبار تباين درجة حرارة الحرق لكلا الخلطتين ورفع درجة حرارة الحرق للخلطة (B)ال ١٣٠٠ م^{o} بسبب ارتفاع نسبة الالومينا فيها، نستنتج من ذلك ان ارتفاع درجة حرارة الحرق لعينات (A10,A9,A8) ادى الى خفض التقلص الخطي الحاصل لها, فالخلطة رقم (A8) كان التقلص الخطي عند حرقها لدرجة ١٠٠٠ م^{o} واطئاً (٠،٥٥)بسبب عدم اكتمال عملية التبليد او التفاعل بين مكونات الخلطة(الركام والسمنت والالياف الزجاجية).لكن بارتفاع درجة حرارة الحرق الى 1100م^{o} بدأت عملية التلبيد وحدوث التفاعل بين مكونات الخلطة تحدث تأثيرها على الخلطة (A9) التي كان تقلصها الخطي (١،٣٦) لكن انخفاض التقلص الخطي للخلطات (A11,A10) الى (٠،٩٥) ربما يعزى سببه الى حدوث الاستقرار الحراري للمواد المخلوطة بعد اكتمال عملية التبليد.

٤-٤ مقاومة الانضغاط Compressive Strength

اثناء عملية استعمال الخرسانة الحرارية العازلة في الافران على تنوعها تتعرض الى مؤثرات ميكانيكية كثيرة, لذا يجب ان تكون قوة تحملها جيدة, حتى يمكنها مقاومة هذه المؤثرات ,وبالرغم من عدم تطرق المواصفة الامريكية C401 الى مقاومة الانضغاط ضمن متطلباتها ، لكن رأى الفريق البحثي ضرورة اعطاء مؤشر لمقاومة الانضغاط لعينات الخرسانة الحرارية العازلة بعد حرقها, خصوصاً للخلطات الناجحة, التي بالإمكان جعلها متاحة صناعياً، ويلاحظ من نتائج مقاومة الانضغاط للعينات الناجحة (B1,A11,A10)الجدولين رقم (٧،٦) انها ذات قيم جيدة, بعد التأثير الواضح لدرجة حرارة الحرق (١٢٠٠ م^{o}),والتي ادت الى تشكل الاواصر السيراميكية وتماسك الخرسانة الحرارية العازلة بالرغم من وجود الالياف الزجاجية وانخفاض الكثافة الحجمية مقارنة بالخلطات المرجعية (B_{REF},A_{REF}).

٤-٥ التغير الحراري المفاجئ Thermal Shock Resistance

تعتبر مقاومة المواد الحرارية للتغير الحراري المفاجئ من الخواص التكنولوجية المهمة لها فحدوث اختلاف في درجات الحرارة التي يتعرض لها الجسم الحراري وخاصة بين السطح والداخل, مسبباً حدوث اجهادات داخلية مختلفة تؤدي بمرور الوقت الى ظهور تشقق وتهشم داخلي, مما يؤثر على الخواص الميكانيكية للخرسانة الحرارية العازلة, حيث تقل قوتها وبذلك يقل عمر استعمالها [٩] ، ان العامل المهم في التهشم هو تطور الاجهادات المتكونة وتجاوزها حد اجهاد الكسر لجسم الخرسانة الحرارية العازلة وتعتمد خواص الاجسام الحرارية بالنسبة لمقاومة التغير الحراري المفاجئ على عدة امور منها:

- اختلاف معامل التمدد الحراري في الجسم الحراري
- الضغط الحاصل على الجسم الحراري نتيجة تغير الابعاد اثناء الاستخدام
- تعرضه الى اجهادات ميكانيكية متنوعة.

ولذلك فأن المواد ذات التوصيلية الحرارية الجيدة والكثافة القليلة تكون ذات مقاومة جيدة ضد التغير الحراري المفاجئ [٩] ، كما ان زيادة المقاومة للتغير الحراري المفاجئ يعتمد على قابلية المادة على تشتيت الاجهادات المتكونة على طريق التغير في الابعاد, لكن هذه الاجهادات تتزايد عندما لا يحدث تغير في ابعاد الجسم الحراري اثناء التعرض الى درجات حرارة مختلفة, وهنا تأتي اهمية المسامية فزيادة المسامية يعني وجود امكانية التمدد الحر بدون حدوث اي اجهادات لوجود فراغات في الجسم الحراري [٩] ، وهذا ما حدث بالضبط لعينات الخرسانة الحرارية العازلة (B1,A11,A10) والتي تم اجراء فحص التغير الحراري المفاجئ عليها بدرجة حرارة ١٠٠٠ م^{o} فقد تجاوزت بنجاح خمسة عشر دورة, دون حدوث تهشم او تشقق في العينات ويعزى ذلك الى عدة اسباب منها:

- انخفاض الكثافة الحجمية وارتفاع المسامية يعني امكانية حدوث التمدد الحر بدون حدوث اي اجهادات لوجود فراغات في الجسم الحراري.

- ارتفاع نسبة طور مولاتي (Mullite) بالنسبة لركام تالف الطابوق المستخدم كمادة رئيسية في عينات الخرسانة الحرارية العازلة، وهو يعتبر من الاطوار المعدنية المقاوم للصدمات الحرارية [٩]

٤-٦ الموصلية الحرارية Thermal Conductivity

تعرف الموصلية الحرارية Thermal conductivity بأنها كمية الحرارة المنتقلة خلال المادة في وحدة الزمن لكل وحدة انحدار حراري على طول اتجاه سريان الحرارة ولكل وحدة مساحة المقطع [١١] ، وتغير خاصية الموصلية الحرارية, من الخواص المهمة في المواد الحرارية, حيث ان استعمال الحراريات العازلة ذات التوصيل الحراري المنخفض ضروري ولازم في بعض اجزاء الافران كالجدران والسقوف, التي تتطلب فقدان اقل كمية ممكنة من الحرارة فيها, وبالتالي تقليل كمية الحرارة المفقودة وجعل درجات الحرارة داخل الفرن اكثر تجانساً وثبوتاً [٤]، ويشير الجدول رقم (٨) الى نتائج التوصيل الحراري للخلطة الناجحة (A10) ومقارنتها بالموصلية الحرارية للخرسانة الحرارية الاعتيادية لنموذج محلي مرجعي(A_{REF})ونموذج مستورد.

٤-٧ التحمل الحراري Refractoriness

تختلف المواد السيراميكية عن المواد الفلزية في تفسير مفهوم الانصهار ,فالمواد السيراميكية يتم انصهارها لمدى واسع من درجات الحرارة، ويعرف التحمل الحراري انه قابلية المادة الحرارية على تحمل تأثير الحرارة لدرجات عالية دون حدوث انصهار فيها, فعندما تسخن المادة الحرارية يبدأ الطور السائل بالتكون وبزيادة الطور السائل تتدهور المادة السيراميكية نتيجة لفقدان قوى التماسك بين حبيباتها, وان طبيعة وكمية السائل المتكون تعتمدان على المكونات المعدنية والكيميائية والمسامية وسرعة الحرق, وكذلك على جو الحرق في الافران مؤكسداً كان ام مختزلاً .[٨] ، ان التحمل الحراري لنماذج الخرسانة الحرارية العازلة موضوع البحث كانت محددة بكمية المواد المضافة(سمنت ابيض, الياف زجاجية) لأنها مواد ذات درجات انصهار واطئة ، تم حرق النموذج الناجح (A10) لدرجات حرارة مختلفة(١٣٥٠،١٣٠٠،١٢٠٠،١١٠٠،١٠٠٠) م^{o} وقد بدت معالم الانصهار بدرجة حرارة ١٣٥٠ م^{o} ، وحيث ان الدرجة الحرارية الامينة التي يتم استخدام الجسم الحراري فيها تكون اقل بكثير من درجات حرارة تليينه, حيث يجب الاخذ بنظر الاعتبار الظروف الميكانيكية وجو الفرن وطبيعة الوقود المستخدم بنظر الاعتبار لذلك اعتبر الفريق البحثي ان فحص التقلص الخطي عند الحرق هو الدرجة الحرارية المسموح بها استخدام الخرسانة الحرارية العازلة وحسب المواصفة الامريكية C٤٠١ [١٠]، ان اجراء فحص التحمل الحراري كان لمعرفة طبيعة تصرف المادة لدرجات حرارة اعلى ومعرفة نقطة التلين softening point ,وهي النقطة التي يحدث عندها انصهار للمادة وهي مفيدة لمشغل الفرن في حالة حدوث ارتفاع مفاجئ لدرجات الحرارة.

٥. الاستنتاجات

تم تلخيص الاستنتاجات التالية:

- امكانية انتاج خرسانة حرارية عازلة ذو كثافة حجمية (١،٣٧ غم/سم^{3}) متوسط الالومينا وبإضافة مواد محلية هي السمنت الابيض والالياف الزجاجية.

- يضـاف السـمنت الابيض لخلطة الخرسـانة الحرارية العازلة بنسـبة وزنية (٣٠%) اما الالياف الزجاجية فتضاف بنسبة لا تتجاوز (٢،٥%)
- بالإمكان اسـتخدام الخرسـانة الحرارية العازلة ذات الركام واطئ- متوسـط الالومينا بدرجات حرارة لا تتجاوز ١٢٠٠ م^{o}
- بالإمكان استخدام الخرسانة الحرارية العازلة ذات الركام عالي الالومينا بدرجات حرارة لا تتجاوز ١٣٠٠ م^{o}
- - يحبذ استخدام تالف الطابوق الناري (متوسط - واطئ الالومينا) بسبب كثافته المنخفضة مقارنة بالطابوق الناري عالي الالومينا.

المصادر

[١] Nikov, B. (1964) 'The Technology of Ceramics and Refractories' The M.I.T. press, Massachusetts, U.S.A.

[٢] الطائي، محمد حيدر, الرمضاني، خيرية عبدالله (١٩٨١) "تحسين خواص الطابوق الطيني"، مركز بحوث البناء.

[٣] الجباري، صبحي محمد, عبدالقادر, فائزة (١٩٩٣) "الاسمنت الحراري العازل الخفيف الوزن"، مركز بحوث البناء.

[٤] الجندي، لمعي, إبراهيم، نسرين (١٩٨٢) "انتاج الطابوق الناري العازل لاستخدامه في الافران الصناعية"، مركز بحوث البناء.

[٥] عبود، رائد حسن, حسين, راقية (١٩٨٥) "دراسة امكانية انتاج الطابوق الحراري العازل بطريقة التفاعل الكيميائي"، مركز بحوث البناء.

[٦] فيصل، فراس, عبدالقادر، فائزة (٢٠١٠) "انتاج المصبوبات الحرارية العازلة من مواد مصنعة محلياً "، مركز بحوث البناء.

[٧] حميد، رضا (١٩٨٩) "تقييم حجر الدولومايت العراقي لمعرفة مدى صلاحيته لصناعة الحراريات" رسالة ماجستير، الجامعة التكنلوجية، بغداد، العراق.

[٨] جورج، بهاء, عباس، رفعت (٢٠٠٠) "انتاج الطابوق الدولومايتي شبه المثبت مختبرياً"، مركز بحوث البناء.

[٩] ASTM (2005) 'C401-9: Standard Alumina and Alumina-Silicate Castable Refractories'.

[١٠] الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية (١٩٩٢) "دليل استرشادي مرجعي رقم ٣/٦٣: المصطلحات المتعلقة بالمواد الحرارية".

Building Research Journal
Volume 9 Number 1 2024

Producing of Insulating Refractory Castable from Waste of Fire Bricks

*[1]Rifat Abbas Sallom, [2]Ahmad Jabbar Mohesn, [1]Zeyad Mumtaz Mohamad

[1] Building material department Building Research Directorate, Baghdad, Iraq.
[2]Planning Department, Building Research Directorate, Baghdad, Iraq.

Abstract

Refractory castable is one of the materials used in furnace manufacturing due to its high thermal tolerance and insulation. In this research, insulating refractory castable has been produced by mainly using local materials including alumina fire bricks waste which is used in most local factories with thermal insulation areas. Local additives such as white cement and fiberglass have also been used in the production. The results of physical and thermal tests were conformed to the limits of ASTM C401 rendering it suitable for use in thermal furnaces for temperatures up to (1300°C). Moderate alumina thermal insulating castable of (1.37g/cm^3) bulk density has been produced in this research with the use of local additives consisting of (30%) white cement and (2.5%) fiberglass which can be used for temperatures up to (1200°C). While thermal insulating castable with high alumina aggregate is usually used for temperatures up to (1300°C). Batches from this product have been supplied to The General Company for Heavy Engineering Equipment one of The Ministry of Industry and Minerals companies, in addition to supplying various government companies including petroleum refineries and power plants. The supplied batches were successfully used and had been a successful supplement of the imported thermal insulating castable.

Keyword: Insulating, Refractory Castable, Fire Bricks

*Corresponding Author: Rifat Abbas Sallom
rifatsallom@gmail.com