

دراسة تأثير المعاملة الحرارية في الخواص الميكانيكية
للمونة الحرارية المستعملة في أفران الصهر

رسالة مقدمة إلى مجلس كلية العلوم جامعة بابل وهي جزء
من متطلبات نيل شهادة الماجستير في علوم الفيزياء

من قبل
محمد هادي شنين الشمري

بإشراف

د. فاضل عبد رسن
باحث علمي أقدم
وزارة العلوم والتكنولوجيا

د. طالب هادي قدوري
أستاذ مساعد
كلية العلوم/ جامعة بابل

تموز ٢٠٠٤م

جمادى الأولى ١٤٢٥هـ

N

وَيَسْأَلُونَكَ عَنِ الرُّوحِ قُلِ الرُّوحُ مِنْ
أَمْرِ رَبِّي وَمَا أُوتِيتُمْ مِنَ الْعِلْمِ إِلَّا قَلِيلًا

صدق الله العلي العظيم

سورة الإسراء/ الآية ٨٥

*The Study of the Effect of Heating
Treatment on the Mechanical Properties
of the Heat lining used in Fluxing
Framses*

A Thesis

**Submitted to the Council of the College
of Science / Babylon University In
Partial Fulfillment of the Requirements
of the Degree of Master of Science in
Physics**

By

Mohammed Hade Shinen A- Shamery

July, ٢٠٠٤

Jamad Al Awal ١٤٢٥

الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة الخواص الميكانيكية والفيزيائية لنوعين من البطانات المحضرة من الكاؤولين Kaolin ، السليكا Silica ، الألومينا Alumina ، كاربيد السليكون Silicon Carbide ، سمنت الكالسيوم الالوميني Calcium Aluminat Cement ، مانع الاختراق Pentration inhibitor ، بنسب خلط كما في المواصفة الأجنبية والمشكلة بظروف طحن وكبس وتجفيف وحرق تم اختبارها لتقع ضمن مدى الاستعمال لهذه البطانات.

ولإنجاز هذا البحث تم إجراء الفحوص على المجموعتين لتسهيل عملية البحث الأولى M_1 التي تظم المادة الاستيرادية التي تسمى تجارياً بمادة kellundate لتقع تحت اسم A. وسبع تشكيلات تحمل الاسم $(A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7)$ والمجموعة الثانية سميت بـ M_2 التي تظم المادة الاستيرادية التي تسمى تجارياً بـ Harmix-Cu لتقع تحت اسم B. وسبع خلطات تحمل الاسم $(B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7)$.

تم تشكيل مكبوسات من هذه الخلطات، حيث تم تحديد أفضل ضغط للتشكيل 70MPa ، ولزمن كبس مقداره 1min ، وتم حرق ثلاثة نماذج لكل درجة حرارة حرق ولكل خلطة.

إن درجة حرارة الحرق التي تم التعامل معها هي $(1350, 1400, 1450)$ م، لمعدل ارتفاع في درجة الحرارة مقداره 5 درجة/دقيقة وزمن حرق عند درجة حرارة الحرق المختارة هو 2hr .

وقد توصل البحث من خلال قياس متانة الجهد البارد (Cold crushing strength) وقياس الكثافة الحقيقية والكثافة الحجمية والكثافة الظاهرية والمسامية الظاهرية وامتصاصية الماء إلى أن هنالك أربع خلطات مطابقة بالمواصفة للمواد المستوردة وهذه الخلطات هي (A_1, A_4, B_2, B_7) وتم تفسير الأسباب وراء نجاح هذه الخلطات وذلك باستقراء الأطوار المتحققة من خلال فحص الأشعة تحت الحمراء IR وفحص الأطوار المتحققة حيث تأكد أن الطور الأكثر فعالية في الحرارية الذي يؤدي إلى إيقاف مقدار الاختراق هو طور Tridymite الذي وجد في هذه الخلطات، كما وجد طور Wollastonite ذي يؤدي إلى تقليل العزل الكهربائي ويزيد من الخواص الميكانيكية للحراريات.

ABSTRACT:

In this work, the physical and mechanical for two types of constructed linings from (Kaolin, Silicon, Alumina Silicon Carbide Calcium alumina cement and penetration Inhibitory were studied with mixing rates as the fairing's type which are constructed within properties of grinding, drying and firing which are chosen to felled in the using ranges for this lining. To achieve this research, the testing was helded in two groups to facilate the first research process M_1 which is contain the expert object which is commercially known kellnndate material which falls within the name of A. and the seven forms carried the name of ($A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7$), and the second group known M_2 which contain exported material which are commercially known Harmix-Cu felled under the name of B. and seven mixing known the name of ($B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7$).

The pressures were formed from this mixtures where, the best pressure of 4 Mpa form was limited for pressure time and firing three group for each firing temperature and for each mixture.

The firing temperature which is used is ($1300, 1400, 1500$) $^{\circ}\text{C}$ for decreasing rate $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ and for firing time in choused firing temp. 2 hr .

In this research the cold crushing, strength, true density, bulk density, apparent porosity and were measured. There were four mixture are cores for properties of imported mattering. This mixture are (A_1, A_4, B_2, B_7).the successful rescans of this mixture was discussed by revising the achieved phases through checking up IR. The checking up proved the high activity phase in refractories which is lead to penetration is Tridy mite phase which is found in this mixtures.

الإهداء

إلى ... نور الأنوار وسيد الأبرار وزين
المرسلين الأخيار خير عباد الله وطبّ القلوب
ودوائها

* محمد * ﷺ

إلى ... أجنحة السلام

* أبي *

وينبوع الحنان

* أمي *

إلى من أضاء طريق مستقبلي

* أخي سالم *

إلى رفيق درب الطويل زوجتي

* شيماء *

إلى نور عيني وزهرة حياتي ابنتي

* آيات *

أهدي ثمرة جهدي

شكر وتقدير

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على سيد المرسلين
محمد (ﷺ).

أود أن أتقدم بخالص شكري وامتناني إلى أستاذي الفاضلين
د. فاضل عبد رسن والدكتور طالب هادي قدوري لما قدماه من
إشراف وتوجيهات قيمة لإنجاز هذا البحث.

وأتقدم بشكري إلى جامعة بابل- كلية العلوم لإتاحتها الفرصة
لي لإكمال دراسة الماجستير.

وأتقدم بالشكر إلى جامعة بابل- كلية الهندسة وجامعة
النهرين- كلية العلوم وشركة الرؤية العامة- مديرية المساحيق لما
أبدوه من تسهيلات في إنجاز هذا البحث.

وأتقدم بالشكر إلى أساتذة قسم الفيزياء وزملائي وزميلاتي
من طلبة الدراسات.

List of Contents

فائمة المحتويات

الصفحة	الموضوع	التسلسل
أ	الخلاصة باللغة العربية	
ب	قائمة المحتويات	
و	قائمة المصطلحات	
ي	قائمة الرموز	
الفصل الأول: المقدمة والدراسات السابقة		
١	تعريف	١-١
٣	تصنيف الحرارية	٢-١
٣	التصنيف المعتمد على التركيب الكيميائي	١-٢-١
٤	التصنيف المعتمد على مصادر المواد الأولية	٢-٢-١
٥	التصنيف المعتمد على درجة التلين	٣-٢-١
٥	التصنيف المعتمد على طريقة التصنيع	٤-٢-١
٦	التصنيف المعتمد على درجة المسامية	٥-٢-١
٨	أنواع الحرارية وأهم استعمالاتها	٣-١
٨	الحراريات الحامضية	١-٣-١
٨	١. حراريات سليكات الالومينا	
٨	٢. الطابوق السليكوني	
٩	٣. طابوق السليكا	
٩	٤. حراريات الطين الناري	
١٠	٥. حراريات السليمينايت	
١٠	٦. حراريات الميولايت	
١١	٧. حراريات الالومينا	

List of Contents

فائمة المحتويات

الصفحة	الموضوع	التسلسل
١١	الحراريات المتعادلة	٢-٣-١
١١	١. حراريات الكروماتية	
١١	٢. الكروم-مغناسايت	
١٢	٣. أوكسيد الزركونيوم	
١٢	٤. كاربيد السليكون	
١٣	٥. الكرافيت	
١٣	الحراريات القاعدية	٣-٣-١
١٣	١. المغنيسيت	
١٤	٢. الكلس	
١٤	٣. أوكسيد البريليوم	
١٥	٤. الدولوميت	
١٥	الدراسات السابقة	٤-١
١٧	هدف البحث	٥-١
الفصل الثاني: الجانب النظري		
١٨	الخواص العامة للحراريات	١-٢
١٨	الخواص الحرارية	١-١-٢
١٨	١. الثبات الحراري	
١٩	٢. مقاومة التغير الحراري المفاجئ	
٢٠	٣. نقطة التليين	

List of Contents

فائمة المحتويات

الصفحة	الموضوع	التسلسل
٢١	الخواص الميكانيكية	٢-١-٢
٢١	١. متانة الانضغاط	
٢٢	الخواص الفيزيائية	٣-١-٢
٢٢	١. التوزيع الحجمي للحبيبات	
٢٣	٢. المسامية	
٢٤	٣. الكثافة	
٢٤	٤. امتصاصية الماء	
٢٦	المفاهيم النظرية للتشكيل	-٢-٢
٢٦	عملية الطحن	١-٢-٢
٢٨	عملية النخل	٢-٢-٢
٢٨	عملية الخلط	٣-٢-٢
٢٩	ماء التشكيل وتأثيره في العجينة السيراميكية	٤-٢-٢
٢٩	عملية الكبس	٥-٢-٢
٣٠	عملية التحفيف	٦-٢-٢
٣١	عملية التلييد	٧-٢-٢
٣٣	المواد الأولية	٣-٢
٣٣	الكاولين	١-٣-٢
٣٤	السليكا	٢-٣-٢
٣٤	الالومينا	٣-٣-٢
٣٤	كاربيد السليكون	٤-٣-٢
٣٥	سمنت الكالسيوم الالوميني	٥-٣-٢
٣٥	مانع الاختراق	٦-٣-٢

List of Contents

فائمة المحتويات

الصفحة	الموضوع	التسلسل
الفصل الثالث: الجانب العملي		
٣٦	تحضير النماذج	١-٣
٣٩	القياسات	٢-٣
٣٩	القياسات الميكانيكية	١-٢-٣
٣٩	القياسات الفيزيائية	٢-٢-٣
٣٩	قياس الكثافة والمسامية وامتصاصية الماء	
الفصل الرابع: المناقشة والاستنتاجات والمقترحات		
٤٣	مناقشة النتائج	١-٤
٤٣	متانة الانضغاط	١-١-٤
٤٨	الكثافة والمسامية وامتصاصية الماء	٢-١-٤
٩٣	الاستنتاجات	٢-٤
٩٤	الأعمال المستقبلية	٣-٤
٩٥	المصادر	
	الملاحق	
A	الخلاصة باللغة الإنكليزية	

فائمة المصطلحات

Alumina	ألومينا
Apparent Density	كثافة ظاهرية
Apparent Porosity	مسامية ظاهرية
After Contraction	بعد التقلص
After Expontion	بعد التمدد
Ball Milling	طحن الكرات
Bulk Density	كثافة حجمية
Boolde Type Mixer	الخلاطة ذات الأرباش
Casting	صب
Cements	سمنت
Clay	طين
Closed Pores	مسامات مغلقة
Cold Pressing	كبس بارد
Clod Crushing Strength	متانة الجهد البارد
Composition	تركيب
Compression Strength	متانة الانضغاط
Cristobalite	طور الكرسستوبلايت
Crushing	تهشم، سحق
Composite Material	مواد مركبة
Calcium Aluminat Cemant	سمنت الكالسيوم الالوميني
Calcined Flint Clay	الطين الناري المحمص
Density	كثافة
Drying	تجفيف
Dry Pressing	كبس جاف

فائمة المصطلحات

Dry Mixing	الخط الجاف
Firing Process	عملية الحرق
Flint	فلنت
Formation Process	عملية التشكيل
Glass	زجاج
Grain	حببية
Grin Boundary	حد حبيبي
Grain Growth	النمو الحبيبي
Hardness	صلادة
Heat Treating	معاملة حرارية
Harmix-Cu	اسم تجاري لبطانة صهر النحاس (هارمكس)
Impact Strength	متانة الصدمة
Impermeable open Pores	مسامات مفتوحة منفصلة
Kaolin	كاولين
Kellundite	اسم تجاري لبطانة صهر النحاس (كالندلايت)
Liquid	سائل
Liquid Phase	طور سائل
Load	حمل
Material	مادة
Measurement	قياس
Mechanical	ميكانيكية
Mechanical Properties	خواص ميكانيكية
Melting Point	نقطة الانصهار

فائمة المصطلحات

Milling	طحن
Mixer	خلاط
Mixing	خلط
Mullite	ميولايت
Neck	عنق
Non-Plastie	غير لدن
Open Pores	مسامات مفتوحة
Oven	مجفف
Partied Size Distribution	توزيع حجمي للحبيبات
Permeable Open Pores	مسامات مفتوحة غير منفصلة
Penetration Inhibitor	مانع الاختراق
Phase	طور
Physical Properties	خواص فيزيائية
Plastic Mixing	الخلط البلاستيكي
Plastic	لدن
Poddle Mixer	الخلاصة القرية
Pore	مسامة
Porosity	مسامية
Porous	مسامي
Prepared	تحضير
Press	كبس
Properties	خواص
Quartz	كوارتز
Raw Materials	مواد خام

فائمة المصطلحات

Refractories	حراريات
Sealed Pores	مسامات مغلقة
Sieves	مناخل
Silica	سليكا
Sintering	تلييد
Sintering	زمن التلييد
Size	حجم
Slagging	خبث
Slip Mixer	الخلط الانزلاقي
Shape	شكل
Solid	صلب
Softening Point	نقطة التليين
Strength	متانة
Surface	سطح
Tensile Stress	إجهاد الشد
Tensile Strength	متانة الشد
Test	اختبار
Tridymite	ترديمايت
True Density	كثافة حجمية
True Porosity	مسامية حقيقية
Tube Miter	الخلاطة الانبوبية
Vacancies	فجوات
Vitreous	مزجج
Water Absorption	امتصاصية الماء
Wollastonite	ولستنايت

List of Symbol

فائمة الرموز

الرمز	عنوان الرمز
A	مساحة مقطع العينة
A.D	الكثافة الظاهرية
A.P	المسامة الظاهرية

B.D	الكثافة الحجمية
F	القوة المسالطة التي عندها يحصل الفشل في النموذج
M	وزن النموذج
P_1, P_2	ضغط غاز الهليوم
S	متانة الجهد البارد
T.D	الكثافة الحقيقية
V_c	حجم الخلية القياسي
V_p	الحجم الحقيقي للنموذج
V_R	حجم المصدر القياسي
W.A	امتصاصية الماء
W_d	وزن العينة وهي جافة
W_i	وزن العينة وهي مغمورة ومعلقة بالماء
W_s	وزن العينة وهي مشبعة بالماء



الفصل الأول المقدمة

Introduction

١-١ تعريف

الحراريات هي مواد لها قابلية العزل الحراري لدرجات حرارة مرتفعة، ولها القابلية على المحافظة على خواصها المختلفة تحت تأثير الظروف التشغيلية المختلفة، وتمتاز بدرجة تليينها المرتفعة (Softening Boiint) تصل إلى أكثر من (١٥٤٠)م.

إن أهم استعمالاتها في بناء وتبطين الأفران والمراجل التي تعمل بدرجات حرارية لا تقل عن (١٠٠٠)م كالمستعملة في صناعة المواد السيراميكية وفي صناعة الحديد الصلب والإسمنت والزلجاج، كما تستعمل في تبطين المراجل البخارية وأبراج التصفية المستعملة في الصناعات النفطية والبيتروكيماوية [١-٨].

إن الهدف من استعمال الحراريات في التبطين هو:-

أولاً:- حصر الحرارة داخل المفاعل الحراري (الفرن) والحيلولة دون تسربها إلى المحيط الخارجي.

ثانياً:- توافر ظروف عمل ملائمة تمكن العامل أو الفني من مراقبة وتتبع العمليات الصناعية داخل الفرن وذلك بجعل درجة الحرارة في السطح الخارجي للفرن لا تزيد عن (٤٠)م مهما كان مقدار درجة الحرارة داخل الفرن [٢].

ثالثاً:- الهدف الثالث هو حماية الإطار الخارجي للفرن من الانصهار والالتواء نظراً إلى أن المعدن الداخل في تركيبه هو الحديد الصلب قابل للتغيير بارتفاع درجة الحرارة [٢].

رابعاً: عدم تفاعلها الكيماوي عند درجات الحرارة المرتفعة داخل الفرن.

ولتحقيق هذه الأهداف هناك خواص لا بد من توافرها في الحراريات هي مقاومة الدرجات الحرارية العالية والمؤثرات الميكانيكية والغازات والأبخرة المتحررة داخل الفرن.

إن الظروف المختلفة المتنوعة المستعملة فيها الحراريات جعل من الضروري صناعة الحراريات بخواص مختلفة اعتماداً على المواد الأولية واختبارها بخواص معينة ثابتة وأعدادها

وتهيئتها بأشكال تلبي المتطلبات الخاصة بالمحيط الذي تستعمل فيه. وعلى سبيل المثال أن الطابوق الناري المستعمل في تبطين المواقد المنزلية غير ملائم للاستعمال في تبطين أفران الزجاج التي يتم فيها صهر الزجاج في الدرجة الحرارية (١٥٠٠)° تقريباً لذا فإن اختيار النوع الملائم له تأثير في سلامة هذه الأجهزة [٣].

لقد كان للدراسات الحديثة دور كبير بإدخال المواد الحرارية في صناعة أجزاء مهمة من المحركات النفاثة والصواريخ وسفن الفضاء حيث تكون هذه الأجزاء مصنوعة من مواد مركبة (Composite material) تدخل الحرارية في تركيبها لإعطائها مواصفات حرارية وميكانيكية وفيزيائية لا يمكن الحصول عليها من مواد أخرى [١].

٢-١ تصنيف الحرارية

Classification of Refractory Materials

١-٢-١ التصنيف المعتمد على التركيب الكيميائي

Classification Depend on Chemical Composition:-

يوضح الشكل (١-١) نموذج لتصنيف الحرارية اعتماداً على الصيغة الكيميائية، ويشمل هذا النوع على:

أ. الأنواع السليكونية: [٥، ٨]

ويحتوي نسباً عالية من أكسيد السليكون (SiO_2) زيادة على كميات مختلفة من أكسيد الألمنيوم وقليلاً من أكسيد الحديد وقليلاً جداً من أكاسيد المغنيسيوم والكالسيوم وأهمها [٥، ٦، ٨].

High Silica Bricks

١. الطابوق عالي السليكا

Silica Bricks

٢. الطابوق السليكوني

Aluminous Fire Bricks

٣- الطابوق الناري الألوميني

وتتراوح نسبة الألومينا فيه بين (١٥-٥٢%)، كما يوضح الجدول (٢-١) الأنواع المختلفة من الطابوق الناري:-

Magnesite Bricks

ب. طابوق المغنيسايت [٥]

ويحتوي نسبة عالية من أكسيد المغنيسيوم.

Chrome-Magnesite

ج. طابوق الكروم- المغنيسايت [٨]

وتتراوح نسبة أكسيد المغنيسيوم فيه بين (٥٥-٨٠%).

Silimanite Bricks

د. طابوق السليمانايت [٦]

ويحتوي نسبة عالية من أكسيد الألمنيوم.

Carabrundum Bricks

هـ. طابوق الكربونوم [٥، ٨]

ويحتوي على (٩٠%) من كربيد الكالسيوم.

D_٠-Lomite Bricks

و. الطابوق الدولوميتي [٩]

وهو خليط من أكاسيد الكالسيوم والمغنيسيوم.

جدول (١-١) تصنيف الحرارية اعتماداً على الطبيعة الكيماوية [٧]

درجة الانصهار التقريبية C°	التصنيف	المادة
١٧١٠	حامض Acid	سليكا
١٧٧٠	حامضية (Acid)	الطين
٢٠٥٠	حامضية (Acid)	الألومينا
١٨١٠	حامضية (Acid)	ميولايت
١٨٥٠	حامضية (Acid)	السليمينايت
٣٧٠٠	متعادلة (Neutral)	الكرافيت
٢٤٣٠	متعادلة (Neutral)	أكسيد الكروم
٢٧٢٠	متعادلة (Neutral)	أكسيد الزركونيوم
٢٨٠٠	متعادلة (Neutral)	أكسيد المغنيسيوم
٢٥٧٠	متعادلة (Neutral)	أكسيد الكالسيوم
١٩٢٠	متعادلة (Neutral)	أكسيد الباريوم

٢-٢-١ التصنيف المعتمد على مصادر المواد الأولية

Classification Depend on the Sources of Materials

يصنف الطابوق أيضاً اعتماداً على مصادر المواد الأولية التي يصنع منها هي:-

[٨,٤,٣]

أ. الطابوق الناري المصنوع من مواد أولية طبيعية مثل [الطابوق الطيني المغنيسي والألوميني وكذلك الكروم مغنسايت] وتحتاج هذه الصناعة إلى بعض العمليات التي تجري على هذه المواد الأولية.

ب. الطابوق الناري للاستعمالات الخاصة، (الألومينا وكاربيد الكالسيوم) وتحضر من مواد أولية محضرة صناعياً من مواد أولية طبيعية، وكما يوضح الجدول (٢-١) نموذج لهذه الأنواع.

٣-٢-١ التصنيف المعتمد على درجة حرارة التليين **Softening Point**

حيث يصنف الطابوق الناري اعتماداً على درجة التليين [٤,٣].

أ. المواد البسيطة Simple material هي التي تنصهر في درجة حرارة بين (١٧٧٠-١٥٨٠)م.

ب. الحرارية العالية (Highly Refractory) هي التي تنصهر بين (٢٠٠٠-١٧٧٠)م.

ج. الحرارية الفائقة (Super Refractory) ويستعمل للمواد التي تنصهر في درجات حرارة أعلى من (٢٠٠٠)م.

٤-٢-١ التصنيف المعتمد على طريقة التصنيع

Classification Depended on Method of Manufacture

ويشتمل هذا النوع على:- [٤,٣]

- أ. الطابوق الناري المصنوع بالطريقة اللدنة Plastic Moulding.
- ب. الطابوق الناري المصنوع بطريقة الضغط Moulding Pressing.
- ج. الطابوق الناري المصنوع بطريقة الصب Moulding by Casting.

٥-٢-١ التصنيف المعتمد على درجة المسامية

Classification on Depended on Degree of Porosity

ويشمل هذا النوع على:- [٤,٣]

١. الطابوق الناري الخفيف:- ويمتاز هذا النوع من الطابوق الناري بارتفاع مسامية إلى أكثر من ٨٥٪.
٢. الطابوق الناري العادي: حيث يمثل أغلب أنواع الحرارية وتتراوح مسامية ١٥-٢٨٪.
٣. الطابوق الناري الكثيف: يمتاز هذا النوع من الطابوق بانخفاض مسامية ٢-٥٪ حيث يستعمل في أفران إنتاج الغازات ومنصهرات المعادن الفلزية حيث يجب أن يتميز الطابوق الناري في هذه الأماكن بمقاومة عالية لنفوذ الغازات ومنصهرات المعادن الفلزية. فيتم تقليل المسامية في الطابوق الناري بشتى الطرائق مثل تشكيل الطابوق بطريقة الكبس والضغط المرتفع زيادة على استعمال مواد هيدروكربونية كمادة رابطة أثناء التشكيل، حيث تُخلف هذه المواد بعد الحرق نسبة كافية من الكربون تؤدي إلى غلق المسامات [١٠].

جدول (٢-١) الأنواع المختلفة من الطابوق الناري [٤]

أعلى درجة حرارة تستعمل عندها م	نقطة التليين		المكون الغالب	النوع
	م	رقم مخروط زيكر		
١٣٥٠-١٢٠٠	١٦٩٥-١٥٤٠	٣١-٢٠	Al ₂ O ₃ (%٣٠-٨)	الطابوق الناري واطئ الألومينا
١٤٥٠-١٣٥٠	١٧٠٠-١٦٣٠	٣٤-٣٠	Al ₂ O ₃ (%٤٤-٣٠)	الطابوق الشاموت نوع (A)
١٥٥٠-١٤٥٠	١٨٣٠-١٧٨٠	٣٧-٣٥	Al ₂ O ₃ (%٥٦-٤٤)	حراريات الألومينا
١٨٥٠-١٥٠٠	١٩٨٠-١٨٠٥	٤٢-٣٦	Al ₂ O ₃ (أكثر من %٥٦)	حراريات عالية الألومينا
١٧٠٠-١٥٠٠	١٧٣٠-١٧١٠	٣٤-٣٢	SiO ₂ (أكثر من %٩٣)	حراريات السليكات
١٨٥٠-١٥٥٠	١٩٨٠	٤٢	MgO (أكثر أو يقدر %٨٠)	الحراريات القاعدية
١٧٥٠-١٥٥٠	١٩٨٠	٤٢	MgO (%٨٠-٥٥)	١-المغنيسيا
١٧٥٠-١٥٥٠	١٩٨٠	٤٢	MgO (%٥٥-٢٥)	٢-المغنيسيا-الكرومايت
١٦٠٠-١٥٠٠	١٩٠٠	٤٠	MgO (%٥٥-٢٥) MgO (أقل أو مساو %٢٥)	٣-الكرومايت-المغنيسيا
١٨٠٠-١٥٠٠	أكثر من ١٧٠٠	أكثر من ٣٤	Cr ₂ O ₃ %٢٥ أكثر أو مساوي	الدولوميت

١-٣ أنواع الحراريات وأهم استعمالاتها

Acid Refractories

١-٣-١ الحراريات الحامضية

هي المواد التي تكون ثابتة اتجاه الحوامض ولكنها تتفاعل مع القواعد ويشتمل هذا النوع على الأنواع الآتية: [١١,٣,١]

١-٣-١-١ حراريات سليكات الألومينا Alumino-Silicate Refractory

إن الطين الناري هو المادة الخام الذي يقاوم درجات الحرارة العالية من دون أن تنصهر الأطنان النارية التي تختلف فيما بينها في نسبة الكاؤولين الذي أساسه $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ونسبة قليلة من أكاسيد أخرى مثل أكسيد الحديد والمنغنيز وأكسيد الكلس وأكسيد التيتانيوم وغيرها [٣,١].

وتقسم الأطنان النارية إلى:

أولاً: أطنان لدنة: وهذا النوع سهل التشكيل عند خلطه مع كمية قليلة من الماء وهو الذي نستعمله عادة في الداخل للتبطين ويتحمل درجات حرارة عالية.

ثانياً: الأطنان غير اللدنة: هي على شكل صخور طينية ولا تتحول إلى خليط لدن عند إضافة الماء، وبذلك يقلل خاصية اللدائية ومن أنواعها طين الفلنت Flint.

وينتج الطابوق من الطين الناري بأشكال وألوان مختلفة ما بين الأصفر والأبيض والأحمر اعتماداً على نسب الأكاسيد المكونة الداخلة في تكوين المواد الأولية أو المضافات [٣,١].

Silica Bricks

١-٣-١-٢ الطابوق السليكوني

يصنع هذا الطابوق عادة من حجر كوارتز حبيبي تسحق مادته الخام وتطحن ثم تصنف إلى أجزاء خشنة ومتوسطة وناعمة بالنخل ويصنع الخليط الناتج بأخذ نسب معينة من هذه الأجزاء ليعطي الكثافة الاكتظاظية المثالية ويضاف الماء ليعطي طيناً ذا قوام لزج ويضاف (١.٥%) تقريباً من الجير المطفى وكمية من محلول الكبريتيد القلوي وينتج الكلس، أن الغرض من محلول الكبريتيد القلوي هو إعطاء الطابوق متانة جفاف قبل الحرق ويكون الجسم ذا ليونة منخفضة جداً. يقوّل الطابوق ويجفف وفي هذه المرحلة يكون قابل للكسر وينبغي العناية به عند المرور والنقل، وتعدّ عملية الحرق عملية طويلة بالنظر إلى خطورة تعرض المادة إلى الكسر عند المرور بدرجة حرارة انقلاب كوارتز ألفا-بيتا وانقلاب كرسوبلايت-بيتا أثناء التبريد، ويغمس الطابوق أو يحتفظ به عند درجة الحرارة القصوى لبعض الوقت لضمان تحول معظمه إلى كرسوبلايت، ويُعدّ الطابوق المحروق نو متانة ميكانيكية عالية ويحتفظ بمتانة في درجة حرارة قريبة من درجة الانصهار. وليس أصل هذه المتانة من الأصرة الزجاجية ولكن أصلها

يعود إلى تشابك البلورات ويستعمل طابوق السليكا أساساً في حراريات معامل الصلب حيث تبنى به سقف الأفران المفتوحة وكذلك يستعمل في أفران فحم الكوك وسقف أفران صنع الزجاج ومن الخواص الظاهرة لهذا الطابوق هو قابليته لمقاومة الأحمال عند درجات الحرارة العالية ومقاومة تفاعل أكسيد الحديد معه ويعود انهياره عادة إلى ضعف مقاومته للصدمات الحرارية [١١,٧].

٣-١-٣-١ طابوق السليكا Silica Bricks

يحتوي طابوق السليكا الاعتيادي على حوالي % (٩٥-٩٦) SiO_2 وكذلك كميات ضئيلة من الألومينا وشوائب أخرى من أطيان مصاحبة وتزداد مقاومته للحرارة عند إزالة الشوائب، حيث تغسل الصخور المستعملة لإزالة الطين العالق مما يؤدي إلى الحصول على طابوق السليكا بقدرة وكفاءة أداء أعلى [١١].

٤-١-٣-١ حراريات الطين الناري Fireclay Refractories

تتراوح نسبة الألومينا في هذا النوع من الحراريات بين % (٣٠-٤٥) أما الباقي فهو سليكا أساساً مع كمية ضئيلة من أكسيد الحديد والكلس والمنغنيسيا والقلويات [١١,٧].

وتزداد مقاومتها للحرارة كلما زادت نسبة الألومينا ولكن بشكل عام في حدود -١٦٠٠ (١٧٥٠م^١ وحيث تعود متانة الحرق في حراريات الطين الناري إلى الأصرة الزجاجية فإنها تتحمل الثقل Load Force بصورة جيدة في درجات الحرارة العالية وأقصى درجة حرارة تشغيل لها أقل من درجة مقاومتها للحرارة [١١,٧].

يضاف الكوك (Grog) إلى الخليط كمسحوق طين حراري قبل الحرق (غالباً من الخزف الناري المشوه) وإذا ما أريد تحسين درجة مقاومتها للحرارة ينبغي إضافة بعض المواد المحتوية على الألومينا مثل البوكسايت، السليمنايت ... الخ. لزيادة نسبة الألومينا في الجسم وأن الهدف من إضافة مادة الكروك (Grog) هو فتح الكتلة اللدنة من الطين وجعل عملية التجفيف أسرع زيادة على تقليل انكماش الجفاف [٩,٧].

٥-١-٣-١ حراريات السليمينات Silimantic Refractors

وهذه تصنع من سليمينات، واندالوست (Silimantie, Andalusate)، وكلها لها صيغة $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ وإذا كانت نقية فتحتوي على % ٦١ ألومينا ودرجة انصهارها ١٨٥٠م^١ ويمكن أن تستعمل كمادة مقاومة للحرارة إلى حد حوالي ١٧٠٠م^١ [١١,٨].

٦-١-٣-١ حراريات الميولايت Mullite Refractories

إن الميولايت له الصيغة $(3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2)$ يحتوي على % ٧٢ من Al_2O_3 ودرجة مقاومته للحرارة هي (٨١٠-١٨٥٠)م^١. إن الحراريات المشكلة من هذه المواد تكون لها مقاومة جيدة للصدمات الحرارية [١١,٣].

يصنع طابوق الميولايت بصهر المادة الغنية بالالومينا مثل البوكسايت مع الطين أو رمل السليكا بنسب تعطي تركيب الميولايت، وتستهلك حراريات الميولايت كثيراً في معامل صنع الزجاج [٨].

Alumina Refractories ٧-١-٣-١ حراريات الألومينا

تحتوي هذه على % (٩٠-١٠٠) من مادة الألومينا Al_2O_3 وتصل درجة انصهارها إلى حد ٢٠٥٠م وتتراوح درجة حرارة التشغيل القصوى لها بين (١٧٠٠-١٩٠٠)م التي تعتمد على نسبة الألومينا في المحتوى [٣].

ويمكن الحصول على محتوى الألومينا في هذا المدى بإضافة الألومينا إلى المواد الغنية بالألومينا أصلاً مثل الكابينايت. أن هذه الحراريات تكون ذا مقاومة شديدة للحرارة وصلابة ومتانة ميكانيكية عالية ومقاومة للصدمات الحرارية ومقاومة للتفاعلات الكيميائية [٣].

Neutral Refractories ٢-٣-١ الحراريات المتعادلة

هي المواد التي تكون ثابتة كيميائياً اتجاه الحوامض والقواعد معاً ومن أهم أنواعها هي [١١,٧,١]

Chromatic ١-٢-٣-١ حراريات الكروماتية

هو المعدن المؤلف من أكسيد الحديد والكروم ويمكن استعماله كحاجز بين الحراريات الحامضية والقاعدية لمنع التفاعل المتبادل بينهما وتصنع هذه المواد من كروميت الحديدوز الذي يتواجد في الطبيعة ($FeO.Cr_2O_3$) يحتوي على % ٣٢ من أكسيد الحديدوز و % ٦٨ أكسيد الكروم ولكن غالباً ما يحل المغنيسيوم محل الحديد والألمنيوم والحديد محل الكروم للحصول على الكروميت كما تستعمل هذه الحراريات في تبطين أفران صهر الفلزات نظراً لمقاومتها للحرارة [٨,٧].

Chrome-Magnesite ٢-٢-٣-١ الكروم-مغنيسايت

عند إضافة كاربونات المغنيسيوم إلى خام الكروم تنتج مادة حرارية أفضل من ناحية الصدمات الحرارية من الكروميت كما أن قابلية تحملها للانتقال أفضل من كاربونات المغنيسيوم وتكون نوعية الطابوق الحراري معتمدة على كمية الكروم المضافة (كروم-مغنيسيت (نسبة الكروم < ٥٠%))

(مغنيسيت-كروم (نسبة الكروم > ٥٠%))

ومثل هذا الطابوق يملك مقاومة حرارية كبيرة ومقاومة الخبث جيدة، لكن العيب الوحيد فيه والمضر في هذا الطابوق هو التكسر والتطاير عند ملامسة أكسيد الحديد الذي يؤدي إلى تمدد المادة الحرارية وتكسرها ويستعمل كبديل عن طابوق السليكا في سقوف أفران معامل الصلب حيث يستفاد من تحملها النوعي للانتقال [٨,٤,١].

Zirconia (ZrO₂) ٣-٢-٣-١ أكسيد الزركونيوم

يوجد هذا الأوكسيد في الطبيعة على نطاق ضيق ولكن يمكن الحصول عليه عادة من سليكات الزركونيوم (Zircon) [١٣]، ولهذا الأوكسيد درجة انصهار (٢٧٠٠)م وهو رديء التوصيل للحرارة ويستعمل كمادة مقاومة لدرجات الحرارة العالية، وحيث أنه لا يبتل بالعديد من المعادن المنصهرة فإنه يستعمل لصنع البوداق المقاومة للحرارة ويطلق الفرن عادة بطبقة دقيقة من أوكسيد الزركونيوم ولا يمكن الحصول على حراريات أوكسيد الزركونيوم بصورة نقية بسبب حدوث تغير في الطور عند (١٠٠٠)م ولذا يكون أوكسيد الزركونيوم مستقر بإضافة الجير الذي ينتج بلورات لا تعاني أي تحول [٩، ١٢، ١٣].

١-٣-٢-٤ كاربيد السليكون Silicon carbide

يصنع كاربيد السليكون أو الكاربوندم بتسخين رمل السليكا وفحم الكروك وهو مادة حرارية صلبة جداً ذو قدرة تحمل ميكانيكية جيدة في درجات الحرارة العالية ومستقرة كيميائياً ونظراً لصلابته العالية فإنه يستعمل لأغراض التنعيم ولكونه مادة جيدة التوصيل للحرارة علاوة على قدرة تحمله الميكانيكية فقد أصبح مناسباً للاستعمال في الأفران والقضبان الحرارية. كما يستعمل كمادة لأقطاب التسخين للأفران الكهربائية [٣].

١-٣-٢-٥ الكرافيت Graphite

يتواجد الكرافيت طبيعياً على شكل كاربون رخو ولكنه مقاوم جيد للحرارة ويقاوم بشدة التفاعلات الكيميائية كما يبدي ميلاً للتأكسد في درجات الحرارة العالية إلى ثنائي أوكسيد الكاربون [١٢]. وهو موصل جيد للحرارة والكهربائية. وتمدده الحراري منخفض كما أن مقاومته للصدمات الحرارية جيدة ومتانة عالية وتزداد بزيادة درجة الحرارة [١١]. ولتعدد الصفات غير الاعتيادية فيه أصبح الكرافيت مؤهلاً للعديد من الاستعمالات منها في صنع البوداق والقوالب وفي مغلفات للمزدوج الحراري كما أن خصائصه الكهربائية تجعله ملائماً لإنتاج الأقطاب والفرشاة التي تستعمل في المحركات الكهربائية [١١].

١-٣-٣-٣-١ الحراريات القاعدية Base Refractories

هي المواد التي تكون ثابتة تجاه المواد القاعدية ولكنها تتفاعل مع الحوامض [٣، ١١، ١٤]

١-٣-٣-١-١ المغنيسيت (كاربون المغنيسيوم) Magnesite

المغنيسيت هو الاسم الشائع لكاربونات المغنيسيوم التي تتكون كخليط من كاربونات الدولوميت ($MgCO_3-CaCO_3$) كاربونات المغنيسيوم والكالسيوم التي تتحلل بالتسخين بدرجة حرارة أعلى ٨٠٠م إلى أوكسيد المغنيسيوم.

يُعدُّ أوكسيد المغنيسيوم المكون الرئيسي لكاربونات المغنيسيوم الحرارية كما يمكن الحصول عليه من مصادر أخرى غير الكاربونات مثلاً من معدن البروكيت (هيدروكسيد المغنيسيوم $[Mg(OH)_2]$) أو من أملاح المغنيسيوم (الكلوريدات والكبريتات) التي يمكن

الحصول عليها من ماء البحر وتتم هذه العملية بتفاعل ماء البحر الذي يحتوي على باون (MgO) لكل ١٠٠ غالون مع مصدر قلوي عادة بقاعدة كلسية لترسيب Mg(OH) من المعتاد استعمال CaO الكلس والدلوم (CaO.MgO) [١٤]

يسحق الحجر ويغسل ويذرج ويكلسن في أفران دواره عند (١٤٠٠-١٥٠٠)م لإنتاج كلس أو دولوم متفاعل

١-٣-٢ الكلس (Lime) CaO

الكلس النقي CaO تصل درجة انصهاره تقريباً إلى (٢٦٠٠)م ومقاومته العالية للخبث إلى حد ما ومع ذلك لا يستعمل كمقاوم رئيسي للحرارة وذلك بسبب القابلية العالية للهدرجة (hydration) مكوناً هيدروكسيد الكالسيوم Ca(OH) عند درجة حرارة (٢٣٥٠)م ولكن بإضافة مواد مقاومة للهدرجة يمكن إنتاج طابوق مقاوم للصهر. حيث يستعمل أكسيد الحديد لزيادة مقاومة الهدرجة أو التسخين في CO₂ لتشكيل طبقة كربونيت (Carbonate) واقية [١٤,١١].

١-٣-٣ أوكسيد البيريليوم Beryllium Oxide BeO

يمكن الحصول عليه من معدن البيريل (٣BeO.Al₂O₃.٦SiO₂) وبالنظر لمقاومته للحرارة وللتفاعلات الكيميائية ولمقاومته الجيدة للصدمات الحرارية فإنه يستعمل في تطبيقات الحرارية الخاصة ليدخل في تصنيع أجزاء الصواريخ والقذائف الموجهة والبواقي التي تستعمل لصهر المعادن. ويمكن تشكيله بالكبس الحار والكبس الجاف والصب الانزلاقي ولكن ينبغي الانتباه عند تداول هذه المادة لأنها سامة [١١,٣,١].

١-٣-٤ الدولوميت Dolomite CaMg(CO₃)₂

أغلب الدولوميت تتكون من إحلل أيونات المغنيسيوم محل الكالسيوم في الرواسب الكلسية أو الجيرية. نتيجة لملازمة المياه الغنية بأيون المغنيسيوم. هذا النوع هو الدولوميت (الثانوي) يتميز ببلوراته الخشنة، ووجود التجايف والفتحات [الناجمة من آثار تفاعل المغنيسيوم مع كربونات الكالسيوم] [١٥,١٤].

ويستعمل الدولومايت في الأفران المفتوحة وأفران معامل الصلب الأوكسجينية والأفران الكهربائية وأحواض مولدات الزجاج، كما يستعمل الدولوميت في مغارف إزالة الكبريت في مصانع صهر الحديد (cupolas) وفي القسم الأعلى للقضيبي السداد في مغارف مصانع الفولاذ حيث الخبث الأكال [١٤].

١-٤ الدراسات السابقة *Previous Studies*

تناولت دراسات وبحوث عديدة في مجال التقييم الميكانيكي والفيزيائي للحراريات في نهاية القرن الماضي ومازالت مستمرة بهدف الوصول إلى مواصفة متقدمة في الصناعة المطلوبة وستورد فيما يأتي ما متوافر لدينا في هذه الدراسات:

درس (Dinsdale, 1967) [١٦] بعض الخصائص الميكانيكية لنماذج اختبار حرارية وسيراميكية من مواد (الكاولين ورمل الزجاج أرخمة والالومينا) بهدف تحديد عدد من العوامل التكنولوجية حيث درس بعض العوامل التركيبية في المادة (كالمسامية والحجم الحبيبي) ووجد أن المقاومة الميكانيكية للنماذج الملبدة تزداد بزيادة زمن الطحن الذي يعمل على تغير الكثير من الخواص الميكانيكية مثل المتانة.

و درس (Khandelwal & Cook, 1970) [١٧] تأثير إضافة الألومينا في التركيب البلوري وخواص المنتج النهائي، والنتائج أظهرت زيادة كبيرة بالمقاومة عند استبدال الفلنت بالالومينا وزيادة محتوى الالومينا في الحراريات.

درس كل من (Glandus & Bcoh, 1984) [١٨] تأثير المسامية في الخواص الميكانيكية والفيزيائية للحراريات، ووجد أن تلك الخواص تعتمد على المسامية ولمدى واسع إذ يتناقص معامل المرونة بشكل تام تدريجياً عندما تزداد المسامية، وأن حجم المسامية عامل أكثر أهمية من كمية المسامية.

و درس (Chappell, 1986) [١٩] وجماعته تأثير حجم الحبيبات في معدلات التليد في الحراريات كما في المواد السيراميكية حيث بينوا رياضياً أن معدل التليد يعتمد على اللوغارتم الطبيعي لتوزيع حجم الحبيبات، أي أن إمكانية عملية التليد على تكوين اندماج بين الحبيبات تتناقص عند استعمال توزيع واسع لحجم الحبيبات وأن هذا التأثير يتغير بشكل مفاجئ في مرحلة متوسطة عند النمو الحبيبي.

وقام كل من (Tomizaki & Sugiyama, 1990) [٢٠] بدراسة تأثير الحجم الحبيبي في الحراريات عالية السليكا، إذ وجد أن الحجم الحبيبي للصخر السليكوني له تأثير في الخواص الميكانيكية والفيزيائية للحراريات.

و درس (النعمي، 1996) [٢١] تأثير نوعية السليكا في الصفات الميكانيكية والفيزيائية للحراريات واستعمل لذلك نموذج الرمل السليكي بثلاثة أحجام مختلفة مع الكاولين، حيث أظهرت النتائج تحسن الصفات الفيزيائية والميكانيكية كلما قل الحجم الحبيبي.

و وجد (العبيدي، 1997) [٢٢] في دراسته لتأثير الشوائب في الخواص الميكانيكية والفيزيائية للكاولين العراقي إذ حضر نماذج بعضها من الكاولين العراقي والآخر من الكاولين المضاف إليه أحد الأكاسيد (MgO , TiO_2 , SiO_2 , Al_2O_3) وبنسب وزنيه مختلفة. فقد حصل عند دراسته للخواص الفيزيائية للنماذج المحروقة عند ١٢٠٠م ووجد انخفاض قيمة الكثافة الحجمية وزيادة في المسامية الظاهرية.

ودرس (Nakahara, 1998) [٢٣] وجماعته تأثير الحجم الحبيبي للكاؤولين في عملية التلييد والخواص الفيزيائية للحراريات عالية الألومينا حيث وجدوا أن فعالية التلييد تتحسن باستعمال مسحوق كاؤولين ناعم وذلك بسبب الانتشار وتقدم التفاعل أثناء عملية الحرق، ومساحيق الكاؤولين الناعمة أعطت تناقصاً في المسامية وبذلك فإن مقاومتها تزداد.

وقد قام (R-stonis, S-Goberis, 2001) [٢٤] باستعمال مخلوط ربط يتكون من خليط من مواد مقوى بـ (high-alumina) لربط السمنت حيث استعملت لتحضير مادة عازلة حرارياً أساساً على الطين الناري.

١-٥ هدف البحث

١. تقييم الكفاءة الميكانيكية والفيزيائية لنوعين من البطانات المحضرة من مواد محلية ومشكلة محلياً لتلائم الاستخدام في الأفران الحثية.
٢. فك سر المعرفة التي تؤدي إلى اختيار البطانة الناجحة بموجب تفاصيل تحضير الخلطة الملائمة للظروف الحرارية المستخدمة لأجلها، ويتم ذلك من خلال اختيار الخلطات لظروف حرارية مختلفة ودراسة طبيعة التحول الطوري المتوقع.



الفصل الثاني الجانب النظري

Theoretical Part

٢-١ الخواص العامة للحراريات

٢-١-١ الخواص الحرارية Thermal Properties

وتشمل هذه الخواص على:

٢-١-١-٢ الثبات الحراري Thermal Stability

تميل المواد الحرارية إلى التقلص والتمدد لدى تعرضها للتسخين والتبريد أثناء الاستعمال وهذا لا يرجع إلى سلوك المادة البنائية الفيزيائي فقط وإنما يعزى إلى التغير في البنية المعدنية أيضاً نتيجة التفاعلات الكيميائية والفيزيائية وكذلك تعتمد هذه الخاصية على عدة عوامل منها نوعية المادة الأولية، التدرج الحبيبي، طريقة التشكيل والضغط المستعمل ... الخ.

وبما أن الحراريات تتعرض أثناء الاستعمال إلى درجات حرارية قد تكون بعضها أعلى من تلك الدرجات الحرارية المستعملة في مراحل الحرق (إحدى مراحل إنتاج الحراريات ذاتها) لذا ينبغي توافر مقاومة عالية لها تجاه هذه الظروف فتتعرض الحراريات إلى ما يسمى التقلص ما بعد التبريد (After contraction) وبعد التمدد (After Expansion) وهو يمثل التغير الحجمي الذي يحدث للمواد الحرارية عند تعرضها لدرجة الحرارة [٢, ٣, ٩].

٢-١-١-٢ مقاومة التغير الحراري المفاجئ Thermal Shok Resistance

تعرف هذه الخاصية بقابلية المادة الحرارية وقدرتها على استرجاع شكلها الأصلي دون حدوث تشقق أو تكسر عند تعرضها إلى تغير حراري مفاجئ.

ومن الأسباب التي تؤدي بالمادة الحرارية إلى الضعف في مقاومة التغير الحراري المفاجئ والمعاناة من التكسر والتفتت [٤, ٨, ٢٥] هي:-

١. الاختلاف في معامل التمدد الحراري لطبقات الطابوق الناري ويحدث هذا بسبب كثرة الاستعمال ومايرافقه من ظروف مثل تكون طبقة الخبث (Slagging) على سطح المادة

الحرارية، زيادة على التغيير الحاصل بالتراكيب بسبب نفوذ الغازات (المتكون من العملية الصناعية) التي تجري داخل الفرن إلى داخل المادة الحرارية المبطنة للفرن حين تحدث تفاعلات كيميائية بين هذه الغازات ومادة الجسم الحراري بوجود العامل المساعد (المادة الحرارية ذاتها) محدثة تغييراً في كثافة المادة الحرارية (الطابوق الحراري).

٢. التدرج الحراري خلال المادة الحرارية [٨].

٣. الضغط الحاصل بالبطانة الحرارية بسبب التغيير الحجمي أثناء الاستعمال (عند التعرض إلى التمدد الحراري).

٤. إجهادات أخرى ذات فعل ميكانيكي، حيث إن مهمة توافر جسم حراري متجانس ذي خواص متساوية من جميع جهاته لا يعاني إجهاداً حرارياً أو تمدداً حرارياً، تكون صعبة جداً بسبب معظم الحرارية المستعملة في التبتين لا يتوافر فيها مثل هذه المميزات المثالية، فالتركيب الأساسي للحراريات ذاتها تمتلك إجهادات ثابتة وتتزايد إجهادات الانضغاط عندما يحدث تغييراً في أبعاد المادة الحرارية خلال التعرض الحراري، وعند حدوث تمدد في المادة الحرارية تظهر في المادة إجهاد يسمى إجهاد الشد (Tensile stress) ويزداد هذا النوع من الإجهاد في التبريد وتعاني المادة تقلصاً في هذه الظروف وعندما يصل مقدار هذا الإجهاد إلى أعلى من إجهاد القص وإجهاد الشد (Tensile strength) للحراريات تتكسر المادة الحرارية [٢٦].

Softening Point

٢-١-١-٣ نقطة التليين

تختلف الحرارية والمواد السيراميكية عن المواد الفلزية والمعدنية في تفسير مفهوم الإنصهار، فالحراريات تنصهر بمدى أوسع من درجات الانصهار، والسبب في ذلك هو أن التماسك بين ذرات المواد الحرارية والسيراميكية، يتم نتيجة قوى التماسك الأيونية والتساهمية وقوى (فاندفالز) حيث تشترك هذه الأنماط من الأواصر في المكون الواحد من الحرارية ونتيجة لاختلاف قوى الترابط لهذه الأواصر فأنها فيما إذا تعرضت المادة الحرارية إلى ظروف تسخين عالية ونتيجة لذلك لا تنصهر في آن واحد كما يحصل للفلزات إنما يحصل تدرج في فعالية الانصهار معتمداً على درجة حرارة التعرض التي تعاني منها المادة الحرارية [٨،٩].

إن مصطلح مقاومة التليين يمثل قابلية المادة الحرارية على تحمل تأثير الحرارة عند تعرضها لدرجات حرارية عالية دون حدوث انصهار فيها [٢٧] حيث بعد التسخين وعند درجة حرارة تعتمد على طبيعة مكونات المادة الحرارية يبدأ الطور السائل بالتكون وبتزايد الطور السائل تتدهور المادة الحرارية نتيجة لفقدان قوى التماسك والتلاصق بين حبيباتها، أن طبيعة وكمية السائل المتكون تعتمد على [٢٨]

١. المكونات والكيميائية. ٢. المقاس الحبيبي.

٣. المسامية. ٤. سرعة الحرق.

٢-١-٢ الخواص الميكانيكية Mechanical Properties

إن الخواص الميكانيكية تشمل أنواعاً من القوى مثل متانة الانضغاط Compression strength، ومتانة الصلادة Hardness، ومتانة الصدمة Impact strength، وذلك لتحديد مدى مقاومة بطانة الأفران للفعل الميكانيكي عند درجات الحرارة العالية وفي ظروف الاستعمال المختلفة [٣].

إن هذه القوى تعتمد على عدة عوامل تحدد على أساسها القيمة النهائية لهذه الخواص مثل التركيب الداخلي، ظروف التشكيل، ودرجة حرارة المعاملة الحرارية. حيث إنّ هذه العوامل هي التي عندها يتمدد مقدار التماسك للجسم الحراري وإمكانية الحفاظ على هذا التماسك عند تغير الظروف أثناء الاستعمال [٩].

١-٢-١-٢ متانة الانضغاط Compression Strength

إن خاصية متانة الانضغاط التي تعرف على أنها مقياس لمقاومة الجسم للضغط الخارجي المسلط عليه سواء أكانت على شكل نقطة أم نقاط عدة، إذ يعد هذا الفحص قياساً شائعاً لتقييم صفة ميكانيكية مهمة للأجسام الحرارية والسيراميكية بشكل عام [٤٢].

وتتأثر متانة الانضغاط بعدد من العوامل منها:- درجة حرارة، إذ إنّ ارتفاع درجة حرارة الحرق يسبب زيادة في متانة الانضغاط ناتجة من ازدياد الكثافة، إذ يؤدي ارتفاع درجة الحرق إلى زيادة التفاعلات بين الأكاسيد المختلفة التي ينتج عنها مركبات ذات درجة انصهار واطنة تسبب زيادة الطور الزجاجي السائل الذي يؤدي إلى زيادة الكثافة وخفض المسامية وتزداد بشكل عام متانة الانضغاط أيضاً بزيادة ضغط التشكيل عند الكبس وهذا يرجع إلى زيادة رص الحبيبات واقتربها من بعضها البعض فتقل بذلك المسامية وتصبح عملية التليد والنمو الحبيبي أسهل وأسرع. وكذلك فإنّ زيادة زمن الإنضاج يزيد من متانة الانضغاط نتيجة لزيادة الكثافة [٢٠، ٢١]. وتتأثر مقاومة الانضغاط بمقدار المسامية حيث تتناسب معها تناسباً عكسياً [٢٩، ٣٠، ٤٢].

وتقاس متانة الانضغاط بعدة طرائق منها ما يسمى بمتانة السحق البارد (cold crushing strength) [٢٢] ويمكن الحصول على متانة الانضغاط من المعادلة التالية:

$$S = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(1-2)$$

حيث إنّ

(S) MPa متانة الجهد البارد بـ .

(F) أعلى قوة لحصول فشل في النموذج بـ N.

A مساحة مقطع العينة بـ mm².

Physical Properties ٣-١-٢ الخواص الفيزيائية

١-٣-١-٢ التوزيع الحجمي للحبيبات Particle Size Distribution

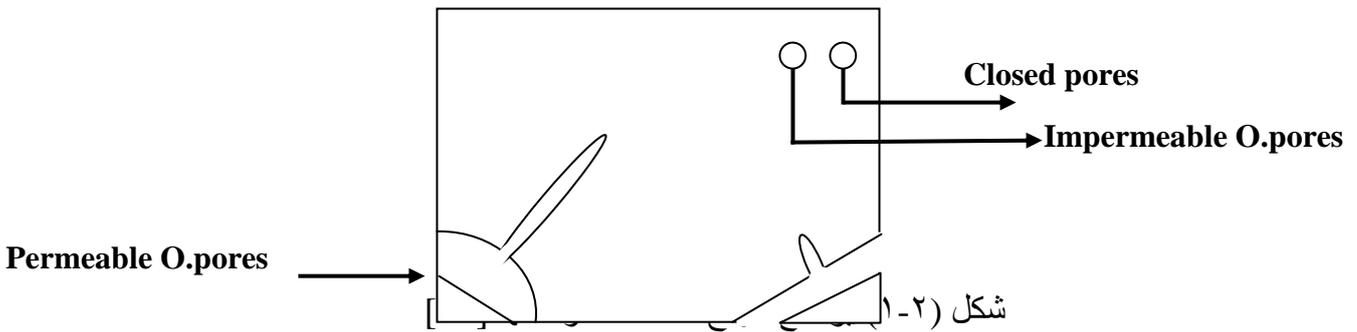
يعد الحجم الحبيبي للمواد الأولية المستعملة في الصناعات الحرارية من العوامل المهمة لتأثيره على خواص المنتج النهائي. فالجسيم الحبيبي دور كبير في عملية التكتيف والتلييد يتناسب معها تناسباً عكسياً، كما إنه يتحكم بعملية التحول إلى المولايات أثناء عملية التلييد.

إن التفاعلات أثناء عملية التلييد تتناسب طردياً مع المساحة السطحية للحبيبات فكما كانت الحبيبة بحجم حبيبي أصغر كلما كانت المساحة السطحية كبيرة ومن ثم تزيد من عملية الاندماج والتلييد وتؤدي إلى زيادة معدلات التحولات الطورية مسببة انخفاض المدة اللازمة للإنضاج [٣٧-٣٢].

ولحجم الحبيبة تأثير في المسامية وعملية التمدد الحجمي والخطي وكذلك التقلصات وامتصاصية الماء وكذلك يؤثر في معامل المرونة للمنتج النهائي [٣٨,٣٧,٣٦].

٢-٣-١-٢ المسامية Porosity

تعرف المسامية بأنها النسبة بين حجم التركيب المسامي أو الفواصل في المادة إلى حجم كتلتها، ويعبر عنها بصورة بالنسبة المئوية [٣٩]. وأن الحرارية تمتلك نوعين من المسامية هما المسامية الظاهرية (Apparent Porosity) والمسامية الحقيقية (True Pores) وهي مجموع المسامية المفتوحة (Open Porosity) والمسامية المغلقة (sealed pores). وفي حالة المسامية العالية فإن كل المسامات تكون مفتوحة لذلك فلا يوجد اختلاف بين المسامية الحقيقية والظاهرية [٤١,٣٦]. وهناك نوعان من المسامات المفتوحة هي المسامات المفتوحة غير المنفصلة (Permeable open pores) والمسامات المفتوحة المنفصلة (Impermeable open pores) كما في الشكل (١-٢).



يقصد بالمسامية الظاهرية بأنها نسبة احتواء الجسم الحراري من المسامات المفتوحة إلى الحجم الكلي، وهناك عدة عوامل تؤثر في المسامية مثل: [٤٢,٣].

١. المقاس الحبيبي وشكل الحبيبات.
٢. التدرج الحبيبي وطريقة التشكيل.

٣. ضغط التشكيل وكمية المادة الرابطة.

٤. درجة حرارة الحرق وزمن الإنضاج.

كما أن هناك خواص كثيرة تعتمد على شكل المسامات في الحراريات كما في المواد السيراميكية أهمها التوصيلية الحرارية وبعض الخواص الميكانيكية.

٣-٣-١-٢ الكثافة Density

نعرف الكثافة بشكل عام بأنها النسبة بين كتلة الجسم إلى حجمه.

وهناك ثلاثة مفاهيم للكثافة معتمداً بذلك على نوع وطبيعة المسامات [٤٤,٤٣,٤٢].

١. الكثافة الحقيقية (True Density): وهي النسبة بين الكتلة والحجم الحقيقي أي المادة الفعلية من دون مسامات.

٢. الكثافة الحجمية (Bulk Density): وهي النسبة بين الكتلة والحجم الكلي الذي يتضمن المادة الفعلية والمسامات المفتوحة والمغلقة.

٣. الكثافة الظاهرية (Apparent Density): وهي النسبة بين الكتلة والحجم الظاهري الذي يتضمن المادة الفعلية والمسامات المغلقة. تتأثر الكثافة بعوامل عدة منها الحجم الحبيبي ودرجة حرارة الحرق وطريقة التشكيل والضغط المسلط ومعدل التسخين وزمن الإنضاج [٤٦,٤٥].

٤-٣-١-٢ امتصاصية الماء Water Absorption

تعرف امتصاصية الماء بأنها كمية أو وزن الماء الممتص من قبل المادة بدرجة حرارية (١٠٠)م، ويعبر عنها بالنسبة المئوية لوزن المادة في الحالة الجافة [٤٧,٣٩]، وتحدد امتصاصية الماء نوع المنتج فإذا كانت امتصاصية الماء للمنتج أقل من ١٪ فهو منتج مزجج (Vitreous) أما إذا كانت أعلى من ١٪ فهو منتج مسامي (Porous)، وتعتمد الامتصاصية على مقدار المسامية حيث تتناسب معها تناسباً طردياً [٤٩,٤٨,٢٠].

ولحساب كل من الكثافة والمسامية وامتصاصية الماء للحراريات كما للمواد السيراميكية نطبق طريقة أرخميدس [٥٠,٤٨] حيث يوضع النموذج داخل ماء مغلي ولمدة (١hr) ومن ثم يترك مغموراً بالماء لمدة [٢٤hr] بعدها يسجل وزن النموذج وهو معلق داخل الماء ومن ثم يخرج النموذج ويمسح بقطعة قماش ويسجل وزنه مرة أخرى ولهذين الوزنين ووزن النموذج وهو جاف ارتباط بعلاقات رياضية لإيجاد قيم الكثافة وامتصاصية الماء وهذه العلاقات هي [٥١,٥٠].

$$B.D = W_d / (W_s - W_i) \dots \dots \dots (2-2)$$

$$A.D = W_d / (W_d - W_i) \dots \dots \dots (3-2)$$

$$A.P\% = [(W_s - W_d) / (W_s - W_i)] \times 100\% \dots \dots \dots (4-2)$$

$$W.A\% = [(W_s - W_d) / W_d] \times 100\% \dots \dots \dots (5-2)$$

إذ إنَّ W_d = وزن العينة وهي جافة gm.

W_s = وزن العينة وهي مشبعة بالماء gm.

W_i = وزن العينة وهي مغمورة ومعلقة بالماء gm.

$B.D$ = الكثافة الحجمية gm/cm^3 .

$A.D$ = الكثافة الظاهرية gm/cm^3 .

$A.P$ = المسامية الظاهرية %.

$W.A$ = امتصاصية الماء %.

أما بالنسبة للكثافة الحقيقية فتحسب من وضع العينة في خلية قياسية معلومة الحجم ملحقة مع جهاز قياس الكثافة الحقيقية وتوضع الخلية في حجرة صغيرة وتغلق بإحكام، ومن ثم يتم تصغير الشاشة الدقيقة وإدخال حجم معين من الغاز المذكور إلى الغرفة القياسية عند ضغط مقداره (P_1) يحدد من خلال الشاشة الرقمية، ويحول الغاز إلى الحجرة التي تحتوي على النموذج وملاحظة التغير الحاصل في الضغط (P_2) وتستعمل العلاقة الآتية [٤٤].

$$V_p = V_c - V_R [(P_1 / P_2) - 1] \dots \dots \dots (6-2)$$

حيث إنَّ:-

V_p = الحجم الحقيقي للنموذج cm^3 .

V_c = حجم الخلية القياسي ($12.57 cm^3$).

V_R = حجم المصدر القياسي ($0.4 cm^3$).

P_1, P_2 = ضغط غاز الهيليوم (Mbar).

يتم حساب الكثافة الحقيقية بتطبيق العلاقة [٣٢].

$$T.D(P_{sample}) = M_{sample} / V_p \dots \dots \dots (7-2)$$

إذ إنَّ:-

$T.D$ = الكثافة الحقيقية للنموذج gm/cm^3 .

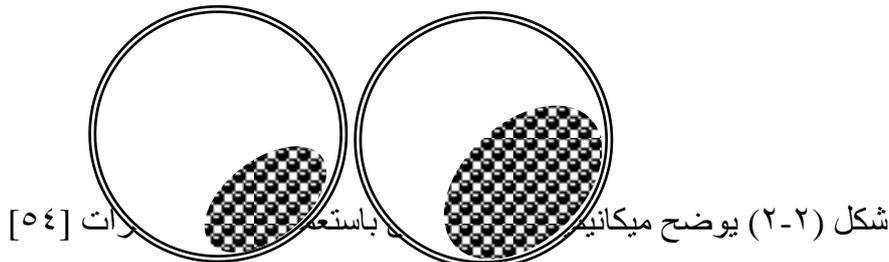
M = وزن النموذج بال gm.

٢-٢ المفاهيم النظرية للتشكيل

تعرف عملية الطحن بأنها تقليل الحجم الحبيبي بواسطة قوى ميكانيكية لها دورٌ أساسي في الحصول على توزيع حجم حبيبي مناسب للمنتج [٤٢]. وتأتي هذه بعد عملية التكسير (Crushing process) ويجب أن تكون عملية الطحن تامة للحصول على أصغر حجم حبيبي [٥٢].

هنالك العديد من وسائل الطحن فمنها على سبيل المثال الطحن بالقضبان (rad mill)، الطحن بالكرات (ball mill)، والساحنة القرصية، والطحن بالمطرقة ... الخ. إنّ عملية الطحن بالكرات (Ball mill) هي الأكثر استعمالاً لسهولة العمل بها، وطواحين الكرات هي عبارة عن أواني (حاويات) اسطوانية الشكل تدور بشكل أفقي بواسطة قضيبين اسطوانيين يدوران بواسطة محرك كهربائي، وتكون الحاوية ذات بنية متميزة وتصنع من مواد معدنية أو سيراميكية وتكون مبطنة بالكوارتز أو مؤلفة من أكسيد الألمنيوم النقي أو أجسام سيراميكية ذات محتوى عالٍ من الألومينا يصل لأكثر من ٨٥٪ وأن كرات الألومينا ذات فعالية جيدة للطحن بسبب كثافتها العالية إذ إنّ وزنها النوعي (٣.٦-٣.٣) فتولد صدمة قوية، وهذا يؤدي إلى تقليل الوقت اللازم للطحن ومن ثم زيادة إنتاج الطحن بشكل هائل. هذا علاوة على أن كرات الألومينا تكون ذات مقاومة عالية للاحتكاك وذات صلادة كافية، وهي أيضاً نقية تمنع التلوث وطويلة العمر وكل هذه الخواص تجعل من كرات الألومينا اقتصادية بالرغم من غلاء ثمنها [٥٣، ٥٤].

وللحصول على فعالية عالية ونتاج أفضل للطحن لابد من اختيار حجم حاوية مناسب مع حجم المادة المراد طحنها وكذلك حجم وعدد كرات الطحن وسرعة الطحن [٥٣]. إنّ ميكانيكية الطحن تتم من حركة سقوط الكرات على المادة المراد طحنها التي تنتج من دورات الحاوية وكما هو موضح في الشكل (٢-٢) [٥٤].



وهناك عوامل عديدة تؤثر بشكل مباشر في عملية الطحن وهي [٥٤]:

١. نوع بطانة الطاحونة.
٢. نوع وحجم الكرات.
٣. سرعة الطحن.
٤. حجم الحبيبات للمادة المراد طحنها.

٥. تركيب وصلادة المادة المراد طحنها.

كذلك من العوامل المهمة التي يجب الأخذ بها عند الطحن هي مدة الطحن للوصول إلى الحجم الحبيبي المطلوب [٥٤] ومعدل التلوث أثناء الطحن. أن تأثير مدة الطحن في الحجم الحبيبي يؤثر على قيمة المساحة السطحية إذ عندما ينعم المسحوق يقابل زيادة في المساحة السطحية للمسحوق [٥٦,٥٥].

Sieving Process

٢-٢-٢ عملية النخل

تعرف هذه العملية على أنها معرفة قياس حجم الحبيبات المكونة للمواد أو أنها عملية التصنيف الحجمي. إذ تستعمل تقنية النخل للسيطرة على مدى حجم الحبيبة [٤٤,٣٦].

وأن الحجم الحبيبي للمساحيق له تأثير كبير في تحديد خواص المنتجات الحرارية لأنه يؤثر في المساحة السطحية للتلامس بين الحبيبات التي تعد عاملاً مهماً في التفاعلات الكيميائية وعملية التليد فوجود الدقائق الصغيرة والدقائق الكبيرة التي تملئ الفراغات سوف تعطي جسماً مكبوساً ذا كثافة عالية وذا مسامية قليلة [٤٢].

Mixing Process

٣-٢-٢ عملية الخلط

عملية الخلط هي عبارة عن خلط المواد الخام المختلفة بنسب ودرجة نعومة معينة، وإنتاج خليط يحتوي على نسبة من الماء والقوام المطلوبين. ويُعدُّ الخلط مرحلة مهمة من مراحل التصنيع وذلك كي تتجانس المواد الخشنة والمتوسطة والناعمة بشكل جيد وبنسب معينة لتتحد معطية الجسم الخواص الفيزيائية والميكانيكية الضرورية [٥٧].

وهناك العديد من طرائق الخلط منها الخلط الجاف (Dry Mixing) والخلط البلاستيكي (Plastic Mixing) والخلط الانزلاقي (Slip Mixing) [٥٧]. كما وتوجد أنواع من الخلاطات منها الخلاطات القلابية (Puddle Mixer) والخلاطات ذات الأرياش (Bloude Type Mixer) والخلاطات الأنبوبية (Tube Mixer). ويفضل استعمال سرع دوران منخفضة للخلط وذلك لمنع انفصال الحبيبات المنخفضة الكثافة بسبب قوة الطرد المركزي. هذا وبالإمكان استعمال طواحين الكرات كوسيلة للخلط [٥٣,١٠].

٤-٢-٢ ماء التشكيل وتأثيره في العجينة السيراميكية

تتطلب صناعة المواد الحرارية كصناعة الطابوق، والحراريات وغيرها إضافة الماء إلى الطين لتسهيل عملية تشكيلها. ولكل نوع طين حد معين من كمية الماء المضافة إذا زادت عن هذا الحد تصبح العجينة أقرب إلى الحالة السائلة ويصعب تشكيلها علاوة على ظهور مشاكل التجفيف والحرق، حيث تحتاج هذه العمليات إلى طاقة إضافية لتبخّر الماء أثناء التجفيف. أما إذا قلت كمية الماء المضافة تصبح المادة ضعيفة التشكيل غير متماسكة. أما إذا أضيف الماء ضمن

الحدود المسموح بها لهذا النوع من الطين فنحصل على لدونة جيدة (Plasticity) وتوجد عدة تعاريف لمفهوم اللدونة في علم السيراميك ومن الممكن تعريف اللدونة بأنها قابلية المادة الصلبة على التفاعل مع القوى الخارجية المؤثرة فيها بحيث يبقى التغيير الحاصل في شكل المادة ثابتاً شرط أن لا تكون هذه التغييرات مصحوبة بتشققات [١١].

٥-٢-٢ عملية الكبس Pressing Process

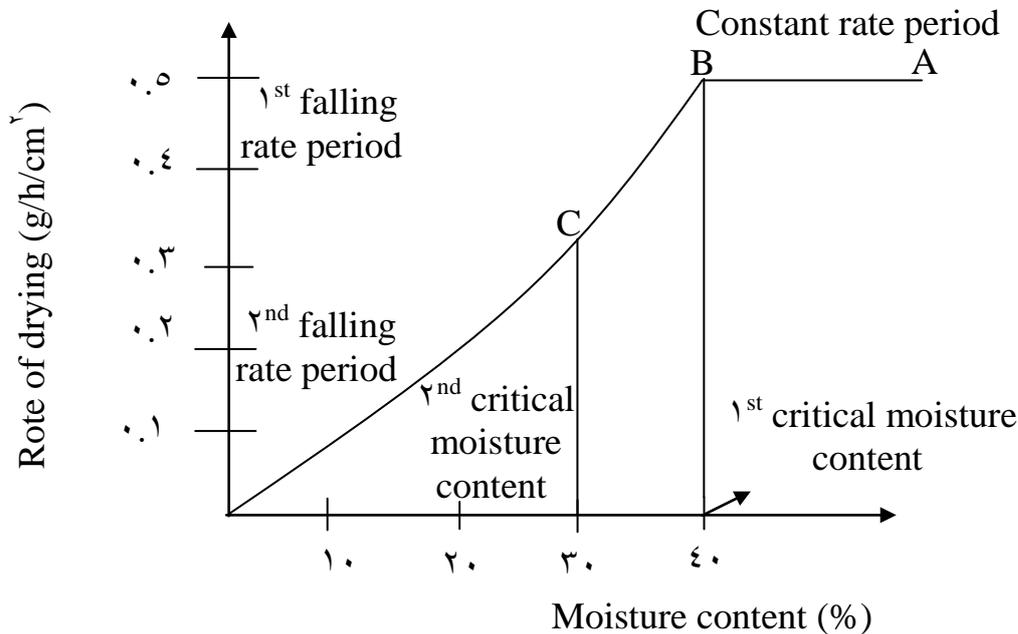
يقصد بعملية الكبس هي عملية تصنيع الأجسام الحرارية والسيراميكية بشكل وأبعاد معينين، وهناك عدة طرائق لتحضير نماذج الطابوق الناري من أهمها، [٨،٩]

١. الطريقة اللدنة Plastic method.
٢. الطريقة شبه الجافة semi-dry pressing method.
٣. طريقة الكبس الجاف Dry pressing method.
٤. طريقة الصب الانزلاقي Slip casting method.

وتختلف هذه الطرائق بعضها عن بعض بمقدار نسب المادة الرابطة ومقدار الماء المضاف [٨]. إنَّ عملية الكبس مهمة لأنها تحدد مقدار رص الحبيبات المسؤولة عن الخواص الميكانيكية والفيزيائية [٣٦،٥٣].

٦-٢-٢ التجفيف Drying Process

يعرف على أنه معاملة الأجسام الرطبة حرارياً ولمدة زمنية معينة وفي درجات حرارة تتراوح بين (٥٠-١٠٥)م وبموجب نوع المادة الأولية ونسبة الرطوبة فيها، بحيث لا تتعدى نسبة الرطوبة في النماذج المجففة (٢-٢٥٪) من الرطوبة الابتدائية [١١]. ويوضح الشكل (٢-٣) العلاقة بين معدل التجفيف ونسبة المحتوى الرطوبي [٤٢،٥٨].



شكل (٢-٣) العلاقة بين معدل التجفيف ونسبة المحتوى الرطوبي [٥٨,٤٢]

في هذا المنحني ثلاث فترات يمكن تمييزها الأولى:- فترة المعدل الثابت Constant rate period الذي يكون معدل التجفيف فيه غير معتمد على المحتوى الرطوبي، والثانية هي فترة المعدل-المنخفض الأولى First filling-rate period الذي يكون معدل التجفيف فيه دالة خطية بالنسبة للمحتوى الرطوبي، والثالثة فترة المعدل المنخفض الثانية Second Filling period الذي يمثل خطأً منحنيًا بين معدل التجفيف والمحتوى الرطوبي الحرج الأول والثاني على الترتيب. يحدث التجفيف على مرحلتين، إذ يتم في المرحلة الأولى فقدان الماء الموجود في المسامات فينتقل الماء من خلال المسامات إلى سطح الحبيبات ليحل محل الماء الذي يتبخر من السطح وتتميز هذه المرحلة بعدم حدوث التشوهات (الانكماش) فيها ويحل الهواء محل الماء الموجود في المسامات الشعرية. أما في المرحلة الثانية ففيها يفقد الماء المشكل للطبقة العازلة بين دقائق الطين [٥٩]

٧-٢-٢ عملية التلييد Sintering Process

تعرف هذه العملية على أنها المعاملة الحرارية التي تجري على مساحيق المواد البلورية أو غير البلورية لتحويلها إلى مادة متماسكة واكتسابها خاصية مقاومة الانضغاط [٦٠,٤٢]، ومن الظواهر التي تحصل في أثناء مرحلة التلييد، التقلص والنمو الحبيبي وتقلص المسامات [٣٣]، إن لعملية التلييد أهمية كبيرة في تأثيرها على خواص المنتج كالمتانة والتوصيلية الحرارية ... الخ فمثلاً المواد الحرارية تزداد مقاومتها الميكانيكية بعد عملية التلييد [٤٨].

إن القوة الدافعة للتلييد مصدرها الطاقة السطحية الزائدة التي تمتلكها المادة المكبوسة والنتيجة من تقسيم المادة على عدة أجزاء، وهذا يبين أن قيمة الطاقة السطحية الزائدة تتناسب عكسياً مع حجم الحبيبات [٦١].

إن عملية التلييد تحدث بثلاث مراحل: [٤٨,٣٦]

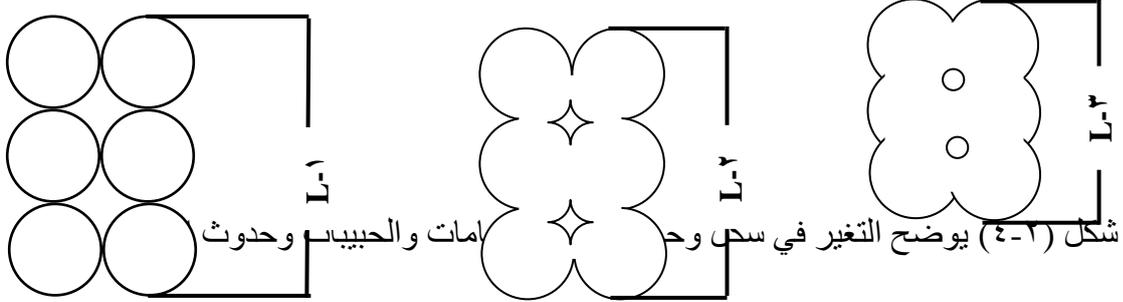
١. المرحلة الابتدائية: وهي بداية عملية التلييد إذ يتغير شكل المسامة فتصبح على شكل قنوات أو كرات معزولة وهذا بسبب تكون الأعناق (Necks) على نقطة تماس الحبيبات، وليس من الضروري تغير حجمها، وبعدها يصبح المسام أكثر كروية في الشكل وأصغر في الحجم باستمرار عملية التلييد وتبقى الحبيبات المختلفة مميزة.

٢. المرحلة المتوسطة: وفي هذه المرحلة تنتسج الأعناق ويتكون تركيب له ثقب متواصلة.

٣. المرحلة النهائية: خلال هذه المحلة تنعزل الثقوب ويتلاشى الاتصال بين الثقوب مما يؤدي إلى نهاية الانتقال عن طريق السطح أو التبخر. كما أن التحام الحبيبات والنمو الحبيبي يؤديان إلى تناقص الطاقة السطحية.

ويوضح الشكل (٤-٢) التغييرات الحاصلة في شكل وحجم كل من المسامات والحبيبات

[٤٨]



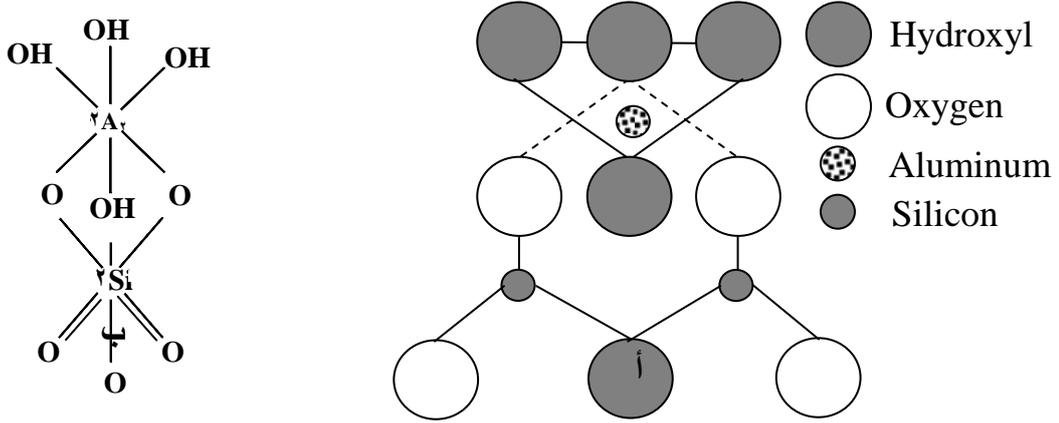
إن السبب الرئيسي لحدوث التلييد يعود إلى التركيب الأساس للبلورة حيث إن الذرات على سطح المادة لها طاقة أعلى من تلك التي في كتلة المادة لأنها ترتبط من جهة واحدة بالذرات الأخرى ولذلك تكون في حالة غير متوازنة وكلما كانت المساحة السطحية للمسحوق أكبر تكون النسبة بين الذرات إلى الذرات في كتلة المادة أكبر وبذلك تكون الطاقة السطحية للمسحوق أكبر وبعد عملية الحرق تنخفض هذه المساحة بشكل كبير وعليه تنخفض الطاقة السطحية. إن هذا الانخفاض في الطاقة هو القوة الدافعة لعملية التلييد [٤٢, ٦٢].

٢-٣ المواد الأولية

١-٣-٢ الكاؤولين:

هو سليكات الألمنيوم المائية ورمزه الكيميائي $[Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O]$ ويُعدُّ أكثر المواد أهمية واستعمال في صناعة الطابوق الحراري. إذ توجد خاماته في مناطق مختلفة داخل القطر وتعد منطقة دويخلة من الأماكن التي يوجد فيها هذا الخام بشكل كبير [٦٤, ٦٣].

يمتاز الكاؤولين، من بين المعادن الطينية، بمقاومته الكيميائية ومقاومته للحرارة الناتجة من طبيعة التركيب الداخلي له [٦٥] فيتكون تركيب الكاؤولين من اتحاد أو تكثيف طبقتين تعرف الأولى بطبقة السليكا وتتكون من ذرة السليكون محاطة بأربع ذرات أوكسجين. أما الطبقة الثانية فتمثل هيدروكسيد الألمنيوم ويتكون الهيكل البنائي لهذه الطبقة من ذرة الألمنيوم محاطة بست مجموعات هيدروكسيل [٦٦, ٤٣, ٣٦] كما مبين في الشكل [٦٧, ٤٢].



شكل (٢-٥) رسم تخطيطي لتركيب طبقات الكاؤولين

- أ. الجزء الأعلى يتضمن $AlO_2(OH)_4$ والجزء الأسفل يتضمن (SiO_4) .
 ب. الترتيب بين الـ (Cations) و (Anions) في الطبقات [٦٧, ٤٢].

يُعدُّ السليكا من المواد الأولية غير اللدنة (Non-Plastic Raw Material) المستعملة في صناعة الحراريات. ويستعمل في صناعة الحراريات لتخفيض لدونة الأطيان وتقليل من تقلص هذه المواد ولوجود فراغات بين الحبيبات تسهل خروج الغازات المتحررة من داخل المواد أثناء عملية الحرق التي تؤدي إلى المحافظة على المنتج من التشققات المتأتية من خروج هذه الغازات. كما أنها تتحد مع الأكاسيد القاعدية المتواجدة في المواد الأولية أثناء عملية الحرق مكونة جزءاً زجاجياً مما يكسب المنتج القوة والصلابة [١، ٦٦].

ويُعدُّ الفلنت من أهم صور السليكا. وهو ما يسمى بالكوارتز المطحون ويستعمل في صناعة الفخاريات والحراريات. عند حرق الفلنت فإن ماء الربط يندفع عند (٤٠٠)م مسبباً فقدان مقاومته ويصبح سهل التفتت، وفي النهاية عند (١١٠٠)م يتحول الكوارتز إلى كرسستوبلايت [٥٤، ٦٥].

يُعدُّ أكسيد الالومينا Al_2O_3 من أكثر الأكاسيد الحرارية النقية استعمالاً وذلك بسبب مقاومتها الشديدة للحرارة ومتانتها الميكانيكية ومقاومتها للصدمات الحرارية [١]. حيث يعمل أكسيد الالومينا على إيجاد حالة وسط بين السليكا وثاني أكسيد الكالسيوم ويساعد على تحسين خواص الحراريات الميكانيكية والكيميائية [٥٨]. وتتراوح درجة حرارة التشغيل القصوى لها بين (١٧٠٠-١٩٠٠)م التي تعتمد على صيغة الالومينا [٣].

يصنع كاربيد السليكون من تسخين السليكا وفحم الكوك وهو مادة صلبة جداً وذو قدرة تحمل ميكانيكية فائقة في درجات الحرارة العالية فإنه يستعمل لأغراض التنعيم وذو قدرة تحمل ميكانيكية عالية لذلك يستعمل في الأفران [١].

تحضر من حرق مادتي الالومينا وكاربونات الكالسيوم بدرجات حرارية عالية بنسبة ٤٧% Al_2O_3 و ٥٣% أكسيد الكالسيوم وبظروف معاملة حرارية (١٤٥٠)م.

مادة تحضر لأغراض ملء المسامات المتكونة داخل بعض البطانات التي يفضل أن تكون ذات مسامية واطئة جداً ومكوناتها معروضة بالجدول (٢-١) وقد استعملت في تحضير

البطانات المعروضة المدروسة خواصها الميكانيكية في هذا البحث، لقد حضرت مادة مانع الاحتراق طبقاً للمواصفة الأمريكية (١٩٦٥) ٣,١٦٤,٤٨٣ U.S patent.

جدول (١-٢) مكونات مادة مانع الاحتراق

رقم المادة	Material	wt %
١.	Calcined flint clay coarse	٦٠
٢.	Calcined flint clay 60% < 50 μ m	٥
٣.	Calcium aluminate cement	١٨
٤.	Ball clay	٢
٥.	Silicon carbide	١٥
٦.	Water	١٢



الفصل الثالث الجانب العملي

Practical Part

٣-١ تحضير النماذج

تستعمل في الأفران الحثية عدة أنواع من البطانات لإنجاز عملية التبطين للتشغيلة الواحدة، ومن أهم هذه الأنواع ما يسمى تجارياً بـ

١. Kellundite – ٣٦٧D.

٢. Harmix – Cu.

ولكونها مواد استيرادية ولتوافر المواد الأولية محلياً (التي تشكل الأساس في تصنيعها) فقد أنجزت بالاعتماد على البدائل المحلية وقد تركز الجهد البحثي في دراسة الخواص الميكانيكية والفيزيائية للبطانات المحضرة باستعمال البدائل المحلية من خلال تحضير مكبوسات من هذه الخلطات ومعالجتها حرارياً ومن ثم دراسة الخواص المطلوبة لها.

تم تشكيل مكبوسات من هذه الخلطات حيث تم توصيف العمل من خلال تعريفه للمجموعتين M_1 و M_2 وكل مجموعة تحتوي على المادة المستوردة مع سبع خلطات مختلفة بالنسب الوزنية للأكاسيد المستعملة.

أجريت عملية التشكيل باستعمال مكبس كهربائي نوع (Rexroth Hydronorma) ألماني الصنع، وقد تم تحديد أفضل قوة للتشكيل وهي ٧٠MPa ولزمن كبس مقداره ١ min.

تم تجفيف النماذج في مجفف كهربائي نوع (Memmert) ألماني الصنع، حرقت النماذج لدرجات حرارية (١٤٥٠، ١٤٠٠، ١٣٥٠)م في فرن كهربائي مبرمج نوع (Naber Therm) لمعدل ارتفاع في درجة الحرارة مقداره ٥ درجة/دقيقة وزمن حرق عند الدرجة الحرارية المختارة وهو ٢hr.

يوضح الجدولين (١-٣) و (٢-٣) نسب الأكاسيد لمكونات المجموعتين M_1 و M_2 على التوالي بموجب الحسابات التحويلية.

جدول (١-٣) نسب الأكاسيد لمكونات المجموعة M_١ بموجب الحسابات التحويلية

المجموعة M _١							
	AL _٢ O _٣	SiO _٢	Sic	CaO	Fe _٢ O _٣	TiO _٢	MgO
A.	٨٤.٣	١.٢	٨.٩	٢.٨	٠.٣	١.٨	٠.٧
A _١	٨٥.٥٩	١٠.٣٧	٢.٤	١.٧٧	٠.٠٥٠	٠.٠٤	٠.٤
A _٢	٧٠.٩١	٢١.٣	٤.٨	١.٧٧	٠.٠٨	٠.٠٧	٠.٧
A _٣	٧٠.٩٦	٢٣.٢	٣.٢	١.٣	٠.٢٥	٠.٠٥٧	٠.٢
A _٤	٧٤	١١.١٨	١٠.٤	٢	٠.٢	٠.٠٤	٠.٨
A _٥	٧١	١٤	١٠.١	٤.١	٠.٠٥	٠.٠٤	٠.٠٣
A _٦	٦٩.٦٢	١٥.٣٤	١٠.٣	٣.٥٣	٠.٠٢٥	٠.٠٠٢	٠.٠٢
A _٧	٦٧.٨	١٥.٣٢	١٠.٣	٥.٦	٠.٠٦	٠.٠٠٥	٠.٠٥

جدول (٢-٣) نسب الأكاسيد لمكونات المجموعة M_٢ بموجب الحسابات التحويلية

المجموعة M _٢							
	AL _٢ O _٣	SiO _٢	Sic	CaO	Fe _٢ O _٣	TiO _٢	MgO
B.*	٨٣.٤	٠.٨٦٤	٠.٨٤	٠.٨٦	١.٦	٢.٧	٠.١
B _١	٧٤.٢٦	١١.٤٤	٩.٩٦	٣.٤	٠.٠٢٦	٠.٠٠٦٨	٠.٠٢
B _٢	٧٤.٢٦	١١.٤٤	٩.٩٦	٣.٤	٠.٠٢٦	٠.٠٠٦٨	٠.٠٢
B _٣	٧٠.٩	٢٣.٥	٣	١.٤	٠.٠٣	٠.٠٦	٠.٠٢
B _٤	٧١.١٧	١٤.٠٣	١٠.٢	٣.٥	٠.٠٢٥	٠.٠٠٢٥	٠.٠٢
B _٥	٦٨.٢	٢٣.٩	٣.٣	١.٥	٠.٢٣	٠.٠٢	٠.٢
B _٦	٦٩.٢٩	٢٤.٧	٢.٥	٢.٤١	٠.٢٨	٠.٢٤	٠.٠٣
B _٧	٧٦.٧	١٥.٢	٢.٩	٣.٥	٠.٠٦	٠.٠١	٠.٠٥

* هذه النسب تمثل ١٠٠٪ من الخلطة الأساسية (بحسب المواصفة) [٦٨] يضاف إليها ١٦٪ من مادة مانع الاحتراق التي تُعد معرفتها سراً خاصاً بالشركة، وإذا احتسب مانع الاحتراق المعتمد فتكون النسب كما يأتي:

	AL _٢ O _٣	SiO _٢	Sic	CaO	Fe _٢ O _٣	TiO _٢	MgO
B.	٧١.٥	٢٠.٦٥	٢.٤	١.٦٨	١.٤	٢.٣	Trace

Measurements

٢-٣ القياسات

٣-٢-١ القياسات الميكانيكية Mechanical Measurements

إن المعيار المعتمد لمطابقة المواصفة لتبطين الأفران هو فحص ما يسمى ب متانة الجهد البارد (Cold crushing strength) من حيث الفحص الميكانيكي ولذا اعتمد في هذا البحث وفق المواصفة العالمية [٣١].

اعتمد هذا المعيار في حساب متانة الانضغاط لكافة خلطات المجموعتين M_1 , M_2 ، فقد استعمل جهاز نوع (Material Testing unit System) ألماني الصنع. وأجري الفحص لثلاثة نماذج لكل خلطة من المجموعتين وأخذ المعدل للقياسات، أن النتائج التي تم الحصول عليها معروضة في الجدولين (٣-٣) و (٤-٣) للمجموعتين M_1 و M_2 على التوالي.

٣-٢-٢ القياسات الفيزيائية

قياس الكثافة والمسامية وامتصاصية الماء

Measurement of Density, Porosity and water Absorption

تم استعمال طريقة أرخميدس في هذا القياس [٤٢,٣٧] فقد تم قياس كتلة النماذج المحروقة بميزان نوع (METTLER-AE ٢٠٠) إنكليزي الصنع ولحساسية قياس (٠.٠٠٠١) gm وبعد ذلك طبقت العلاقات من (٢-٢) إلى (٥-٢) لحساب الكثافة الحجمية والظاهرية وامتصاصية الماء والمسامية الظاهرية، وبعد ذلك تم فحص النماذج لفحص الكثافة الحقيقية باستعمال جهاز (multi-Pyconometer) ومن ثم طبقت العلاقات من (٦-٢) إلى (٨-٢) لحساب الكثافة الحقيقية والجدولين (٥-٣) و (٦-٣) يوضحان نتائج القياسات الفيزيائية للمجموعتين M_1 و M_2 على التوالي.

جدول (٣-٣) نتائج قياس متانة الانضغاط للمجموعة M_١

Map معدل قيم متانة الانضغاط للمجموعة M _١								درجة التعامل الحراري م°
A _v	A _٦	A _٥	A _٤	A _٣	A _٢	A _١	A.	
٢٧.٣	٣٨.٧	٤٠	٤٢.١	٢٥.٧	٣٩.٦	٣٩.٦	٣٨.٥	١٣٥٠
٣٨.٤	٤١.٤	٤٢.٨	٤٢.٦	٣٩.٩	٤١.٣	٤١.١	٤١.٣	١٤٠٠
٢٨.٣	٣٥.١	٣٧.٥	٤٢.٣	٢٩.٥	٣٢.٢	٣٨.١	٣٨.١	١٤٥٠

جدول (٤-٣) نتائج قياس متانة الانضغاط للمجموعة M_٢

Mpa M _٢ معدل قيم متانة الانضغاط للمجموع								درجة التعامل الحراري م°
B _v	B _٦	B _٥	B _٤	B _٣	B _٢	B _١	B.	
٣٧.٩	٢٥	٢٠.٨	٢٨.٣	٣٦.٢٩	٣٩.٢٩	٣٥.١	٣٥.٢ ٩	١٣٥٠
٤١.٣	٤٣	٣٩.٣	٣٢.٩	٤٠.٧	٤٣.٣	٤٢.٣	٤٠.٣ ٣	١٤٠٠
٣٦.٢	٣٧.٣	٣٥.٨	٢٩.٨	٣٥.٩	٣٩.٦	٢٥.٦	٣٧.٢ ٢	١٤٥٠

كما مبين في الرسوم البيانية من (١-٤) إلى (٤-٤).

جدول (٣-٥) نتائج القياسات الفيزيائية للمجموعة M₁

رقم المجموعة	درجة التعامل الحراري م°	الكثافة الحقيقية g/cm ³	الكثافة الحجمية g/cm ³	الكثافة الظاهرية g/cm ³	المسامية الظاهرية %	امتصاصية الماء %
A ₁	١٣٥٠	٠.٢٢	٢.٤٠	٣.٣٢	٨.١	٧.٧
	١٤٠٠	٠.٣١٥	٣.٨٠	٣.٧٠	٨.٧	٦
	١٤٥٠	٠.٢٢٧	٣.٧٠	٣.٥٠	٨.٢	٧.١
A _١	١٣٥٠	٠.٢٠٦	٢.٢٠	٢.٦٤	٧.٣	٩.٧
	١٤٠٠	٠.٢١٦	٢.٥٥	٢.٨٩	٨.١	٨
	١٤٥٠	٠.١٧٥	٢.٨٠	٢.٦٧	٧.٨	٦.٥
A _٢	١٣٥٠	٠.١٧٦	١.٩٣	٣.٣٥	٤٢	٢١
	١٤٠٠	٠.١٩٥	٢.٣٠	٣.٦١	٣٥	١٥
	١٤٥٠	٠.١٦٩	١.٨٢	٣.٣٣	٤٥	١٤
A _٣	١٣٥٠	٠.٢٤٥	٢.٢٩	٣.٧٤	٢١	٩.٦
	١٤٠٠	٠.٢٦٩	٢.٤٤	٣.٨٠	٣٥	١٦
	١٤٥٠	٠.٢١٨	٢.٠٨	٣.٦١	٢٩	١٣
A _٤	١٣٥٠	٠.٢٢٠	٢.٨٤	٣.٢٠	٦.٨	٩.٣
	١٤٠٠	٠.٢٤٣	٣.٦٢	٣.٦٠	٧.٢	٧.٢
	١٤٥٠	٠.٢١٢	٣.١٠	٣.٤٠	٥.٨	٨.٨
A _٥	١٣٥٠	٠.١٩٠	٢.٢٢	٣.٤٣	٢٥	١١
	١٤٠٠	٠.٢٢	٢.٢٨	٣.٧٨	٤٦.٧	١٤
	١٤٥٠	٠.٢٠١	٢.٥٤	٣.٣٣	٢٣	٩
A _٦	١٣٥٠	٠.٣٢١	٢.١٧	٢.٧٠	٢٠	٩
	١٤٠٠	٠.٣٥٢	١.٦٠	٢.٤٣	٣٣	٢٠
	١٤٥٠	٠.٣١٢	١.٥٤	٢.٣٣	٢١	١٤
A _٧	١٣٥٠	٠.٢٤١	١.٩٧	٣.٢٧	٣٩	٢٠
	١٤٠٠	٠.٢٧٣	١.٤٥	٢.٢٧	٤١	٢٨
	١٤٥٠	٠.٢١٣	١.١٩	٢.٥٩	١٩	١٦

جدول (٦-٣) نتائج القياسات الفيزيائية للمجموعة M_١

رقم المجموعة	درجة التعامل الحراري م°	الكثافة الحقيقية g/cm ^٣	الكثافة الحجمية g/cm ^٣	الكثافة الظاهرية g/cm ^٣	المسامية الظاهرية %	امتصاصية الماء %
B _١	١٣٥٠	٠.١٤٠	٢.٦٤	٣.٠٦	١١.٩	٨.٤
	١٤٠٠	٠.١٨٠	٢.٨٦	٣.٣٠	١٢.٠	٩.٣
	١٤٥٠	٠.١٧٠	٢.٣٦	٢.٦٦	١١.٠	٨.٩
B _٢	١٣٥٠	٠.١٤١	٢.٣٤	٣.٠١	٢٢.٠	٩.٠
	١٤٠٠	٠.١٥٣	٢.٤٠	٣.٣٥	٢٧.٠	١١.٠
	١٤٥٠	٠.١٤٠	٢.٣١	٢.٨٣	١٨.٠	٧.٠
B _٣	١٣٥٠	٠.١٢٣	٢.٨٠	٢.٨٤	١٢.٠	٩.٠
	١٤٠٠	٠.١٥٣	٣.١٠	٣.٢٠	١٥.٠	١٤.٢
	١٤٥٠	٠.١٤٠	٢.٣١	٣.٠٢	١٣.١	١٤.٠
B _٤	١٣٥٠	٠.١٣١	٢.٦٠	٢.٧١	٣٠.٠	١٦.٠
	١٤٠٠	٠.١٤٥	٢.٩٠	٣.٥٢	٣٥.٠	١٦.٢
	١٤٥٠	٠.١٣٢	٢.٢٠	٣.٣٩	٢٠.٠	١٠
B _٥	١٣٥٠	٠.٢٦١	١.٨٣	٣.٠٢	١٧.٠	٨.٥
	١٤٠٠	٠.٢٧١	٢.٥٦	٣.٤٠	١٩.٠	١٠.٠
	١٤٥٠	٠.٢٦٠	٢.٤٣	٢.٩٨	١٨	٧.٦
B _٦	١٣٥٠	٠.٢١٥	١.٨٥	٢.٩٧	٣٧.٠	٢١.٠
	١٤٠٠	٠.٢٧٢	١.٧٠	٣.١٥	٣٦.٠	١٨.٠
	١٤٥٠	٠.٢٣١	١.٩٩	٢.٧٢	٣٧.٦	٢٠.٠
B _٧	١٣٥٠	٠.٢١١	١.٨٧	٣.٠٠	٣٧.٠	٢٠.٠
	١٤٠٠	٠.٢٦١	٢.٣٠	٣.٣٠	٤٦.٠	٢٥.٠
	١٤٥٠	٠.٢٢١	١.٧٤	٣.١٤	٤٤.٠	٢٣.٠
B _٨	١٣٥٠	٠.٢٩٩	٢.٤٣	٣.١٠	١٦.٠	١٩
	١٤٠٠	٠.٢٩١	٢.٦٥	٣.٤٣	١٧.٧	١٦
	١٤٥٠	٠.٢٦١	٢.٠٤	٣.٣٠	١٦.٢	٢٣

كما مبين في الرسوم البيانية من (٥-٤) إلى (٢٥-٤).

a

قرار المشرفين على الرسالة

نشهد أن إعداد هذه الرسالة الموسومة بـ "دراسة تأثير المعاملة الحرارية في الخواص الميكانيكية للمونة الحرارية المستعملة في أفران الصهر" قد جرى تحت إشرافنا في قسم الفيزياء/ كلية العلوم/ جامعة بابل، وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في علوم الفيزياء.

التوقيع
المشرف: د. فاضل عبد رسن
المرتبة العلمية: باحث علمي أقدم
العنوان: وزارة العلوم والتكنولوجيا
التاريخ: ٢٠٠٤/ /

التوقيع:
المشرف: د. طالب هادي قدوري
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد
العنوان: كلية العلوم/ جامعة بابل
التاريخ: ٢٠٠٤/ /

توصية رئيس قسم الفيزياء

بناءً على التوصيات المتوفرة أرشح هذه الرسالة للمناقشة.

التوقيع:
الاسم: د. طالب هادي قدوري
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

التاريخ: ٢٠٠٤/ /



ز

إقرار لجنة المناقشة

نحن أعضاء لجنة المناقشة نشهد أن الرسالة الموسومة بـ "دراسة تأثير المعاملة الحرارية في الخواص الميكانيكية للمونة الحرارية المستعملة في أفران الصهر" وقد ناقشنا الطالب في محتوياتها ووجدنا أنها جديرة بالقبول لنيل درجة الماجستير في الفيزياء.

رئيس اللجنة

التوقيع:

الاسم: د. مؤيد جبرائيل

المرتبة العلمية: أستاذ

التاريخ: ٢٠٠٤/ /

عضو اللجنة

التوقيع:

الاسم: د. غالب عبد الوهاب الدهش

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

التاريخ: ٢٠٠٤/ /

عضو اللجنة

التوقيع:

الاسم: د. أحمد كمال أحمد

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

التاريخ: ٢٠٠٤/ /

عضو اللجنة (المشرف)

التوقيع:

الاسم: د. فاضل عبد رسن

المرتبة العلمية: باحث علمي أقدم

التاريخ: ٢٠٠٤/ /

عضو اللجنة (المشرف)

التوقيع:

الاسم: د. طالب هادي قدوري

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

التاريخ: ٢٠٠٤/ /

مصادقة عميد كلية العلوم

التوقيع:

الاسم: د. عوده مزعل ياسر

المرتبة العلمية: أستاذ

التاريخ: ٢٠٠٤/ /

References

المصادر

١. و. ريان، ترجمة فاضل بندر عيسى، ماجد محمد عكاشة، فوزي عبد الهادي السيد، "خواص المواد الخام السيراميكية"، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، مؤسسة المعاهد الفنية، دار التقني للطباعة والنشر، (١٩٨٦). ٨٥-٩٩.
٢. الطائي محمد حيدر، والرمضاني، خيرية عبد الله، "تحسين الخواص الكيماوية والحرارية للطابوق الناري الطيني"، مجلة بحوث البناء، العدد (٢)، ١٩٨٤، (١٥-٣٢) P.
٣. Kenneth, Shaw "Refractories and Their Uses", 1st edition, London, (١٩٧٢), PP (٣-٢٦).
٤. مراتب صالح سيدي، "تقييم خامات كاؤولين منطقة سمحات لاستخدامها في صناعة الطابوق الناري الطيني"، رسالة ماجستير مقدمة إلى قسم الهندسة الكيماوية، الجامعة التكنولوجية أيلول (١٩٨٧).
٥. G.B. Rothenberg, "Refractory Materials", 1st edition, Park Ridge, New Jersey, U.S.A., p (١,٢), (١٩٧٦).
٦. دراسة من أعداد الاتحاد العربي للإسمنت ومواد البناء، "الطابوق الحراري المستخدم في أفران السمنت"، مجلة العمران العربي، العدد ٦٥، صفحة (٦٩)، (١٩٨٥).
٧. الفلاح، حامد عبد الله، "دراسة خصائص وإنتاج الحراريات من اليوكسايت العراقي وتحسينها"، رسالة ماجستير مقدمة إلى قسم الهندسة الكيماوية، الجامعة التكنولوجية، (١٩٩٤).
٨. العكيلي، رحيم عزيز حسين، "صناعة الطابوق الناري الطيني من الطين الحراري المتحجر"، رسالة ماجستير، الجامعة التكنولوجية (١٩٩٧).
٩. F.H. Norton, "Refractories". ٤th edition (١٩٨٦), pp(٢٧-٢٩), ١٠٩-١١٠, ١٥٤, ١٥٥, ١٦٦, ٢١١, ٢٤٣, ٢٨٠).
١٠. العمر، أحمد فالح حسن، "دراسة إمكانية استثمار خامات الكاؤولين والسليكا العراقية في إنتاج مواد سيراميكية مقاومة للأحماض"، رسالة ماجستير، الجامعة التكنولوجية، (٢٠٠٠).

١١. الدليمي، عدي أسعد عبد، "الحراريات صناعتها وخواصها وأهم استخداماتها"، بحث مقدم إلى الجامعة التكنولوجية، دبلوم عالي، ٢٠٠٠.
١٢. د. صباح عبد النور، المحاضرات التي درست للدبلوم العالي "تكنولوجيات الحراريات" (٢٠٠٠).
١٣. البصيلي، أحمد مصطفى، المحمود، مظفر محمد، "كتاب المعادن والفخور"، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، (١٩٨٠).
١٤. J.H. Chesters, "Refractories Production and properties" ٥th ed., House press, London, (١٩٧٣), pp (٤-٨), (٤٢٥- ٤٣٠).
١٥. القرغولي، ناهدة عبد الكريم، "كتاب جيوكيميائية الفخور والمعادن الصناعية" طبع شركة تايمس للطبع والنشر شارع الرشيد، بغداد، الطبعة الأولى (١٩٧٩).
١٦. A. Dinsdale, J. Camm & W. Wilkinson, Brit. Ceram. Soc. Trans, ٦٦, ٨, ٣٦٧, (١٩٦٧).
١٧. S.K. Khandelwal & L. Cook, Ceramic Bulletin, Vol. ٤٩, No. ٥, (١٩٧٠).
١٨. J. Glandus & P. Boeh, "Interceram", Vol. ٣٣, No. ٣, p ٣٧, (١٩٨٤).
١٩. J. S. Chapell, T.A. Ring & J.D. Brichall, J. Appl. Phy. S, Vol. ٦٠, No. ١, (١٩٨٦).
٢٠. M.F. Tomizaki & T. Sugiyama, Inter ceram, Vol. ٤٤, No. ٤, (١٩٩٥).
٢١. النعيمي، محمد أحمد، "تأثير نوعية السليكا في الصفات الفيزيائية والميكانيكية للأجسام السيراميكية المستخدمة كمواد بناء"، رسالة ماجستير، جامعة بغداد، (١٩٩٦).
٢٢. العبيدي، مجاهد محمد، "دراسة تأثير الشوائب على الصفات العزلية والفيزيائية للكاؤولين العراقي"، رسالة ماجستير، جامعة بغداد، (١٩٩٧).
٢٣. M. Nakahara, Y. Kondo & K. Hamano, Journal of the ceramic Society of Japan, Vol. ١٠٦, No. ٨, (١٩٩٨).
٢٤. R. Stonis & S. Goberies, Refroctories and Industrial ceramiec, Vol. ٤٢, No. ٧, ٣٠٠, (٢٠٠١).

٢٥. Do. E. Fahrbach, & D. P. Howat, "Comparison of Techniques for Determining the Resistance of Refractors to slug Attach", Transaction and Journal of British ceramic society Vol. ٦٨, No. ٤, P. ١٥١, (١٩٦٩).
٢٦. R.W. Davidye & G. Tappin, "Thermal shock and fracture in ceramic", Transaction and Journal of British ceramic Society, Vol. ٦٦, P. ٤٠٦, (١٩٦٧).
٢٧. D.P., Zegzhda, "Rapid Method for Determining the Spalling Resistance of Refractories", Refractories, (٩-١٠), pp. ٥١٨- ٥٨٠, (١٩٧٠).
٢٨. الهيتي، مروان غايب، "دراسة العوامل المؤثرة على عملية تلييد كلنكر الدولومايت العراقي لغرض صناعة الحراريات"، رسالة ماجستير، جامعة بغداد، (١٩٩٤).
٢٩. E. Hasse & E. Hllker, Influence on Strength Development in the ceramic Body During Brick Firing, ZI, Int., (١٩٧٨).
٣٠. M. Serry & S. Hanna, Trans. Br. Ceram. Soc. ٧٨, ٣, (١٩٧٩).
٣١. ASTM, C١٣٣-٨٤, (١٩٩٠)
٣٢. الجبوري، عباس كريم سعدون، "دراسة سلوكية التلييد في مادة الالومينا السيراميكي"، رسالة ماجستير، جامعة بغداد، (١٩٩٤).
٣٣. L.F. Goyette, T.J. Kim & P.J. Gielisse, ceramic Bulletin, Vol. ٥٦, No. ٧, (١٩٧٧).
٣٤. G.Y. Onoda & L. L. Hench, "Ceramic Processing Before Firing" by John Wiley & Sons, Inc., (١٩٧٨), ٢١- ٢٦, ٣٥- ٣٦, ٣٩- ٤١, ١٣٢, ٢٥٠, ٣٢٣.
٣٥. K. Chou, G. Tien & W. WU, J.Am. Ceram. Soc., Vol. ٦٨, No. ٥, (١٩٨٥).
٣٦. الربيعي، محمد قاسم سلمان، "تأثير الحجم الحبيبي لمادة فلوسبار البوتاسيوم على الخواص الفيزيائية للبورسلين عالي الصهر"، رسالة ماجستير، جامعة بغداد، (٢٠٠٣).
٣٧. J. J. Brown, Ceramic Bulletin, Vol. ٥٨, No. ٦, (١٩٧٩).
٣٨. C.E. Goss, Ceramic Bulletin, Vol. ٦٧, No. ٥, (١٩٨٨)

٣٩. F. M. Clark, "Insulating Materials for Design and Engineering practice", by John Willey & Sons, Inc. (١٩٦٢), P. ٤٤- ٤٥.
٤٠. P. Rodo, "An Introduction to the Technology of Pottery", ٢nd edition, by Pergamon Press, (١٩٦٤), ٣-٤, ٦-٧, ٢٩-٣٢, ٤١-٤٢, ٩٢-٩٤, ١٩٧, ٢٠٨-٢١٣.
٤١. المالكي، أنعام وادي وطن، "توهين الموجات فوق الصوتية في الأوساط السيراميكية"، رسالة ماجستير، جامعة بغداد، (٢٠٠٠).
٤٢. عبد العباس، شروق صباح، "دراسة الخواص الفيزيائية للعازل الكهربائي السيراميكي ذي الجهد العالي"، رسالة ماجستير، قسم الفيزياء- كلية العلوم- جامعة بابل، (٢٠٠٢).
٤٣. W. Judd & Shakoor, Density Physical pProperties of Rocks and Minerals, McGraw-Hill Book company, New York, (١٩٨١).
٤٤. F. A. Rassen, "The Used of Iraqi Siliceous Rocks as Electrical Insulators in Industry", Ph. D. Thesis, Al-Nahrain University, (١٩٩٨), ٤-٥, ٨, ٢٦, ١٠٥-١١٠.
٤٥. الجعفر، مهدي شنشل، "دراسة تأثير المقاس الحبيبي على الخواص المؤثرة في الموصلية الحرارية لحراريات السليكا"، رسالة ماجستير، الجامعة التكنولوجية، (١٩٩٠).
٤٦. R.L. Coble, Journal of Applied Physical, Vol. ٣٢, No. ٥, (١٩٦١).
٤٧. P.P. Budnikov, "The Technology of Ceramics and Refractories by the M. I. T. Press, (١٩٦٤), ٥٠٠- ٥٤٤.
٤٨. W. D. Kingery, "Introduction to ceramics", ٢nd edition A Wiley, Inter Sciemce Publication, (١٩٧٦), ٣, ١٧, ٧٠- ٧١, ٤٤٨- ٥٠٧, ٥٣٠- ٥٣٢, ٥٤٢, ٥٩٥, ٦٩٥, ٧٧٧, ٨٦٩,
٤٩. ASTM, Part. ١٧.C٣٧٣-٧٢.
٥٠. ASTM, C٣٧٣-٨٨, (١٩٨٨).
٥١. R. Griffiths & C. Radford, "Calculations in Ceramics", Maclaren & Sons LTD. (١٩٦٥).
٥٢. M. Arburg, Interceram, ٤٤, ٢, ٨٦, (١٩٩٥).
٥٣. Anil Kumar Sinha, Powder Metallurgy, ٢nd edition, (١٩٨٧), ٧٥٩-٨٠٧.

٥٤. J. R. Taylor & A.C. Bull, "Ceramics Glaze Technology", 1st edition by Pergamon Press, (١٩٨٦), ١٦-١٧, ١٩, ١٩٦-١٩٧, ٢٠٠.
٥٥. G. Lutz, Interceram, ٤٢, ٦, ٣٦٧, (١٩٩٣).
٥٦. الداھري، شوكت إسماعيل، "دراسة التوصيلية الحرارية لمكبوسات البورسيلتايت- كاؤولين"، رسالة ماجستير، الجامعة التكنولوجية، (٢٠٠١).
٥٧. W. Ryan, "Properties of ceramic Raw materials", ٢nd edition by pergamon press, (١٩٧٨), ١-٥, ٤٢-٥١.
٥٨. F. Ford, Ceramic, Drying, Pergamon press, Oxford, New York, (١٩٨٦).
٥٩. F. Norton, Elements of ceramics, ٢nd edition, Addison-Wesley publishing company Inc., U.S.A., (١٩٧٤).
٦٠. A. Aller, ceramic Industries Journal, ٢٤, ٩, ٣٧, (١٩٨٦).
٦١. زيجنيف د. جستر نيبسكي، ترجمة د. عواد الزحلف، "طبيعة وخواص المواد" الطبعة الثانية- نظام ٥١، الجزء الأول، (١٩٨٥)، ١٧٢-١٦٤.
٦٢. H. Hausner. Discussion on the Definition of the Term Sintering, Sintering New Developments, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, (١٩٧٩).
٦٣. الخزرجي، قحطان خلف، "مبادئ هندسة المواد اللامعدنية"، جامعة بابل، (١٩٩٤).
٦٤. A. Plancon & V. Drits, Clays and Clay Minerals, ٤٨, ١, ٥٧, (٢٠٠٠).
٦٥. W. E. Worrall, "Ceramic Raw Materials", ٢nd edition, by Pergamon Press, (١٩٨٠). ٦-٢٧, ٤٥, ٧٢, ٧٤, ٨٩-٩٠.
٦٦. الطائي، محمد حيدر، "خواص المواد الهندسية"، (١٩٨٧)، ١٥٤ - ١٤٦.
٦٧. A. Thornton & J. Colangelo, Fundamentals of Engineering materials, prentice- Hall Inc., New Jersey, (١٩٨٥).
٦٨. FERRO Cerporation New York.
٦٩. ARBISON WALTTER "Refractories Pennsylvania U.S.A. Divisor Dresser Industrio Inc. ٢ Gate way Pittsbwrghi.

٧٠. G. Exler, "The Interpretation of Geological phase Diagrams".
٧١. J.A. Gadsen, "Infrared Spectra of Minerals Inorganic compounds"
London, (١٩٧٠).
٧٢. R.W. Grimshaw "The Chemistry and Physical clays" ٤th edition,
London, (١٩٧١).
٧٣. M. ALPER "Phase Diagrams Materials Science and technology"
Volume II, New York, (١٩٧٠).



ARBISON-WRITER REFRACTORIES

Division of Dresser Industriacs, Inc.,

٢ Gateway Center, Pittsburgh, Pennsylvania ١٥٢٢٢

HARMIX CU

Technical Data:

Physical Properties: (Typical)

	<u>English Units</u>	<u>SI Units</u>
Weight Required For Ramming	<u>lb/ft^r</u>	<u>kg/m^r</u>
If Shipped Dry	١٧٣	٢,٧٧٠
If Shipped Wet	١٨٠	٢,٨٨٠
Approximate Amount of water Required		
For Ramming Dry Mix		
Per ١٠٠ Lbs.	٢ U. S. Ots.	
Per ٤٥.٣٦ kg.		١.٨٩ Liters
	<u>lb/ft^r</u>	<u>kg/m^r</u>
Bulk Density		
After Drying at ٢٣٠°F (١١٠°C)	١٧٣	٢,٧٧٠
	<u>lb/in^r</u>	<u>kPa</u>
Modulus of Rupture		
After Drying at ٢٣٠°F (١١٠°C)	٥٠٠ to ٩٠٠	٣,٤٠٠ to ٦,٢٠٠
After Drying at ٢٣٠°F (١٢٦°C)	١,٩٠٠ to ٢,٥٠٠	١٣,١٠٠ to ١٧,٢٠٠
Cold Crushing Strength		
After Drying at ٢٣٠°F (١١٠°C)	٢,٥٠٠ to ٤,٥٠٠	١٧,٢٠٠ to ٣١,٠٠٠
After Drying at ٢٣٠°F (١٢٦°C)	٨,٠٠٠ to ١٠,٠٠٠	٥٥,٢٠٠ to ٦٩,٠٠٠
Permanent Linear Change %		
After Drying at ٢٣٠°F (١١٠°C)	Negligible	
After Drying at ٢٣٠°F (١٢٦°C)	٠.٠ to +٠.٥	

Chemical Analysis:

(Approximate)
(Calcined Basis)

Silica	(SiO _٢)	١٢.٠%
Alumina	(Al _٢ O _٣)	٨٣,٤
Titania	(TiO _٢)	٢.٧
Iron Oxide	(Fe _٢ O _٣)	١.٦
Lime	(CaO)	Trace
Magnesia	(MgO)	٠.١
Alkalies	(Na _٢ O+K _٢ O+Li _٢ O)	٠.٢
	TOTAL	١٠٠.٠
Penetration Inhibitor		١٦.٠

(Continued)

----- **technical data** -----



HARMIX CU (Cont'd)

The data are typical of commercial production and subject to reasonable deviation. They are not to be used for specification purposes. The physical properties of rammed refractories may vary widely depending on the conditions under which they are installed. The above physical data are presented as typical of properties which may be expected when these conditions are reasonably good.

ASTM Test Methods, where applicable, used for determination of data.

Description: A mullite-bounded high-alumina base ramming mix with a patented penetration and corrosion inhibitor. This penetration inhibitor is protected by U. S. Letters Patent No. 3, 164, 482.

Features: Good ramming properties. Excellent dimensional stability. Has a combination of physical and chemical properties particularly adapted to resist wetting, penetration and corrosion by molten copper and copper alloys.

Uses: Linings for induction furnaces melting copper and copper alloys. Also suitable for some high carbon irons.

_____: Shipped wet in steel drums of 200# (90.72 kg.) or dry in sacks 100# (45.36 kg.) net weight.

Kellundite ٣٦٧D

Kellundite ٣٦٧D is a high-alumina castable designed to line vertical channel induction furnaces melting or holding copper base alloys. Kellundite ٣٦٧D can also be used for other hot-metal contact applications such as launders, runner boxes, shuttle boxes and tundishes. It is also well suited as a back-up lining for crucible furnaces.

Kellundite ٣٦٧D combines its high alumina matrix, "with an addition of silicon carbide to provide a high strength, non-wetting monolithic working lining.

Kellundite ٣٦٧D is easily installed applying conventional hydraulic casting methods. Refer to mix procedures and a dry out schedule on the back of this bulletin, or your local Ferro Representative for further details.

TYPICAL CHEMICAL ANALYSIS:	Al ₂ O ₃	٨٤.٣
	SiO ₂	١.٢
	Fe ₂ O ₃	٠.٣
	TiO ₂	١.٨
	CaO	٢.٨
	SiC	٨.٩
	Other	٠.٧
CRAIN SIZINC:	١٦ Mesh (١.٢mm and Finer)	
TALLED DENSITY:	١٧٥ lb/ft ³ (٢٨٠٣ kg/m ³)	
WATER REQUIREMENTS:	٨%-٩% by weight (vibrating) ٩%-١٠% by weight (poured)	
SETTING TIME:	Initial ١-٣ hours Final ٤-٦ hours.	
WORKING TIME: minutes	Approximately	٣٠-٦٠
MAXTMUM TEMPERATURE:	٣٠٥٠°D (١٦٧٠°C)	
RACKINC AND STRORACE:	K-٣٦٧ comes packed in ٥٠ lb. (٢٢.٧ kg) multi-walled paper bags palletized ٤٢ bags to a ٣٦" x ٣٦" pallet. Store in a cool, dry place for up to ١٢ months.	